

## Lekmanagement bij de aanleg van bouwputten

Lezing mini-symposium in het kader van het 75 jarig jubileum GeoDelft  
Delft, 30 maart 2004

Ir. B.J. Admiraal, VWS Geotechniek bv, Woerden.

### Algemeen

Bij het ontwerpen, begroten en uitvoeren van bouwputten is het beheersen van lekkages een belangrijk aspect. Maar omdat het een indirect effect betreft, blijft het helaas vaak onderbelicht of wordt zelfs vergeten. In ons waterige Nederland kunnen de gevolgen dan aanzienlijk zijn.

In deze lezing richt ik mij vanzelfsprekend op de situatie dat de te bouwen constructie zich onder grondwaterniveau bevindt. Bij het ontwerpen van bouwputten zullen er rondom voorzieningen getroffen moeten worden t.b.v. grond- en waterkering. Indien grondwaterverlaging in de omgeving niet mogelijk is, zal ook de onderzijde van de bouwput waterremmend moeten zijn.

In deze lezing wordt voornamelijk aandacht gegeven aan de technische aspecten, die van invloed zijn op de grote van lekkages en het optreden van incidenten, waardoor de kans op "gaten" in de constructie groter wordt.

Er is onderscheid gemaakt in gebruikelijke technieken voor het vervaardigen van wanden en technieken om een onderafdichting te verzorgen voor een bouwput.

### Ontwerp- en uitvoeringsdetails wandconstructies

De aannemer is verantwoordelijk voor de uitvoering van het product. Hij zal dus extra maatregelen moeten nemen of moeten voorstellen in het geval er problemen kunnen worden verwacht. De opdrachtgever of haar adviseur zal dus over deskundigheid moeten bezitten, niet alleen om e.e.a. te kunnen beoordelen, maar vooral om vooraf risico's te kunnen inschatten. Men moet dus bekend zijn wat mogelijk is en wat niet.

### Damwanden en combi-wanden

De Nederlandse grond is in de regel uiterst geschikt voor de toepassing van damwanden en combiwanden. Hieronder volgt een overzicht welke aspecten bekeken en welke extra maatregelen genomen kunnen worden:

1. locatieonderzoek historisch en evt. proefsleuven (obstakels)
2. grondonderzoek
3. gebruik tabellen Schadevrij installeren van stalen damwand in Nederland (NVAF) [1] of uitvoeren intrilanalyse: evt. aanpassen trilblok en planktype
4. kwaliteit staal > St355
5. bij zwaar trillen: gebruik geleiding m.b.v. een makelaarstelling
6. bij evt. naheien om op diepte te krijgen; risico voor beschadigingen ondergronds!
7. voor verminderen wandwrijving voorboren (evt. C/B voor slotafdichting) of fluïderen
8. slotgeleiders (bij grotere vervormingen negatief effect!)
9. slotverklikker, alleen op bijzondere locaties: waar problemen bij primaire planken zijn opgetreden, bij diepe combiwanden of daar waar problemen worden verwacht (aansluitingen, wigplanken etc.)  
Goede registratie dus zeer belangrijk.
10. evt. vulmiddelen in de sloten
11. lassen fabrieksslotten, dit vermindert echter wel de flexibiliteit. M.n. bij tussenplanken kan dit nadelig werken.

Let op positie las i.v.m. werking verticale drainage!  
12. lassen van de hei-sloten, over de hoogte van de ontgraving.

Opmerkingen m.b.t. diverse typen slotverklidders:

1. mechanisch in geheide plank: voorziening met volgkoord onder aan de reeds geheide plank, die losbreekt als de volgplank op diepte komt. Dit geeft risico op vroegtijdig losbreken of dat het lostrekken van het volgkoord zeer zwaar gaat. Dit geeft kans op breuk en daarmee ARBO risico's in de uitvoering.
2. mechanisch in volgplank: Door de volgplank wordt een losstuk slotprofiel met volgkoord naar beneden gedrukt. Er is echter risico op vastwippen (zand vloeit niet in het verklidderslot), waardoor plank juist uit het slot loopt.
3. elektronisch met naderingsschakelaar: werkt in principe wel goed. Kleine risico's op kostsluiting (wel met testen na te gaan) of bij extreme slotvervorming (omkrullen) wordt geen verandering gemeten.

Voor de berekening van lekkagedebieten door damwandsloten is door o.a. Arbed een en ander gepubliceerd [2].

#### Palenwanden en diepwanden:

Kenmerkend hiervan is dat deze trillingsvrij worden aangebracht en de elementen in de grond worden gevormd. Het zijn dus losse elementen, die tegen elkaar aanstaan. De verbinding onderling is dus een ongewapende stortvoeg.

Met betrekking tot mogelijke lekkages zijn belangrijke aspecten:

1. extra aandacht voor aanwezigheid van zeer samendrukbare lagen.
2. maatvoering op maaiveld.
3. controle verloop of hellingmeting van boor- c.q. graafwerktuig.
4. controle goede vulling met beton

Met deze aandacht kunnen er goed resultaten worden gehaald. Een waterdichte wand is met deze systemen echter niet realiseerbaar. Beweging in de wand, bijvoorbeeld door ontgraving maar ook krimp als gevolg van temperatuurswisseling leiden t.p.v. de voegen nogal eens tot lekkages. Lekkages in de vorm van stroming van water zijn boven het ontgravingniveau waarneembaar en dicht te injecteren. Vochtdoorslag is echter zeer moeilijk tegen te gaan.

#### Ontwerp- en uitvoeringsdetails onderafdichting

Wanden komen na ontgraving voor een deel in zicht. Hier aanwezige lekkages vallen dus altijd op. Toch worden de meeste problemen met lekkages veroorzaakt door inhomogeniteiten in de onderafdichting.

Soms blijft het probleem beperkt tot een bemalingsdebiet, die groter blijkt te zijn dan vooraf aangenomen. Welvorming, zeker in combinatie met zandtransport, of opbarsten van putbodem zijn veel ernstige problemen.

Als onderafdichting kennen we de volgende afdichtingen:

1. natuurlijke waterremmende lagen  
Als bijvoorbeeld een klei- of veenlaag aanwezig is, kan deze uitstekend worden gebruikt als bodemafdichting. Eerste voorwaarde is vanzelfsprekend dat de laag voldoende diep moet liggen om het gevaar van opbarsten tegen te gaan. Tweede voorwaarde is dat de laag voldoende homogeen moet zijn, zonder zandige onderbrekingen. Bij dunne waterremmende lagen, maar soms ook bij dikke waterremmende pakketten blijkt dit zo nu en dan de oorzaak van aanzienlijke

problemen te zijn. Goed grondonderzoek en kennis van de geologische geschiedenis is belangrijk om dit risico te reduceren. Bij twijfel of als de eventuele risico's zeer groot zijn, is het uitvoeren van een pompproof of geofysisch onderzoek zeer zinvol.

## 2. onderwaterbeton

Als een natuurlijke homogene waterremmende laag ontbreekt of niet op een geschikte diepte ligt, het toepassen van onderwaterbeton de meest gebruikelijke methode om een bodemafdichting te krijgen. In Nederland is zeer veel ervaring met deze toepassing. Toch gaat het niet altijd goed.

Belangrijke oorzaken van problemen zijn:

- onvoldoende verwijderen van slib van de bodem
- slecht schoonmaken van de damwandkassen
- niet of onvoldoende aanbrengen van een stabilisatie- / uitvullaag
- betonsamenstelling niet goed afgestemd op bouwplanning

Het is echter de vraag of het zinvol is om uit te gaan dat de betonlaag waterdicht is. Onder de aanname dat beton kan scheuren, kan een geringe waterstroming worden geaccepteerd. De scheuren moeten natuurlijk wel zo klein zijn dat de toestroming van water te beheersen is en dat er geen grond vanonder de betonlaag meestroomt.

## 3. bodeminjectie

Ook dit is een beproefde methode. In sommige gevallen is het niet mogelijk om onderwaterbeton toe te passen of is de toepassing van een injectielaag economisch interessanter.

Voor injectielagen wordt bij de meeste projecten een zgn. soft-gel gebruikt. Dit injectiemiddel is samengesteld uit ca. 15% waterglas, ca. 2% natrium-aluminaat of calcium-carbonaat en ca. 83% water. Bij dit mengsel is de reactie-tijd tot enige uren uit te stellen, zodat relatief grote injectielichamen zijn te maken. Daardoor is het mogelijk om de injectie-elementen tot ca. 1,3 m uit elkaar te plaatsen.

Aandachtspunten zijn:

- plaatsingsnauwkeurigheid (maatvoering en boorafwijkingen)
- controle meng- en injectieproces
- doorlatendheid grond

Een beperking van de techniek is dat het alleen toepasbaar is in goed doorlatende grondsoorten ( $k \leq 5 \cdot 10^{-5}$  m/s). Verder is het materiaal niet duurzaam. In het algemeen wordt een gebruikperiode van maximaal 2 jaar aangehouden.

In o.a. Duitsland is in zandgronden ultrafijn gemalen cement toegepast als injectiemateriaal op een aantal projecten. De resultaten hiervan zijn echter wisselend. Bij het injecteren van suspensies zijn er bijkomende effecten als sedimentatie en filterwerking. Er is meer onderzoek noodzakelijk om de toepassing van deze cementsoort in fijnkorrelig zand te kunnen beheersen.

## 4. jetgroutlagen

Jetgroutlagen kunnen op dezelfde wijze worden toegepast als injectielagen, nl. aanbrengen op het niveau van verticaal evenwicht. Bij jetgrouten speelt de doorlatendheid van de grond slechts een kleine rol. De overige 2 aspecten, resp. plaatsingsnauwkeurigheid en procescontrole, des te meer. Bij injecteren is er een grotere tolerantie t.o.v. plaatsafwijkingen, doordat bij overlap van injectielichamen het injectiemateriaal naar nog vrije porieruimte zal stromen. Bij jetgrouten is dit bijkomende effect niet aanwezig. De lengte van de jetgroutstraal bepaalt het maximale bereik.

Doordat bij jetgrouten een cementgebonden product wordt toegepast en de behandelde grond grotere sterkte-eigenschappen krijgt, kan een dergelijke laag ook op een hoger niveau dan het evenwichtsniveau worden toegepast.

Het voordeel is dat de laag dan ook als stempel tussen de wanden kan functioneren. Vanzelfsprekend moet het verticale evenwicht dan wel worden verzekerd, bijv. door de toepassing van trekpalen. Op een aantal projecten heeft men op pijnlijke wijze moeten ervaren dat een te hooggelegen jetgroutlaag tot een andersoortige lekprobleem kan leiden. De gemiddelde waterremmendheid voldoet dan wel aan de ontwerpuitgangspunten, maar kleine lekken kunnen leiden tot welvorming en hydraulische grondbreuk. Het is dus zaak dat er voldoende gronddekking behouden blijft met voldoende drainage om het lekwater beheerst te kunnen afvoeren.

#### 5. folieconstructies

Een kunststoffolie is een van de weinige materialen die we echt waterdicht kunnen noemen. M.n. bij de aansluitingen geven dergelijke constructie in de gebruiksfase nogal eens problemen. Dit kan worden veroorzaakt door een slechte verbinding bij de aansluiting of dat zettingen op den duur een zodanige vervorming geeft dat de treksterkte van de folie wordt overschreden. Reparatie is op dat moment alleen mogelijk door het opnieuw plaatsen van een tijdelijke bemaling en vrijgraven van de folie. Door vooraf lekdetectie uit te voeren kan wel de locatie van deze werkzaamheden worden beperkt.

Een publicatie van ervaringen uit Berlijn [3] geeft een aardig vergelijk van de hierboven genoemde technieken. Tussen 1993 en 2000 zijn in Berlijn meer dan 100 bouwputten uitgevoerd. Door instanties, verantwoordelijk voor de beheer van het grondwater, wordt de volgende eis gesteld aan de doorlatendheid van een bouwput:

$$q_{R, \text{toel}} = 1,5 \text{ l/sec per } 1000 \text{ m}^2$$

$$= 5,4 \text{ m}^3/\text{uur per } 1000 \text{ m}^2$$

Deze eis heeft betrekking op de totale bouwput, dus het gezamenlijke oppervlak van wanden en putbodem. Opgemerkt kan worden dat men hier rekening houdt met het feit dat zowel wanden als bodem per definitie waterdoorlatend zijn, hetgeen een reële veronderstelling is. In de te stellen eis moet dus ook rekening gehouden worden met de totale waterremmendheid. Discutabel is wellicht het feit dat er geen relatie wordt gelegd met de diepte c.q. kerende hoogte van de constructie.

Vanuit de regelgever kan dit worden begrepen. Bij de toepassing betekent dit echter dat bij verschillende drukgradiënten van het grondwater er verschillende eisen aan de waterremmendheid moeten worden gesteld.

De ervaringen met de doorlatendheid van bouwputten is in de volgende tabel uitgewerkt:

Bodem	aantal	oppervlak [m <sup>2</sup> ]	Dh <sub>w</sub> [m]	q <sub>R, gemiddeld</sub> [m <sup>3</sup> /u/1000m <sup>2</sup> ]	w [m <sup>2</sup> /u/1000m <sup>2</sup> ]
<b>natuurlijk</b>	2	ca. 3.000	5,7 / 16,3	ca. 1,0	<b>0,1</b>
<b>o.w.beton</b>	9	2.000 - 20.000	6,5 – 17,8	ca. 2,0	<b>0,15</b>
<b>soft-gel</b>	17	1.000 - 22.000	3,0 – 12,5	ca. 1,0	<b>0,4</b>
<b>UF-cement</b>	3	700 - 4.300	8,1 – 10,2	ca. 1,0	<b>5,0</b>
<b>jetgrout-diep</b>	19	900 - 11.000	4,0 – 15,6	ca. 14,0	<b>1,75</b>
<b>jetgrout-hoog</b>	14	1.000 – 5.500	4,5 – 12,6	ca. 4,0	<b>0,4</b>

In de laatste kolom staat dus een waarde van de bereikte doorlatendheid in relatie tot het waterdrukverschil Δh<sub>w</sub>.

Bij de samenstelling van deze tabel is voor de doorlatendheid van de wanden gesteld op 2 m<sup>3</sup>/uur per 1000 m<sup>2</sup>.

Vervolgens is in dezelfde publicatie in een tabel een inschatting gemaakt van toelaatbare waarden in relatie tot  $\Delta h_w$ :

Bodem	$w_{,toel.}$ [m <sup>2</sup> /u/1000m <sup>2</sup> ]
<b>o.w.beton</b>	<b>0,25</b>
<b>soft-gel</b>	<b>0,5</b>
<b>UF-cement</b>	<b>2,0</b>
<b>jetgrout-diep</b>	<b>2,0</b>
<b>jetgrout- middeldiep</b>	<b>0,5</b>
<b>jetgrout-hoog</b>	<b>0,5</b>

Op zich sluit dit redelijk aan bij de Nederlandse ervaringen. Bekend is dat een waterremmende laag een doorlatendheid heeft van ca.  $k = 1 \cdot E(-8)$  tot  $1 \cdot E(-10)$ . Locale imperfecties kunnen leiden tot een gemiddelde doorlatendheid, die 10 tot 1000 keer hoger ligt. Dit geldt ook voor de kunstmatig aangebrachte lagen. De doorlatendheid van een goed met soft-gel geïnjecteerde zand of gejetgrout materiaal heeft een doorlatendheid  $k < 1 \cdot E(-9)$ . De gemiddelde doorlatendheid zal door imperfecties op m.n. de aansluitingen een doorlatendheid hebben die 100 tot 1000 keer hoger ligt.

In Nederland drukken we de doorlatendheid van een laag ook wel uit als hydraulische weerstand (laagdikte/gem. doorlatendheid [dgn]).

Enige ervaringscijfers zijn:

Bodem	hydr. weerstand [dgn]	w [m <sup>2</sup> /u/1000m <sup>2</sup> ]
<b>natuurlijk-dun</b>	50 -100	<b>0,5 – 1,0</b>
<b>natuurlijk dik</b>	250 – 100.000	<b>5*E(-3) – 0,2</b>
<b>soft-gel</b>	250 - 1000	<b>0,05 - 0,2</b>
<b>jetgrout-diep</b>	50 - 500	<b>0,1 – 1,0</b>
<b>jetgrout-hoog</b>	150 - 500	<b>0,1 – 0,25</b>

Zoals gemeld zijn bij hooggelegen lagen niet de doorlatendheden van de gecreëerde lagen verantwoordelijk voor het lekdebiet maar de aanwezige inhomogeniteiten, zoals scheuren en gaten. In de literatuur [4] wordt een verband gegeven tussen het lekdebiet en de aanwezigheid van een gat. Dit geldt wel voor een ondoorlatende omgeving en een ideaal recht en rond gat. Omdat de doorlatendheid van behandelde grond verwaarloosbaar klein is in vergelijking met die van een gat is de vergelijking als vuistregel bruikbaar. Onder de aanname dat het gat gevuld is met grond geldt dan:

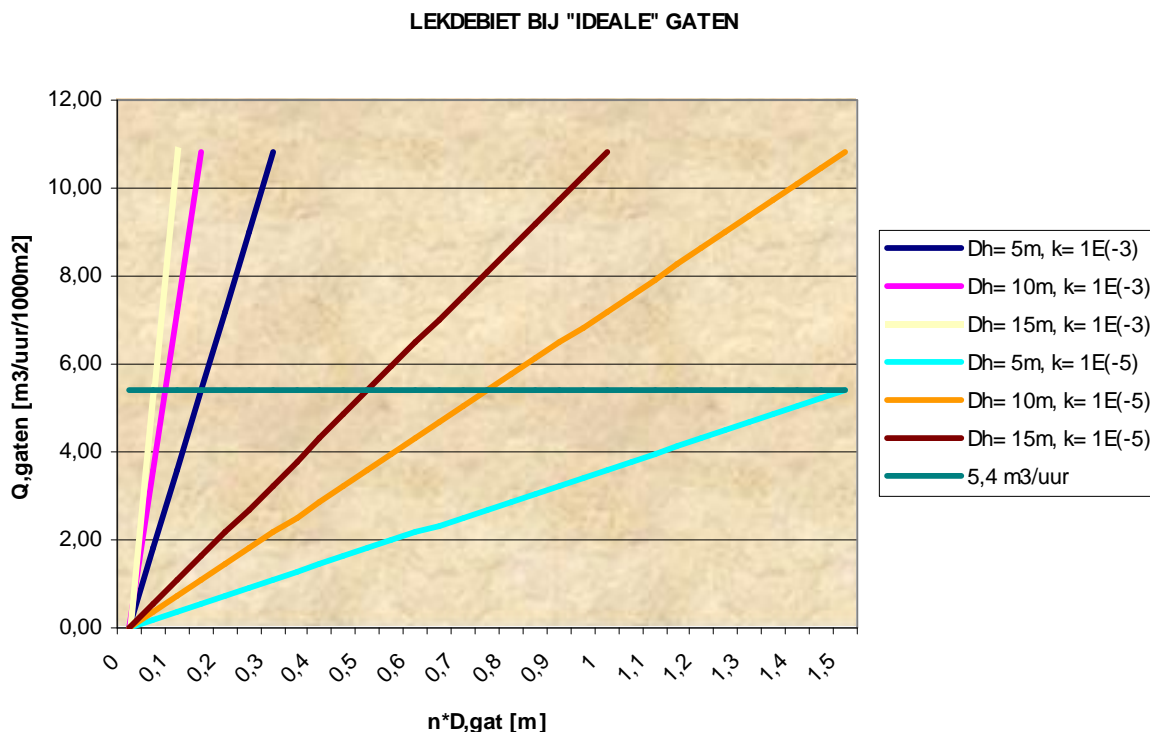
$$q_{gat} \approx 2 \cdot k_{grond} \cdot \varnothing_{gat} \cdot \Delta h$$

ofwel

$$Q_{gaten} \approx n \cdot 2 \cdot k_{grond} \cdot \varnothing_{gat} \cdot \Delta h$$

waarbij n het aantal gaten per 1000 m<sup>2</sup> is.

Het waterdebiet is dus lineair afhankelijk van de gatdiameter. Met bovenstaande formule is de volgende grafiek te maken. Uitgaande van een doorlatendheid van  $k_{\text{grond}} = 1 \cdot E(-3)$  tot  $1 \cdot E(-4)$  is te zien hoe kritisch de Duitse eis van  $5,4 \text{ m}^3/\text{uur}$  per  $1000 \text{ m}^2$  wordt overschreden:



### **Contractuele aspecten**

Bij diepe ontgravingen zal er daarom veel aandacht moeten worden gegeven aan mogelijke lekkages. Dit betekent niet dat a priori het optreden van lekkages koste-wat-het-kost moet worden voorkomen. In de diverse stadia van het bouwproces van voorontwerp tot uitvoering moet een risico-inventarisatie worden gemaakt, waarin altijd aandacht wordt gegeven aan diverse vormen van lekkages. Het belang hiervan is te onderkennen of er risico's zijn op bepaalde vormen van lekkages en wat de evt. gevolgen kunnen zijn. Indien de gevolgen zeer groot zijn zal men preventieve maatregelen moeten nemen. Als de kans van optreden zeer groot is, zal men moeten nagaan of correctieve maatregelen eenvoudig zijn toe te passen en dat het bouwproces niet teveel wordt verstoord.

In de praktijk wordt hieraan echter (te) weinig aandacht gegeven. In het voorontwerp waar een keuze gemaakt moet worden voor de definitieve bouwmethode wordt meestal wel, maar zeker niet altijd, gedacht aan mogelijke lekkageproblemen. Helaas wordt uiteindelijk veelal gekozen voor de meest economische bouwmethode, waarbij opportunistisch wordt omgegaan met de lekkagerisico's. Bij latere problemen blijkt dan dat de ontwerper wel de risico's van lekkages heeft onderkend, maar de keuze heeft gemaakt op economische gronden. Of de opdrachtgever, die uiteindelijk met de problemen zit opgescheept, ook bekend was met de risicoafweging is dan vaak onduidelijk.

Een aannemer kan op diverse manieren betrokken zijn in het bouwproces: Bij Design&Construct contracten heeft hij zelf de ontwerpverantwoordelijkheid, in een bouwteam



kan hij al in een vroeg stadium zijn ervaring inbrengen bij de ontwerper, maar bij aanbestedingen volgens het RAW-model kan en moet hij slechts uitvoeren wat in bestek en tekeningen beschreven is. Als er geen specifieke voorzieningen in het bestek zijn opgenomen om het risico van lekkages te reduceren, dan zal een aannemer deze niet begroten. Als in het bestek beschreven staat dat een damwandkuip gemaakt moet worden, waarbij planktype en afmetingen gegeven zijn, dan zal hij dit begroten volgens de gangbare uitvoeringsmethode. Vanzelfsprekend heeft een aannemer wel een waarschuwingsplicht, indien problemen verwacht kunnen worden.

Als er echter prestatie-eisen in het bestek zijn opgenomen mag er meer worden verwacht van de aannemer. Maar hiermee komen we wel in een discussievolle situatie.

Ten eerste moeten reële eisen worden gevraagd en niet zoiets als “het opleveren van een waterdichte bouwput”. Een bouwput lekt immers per definitie als de bodem zich onder grondwatervniveau bevindt.

Ten tweede is het verstandig om de minimaal te nemen maatregelen te omschrijven. Als er namelijk geen voorzieningen of maatregelen zijn voorgeschreven dan zullen kleinere aannemers doorgaans de standaard werkzaamheden begroten. Voor de grotere aannemers is het dan niet mogelijk om hier tegenop te concurreren, tenzij ze het op gelijke wijze begroten. Als er echter problemen optreden dan is het in de praktijk vaak zo dat de kleinere aannemers hierop wel worden aangesproken, maar dat ze niet aansprakelijk worden gesteld. De grotere aannemers worden echter vaak wel aansprakelijk gesteld, die vervolgens wel de faciliteiten hebben om zich juridisch te verweren. Dit alles kost dan dus veel tijd, geld en ergenis.

### **Tot slot**

De mogelijke juridische en financiële consequenties zijn hier echter geen onderwerp. Wel moet een opdrachtgever realiseren dat problemen op een project ook consequenties voor hem zal hebben, niet alleen financieel maar ook in bouwtijd. Het voorkomen van problemen is dus ook in zijn belang. Daarbij geldt dat lekkages niet altijd oplosbaar zijn. Het is daarom zaak dat vroegtijdig niet alleen de mogelijke risico's worden onderkend maar dat deze ook bekend worden gemaakt bij de betrokken partijen. Hiermee zijn alle partijen bekend met de genomen keuzes. Als reële risico's acceptabel zijn, mits er preventieve maatregelen worden genomen dan is het gewenst dat maatregelen deze zorgvuldig worden omschreven.

Het kan echter ook een interessante keuze zijn om niet allerlei maatregelen te treffen tijdens de uitvoering, maar met metingen achteraf vast te stellen of eventueel lekkages zijn opgetreden en waar. Dit heeft vanzelfsprekend alleen nut als deze lekkages met zekerheid zijn af te dichten.

### **Literatuurverwijzing**

- [1] Arbed: The impervious steel sheet pile wall (part1: design).
- [2] NVAF & PSD: Schadevrij installeren van stalen damwand in Nederland, 2002.
- [3] Borchert & Richter: Berliner Trogbaugruben (Christian Veder Colloquium 2000).
- [4] G. Gudehus: Der Ingenieurbau in Bodenmechanik (Hydrotechnik, Geotechnik) 1995.