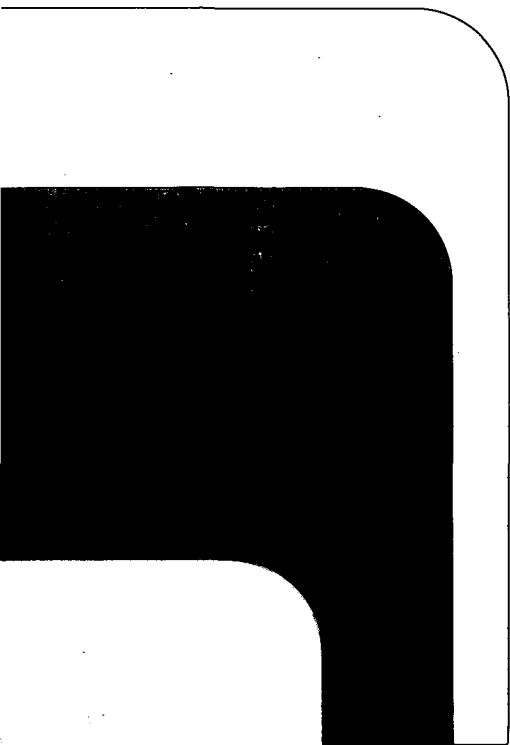


leidraad bij  
bodemonderzoek in en  
nabij waterkeringen

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen



# leidraad bij bodemonderzoek in en nabij waterkeringen

leidraad bij  
geotechnisch-(sonderingen en boringen)  
en geologisch-(exploratieboringen en  
seismischonderzoek) -onderzoek in en nabij  
waterkeringen

UITGEVERIJ WALTMAN, DELFT

TECHNISCHE ADVIESCOMMISSIE VOOR DE WATERKERINGEN

MEI 1988

## INHOUD

	TEN GELEIDE . . . . .	5
	SAMENVATTING . . . . .	6
Hoofdstuk 1	INLEIDING . . . . .	7
Hoofdstuk 2	GRONDBORINGEN EN SONDERINGEN . . . . .	10
2.1	Inleiding en probleemstelling . . . . .	10
2.2	Gevolgen voor de waterkering . . . . .	10
2.3	Aanbevolen maatregelen . . . . .	12
Hoofdstuk 3	EXPLORATIEBORINGEN . . . . .	14
3.1	Inleiding en probleemstelling . . . . .	14
3.2	Aanbevelingen . . . . .	14
Hoofdstuk 4	SEISMISCH BODEMONDERZOEK . . . . .	16
4.1	Inleiding en probleemstelling . . . . .	16
4.2	Bestaande regelgeving . . . . .	16
4.3	Explosieve trillingsbronnen . . . . .	17
4.4	Niet-explosieve trillingsbronnen . . . . .	18
4.5	Gevolgen voor de waterkering . . . . .	19
4.6	Aanbevolen maatregelen en veiligheidsafstanden . . . . .	21
4.6.1	Aanbevolen maatregelen . . . . .	21
4.6.2	Stabiliteitszone van dijken . . . . .	21
4.6.3	Aanbevolen veiligheidsafstanden . . . . .	22
Hoofdstuk 5	PROEFHEIINGEN . . . . .	23
5.1	Algemeen . . . . .	23
5.2	Aanbevelingen . . . . .	23
Bijlage	HET DICHTEN VAN BOORGATEN EN SONDEERGATEN IN EN NABIJ WATERKERINGEN. . . . .	24
	LITERATUURLIJST . . . . .	28

## TEN GELEIDE

Beheerders van waterkeringen komen regelmatig voor de vraag te staan onder welke voorwaarden een bodemonderzoek bij een waterkering kan worden toegestaan. Met bodemonderzoek wordt hier niet alleen bedoeld het bekende grondmechanisch onderzoek door middel van boringen en sonderingen, maar ook het geologisch onderzoek van de bodem, bijvoorbeeld voor de opsporing van delfstoffen. Daarbij worden ook boringen gemaakt, maar bovendien worden er bij seismisch onderzoek springladingen of andere trillingsbronnen gebruikt.

Met betrekking tot het seismisch onderzoek wordt het in deze leidraad mogelijk geacht het onderzoek dichterbij de dijk toe te laten dan tot dusver veelal wordt aangehouden. Ten aanzien van het maken van gaten in de grond door boringen, sonderingen, enz. wordt voor veel situaties aanbevolen deze gaten af te dichten, vooral vanwege het gevaar van het ontstaan van zandmeevoerende wellen, waardoor een pipingproces kan beginnen.

Reeds eerder werden door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) leidraden opgesteld, die eveneens op het beheer van waterkeringen zijn gericht; zoals leidraden voor vloeistof-en voor gasleidingen en voor constructies en vreemde objecten. Deze leidraden geven ieder voor zich een overzicht van een bepaalde problematiek en behandelen de diverse aspecten die daarbij een rol kunnen spelen. Ook het volgen van de aanbevelingen in de onderhavige leidraad zal naar de mening van de TAW er toe kunnen leiden, dat bodemonderzoek zo min mogelijk gevaar oplevert voor het functioneren van een waterkering.

's-Gravenhage, mei 1988

Ir. H. DE GROOT  
Voorzitter van de Technische Adviescommissie  
voor de Waterkeringen

## SAMENVATTING

Deze leidraad van de TAW geeft een overzicht van de gevolgen voor waterkeringen van nabij uitgevoerd bodemonderzoek.

Gericht op nederlandse omstandigheden wordt gewezen op een aantal mogelijke negatieve gevolgen en worden aanbevelingen gedaan om deze te vermijden. De vormen van bodemonderzoek behandeld in deze leidraad zijn grondboringen, sonderingen, exploratieboringen, seismisch bodemonderzoek, alsmede proefheiningen.

## HOOFDSTUK 1

### INLEIDING

In deze leidraad wordt een aantal onderzoeksactiviteiten behandeld die nadelige gevolgen voor een nabij gelegen waterkering kunnen hebben. Tevens worden maatregelen genoemd welke getroffen kunnen worden ten einde het risico voor de waterkering aanvaardbaar klein te houden.

In dit verband wordt gedacht aan zowel activiteiten waarbij trillingen of schokken worden opgewekt waardoor de ondergrond van een waterkering (te veel) in draagkracht achteruit zou kunnen gaan, als aan activiteiten waarbij in de grond boor- of sondeergaten worden aangebracht, die de grondwaterstroming in ongunstige zin kunnen beïnvloeden.

Deze boor- en sondeerwerkzaamheden kunnen worden verricht in het kader van grondmechanisch onderzoek naar draagkracht, sterkte- en vervormingseigenschappen van grondlagen, maar ook voor onderzoek naar de geologische opbouw en samenstelling, en naar de aanwezigheid van aardolie, aardgas, andere delfstoffen en zoet grondwater. Voor de draagkrachtbepaling wordt vaak gebruik gemaakt van sonderingen. Voor de vaststelling van de geotechnische opbouw van de bodem en voor het verkrijgen van monsters voor laboratoriumonderzoek gebruikt men boringen.

In de leidraad wordt met seismisch onderzoek het onderzoek bedoeld dat dient ter bepaling van de aanwezige lagenstructuur op grotere diepte in de bodem.

Tevens wordt ingegaan op exploratieboringen naar delfstoffen, welke tot zeer grote diepte kunnen gaan.

Trillingen of schokgolven worden, behalve ten behoeve van seismisch onderzoek, ook opgewekt bij bodemonderzoek in de vorm van proefheiningen.

Genoemde activiteiten hebben in principe invloed op de toestand van de ondergrond. Deze invloed kan zich beperken tot de directe omgeving van de plaats van onderzoek, maar kan in sommige gevallen ook effecten op grotere afstand hebben. Gelet op de grote zorg en aandacht welke aan een goed functioneren van de waterkeringen in Nederland wordt besteed, heeft de TAW gemeend ook op dit terrein een leidraad te moeten samenstellen.

Juist, omdat er enerzijds voor het verbeteren van bestaande waterkeringen en bij de aanleg van nieuwe waterkeringen vooraf ter plaatse grondonderzoek wordt uitgevoerd en er anderzijds voor onderzoek voor andere doeleinden vaak niet voldoende ruimte beschikbaar is om een bij voorbaat veilige ruime afstand tot de waterkering in acht te kunnen nemen.

Een van de aanleidingen voor het samenstellen van deze leidraad is de behoefte aan kennis bij beheerders en toezichthoudende instanties over de effecten van seismisch onderzoek op waterkeringen. Dit blijkt uit adviesaanvragen die bij het voormalige Centrum voor Onderzoek Waterkeringen binnenkwamen alsmede uit vragen van de provinciale Waterstaat van Zuid-Holland over de „airgun“-effecten. Het Staatstoezicht op de Mijnen was nauw betrokken bij adviezen om te komen tot een mogelijke verkleining van de gebruikelijk gehanteerde veiligheidsafstanden van 300 en 500 m tot waterkeringen. Vooral bij de maatschappijen die seismisch onderzoek gebruiken bestaat zeer sterk de wens om deze afstanden te verkleinen doordat de interpretatie dan veel minder onzekerheid bevat, hetgeen vooral bij olie- en gaswinning grote economische belangen betreft. De mogelijkheid voor een versoepeling motiveert men ondermeer met de aanmerkelijk kleinere ladingen die nu gebruikt worden. In diverse gevallen zijn bij vergunningaan vragen door het Staatstoezicht op de Mijnen op dijken metingen verricht om de effecten van seismische explosies na te gaan en te vergelijken met bijvoorbeeld die van passerend verkeer (lit. 6 en 7).

Waterkeringbeheerders worden ook geconfronteerd met de vraag in welke mate andere potentiële explosies een gevaar kunnen opleveren voor waterkeringen zoals opslag van explosieven en LPG.

In deze leidraad echter worden alleen de effecten van explosies behandeld zoals die gebruikelijk zijn bij seismisch onderzoek.

Voor bijzondere gevallen en grotere hoeveelheden explosieven is deze leidraad niet van toepassing en zal specifiek van geval tot geval advies moeten worden gevraagd aan deskundigen.

Dit geldt ook voor vrije gaswolkexplosies welke zich mogelijk voor kunnen doen bij ongelukken met LPG.

In deze leidraad is getracht aan te geven wat de effecten van de diverse hiervoor aangeduide onderzoeksmethoden op het functioneren van de waterkering kunnen zijn en hoe schadelijke effecten kunnen worden voorkomen of verholpen. Daar de zich hierbij voordoende vraagstukken door het vaak complexe karakter van de materie nog lang niet volledig zijn opgelost, is de leidraad gebaseerd op in de loop der jaren opgedane ervaringen bij het onderzoek in de bodem en op beschikbare theoretische kennis. Ten aanzien van de explosie-effecten op waterkeringen is een inventarisatie-rapport opgesteld (lit. 1) welk als achtergrond-informatie kan dienen voor deze leidraad.

Resultaten van nader onderzoek en het verschijnen van nieuwe informatie zal aanleiding kunnen zijn om tot een herziening c.q. uitbreiding van de leidraad over te gaan. In gevallen waarin de situatie afwijkt van die welke in deze leidraad wordt beschreven, is inschakeling van deskundigen zeer aan te bevelen.

Deze leidraad is opgesteld door werkgroep 7 „Bouwwerken en Leidingen” van de TAW.

Door reorganisatie van de TAW is de taak van werkgroep 7 overgenomen door de nieuwe werkgroep D „Implementatie leidraden”.

In diverse stadia is over de inhoud ervan advies ingewonnen bij het bureau grondmechanica van Openbare Werken Amsterdam (L. Kok) en bij het Staatstoezicht op de Mijnen (ing. G.P. SCHYDLOVSKI).

Bij opheffing van de werkgroep was de samenstelling als volgt:

ir. H. DE GROOT (voorz.)	Hoogheemraadschap van Rijnland
ir. R. J. CIRKEL	Rijkswaterstaat DBW/RIZA
ir. K. C. J. VAN DEN ENDE	Hoofddirectie van de Waterstaat
ir. A. M. GRESNIGT	TNO-IBBC
ir. W. J. HEIJNEN	Grondmechanica Delft
ir. R. A. J. DE KOCK	Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland
ir. R. H. J. KREMER	Openbare Werken Amsterdam
ir. F. J. REMERY	Rijkswaterstaat dir. Bruggen
ir. L. E. B. SAATHOF (auteur)	Rijkswaterstaat DWW
ing. B. H. P. A. M. THE (secre.)	Rijkswaterstaat DWW
ir. H. VISSER	waterschap Walcheren



## HOOFDSTUK 2

### GRONDBORINGEN EN SONDERINGEN

#### 2.1 Inleiding en probleemstelling

In de ondergrond van Nederland komen op veel plaatsen slechtdoorlatende lagen voor. Deze lagen vormen de begrenzing van watervoerende lagen. De lagen onder en boven een slecht doorlatende laag zijn in het algemeen verschillend qua samenstelling, temperatuur en stijghoogte van het grondwater.

Wanneer voor onderzoek in de bodem sonderingen of boringen worden uitgevoerd, worden deze afsluitende grondlagen geperforeerd. Overigens kan men bij boringen behalve aan die voor direct grondmechanisch of geologisch onderzoek ook denken aan boringen voor het aanbrengen van springstoffen voor seismisch bodemonderzoek en die voor het opsporen van delfstoffen. Hoewel deze laatste in het algemeen grotere afmetingen hebben, blijven de gevaren dezelfde.

Het perforeren van afsluitende grondlagen kan verschillende ongewenste gevolgen hebben. Met name voor de waterhuishouding kunnen de gevolgen zeer groot zijn. Aangezien deze leidraad zich beperkt tot de gevolgen voor de waterkering, worden gevolgen voor de waterhuishouding echter niet behandeld. Welke gevolgen er voor de waterkering kunnen zijn en welke maatregelen hiertegen genomen kunnen worden, is in de volgende paragrafen aangegeven.

#### 2.2 Gevolgen voor de waterkering



Perforaties van afsluitende lagen kunnen gevolgen hebben voor alle waterkeringen, zoals zee-, rivier-, meer- en kanaaldijken en boezemkaden. Maar de gevolgen van perforaties zullen niet voor alle waterkeringen in dezelfde mate nadelig zijn. Hierna wordt een situatie beschreven waarbij de wateroverdruk in de onderliggende zandlaag niet permanent aanwezig is maar wisselt met de buitenwaterstand. Deze wisselende omstandigheden maken het gevaar van perforaties moeilijk te onderkennen voor degene die de boring of sondering uitvoert. Er is vooral aandacht besteed aan de situatie bij rivierdijken.

Bij het beschrijven van de gevolgen kunnen twee situaties worden onderscheiden: een binnendijkse- en buitendijkse perforatie.

##### a. binnendijkse perforatie van een afsluitende laag (fig. 1).

In dit geval kan in de watervoerende laag onder de afsluitende, slechtdoorlatende laag een wateroverdruk aanwezig zijn, bijvoorbeeld door een hoge rivierstand.

Na het doorbreken van de afsluitende laag kan het water uit gaan stromen door de

-  afsluitende slecht doorlatende laag
-  watervoerende laag
- h waterdruk tegen de onderzijde van de afsluitende laag
- - - stijghoogte in het diepe zand zonder perforatie
- · - · stijghoogte in het diepe zand met perforatie

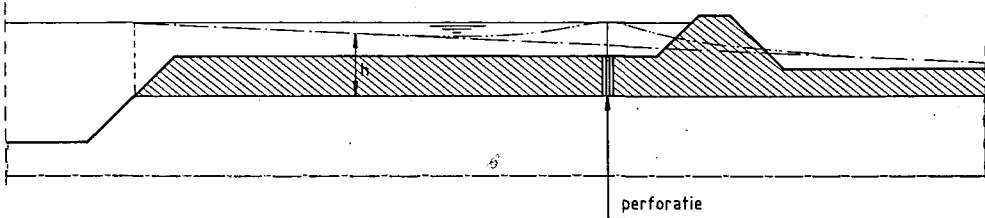




Fig. 1. Doorbreking binnendijkse afsluitende laag.

perforatie. Dit werkt dan als een soort drainage: de waterdruk onder de afsluitende laag zal afnemen en de korrelspanning in het zand en dus ook de schuifweerstand ervan zal toenemen, wat in principe gunstig is voor de stabiliteit van de waterkering. Ook de freatische lijn in de waterkering kan gunstig worden beïnvloed, doordat deze lager kan komen te liggen.

Nadrukkelijk wordt echter gewezen op het gevaar van vorming van zandmeevoerende wellen ter plaatse van de perforaties. Immers de kwelengte wordt verkort en daardoor zal het kweldebiet groter worden. Indien de uitstroomsnelheid van het grondwater voldoende groot is kan ook zand worden meegevoerd. Dit kan op kortere of langere termijn onder ongunstige omstandigheden leiden tot een ondermijning van de waterkering (piping).

- - - stijghoogte in het diepe zand zonder perforatie
- · - · stijghoogte in het diepe zand met perforatie
-  afsluitende slecht doorlatende laag
-  watervoerende laag
- h waterdruk tegen de onderzijde van de afsluitende laag

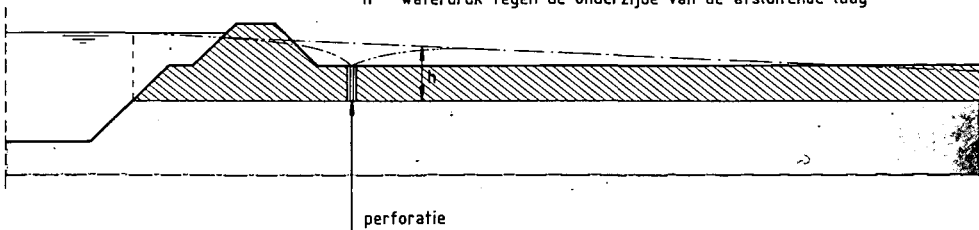


Fig. 2. Doorbreking buitendijkse afsluitende laag.

Tijdens hoogwater op de bovenrivieren zijn meermalen wellen geconstateerd op plaatsen waar een boring of een sondering was uitgevoerd en waarvan de gaten blijkbaar niet afdoende waren afgedicht.

b. buitendijkse perforatie van een afsluitende laag (fig. 2).

Ook hier kan onder de afsluitende laag een wateroverdruk aanwezig zijn t.o.v. de binnendijkse hydrostatische druk. Deze neemt af met toenemende afstand tot het intredepunt, bijv. het zomerbed van de rivier. Wordt buitendijks in de nabijheid van de waterkering deze slechtdoorlatende laag doorbroken, dan kan dit de waterdruk onder de afsluitende laag ter plaatse van de waterkering aanzienlijk doen stijgen. Dit resulteert in een verlaging van de korrelspanning en dus ook van de schuifweerstand in de watervoerende laag. Dit leidt mogelijk tot stabiliteitsvermindering van de waterkering. Verder bestaat de mogelijkheid dat kwel ontstaat of verergert, met eventueel zandmeevoerende wellen achter de waterkering, indien de afsluitende laag daar niet of niet voldoende aanwezig is ook bijv. doordat er een sloot aanwezig is.

Doordat dit een intreeproces is van (slibrijk) rivierwater wordt deze situatie als minder problematisch ingeschat dan de onder a. genoemde perforatie.

### 2.3 Aanbevolen maatregelen

De genoemde bezwaren kunnen in het algemeen voorkomen worden door het dichten van de ontstane gaten met ondoorlatend materiaal minimaal over de hoogte van de slechtdoorlatende laag. Zie hiervoor de bijlage.

Het afdichten van sondeergaten is in veel gevallen niet mogelijk en niet nodig, omdat het gat zich in de loop der tijd van zelf sluit. Het uitvoeren van sonderingen in tijden van verhoogde waterspanning (bijv. bij hoogwater) dient vermeden te worden.

Het aanvullen van gaten in slecht doorlatende lagen moet worden beschouwd als specialistisch werk.

In gevallen waarin onvoldoende afdichting tot ernstige gevolgen voor de waterkering kan leiden of als weinig ervaring aanwezig is verdient het aanbeveling advies te vragen aan een deskundig grondmechanisch adviseur.

Daar de kwaliteit van de afdichting van een boorgat zeker bepaald wordt door de kwaliteit van het boorgat zelf, wordt hier met nadruk gewezen op het belang van goed toezicht op de uitvoering van sonderingen en boringen, zeker bij spuitboringen maar ook bij puls- en steekboringen in en nabij waterkeringen.

De zone langs een waterkering waarbuiten een perforatie niet meer van invloed is op de waterkering, is thans nog niet goed aan te geven. Voorlopig wordt aanbevolen hiervoor een breedte van 100 m uit de teen van de waterkering aan te houden.

Er wordt op gewezen dat bij de versterking van rivierdijken in de ontwerpberekeningen veelal wordt aangenomen dat het zogenaamde intredepunt op een afstand van 50 à 100 m uit de teen van de waterkering ligt (de beheerszone). Indien het zomerbed zich

op nog kleinere afstand bevindt dan wordt die kleinere maat aangehouden. Indien ontgrondingen redelijkerwijs uitgesloten zijn, wordt bij brede uiterwaarden een grotere intreelengte in rekening gebracht.

In deze situaties (verbeterde rivierdijken, buitendijks) kan uiteraard i.p.v. 100 m de aangenomen intreelengte worden aangehouden als maat waar buiten een perforatie geen nadelige invloed meer zal hebben op de waterkering.

## HOOFDSTUK 3

### EXPLORATIEBORINGEN

#### 3.1 Inleiding en probleemstelling

Onder de in dit hoofdstuk te behandelen exploratieboringen dienen volgens artikel 1 van het Mijnreglement 1964 te worden verstaan:

„een geheel van werken, bestemd tot de machinale vervaardiging, de instandhouding en het gebruik van één of meer gaten in de aardbodem ten behoeve van het door middel van het naar de oppervlakte voeren van grondmonsters, opsporen van delfstoffen als in artikel 9, eerste lid van de Mijnwet 1903 bedoeld, alsmede de bij die werken behorende inrichtingen en terreinen”.

Het uitvoeren van exploratieboringen tot grote diepte in de ondergrond brengt, mede doordat de geologische gesteldheid daarvan slechts gedeeltelijk bekend is, zekere risico's met zich mee:

- a. het grootste gevaar is dat een grondlaag wordt bereikt waarin vloeistof en/of gas onder zodanige druk aanwezig is dat vloeistof en/of gas met grote kracht via de perforatie buiten de boorbuis uit de grond wordt gestoten tot boven het maaiveld. Men spreekt dan van een „blow-out”. In afgewerkte putten bestaat ook kans op een ongecontroleerde uitstroming door het boorgat (b.v. Schoonebeek 1976, Wassenaar 1983).

De mogelijke gevolgen van deze uitbarstingen zijn:

- evenwichtsverstoringen van de grond in de omgeving waardoor schade aan waterkeringen kan optreden en slecht doorlatende lagen over een groot oppervlak kunnen worden verstoord of vernield.
- verontreiniging van de omgeving. De grasmat op een waterkering kan ernstig worden aangetast door olie, gas of pekels.

Uit onderzoek op zandgrond is gebleken dat indien olie in zandgrond infiltreert, rekening moet worden gehouden met een afnemende van de schuifweerstand van de grond met 10 tot 30 procent.

- b. het doorbreken van slecht doorlatende lagen (zie hfdst. 2).

#### 3.2 Aanbevelingen

Blijkens calamiteiten in het buitenland en ook in Nederland (b.v. Sleen 1965), is een „blow-out” niet uit te sluiten. Een „blow-out” kan ontstaan door menselijk falen bij de uitvoering dan wel doordat de geologische omstandigheden verkeerd beoordeeld zijn.

Door technische voorzieningen kan de kans op een „blow-out” wel worden verminderd, maar niet gelijk aan nul worden.

De gevolgen kunnen zo desastreus zijn dat niet kan worden toegestaan dat wordt geboord op korte afstand van primaire waterkeringen en van keringen die permanent water keren.

Door gebrek aan gegevens kan de breedte van de strook langs waterkeringen waarbinnen niet mag worden geboord niet exact worden aangegeven.

Hiervoor wordt in deze leidraad aangesloten bij een in de praktijk gehanteerde maat van 500 m, welke voldoende lijkt om in geval van een evenwichtsverstoring van de ondergrond door een „blow-out” de waterkering voor bezwijken te behoeden.

Tevens moet een afstand in de orde van 500 m voldoende worden geacht om nadelige gevolgen voor de waterkering door verontreiniging en doorbreking van afsluitende lagen te voorkomen.

Indien het gewenst is binnen bovengenoemde afstand van een waterkering een exploratieboring uit te voeren zal door een nader onderzoek aangetoond moeten worden dat dit geen gevaar voor de waterkering oplevert.

## HOOFDSTUK 4

### SEISMISCH BODEMONDERZOEK

#### 4.1 Inleiding en probleemstelling

Seismisch bodemonderzoek wordt voornamelijk toegepast voor de opsporing van de delfstoffen aardolie en aardgas. Ook in de civiele techniek wordt seismische techniek toegepast. Deze wordt vaak ondiepe seismiek genoemd, omdat het dieptebereik enkele tientallen meters is tegenover kilometers voor de diepe seismiek. Deze verschillen worden niet zozeer door andere technieken veroorzaakt als wel door andere vermogens en energiebronnen. Om die reden wordt hier alleen de diepe seismiek behandeld. Veelal wordt als trillingsbron springstof gebruikt. Ook maakt men in daarvoor geschikte situaties gebruik van niet-explosieve trillingsbronnen zoals de „airgun” en vibratoren. Vooral bij explosies d.m.v. springstoffen komt in korte tijd een grote hoeveelheid energie vrij die aan de omgeving wordt afgegeven. De hierbij optredende effecten zoals trillingen, schokgolven en eventuele kratervorming kunnen nadelige gevolgen hebben voor de waterkering.

In dit hoofdstuk wordt voornamelijk aandacht geschonken aan de gebruikelijke seismische springstoffen en aan niet-explosieve trillingsbronnen voor seismisch onderzoek. Een aspect van het gebruik van seismische springstoffen is het gegeven dat het explosies betreft die doelbewust worden opgewekt.

Andere explosies zoals die ten gevolge van ongevallen met explosiegevaarlijke stoffen, munitie etc. bij fabricage, transport en opslag worden hier verder buiten beschouwing gelaten, evenals sabotage en oorlogshandelingen. Voor dergelijke situaties waarvan de mogelijke gevolgen zeer gecompliceerd zijn, dient men deskundigen in te schakelen, zoals het Adviesbureau der Genie van het Ministerie van Defensie of het Prins Maurits Laboratorium van TNO.

Er kan nog een ander soort explosie genoemd worden, die mogelijk problemen geeft voor waterkeringen. Dat is het bezwijken van drukhouders zoals de fysische „explosie” van gasleidingen; hiervoor raadplege men de door de Provincie Zuid-Holland uitgegeven Pijpleidingcode (lit. 3).

#### 4.2 Bestaande regelgeving

Het seismisch onderzoek in Nederland dient te voldoen aan het „Mijnreglement” en de „Nadere regelen Mijnreglement seismische onderzoekingen” (lit. 4). Het Staatstoezicht op de Mijnen heeft namens de Minister van Economische Zaken het toezicht op

de naleving en uitwerking ervan. In de „Nadere regelen Mijnreglement seismische onderzoeken” wordt voor seismisch onderzoek op het land en op drooggevallen wad in artikel 16 lid 1 gesteld:

„Het onderzoek mag niet worden verricht binnen een afstand van 300 meter van waterkerende dijken” en in lid 2: ”Het onderzoek mag niet dichterbij gebouwen, kunstwerken, leidingen, openbare wegen, kabels en dergelijke worden verricht dan op de afstand, die in meters minimaal 10 maal het gewicht van de lading in kilogram bedraagt met dien verstande, dat die afstand nimmer minder dan 50 meter mag bedragen”.

Er wordt voor seismisch onderzoek in oppervlaktewateren geen afstand tot waterkeringen genoemd. In lid 3 staat vervolgens:

„De Minister van Economische Zaken kan van het eerste en tweede lid ontheffing verlenen, danwel in bijzondere gevallen een grotere afstand voorschrijven”.

Langs waterkeringen wordt door de beheerders ervan, soms op basis van een keur, maar ook vaak onder verwijzing naar het Baggerreglement (lit. 5), een afstand tot de waterkering aangehouden van 300 tot 500 meter uit de teen der waterkering.

Bij de maatschappijen die delfstoffen opsporen bestaat zeer sterk de wens deze afstand te verkleinen. Deze leidraad wil op grond van de huidige inzichten enige technische overwegingen geven om de benodigde veiligheidsafstanden tot waterkeringen meer verantwoord vast te kunnen stellen.

#### **4.3 Explosieve trillingsbronnen**

De bij seismisch onderzoek meest toegepaste methode maakt gebruik van een enkele springlading die op een tiental meters diepte tot ontploffing wordt gebracht en een puntlading wordt genoemd. Als gevolg van de ontwikkeling op het gebied van opname-technieken en signaalverwerking kan men met aanmerkelijk kleinere ladingen toe dan voor enkele jaren mogelijk was.

Tegenwoordig zijn ladinggewichten normaal tussen ca. 100 gram en enkele kilo's. Soms wordt nog wel gebruik gemaakt van slagkoord, waarbij de springlading gelijkmatig is verdeeld over een snoer van enkele meters lengte. Een aantal snoeren met enkele meters tussenruimte evenwijdig naast elkaar wordt daarbij op een geringe diepte van bijv. 0,50 m gelijktijdig ontstoken. Door de daarbij optredende kratervorming is deze methode meer en meer in onbruik geraakt. De vorming van kraters wordt thans algemeen ongewenst geacht.

Daar waar geen diepe gaten geboord mogen worden, bijvoorbeeld in verband met de kans op zoute kwel, wordt wel gebruik gemaakt van „pop shots”. Hierbij wordt een al of niet symmetrisch patroon van bijv. 5 × 5 gaten elk geladen met 100 à 125 gram springstof gelijktijdig afgeschoten, zodat een totale lading van bijna 3 kg over een oppervlak van 100 à 125 m<sup>2</sup> wordt gebruikt.



Bij seismisch onderzoek wordt gebruik gemaakt van verschillende soorten springstoffen. In formules die de gevolgen beschrijven van explosies wordt meestal uitgegaan van puntladingen met een zekere hoeveelheid TNT equivalent. In de praktijk worden deze puntladingen ook het meest gebruikt voor seismisch onderzoek en zijn reken-technisch veel eenvoudiger dan bijvoorbeeld gestrekte ladingen. Bovendien worden veelal springstoffen gebruikt die eenzelfde uitwerking kunnen hebben als TNT, zodat na omrekening de hoeveelheden vergelijkbaar zijn.

Het beschrijven van explosieverschijnselen in een zeker medium zoals grond, lucht en/of water gebeurt met behulp van een drietal soorten golven die elk een eigen karakter hebben:

- de longitudinale golf of compressiegolf (P-wave genaamd), waarbij de bewegingsrichting van de deeltjes van het medium dezelfde is als de richting van de golfvoortplanting;
- de transversale golf of schuifspanningsgolf (S-wave genaamd), waarbij de bewegingsrichting van de deeltjes loodrecht op de richting van de golfvoortplanting staat; deze is in het algemeen voor grond de gevaarlijkste golfvorm;
- een zogenaamde Rayleigh-golf (R-wave), waarbij de gronddeeltjes een min of meer rollende beweging maken; deze golf plant zich vooral voort op laagscheidingen dus ook aan de oppervlakte van de grond.

In het bijzondere geval van een explosie in lucht of water treedt in dat medium alleen de compressiegolf op; op laagscheidingen ontstaan bij terugkaatsing en breking ook de andere golven.

#### 4.4 Niet-explosieve trillingsbronnen

Behalve explosieven worden voor het opwekken van trillingen ook andere trillingsbronnen gebruikt zoals de airgun en de vibratoren.

##### - airgun

Bij seismisch onderzoek op open water, zoals het IJsselmeer en de Waddenzee, wordt ondermeer de „airgun” gebruikt vanwege de grote nadelen voor de visstand bij gebruik van explosies. Deze methode werkt met in het water zwevend gehouden cilinders, gevuld met lucht onder hoge druk. Door deze plotseling te openen, wordt een drukgolf in het water opgewekt. Door een speciaal onderzoekschip wordt een tiental cilinders in een zeker patroon in het water voortgesleept samen met de meetkabel met de drukopnemers. Met luchtcompressoren op het schip worden de cilinders gevuld tot de nagestreefde druk (variërend van 30 tot meer dan 150 bar). Het plotseling openen geeft de gewenste drukgolf (P-wave).

De hoeveelheid cilinders, de inhoud ervan, de druk, de frequentie van afvuren en het patroon zijn de voornaamste parameters die de effecten bepalen.

Een gelijke hoeveelheid energie in een „airgun”-opstelling en in een hoeveelheid TNT geeft vanwege het verschil in karakter van de explosie niet dezelfde explosie-

effecten. Daarom komt men in de literatuur ook diverse waarden tegen voor omrekeningen van effecten van een „airgun” naar die van een hoeveelheid TNT, afhankelijk van de verschijnselen die men beschouwt.

Wat energie inhoud betreft wordt gesteld dat een „airgun”-opstelling met een totaal volume van 15 liter onder een druk van 150 atm overeenkomt met 50 à 100 gram TNT.

#### - vibratoren

Op het land wordt, daar waar het gebruik van explosieven ongewenst is, bijvoorbeeld in bebouwde gebieden, voor seismisch onderzoek ook gebruik gemaakt van trillingsapparatuur; de vibratoren gemonteerd in auto's zijn bekend onder de merknaam Vibroseis.

Enkele van deze speciale voertuigen worden op korte afstand van van elkaar geplaatst. Een plaat wordt onder het voertuig (vandaar uit) op het wegoppervlak gedrukt en door een trillingsbron wordt een massa daarop (ordegrootte 1000 kg) in trilling gebracht, waardoor druk- of schuifspanningsgolven in de grond worden opgewekt. Bij de meeste systemen worden drukspanningsgolven opgewekt. Maar ook worden wel systemen toegepast waarbij schuifspanningsgolven kunnen worden opgewekt. In de bodem ontstaan door laagscheidingen echter weer nieuwe golven ten gevolge van terugkaatsing en breking.

De schuifspanningscomponent kan in met water verzadigde los gepakte zandlagen in de nabijheid van de trillingsbron aanleiding geven tot verwekingsverschijnselen.

De energie, welke met een vibrator via een serie trillingen met een geleidelijk toenemende frequentie (van zo'n 10 tot 200 Hz) de grond in wordt gebracht, wordt gekenmerkt door de tijdsduur van zo'n serie. Een dergelijke serie trillingen wordt een „sweep” genoemd.

De energie van een 10 seconden-„sweep” komt ongeveer overeen met die van 25 gram TNT.

#### 4.5 Gevolgen voor de waterkering

In principe vormen bij een explosie de volgende verschijnselen een directe bedreiging voor de waterkering en met name voor de stabiliteit ervan:

- a. kratervorming met de eveneens optredende vorming van een grotere zone waarin de grond plastische vervorming ondergaat (zie fig. 3);
- b. vermindering van de draagkracht van de grond, voornamelijk door verminderde opneembare schuifspanning in een waterverzadigde bodem. Overschrijding van de opneembare schuifspanning wordt wel verweking genoemd, een der verschijnselen die bij daarvoor gevoelige situaties kan ontstaan is een zettingsvloeiing.

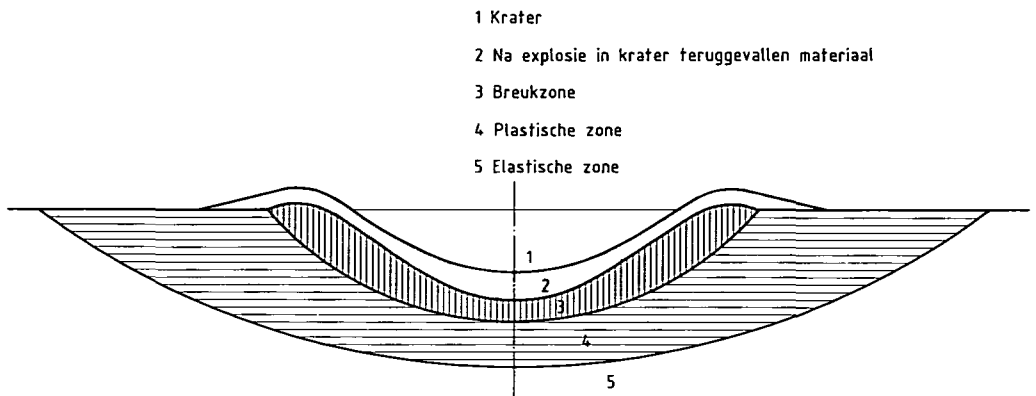
Naast deze directe gevaren voor de stabiliteit van de waterkering kan ook indirect het waterkerend vermogen achteruit gaan. Hierbij kan worden gedacht aan:

- c. zettingen door verdichting van zandgronden of versnelde consolidatie bij klei of veengronden;

d. doorbreken of verstoren van waterafsluitende lagen, met als mogelijke gevolgen de vergroting van de zoete of zoute kwel en het gevaar van het ontstaan van zandmeevoerende wellen (zie par. 2.2).

Bij de niet-explosief opgewekte trillingen kunnen zich eveneens de onder b. en c. genoemde verschijnselen voordoen.

Echter, kratervorming wordt thans bij normaal seismisch onderzoek, door het Mijne- wezen als ongewenst beschouwd en normaal niet toegestaan. Door de keuze voor kleinere ladingen en/of een grotere dekking wordt de kratervorming vermeden.



Zettingen (punt c) zijn alleen zeer lokaal geconstateerd, en doen zich zowel voor bij gebruik van springstoffen als bij de vibromethode. Bij de in deze leidraad voorgestelde veilige afstanden leveren zettingen voor waterkeringen geen problemen op.

Uit metingen van het Staatstoezicht op de Mijnen (van bodemsnelheden op de kruin van waterkeringen) tijdens seismisch onderzoek (lit. 6) en uit empirisch bepaalde formules kan het volgende afgeleid worden. Er is geen nadelige invloed te verwachten voor de waterkering indien op 100 m uit de teen van de waterkeringen tegelijkertijd maximaal 1 kg TNT-equivalent springstof wordt ontstoken. Deze hoeveelheid kan gelijk worden gesteld met het gebruik van airguns met een totale inhoud van 15 liter onder 150 bar druk.

Als kwantitatief voorbeeld kan het volgende dienen:

Volgens lit. 1 geeft ingeval van losgepakte zandgrond een explosie van 1 kg TNT equivalent springstof op 16 m afstand een toeneming van 10% van de waterspanningen en dus een afneming van de korrelspanningen met dezelfde grootte. Bovendien is uit metingen van het Staatstoezicht op de Mijnen gebleken dat een passage van een vrachtwagen over de dijk, op de kruin van een dijk trillingen van eenzelfde orde van grootte kan opwekken als een seismische explosie van 1 kg TNT equivalent op 100 m uit de teen van die dijk (lit. 7).

## 4.6 Aanbevolen maatregelen en veiligheidsafstanden

### 4.6.1 *Aanbevolen maatregelen*

Bij doelbewust veroorzaakte explosies, zoals ten behoeve van het seismisch onderzoek, kan naast het kiezen van een geschikte afstand tot de kering, het tijdstip van uitvoering zo gekozen worden dat dit voor de waterkering het minst ongunstig is.

In het algemeen kan dit inhouden dat de uitvoering plaatsvindt buiten het voor de waterkering geldende gesloten seizoen. Maar afgezien van deze standaard maatregel is het altijd gewenst de uitvoering pas dan te laten plaatsvinden wanneer de omstandigheden daarvoor gunstig zijn en bijvoorbeeld een lage waterstand vóór de kering aanwezig is. Dit laatste geldt uiteraard alleen voor keringen die een niet-permanente waterstand moeten keren, zoals rivier- en zeedijken en in mindere mate voor dijken rond het IJsselmeer en de randmeren, doch niet of nauwelijks voor dijken langs kanalen en boezemwateren. Bovendien is een lage waterstand juist een ongunstige factor in zettingsvloeiinggevoelige gebieden.

Ook de wijze van uitvoering kan worden aangepast aan de omstandigheden. Als bij het seismisch onderzoek bijvoorbeeld normaal een lading van 625 gram wordt afgevuurd zou dit in de nabijheid van de kering kunnen worden verspreid over 5 ladingen van 125 gram in vijf schietgaten, welke eventueel na elkaar worden afgevuurd.

### 4.6.2 *Stabiliteitszone van dijken*

Ter weerszijden van waterkeringen is een zekere strook essentieel voor de stabiliteit van de waterkering. De breedte van deze strook is afhankelijk van de omstandigheden en kan niet eenvoudig worden vastgesteld. Voor omstandigheden waarbij sprake is van homogene ondergrond van hetzelfde materiaal, kan echter worden aangehouden (lit. 2) dat, gemeten vanaf de teen van de waterkering een zone met een breedte van viermaal het hoogteverschil tussen de kruin en het aangrenzende terrein voldoende is; een ontgronding buiten deze zone geeft geen lagere stabiliteitsfactor.

Hantering van deze zone bij de vaststelling van de stabiliteitszone lijkt ook bij de beoordeling van explosies nabij waterkeringen het eenvoudigst.

Als echter voor een zeker geval wordt getwijfeld aan de geldigheid van deze algemene regel, bijvoorbeeld doordat extreem slappe lagen in de ondergrond voorkomen, de spanningstoestand nog niet aan de bestaande belastingstoestand is aangepast, er voortgaande deformaties van de waterkering optreden, of er sterk opwaarts gerichte kwel is, dan kan met een grondmechanisch onderzoek de minimaal benodigde breedte nader worden vastgesteld.

Aangezien er een standaard afstand wordt aanbevolen waar de stabiliteitszone in opgenomen is, is een nadere vaststelling van de stabiliteitszone in dit verband behoudens uitzonderingsgevallen niet nodig.

#### 4.6.3 Aanbevolen veiligheidsafstanden

De commissie meent dat met inachtneming van het hiervoor vermelde het technisch verantwoord is over te gaan tot een verkleining van de zone langs waterkeringen waarbinnen geen seismisch onderzoek wordt toegestaan (zoals genoemd in par. 4.2).

De commissie beveelt in normale gevallen aan:

- a. een minimale afstand te hanteren van 100 m (incl. stabiliteitszone) gemeten uit de teen van de kering waarbinnen geen gebruik van explosieven of andere trillingsbronnen wordt toegestaan.
- b. In het gebied tussen 100 m en 300 m uit de teen van de kering worden beperkingen opgelegd aan de grootte van de seismische trillingsbronnen.  
De beperkingen voor de verschillende methoden zijn bij gebruik van:  
*springstoffen*: tot 1 kg TNT equivalent;  
*de airgun*: tot een totale inhoud van de cilinders van 15 literen een druk van 150 bar;  
*vibratoren*: tot een 10 s „sweep” met een massa van 1000 kg.
- c. Buiten de zone van 300 m uit de kering behoeven aan het normale seismische onderzoek geen beperkingen te worden opgelegd vanuit waterkeringsbelangen.

N.B.

1. In uitzonderlijke situaties zoals deze zich bijvoorbeeld voor kunnen doen in Zeeland met zettingsvloeiing-gevoelige gebieden en bij sommige boezemkaden en rivierdijken met dikke pakketten extreem slappe lagen, is nader onderzoek door deskundigen zeer aan te bevelen en kan niet zonder meer van de hier gegeven afstanden worden uitgegaan.
2. Bij waterkeringen die niet permanent hoogwater keren kan genoemde afstand van 100 m verminderd worden tot 50 m uit de teen van de kering. Dit geldt bijvoorbeeld voor rivierwaterkeringen wanneer de afvoer alleen door het laagwaterbed plaatsvindt en bij zeedijken bij buitenwaterstanden tot het niveau van gemiddeld hoogwater.

## HOOFDSTUK 5

### PROEFHEIINGEN

#### 5.1 Algemeen

Een bijzondere vorm van bodemonderzoek is het verrichten van proefheiingen. Ook bij proefheiingen worden trillingen in de bodem opgewekt die mede door wateroverspanningsopbouw in waterverzadigde losgepakte zandlagen lokale verweking en zettingen tot gevolg kunnen hebben. Bovendien kan door het heien de waterhuishouding worden beïnvloed wanneer waterschidende lagen worden geperforeerd.

#### 5.2 Aanbevelingen

Enkele aanbevelingen in verband met proefheiingen nabij waterkeringen (welke overigens ook gelden voor gewone heiwerken) zijn:

- het niet zonder meer toestaan van palen met vergrote paalvoet in verband met de vorming van kortsluitingen tussen de verschillende grondlagen en het daarmee gepaard gaande gevaar voor het ontstaan van zandmeevoerende wellen;
- het niet zonder meer toestaan dat palen of damwanden weer worden getrokken vanwege bovengenoemde reden;
- het niet uitvoeren van proefheiingen binnen 50 m uit de teen van de kering bij hoge buitenwaterstanden. Onder hoge buitenwaterstanden kan worden verstaan hoge rivierafvoeren bij rivierdijken en hoogwaterstanden hoger dan de gemiddelde hoogwaterstanden bij zeedijken.

Overigens wordt algemeen aanbevolen dat bij heiwerken binnen 50 m van de teen van een kering een deskundig grondmechanisch advies moet worden ingewonnen.

## BIJLAGE I-1

### HET DICHTEN VAN BOORGATEN EN SONDEERGATEN IN EN NABIJ WATERKERINGEN

Voor het dichten van boorgaten en sondeergaten kan gebruik worden gemaakt van afdichtend materiaal zoals bijv. bentoniet of een cement/bentonietsuspensie.

*Bentoniet* is de naam van een bepaalde kleisoort die sterk zwellende eigenschappen bezit.

De benaming wordt ook gebruikt voor een suspensie van bentoniet klei met water. In rust vertoont een dergelijk mengsel opstijvende eigenschappen.

*Cement/bentonietsuspensie* is een suspensie van water, cement en bentoniet, dat zodanig is samengesteld dat het mengsel goede verhardende en afdichtende eigenschappen bezit. De samenstelling van de suspensie dient per geval te worden vastgesteld. Een gebruikelijke samenstelling voor de afdichting van boorgaten is:

water	885 l
bentoniet	31 kg
cement	265 kg
waterglas	18 l

Dit komt neer op de volgende gewichtsverhoudingen:

Gewicht water/gewicht cement:	3,33
Gewicht water/gewicht cement + bentoniet (of klei):	3

Voor de uitvoering van het dichten van boor- of sondeergaten hebben boorfirma's vaak hun eigen methoden.

Enige gebruikte uitvoeringsmethoden zijn de volgende:

- a. *Afdichting sondeergaten*: Direct na het trekken van de sondeerbuizen wordt in hetzelfde gat een kunststof buis met een iets kleinere diameter dan de sondeerbuis weggedrukt. Dit kan meestal met de hand. Aan de onderzijde is de kunststof buis met een houten punt afgesloten (zie figuur 1) zodat er geen water in kan komen. Als de buis op de gewenste diepte is dan wordt deze gevuld met een opstijvende cement/bentoniet-suspensie. Daarna wordt de kunststof buis getrokken. De houten punt blijft in de grond achter en het gat wordt gevuld met de cement/bentoniet-suspensie.

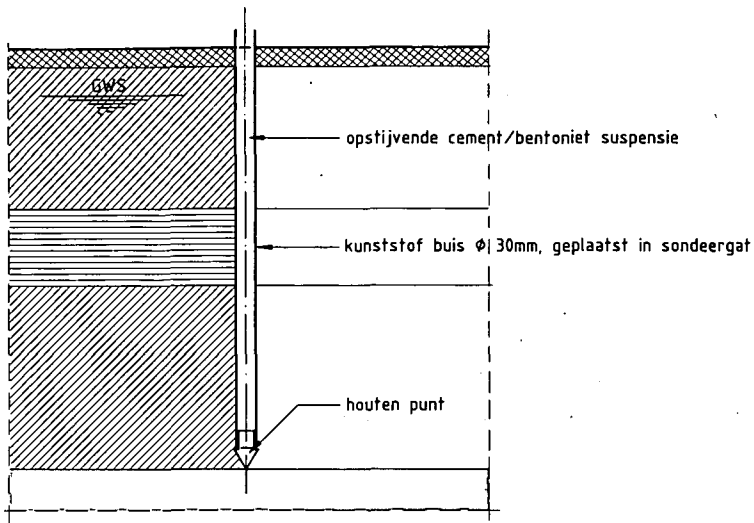


Fig. I-1

- b. *Pulsboringen*: Vóór het trekken van de op diepte gebrachte en geheel met water gevulde boorbuis wordt van onderen af, door middel van een kleinere buis, opstijvende cement/bentonietsuspensie in de boorbuis gebracht (zie figuur 2).

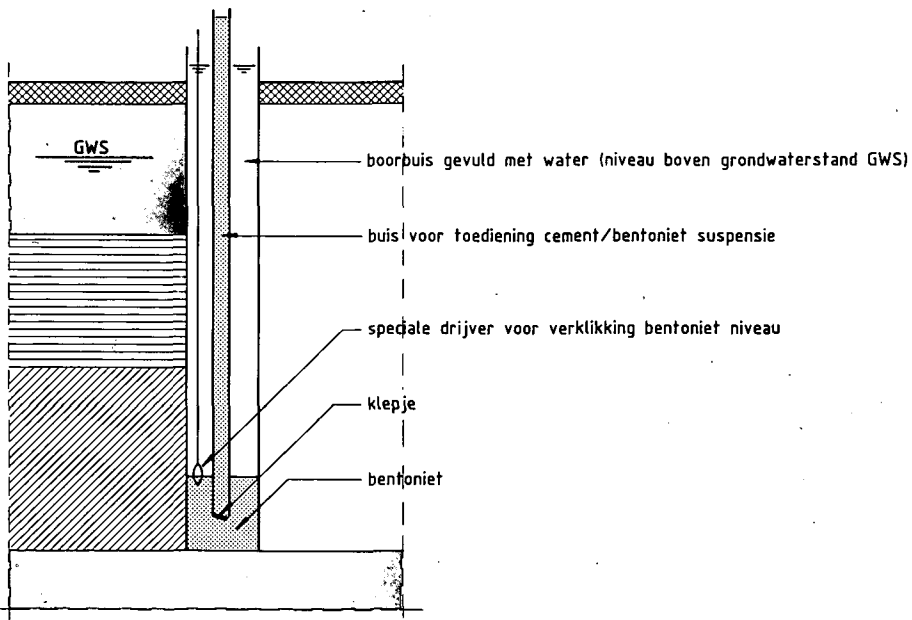


Fig. I-2



Deze kleine buis die leeg wordt ingebracht, is aan de onderzijde afgesloten door een klep die door de waterdruk in de boorbuis wordt dichtgedrukt. Als de onderkant van de kleine buis zich nabij de bodem van het boorgat bevindt wordt ze gevuld met de cement/bentonietsuspensie. Deze suspensie is zwaarder dan water.

De klep opent zich dan en de bentoniet stroomt in het boorgat. De kleine buis wordt daarbij langzaam getrokken totdat er geen suspensie meer uitstroomt. Onderkant buis moet in deze fase onder het niveau van de suspensie in het boorgat blijven. Het niveau van de suspensie wordt verklikt door middel van een speciale drijver die iets zwaarder is dan water maar lichter dan de suspensie. Als de suspensie niet verder meer uit de kleine buis in het boorgat stroomt wordt de kleine buis geheel getrokken. De volgende stap is het gedeeltelijk trekken van de boorbuis tot een hoogte iets onder het niveau van de suspensie. Daarna wordt de bewerking zoveel malen herhaald als nodig is om een afsluitende laag van voldoende dikte te krijgen. Telkens vóór het aanbrengen van een nieuwe suspensie laag dient de bovenkant van de reeds aanwezige laag goed te worden opgeschoond voor de verkrijging van een goede aansluiting.

Dit is nodig omdat zich anders een eventuele wateroverdruk kan opbouwen tussen de verschillende lagen (zie figuur 3).

Bovendien is er ook gevaar voor kortsluiting langs de afscheiding tussen de korte bentonietproppen.

Het is ook mogelijk om in één bewerking een suspensieprop van voldoende lengte te maken. De kleine buis kan daarvoor worden aangesloten op een hoger geplaatst vat met een voldoende hoeveelheid suspensie of op een pomp.

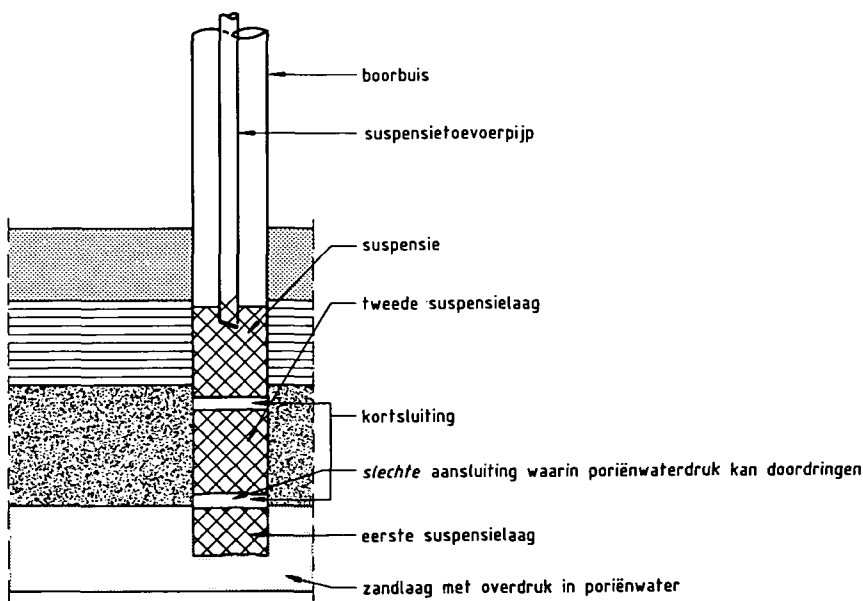


Fig. I-3

c. *Continuboringen:* Hierbij kan het aanbrengen een probleem vormen. In de regel moet namelijk voor het winnen van het continu gestoken monster het stelsel buizen worden getrokken.

Bij de continuboringen  $\varnothing 29$  mm is het mogelijk de „grondworst” uit het buizenstelsel te trekken als deze zich nog in de grond bevindt. Door de nu open boorbuis kan vervolgens cement/bentonietspecie in het boorgat worden gebracht bij gelijktijdig trekken van de boorbuizen.

Bij continuboringen  $\varnothing 66$  mm kan deze procedure niet worden toegepast.

In dat geval zou een soortgelijke afdichtingsprocedure als bij de sonderingen kunnen worden gevolgd. Als gevolg van de grote diameter zal de plastic buis echter niet meer met de hand in de grond kunnen worden weggedrukt.

## LITERATUURLIJST

1. Centrum voor Onderzoek Waterkeringen, *De effecten van explosies op waterkeringen, A 73.036*, (1986) intern rapport.
2. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, *Leidraad voor constructie en beheer van gasleidingen in en nabij waterkeringen*, (1973).
3. Provincie Zuid-Holland, *Pijpleidingcode*.
4. Ministerie van Economische Zaken, *Nadere regelen Mijnreglement seismische onderzoeken*, Stcrt. no. 100, 26 mei 1987.
5. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Baggerreglement*, bijlage bij de Waterstaatswetgeving.
6. SCHYDLOWSKI, G. P., Dienst voor het Mijnwezen, Memorandum 5 sept., *Trillingsmetingen aan waterkeringen in Friesland en Groningen*, (1972).
7. SCHYDLOWSKI, G. P., Dienst voor het Mijnwezen, Memorandum, *Trillingsmetingen N.O. Polder 10-11-'80*, (1981).

De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen werd door de Minister van Verkeer en Waterstaat ingesteld.

De commissie adviseert de minister omtrent alle technisch-wetenschappelijke aspecten die van belang kunnen zijn voor een doelmatige constructie en het onderhoud van waterkeringen, dan wel voor de veiligheid van door waterkeringen beschermde gebieden.