TEKSTNAAM: cow-40 (R)P: 01

BL 83-44

Auteur Saathof

Concept: Leidraad bij Bodemonderzoek
in en nabij waterkeringen.

COW
december 1984.

Inhoud

I. Inleiding

II. Grondboringen en sonderingen.
II.1. Inleiding en probleemstelling.
II.2. Gevolgen van sonderingen en boringen voor de waterkering.
II.3. Maatregelen om nadelige gevolgen voor de waterkering te ondervangen.

III. Exploratie- en exploitatieboringen.
III.1. Inleiding en probleemstelling
III.2. Aanbevelingen in verband met de mogelijke gevolgen van exploratie- en exploitatieboringen.

IV. Explosies en andere trillingsbronnen.
IV.1. Inleiding en probleemstelling.
IV.2. Explosies.
IV.2.1. Middel.
IV.2.2. Medium.
IV.2.3. Lokatie.
IV.3. Gevolgen van explosies voor waterkeringen.
IV.3.1. Explosiekrater en plastische zone.
IV.3.2. Bodemverweking en zettingsvloeiing.
IV.3.3. Schokgolf.
IV.3.3.1. Schokgolf in lucht.
IV.3.3.2. Schokgolf in water.
IV.3.4. Invloed van lokatie en medium.
IV.4. Te nemen maatregelen en benodigde veiligheidsafstanden.
IV.4.1. Stabiliteitszone van dijken.
IV.4.2. Maatregelen en veiligheidsafstanden bij seismisch onderzoek.
IV.4.3. Maatregelen en veiligheidsafstanden bij gevaar voor andere explosies.
IV.4.4. Maatregelen bij gevaar door andere trillingsbronnen.

Literatuur
Bijlage over het afdichten van boor- en sondeergaten.

I. Inleiding.

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

In dit verband wordt gedacht aan activiteiten waarbij trillingen of schokken worden opgewekt waardoor de ondergrond van een waterkering (te veel) in draagkracht achteruit zou kunnen gaan. Met name kan genoemd worden onderzoek naar draagkracht en mechanisch gedrag van grondlagen, maar evenzo onderzoek naar de geologische opbouw en samenstelling en naar de aanwezigheid van aardolie, aardgas, andere delfstoffen en zoet grondwater. Hiertoe wordt vaak gebruik gemaakt van sonderingen voor de draagkrachtbepaling van boringen, voor de vaststelling van de geotechnische opbouw van de bodem en het verkrijgen van monsters voor laboratoriumonderzoek en van seismisch onderzoek ter bepaling van de aanwezige lagenstructuur op grotere diepte in de bodem. Tevens wordt er ingegaan op de exploratieboringen naar delfstoffen, welke tot zeer grote diepte kunnen gaan.
Trillingen of schokgolven worden, behalve door seismisch onderzoek, ook opgewekt door bodemonderzoek d.m.v. proefheiingen en ~~het verkeer~~, bovendien kan hier ~~het~~ ontploffen van ~~springstoffen worden vermeld~~.
Genoemde activiteiten hebben in principe invloed op de toestand van de ondergrond. Deze invloed kan zich kan 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 enerzijds voor het verbeteren van bestaande waterkeringen en bij de bouw van nieuwe waterkeringen vooraf ter plaatse grondonderzoek wordt uitgevoerd en anderzijds voor onderzoeken uit ander oogmerk vaak niet voldoende ruimte beschikbaar is om een bij voorbaat veilige afstand tot de waterkering in acht te nemen.
Bovendien worden waterkeringbeheerders nogal eens geconfronteerd met de vraag in welke mate andere ~~(potentiële)~~ explosies een gevaar kunnen opleveren voor waterkeringen. Hierbij wordt gedacht aan opslag van explosieven en niet aan de gevolgen van vrije gaswolkexplosies (deflagratie).

Er worden ten aanzien van gevolgen van explosies formules gehanteerd welke tot 100 kg. equiv. TNT ~~opgang doen~~. Voor grotere hoeveelheden is deze leidraad niet zonder meer geschikt en zal specifiek gezocht moeten worden naar van toepassing zijnde beschrijvingen. Ook voor vrije gaswolkexplosies biedt deze leidraad geen modellen of beschouwingen.

In deze leidraad is getracht aan te geven wat de effecten van de diverse onderzoekmethoden en explosies op het functioneren van de waterkering kunnen zijn en hoe schadelijke ef-

fecten kunnen worden voorkomen of teniet gedaan. Daar de zich hierbij voordoende vraagstukken nog lang niet alle volledig zijn opgelost door het vaak complexe karakter van de materie, is de leidraad gebaseerd op in de loop der jaren opgedane ervaringen bij het onderzoek in de bodem en op theoretische kennis voorzover deze beschikbaar was. Nadrukkelijk zij gesteld dat met deze leidraad niet wordt pretendeerd volledig te zijn en voor alle vraagstukken een oplossing te geven. 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.

Kan een leidraad pretenties hebben.

II. Grondboringen en sonderingen

II.1. Inleiding en probleemstelling

In de ondergrond van Nederland komen op veel plaatsen slecht doorlatende lagen voor. Deze lagen vormen een begrenzing van verschillende watervoerende lagen. De lagen onder en boven een slecht doorlatende laag zijn in het algemeen verschillend qua samenstelling, temperatuur en stijghoogte van het grondwater.
Door onderzoek in de bodem onder meer door middel van sonderingen en boringen (ook die door seismisch onderzoek) kunnen de afsluitende grondlagen worden doorbroken. Dit kan diverse ongewenste gevolgen hebben. Deze leidraad beperkt zich tot de gevolgen voor (nabij gelegen) waterkeringen. Welke de gevolgen zijn en welke maatregelen hiertegen genomen moeten worden, is in de volgende twee paragrafen aangegeven.

II.2. Gevolgen van sonderingen en boringen voor de waterkering

Bij doorbreking van een afsluitende laag door boringen en sonderingen in of nabij een waterkering, zijn er twee gevallen te onderscheiden nl. perforatie van een binnendijks en perforatie van een buitendijks gelegen afsluitende laag (zie figuren 1 en 2).

a. perforatie van een binnendijks gelegen afsluitende laag (fig. 1).
In dit geval kan in de watervoerende laag onder de afsluitende slecht doorlatende laag een wateroverdruk aanwezig zijn bijv. door een hoge rivierstand.
Na het doorbreken van de afsluitende laag zal het water uit gaan stromen door de perforatie. Dit werkt als een soort drainage: de waterdruk onder de afsluitende laag zal afnemen en de korrelspanning in het zand en dus ook de schuifweerstand zal toenemen, wat in principe gunstig is voor de stabiliteit van de waterkering. Ook de freatische lijn in de waterkering kan gunstig worden beïnvloed; deze kan lager komen te liggen.
Nadrukkelijk wordt echter gewezen op het gevaar van vorming van zandmeevoerende wellen ter plaatse van de perforaties. Het grondwater zal door de aanwezige overdruk naar boven toe uitstromen en indien de uitstroomsnelheid voldoende groot is, ook zand meevoeren. Dit kan op kortere of langere termijn onder ongunstige omstandheden leiden tot een ondermijning van de waterkering.

b. perforatie van een buitendijks gelegen afsluitende laag (fig. 2).
Ook hier kan onder de afsluitende laag achter de waterkering een wateroverdruk aanwezig zijn, die echter afneemt naar mate de afstand tot het intredepunt, bijv. een rivier, toeneemt. Wordt nu buitendijks in de nabijheid van een waterkering deze slecht doorlatende laag doorbroken,

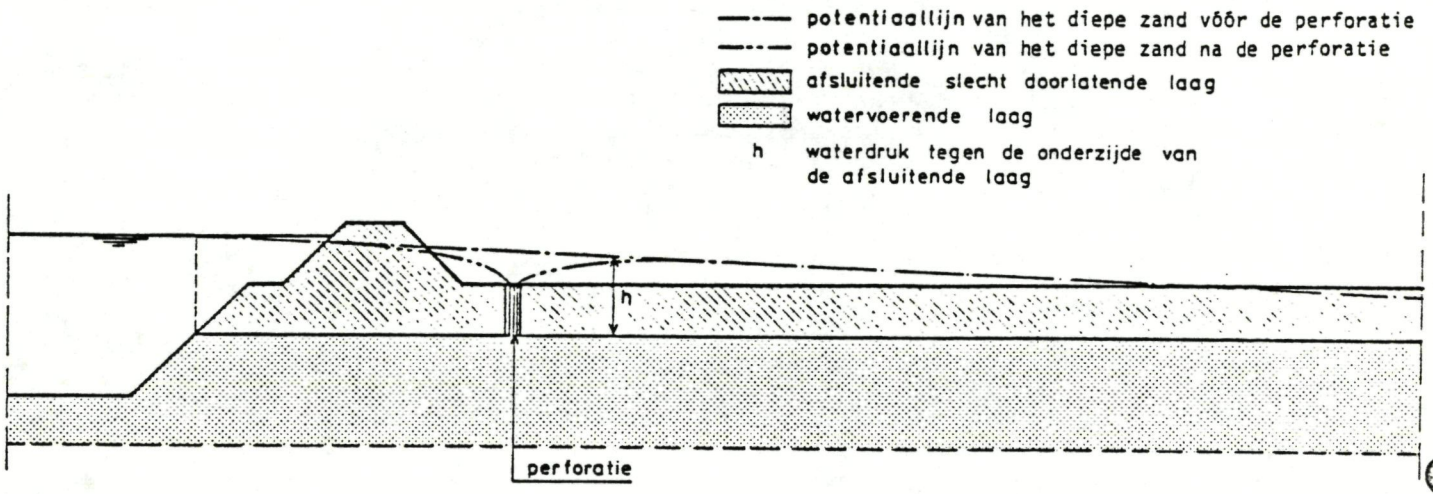


Fig. 1 DOORBREKING BINNENDIJKSE AFSLUITENDE LAAG

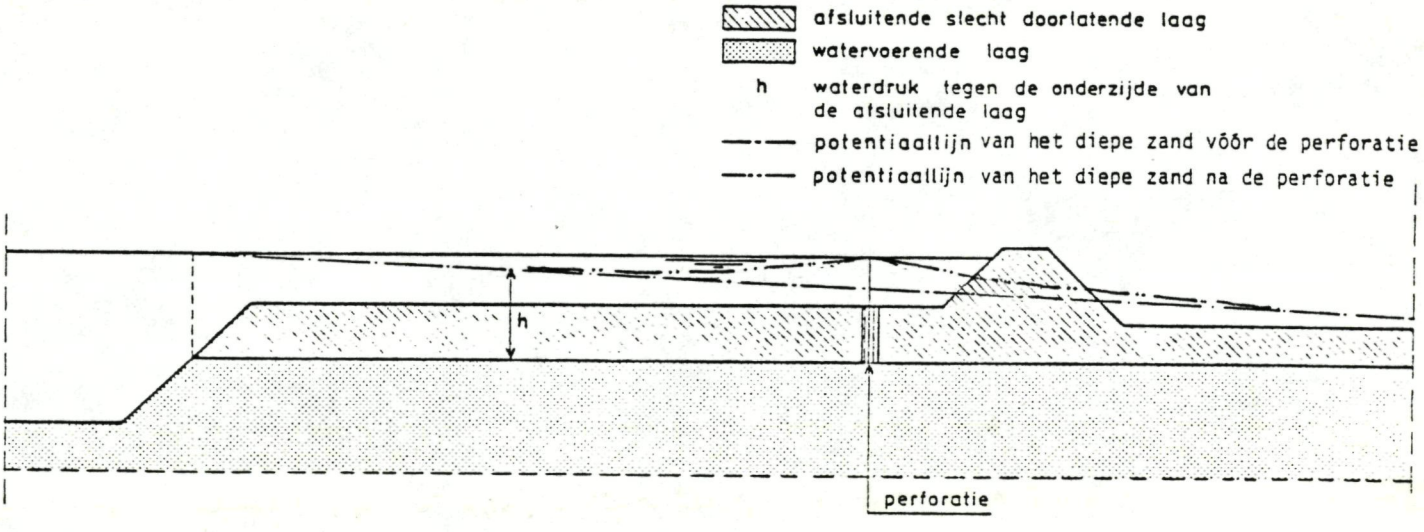


Fig. 2 DOORBREKING BUITENDIJKSE AFSLUITENDE LAAG

dan kan dit de waterdruk onder de afsluitende laag ter plaatse van de waterkering aanzienlijk doen stijgen, wat resulteert in een verlaging van de korrelspanning en dus ook van de schuifweerstand in de watervoerende laag. Dit kan mogelijk tot stabiliteitsverlies van de waterkering leiden. Verder bestaat de mogelijkheid van het ontstaan of verergeren van kwel met eventueel zandmeevoerende wellen achter de waterkering, indien de afsluitende laag daar niet of niet voldoende aanwezig is.

II.3. Maatregelen om nadelige gevolgen voor de waterkering te ondervangen

De genoemde bezwaren kunnen in het algemeen afdoende worden ondervangen door het dichten van de ontstane gaten met ondoorlatend materiaal over de gehele lengte van het gat of in ieder geval over zodanige lengte dat het gat over de gehele dikte van de slecht doorlatende laag met dit materiaal is opgevuld. Zie hiervoor bijlage I.
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, met name puls- en steekboringen in en nabij waterkeringen.

III. Exploratieboringen

III.1. Inleiding en probleemstelling

Onder de in dit hoofdstuk te behandelen exploratieboringen dient te worden verstaan volgens artikel 1 van het Mijnreglement 1964:
"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". De mogelijke gevolgen van blow-out 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 pekel.
     Indien olie in de grond infiltreert, moet rekening gehouden worden met een mogelijke afname van de schuifweerstand van de grond van 10 tot 30 procent.

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

III.2. Aanbevelingen in verband met de mogelijke gevolgen van exploratieboringen

Blijkens calamiteiten in het buitenland en ook in Nederland (bijv. Sleen 1965, Schoonebeek 1976, Wassenaar 1983), is blow-out niet uit te sluiten.
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.

Deze gevolgen kunnen zo desastreus zijn dat niet kan worden toegestaan dat op korte afstand van een hoofdwaterkering

wordt geboord. 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 500 m aangehouden. Deze uit de praktijk stammende maat lijkt voldoende om de waterkering in geval van een evenwichtsverstoring van de ondergrond door blow-out voor bezwijken te behoeden.
Tevens moet deze afstand van 500 m voldoende worden geacht om nadelige gevolgen voor de waterkering door verontreiniging en doorbreking van afsluitende lagen te ondervangen.
Indien het gewenst is binnen bovengenoemde afstand van een waterkering te boren, zal door een nader onderzoek aangetoond moeten worden dat dit geen gevaar voor de waterkering oplevert.

IV. Explosies en andere trillingsbronnen

IV.1. Inleiding en probleemstelling

Bij explosies komt in korte tijd een grote hoeveelheid energie vrij welke aan de omgeving wordt afgegeven. De hierbij optredende effecten zoals trillingen, schokgolven en eventueel kratervorming kunnen nadelige gevolgen hebben voor de waterkering.
Echter ook door andere oorzaken opgewekte trillingen zoals door aardbevingen en mechanisch opgewekte trillingen zoals door de airgun, trilauto's t.b.v. seismisch onderzoek, proefheiingen kunnen mogelijk voor de waterkering nadelig zijn.
Het merendeel der explosies die zich voordoen wordt doelbewust veroorzaakt ten behoeve van voornamelijk seismische onderzoekingen. Explosies kunnen echter ook voorkomen ten gevolge van ongevallen zoals explosies van springstoffen en munitie bij fabricage, transport en opslag en van gasleidingen en gastanks (drukopslag). Sabotage en oorlogsomstandigheden worden hier verder buiten beschouwing gelaten.
In deze leidraad wordt hoofdzakelijk gedacht aan explosieverschijnselen bij detonatie (incidenteel bij deflagratie).
Voor de aspecten betreffende fysische explosies (dus niet voor de pyrogene of chemische explosies) van gasleidingen raadplege men de door de Provinciale Waterstaat in Zuid Holland opgestelde Pijpleidingcode rev. 1984 (lid 4.15).
Ten aanzien van het gevaar voor een waterkering kan een onderscheid worden gemaakt tussen de doelbewust veroorzaakte explosies en die ten gevolge van een ongeval. Immers bij eerstgenoemde explosies heeft men de vrije keuze van de kracht en het tijdstip van de ontploffing, zodat men daarbij eventueel kan wachten tot de omstandigheden (daarvoor) gunstig zijn en bijvoorbeeld een lage waterstand vóór de waterkering aanwezig is.
Welke van de genoemde verschijnselen in een bepaalde situatie maatgevend zal zijn, hangt af van een aantal factoren, zoals:

- vindt de explosie in de lucht, in het water of in de grond plaats en op welke hoogte, respectievelijk diepte;
- hoe is de grondgesteldheid ter plaatse (grondsoort en -eigenschap, watergehalte, en dergelijke);
- welke soort waterkering is aanwezig (dijk, duin, of kunstwerk) en welke mate van stabiliteit is aanwezig zonder invloeden van een explosie.
- de kracht van de explosie.

In het volgende zullen deze gevaren nader worden toegelicht en uitgewerkt, waarbij getracht zal worden een relatie te geven tussen de ladinggrootte en de vereiste afstand van het explosiepunt tot de waterkering voor de verschillende omstandigheden waaronder de explosie plaatsvindt. Echter de uitwerking van een explosie op de omgeving is zeer moeilijk mathematisch te beschrijven en voor een deel zelfs nog onopgelost. Een voorspelling van de bij explosies optredende

verschijnselen zal voor een belangrijk deel moeten worden gebaseerd op waarnemingen bij eerdere explosies.
Hiertoe zijn schaalwetten opgesteld, die de verschillende uitwerkingen van een explosie globaal voorspellen en waarmee omrekenen voor explosies van verschillende ladinggrootte onder soortgelijke omstandigheden mogelijk gemaakt is.
Het zal echter duidelijk zijn dat op deze wijze uitgevoerde berekeningen, bijvoorbeeld voor het bepalen van de vereiste afstand tussen een explosie van een zekere ladinggrootte en een op zichzelf ingewikkelde discontinuïteit als de waterkering, slechts een indicatief karakter kunnen hebben.
Het is uit het oogpunt van waterkeringbelang dan ook gewenst dat men zich niet afvraagt hoe groot (lees: klein) de minimale afstand tussen een explosie en de waterkering moet zijn, maar eerder hoe ver men van de waterkering verwijderd kan blijven met de explosies, zonder in ernstig conflict te geraken met andere belangen. Als in de geest van deze "hoofdregel" gehandeld zou worden, zouden zeer waarschijnlijk een groot aantal problemen met betrekking tot explosies bij waterkeringen bij voorbaat zijn opgelost.

IV.2. Explosies

IV.2.1. Middel

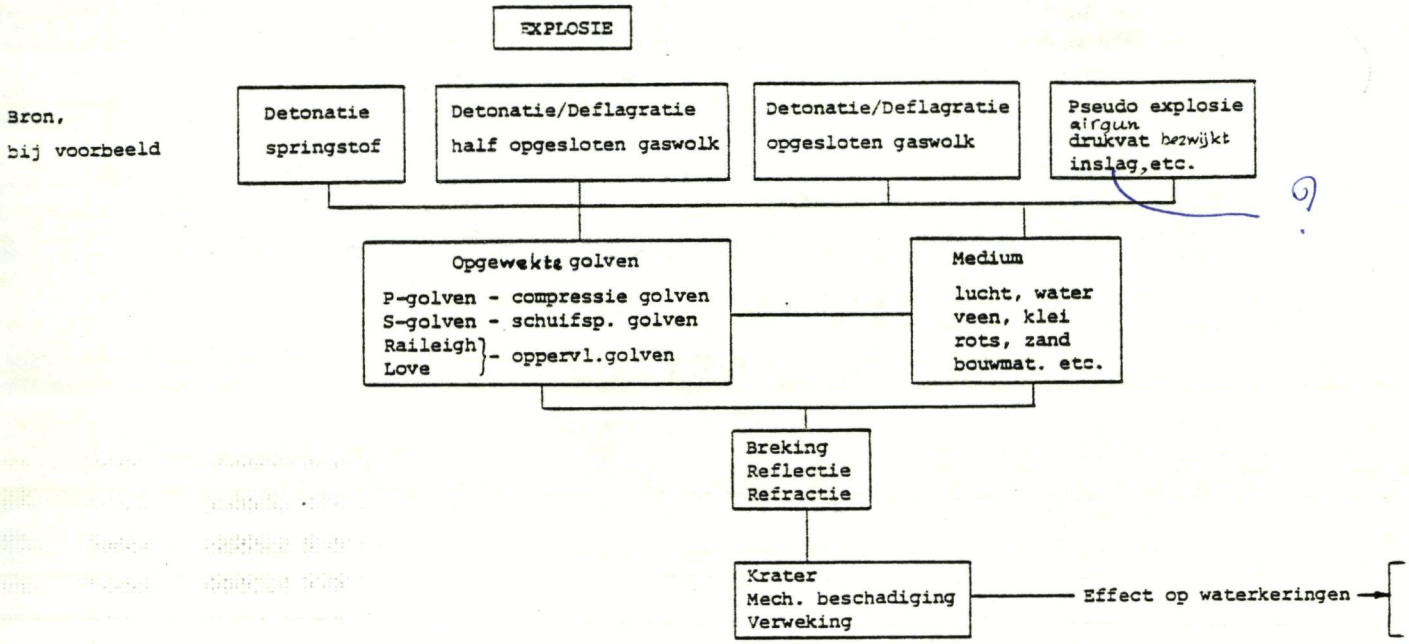
Zonder al te uitvoerig in te gaan op de verschillende soorten explosieven en de verschillende in gebruik zijnde systemen bij het seismisch onderzoek moet volledigheidshalve hieraan enige aandacht worden besteed. Dit in verband met de verschillen in uitwerking bij de explosies.
Bij beschouwing van een zekere hoeveelheid (massa) explosief materiaal zal bij detonatie de totale energie die vrijkomt en de energie per tijdseenheid in de eerste plaats afhankelijk zijn van de soort springstof. Voorts zullen deze ondermeer worden beïnvloed door de dichtheid van de springstof, de vorm van de lading (in een punt of uitgestrekt) en de diameter van de deeltjes bij korrelvormige springstoffen. Een en ander kan voor extrema grote verschillen te zien geven. Bovendien moet worden bedacht dat ook deze problematiek nog volop in ontwikkeling is, vooral ten aanzien van de toe te passen werkwijze.

De gebruikte ladinggewichten voor seismisch onderzoek varieren van ca. 100 gram tot enkele kilo's.
Als gevolg van ontwikkeling op het gebied van opnametechnieken en signaalverwerking kan men met aanmerkelijk kleinere ladingen toe dan voor enkele jaren mogelijk was.
De meest gebruikte methode maakt gebruik van een enkele springlading die op een tiental meters diepte tot ontploffing wordt gebracht en een puntlading wordt genoemd.
Soms wordt nog wel gebruik gemaakt van slagkoord, hierbij is de springlading gelijkmatig verdeeld over een snoer van enkele meters lengte. Een aantal snoeren evenwijdig naast elkaar (met bijvoorbeeld twee meter tussenruimte) wordt daar-

bij op geringe diepte (± 0,5 m) gelijktijdig ontstoken. Echter deze methode is thans in onbruik geraakt door de hierbij optredende kratervorming. In zijn algemeenheid worden methoden waarbij kratervorming te verwachten is door het Staatstoezicht op de Mijnen niet meer toegestaan. Deze instantie treedt regelend op bij het opsporen en winnen van delfstoffen namens de minister van Economische Zaken.
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 maximaal 5 x 5 gaten elk geladen met 100 à 125 gram springstof gelijktijdig afgeschoten, zodat over een oppervlakte van 100 à 125 m^2 een lading van ca. 3 kg. wordt afgevuurd.
Bij seismisch onderzoek op open wateren, zoals IJsselmeer en Waddenzee, worden naast springstof, vanwege de grote nadelen ervan voor de visstand, ook mechanische trillingsbronnen gebruikt. Hiervoor staat onder meer de "airgun" beschikbaar. Er wordt dan achter een (speciaal) onderzoeksschip een aantal cilinders in een bepaald patroon voortgesleept. Deze cilinders worden op een bepaalde diepte zwevend gehouden en via slangen vanaf het schip tot hoge druk (30 tot 130 bar) gevuld met lucht. Door de cilinders plotseling te openen wordt een schokgolf gecreëerd welke een lagere piekdruk heeft dan die van springstoffen, hetgeen met name voor de visstand minder schadelijk is.
Tevens kan hier nog genoemd worden de methode, bekend onder de merknaam vibroseis, waarbij via een (speciaal) voertuig op de weg mechanisch opgewekte trillingen de grond worden ingestuurd. Veelal werken twee of drie van dergelijke voertuigen op een afstand van enkele tientallen meters tegelijkertijd.

In deze leidraad wordt bij het opstellen van rekenregels steeds uitgegaan van puntladingen met een zekere hoeveelheid T.N.T. equivalent, met de motivering:
- puntladingen worden in de praktijk veel gebruikt en zijn rekentechnisch eenvoudiger dan bijvoorbeeld gestrekte ladingen;
- het is gebruikelijk T.N.T. als "referentie springstof" te gebruiken;
- bij seismische onderzoeken wordt veelvuldig gebruik gemaakt van explosieven die eenzelfde uitwerking kunnen hebben als T.N.T., zodat deze hoeveelheden springstof na omrekening vergelijkbaar zijn.

Een en ander houdt echter in, dat bij toepassing van andere explosieve stoffen dan T.N.T., de in dit rapport genoemde afstanden niet zonder meer behoeven te worden aangehouden of dat omrekening naar T.N.T. equivalenten moet plaatsvinden.
Ter oriëntatie is een schema A gegeven waarop eenvoudig valt af te lezen welke verschijnselen en effecten er bij explosies optreden en achtereenvolgens in de volgende paragrafen aan de orde zullen komen.



Schema A

IV.2.2. Medium

De verschijnselen op een zekere afstand van het explosiepunt zullen sterk afhankelijk zijn van het medium, waarin de explosie plaatsvindt.

Om enkele begrippen duidelijk te maken eerst het volgende. De bewegingsvergelijkingen bij een dynamische belasting op het oppervlak van een half-oneindig, homogeen, isotroop, elastisch medium (eigenschappen vastgelegd door een elasticiteitsmodulus E en constante van Poisson) zijn bekend lit.2. Hieruit blijkt dat onder die omstandigheden de bewegingen van het medium kunnen worden beschreven door een onderverdeling van de totale beweging in een aantal golven met een verschillend karakter, namelijk:

- een longitudinale golf of compressie golf (P-wave), waarbij de bewegingsrichting van de deeltjes van het medium in de richting van de golfvoortplanting is:
- een transversale golf of schuifgolf (S-wave), waarbij de beweging van de deeltjes loodrecht op de golfvoortplantingsrichting staat.
- een z.g. Raileigh golf (R-wave), waarbij de deeltjes een min of meer rollende beweging maken.

Naast de reeds genoemde zijn nog een aantal kenmerkende verschillen tussen deze golven aan te wijzen. Zo planten de beide eerstgenoemde golven zich door het gehele medium voort, terwijl de Raileigh golf zich slechts aan het oppervlak en op een geringe diepte daaronder manifesteert. Voorts zijn de snelheden waarmede de verschillende golven zich door

het medium voortplanten ongelijk; de snelheden en de verhouding tussen de snelheden van de golven zijn afhankelijk van de eigenschappen van het materiaal. De demping, die optreedt in het medium bij toenemende afstand tot de belastingbron is eveneens voor de verschillende golven ongelijk; de Raileigh golf dempt minder snel uit dan de beide andere. Bovendien zal deze R-wave een relatief groot deel van de totale energie bevatten, zodat zeker op enige afstand de sterkste bewegingen aan de oppervlakte veroorzaakt worden door deze golf.

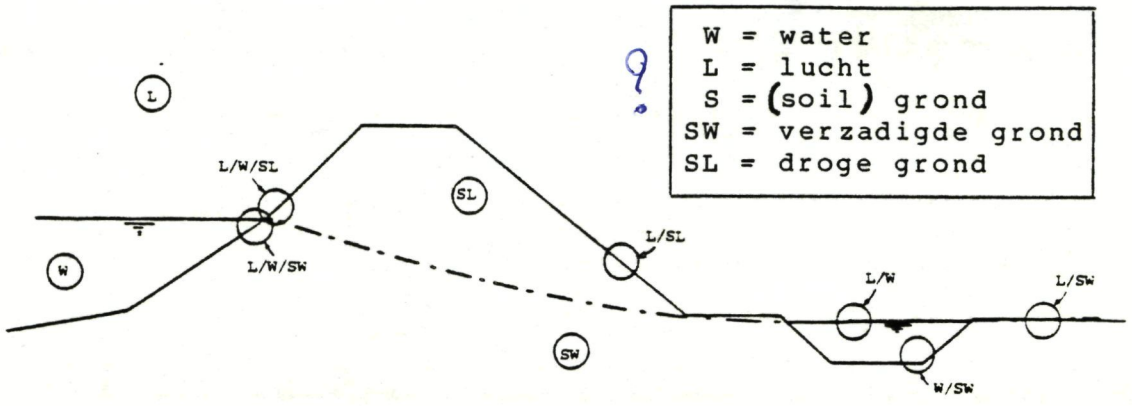
Een bijzonder geval doet zich voor als een ontploffing zich voordoet in een medium, waarin geen schuifspanningen kunnen worden opgenomen. Hieraan voldoen bij benadering water en lucht. In deze gevallen zal er alleen sprake zijn van een compressie golf.

In de praktijk echter zullen ten opzichte van deze geïdealiseerde toestanden zich steeds complicaties voordoen, die een voorspelling van de uitwerking van een explosie bemoeilijken. Dit komt vooral naar voren bij explosies in de grond; grond is noch elastisch, noch homogeen en zal vrijwel altijd min of meer gelaagd zijn.
Vooral bij een sterke gelaagdheid van de bodem kunnen de golfpatronen zeer ingewikkeld worden, waardoor de grondbeweging en spanningsveranderingen nauwelijks of in het geheel niet meer te voorspellen zijn. Elke invallende golf op een laagscheiding zal namelijk door reflectie en breking nieuwe golven in het medium veroorzaken. Onder bepaalde omstandigheden kunnen zich bovendien òp de laagscheidingen golven voortplanten. Ook de oppervlakte golven zullen bij discontinuïteiten reflecteren, waarbij behalve een nieuwe oppervlakte golf, ook golven in het medium worden gereflecteerd.

De bovengenoemde verschijnselen zullen er dan ook de oorzaak van zijn dat de uitkomsten van de berekeningen volgens de "schaalwetten" slechts een vrij grove benadering kunnen zijn, doordat zelfs bij "ogenschijnlijk" soortgelijke omstandigheden, waarin de explosie plaatsvindt, toch nog verschillen aanwezig zullen zijn. De uitkomsten van metingen geven ook in die gevallen altijd een vrij grote spreiding in de resultaten te zien.
Een zekere ingebouwde reserve ten aanzien van de vereiste afstand tussen een explosie en de waterkeringen moet ook uit dit oogpunt als beslist noodzakelijk worden beschouwd.

IV.2.3. Lokatie

In verband met verschillen in de wijze, waarop de bij een explosie vrijkomende energie aan de omgeving wordt afgegeven (en dus de verschillen in belasting op de waterkering) is het nuttig een indeling te maken van de typen explosies die nabij de waterkeringen kunnen voorkomen.
Deze indeling kan er als volgt uitzien:



Lokatie, medium en grensvlakken waar explosies kunnen plaatsvinden

Naast deze indeling naar de plaats van de explosies moet ook onderscheid worden gemaakt naar de grondsoort (of eigenschappen van de grond), waaruit de bodem is opgebouwd. Grofweg zijn hierbij drie hoofdtypen te onderscheiden, namelijk bodems van zand, klei of veen.
In het algemeen werd in de literatuur slechts informatie aangetroffen over explosies in zand- en kleigrond.
Materiaal betreffende explosies in veen is schaars.
Slechts in één publikatie werd melding gemaakt van trillingsmetingen in veengebieden lit. 3.
Op grond van uitspraken van het Adviesbureau der Genie zou kunnen worden vastgesteld dat de uitwerking van een explosie in waterverzadigde veengrond vergelijkbaar is met explosies in waterverzadigde klei. Bij gemis aan voldoende gegevens zou de uitwerking van explosie in veen voorlopig globaal gelijkgesteld kunnen worden aan die in klei.
Bij explosies op het land zijn bovendien aanmerkelijke verschillen te constateren in explosies op, respectievelijk in waterverzadigde en niet waterverzadigde grond. In het rapport zal de nadruk liggen op explosies in waterverzadigde grond, omdat deze nabij waterkeringen veel worden aangetroffen.

IV.3. Gevolgen van explosies voor waterkeringen

Bij het beschouwen van de gevolgen van explosies voor waterkeringen dient men zich te realiseren dat er een verscheidenheid aan waterkeringen bestaat.
Onder de verzamelnaam waterkeringen wordt, zoals de naam reeds aanduidt, elke constructie verstaan, die een blijvende scheiding tussen land en water moet vormen.

Verschillende onderverdelingen van deze keringen zijn te geven:

a) naar de functie
   - eerste waterkeringen
   - tweede waterkeringen

b) naar de ligging
   - keringen aan zee
   - keringen om meren
   - keringen langs rivieren en beken
   - keringen langs kanalen en boezems

c) naar te keren water
   - waterstanden; permanent, periodiek of incidenteel hoog
   - water; zout, zoet of brak

d) naar het type waterkering
   - dijken
   - duinen
   - kunstwerken

Bij het opstellen van richtlijnen voor de vereiste afstand tussen een explosie en de waterkering zou elk van bovengenoemde factoren een rol kunnen spelen ten aanzien van het vaststellen van een aanvaardbaar minimum risico.
Zo zou een primaire waterkering met een constant groot verval een grotere (statistische) zekerheid behoeven voor de maatgevende uitwerking van de explosie dan bijvoorbeeld een rivierdijk in de perioden van lage afvoeren. Aangezien echter èn in de explosieven èn in de terreinomstandigheden zoveel onzekerheden voorkomen, is deze aanpak in de praktijk nauwelijk te verwezenlijken.
Er zal genoegen moeten worden genomen met een vaststelling van de vereiste afstand explosie-waterkering, waarbij het risico voor de waterkering onder ongunstige omstandigheden verwaarloosbaar gehouden is.
In dit rapport zal dan ook getracht worden uiteindelijk te komen tot een relatie tussen de ladinggrootte van een explosie, die plaatsvindt onder bepaalde omstandigheden en de afstand die daarbij tot de waterkering in acht moeten worden genomen waarbij de kans op schade aan de waterkering tot een aanvaardbaar minimum beperkt is.
De grootte van deze kans is helaas niet exact te geven, maar dient een verwaarloosbaar klein toegevoegd risico op te leveren.
Een onderscheid van waterkeringen in enerzijds de grondlichamen (dijken en duinen) en anderzijds kunstwerken lijkt echter door het geheel andere constructie-type wel zinvol.

Blijft nog de vraag wat in een concrete situatie tot de waterkering is te rekenen.
Voor een kunstwerk ligt dit vrij duidelijk, zeker ten opzichte van een grondlichaam. Bij deze laatste is het terrein aan weerszijden van dit lichaam tot een zekere breedte essentieel voor de stabiliteit en moet derhalve worden beschouwd als behorend tot de waterkering. De grootte van deze afstand is afhankelijk van de omstandigheden en in principe niet in een algemene regel vast te stellen. Wel is er een relatie te onderkennen tot de hoogte van het grondlichaam.
Uit een onderzoek van het Laboratorium voor Grondmechanica, zoals dit vermeld is in de leidraden voor constructie en beheer van vloeistof- en gasleidingen in en nabij waterkeringen van de T.A.W., zou een stabiliteitszone met een breedte van viermaal het hoogteverschil tussen de kruin en het aangrenzende terrein onder normale omstandigheden voldoende

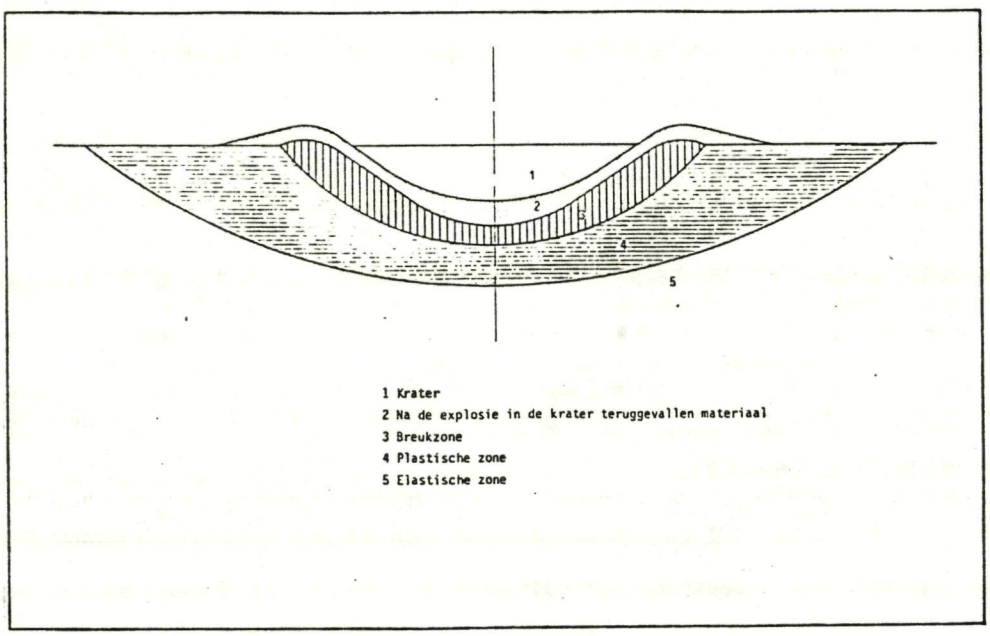
zijn om de invloed van een buiten deze strook optredende verstoring (b.v. ontgronding) op de stabiliteit van de kering te elimineren.

Hantering van deze breedte bij de vaststelling van de stabiliteitszone lijkt ook bij de beoordeling van explosies bij dijken het meest eenvoudig. Als echter voor een zeker geval wordt getwijfeld aan de geldigheid van deze algemene regel, bijvoorbeeld doordat extreem slappe lagen in de ondergrond voorkomen, of als een kleinere breedte van de veiligheidszone wordt gewenst, dient met een grondmechanisch onderzoek de minimaal benodigde breedte nader te worden vastgesteld.

In principe vormen bij een explosie de volgende verschijnselen een directe bedreiging voor de waterkering:

-a- Het geheel (of gedeeltelijk) vernielen van de waterkering door het verlies van stabiliteit van (het restant van) de waterkering als gevolg van de kratervorming en de breuk- en plastische zone in de grond rondom de kraterzone (zie figuur 3).

-b- Bezwijken van de kering door vermindering van de draagkracht (opneembare schuifspanning) in een waterverzadigde bodem, bodemverweking of zettingsvloeiing genoemd.



Dit laatste verschijnsel kan zich ook voordoen als gevolg van door andere oorzaken opgewekte trillingen, hierover meer in par. IV.4.4.

Naast bovengenoemde directe gevaren voor de stabiliteit van de waterkering kan door explosies ook indirect het waterkerend vermogen achteruitgaan, bijvoorbeeld door verzakkingen, als gevolg van verdichting (bijzand) of versnelde consolidatie (bij klei en veen). Deze indirecte effecten zijn in deze leidraad niet gespecificeerd.

Bovendien bestaat bij explosies het gevaar dat daardoor wa-

terafsluitende lagen in de bodem geperforeerd worden met als mogelijke nadelige gevolgen een groter (zout) kwelbezwaar of zelfs gevaar van welvorming (zie hiervoor o.a. par. II.2).

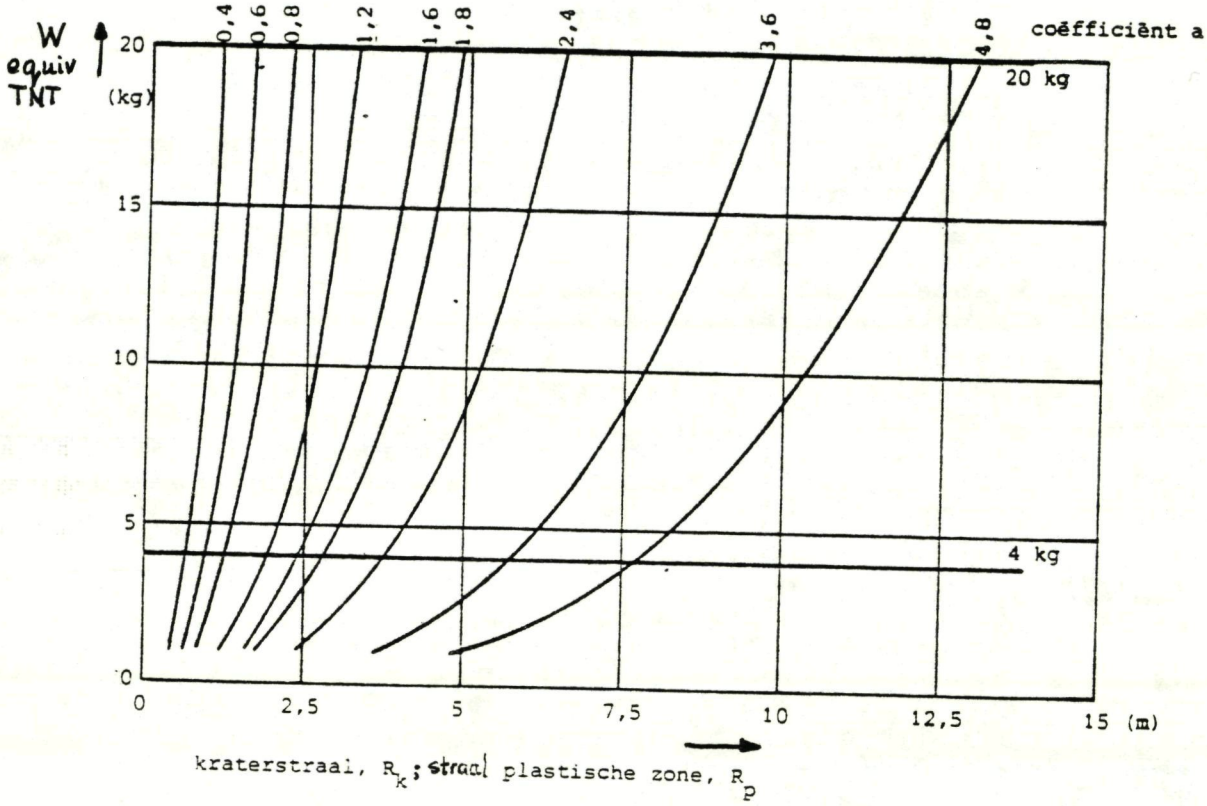
IV.3.1. Explosiekrater en plastische zone

Bij explosies kan een krater in de bodem worden gevormd, doordat door de zeer hoge plaatselijke belastingen op of in de grond, bodemmateriaal wordt weggeslingerd.
Rond de kraterzone bevindt zich de plastische zone, hierin hebben zich ten gevolge van de explosie plastische vervormingen voorgedaan. Ter plaatse van de kraterzone en een overgangsgebied tot de plastische zone wordt de structuur volledig verstoord, dit gebied wordt wel breukzone genoemd.
Experimenteel zijn relaties vastgelegd tussen de ladinggrootte van de explosie en de blijvende krateraafmetingen bij verschillende grondsoorten en omstandigheden (lit 4, 5, 6, en 7).
Deze relaties hebben doorgaans de vorm:

$R = p.W.^{q}$, waarin
R = kraterstraal,
W = springstofhoeveelheid (massa)
p en q zijn experimenteel bepaalde coëfficiënten, afhankelijk van grondsoort, watergehalte en dergelijke.

De afmetingen van kraters ten gevolge van explosies onder het maaiveld zullen toenemen met toenemende diepte van de explosie totdat een zekere maximale waarde wordt bereikt. Bij verdere toename van de explosie-diepte zullen de afmetingen allengs afnemen en zullen bij een zekere diepte slechts resulteren in een geringe zakking van de bodem. De diepte waarop de explosie moet plaatsvinden om de grootste afmetingen te veroorzaken (door militairen de optimumdiepte genoemd) is afhankelijk van de ladinggrootte, de grondsoort en dergelijke, waarin de explosie plaatsvindt. Volgens lit. 4 en lit. 7 worden de grootste kraterstralen verkregen bij explosies op een diepte $d = 0{,}5$ à $0{,}8\ W^{1/3}$ (W in kg springstof, d in meters). Deze stralen bedragen dan ruim het dubbele van die verkregen bij maaiveldexplosies. Voor de bepaling van de kraterstraal als gevolg van explosies in de bodem zou eenvoudigheidshalve, zonder te letten op de explosiediepte, een bovengrens voor de kraterstraal gehanteerd kunnen worden die tweemaal zo groot is als die bij de maaiveldexplosies, zoals vermeld in tabel 1 en in grafiek A op de volgende pagina.
De straal van de plastische zone is ongeveer driemaal zo groot als die van de kraterzone.

Overzicht van afstanden voor krater en plastische zone tot de waterkering exclusief veiligheidszone tot 20 kg equivalent TNT



Grafiek A

Algemene formule $a\ W^{1/3} = R_{k,p}$ geldig voor zand/klei en veen

(Grensvlak) medium	Coëfficiënt a		Commentaar
	Kraterstraal (R_k)	Plastische zone (R_p)	
L/SL	0,4	1,2	
L/SW	0,6	1,8	vast gepakt
	0,8	2,4	los gepakt
SL	0,8	2,4	
SW	1,2	3,6	vast gepakt
	1,6	4,8	los gepakt
W of W/SW	1,2	3,6	vast gepakt
	1,6	4,8	los gepakt

L = lucht
W = water
S = vaste stof
SL = droge grond
SW = (partieel) verzadigde grond
/ = aanduiding van een grensvlak

R_k = kraterstraal (m)
R_p = straal plastische zone (m)
W = ladinggewicht equiv. TNT (kg)

tabel I, bij grafiek A

IV.3.2. Bodemverweking en zettingsvloeiing

Bij een explosie met voldoende energie-inhoud in of op een waterverzadigde bodem zullen deformaties optreden als gevolg van wijziging in normaal- en schuifspanning.
Uit waarnemingen is gebleken dat deze structuurveranderingen zowel in een bodem van cohesieve grond als van cohesieloze grond voorkomen. Soms kunnen daarbij wateroverspanningen optreden ten gevolge van het heroriënteren van zandkorrels, hetgeen veelal optreedt bij losgepakte zanden.
Door het overspannen water zal de korrelspanning in de bodem ten opzichte van de toestand voor de explosie zijn verminderd of zelfs geheel wegvallen, waardoor de schuifweerstand van de grond eveneens verminderd of zelfs tot nul gereduceerd wordt.

Deze vermindering van de schuifweerstand in de grond rond het explosiepunt wordt bodemverweking genoemd. In gevallen waarbij maximaal 100 kg. equivalent T.N.T. wordt gebruikt is gevonden dat de mate waarin het draagvermogen van de grond in de nabijheid van de explosie afneemt kan worden uitgedrukt als:

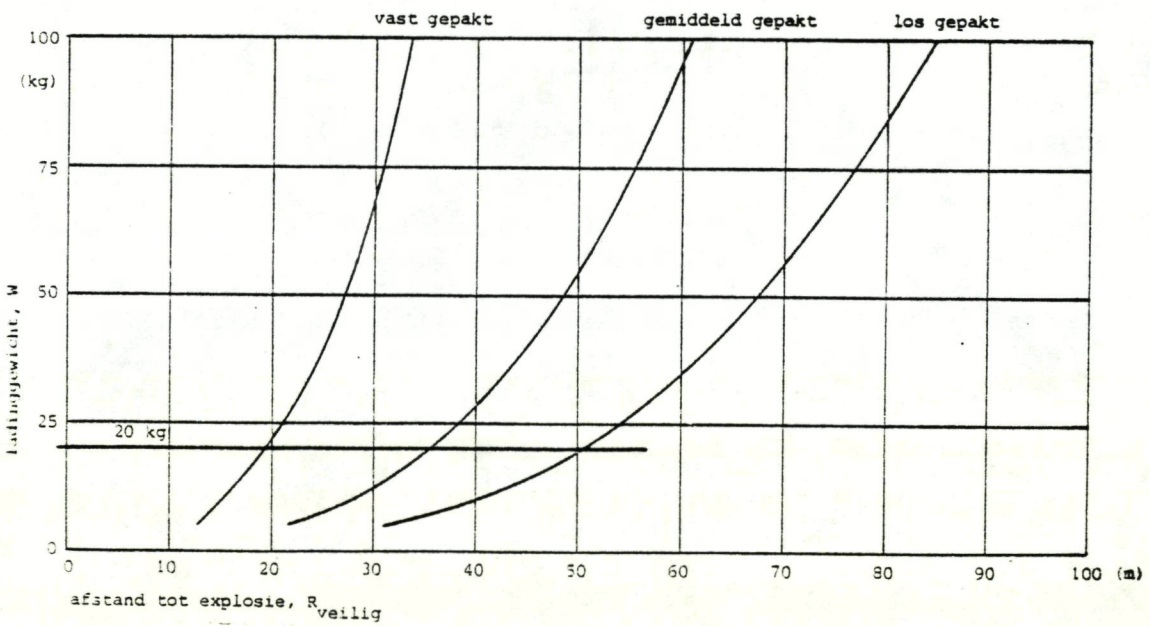
$$\frac{\Delta u}{\sigma'} = a + b \ln \frac{W^{1/3}}{R} \qquad \text{(lit. 8)}$$

Δu = wateroverspanning in Pa
σ' = oorspronkelijke korrelspanning in Pa
W = ladingmassa in kg TNT equiv.
R = afstand tot de lading in m
a,b = coëfficiënten afhankelijk van grondsoort en dichtheid

	a	b
los gepakt zand	2,15	0,74
gemiddeld	1,65	0,64
vast gepakt zand	1,53	0,77

Zie ook grafiek B

Overzicht van afstanden verweking/zettingsvloeiing tot de waterkering exclusief stabiliteitszone tot 100 kg equivalent TNT



Grafiek B

De verhouding $\Delta u/\sigma'$ kan gezien worden als een criterium voor bodemverweking, waarden $\leq 0,1$ kunnen als veilig gelden, terwijl waarden vanaf 0,8 als volledig verweekt kunnen worden aangemerkt. Waarden tussen deze extrema geven aanleiding tot een nadere beschouwing om te zien of die in gegeven omstandigheden toelaatbaar zijn.
Grote voorzichtigheid is geboden daar waar reeds wateroverspanningen aanwezig zijn. In de hiervoor genoemde formule is uitgegaan van een hydrostatische drukverdeling met het freatisch vlak gelijk aan het maaiveld. Wateroverspanningen kunnen zowel van permanente als van tijdelijke aard zijn. Bijvoorbeeld bij boezemkaden en bij de dijken rond het IJsselmeer is veelal sprake van permanente wateroverspanningen en bij rivierdijken treedt een soortgelijke situatie op tijdens hogere rivierstanden.
In deze gevallen moet in het veilige criterium $\Delta u/\sigma' \leq 0,1$ voor Δu de gesommeerde waarde van de reeds aanwezige- en de ten gevolge van de explosie veroorzaakte wateroverspanning gebruikt worden.
Een veilige ondergrens voor dit criterium is $\Delta u/\sigma' = 0$, ook daaruit volgt nog een toelaatbare lading op zekere afstand. Mocht het zonder explosie reeds zo zijn dat $\Delta u/\sigma' \geq 0,1$ is, dan kan in het algemeen geen explosie worden toegestaan.

In de nabijheid van waterkeringen komen soms zeer losgepakte zandgronden voor. In een dergelijke grondsoort kan deze verweking gemakkelijk tot een zettingsvloeiing leiden als de bodem onder een helling ligt. Overigens moet erop worden gelet dat verweking met kans op een zettingsvloeiing op grotere afstand ook kan voorkomen als de grond er daar relatief gevoelig voor is, terwijl de explosie plaatsvindt in daarvoor ongevoelige bodem.

Eerder is aangegeven dat in een (elastisch) medium de Raileigh-golf het minst gedempt wordt in de afstand en de meeste energie bevat, zodat verondersteld mag worden dat op grotere afstanden deze R-wave verantwoordelijk is voor verwekingen en het eventuele begin van een zettingsvloeiing. Uitzonderingen kunnen zich voordoen in gevallen waar door reflectie van de P- of S-wave op grote afstand een trilling ontstaat, die soms een grotere belastingwisseling veroorzaken kan.
Het optreden van een zettingsvloeiing als gevolg van een verweking door een explosie hangt in het algemeen af van:
- de oorspronkelijke spanningstoestand ter plaatse;
- de erop gesuperponeerde spanningen;
- het aantal belastingswisselingen en vooral van
- de grondeigenschappen (voornamelijk het poriënvolume).

Het zal duidelijk zijn dat door de veelheid van variaties in deze factoren tezamen met de variërende plaatselijke omstandigheden een algemene voorspelling van het al of niet optreden van een zettingsvloeiing een uitermate moeilijke zaak is.
Met behulp van gegevens van lit. 8 is een criterium voor de vereiste afstand van een explosie tot de rand van de stabiliteitszone van de waterkering te vinden, waarbij geen ge-

vaar voor ontoelaatbare vermindering van de schuifweerstand (als begin van zettingsvloeiingen) optreedt.
Daarbij geldt bijvoorbeeld voor los gepakt zand:

$$\frac{\Delta u}{\sigma'} = 2{,}15 + 0{,}74 \ln \frac{W^{1/3}}{R}$$

Als $\frac{\Delta u}{\sigma'} \leq 0{,}1$ veilig is, dan volgt indien $\frac{\Delta u}{\sigma'} = 0$

$$R_{veilig} = \exp (\ln W^{1/3} + 2{,}91)$$

Voor een lading van 20 kg TNT bedraagt $R_{veilig} = 50$ m.

Grafiek B geeft een overzicht van deze veilige afstanden van een explosie tot de waterkering, welke geen gevaar voor de waterkering opleveren ($\Delta u / \sigma' = 0$). Deze afstanden zijn gegeven voor los-, gemiddeld- en vast gepakt zand voor ladinggewichten tot 100 kg equivalent TNT, exclusief de stabiliteitszone.

Ook bij explosies in of op de bodem onder water zal door de grondschok bodemverweking rond het explosiepunt kunnen optreden. De omvang hiervan ligt in dezelfde ordegrootte als die bij vergelijkbare explosies in waterverzadigde bodem op het land. Het is denkbaar dat door de bodembewegingen op zekere afstand zettingsvloeiingen zouden kunnen optreden. Uit lit. 9 blijkt dat de trillingen van explosies op een bodem onder water nagenoeg overeenkomen met die bij explosies onder vergelijkbare omstandigheden in de (waterverzadigde) bodem.

De bodemverweking door de directe grondschok en de mogelijke zettingsvloeiingen door de bodembeweging worden bij explosies op of niet al te diep in de bodem waarschijnlijk op enige afstand van het explosiepunt echter overtroffen door de invloeden van de schokgolf in het water.

IV.3.3. Schokgolf

IV.3.3.1. Schokgolf in de lucht

Bij een explosie boven maaiveld zal in de lucht een schokgolf worden veroorzaakt. De piekoverdruk van deze schokgolf op het maaiveld is afhankelijk van de hoogte waarop de explosie in de lucht plaatsvindt. Er is een zekere explosie-hoogte, waarbij op een vaste afstand de piekoverdruk bij éénzelfde lading het grootst is (optimumhoogte).

Uit gegevens in het verslag 204 van het ABG (lit. 10) zou kunnen worden afgeleid dat de piekdruk ten gevolge van explosies op de zogenoemde optimumhoogte ongeveer anderhalf maal zo groot is als die bij maaiveldexplosies. In hetzelfde verslag wordt ook het verband tussen de waarde van de piekdruk en de afstand tot een explosie van een zekere ladinggrootte gegeven. Bij een explosie op de optimumhoogte boven het maaiveld van 1 kg. springstof kan dit worden bepaald op:

piekdruk(bar)	Afstand(m)
7,5	1,20
3,8	1,60
3,0	1,80
1,5	2,50
0,8	3,60
0,15	10,00
0,08	15,00
0,03	30,00
0,015	55,00

Voor het berekenen van de afstand, waarop bij explosie van W kg (equiv. T.N.T.) springstof een zekere piekdruk optreedt, moeten de in de tabel vermelde afstanden worden vermenigvuldig met $W^{1/3}$.
Voor een explosie op het maaiveld kunnen deze afstanden nog worden verkleind. Gemakshalve zou voor elk van deze explosies de piekdruk 1,5 maal zo klein genomen kunnen worden.

De schokgolf in de lucht kan in een waterverzadigde bodem een bodemverweking veroorzaken door de inductie van een grondschok.
Bij deze overdracht komt slechts een deel van de explosie-energie in de grond terecht. Veiligheidshalve wordt deze reductie hier niet in rekening gebracht, en wordt in voorkomende gevallen aanbevolen te rekenen alsof de explosie in de bodem plaatsvindt.
De relatie tussen draagkrachtvermindering, uitgedrukt in de toename van de waterspanning gedeeld door de oorspronkelijk aanwezige korrelspanning, op een afstand (R) en een lading (W) kan dan berekend worden volgens

$\frac{\Delta u}{\sigma'} = a + b \ln \frac{W^{1/3}}{R}$ zoals beschreven in het hoofdstuk 5.2 Bodemverweking en zettingsvloeiing.

Naast het gevaar van bodemverweking zou in principe instabiliteit van een waterkering kunnen ontstaan door de optredende (reflectie)drukken van de invallende schokgolf. Dit gevaar lijkt om meerdere redenen echter niet reeël. Wel zou onder speciale omstandigheden de door de schokgolf veroorzaakte luchtdeeltjessnelheid (wind) van belang kunnen zijn. Een verband tussen de piekdruk in een schokgolf en de daarbij optredende stuwdrukken is in lit. 10 gegeven. Hoe groot deze stuwdruk maximaal mag zijn zonder instabiliteit te veroorzaken, is ook hierbij weer sterk afhankelijk van de stabiliteit zonder invloed van de explosie. Een vergelijking met de maximale stuwdrukken ten gevolge van windstoten, tijdens stormen ligt echter voor de hand. Daarbij kunnen stuwdrukwaarden voorkomen van 1kPa(0,01bar) (windsnelheid ca. 40 m/s).
Bij vrije gaswolkexplosie is de relatie ladinggrootte-vereiste afstand tot de waterkering onzeker. Dit omdat bij de explosie van gaswolken veelal deflagratie optreedt en daarbij relatief lagere drukken ontstaan dan bij detonatie, maar ook omdat de uitwerking van een exploderende gaswolk slechts

in een ladingequiv. T.N.T. valt uit te drukken.

IV.3.3.2. Schokgolf in water

Evenals bij een explosie in de lucht zal bij een explosie in water in dit medium een schokgolf ontstaan, die zich als een kortstondige drukverhoging manifesteert.
In literatuur 12 worden een drietal theorieën genoemd, die gebruikt zouden kunnen worden bij de voorspelling van de piekdruk op een zekere afstand (bij een bolsymmetrische voortplanting van de schokgolf) door een explosie van een zekere ladinggrootte.
Van deze theorieën voorspelt die van Kirkwood-Bethe de grootste drukken, terwijl proefondervindelijk is aangetoond, dat deze drukken nagenoeg werden bereikt. De uitdrukking voor het berekenen van de piekdruk van een schokgolf in water luidt hierbij:

$p = k\left\{\frac{W^{1/3}}{R}\right\}^{\alpha}$, waarin k en α afhankelijk zijn van de gebruikte springstof.

Een veilige benadering wordt gevonden in het in literatuur 13 genoemde U.S. Navy Diving Manual; daarin wordt voor tretyl en T.N.T. een eenvoudiger relatie gegeven die bij toepassing voor grotere afstanden een wat grotere piekdruk geeft:

$p = \frac{370 . W^{1/3}}{R}$, waarin p = piekdruk in bar
W = lading in kilogram springstof
R = afstand in meters.

Deze uitdrukkingen voor de piekdruk gelden in principe voor een bolsymmetrische voortplanting van een schokgolf in het water. Vindt de explosie plaats in water met beperkte diepte dan zal enerzijds de schokgolf tegen de bodem reflecteren, terwijl anderzijds energie verloren gaat aan het oppervlak. Vooral dit laatste zal de schokgolf sterk beïnvloeden en een verlaging van de piekdruk veroorzaken ten opzichte van de bolsymmetrische toestand in een uitgebreid medium. Er zijn echter weinig meetgegevens aangetroffen die de relatie tussen de piekdruk van de schokgolf in water met beperkte diepte en de afstanden vastleggen (lit. 9).
Het is daarom op dit ogenblik niet exact mogelijk de vereiste afstand van een explosie in (ondiep) water tot een waterkering te geven. Wanneer echter aan explosies in ondiepe wateren dezelfde eisen gesteld worden als in waterverzadigde grond blijft men aan de veilige kant.

IV.3.4. Invloed van lokatie en medium

De verschillende mogelijke effecten van explosies genoemd in de vorige paragrafen, zoals verweking en zettingsvloeiing (IV.3.2.), vorming van een krater met een plastische zone (IV.3.1.) en schokgolf (IV.3.3.) zijn in die paragrafen on-

derverdeeld naar de terreinomstandigheden en condities waaronder de explosie plaats kan vinden. Zowel de terreinomstandigheden als de locatie van de explosies in de praktijk kunnen mogelijk niet volledig aansluiten op de onderverdeling zoals die daar is gebruikt. In die grensgevallen zou de grootste vereiste afstand kunnen worden aangehouden die volgt uit een van beide naastliggende condities.
Als toelichting kan nog het volgende worden opgemerkt, zie ook figuur A en B en tabel I.
De genoemde afstanden dienen, om een afstand explosie-waterkering vast te stellen waarbij het risico voor de waterkering onder ongunstige omstandigheden aanvaardbaar klein is gehouden, alle nog vergroot te worden met de benodigde afstand die langs een waterkering ongestoord moet blijven met het oog op de stabiliteit, deze afstand wordt wel stabiliteitszone genoemd. In het algemeen kan zonder nader onderzoek hiervoor 4 maal de hoogte van de waterkering boven het maaiveld worden genomen.

* Explosies op land op/boven maaiveld bij droge grond. (L/SL)
  - De gegeven kraterstraal en de straal van plastische zone zijn geldig voor maaiveldexplosies.
    Explosies boven het maaiveld zullen een kleinere krater, enz. geven.
  - Bodemverweking en zettingsvloeiingen komen in droge grond niet voor. Opgemerkt moet worden dat een explosie op droge grond door de opgewekte schokgolven, op enige afstand waar de bodem wel waterverzadigd is in principe wel een zettingsvloeiing kan veroorzaken.
  - De bodemtrillingen in droge grond zullen op enige afstand kleiner zijn dan in waterverzadigde grond door een grotere demping.
* Explosies op land op/boven maaiveld bij waterverzadigde bodem. (L/SW)
  - Kraterstraal, en plastische zone. Voor explosies boven maaiveld zijn deze waarden te zien als veilige grenzen (werkelijke waarden kleiner).
  - Zettingsvloeiingen komen vooral voor in losgepakte zandformaties. De waarden zijn geldig voor explosies op de optimum ~~hoogte van~~ diepte onder het maaiveld en veilige grenzen voor explosies op maaiveld.

9

boven.

* Explosies op het land onder maaiveld bij droge grond: (SL)
  - De afmetingen van de krater en plastische zone zijn gegeven voor explosies op de optimum-diepte.
    Deze afmetingen zijn de maximale, die mogelijk zijn bij explosies in de bodem en zouden als veilige grens voor elke explosie onder maaiveld kunnen worden gebruikt.
  - Bodemverweking en zettingsvloeiingen zijn niet mogelijk in droge grond.
  - Bij explosies in de bodem zal geen of nagenoeg geen schokgolf in de lucht optreden. Slechts bij relatief ondiepe explosies, bijvoorbeeld tot de optimum-diepte $d = 0{,}8\ W^{1/3}$ zouden de waarden bij de explosies boven maaiveld als veilige grens kunnen worden gebruikt.

* Explosies op het land onder maaiveld/water bij waterverza-

digde bodem (SW).
- De afmetingen van de krater, plastische zone: zie opmerking bij explosies op het land onder maaiveld bij droge grond.
- De afmetingen van de bodemverweking: geen opmerkingen.

Bij explosies in de onderwaterbodem (SW) niet te diep in de bodem, bijvoorbeeld boven $d = 0{,}8\ W^{1/3}$ moet worden gerekend op een zekere schokgolf in het water met de daarbij behorende verschijnselen. Voordat dit uitgedrukt kan worden in een zekere vereiste afstand moet de kennis betreffende schokgolven van explosies in ondiep water echter worden uitgebreid.

* Explosies vanaf het water op/boven de bodem (W), (W/SW)
- de gegeven kraterstraal en breuk- en plastische zone zijn gelijk aan die bij explosies in waterverzadigde bodem.
- de vereiste afstanden voor bodemverweking en zettingsvloeiingen zijn eveneens identiek aan explosies in waterverzadigde bodem.
- de vereiste afstanden voor de schokgolf in water zijn door gebrek aan informatie niet bepaald. Waarschijnlijk zal dit echter wel een bepalende factor zijn.

De vereiste afstanden tussen explosies en waterkering zijn bepaald met behulp van de huidige in de literatuur bekende gegevens. Aangezien echter in de uitermate moeilijke materie van explosies in water en grond in de toekomst een voortgaande ontwikkeling is te verwachten, moeten de huidige getallen niet als absoluut vaststaande gegevens worden beschouwd.
Het is mogelijk dat door het bekend worden van meer proefresultaten en door een theoretische voortgang de vereiste afstanden nauwkeuriger kunnen worden bepaald.
De huidige vereiste afstanden zijn aan de ruime kant, doordat de mogelijke extra belasting op de waterkering door een explosie niet volledig is bekend en gezien de verscheidenheid aan typen en constructies van de waterkeringen.
Samenvattend kan worden gesteld dat de vereiste afstanden tussen een explosie en een waterkering zoals in dit rapport aangegeven aan de ruime kant zijn. Latere ontwikkelingen, zowel op het gebied van de explosies in water of grond als op gebied van de voorspelling van schadeverwachtingen aan waterkeringen ten gevolge van explosies kunnen aanleiding geven tot een wijziging van de huidige vereiste afstanden.

IV.4. Te nemen maatregelen en benodigde veiligheidsafstanden

Bij doelbewust veroorzaakte explosies, veelal 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 meest gunstig is. In het algemeen kan dit inhouden dat de uitvoering plaats vindt buiten het voor de waterkering geldende gesloten seizoen. Maar afgezien van deze standaard maatregel is het altijd gewenst de uitvoering pas dan te laten plaatsvin-

den 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 dijken rond het IJsselmeer en de randmeren, en niet of nauwelijks voor dijken langs kanalen en boezemwateren.
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.

IV.4.1. Stabiliteitszone van dijken

Aan weerszijden van een waterkering moet een voldoend brede terreinstrook ongestoord blijven, zodat de veiligheid tegen stabiliteitsverlies niet vermindert. De breedte van deze stabiliteitszone hangt onder meer af van de grondslag en de afmetingen van de waterkering en dient door middel van grondmechanisch onderzoek bepaald te worden. Bij afwezigheid van omstandigheden, die gemakkelijk kunnen leiden tot evenwichtsverlies van de grondslag (zoals bijv. extreem slappe lagen; aanwezigheid van een diepe vooroever), kan de breedte van deze terreinstrook zonder nader onderzoek worden gesteld op 4 maal de hoogte van de dijk boven het maaiveld (zie "Leidraad voor constructie en beheer van vloeistofleidingen in en nabij waterkeringen", Staatsuitgeverij 's-Gravenhage, 1971).
Bij explosies kan daarom gesteld worden dat de afstand van de lading tot de waterkering zo groot moet zijn dat de verstoring van de grondslag aan de rand van de stabiliteitszone slechts een te verwaarlozen vermindering van de veiligheid tegen stabiliteitsverlies veroorzaakt.
Als echter voor een zeker geval wordt getwijfeld aan de geldigheid van deze algemene regel, bijvoorbeeld doordat extreem slappe lagen in de ondergrond voorkomen, of als een kleinere breedte van de stabiliteitszone wordt gewenst, dient met een grondmechanisch onderzoek de voor dat geval minimaal benodigde stabiliteitszone nader te worden vastgesteld.

IV.4.2. Maatregelen en veiligheidsafstanden bij seismisch onderzoek

Het seismisch onderzoek dient te voldoen aan het "Mijnreglement" en de "Nadere regelen Mijnreglement seismische onderzoekingen". Het Staatstoezicht op de Mijnen (Mijnwezen) heeft namens de minister van Economische Zaken het toezicht op de naleving en uitwerking.
In de "nadere regelen..." worden voor seismisch onderzoek in oppervlaktewateren geen afstanden tot waterkeringen genoemd waarbinnen explosies verboden zijn. Voor onderzoek op het land en een drooggevallen wad wordt hierin (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 dichter bij gebouwen, kunstwerken, leidingen, openbare wegen, kabels en dergelijke worden verricht dan op een afstand, die in meters tenminste 10 maal het gewicht van de lading in kilogrammen bedraagt, met dien verstande, dat die afstand nimmer minder dan 50 meter mag bedragen" en in lid 3 "De minister van Economische Zaken kan van het eerste en tweede lid ontheffing verlenen, danwel in bijzondere gevallen een grotere afstand voorschrijven".
Uitgaande van de in paragraaf IV.3. gegeven berekeningswijzen kan bij de tegenwoordig toegepaste kleine ladinggewichten een geringere afstand worden toegestaan, terwijl de veiligheid van de kering niet wordt aangetast.
Bijvoorbeeld 1 kg. T.N.T. zou volgens grafiek A in par. IV.3.1. in het ongunstigste geval van losgepakte waterverzadigde grond voor de plastische zone een straal van 5 m opleveren. In verband met het gevaar voor verweking wordt in par. IV.3.1.2 een formule gegeven. Wanneer hiermee de afstand bepaald wordt zodanig dat geen wateroverspanning optreedt als gevolg van de explosie, levert dit een afstand op van $R_{u,o} = \exp(\ln W^{1/3} + 2{,}91) = 18{,}5$ m. Deze afstand is dus de maatgevende van deze twee. Is de hoogte bekend van de waterkering boven het maaiveld (h) dan kan de stabiliteitszone worden bepaald (4 h). Voor bijvoorbeeld h = 5 m levert dit een stabiliteitscore van 20 m.
In dit voorbeeld zijn formules gebruikt welke een reële schatting van de situatie met een losgepakte waterverzadigde bodem geven, echter nog zonder een veiligheidscoëfficiënt te gebruiken.
Voorgesteld wordt hiervoor een factor 2 te nemen waarmee de berekende afstand moet worden vermenigvuldigd. Hiermee wordt de veilige afstand explosiepunt - teen van de waterkering 20 + 2 x 18,5 = 57 m.

Voorlopig wordt tevens een minimum afstand voorgesteld van het explosiepunt tot de teen van een waterkering van 100 m, voor zowel de zee- als de landzijde.
Een uitzondering wordt gemaakt voor zettingvloeiingsgevoelige gebieden, waar nader onderzoek door ter zake kundigen zeer aan te bevelen is.

(door)

IV.4.4. <u>Maatregelen en veiligheidsafstanden bij gevaar van andere explosies</u>

Andere explosies dan die voor seismisch onderzoek kunnen zijn:
- explosies voor verdichting van de grond;
- explosies van springstoffen bij bewerking, transport en opslag;
- explosies voor de sloop van bouwwerken.

In het algemeen kunnen voor genoemde explosies de formules worden gehanteerd welke in de paragrafen IV.3.1. t/m 4 zijn genoemd. Op de met behulp van die formules berekende afstanden wordt voorgesteld een veiligheidsfactor 2 te zetten.

Voor de opslag van springstoffen zouden met behulp van kennis van de omstandigheden en de genoemde formules maximaal toelaatbare hoeveelheden kunnen worden bepaald. Eventueel kunnen aanvullende maatregelen worden getroffen om de effecten te beperken, bijvoorbeeld het verzorgen van een goede drainage van het getroffen gebied, het verdichten van de eventueel losgepakte grondslag, enz.

IV.4.5. Maatregelen bij gevaar door andere trillingsbronnen

Bij dit soort trillingen wordt gedacht aan die als gevolg van (proef-)heiingen, verkeer, en dergelijke. Een bijzondere vorm van verkeerstrillingen is die welke doelbewust wordt opgewekt ten behoeve van seismisch onderzoek bekend onder de merknaam "Vibrosies".

N.B.: "Airgun" nog behandelen als niet tot equiv. T.N.T. kan worden gekomen.

IV.4.5. Maatregelen in verband met andere trillingsbronnen

Andere mogelijke oorzaken van trillingen in relatie met bodemonderzoek zijn proefheiingen en voertuigen voor bodemonderzoek.
In het laatste geval wordt gedoeld op de speciale meetwagens voor 'seismisch' onderzoek, de zogenaamde 'Vibro-Seis", waarbij drukspanningen c.q. schuifspanningsgolven in de grond worden opgewekt door middel van een vibrerende plaat. Deze plaat bevindt zich onder of nabij het voertuig en wordt van daar uit op het wegoppervlak gedrukt en tevens door middel van een continue trillingsbron in trilling gebracht. Bij de meeste systemen wordt een drukspanningsgolf in de bodem opgewekt. Maar ook worden wel systemen toegepast waarbij een schuifspanningsgolf wordt of kan worden opgelegd. Omdat het meestal gaat om zogenaamde diepe seismiek moet met deze machine een grote hoeveelheid energie in de grond worden gebracht. De schuifspanningscomponent kan in met water verzadigde los gepakte zandlagen in de nabijheid van de trillingsbron, aanleiding geven tot verwekingsverschijnselen.
Ook bij proefheiingen worden trillingen in de bodem opgewekt die in losse zandlagen enige lokale verweking tot gevolg zouden kunnen hebben. Overigens zullen proefheiingen alleen worden uitgevoerd als ook het bouwwerk waarvoor het bodemonderzoek wordt gedaan op heipalen zal worden gefundeerd en dan zelfs nog zelden.

Te nemen voorzorgen:

1. Proefheien (geldt ook voor het gewone heiwerk):
   - Geen palen met uitstekende paalvoet toe te passen in verband met de vorming van kortsluitingen tussen verschillende grondlagen en het daarmee gepaard gaande gevaar voor het ontstaan van zandmeevoerende wellen.
   - Geen proefheiingen binnen een zône van 50 m vanaf de binnenkruinlijn van de dijk in periode van hoge rivierafvoeren.
   - In het tijgebied geen proefheiingen tijdens periode met extreem hoog water binnen een zône van 50 m vanaf de binnenkruinlijn van de dijk.

In alle andere gevallen gelden geen restricties.

2. 'Vibro-seis'-metingen

. Dijken in bovenrivierengebied: geen restricties met uitzondering van perioden met hoge rivierafvoeren, waarbij een minimum afstand van ~~250~~ 100 m vanaf de dijk in acht moet worden genomen.

. Dijken in tijgebied: Buiten de zône van ~~250~~ 100 m ten opzichte van de binnenkruinlijn geen restricties.
Binnen de zône van ~~25-250~~ 50-100 m ten opzichte van de binnenkruinlijn is vibreren alleen gedurende perioden van eb toe te staan.

. Boezemkaden: Minimum afstand ten opzichte van de dijk aan te houden van ~~50~~ 100 m.

dec!

binnenkruinlijn

HW

altijd H.W.

verwerking 2nd bepaling.

100 m voor alle cat.

riv. → HW.

tijgeb → "

boezemk → altijd.

Literatuur

1. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
Leidraad voor constructie en beheer van gasleidingen in en nabij waterkeringen (1973)
2. Richart F.E., Hall J.R. en Woods R.D.,
Vibrations of Soils and Foundations (1970)
3. Korth D.,
"Ergebnissen von Schwingungsmessungen bei Sprengarbeiten in Moorgebieten", Die Strasse nov.1975.
4. Nordyke M.D.,
On Cratering (1961)
5. Hughes B.C.,
The Corps of Engineers Nuclear Explosives Studies for Civil Constructions (1968)
6. Kruger P.,
Nuclear Civil Engineering (1966)
7. Wilson, Render en Carter,
Peaceful Uses of Nuclear Explosives (1963)
8. Kok L. en Trense R.W.,
Blast-induced Soil Liquefaction, State-of-the-Art MABS 6 Cahors
9. Schydlowski, G.P.
Trillingsmetingen aan waterkeringen in Friesland en Groningen (1972)
10. Mellegers J.P.,
Verslag no. 204 D.G., Advies Bureau der Genie, Verzameling basisgegevens ten dienste van het opstellen van schadeverwachtingen e.d. naar aanleiding van nucleaire explosies (1969)
11. Glasstone S.,
The Effects of Nuclear Weapons (1964)
12. Cole R.H.,
Underwater Explosions (1948)
13. Schydlowski, G.P.
Berekening van grond- en waterdruk ten gevolge van springstofexplosies (1969)
14. Ketelaar P.,
Verslag no. 109, Advies Bureau der Genie, Veldproeven te Lopik en Harderwijk (1973)
15. Provinciale Waterstaat in Zuid Holland,
Pijpleidingcode 1972, revisie 1984

Het dichten van boorgaten en sondeergaten in en nabij waterkeringen

Voor het dichten van boorgaten en sondeergaten kan gebruik gemaakt worden van een 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 bentonietklei 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 gebruikte samenstelling voor de afdichting van boorgaten is bijvoorbeeld:

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

Dit komt neer op de volgende verhoudingen:

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 door het Laboratorium voor Grondmechanica veel 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/betonsuspensie. Daarna wordt de kunststof buis getrokken. De houten punt blijft in de grond achter en het gat wordt gevuld met de cement/bentonsuspensie.

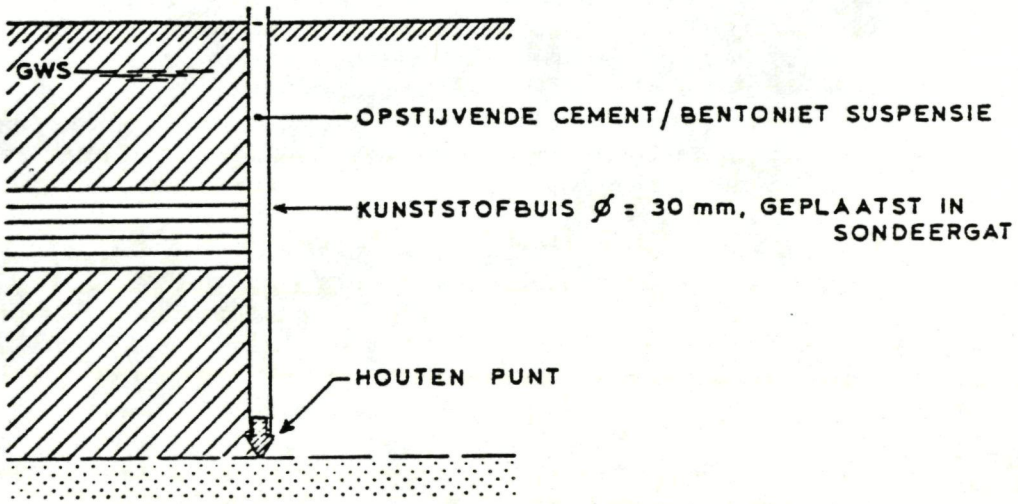


FIG. 1

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/betonietsuspensie in de boorbuis gebracht (zie figuur 2).

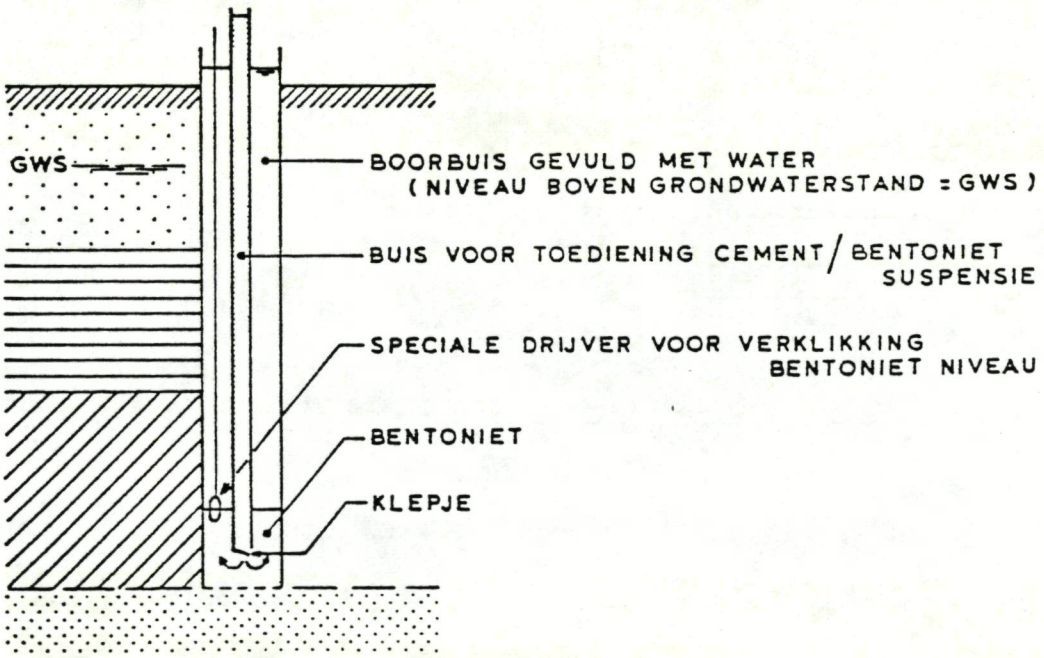


FIG. 2

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 hehet 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 suspensielaag 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 waterovердruk kan opbouwen tussen de verschillende lagen (zie figuur 3).

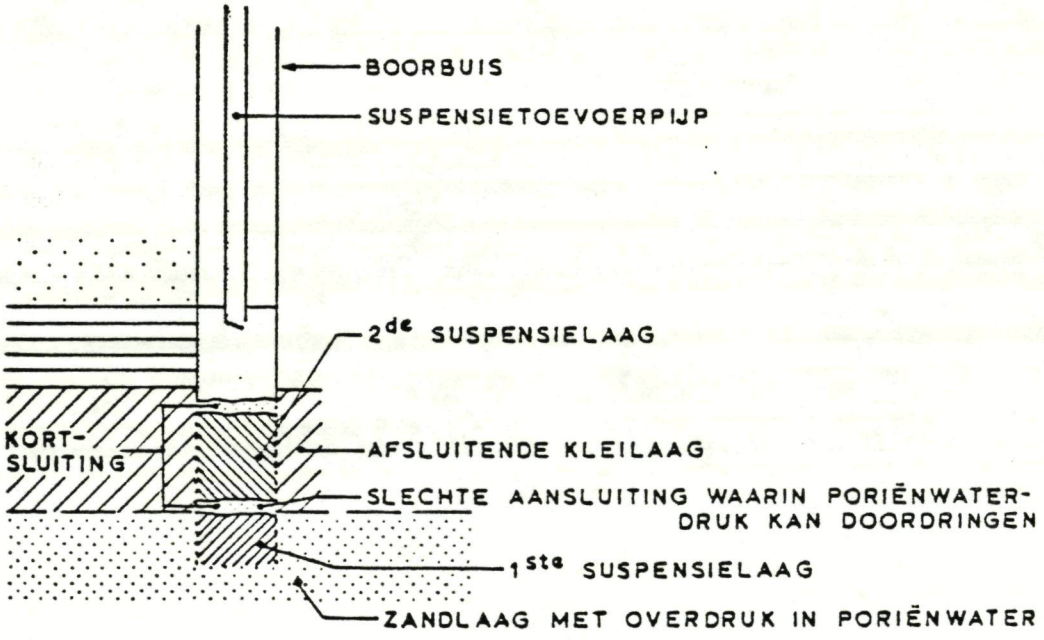


FIG. 3

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.

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 ø 25 mm is het mogelijk om 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 ø 65 mm kan deze procedure niet worden toegepast.
In dit 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.