

## **SBW Piping - Hervalidatie piping**

### **B4. Methode voor bepaling zandeigenschappen voor piping**

Gerard Kruse

**Titel**

SBW Piping - Hervalidatie piping  
B4. methode voor bepaling zandeigenschappen voor piping





<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat Waterdienst	1001449-027	1001449-027-GEO-0002	20

**Trefwoorden**

Waterkeringen, piping, ondergrond, grondeigenschappen

**Samenvatting**

Er is een SBW programma betreffende het invullen van de belangrijkste kennisleemtes ten behoeve van de toetsing van primaire waterkeringen. Onderdeel hiervan het onderzoeksspoor SBW Hervalidatie Piping, opgezet om de onzekerheden binnen de huidige piping toetsingsregels in beeld te krijgen en deze eventueel te verkleinen of elimineren in welk verband dit rapport is opgesteld. In dit rapport wordt een procedure beschreven voor het opstellen van schematisaties van de ondergrond voor evaluatie van het optreden van piping bij waterkeringen in Nederland. De procedure is gericht op het kunnen vaststellen van de eigenschappen van de ondergrond die voor de relevante componenten van het mechanisme belang zijn. In de procedure wordt in aanvulling op de thans gebruikelijke werkwijzen, aandacht besteed aan het vaststellen van de aard en verbreiding van zandvoorkomens in de ondergrond in een wat groter gebied. Deze stap is toegevoegd om efficiënt tot de voor het mechanisme benodigde detaillering te kunnen komen op locaties waar piping kan optreden en om deze locaties inderdaad met voldoende zekerheid alle op te sporen. De beschreven procedure omvat 3 stappen waarin in toenemend detail de omstandigheden bij de waterkering worden vastgesteld. De 1<sup>ste</sup> stap, Stap 1, betreft het verkrijgen van een globaal overzicht van zones waar piping mogelijk aan de orde is. De Stap 2 betreft het begrenzen van de zones waar piping mogelijk aan de orde is en karakterisering van de aard van de zandvoorkomens. De Stap 3 betreft het vaststellen van de parameters over opbouw van de ondergrond en de eigenschappen van de betreffende grondlagen. De stappen 2 en 3 komen overeen met veel van de huidige praktijk bij het toetsen en geven richtlijnen ter aanvulling op de huidige praktijk.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
01	2009-03-08	Gerard A.M. Kruse		Jan E.J. Blinde		Harm T. Aantjes	
02	2009-05-06	Gerard A.M. Kruse		Ed O.F. Calle		Harm T. Aantjes	

**Status**

definitief

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Algemeen</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Invloeden op pipinggevoeligheid</b>	<b>3</b>
2.1	Algemeen	3
2.2	Waargenomen piping en gerelateerde verschijnselen	3
2.3	Processen en omstandigheden	4
2.4	Zandvoorkomens	5
<b>3</b>	<b>Verkenningstrategie</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Procedures</b>	<b>10</b>
4.1	Stappen in het verkennen	10
4.1.1	Stap 1, Globaal overzicht	10
4.1.2	Stap 2, Begrenzen zones met mogelijk piping en vaststellen aard zandvoorkomens	12
4.1.3	Stap 3, Grondschematisaties in zone met mogelijk piping:	13
4.2	Parameterschattingen en bepalingen	14
4.2.1	Specifieke doorlatendheid	14
4.2.2	Korrelgrootteverdeling	14
4.2.3	Relatieve Dichtheid	15
4.3	Gegevens- en informatiebronnen	15
<b>5</b>	<b>Concluderende opmerkingen</b>	<b>17</b>
5.1	Aanbevelingen voor afstemming met ander grondonderzoek en nadere specificaties	17

## 1 Algemeen

Er is een SBW programma betreffende het invullen van de belangrijkste kennisleemtes ten behoeve van de toetsing van primaire waterkeringen. Onderdeel hiervan het onderzoeksspoor SBW Hervalidatie Piping, opgezet om de onzekerheden binnen de huidige piping toetsingsregels in beeld te krijgen en deze eventueel te verkleinen of elimineren. In het projectplan voor dit piping onderzoek voor 2008 tot 2010 (SBW Piping / Projectplan 2008) is opgenomen dat er een procedure opgesteld moet worden om de eigenschappen van zand in de ondergrond van een waterkering te bepalen.

Zoals gesteld in het SBW Piping Projectplan 2008 beoogt het onderzoek naar piping onder meer verbetering van de rekenregel voor piping, door op basis van experimenten, de invloeden van zandkarakteristieken op transport en begin van beweging voor het piping proces vast te stellen voor bepaalde homogene en heterogene zandpakketten.

In deze rapportage wordt ingegaan op het vaststellen van de eigenschappen van zand in de ondergrond in verband met het mechanisme piping en wordt een procedure daartoe beschreven. De details van de eigenschappen betreffende opbouw en karakteristieken van de betrokken zandlagen, benodigd voor de schematisatie voor het mechanisme, zijn op het moment van schrijven nog niet eenduidig vastgelegd. De wijze van karakteriseren van de ondergrondeigenschappen is hier daarom gericht op de algemene procedure voor het schematiseren van de relevante eigenschappen van zand en zandvoorkomens in de ondergrond. Op basis hiervan en het voortschrijdend inzicht kan een nadere specificatie van de procedure en van met name parameterwaarden voor nog vast te stellen criteria worden opgesteld.

De hier beschreven procedure komt voort uit de ervaring met het schematiseren van de natuurlijke ondergrond voor het optreden van piping en andere geotechnische faalmechanismen in de praktijk. Er wordt onder andere gebruik gemaakt van de ervaring die is opgedaan bij het ontwikkelen en het gebruik van de methoden die zijn ingezet voor het onderdeel piping in het VNK II project.

Met de hier beschreven algemene procedure is het mogelijk om in stappen de informatie over eigenschappen van zand in de ondergrond van gebieden waar piping zou kunnen optreden te detailleren. Voor die stappen wordt omschreven welke informatie nodig is en wat het resultaat ervan is voor het beperken van onzekerheden. Zo betreft de informatie voor de eerste stap algemeen beschikbare gegevens. Het resultaat van de eerste stap is een globaal overzicht over de aard en de wijze waarop zand in de ondergrond voorkomt, op basis waarvan de wijze en de omvang van een nadere verkenning kan worden vastgesteld. Deze eerste stap wordt toegevoegd aan de thans gebruikelijke wijzen van het karakteriseren van zand in verband met piping, maar is ook in andere verbanden van toepassing. Deze informatie is voor de vervolgstappen eveneens van belang. Deze wijze van toetsen is van toepassing voor de eenvoudige toets, waarbij het accent op de eerste stappen komt te liggen, waarna eventueel bij de gedetailleerde en geavanceerde toetsing meer elementen van de vervolgstappen ingezet moeten worden.

Een punt van aandacht voor het opstellen van de procedure is dat er rekening wordt gehouden met de heterogeniteit van zandpakketten, met speciale aandacht voor de korrelkarakteristieken van de top van zandvoorkomens, de aard en schaal van processen in het pipingmechanisme en de beperkingen voor schematisaties van de ondergrond.

In dit rapport wordt in hoofdstuk 2 aan de hand van de mechanismen die bij piping een rol kunnen spelen aangegeven welke omstandigheden gekend moeten worden om na te kunnen gaan of piping in een bepaalde situatie kan optreden. Vanwege de variatie in de eigenschappen van zandpakketten en van het zand daarin wordt in een aparte paragraaf kort ingegaan op zandvoorkomens in Nederland. In hoofdstuk 3 wordt een verkenningsstrategie geschetst welke in hoofdstuk 4 als procedure nader wordt uitgewerkt. Hoofdstuk 5 geeft concluderende opmerkingen en aanbevelingen voor verbetering van de procedure.

De hier omschreven procedure voor het evalueren van het optreden van piping leent zich voor het gebruik in de methodiek voor het inzetten van grondonderzoek die momenteel in SBW verband wordt ontwikkeld (SBW TR Grondonderzoek en schematisering).

## 2 Invloeden op pipinggevoeligheid

### 2.1 Algemeen

Het is bekend dat dijken op een zandondergrond plotseling kunnen bezwijken net als dijken en dammen van cohesieve grond die plotseling kunnen bezwijken door zichzelf versterkende interne erosie. Deze laatste vorm van bezwijken, piping in cohesieve grond, komt in veel gebieden op de wereld voor en er zijn wereldwijd aanbevelingen voor het voorkomen van deze vorm van piping. Voor pipingverschijnselen bij waterkeringen op zandondergrond zijn er momenteel criteria voor bepaalde, ten opzichte van natuurlijke zandvoorkomens, zeer sterk vereenvoudigde omstandigheden. Er zijn geen methoden gespecificeerd voor de wijze waarop de informatie over de grond kan worden verkregen die nodig is voor het gebruik van die criteria.

In dit hoofdstuk wordt daarom kort op piping in zand ingegaan en worden processen en omstandigheden waaronder piping in zand kan optreden kort samengevat alvorens de voorgestelde procedure te beschrijven. Tevens wordt een overzicht gegeven van het voorkomen van zand in Nederland.

### 2.2 Waargenomen piping en gerelateerde verschijnselen

In eerdere fasen van het SBW Piping project worden waarnemingen van piping samengevat. Het falen van een waterkering op een zandondergrond door piping is in Nederland slechts zelden direct waargenomen. Er zijn wel ooggetuige verslagen van het bezwijken van dijken en dammen op een doorlatende ondergrond elders. In alle voldoende gedetailleerd beschreven gevallen treedt er aanvankelijk vrij stromend water uit de grond, kwel, met een beperkte sedimentlast van zand. In Nederland komen zulke plekken veel voor in het rivierengebied en worden wellen genoemd. In de gedocumenteerde gevallen van bezwijken werd het opwellende water in zeer korte tijd (seconden) een zand-watermengsel samengaand of direct gevolgd door lokaal bezwijken wat vervolgens tot algeheel falen leidde.

Voor de bekende geotechnische vormen van falen zijn in de natuur analoge mechanismen bekend. De theorievorming in Nederland is gericht op het ontstaan van kanaaltjes in zand onder een cohesieve en starre laag. Voor dit proces zijn geen natuurlijke analoge verschijnselen van deze vorming van kanaaltjes in zand onder cohesieve grond bekend, mogelijk door het ontbreken van dijk - of dam-achtig reliëf in de natuur. Er zijn evenmin sporen van zulke kanalen, bijvoorbeeld afdrucken ervan, bekend in de geologie. Bronerosie, waarbij uittredend grondwater leidt tot het stroom- hellingopwaarts migreren van een dalhoofd, komt wel algemeen voor in de natuur. Bij die bronerosie kan het dalhoofd door een stevige laag over vele meters worden overkapt. Zulke bronerosie in zandlagen is bijvoorbeeld waargenomen langs de oevers van de Mississippi na vallend water.

De waargenomen gevallen van falen door piping zijn niet zodanig beschreven dat er direct informatie voor het onderbouwen of detailleren van verkenningsstrategiën uit afgeleid kan worden. De natuur voorziet evenmin in aanwijzingen voor het op relevante schaal nagaan van de invloeden op het mechanisme. Het ontbreekt daarom aan gevallen van piping op de praktijkschaal waarmee nagegaan kan worden welke factoren van belang zijn en welke eventueel dominant.

In deze rapportage wordt voor het vaststellen van pipinggevoelige zones daarom uitgegaan van de processen en omstandigheden genoemd in de volgende paragraaf 2.3.

### 2.3 Processen en omstandigheden

Voor het mechanisme piping in zandgebieden wordt ervan uitgegaan dat het falen van de waterkering kan worden ingeleid door een aantal processen waarvoor een beperkt aantal omstandigheden van belang geacht worden. De betreffende processen zijn:

- 1 Ontstaan van continue kanalen in zand onder de gehele dijk door als gevolg van interne erosie en die kunnen leiden tot catastrofale ontgroning;
- 2 Zand kan sterkte verliezen en eventueel zelfs geheel verweken in een kwelgebied waar de uittredegradiënten voldoende hoog zijn, waarbij deze verzwakte zone zich mogelijk dijkwaarts en onder de waterkering kan uitbreiden;
- 3 Losgepakt zand onder en bij een waterkering kan algeheel verweken tijdens hoogwater.

Voor deze processen zijn de volgende omstandigheden met name van belang gebleken, te weten:

Bij 1:

- Waterdrukgradiënten onder en direct binnenwaarts van de waterkering;
- Pakking van het zand;
- Korrelkarakteristieken onder en aan de teen van de waterkering.

Bij 2:

- Mogelijke grondwaterdrukgradiënten in zand onder en bij de teen van de waterkering;
- Pakking van het zand, vooral bij de teen van de dijk;
- Spanningstoestand onder en bij de teen.

Bij 3:

- Spanningstoestand onder en achter de waterkering;
- Gevoeligheid van de sterkte van het zand voor verstoring in het relevante dieptebereik, welke gevoeligheid in de praktijk met name gerelateerd wordt aan de pakkingdichtheid.

Voor het verkennen van de ondergrond voor de evaluatie van het optreden van mogelijk falen door piping is het daarom van belang parameters over de ondergrond te verkrijgen voor met name:

- De invloeden op de verdeling van de grondwaterdrukken onder en eventueel in de waterkering;
- Indicaties over het gedrag van het zand in de ondergrond, met name refererend aan korrelkarakteristieken, onder andere de korrelgrootteverdeling en de porositeit (relatieve dichtheid).

Deze omstandigheden moeten in een voldoende groot gebied alle zodanig zijn dat piping tot schade aan de waterkering kan leiden. Hierbij kan worden opgemerkt dat ketens van processen en als gevolg van de ruimtelijke uitbreiding van processen een rol spelen (opeenvolging of andere temporele interactie van verschillende processen en ruimtelijke uitbreiding van de werkingssfeer van processen).

De ruimtelijke variatie van eigenschappen in zandlichamen is afhankelijk van de beschouwde afmetingen en van de betreffende eigenschap. Zo is de variatie in korrelgrootte vaak groot op een schaal van centimeters tot decimeters (laagjes van korrels van gemiddeld 120  $\mu\text{m}$  komen voor direct naast lagen van 300  $\mu\text{m}$ ) en, in bijvoorbeeld rivierafzettingen, ook op de meterschaal. Zandpakketten worden gekenmerkt door een voor het pakket bepaalde repeterende structuur. Binnen zo'n pakket wordt de ruimtelijke variatie geringer, en nadert een minimum, naarmate de afmetingen van het beschouwde volume toenemen. Als het

volume groter is dan een beschouwde zandpakket is de variatie uiteraard weer groter. Hetzelfde geldt voor specifieke doorlatendheid en pakking. Het is daarom nodig om de eigenschappen die voor een proces van belang zijn vast te stellen voor de schaal waarop het proces werkzaam is. Als illustratie wordt hier de invloed van schaal van vaststellen van doorlatendheid voor de toepassing beschreven en de invloed van monstergrootte en monsterlocaties op het karakteriseren van het zand.

In verband met piping is doorlatendheid van zandpakketten op 2 schalen van belang en wel voor de poriëwaterdrukverdeling in de ondergrond in de omgeving van de dijk en voor de gradiënten die op kleinere schaal kunnen optreden in kwelzones, bijvoorbeeld aan de teen van de dijk en in sloten, en rond eventuele kanalen onder de dijk.

De korreleigenschappen, met name korrelgroottes, spelen eveneens op verschillende manieren een rol naar gelang de wijze van gebruik en de schaal van het proces. De horizontale en in veel gevallen ook de verticale doorlatendheid van een pakket van fijnere en grovere zandlaagjes is veel hoger dan van een gehomogeniseerd pakket met dezelfde hoeveelheid fijn en grof zand. Voor het schatten van doorlatendheid is het nodig een goede indicatie van de korrelgrootte van elk van de verschillende samenstellende, of ten minste van de dominante lagen van een heel zandpakket te hebben (in de meeste gevallen suggereert een mengmonster een lagere doorlatendheid, maar soms juist een hogere doorlatendheid). Een mengmonster van een groot diepte-interval uit een boring is zeker niet geschikt voor gebruik in correlaties van specifieke doorlatendheid met karakteristieken van de korrelgrootteverdeling. Voor het bepalen van het eventueel vormen van kanaaltjes onder de dijk moet er inzicht zijn in de representatieve korrelgroottes aan de top van het pakket, waarbij representatief, naar het zich laat aanzien, niet direct de korrelgrootteverdeling zal zijn van het meest voorkomende soort zand. Immers, erosie en transport van zand dat nodig is voor de vorming van kanaaltjes zal worden bepaald door de grovere onderbrekingen in het zandpakket.

De heterogeniteit van zand op de schaal van bemonsteren is groot en heeft een grote invloed. Ook is er een grote variatie op de schaal waarop de poriëwaterdruk onder en naast een waterkering en het falen ervan wordt bepaald. De volgende paragraaf 2.4 geeft daarom een korte beschrijving van de verschillende soorten zand die algemeen in Nederland voorkomen.

## 2.4 Zandvoorkomens

Zand dat een rol kan spelen bij piping komt in verschillende vormen voor in Nederland. Hier volgt een korte beschrijving van zandvoorkomens. De geologische kaarten van Nederland, de overzichtskaart schaal 1:10<sup>6</sup> en de regionale kaarten 1:50.000 van een groot aantal gebieden geven een overzicht van het voorkomen van de belangrijke typen in Nederland.

De verschillende soorten zand die hier genoemd worden hebben elk bepaalde patronen in de wijze van voorkomen en interne opbouw. Deze aspecten hebben grote invloed eigenschappen als doorlatendheid en wijze van variatie in korrelkarakteristieken. Het onderscheid in deze soorten verschaft relevante informatie voor geotechnische toepassingen, zowel voor eerste verkenningen als voor de wijze waarop van boringen, sonderingen en laboratorium onderzoek ingezet kunnen worden (zie stappen 1 tot en met 3 in hoofdstuk 4).

*Pleistoceen - vroeg Holoceen zand* komt voor aan en bij het maaiveld in Zuid, Oost en Noord Nederland en zeer lokaal in het westen. Behalve in het westen van Nederland gaat het om



relatief uitgestrekte gebieden waar zand de opbouw domineert. Er zijn in dit verband 4 relevante typen, te weten:

- Dekzand dat in diktes tot enige meters voorkomt en meestal een mediane korrelgrootte van 120 – 180  $\mu\text{m}$  heeft;
- Rivierduinen, met een mediane korrelgrootte van fijn zand tot 250  $\mu\text{m}$ , betreft zand in zeer locale hoogtes op de Pleistocene – vroeg Holocene ondergrond en zijn in West Nederland geheel of grotendeels begraven door jonger veen en kleisedimenten;
- Rivierzanden ongeveer in het gebied van de huidige grote rivieren en in de ondergrond van primaire waterkeringen op enige andere locaties. De zanden hebben lokaal zeer variabele mediane korrelgrootte;
- Locale beekafzettingen in Noord, Oost en Zuid Nederland

*Holoceen rivierzand* komt in het rivierengebied (oost, midden en west) en IJsseldal algemeen voor in verschillende vormen die in hoofdlijnen worden verdeeld in:

- Zanden van grote stroombanen (met zandafzettingen van meerdere stroomgeulen) hebben vaak een zeer variabele mediane korrelgrootte, van fijn zand tot groter dan 300  $\mu\text{m}$ . De korrelgrootte varieert vaak sterk binnen horizontaal enige meters en verticaal enige decimeters. De zandlichamen zijn meestal dikker dan 10 m. Er is een afwisseling van langgerekte grove en wat fijnere pakketten met dikten van 1 – 6 m die horizontaal 30 tot meer dan 100 m breed kunnen zijn. Lokaal kunnen er langgerekte klei- en soms veenpakketten in voorkomen van beperkte omvang (50 – 200 m breed en enige meters dik). De zandlichamen kunnen een bovenkant hebben op de diepte van het Pleistocene oppervlak tot het huidige maaiveld;
- Zanden van crevasses, zijnde doorbraken door natuurlijke oeverwallen, sluiten aan bij de zanden van de grote stroomgeulen. Het zijn grotendeels relatief dunne zandlagen (0.5 – 2 m) die zijn ingesloten in klei en soms veenpakketten, met zeer plaatselijk een dikker zandpakket ter plaatse van de oeverwal. Bij de grote stroomgeul is het zand soms hetzelfde als van de stroomgeul en ervandaan is het zand meest fijn. De zandlichamen kunnen een bovenkant hebben op de diepte van het Pleistocene oppervlak tot het huidige maaiveld;
- Zand van kleine stroomgeulen komt voor als kleine zandlichamen die vooral in het westen van het land voor komen in gebieden gedomineerd door veen met kleiafzettingen. Het betreft langgerekte zandlichamen met een grillig verloop (bochtstralen van tientallen meters van bochten van soms meer dan 90<sup>o</sup>, komen regelmatig voor) met een breedte van tientallen tot honderden meters. Het betreft meest fijn zand en, met name in de kleinere zandlichamen komen regelmatig kleilaagjes en lagen voor. Zand met mediane waarde van 200 – 300  $\mu\text{m}$  komt veel voor in de zanden van de bredere stroomgeulen. De meeste pakketten zijn tussen 3 – 6 m dik.

*Getijdezanden* komen in het westen en noorden van het land voor tot lokaal enige tientallen kilometers van de huidige kust en kennen eveneens verschillende vormen van voorkomen. In getijdezandafzettingen komen meestal kleine en grotere zeer dunne kleilaagjes voor en zandpakketten worden voornamelijk gekenmerkt door de frequentie en stapeling van die kleine kleilaagjes waarbij de korrelgrootte van het “schone” zand niet veel variatie vertoont. Er zijn een aantal typen getijdezanden te onderscheiden die voor het evalueren van het optreden van piping relevant zijn, te weten:

- Zand van grote getijdegeulen met weinig kleine kleilaagjes dat voorkomt als grotere pakketten, > 100 m breed en > 1 km lang en een dikte van 2 tot meer dan 5 m in vooral de diepere delen van getijdegeulen. Deze relatief “schone” zandpakketten komen voor in omgeving van zand met veel meer kleine kleilaagjes. Zulke

zandpakketten kunnen binnen enige meters van het huidige maaiveld voorkomen in ondiep gelegen getijdegeulafzettingen. In de zandpakketten kunnen lokaal meer continue kleilagen met een dikte van 0.1 – 0.2 m voorkomen met afmetingen van tientallen meters. Het zand is in het algemeen fijn (< 210  $\mu\text{m}$ ) en zeer plaatselijk komt matig (210 – 300  $\mu\text{m}$ ) – zeer grof (300 -420  $\mu\text{m}$ ) zand voor in dunnere lagen (< 2 m dik). Het zand bevat schelpmateriaal. Het voorkomen van de zogenaamde oevervallen in Zeeland wordt aan het voorkomen van zulke zandpakketten gerelateerd;

- Zand van zogenaamde zandplaten dat voorkomt in lagen van 1 tot hooguit 3 m dikte en die een relatief grote uitgestrektheid hebben (honderden meters). Deze zandpakketten kunnen zeer ondiep voorkomen (1 m benden maaiveld). Het zand is in het algemeen fijn (< 210  $\mu\text{m}$ ). In de zandpakketten komen lokaal kleine kleilaagjes voor, regelmatig geconcentreerd in lagen.
- Getijdezand met veel kleine kleilaagjes komt algemeen in getijdeafzettingen voor. Het komt voor met name bij de hierboven genoemde afzettingen, maar ook als opvulling van kleinere getijdegeulen en als afzetting van getijdeplaten in minder door golfwerking beïnvloede gebieden. Het zand is in het algemeen uiterst tot zeer fijn (63-150  $\mu\text{m}$ ).

*Kustzanden* komen voor in een beperkte zone langs de huidige Noordzeekust, soms tot zo'n 10 km landinwaarts van de huidige kust. Kustzanden omvatten de volgende zandpakketten, te weten:

- Duinzand dat voorkomt boven hooguit 1.5 m - NAP bestaat uit homogeen middel zand. Het zand kan schelpmateriaal bevatten.
- Strandzand en in zee afgezet zand dat bestaat uit matig tot zeer grof (210 – 420  $\mu\text{m}$ ) zand in pakketten met grote uitgestrektheid en met een totale dikte die meer dan 10 m kan bedragen, maar soms ook slechts 2 m dik. Het zand bevat schelpmateriaal, soms aangerijkt in lagen van meer dan 0.1 m dikte en met een uitgestrektheid meer dan 100 m.

De verhouding tussen dikte en uitgestrektheid is relatief hoog (relatief dik dus) voor kleinere zandvoorkomens in vergelijking met die van de meeste andere soorten afzettingen in Nederland; met uitzondering van zandvoorkomens van getijdeplaten en delen van crevasses. Voor dunne zandintervallen (< 2 m) in boringen en sonderingen moet daarom nagegaan worden of deze niet een veel dikker zandlichaam representeren (dat bijvoorbeeld door de boring of sondering geschampt is). Als er voldoende waarnemingen van vergelijkbare zandlichamen in het gebied zijn kan daarmee een representatieve dikte geschat worden.

De verschillende hier genoemde zandsorten komen in sommige gebieden in combinaties voor. De combinatie van rivierzand naar getijdezand is bijvoorbeeld algemeen in het midden en westelijke deel van het benedenrivierengebied en in diepere zandvoorkomens in het westen. De combinatie van kustzanden en getijdezanden komt bij de huidige en voormalige zeegaten voor. De combinatie van Pleistoceen rivierzand en de Holocene variant ervan is in het oosten van het rivierengebied bijvoorbeeld veel voorkomend.

### 3 Verkenningstrategie

In dit hoofdstuk wordt een schets gegeven van de wijze waarop informatie verkregen kan worden over de eigenschappen van de ondergrond in verband met de grondwaterdrukken en het gedrag van het zand. De eigenschappen van de ondergrond betreffen:

- Voorkomen zandlichamen en geometrie;
- Interne opbouw zandlichamen in grovere en fijnere lagen;
- Eigenschappen van de zanden;

De lengte van een te toetsen dijkstrekking is vaak meer dan 10 kilometer. Van de ondergrond in en om zandvoorkomens is bekend dat er grote variatie over kleine afstanden kan optreden (significante verschillen over afstanden kleiner dan enige tientallen meters) terwijl het mechanisme piping kan worden beïnvloed door zeer lokale omstandigheden. Een fasering in de beoordeling, van globaal naar gedetailleerd, is daarom nodig en zorgt voor het noodzakelijke optimaliseren van de inspanningen door in een vroeg stadium onderscheid te kunnen maken in zones waar de lokale omstandigheden wel, respectievelijk niet nader bekeken moeten worden. Deze fasering betreft een verdeling van het verkennen en eventueel grondonderzoek in 3 stappen te weten een stap van een globale verkenning, een stap waarin de nader te onderzoeken zones worden vastgelegd samen met de lokale opbouw van het zandpakket en een stap met detailonderzoek naar de te gebruiken parameters voor de verschillende eigenschappen, terreinomstandigheden en de grondopbouw. Daarna moet in een vervolgfase het eventueel optreden van piping met de gegeven eigenschappen worden nagegaan en de consequenties daarvan.

Het globale overzicht dat in de 1<sup>ste</sup> stap wordt verkregen omvat de combinatie van mogelijk verhang over de breedte van de kering met het voorkomen en typeren van zandlichamen en de diepteligging ervan. De 2<sup>de</sup> stap, waarin mogelijk pipinggevoelige zones worden ingekaderd, omvat het begrenzen en het karakteriseren van de, mogelijk verschillende soorten, zandlichamen zodanig dat goede indruk van de waterdrukken in de ondergrond ten tijde van maatgevend hoogwater kan worden verkregen en van de aanwezige soorten zand. Na het vaststellen van de zones waar eventueel piping kan optreden, worden in een 3<sup>de</sup> stap één of meer schematiseringen van de ondergrond in detail opgesteld en worden de eigenschappen van de betreffende zandlichamen vastgesteld op basis van metingen. De informatie uit stap 3 voor een bepaalde locatie kan vaak ook direct ingezet worden voor het vaststellen van de karakteristieken van het zand van nabij gelegen locaties.

Voor de 1<sup>ste</sup> stap volstaat voor de ondergrond van het merendeel van de waterkeringen een overzicht in de vorm van reeds gecompileerde informatie in de vorm van geologische en aanverwante kaarten en de informatie in archief, en gegevens uit met name het DINO bestand (DINO TNO). Deze informatie dient zich niet tot het tracé van de waterkering te beperken maar ten minste een zone van 800 m aan weerszijden ervan te omvatten. Het verdient aanbeveling de archiefinformatie overzichtelijk en bij voorkeur in kaartvorm (GIS) te presenteren. Deze informatie geeft inzicht in strekkingen waar zand in de ondergrond aanwezig is, of kan zijn in het relevante dieptebereik. Het relevante dieptebereik wordt daarbij vastgesteld op basis van de locatiegegevens en een voorzichtige (hoge) aanname voor de doorlatendheid van de zandpakketten. De informatie dient tevens voldoende te zijn om de mogelijke typen grondopbouw in het betreffende gebied vast te stellen. Deze mogelijke typen grondopbouw moeten in acht genomen worden als ze mogelijk ongunstige omstandigheden

met zich mee brengen en als grondonderzoek bij de waterkering die typen grondopbouw niet kan uitsluiten. Alleen de zones waarin opbarsten, als voorloper van mogelijk piping, nagenoeg uitgesloten is worden niet in de volgende stappen beschouwd en alle overige zones worden individueel in stap 2 beschouwd.

In de 2<sup>de</sup> stap worden met lokaal grondonderzoek de begrenzingen en de aard van het zand van de zandlichamen in de ondergrond vastgesteld. De stap dient om de in stap 3 en verder te hanteren typen grondopbouw en laageigenschappen, grondopbouwscenario's, vast te kunnen stellen. Hiervoor is grondonderzoek of gecompileerd grondonderzoek (kaarten en geotechnische profielen en dergelijke) nodig met een dekking die het mogelijk maakt om met zekerheid de randen van een pipinggevoelig gebied binnen 100 m te begrenzen. Grondonderzoekgegevens tot een afstand van 200 m van de waterkering dragen hierin bij. In sommige gevallen is het nodig om hiervoor aanvullend grondonderzoek uit te voeren. De aard van het zand en van de lokale variatie ervan kan worden bepaald aan de hand van de conusweerstand en boorstaten. Het is goed mogelijk dat veel van de informatie en bevindingen over een zone eveneens van toepassing is op nabijgelegen zones waar piping niet uitgesloten is. Het is in dat geval wel zaak na te gaan of er geen structurele verschillen in de aard van de zandlichamen bestaan tussen die zones, hetgeen uit bijvoorbeeld de patronen in sondeerstaten kan blijken.

De 3<sup>de</sup> stap betreft het verzamelen van informatie voor het feitelijk vaststellen van de mogelijkheid van optreden van piping op een locatie. In deze stap wordt de informatie (materiaal- en geometrie-parameterwaarden) vastgesteld voor het uitvoeren van berekeningen voor piping en gerelateerde schadeontwikkeling. Er dient voldoende lokaal grondonderzoek aanwezig te zijn om de lokale variatie in de ondergrond zodanig vast te stellen dat er voor de locatie één of meerdere voorzichtige, maar wel realistische, schematisaties van de grondopbouw gemaakt kunnen worden. Eveneens dient de aard van het betreffende zand, korrelgrootte en pakking, met voldoende zekerheid vastgelegd te kunnen worden. Voor het vaststellen van een geschikte voldoende voorzichtige schematisatie is inzicht in de lokale variatie nodig. Deels kan dat inzicht uit de aard van het zandvoorkomen worden verkregen. In veel gevallen is het nodig dat er voldoende grondonderzoek in het betreffende zandvoorkomen aanwezig is. In deze stap worden ook de typen grondopbouw beschouwd die als mogelijk ongunstig naar voren zijn gekomen in stap 1 en waarvan het voorkomen onder de waterkering niet met voldoende zekerheid kan worden uitgesloten met het beschikbare, of in te zetten, grondonderzoek bij de waterkering zelf.

Samengevat zijn de stappen als volgt:

- (i) het verkrijgen van een globaal overzicht van zones waar piping mogelijk aan de orde is
- (ii) het begrenzen van de zones waar piping mogelijk aan de orde is en globale karakterisering van de aard van het zand,
- (iii) het vaststellen van de parameters over opbouw van de ondergrond en de eigenschappen van de betreffende grondlagen.

In hoofdstuk 4 wordt nader op deze werkwijze en de activiteiten per stap ingegaan. De paragraaf 4.3 geeft een overzicht van gegevensbronnen voor de verschillende stappen.

## 4 Procedures

### 4.1 Stappen in het verkennen

De hier gespecificeerde stappen zijn erop gericht (i) een voldoende gedetailleerde karakterisering van de geohydrologische omstandigheden met betrekking tot piping te verkrijgen, voor alle in het gebied mogelijk voorkomende omstandigheden en op (ii) de relevante karakteristieken van het betreffende zand. Voorgesteld wordt om verkenning voor het vaststellen van locaties waar piping tot falen kan leiden in stappen met toenemende detaillering uit te voeren zoals in hoofdstuk 3 geschetst. Te beginnen met (i) het verkrijgen van een globaal overzicht van zones waar piping mogelijk aan de orde is, (ii) het begrenzen van de zones waar piping mogelijk aan de orde is en globale karakterisering van de aard van het zand, (iii) het vaststellen van de parameters over opbouw van de ondergrond en de eigenschappen van de betreffende grondlagen. Ten slotte wordt met de door SBW ontwikkelde aangepaste toetsregels vastgesteld of piping op de locaties daadwerkelijk op kan treden gegeven deze grondeigenschappen en de informatie over waterstanden en de relevante elementen van de geometrie en omgeving van de waterkering.

#### 4.1.1 Stap 1, Globaal overzicht

Het doel van de stap is zones te identificeren waar piping wel en waar het niet aan de orde kan zijn. Het uitvoeren van deze stap is, op grond van ervaring relevant voor strekking > 2 km. De stap behelst het vaststellen waar er zand in de ondergrond voorkomt op een diepte waar opbarsten kan optreden, gegeven de globale maatgevende buitenwaterstand en de breedte van de waterkering. De onderdelen van deze stap zijn:

- Verzamelen gegevens. Er dienen voor een gebied van minstens 5 km<sup>2</sup> ten minste 6 boringen en of sonderingen per km<sup>2</sup> te zijn (en minstens 8 per km<sup>2</sup> met inbegrip van grondonderzoek bij de waterkering) tot voldoende diepte en voldoende goed verspreid over het gebied aanwezig (voorlopige aannamen). Als er minder dan deze hoeveelheid boringen en sonderingen zijn, is overleg met aantoonbaar ter zake deskundigen nodig, zie hieronder, dan wel aanvullend grondonderzoek. De voor deze stap 1 in te zetten gegevens en informatie betreft:
  - o Archiefgegevens in de omgeving van de waterkering tot 800 m afstand, waar beschikbaar in de vorm van kaarten en geotechnische profielen;
  - o Locale ervaring met grondwerken;
  - o DINO (DINO TNO) boor- en sondeergegevens met einddiepte > 8 m –mv tot een afstand van 500 - 800 m van de waterkering;
  - o AHN bestand van de omgeving tot 500 – 800 m van de waterkering eventueel met locale LIDAR (Flymap) gegevens van de omgeving van de waterkering (deze informatie kan samen met een corresponderende analyse van boor- en sondeerstaten aangeven waar zandvoorkomens aanwezig zijn, meestal beperkt tot niet bebouwd gebied en tot een diepte van 3 – 5 m – mv in kleiveengebieden);
  - o Zandbanenkaart voor het rivierengebied van de Universiteit van Utrecht (Berendsen en Stouthamer 1995) indien van toepassing voor het gebied;
  - o Geologische kaarten 1:50.000 (Rijks Geologische Dienst, Deltares BGS) van het gebied indien beschikbaar.
- Overzichtelijk maken van de informatie (is afhankelijk van de beschikbare middelen, verwerken in een GIS heeft voordelen) en globale analyse:
  - o Vaststellen en aangeven van de diepteligging van zandlagen in zones (indien de bovenkant van de zandvoorkomens niet dieper dan 12 m ligt) op basis van boor- en sondeerstaten (indien voor archivering en verslaglegging gewenst

per boor-sondeerpunt aanwezigheid en diepte en dikte aangegeven). Let wel, elk voorkomen (vermelding) van zand is hierbij van belang, ongeacht de dikte ervan.

- o Indien te weinig boringen en sonderingen in het gebied of delen ervan beschikbaar zijn is overleg met aantoonbaar ter zake deskundigen nodig voor het vaststellen van de voorkomen en diepteligging van zandvoorkomens;
- o Vaststellen waar opbarsten kan optreden. Voor de zones waar gezien de diepteligging en de ligging ten opzichte van de waterkering mogelijk piping kan optreden, wordt met de eenvoudige procedure nagegaan of opbarsten kan optreden, uitgaande van respectievelijk:
  - de ligging van de bovenkant van zandvoorkomens
  - de dikte en dominante grondsoort van de het zand afdekkende laag onderscheiden naar hoofdzakelijk veen, hoofdzakelijk klei of een keuze voor een representatieve verhouding tussen klei en veen (bijvoorbeeld 50 % van elk)
  - doorlatendheid van het zand van  $3 \times 10^{-4}$  m/s
  - een oneindig dik zandpakket.

Mogelijk kan op basis van in archief beschikbare peilbuismetingen voor één of meer bepaalde liggingen van zand in de zone de mogelijk opbarstpotentiaal nagegaan worden.

- o Vaststellen van de ruimtelijke continuïteit van de zandvoorkomens. Het voorkomen van zand in de zones waar opbarsten kan optreden onderscheiden naar zones waar zand respectievelijk:
  - algemeen is aangetroffen in de meerderheid van de waarnemingen
  - sporadisch is aangetroffen in een enkele of een paar waarnemingen.
 Het wordt aanbevolen om zones waar zandvoorkomens in het bedoelde dieptebereik niet voorkomen dan wel zeker niet verwacht worden eveneens aan te geven.
- o Vaststellen of zandvoorkomens in bedoeld dieptebereik inderdaad bij en onder de waterkering kunnen voorkomen in de onderscheiden zones, en wel: (i) Vaststellen aan de hand van ligging van zandwaarnemingen bij de waterkering, (ii) eventuele trends in de ligging van voorkomens die wijzen op voorkomen bij de waterkering, (iii) eventueel willekeurig patroon van aantreffen van zand waardoor zand bij de waterkering niet kan worden uitgesloten.

Indien er meerdere relevante diepte niveaus van de bovenkant van zandvoorkomens zijn dient per niveau de vaststelling plaats te vinden.

- Verslaglegging en vervolgstappen:

- o Vaststellen van de zonering op schrift (kaart en eventueel GIS). Eventueel worden voor onduidelijke zones de bevindingen overlegd met ter zake deskundigen, eventueel in samenhang met de volgende stap. Het vaststellen betreft zones van eventuele aanwezigheid van zandvoorkomens met inbegrip van de globale diepteligging van de bovenkant van het zand en de aard van het voorkomen met betrekking tot ruimtelijke continuïteit. Zones dienen met hoge zekerheid onderscheiden te worden, hetgeen; meestal een marge van 100 – 300 m in de begrenzing met zich meebrengt.
- o Vaststellen van de typerende maximale dikte van de zandvoorkomens;
- o Vaststellen van zones die nadere aandacht behoeven in de meer gedetailleerde analyse;
- o Vaststellen van typen opbouw in het gebied die ongunstig zijn met betrekking tot piping, maar die niet in de directe omgeving van de waterkering zijn

aangetroffen, maar waarvoor er ook geen aanwijzingen zijn dat deze daar uitgesloten kunnen worden.

Het is mogelijk dat er in deze stap geen zones aangetroffen worden waarin piping zou kunnen optreden in de beschouwde strekking en dat nergens in de beschouwde strekking nader onderzoek nodig is.

#### 4.1.2 Stap 2, Begrenzen zones met mogelijk piping en vaststellen aard zandvoorkomens

Het doel van deze stap is het vaststellen van de begrenzing binnen 100 m van zones waar mogelijk piping kan optreden en het karakteriseren van de grondopbouw, gericht op de geohydrologie, typen pakking en de mogelijke soorten zand aan de top van het zand. Een groot deel van de activiteiten in deze stap wordt samen met die in de volgende stap, stap 3, thans al gevolgd bij het beoordelen van het mogelijk optreden van piping, zij het zonder dat daar momenteel eenduidige specificaties beschikbaar voor zijn.

De onderdelen van de stap zijn:

- Verzamelen gegevens. Er dienen grondonderzoekgegevens in de vorm van boorsondeerstaten te zijn in een zone van 200 m aan weerszijden van de dijk en de er dienen ten minste 8 regelmatig over de strekking gespreide waarnemingen per km strekking aanwezig te zijn. Gegevens dienen ten minste sondeer- en boorstaten te omvatten en kunnen ontleend worden aan:
  - o Bestaand archief grondonderzoek langs de dijk in de in stap 1 aangegeven zone;
  - o DINO en andere archiefgegevens uit de directe omgeving tot ongeveer 200 m van de dijk;
  - o Zonodig uitvoeren van aanvullend grondonderzoek, in verreweg de meest gevallen in de vorm van sonderingen en boringen, maar plaatselijk kan geofysisch onderzoek kosteneffectief zijn;
  - o Aanwijzingen uit AHN en LIDAR (Flymap) bestanden
  - o Locale bepaling van doorlatendheid of afleidingen uit systematische peilbuiswaarnemingen.
  - o Terreinwaarnemingen van zand aan het terreinoppervlak
  - o Aanwijzingen voor kwel in de omgeving van de dijk.
- Analyseren gegevens
  - o Op basis van grondonderzoek vaststellen waar zand in de ondergrond in de directe nabijheid van de waterkering is aangetroffen en begrenzen van de strekkingen waar ten minste 1 waarneming op zand in de ondergrond wijst, indien naastgelegen waarnemingen zand aantonen wordt aangenomen dat het één zandlichaam betreft;
  - o Vaststellen of er systematische verticale variatie in de sondeer- en boorstaten bestaat waarmee verticaal zandeenheden onderscheiden kunnen worden. Met name wordt gelet op systematische, in meerdere boor- sondeerstaten herkende verschillen in (i) absolute conusweerstand of korrelgrootteklasse van diepte-intervallen > 2 m dik, (ii) verschillen in patroon van conusweerstand of korrelgrootteklasse over zulke diepte-intervallen. In veel gevallen kan het vergelijken van sondeerstaten van meerdere zones het identificeren van systematische variatie ondersteunen en is het mogelijk de patronen in de sondeerwaarden in meerdere zones te herkennen;
  - o Vaststellen hoe de onderscheiden zandpakketten liggen ten opzichte van de strekking van de waterkering en het voorland ervan (kruisen van de strekking van de waterkering, ligging ten opzichte van de teen) en het vaststellen of

- wellicht zandpakketten die op verschillende diepte gelegen zijn elkaar in de omgeving van de waterkering kruisen en het vaststellen van de dikte van de voorkomens waarbij vooral de bevindingen in stap 1 belangrijk zijn;
- Vaststellen pakkingsdichtheid op basis van correlatie van conusweerstand met de Relatieve Dichtheid (onder andere Baldi 1987) voor de aangetroffen eenheden;
  - Vaststellen welke typen zand in de top van het zandpakket aanwezig zijn of kunnen zijn (zie hierboven);
  - Schatting van de (specifieke) doorlatendheid op basis van de karakteristieken van het zand en eventuele directe bepalingen ervan voor elk van de onderscheiden zandpakketten.
- Vastleggen bevindingen
- Vaststellen begrenzing van de zone
  - Vaststellen globale ligging van de zandpakketten ten opzichte van de waterkering;
  - Vastleggen onderscheiden zandpakketten, dikte van de zandvoorkomens en eventuele verticale opbouw van pakketten;
  - Vastleggen eigenschappen van de pakketten zoals bepaald in deze fase. Voor de kleine zandlichamen volstaat het uit te gaan van één homogeen geacht zandpakket. Voor gebieden waar veel zand in de ondergrond voorkomt in het relevante dieptebereik moet vastgesteld worden of de variatie in het zand moet worden onderscheiden in pakketten of dat er van een geheel wordt uitgegaan met daarvoor representatief geachte omstandigheden

De informatie van deze Stap 2 wordt gebruikt om de mogelijke typen opbouw van de ondergrond te identificeren met de daarbij behorende materiaaleigenschappen waarvoor in de volgende stap, Stap 3, de definitieve schematisaties worden vastgesteld.

#### 4.1.3 Stap 3, Grondschematisaties in zone met mogelijk piping:

Deze stap betreft het verkrijgen en vastleggen van de gegevens voor het feitelijk vaststellen van de mogelijkheid van optreden van piping op een locatie. De uitvoering van deze stap hangt af van de aard van de zandpakketten zoals in het globaal overzicht is vastgesteld.

- Verzamelen gegevens:
  - Locaal grondonderzoek (binnen 50 m van de waterkering)
  - Aanvullend grondonderzoek indien:
    - ongunstige omstandigheden die uit stap 1 zijn gebleken niet met zekerheid uitgesloten kunnen worden in de directe omgeving van de waterkering en er aanvullende beperking van de onzekerheid daarover nodig geacht wordt;
    - onzekerheid over eigenschappen en ligging van zandpakketten te groot is met het oog op de consequenties volgend uit de analyse van het optreden van piping.
- Schematiseren grondopbouw en eigenschappen van het zand voor één of meerdere typen grondopbouw, scenario's, die in de zone kunnen voorkomen (NB er wordt hierbij geanticipeerd op de ontwikkelingen van de toetsregel elders in SBW verband):
  - doorlatendheidsverdeling in de ondergrond (welke zandtypen, korrelgroottes, laagdiktes uit sonderingen en boringen);
  - pakking (sondeerstaten en correlaties), met name vaststellen van het eventueel voorkomen van lagen met respectievelijk



- RD < 35% met een dikte > 0.5 m, en met laterale afmetingen > 50 x 50 m<sup>2</sup> bij en onder de teen van de waterkering en
- RD < 65% met een dikte > ca. 1 m gelegen aan de bovenkant van het watervoerende pakket;
- Zandkarakteristieken voor de bovenkant van het zand. Er kunnen één of meerdere zandkarakteristieken vastgesteld worden, waaronder tenminste de feitelijk aangetroffen, of op grond van overwegingen vastgestelde mogelijk ongunstigste;

## 4.2 Parameterschattingen en bepalingen

### 4.2.1 Specifieke doorlatendheid

De specifieke doorlatendheid is afhankelijk van de schaal van beschouwen. Voor het vaststellen van de specifieke doorlatendheid relevant voor piping wordt ervan uitgegaan dat variaties van specifieke doorlatendheid over verticale afmetingen < 3 m en laterale afmetingen < 50 m gehomogeniseerd moeten worden om een schatting van de pakketdoorlatendheid te verkrijgen. Met deze aanname kan de specifieke doorlatendheid van zandpakketten voor elk van de 3 stappen als volgt worden vastgesteld.

Stap 1: Het volstaat om een defaultwaarde van  $3 \times 10^{-4}$  m/s aan te houden voor al het aangetroffen zand voor de opbarstberekningen.

Stap 2: Voor de verschillende aangetroffen soorten zand kan de specifieke doorlatendheid vastgesteld worden op basis van eventueel beschikbare korrelgrootteklasse in boorstaten, of eventueel beschikbare korrelgrootteverdelingen met correlatie met  $d_{10}$ ,  $d_{60}$  en lutumgehalte.

Voor de korrelgrootteverdelingklasse volgens NEN 5104 geldt (voorlopige aannamen):

Rivierzand in het rivierengebied:

- fijn zand  $8 \times 10^{-5}$  m/s
- fijn - middel en middel zand  $3 \times 10^{-4}$  m/s
- middel – grof en grof zand  $8 \times 10^{-4}$  m/s

Getijdegeulzand in getijdegebieden

- fijn zand  $4 \times 10^{-5}$  m/s
- fijn - middel en middel zand  $1 \times 10^{-4}$  m/s
- middel – grof en grof zand  $6 \times 10^{-4}$  m/s

Kustzand

- fijn zand  $4 \times 10^{-5}$  m/s
- fijn - middel en middel zand  $4 \times 10^{-4}$  m/s
- middel – grof en grof zand  $8 \times 10^{-4}$  m/s

Stap 3: De doorlatendheid van de zandpakketten wordt bepaald met:

- de korrelgrootteverdeling van monsters uit de aangetroffen pakketten
- metingen van doorlatendheid in archief, waarbij de overeenkomst tussen de aangetroffen zandsoort en de bemeten zandsoort door ter zake deskundigen wordt vastgesteld
- een pompproefbepaling kan in uitzonderlijke gevallen nodig zijn.

### 4.2.2 Korrelgrootteverdeling

De korrelgrootte wordt gebruikt om de korrelkarakteristieken van het zand voor de vorming van kanalen onder de waterkering na te gaan en voor het schatten van de specifieke

doorlatendheid van zandpakketten. Vanwege respectievelijk de grote variatie in korrelgrootte over afstanden van 0.1 tot 2 m, de wijze waarop de korrelgrootte-informatie is gebruikt voor het opstellen van correlaties met doorlatendheid en ten slotte de in proefopstellingen waargenomen invloed van korrelgroottevariatie op de vorming van kanaaltjes, dienen de korrelgrootteverdelingen bepaald te zijn op monsters over een diepte-interval < 0.2 m en een volume > 100 cc.

Vaststellen van de korrelgrootteverdeling van zandpakketten voor elk van de 3 stappen kan als volgt:

Stap 1: Op basis van:

- De globale beschrijvingen van de korrelgrootteverdeling beschikbaar in de toelichtingen op de geologische kaarten 1:50.000;
- Korrelgrootteklasse opgegeven in de boorstaten van de DINO database
- In archief beschikbare gegevens;
- Locale ervaringen (met name met grond- en funderingswerken in het gebied).

Stap 2: Op basis van:

- Aanwezig lokaal grondonderzoek waarbij voor elk van de onderscheiden zand eenheden de korrelgrootte ten minste 2 x bepaald moet zijn;
- Korrelgrootteklasse in boorstaten, waarbij elke onderscheiden zandlaag tenminste in 2 boorbeschrijvingen door een ter zake deskundige moet zijn aangegeven;
- Een eventueel voor een groter gebied op te stellen correlatie van korrelgroottekenmerken met sondeergegevens, gebaseerd op gegevens van in sondeerwaarden herkende zandlagen.

Stap 3: Op basis van:

- Korrelgrootteverdeling van lokaal grondonderzoek (archief of uit te voeren) voor elke van de onderscheiden zandeenheden, waarbij voor elke zandeenheid ten minste 2 korrelgrootteverdelingen bepaald zijn en voor de eenheden die aan de top van het zand zijn onderscheiden tenminste 3 bepalingen aanwezig moeten zijn. Opgemerkt wordt dat ervan wordt uitgegaan dat de zandeenheden systematische variatie in de zone vertonen. Voor overeenkomstige zandeenheden kunnen gegevens van nabij gelegen locaties die in stap 3 worden onderzocht gebruikt worden.

#### 4.2.3 Relatieve Dichtheid

Stap 2 en 3: Op basis van correlatie met de conusweerstand (onder ander Baldi 1987)

De representatieve Relatieve Dichtheid van een eenheid wordt vastgesteld met de 80<sup>ste</sup> percentiel van de Relatieve Dichtheid die voor alle van de 2 dan wel 10 cm meetpunten van de conusweerstand in een diepte-interval van 0.5 m wordt bepaald; deze waarde kan voor een glijdend diepte-interval worden vastgesteld.

### 4.3 Gegevens- en informatiebronnen

Informatie en gegevens over grondopbouw in archief of in gecompileerde vorm (kaarten, profielen, overzichten) zijn beschikbaar voor grote delen van Nederland. De gegevens en informatie zijn in verschillende vormen beschikbaar, genoemd worden:

Gebied (voor overzicht en voor indicaties voor gebieden > 4 x 4 km<sup>2</sup>):

- Locale ervaringen
- Geologische kaarten 1:50.000
- Topintegraal (Deltares BGS)

- Overzichten uit DINO (specifieke GIS- weergave)
- Zandbanenkaart Universiteit van Utrecht (Berendsen en Stouthamer)
- AHN (met locale LIDAR, Flymap) voor zandbanen in de bovenste 5 m in veen-  
kleigebieden

Strekkingen (1 km lengteschaal):

- Overzichten uit DINO (specifieke GIS- weergave en dwarsprofielen)
- In archief beschikbaar grondonderzoek en bestaande overzichten van lokaal  
grondonderzoek zoals geotechnische profielen
- Zandbanenkaart Universiteit van Utrecht (Berendsen en Stouthamer)
- AHN (met locale LIDAR, Flymap) voor zandbanen in de bovenste 5 m in veen-  
kleigebieden
- Geklassificeerde DINO gegevens (VNK II bestanden)

Locaties (<100 m schaal):

- DINO boringen en sonderingen
- Locale archiefgegevens boringen en sonderingen
- AHN (met locale LIDAR, Flymap) voor zandbanen in de bovenste 5 m in veen-  
kleigebieden

## 5 Concluderende opmerkingen

In dit rapport wordt een procedure beschreven voor het opstellen van schematisaties van de ondergrond, met inbegrip van het vaststellen van parameterwaarden, ten behoeve van het evalueren van het optreden van piping bij waterkeringen in Nederland. Momenteel is het onderzoek naar het mechanisme piping bij waterkeringen nog niet zodanig is gevorderd dat definitieve omstandigheden en parameterwaarden voldoende bekend zijn. De hier omschreven procedure is daarom gericht op het kunnen vaststellen van de eigenschappen van de ondergrond die voor de relevante componenten van het mechanisme belang zijn.

In de procedure wordt in aanvulling op de thans gebruikelijke werkwijzen, aandacht besteed aan het vaststellen van de aard en verbreiding van zandvoorkomens in de ondergrond in een wat groter gebied. Deze stap is toegevoegd om efficiënt tot de voor het mechanisme benodigde detaillering te kunnen komen op locaties waar piping kan optreden en om deze locaties inderdaad met voldoende zekerheid alle op te sporen. Deze stap verschaft tevens informatie om relevante aspecten van de feitelijk 3 dimensionale aard van de invloeden op de voor piping relevante locale geohydrologie te kunnen nagaan.

De beschreven procedure omvat 3 stappen waarin in toenemend detail de omstandigheden bij de waterkering worden vastgesteld. De 1<sup>ste</sup> stap, Stap 1, betreft het verkrijgen van een globaal overzicht van zones waar piping mogelijk aan de orde is. De Stap 2 betreft het begrenzen van de zones waar piping mogelijk aan de orde is en karakterisering van de aard van het zand. De Stap 3 betreft het vaststellen van de parameters over opbouw van de ondergrond en de eigenschappen van de betreffende grondlagen. De stappen 2 en 3 komen overeen met veel van de huidige praktijk bij het toetsen, maar waarvoor momenteel nog weinig bruikbare eenduidige richtlijnen beschikbaar zijn.

### 5.1 Aanbevelingen voor afstemming met ander grondonderzoek en nadere specificaties

Het wordt aanbevolen om na te gaan of er optimalisaties in de procedure mogelijk zijn zodra de invloeden op het mechanisme en de vereiste parameterwaarden voor zandvoorkomens zijn vastgesteld.

Het is mogelijk en efficiënt om het vaststellen van het voorkomen en de aard van zand in de ondergrond (opbouw en eigenschappen, met inbegrip van de locale variatie) voor grotere gebieden tegelijk uit te voeren. Deze informatie over een gebied wordt dan, zoals in de procedure beschreven, gebruikt om lokaal grondonderzoek gericht in te kunnen zetten en te optimaliseren. Het wordt daarom aanbevolen deze inventarisatie waarin de beschikbare gegevens en informatie systematisch wordt ingezet met ter zake deskundigen (ondergrondopbouw en geotechniek) uit te voeren. De resultaten van een dergelijke inventarisatie kunnen op een voor de toepassing geschikte wijze (bijvoorbeeld GIS) aangeleverd worden en zijn breder inzetbaar.