leidraad voor constructie en beheer van gasleidingen in en nabij waterkeringen

technische adviescommissie voor de waterkeringen

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen

Leidraad voor constructie en beheer van gasleidingen in en nabij waterkeringen

Januari 1973

Staatsuitgeverij 's-Gravenhage

Ten geleide

Beheerders van zee- en rivierdijken en van boezemkaden worden regelmatig geconfronteerd met de vraag, welke voorwaarden moeten worden gesteld voor constructie en beheer van leidingen in deze waterkeringen.
Reeds eerder is een leidraad aangaande vloeistofleidingen opgesteld.
De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen acht het daarnaast wenselijk om ook ten aanzien van gasleidingen een in de vorm van een leidraad gesteld advies te geven.
Deze leidraad is opgesteld door een door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen ingestelde werkgroep, die het probleem van kruisingen van gasleidingen met waterkeringen in nauwe samenwerking met verschillende deskundigen heeft bestudeerd.
Het volgen van de leidraad zal naar haar mening kunnen leiden tot beperking van het gevaar, dat de aanwezigheid en het gebruik van gasleidingen voor het waterkerend vermogen van waterkeringen kan opleveren.
De Technische Adviescommissie stelt zich voor deze leidraad te herzien wanneer voortgezet onderzoek daartoe aanleiding mocht geven.

's-Gravenhage, januari 1973

Ir. J. B. Schijf
Voorzitter van de Technische
Adviescommissie voor de Waterkeringen

Inhoud

blz.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding tot het opstellen van een leidraad 7
1.2 Bezwaren tegen gasleidingen in waterkeringen. Vergunningsvoorwaarden 7
1.3 Gebruik van de leidraad 9

2 Leidingen in de lengterichting van een waterkering

2.1 Leiding in een waterkering 10
2.2 Leiding langs en evenwijdig aan een waterkering; veiligheidszone 10

3 Kruisingen van leidingen met waterkeringen

3.1 Plaats van kruisen; veiligheidszone 12
3.2 Invloedszone 12
3.3 Wijzen van kruisen 13
3.4 Fundering van de leiding 14
3.5 Sterkteberekening 15
3.6 Bijkomende constructies 22

4 Uitvoering en beheer

4.1 Uitvoering 25
4.2 Proefbelasting 25
4.3 Controle en alarmering 25

Inhoud

blz.

Bijlagen

A	Breedte van de terreinstrook langs de waterkering die ongestoord moet blijven	27
B	Ontgronding en grondverweking bij lek, breuk of explosie van een gasleiding	29
C	Reductie van de toelaatbare spanning afhankelijk van het belang van de waterkering	39
D	Spuiten, boren en persen van leidingen door waterkeringen	42
E	Zakkingen	45
F	Berekening drukstoten	48

1

Inleiding

1.1 Aanleiding tot het opstellen van een leidraad

In en nabij vele waterkeringen in Nederland treft men gasleidingen aan. Ze kunnen onder bepaalde omstandigheden het waterkerend vermogen nadelig beïnvloeden en breuk van een leiding kan zelfs een ramp veroorzaken.

Mede door de vondst van het aardgas, waardoor het gasleidingennet aanzienlijk is uitgebreid zijn duidelijke richtlijnen voor hun constructie noodzakelijk geworden ter waarborging van de veiligheid van de door waterkeringen beschermde gebieden. In sommige leidingen worden zeer hoge drukken toegelaten [tot 200 atmosfeer]. De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen heeft daarom ten behoeve van de beheerders van waterkeringen als bedoeld in de 1e alinea, de hiernavolgende leidraad opgesteld. Deze zal gebruikt kunnen worden bij het formuleren van voorwaarden voor de aanleg en de exploitatie van gasleidingen in en nabij waterkeringen.

De Adviescommissie beveelt de beheerders van waterkeringen aan zich te laten adviseren door het onder haar ressorterend Centrum voor Onderzoek Waterkeringen[1] voor alle problemen die zich bij het ontwerpen van leidingen in of nabij waterkeringen kunnen voordoen.

1.2 Bezwaren tegen gasleidingen in waterkeringen

Vergunningsvoorwaarden

In het algemeen zijn gasleidingen in of nabij een waterkering ongewenst omdat:

zowel bij het leggen als bij het onderhoud en de eventuele ver-

[1] Adres: Bankastraat 137, Den Haag, tel. 070-64 89 20

vanging van een leiding graafwerk in de waterkering moet worden uitgevoerd;

extra krachten op de waterkering kunnen worden uitgeoefend wanneer een deel van de constructie buiten de waterkering valt;

de waterdichtheid en de stabiliteit van de waterkering worden bedreigd door mogelijke lekkage of explosie van de leiding of ongelijke zakking van leiding en grondlichaam waardoor ruimte onder en/of naast de leiding kan ontstaan.

Het aantal kruisingen dient zoveel mogelijk te worden beperkt. Zij houden namelijk ondanks de meest zorgvuldige uitvoering risico's in, onder meer omdat de uitgangspunten waarop de sterkteberekening berust nooit met zekerheid zijn vast te stellen.
Steeds moet worden nagegaan of er een alternatief tracé gevonden kan worden, waarbij de waterkering niet wordt beroerd.
Wanneer het leggen van een gasleiding in de waterkering redelijkerwijze niet te vermijden is, zullen zodanige voorzieningen moeten worden getroffen, dat de kans op een calamiteit zo gering mogelijk is.

Op de beheerder van de waterkering rust de taak zich ervan te overtuigen, dat het complex van alle te nemen maatregelen hiertoe voldoende waarborgen schept. Eerst dan kan een vergunning tot het leggen van de leiding worden afgegeven.
In de vergunningsvoorwaarden moeten onder meer bepalingen worden opgenomen voor een controle van b.v. de exploitatiewijze van de leiding en de eigenschappen van drukbegrenzingsinrichtingen, indien ten aanzien van deze punten bepaalde aannamen zijn gedaan bij de berekeningen bedoeld in paragraaf 2.2, 3.1 en volgens 3.5.2 van deze leidraad.
De beheerder van de leiding dient in kennis gesteld te worden van de voorgenomen verzwaringen van waterkeringen daar dit consequenties kan hebben voor de aanwezige leidingkruisingen.

1.3 Gebruik van de leidraad

De leidraad kan worden gebruikt voor de beoordeling van alle gasleidingen.
Ten gevolge van een slechte uitvoering kunnen de op grond van deze leidraad berekende spanningen aanzienlijk worden overschreden. Daarom is een deskundige uitvoering naast het maken van een goed ontwerp een voorwaarde voor het verkrijgen van een betrouwbare constructie.
Het is niet de bedoeling in deze leidraad voor alle gevallen volledig aan te geven welke eisen aan constructie en beheer moeten worden gesteld.
In verband met de zeer bijzondere maatregelen die genomen moeten worden bij kruisingen van zgn. leidingstraten met waterkeringen, is de leidraad daarop niet zonder meer van toepassing.

De leidraad kan ook worden gebruikt om na te gaan of reeds aanwezige gasleidingen voldoende veilig zijn. Indien dit niet het geval is, kan het nodig zijn om de constructie aan te passen, of aan het toekomstig gebruik van de leiding beperkende bepalingen te verbinden.

2

Leidingen in de lengterichting van een waterkering

2.1 Leiding in een waterkering

Het leggen van een leiding in de lengterichting in het profiel van een waterkering moet niet worden toegestaan, wegens de daaraan verbonden onaanvaardbare risico's[1].

2.2 Leiding langs en evenwijdig aan een waterkering; veiligheidszone

Een leiding evenwijdig aan een waterkering dient in principe te worden gelegd buiten de terreinstrook die zich langs de waterkering uitstrekt en die de 'veiligheidszone' wordt genoemd. De breedte van de veiligheidszone moet gelijk zijn aan de afstand tot de leiding waarbinnen ontgrondingen en verstoringen t.g.v. lekkage, breuk of explosie kunnen optreden, vermeerderd met de breedte van de langs de waterkering gelegen terreinstrook die in verband met de stabiliteit van de waterkering ongestoord moet blijven.
Voor de afstand G_B tot de leiding waarbinnen door lekkage, breuk of explosie van de leiding, verstoring of belangrijke extra spanningen in de grond kunnen optreden: zie bijlage B.
De breedte van de langs de waterkering gelegen terreinstrook waarbinnen geen ontgrondingen mogen ontstaan, hangt af van de eigenschappen van de ondergrond, het grondwaterregiem en de afmetingen van de waterkering. Deze breedte kan d.m.v. een grondmechanisch onderzoek worden bepaald.
Indien echter blijkt dat er geen bijzondere omstandigheden zijn die gemakkelijk kunnen leiden tot evenwichtsverlies van de grondslag, kan de breedte van deze terreinstrook zonder nader onderzoek worden bepaald op 4 maal de hoogte h van de waterkering boven het maaiveld.
De breedte van de veiligheidszone is dan $4h + G_B$.[2]

[1] Ook op het profiel van de waterkering aanwezige leidingen kunnen onaanvaardbare risico's met zich brengen.
[2] Voor motivering en beperkingen van deze regel zie bijlagen A + B.

2 Leidingen in de lengterichting van een waterkering

Als men naar het oordeel van de beheerder van de waterkering niet kan vermijden dat een deel van de leiding binnen de veiligheidszones in de lengterichting van een dijk wordt gelegd, kan dit worden toegestaan op voorwaarde dat het betrokken deel voldoet aan de eisen die bij een kruising van de leiding met de waterkering zouden worden gesteld.

3

Kruisingen van leidingen met waterkeringen

3.1 Plaats van kruisen; veiligheidszone

Als een kruising van een leiding met een waterkering noodzakelijk is dient de leiding de waterkering zoveel mogelijk loodrecht te kruisen op de voor de waterkering minst ongunstige plaats. Tevens moet de leiding voldoende ver verwijderd liggen van reeds aanwezige leidingen die eveneens de waterkering kruisen, opdat de uitvoering van de kruising [b.v. ontgraving, rijden met werktuigen en bergen van grond] geen gevaar van beschadigingen aan deze leidingen kan opleveren.
Bij het toepassen van de navolgende punten 3.4, 3.5, 3.6.2, 3.6.3 en hoofdstuk 4 moet ook het leidinggedeelte in de veiligheidszone als deel van de kruising worden beschouwd. De breedte van de veiligheidszone kan worden bepaald zoals in 2.2 en bijlagen A + B is omschreven.

3.2 Invloedszone

Mechanische invloeden [verplaatsingen, krachten] op een leidinggedeelte buiten de veiligheidszone kunnen nog uitwerking hebben op het gedeelte binnen deze zone. Derhalve moet er een invloedszone worden bepaald die zich eveneens langs de waterkering uitstrekt, maar die breder is dan de veiligheidszone. De invloedszone moet zo breed zijn, dat mechanische invloeden buiten de invloedszone praktisch geen uitwerking kunnen hebben op het leidinggedeelte in de veiligheidszone. Deze breedte is te bepalen met een rekenmethode die o.a. uitgaat van de veronderstelling dat de buis kan worden voorgesteld als een elastisch ondersteunde ligger.
Een spanningsvrije montage van het kruisende leidinggedeelte met de leidingstrekkingen in het terrein is bij stalen leidingen moeilijk te verwezenlijken. Daarom wordt aanbevolen deze verbinding, indien technisch mogelijk, buiten de invloedszones te doen plaatsvinden. De tussen de lassen besloten leidingstrekking moet bij ontwerp en uitvoering als één geheel worden beschouwd. Bovendien zal speciale aandacht moeten worden besteed aan een goede uit-

voering van het grond- en baggerwerk en een juiste maatvoering voor wat betreft het horizontaal en verticaal verloop van de pijpleiding.

3.3 Wijzen van kruisen

Er bestaan voor de wijze van kruisen in principe de volgende mogelijkheden:

A De leiding wordt over de waterkering heengevoerd. Daarbij kan men nader onderscheiden:
A1: Vrije- of luchtkruising;
A2: De leiding ligt in een grondaanvulling.

B De leiding wordt door de waterkering gevoerd, waarbij de as van de leiding in een verticaal plat vlak ligt. Daarbij kan men nader onderscheiden:
B1: De onderkant van de leiding ligt over enige lengte boven het ontwerppeil[1],
B2: De onderkant van de leiding ligt nergens boven het ontwerppeil.

C De leiding wordt door de waterkering gevoerd, waarbij de as van de leiding niet in een verticaal plat vlak ligt, maar zodanig, dat belastingen door zettingsverschillen van grondlagen onder de leiding mede door torsie kunnen worden opgenomen [uitsluitend fundering op staal].

De onder A genoemde methoden van kruising hebben het voordeel dat de waterkering niet wordt aangetast. Bij methode A1 bestaat de kans op beschadiging van de leiding door aanrijding, aanvaring, ijsgang, moedwillige beschadiging e.d., waardoor indirect een

[1] Het ontwerppeil is de waterstand waarop de waterkerende constructies moeten worden ontworpen; dit peil is voor veel wateren officieel vastgesteld.

beschadiging van de waterkering mogelijk is. Indien om deze of andere redenen een meer beschermde ligging van de leiding noodzakelijk is, komt één van de onder A2, B of C genoemde methoden voor uitvoering in aanmerking.

Doorvoeren boven het ontwerppeil is gunstig omdat de gevolgen van slechte uitvoering of onvoorspelbaar gedrag van de leiding minder ernstig zullen zijn. De onder B2 genoemde methode kan in aanmerking komen als B1 redelijkerwijze niet mogelijk is b.v. wanneer de diameter van de leiding relatief groot is ten opzichte van de afmetingen van de waterkering [b.v. bij boezemkaden] of wanneer scherpe bochten in de leiding moeten worden vermeden.

3.4 Fundering van de leiding

Ter plaatse van de kruising met een waterkering kan een leiding door palen worden ondersteund of op staal worden gefundeerd. Een voordeel bij fundering op palen is, dat het gedrag van de constructie goed voorspelbaar is, omdat de zakkingen zeer gering zijn. Het verdient daarom aanbeveling een paalfundering toe te passen in alle gevallen waarin zakkingsverschillen een belangrijke spanningsbijdrage in de leiding kunnen leveren en er grote onzekerheid bestaat over de grootte van de zakkingsverschillen. Het laatste kan onder meer het gevolg zijn van de wijze van uitvoering, omdat zakkingen t.g.v. grondroering moeilijk te voorspellen zijn [in het bijzonder bij uitvoering in den natte].

Fundering op staal komt in aanmerking als de te verwachten spanningen ten gevolge van zakkingsverschillen klein zijn. In beide gevallen bestaat het gevaar dat door ongelijke zakking van leiding en grondlichaam ruimte onder en/of naast de leiding kan ontstaan.

Wanneer de leiding wordt gelegd in een omgeving waar opdrijven van de leiding mogelijk is moeten extra voorzieningen worden getroffen [bijvoorbeeld schroefankers].

3.5 Sterkteberekening

3.5.1 Algemeen

De invloed van een leiding op het waterkerend vermogen van de waterkering en de vervorming, die o.a. door zakking van de waterkering in de leiding wordt teweeggebracht, hangen van zeer veel factoren af. Voor een kruising met inbegrip van de veiligheidszones moet daarom een sterkteberekening worden verlangd, waarin wordt uitgegaan van gegevens die uit een grondmechanisch onderzoek zijn verkregen[1].
De inwendige belastingen op de leiding die in rekening moeten worden gebracht bestaan uit krachten ten gevolge van de inwendige gasdruk en van temperatuursverandering van de leiding.
De uitwendige belastingen bestaan uit krachten die het gevolg zijn van het gewicht van de bovenliggende grond, eigen gewicht van de leiding, opwaartse druk, uitwendige waterdruk, verkeersbelasting en de invloed van ongelijkmatige zettingen van de ondergrond.

3.5.2 Inwendige belastingen

A Inwendige overdruk

1 Een berekening moet aantonen, dat de druk die voor de sterkteberekening van het leidinggedeelte in de kruising wordt aangehouden niet kan worden overschreden. Hierbij dient ook op drukstoten te worden gelet. Het verdient aanbeveling alle leidingen op drukstoten te berekenen.
Bij deze berekeningen dient rekening te worden gehouden met verkeerde manipulaties met afsluiters en het plotseling uitvallen van een of meer compressoren.

[1] Bij leidingen van kleine diameter en geringe inwendige druk zal het vaak mogelijk zijn een grondmechanisch onderzoek te vermijden en de berekening te baseren op de ongunstigst denkbare belastingen, zodat men er toch zeker van kan zijn, dat de toelaatbare spanning in de buiswand niet wordt overschreden.

3 Kruisingen van leidingen met waterkeringen

De maximale drukverhoging kan berekend worden uit[1]:

$$\Delta p = \frac{1}{\dfrac{1}{\Delta u\sqrt{\rho_0 k p_0}} - \dfrac{k+1}{2kp_0}}$$

waarin: Δp = maximale drukverhoging
Δu = snelheidsverandering
k = isentropenexponent, voor veel gassen = 1,4
p_0 = maximum bedrijfsdruk
ρ_0 = de dichtheid van het gas bij maximum bedrijfsdruk.

2 De kruisende leidingstrekking dient ten aanzien van de inwendige druk sterker te zijn dan de terreinstrekkingen. Dit kan worden bereikt door bij de gegeven wanddikte de maximaal toelaatbare inwendige druk te bepalen voor de leidingstrekkingen in het terrein en vervolgens de ontwerpdruk voor de kruising 20% hoger te stellen. Bij stalen leidingen kan men voor berekening van de sterkte in de terreinstrekkingen uitgaan van de 'vloeidruk' als bezwijkcriterium[2].
Onder 'vloeidruk' wordt verstaan: de inwendige gasdruk p_{vl} waarbij de tangentiële spanning in de buiswand de gegarandeerde kleinste rekgrens σ_{vl} zou bereiken [Voor definitie van de gegarandeerde kleinste rekgrens zie 3.5.4]. Men kan deze druk berekenen met de formule:

$$p_{vl} = \frac{2t\sigma_{vl}}{D_u} \qquad [1]$$

[1] Voor motivering en beperking van deze regel zie bijlage F.
[2] Bij lagedrukleidingen kan een belangrijk deel van de spanning worden veroorzaakt door grondbelasting en eigen gewicht van de leiding. Dit kan tot gevolg hebben, dat de leiding in het terrein altijd bij een lagere druk zal bezwijken dan de druk, berekend volgens formule [1]. Deze lagere druk mag dan in de berekening worden ingevoerd.

waarin: t = de nominale wanddikte
D_u = de uitwendige diameter

De ontwerpdruk voor de kruising [behoudens de onder A1 gevonden uitkomst] bedraagt dan:

$$1{,}2 \times 2/3 \times p_{v1} = 0{,}80\ p_{v1} \qquad [2]$$

waarin: $2/3$ = de gebruikelijke veiligheidsfactor voor staal t.o.v. vloei
p_{v1} = de volgens [1] berekende vloeidruk in de terreinstrekking.

3 Als het [b.v. bij bestaande leidingen] redelijkerwijze niet mogelijk is dat de kruising voldoet aan het gestelde onder [2], zou men door het aanbrengen van betrouwbare drukbegrenzingsapparatuur kunnen bereiken dat de druk bij de kruising het berekende maximum niet overschrijdt.
Het is dan noodzakelijk dat de leidingbeheerder ten genoege van de waterkeringbeheerder aantoont dat de ontwerpdruk in de kruising niet kan worden overschreden[1].
Aanbevolen wordt dat een door de waterkeringbeheerder aangewezen instantie [overheidsinstantie of onafhankelijk deskundig instituut] controle blijft uitoefenen zolang de leiding in bedrijf is. Een continue registratie van de druk in de leiding kan hierbij een belangrijk hulpmiddel zijn.

B Temperatuurspanningen

Spanningen t.g.v. temperatuursveranderingen dienen te worden berekend.

[1] Beheerders van waterkeringen kunnen hierover advies vragen aan het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen [zie 1.1].

Temperatuurspanningen kunnen b.v. optreden:
a bij verpompen van verwarmde gassen;
b bij vrijliggende leidingen [zie 3.3].

3.5.3 Uitwendige belastingen

Verscheidene in de sterkteberekeningen in te voeren grootheden, in het bijzonder die volgen uit de grondgesteldheid, zijn nooit exact bekend. Daarom dienen de uit het grondmechanisch onderzoek afgeleide grootheden in de sterkteberekening met factoren te worden vermenigvuldigd, of erdoor gedeeld, waarin de mate van onzekerheid tot uitdrukking komt.
De grootte van deze factoren kan pas goed worden vastgesteld als ruime ervaring over het gedrag van leidingen in kruisingen is verkregen. Nu deze ervaring er nog niet is, kunnen onderstaande factoren als richtsnoer dienen. De beheerder van de waterkering is evenwel vrij, in bijzondere gevallen hiervan af te wijken, bijvoorbeeld wanneer de eigenschappen van de grond zeer goed bekend zijn, of wanneer deze eigenschappen bijzonder moeilijk zijn te bepalen.

Onzekerheidsfactoren voor grondmechanische grootheden

neutrale grondbelasting t.o.v. de gemiddelde waarde	1,1
passieve grondbelasting t.o.v. de maximale waarde	1,3
zetting t.o.v. de gemiddelde waarde	1,5
zetting t.o.v. de maximale waarde	1,3
beddingsconstante t.o.v. de gemiddelde waarde	1,4
evenwichtsdraagvermogen voor zand t.o.v. de gemiddelde waarde	1,2
evenwichtsdraagvermogen voor klei en veen t.o.v. de gemiddelde waarde	1,5
grondwrijving t.o.v. de gemiddelde waarde	1,4

Bij de bepaling van de toelaatbare paalbelastingen zal de grond-

mechanisch adviseur gewoonlijk in zijn advies reeds met onzekerheden rekening hebben gehouden.
In bovenstaande tabel wordt onder zetting slechts de normale zetting door verhoging van de belasting op de ondergrond verstaan. Zakkingen t.g.v. grondroering bij de uitvoering en t.g.v. dynamisch gedrag van de leiding zijn vooralsnog slecht te voorspellen. Daarom dienen aan de uitvoeringswijze aangepaste reserves in de constructie te worden ingebouwd[1].
Bij het controleren of een bestaande kruisingsconstructie aan de eisen voldoet kan, wanneer betrouwbare gegevens van de opgetreden zettingen beschikbaar zijn, de onzekerheidsfactor voor de zettingen lager worden gesteld.
Indien belastingen van verschillende aard elkaar tegenwerken moet de grootste met de betreffende factor worden vermenigvuldigd en de kleinste erdoor gedeeld.

3.5.4 Toelaatbare materiaalspanningen

De algebraïsche som van de berekende spanningen in respectievelijk axiale en tangentiële richting tengevolge van de meest ongunstige combinatie die kan optreden van de aldus vastgestelde in- en uitwendige belastingen, mag nu nergens de hieronder aangegeven toelaatbare spanning overtreffen.

De toelaatbare spanning moet worden vastgesteld als produkt van de berekeningsfactoren die in onderstaand overzicht zijn vermeld en een 'schadefactor'. De schadefactor dient om de toelaatbare spanning te bepalen, afhankelijk van de gevolgen van een doorbraak van de waterkering. Als regel kan men voor deze schadefactor een waarde kiezen die kan variëren van 1 tot 3/4.[2]

[1] Bij fundering op staal zijn gevallen bekend waarbij t.g.v. zakkingen door grondroering bij de uitvoering en dynamisch gedrag van de leiding de berekende spanningen met 25% werden overschreden [zie bijlage E].
[2] Betreffende de keuze van deze factor zie bijlage C.

3 Kruisingen van leidingen met waterkeringen

Berekeningsfactoren [*ongereduceerd*]

Staal
Voor stalen leidingen is de toelaatbare spanning gelijk aan 2/3 van de gegarandeerde minimum rekgrens van het materiaal [berekend bij nominale wanddikte][1].
De gegarandeerde minimum rekgrens is de materiaalspanning, waarbij na ontlasting een blijvende rek overblijft, die gelijk is aan 0,2% van de oorspronkelijke meetlengte.
De rekgrens kan ook de spanning zijn, waarbij onder belasting een totale rek optreedt die gelijk is aan 0,5% van de oorspronkelijke meetlengte [meestal ruwweg 'vloeigrens' genoemd].
Bovengenoemde waarden dienen bij 20 °C te worden bepaald.
Hiervoor mag niet meer dan 75% van de breukgrens worden ingevoerd.
Het staal zal aan bepaalde eisen t.a.v. de beperking van scheuruitbreiding moeten voldoen.
De hiertoe vereiste materiaalspecificaties moeten door een onafhankelijk instituut worden goedgekeurd.
Voor de eisen die overigens aan het materiaal moeten worden gesteld kan worden verwezen naar: ontwerpnorm 81091 [NEN 1091] 'Veiligheidsvoorschriften voor Gastransportleidingen'[2].

Gietijzer
a Grijs gietijzer is bros bij trek of buigtrek.
De toelaatbare spanning = 2/5 van de breukgrens.
b Nodulair [ductile] gietijzer heeft wel een vloeitraject.
De toelaatbare spanning = 1/2 van de breukgrens.

Kunststoffen
Kunststofleidingen mogen niet op palen worden gefundeerd, omdat

[1] Indien bepaalde eigenschappen van het materiaal zijn verkregen als gevolg van koud vervormen en de leiding boven 300 °C wordt verhit [lassen uitgezonderd] is de toelaatbare spanning 3/4 × 2/3 = 1/2 van de gegarandeerde minimum rekgrens.
[2] Beheerders van waterkeringen kunnen hierover advies vragen aan het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen [zie 1.1].

hierbij te grote plaatselijke belastingen moeten worden opgenomen. Voor de toelaatbare spanning in enige thermoplastische kunststoffen kan worden verwezen naar: NEN 2670 'Algemene richtlijnen voor het toepassen van kunststofleidingen' en naar de keuringseisen van de vereniging van exploitanten van gasbedrijven.
1 Keuringseisen voor buizen van ongeplasticeerd polyvinylchloride voor gasleidingen.
2 Keuringseisen voor buizen bestaande uit een mengsel van ongeplasticeerd polyvinylchloride en gechloreerd polyetheen [PVC/CPE] voor gasleidingen.
3 Keuringseisen voor buizen van polyetheen [PE] van hoge dichtheid [hard PE] voor gasleidingen.

Leidingen van deze materialen dienen in verband met koudbrosheid vorstvrij te worden gelegd. Bij hogere temperaturen dan 20 °C [verwarmde gassen b.v. vlak achter compressoren] moeten de toelaatbare spanningen worden verlaagd.

3.5.5 Materiaal-keuze

Bij het toepassen van genoemde materialen moeten deze zodanige eigenschappen bezitten, dat een eventuele breuk zich niet ten gevolge van doorgaande scheurvorming over grote lengte uitbreidt.
Stalen leidingen met gelaste verbindingen zijn algemeen bruikbaar[1].
Bij niet al te grote zettingen, of als een paalfundering wordt toegepast, komen leidingelementen van nodulair gietijzer eveneens in aanmerking.
Ook voor leidingen van andere materialen worden in punt 3.5.4 toelaatbare spanningen genoemd. De technische ontwikkeling op dit gebied is snel. Momenteel hebben kunststoffen en grijs gietijzer echter nog eigenschappen die voor toepassing in waterkeringen ongunstig kunnen zijn [zie 3.5.4].

[1] Voor zuurstofleidingen is in verband met brandgevaar roestvrij staal voorgeschreven.

Bij ontwerp en uitvoering moet terdege met deze eigenschappen rekening worden gehouden.
De toepassing van asbestcement moet worden ontraden.

3.5.6 Sterkte-eisen voor koppelingen

Er moet grote aandacht worden geschonken aan de dichtheid en treksterkte van de verbindingen van buiselementen. Het verdient aanbeveling trekvaste koppelingen toe te passen. Voor relatief stijve elementen van gietijzer is het belangrijk dat enige hoekverdraaiing in de verbinding mogelijk is in verband met mogelijke geringe zettingsverschillen. De hoekverdraaiing moet binnen de door de fabrikant genoemde, en door een bevoegde instantie gecontroleerde toelaatbare hoekverdraaiing blijven. Bij aansluiting van op staal gefundeerde buizen op een starre constructie in de dijk en de veiligheidszone dienen speciale flexibele koppelingen te worden toegepast. [Deze overgang echter bij voorkeur buiten de veiligheidszone, zie 3.6.2.]

3.6 Bijkomende constructies

3.6.1 Kwelschermen, damwanden enz.

Als de onderkant van de leiding nergens in de waterkering reikt tot boven het ontwerppeil, moet zij worden voorzien van een of meer kwelschermen, die waterdicht met de leiding of met de mantelbuis, indien deze wordt toegepast, dienen te worden verbonden. Wanneer de kruisingsconstructie wordt onderheid, moet extra aandacht aan de aansluiting van het kwelscherm op de buis worden geschonken, omdat de leiding mogelijke zettingen van het dijklichaam niet zal volgen. De afmetingen van het kwelscherm moeten zodanig zijn, dat het waterkerend vermogen van de waterkering door de aanleg van de leiding niet wordt verminderd.
In veel gevallen zal het aanbeveling verdienen in de waterkering een damwandconstructie aan te brengen, of damwanden die voor

de uitvoering nodig waren te laten zitten, en de leiding door een gat in de damwand te voeren. Deze damwandconstructie kan dan als een soort vervangende waterkering worden beschouwd. Als extra maatregel ten behoeve van de instandhouding van de waterkering kan namelijk worden geëist, dat de damwand bestand is tegen een zekere ontgronding, direct voor of achter de wand, ontstaan ten gevolge van een lek in de leiding.
Tussen leiding en damwand moet een waterdichte afsluiting worden aangebracht, die bij fundering op staal geen krachten opneemt.
Bij een vrije kruising van een leiding met een waterkering [zie punt 3.3] kan de waterkering extra worden beschermd door deze onder de leiding over enige afstand te bekleden.

3.6.2 Afsluiters, ventielen enz.

Voor kruisingen van gasleidingen met waterkeringen moet de mogelijkheid bestaan de leiding op een zodanige wijze af te sluiten dat het leidinggedeelte in de waterkering [inclusief het deel in de veiligheidszone] binnen de kortst mogelijke tijd drukloos wordt. De afsluiters dienen goed bereikbaar te zijn en door bijv. een meetpaal duidelijk te zijn aangegeven. Hulpstukken en appendages zoals afsluiters, spruitstukken, ventielen, speciale flexibele koppelingen e.d. kunnen een discontinuïteit in de leiding vormen en dienen daarom bij voorkeur niet te worden aangebracht in het deel van de leiding dat tot de kruising behoort [inclusief het deel in de veiligheidszone].

3.6.3 Kathodische bescherming

Stalen leidingen en stalen mantelbuizen moeten indien het geleidend vermogen van de grond daartoe aanleiding geeft kathodisch worden beschermd [zie ook 4.3]. Vreemde geleiders, zoals damwanden zullen van de werking van een kathodische bescherming schade ondervinden. Als vuistregel kan volgens TNO worden gehanteerd, dat bij kleine installaties [2 Ampère] de afstand tussen anode-

bedden en vreemde geleiders minstens 30 meter moet zijn, terwijl bij grotere stroomsterkten, bijv. 50 A aan ten minste 100 m moet worden gedacht [zie ook aanhangsel C van ontwerpnorm 81091 (NEN 1091) 'Veiligheidsvoorschriften voor Gastransportleidingen'].

3.6.4 Mantelbuizen

Het toepassen van mantelbuizen bij een kruising van een leiding en een waterkering is in het algemeen te ontraden.
Nadelen bij het gebruik van mantelbuizen kunnen zijn:
a de onzekerheid die bestaat over het op de juiste plaats komen van de afstandhouders tussen leiding en mantelbuis, waardoor de wijze waarop de belasting van de mantelbuis op de leiding wordt overgedragen ongunstiger kan zijn dan in de berekeningen is aangenomen, terwijl het bij stalen leidingen niet is uitgesloten dat de mantelbuis toch nog een metallisch contact maakt met de leiding, hetgeen corrosie tot gevolg heeft;
b de moeilijkheden die het blijvend kathodisch beschermen van de binnenbuis met zich meebrengt.

4

Uitvoering en beheer

4.1 Uitvoering

De uitvoering moet zodanig zijn dat aan de uitgangspunten die aan het ontwerp ten grondslag liggen wordt voldaan. Deskundig toezicht bij de uitvoering is noodzakelijk. Het bij een kruising te verrichten graafwerk in de waterkering moet zoveel mogelijk worden beperkt. Uitvoering door middel van boren of spuiten moet echter niet worden toegestaan. Voor uitvoering door middel van persen wordt verwezen naar bijlage D.
Het tijdstip van uitvoering van werken in een waterkering moet buiten het jaargetijde met voor de waterkering ongunstige omstandigheden worden gehouden, teneinde het risico bij de uitvoering te beperken en de kwaliteit van het werk zo hoog mogelijk op te voeren. De buizen die worden gelegd behoren gekeurd te zijn door een onafhankelijk deskundig instituut opdat zeker is dat de materiaaleigenschappen overeenkomen met wat in de berekeningen is aangenomen. Alle lassen in stalen leidingen moeten radiografisch worden onderzocht.
De resultaten van dit niet-destructieve onderzoek dienen beoordeeld te worden volgens de maatstaven genoemd in ontwerpnorm 81091 [NEN 1091] 'Veiligheidsvoorschriften voor Gastransportleidingen.'

4.2 Proefbelasting

Het tot de kruising behorende deel van de leiding [inclusief het deel in de veiligheidszone] moet na aanaarden worden proefbelast door afpersen met water tot minimaal 1,3 × de ontwerpdruk. Bij gelaste stalen leidingen moet het buismateriaal worden belast tot zo mogelijk 90% van zijn gegarandeerde kleinste rekgrens [berekend bij nominale wanddikte].

4.3 Controle en alarmering

In de vergunning moeten ook de volgende punten worden vastgelegd.

4 Uitvoering en beheer

Na het gereedkomen van de kruising moet het gehele werk nauwkeurig worden beschreven [de horizontale en verticale ligging moet worden gemeten].
De leiding in de kruising moet halfjaarlijks worden geïnspecteerd, waarbij onder meer de eventueel aanwezige kathodische bescherming door een onafhankelijk instituut wordt gecontroleerd en de ligging van de leiding wordt gemeten. Het verdient aanbeveling bij elke leiding te controleren in hoeverre het gedrag van de leiding overeenkomt met de gemaakte zettingsprognose [o.a. door zakbakens die aan de buis zijn bevestigd]. Ook de afsluitmiddelen moeten halfjaarlijks worden gecontroleerd en beproefd.
Indien daartoe aanleiding bestaat kan men de wanddikte en/of de aanwezigheid van lekken laten controleren met elektromagnetische, nucleaire, akoestische of andere daartoe geëigende methoden.
De resultaten van de in dit artikel bedoelde inspecties moeten worden overgelegd aan de beheerder van de waterkering.
De beheerder van de leiding dient in overleg met de waterkeringbeheerder een programma van te nemen maatregelen op te stellen dat wordt gevolgd bij eventueel lekken van het leidinggedeelte dat in de waterkering ligt.

A

Breedte van de terreinstrook langs de waterkering die ongestoord moet blijven

De breedte van de langs de waterkering gelegen terreinstrook waar in geval van lek van de leiding de grond ongestoord moet blijven, hangt af van grondslag en afmetingen van de waterkering.

Het Laboratorium voor Grondmechanica heeft op verzoek van de commissie enige stabiliteitsberekeningen uitgevoerd. Daarbij werd verondersteld dat een homogeen dijklichaam rust op een homogene ondergrond van hetzelfde materiaal. Voor verschillende grondeigenschappen heeft men het ongunstigste [cirkelvormige] glijvlak bepaald. Men heeft dus onderzocht in welk glijvlak de verhouding van optredende en toelaatbare schuifspanningen het grootst was. Vervolgens heeft men eenzelfde berekening uitgevoerd, waarbij werd verondersteld dat op verschillende afstanden van de dijk een ontgronding aanwezig was. Een ontgronding op een afstand uit de teen van de dijk gelijk aan 4 maal de hoogte van de dijk bleek de veiligheid tegen afschuiving nagenoeg niet meer te beïnvloeden.
Dit resultaat geldt natuurlijk niet zonder meer onder omstandigheden, afwijkend van die waarvoor de stabiliteitsberekeningen werden uitgevoerd.

Afwijkende resultaten kunnen bijvoorbeeld verwacht worden wanneer:
a zeer slappe lagen in de ondergrond voorkomen;
b de spanningstoestand nog niet aan de bestaande belastingstoestand is aangepast;
c voortgaande deformaties van de waterkering optreden;
d een sterke omhooggerichte grondwaterstroming [bijvoorbeeld ten gevolge van kwel] optreedt.

In dergelijke afwijkende gevallen is voor het bepalen van de breedte van de ongestoord te laten zone een grondmechanisch onderzoek noodzakelijk [tenzij bij voorgaande onderzoeken in dezelfde omgeving voldoende gegevens zijn verkregen].
Een grondmechanisch onderzoek kan ook in normale gevallen nuttig zijn, namelijk om vast te stellen of de aangegeven waarde van

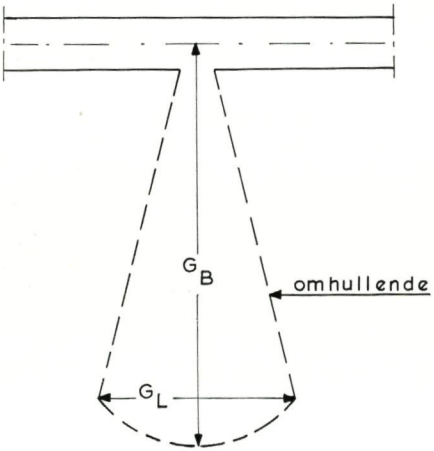
A Breedte van de terreinstrook langs de waterkering die ongestoord moet blijven

4 × de hoogte van de waterkering voor de breedte van de veiligheidszone wellicht kan worden verminderd.
Bij het vaststellen van de afstand moet er dan van worden uitgegaan dat de veiligheidscoëfficiënt tegen afschuiving van het ongunstigste glijvlak niet lager wordt dan de coëfficiënt die voor de aanleg van de leidingkruising aanwezig was.

B

Ontgronding en grondverweking bij lek, breuk of explosie van een gasleiding

In het samengeperste gas van een gastransportleiding is een hoeveelheid energie aanwezig.
Deze energie zal bij breuk van de leiding vrij kunnen komen. Daarbij zal een hoeveelheid grond kunnen worden weggeslingerd. Een gedeelte van de grondmassa valt in de krater terug, terwijl een ander gedeelte een wal om de krater vormt.
Door het uitstromende gas kan bovendien erosie optreden en kunnen ontgrondingskuilen worden gevormd. De grootte van de ontgrondingen is door het Waterloopkundig Laboratorium onderzocht[1]. In model werd daartoe het lekken van een leiding in grond bestudeerd. Daarbij werden de grondsoort, het vochtgehalte van de grond, de tijdsduur van uitstromen, de druk in de leiding, de grootte en vorm van het lek en de plaats gevarieerd.
Uit de modelproeven is gebleken dat de breedte van de ontgronding ten opzichte van de leidingas als volgt kan worden aangegeven. [zie fig. 1].



Figuur 1

[1] Zie rapport Waterloopkundig Laboratorium 'Ontgronding door gasleidingbreuk', M 1136 - R 743.

B Ontgronding en grondverweking bij lek, breuk of explosie van een gasleiding

Gatvorm: rond

Breedte: $G_B = R(w)\left\{\frac{g}{D^2}\left(\frac{\dot{I}}{\rho g}\right)^3\right\}^{1/8} t^{1/4}$ (driedimensionaal)

Diepte: $w < 2\%$: $D = 3d$ + gronddekking
$2\% \leqslant w \leqslant 5\%$: $D = 40R(w)d$ + gronddekking
$w > 5\%$: $D = D(w = 5\%) = 1{,}6d$ + gronddekking

Lengte: $G_L = \frac{1}{2}(G_B + b_0)$
als $G_B > b_0$

Gatvorm: spleet

Breedte: $G_B = R(w) \cdot 0{,}07\left\{\frac{g}{D^2}\left(\frac{\dot{I}}{\rho g}\right)^3\right\}^{1/5} t^{2/5}\, b_0^{-3/5}$
(tweedimensionaal)

Diepte: $w \leqslant 5\%$: $D = 40R(w)d$ + gronddekking
$w > 5\%$: $D = 1{,}6d$ + gronddekking

Lengte: $G_L = \frac{1}{2}(G_B + b_0)$
als $G_B > b_0$

waarin:
- G_B = breedte van de kuil ten opzichte van de leidingas [zie fig. 1]
- G_L = lengte van de kuil [zie fig. 1]
- $R(w)$ = een vochtafhankelijke constante [zie fig. 2]
- w = vochtgehalte in gewichtsprocenten droge stof
- $\dot{I}$ = impulsflux van de straal
- D = diepte van de kuil
- d = diameter van de buis
- ρ = dichtheid van het uitstromende gas bij omgevingsdruk
- g = versnelling van de zwaartekracht
- b_0 = breedte gatopening
- t = tijdsduur erosieproces

De grootste lengte G_L [toe te passen in 3.1] moet worden aangehouden als totale afschuiving van de leiding uitgesloten is [b.v. bij stalen leidingen].

B Ontgronding en grondverweking bij lek, breuk of explosie van een gasleiding

De overgang van het tweedimensionale [spleet] stromingsbeeld naar het driedimensionale [rond gat]

Door het Waterloopkundig Laboratorium werd gevonden dat bij bepaalde spleet-afmetingen de ontgrondingen niet met behulp van de tweedimensionale theorie konden worden bepaald, terwijl ze ook niet als driedimensionaal konden worden beschouwd.
Er bestaat derhalve een overgangsgebied tussen de twee- en de driedimensionale theorie.
Uit de modelproeven is verder gebleken dat de grootte van de ontgrondingen kan worden benaderd met behulp van de overgangskromme a in figuur 3.
Welke van de genoemde theorieën moet worden toegepast bij bepaalde spleet-afmetingen in de leiding kan met deze overgangskromme worden bepaald.
Er zijn drie gebieden te onderscheiden:

a 2-dimensionaal indien $X = \dfrac{G_B}{R(w) \cdot b_0} < 40$

G_B kan met de 2-dimensionale theorie bepaald worden.

b 3-dimensionaal indien $X = \dfrac{G_B}{R(w) \cdot b_0} > 200$

G_B kan met de 3-dimensionele theorie bepaald worden.

c overgangsgebied indien $40 \leqslant X = \dfrac{G_B}{R(w) \cdot b_0} \leqslant 200$

De afmetingen van de geërodeerde kuil bij een scheur in het overgangsgebied kunnen berekend worden uit:

Gatvorm: spleet (overgangsgebied)

Breedte: De breedte van de kuil kan eerst benaderd worden met:

$$\frac{G_B}{R(w)} = \left\{ \frac{g}{D^2} \left(\frac{\dot{I}}{\rho g} \right)^3 \right\}^{1/8} t^{1/4}$$

Hieruit kan een waarde voor $X = \frac{G_B}{R(w) \cdot b_0}$ bepaald worden.
De juiste breedte van de kuil kan dan gevonden worden door in figuur 3 vanuit het punt (X, 1) een rechte lijn met richtingscoëfficiënt = 1 (45°) te trekken en het snijpunt hiervan met de getrokken overgangskromme a te bepalen.

Diepte: $w \leqslant 5\%$: $D = 40R(w)d$ + gronddekking
$w > 5\%$: $D = D(w = 5\%) = 1{,}6d$ + gronddekking

Lengte: $G_L = \frac{1}{2}(G_B + b_0)$

waarin:
- G_B = breedte van de kuil ten opzichte van de leidingas [zie fig. 1]
- G_L = lengte van de kuil [zie fig. 1]
- $R(w)$ = een vochtafhankelijke constante [zie fig. 2]
- w = vochtgehalte in gewichtsprocenten droge stof
- $\dot{I}$ = impulsflux van de straal
- D = diepte van de kuil
- d = diameter van de buis
- ρ = dichtheid van het uitstromende gas bij omgevingsdruk
- g = versnelling van de zwaartekracht
- b_0 = breedte gatopening
- t = tijdsduur erosieproces

Het hangt van zeer veel factoren af welke formule men zal kunnen toepassen.
Men zal bij verschillende afmetingen en vormen van het lek met de gegevens van de leiding en omliggende grond, de compressor, enz. de maximale waarde van G_B moeten bepalen.
Men kan uitgaan van de permanente stromingsituatie die zich na de breuk van de leiding zal instellen.
De tijdsduur waarover men de ontgrondingen zal moeten berekenen

hangt in hoge mate af van het leidingsysteem en zal van geval tot geval moeten worden onderzocht.
Bovengenoemde berekening vereist, evenals de bepaling van de ontwerpdruk conform 3.5.2 A1, een voldoende zekerheid dat de uitgangspunten ten aanzien van de leiding en de leidingexploitatie niet worden gewijzigd. Indien de beschreven berekeningsmogelijkheid niet wordt benut, moet men uitgaan van de berekening zoals hieronder is aangegeven.

Vereenvoudigde berekening

De vereenvoudigde berekening is gebaseerd op de volgende aannamen:

1 De toelaatbare uitbreidingssnelheid ($V_{uitbr.}$) van de ontgrondingskuil wordt gekozen.

Voorshands adviseert de commissie uit te gaan van $\frac{1}{7200}$ m/s.

2 De formule voor de driedimensionale uitstroming wordt toegepast.

Als maximum voor de breedte G_B van de ontgronding ten opzichte van de leidingas voor alle richtingen van de gasstraal werd door het Waterloopkundig Laboratorium bij deze aannamen aangegeven:

$$G_B = \sqrt[3]{\frac{R(w)^4}{4}} \; \frac{\left\{\frac{g}{D^2}\left(\frac{\dot{I}}{\rho g}\right)^3\right\}^{1/6}}{V_{uitbr.}^{1/3}}$$

Diepte: $w < 2\%$: $D = 3d$ + gronddekking
$2\% \leqslant w \leqslant 5\%$: $D = 40R(w)d$ + gronddekking
$w > 5\%$: $D = D(w = 5\%) = 1{,}6d$ + gronddekking

B Ontgronding en grondverweking bij lek, breuk of explosie van een gasleiding

Lengte: $G_L = \frac{1}{2}(G_B + b_0)$
als $G_B > b_0$

Voor het tijdsinterval dat voor het bereiken van de in 1 genoemde uitbreidingssnelheid nodig is geldt:

$$t_v = \frac{G_B}{4V_{uitbr.}}$$

$R(w)$ = een vochtafhankelijke constante [zie fig. 2]
w = vochtgehalte in gewichtsprocenten droge stof
G_B = breedte van de kuil ten opzichte van de leidingas [zie fig. 1]
G_L = lengte van de kuil [zie fig. 1]
$\dot{I}$ = impulsflux van de straal
D = diepte van de kuil
d = diameter van de buis
ρ = dichtheid van het uitstromende gas bij omgevingsdruk
g = versnelling van de zwaartekracht
$V_{uitbr.}$ = uitbreidingssnelheid erosiekrater

De in de berekening toe te passen impulsflux van de gasstraal dient gebaseerd te worden op de veronderstellingen, dat het gatoppervlak gelijk is aan de leidingdoorsnede en de maximale bedrijfsdruk in de leiding gehandhaafd blijft.

Dan geldt: $\dot{I} = 1{,}27 \cdot A \cdot p_0 \leqslant \dot{I}_{max}$ (1)
$\dot{I}_{max} = A\{\rho_* u_*^2 + p_*\}$ (2)
met $Q_{max} = A\rho_* u_*$ (3)
} zie ook opmerking 4

waarin: Q_{max} = de maximale massastroom per tijdseenheid, welke door de compressor kan worden geleverd en door de gatopening afgevoerd

B Ontgronding en grondverweking bij lek, breuk of explosie van een gasleiding

$\dot{I}$ = impulsflux van de straal
p_0 = druk in leiding bij stilstand (max. bedrijfsdruk)
A = oppervlak uitstroomopening
u_* = uitstroomsnelheid gas
p_* = druk ter plaatse van de uitstroom-opening
ρ_* = dichtheid van het gas ter plaatse van de uitstroom-opening

Opmerkingen

1 De maximale uitstroomsnelheid van het gas is gelijk aan de plaatselijke geluidsnelheid en bedraagt:

$$u_* = a_0 \sqrt{\frac{2}{(k+1)}}$$

a_0 = de geluidsnelheid bij p_0 en ρ_0 $\left(a_0 = \sqrt{k\frac{p_0}{\rho_0}}\right)$

ρ_0 = de dichtheid in de leiding bij stilstand
p_0 = de druk in de leiding bij stilstand (max. bedrijfsdruk)
k = de verhouding van de soortelijke warmte bij constante druk en die bij constant volume.

Voor een bepaalde gassoort moet de bijbehorende waarde van k worden ingevoerd. Voor veel gassen is k gelijk aan 1,4.

2 De druk van het uitstromende gas ter plaatse van de uitstroom-opening volgt uit de relatie:

$$p_* = p_0 \left(\frac{k+1}{2}\right)^{-k/k-1}$$

3 De dichtheid van het uitstromende gas ter plaatse van de uitstroomopening volgt uit de relatie:

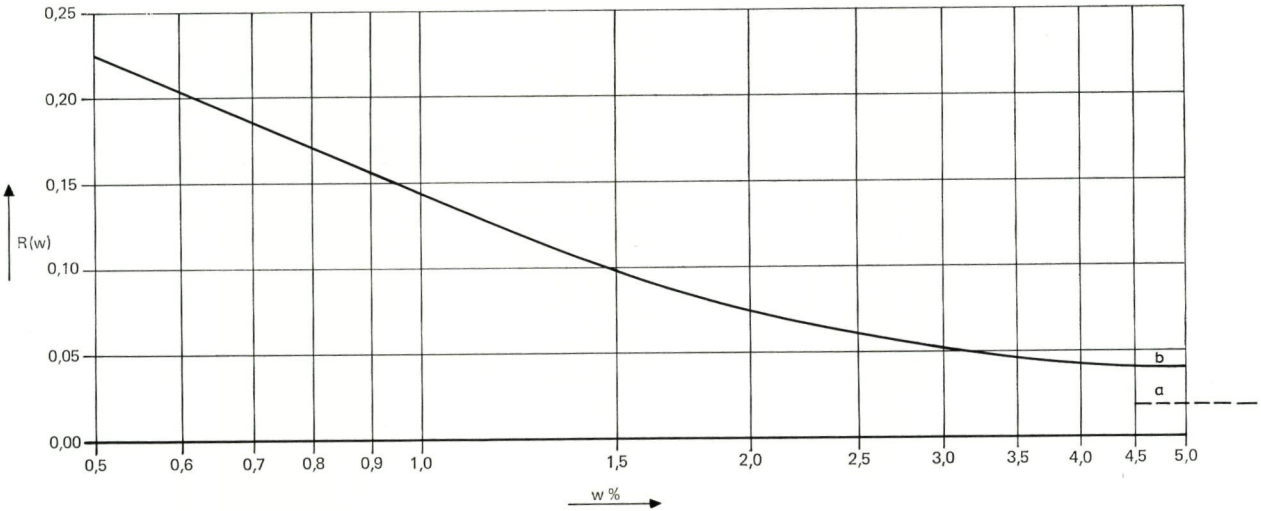
$$\frac{p_*}{p_0} = \left(\frac{\rho_*}{\rho_0}\right)^k$$

4 Indien gerekend wordt in het M.K.S.-stelsel kan voor aardgas met $k \approx 1.4$, bij een temperatuur van ca. 15 °C, de maximaal door de compressor te leveren impulsflux bepaald worden uit:

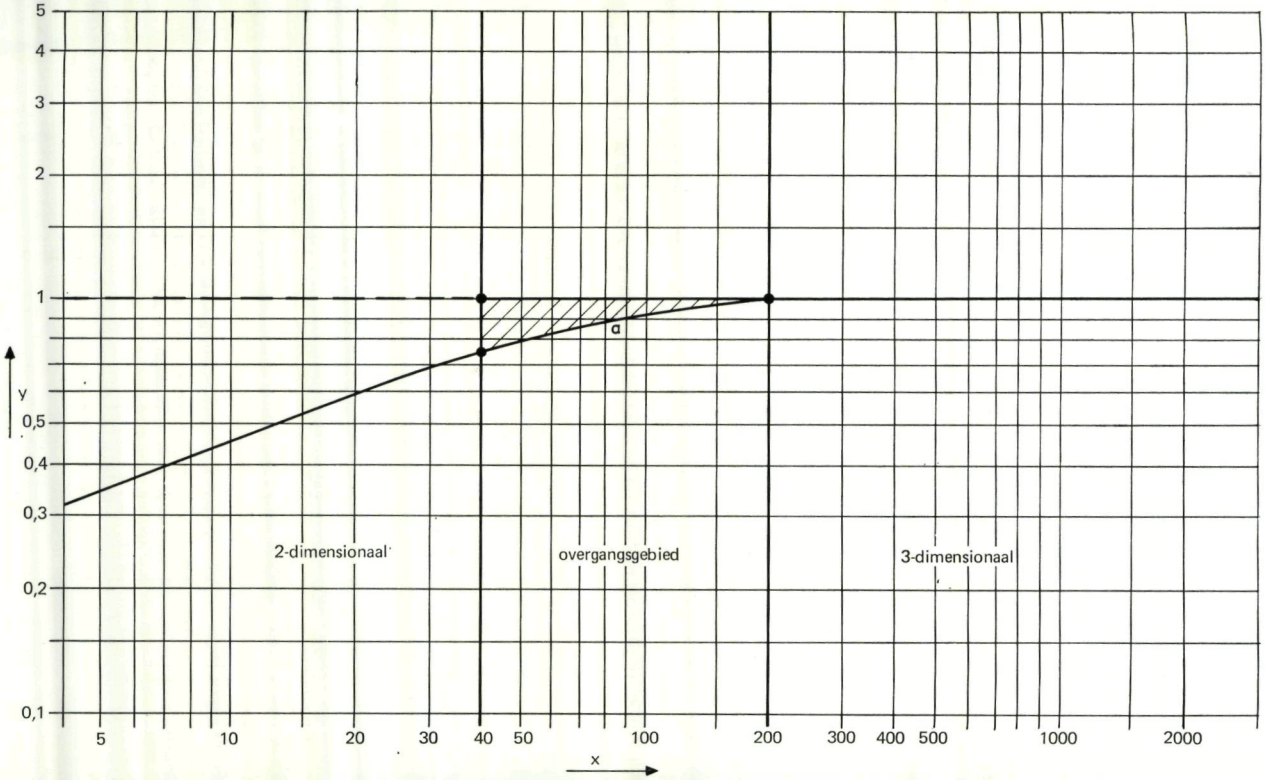
$$\dot{I}_{max} = 635\, Q_{max}$$

waarin: $\dot{I}_{max}$ = de maximale haalbare impulsflux in N
Q_{max} = de maximale massastroom per tijdseenheid, welke door de compressor kan worden geleverd en door de gat-opening afgevoerd in kg/s.
De dimensie van de constante 635 is [m/s]

Door de breuk van de leiding zal in het gas een negatieve drukgolf ontstaan.
De verhouding tussen de scheursnelheid en de snelheid van de negatieve drukgolf bepaalt de scheurlengte en moet zo klein mogelijk zijn [in ieder geval < 1].
Deze scheursnelheid is afhankelijk van de materiaaleigenschappen van de buis [zie 3.5.4].
Bij constante snelheidsverhouding zal de scheurlengte afhankelijk zijn van de spanning t.g.v. de inwendige druk, welke derhalve zo laag mogelijk moet worden gesteld [in ieder geval kleiner dan $2/3\sigma_{vl}$].
Gronddeformaties t.g.v. horizontaal gerichte schokgolven bij explosie van een gasleiding kunnen aanleiding geven tot korrelverschikkingen en pakkingsdichtheidsveranderingen. Hiervan is een overspanning in het poriënwater het gevolg en derhalve verlies aan draagkracht.
De bestaande theorieën, die de breedte aangeven van de tussen de leiding en de waterkering gelegen terreinstrook waarbij bij explosie vrijwel geen verlies aan draagkracht van de ondergrond van de waterkering zal optreden, zijn nog onvoldoende door proefnemingen getoetst. Algemene richtlijnen zijn derhalve niet te geven. Van geval tot geval moet worden onderzocht of de grondslag van de waterkering gevoelig is voor genoemde verschijnselen.



Figuur 2 a Verzadigd nat zand, klei, veen;
b zand w $\leqslant$ 5%, bij een vochtgehalte zand > 5%; lineair interpoleren.



Figuur 3 $X = \dfrac{G_B}{R(w)b_o}$ $\qquad Y = \dfrac{G_B}{R(w)\left\{\dfrac{g}{D^2}\left(\dfrac{\dot{I}}{\rho g}\right)^3 t^2\right\}^{1/8}}$

Indien: $x < 40$ 2-dimensionaal
$x > 200$ 3-dimensionaal
$40 < x < 200$ x en y moeten samenvallen met a

C

Reductie van de toelaatbare spanning afhankelijk van het belang van de waterkering

De 'schadefactor' te variëren van 1 tot 0,75 op grond van de grootte van het risico van verdrinking en materiële schade.

1 Waterkeringen, die continu of regelmatig moeten functioneren:

Personele risicofactoren:
A geen reëel levensgevaar
B levensgevaar voor enkele mensen
C levensgevaar voor vele mensen

Materiële risicofactoren:

	schade door inundatie	schade aan de waterkering	hinder scheepvaart	verstoring waterhuishouding
	betreft:	betreft:		
D	agrarisch gebied met weinig bebouwing	waterkeringen langs kleine wateren, b.v. binnenboezems	geen	gering
E	klein stedelijk gebied of gebied met dorpsbebouwing, weinig industrie	grote boezem- of kanaaldijken	geringe of matige hinder	enige stagnatie van wateraan- en afvoer
F	belangrijke bebouwing, veel industrie	b.v. hoofdwaterkering als schaardijk, kade aan grote boezem zonder boezemscheidingen	zeer belangrijke hinder	ernstige verstoring, b.v. in verband met drinkwatervoorziening

C Reductie van de toelaatbare spanning afhankelijk van het belang van de waterkering

Personele risicofactor				
C	0,75	0,75	0,75	
B	0,90	0,85	0,80	
A	1	0,95	0,85	
	D	E	F	materiële risicofactor

2 Voor waterkeringen die uitsluitend bij doorbraak van een andere waterkering water moeten keren geldt schadefactor = 1.

Voorbeelden bij het bepalen van schadefactoren.[1]

		Personele risico-factor	materiële risico-factor	schade-factor	
1	Rechter IJsseldijk bij Windesheim	B	FFEE	B-F	0,80
2	Noordelijke dijk van de Overijsselse Vecht benedenstrooms van Dalfsen	B	DEDD	B-D	0,90
3	Kaden van het Waterschap Wollegaast bij Sloten [Friesland]	A	DDDD	A-D	1
4	Zeedijk Harlingen-Afsluitdijk	C		C	0,75
5	Afsluitdijk Lauwerszee	B	DFDF	B-E	0,85
6	Dijken rond Lauwerszee			II	1
7	Eemskanaaldijken	B	EEFE	B-E	0,85
8	Dijk O-Flevoland langs kleine IJsselmeer	C		C	0,75
9	Dijk O-Flevoland langs Veluwemeer	B	FFEE	B-F	0,80

[1] De beheerder van de waterkering is uiteraard vrij van genoemde schadefactoren af te wijken.

C Reductie van de toelaatbare spanning afhankelijk van het belang van de waterkering

		Personele risico-factor	materiële risico-factor	schade-factor	
10	Dijk langs kanaal door Walcheren	B	EEEE	B-E	0,85
11	Dijk Vlissingen-Sloe langs Westerschelde	C		C	0,75
12	Ringdijk Haarlemmermeer	B	FEFF	B-F	0,80
13	Kade Zweilanderpolder 1,50 m diepe polder langs de Kaag	B	DDDD	B-D	0,90
14	Laker Polder in Kagerplassen, geen bebouwing	A	DDDD	A-D	1,00
15	Kade Lisser Poelpolder langs ringvaart Haarlemmermeer	C		C	0,75
16	Kade van de Meer- of Buurtwatering bij Stompwijk [Z-H]	B	FDEE	B-E	0,85
17	Kade Stom- en Hornmeerpolder [Aalsmeer] langs Braassemermeer	C		C	0,75
18	Kade Stom- en Hornmeerpolder langs Molenboezem	B	FDDD	B-E	0,85

D

Spuiten, boren en persen van leidingen door waterkeringen

Definities

A Bij spuiten wordt de grond door een waterstraal losgemaakt en met het water afgevoerd.
B Bij boren wordt een gat gemaakt door een mechanisch werktuig. De buis wordt daarna in het gat aangebracht.
C Bij persen wordt een buis door het grondlichaam gedrukt, waarbij de grond die in de buis geraakt wordt verwijderd.

Algemene voordelen van deze methoden

Er vindt zo weinig mogelijk grondroering plaats, zodat de waterkering zijn oorspronkelijke samenstelling en eigenschappen slechts zeer plaatselijk verliest. Dit betekent ook dat de buis geen grote zakkingen behoeft te doorstaan en dat wellicht minder bochten behoeven te worden aangebracht.

Algemene nadelen

Men kan slechts controle uitoefenen op de voortgang van de werktuigen in de grond, de weerstand die ze ontmoeten en de grondverwijdering.
De heterogeniteit van de grond en het voorkomen van voorwerpen als boomstronken, stukken puin, oude beschoeiingen enz. kunnen ernstige moeilijkheden geven.
Rondom het pijpgedeelte dat op zodanige wijze wordt aangebracht kunnen geen kwelschermen e.d. worden aangebracht.

Kwaliteit van de uitvoering

Ad A: spuiten

De hoeveelheid grond die wordt verwijderd kan moeilijk tot een minimum worden beperkt en onmogelijk worden gecontroleerd. Bij deze methode zullen de grondwaterspanningen in de dijk

plaatselijk worden vergroot, hetgeen gevaarlijk kan zijn voor de stabiliteit van de dijk.

Ad B: Boren

De hoeveelheid grond die wordt verwijderd kan worden beperkt, mits:

- de cohesie van de grond voldoende is,
- de boring boven het freatisch vlak plaats vindt.

Aan de laatste voorwaarde wordt vooral bij boezemkaden niet voldaan.
Controle op de afmetingen van het geboorde gat is ook bij deze methode vrijwel onmogelijk.

Ad C: Persen

Bij een goede uitvoering wordt bij deze methode niet meer grond verwijderd dan noodzakelijk is.
De grond om de buis wordt mogelijk nog enigermate verdicht, zodat een goede waterdichte aansluiting ontstaat, indien de buis volledig glad is.
Aan de methode zijn, ook bij goede uitvoering de volgende gevaren verbonden:
a doorbraak van water naar de buis;
b de grote krachten, die bij het persen moeten worden uitgeoefend, kunnen scheurvorming of stabiliteitsverlies veroorzaken.

In het verleden werd meestal eerst een onbeklede mantelbuis doorgeperst, omdat de bekleding bij doorpersen toch zou worden beschadigd. De transportbuis moet wel worden bekleed vanwege het gevaar van corrosie. Er bestaat thans een bekleding van polyethyleen die bestand is tegen doorpersen. Gezien de nadelen van mantel-

buizen [zie 3.6.4], is het dus het beste, de aldus beklede transportbuis zelf door te persen.

Toepassing

Spuiten en boren is ontoelaatbaar in waterkeringen. Bij persen doen zich in de praktijk bij de uitvoering nog veel onzekerheden en gebreken voor. Als omvangrijke voorzorgsmaatregelen worden genomen, kunnen met persen wel goede resultaten worden verkregen.
Voor waterkeringen waar geen risico van doorbraak tijdens de uitvoering aanwezig is, kan wanneer de grondslag zich ertoe leent persen worden overwogen.

E

Zakkingen

Indien voor een kruising een fundering op staal wordt toegepast, vormen zakkingen een belangrijk gegeven.
Zij kunnen als volgt worden onderscheiden:

1 zakkingen door consolidatie van waterkering en ondergrond, als gevolg van eventuele wijziging van het dijkprofiel door ophoging t.p.v. de kruising en naaste omgeving.
2 zakkingen t.g.v. het seculair effect van in het verleden uitgevoerde dijkverzwaring.
3 zakkingen door grondroering t.g.v. de uitvoering.
4 zakkingen t.g.v. de dynamische invloed van de leiding op de omringende grond onder invloed van fluctuaties in bedrijfsdruk en temperatuur.

Ad 1

Deze zakkingen zijn theoretisch te benaderen en worden 'zettingen' genoemd.

Ad 2

Deze zakkingen zijn niet alleen theoretisch te benaderen maar mede af te leiden uit de onderhoudservaringen van de waterkeringbeheerder en worden eveneens 'zettingen' genoemd.

Ad 3

Bij de bepaling van deze zakkingen spelen diepte en breedte van de ontgraven c.q. gebaggerde sleuf een rol.

A diepte

In verband met de werktolerantie van de diverse graaf- en baggermachines wordt een overdiepte toegepast, terwijl een vlak afgewerkte sleufbodem illusoir is. Wordt de sleuf smal gehouden, dan

kan een zakking van 'klinkpercentage × overdiepte' worden aangenomen.

B breedte

Wanneer bij de uitvoering een bredere sleuf ontstaat dan ongeveer 2 × de buisdiameter, gemeten over de top van de buis, kan negatieve kleef optreden door een verschil in klink van de aanvulspecie boven en naast de buis. De zooldruk van de buis wordt hierdoor hoger dan de oorspronkelijk aanwezige korreldruk met als gevolg 'zetting' van de onderliggende lagen met als absoluut maximum klinkpercentage × buisdiameter [het klinkverschil zal dan n.l. zijn opgeheven en ten gevolge daarvan de negatieve kleef zijn verdwenen].

Ad 4

In theorie is het denkbaar, dat een kruisingsconstructie door intermitterende expansie gepaard gaande met grondbreuk [d.w.z. overschrijding van maximaal leverbare [passieve] grondbelasting c.q. evenwichtsdraagvermogen] in de grond blijvend van positie verandert, omdat bij grondbreuk irreversibele [plastische] grondderformaties optreden. Over een eventueel effect van deze aard is momenteel niets bekend.

Verwerking van de beschreven verschijnselen in de sterkteberekening

'Zettingen' dienen door de grondmechanisch adviseur te worden bepaald [1 en 2]. De totale zettingen moeten worden vermenigvuldigd met de onzekerheidsfactoren sub 3.5.3. alvorens in de sterkteberekening te worden ingevoerd.

'Zakkingen' hangen meestal nauw samen met de wijze van uitvoering en zijn derhalve moeilijk bij het grondmechanisch onderzoek te betrekken [met uitzondering van 4].

E Zakkingen

De zakkingen [3 en 4] kunnen op grond van de huidige praktijkervaring worden getaxeerd op ca. 20 cm. [*bij zorgvuldige uitvoering*]. Bij onzorgvuldige uitvoering [onnodig diepe ontgravingen] zijn zakkingen geconstateerd van meer dan 50 cm.
Voorshands adviseert de Commissie bij fundering op staal uit te gaan van een zakkings*verschil* van 10 cm ter versterking van het [de] eventuele zettingsverschil[len].

F

Berekening drukstoten

Het Waterloopkundig Laboratorium heeft op verzoek van de Commissie een berekeningsmethode opgesteld voor de bepaling van de maximaal mogelijke drukverhogingen in gasleidingen ten gevolge van niet permanente stroming.
Als uiterste geval werd de situatie beschouwd waarbij aan het benedenstroomse leidingeinde een klep ogenblikkelijk sluit. Het wrijvingsverlies in de leiding wordt geconcentreerd gedacht aan het benedenstroomse leidingeinde; de stroming in de leiding zelf is dan wrijvingsloos verondersteld.
De elasticiteit van de leiding wordt niet in aanmerking genomen. De toestandsveranderingen in het gas worden isentropisch verondersteld.[1]
De maximale drukverhoging kan dan berekend worden uit:

$$\Delta p = \frac{1}{\dfrac{1}{\Delta u \sqrt{\rho_0 \, k \, p_0}} - \dfrac{k+1}{2k p_0}}$$

waarin: Δp = maximale drukverhoging
Δu = snelheidsverandering
k = isentropenexponent voor veel gassen $\approx 1{,}4$
p_0 = maximum bedrijfsdruk[2]
ρ_0 = de dichtheid van het gas bij maximum bedrijfsdruk

Opmerkingen

1 Met behulp van deze vergelijking is met redelijke nauwkeurigheid de maximum drukverhoging te schatten. De plaatselijke druk-

[1] Een isentropische toestandsverandering wil zeggen: een omkeerbare toestandsverandering, waarbij geen warmte-uitwisseling met de omgeving optreedt. Het rekenen met de aanname voor een dergelijke toestandsverandering geeft te ongunstige waarden.
[2] De maximum bedrijfsdruk is de druk, die bij het gebruik van een gasleiding op enig punt in het leidinggedeelte kan heersen en die – indien een beveiligingsmiddel tegen drukoverschrijding is aangebracht – wordt geacht gelijk te zijn aan de druk waarbij dit beveiligingsmiddel volledig in werking is getreden.

verhoging is op bovengenoemde wijze niet te berekenen, zodat rekening moet worden gehouden met een maximum druk in de totale leiding van $p_0 + \Delta p$.

2 Bij deze berekening is een verloop van het werkpunt van de compressor niet in aanmerking genomen. De verhoging van de druk, die hierdoor ontstaat moet bij de berekende druk worden opgeteld.

3 In de meeste gevallen zal de drukverhoging kleiner zijn dan 10% van de maximum bedrijfsdruk.

Voorbeeld

Gegevens:

maximum bedrijfsdruk	$p_0 = 50$ bar $= 50 \cdot 10^5$ N/m^2
maximum snelheid	$u = 15$ m/s
isentropenexponent	$k = 1{,}4$
dichtheid bij 1 bar en 20 °C	$\rho^1 = 1{,}2$ kg/m^3

Uitwerking:
Neem aan, dat het gas in de compressor isotherm wordt gecomprimeerd: dit geeft de hoogste ρ_0 en dus de grootste drukverhoging.

$$\frac{p^1}{\rho^1} = \frac{p_0}{\rho_0} \qquad \frac{1}{1{,}2} = \frac{50}{\rho_0} \qquad \rho_0 = 60 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta p = \frac{1}{\dfrac{1}{\Delta u\sqrt{\rho_0 k p_0}} - \dfrac{k+1}{2k p_0}}$$

$$\Delta p = \frac{1}{\dfrac{1}{15\sqrt{60 \cdot 1{,}4 \cdot 5 \cdot 10^6}} - \dfrac{2{,}4}{2{,}8 \cdot 5 \cdot 10^6}} = 3{,}24 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen werd ingesteld door de Minister van Verkeer en Waterstaat bij beschikking no. 30230 afd. P, Directie van de Waterstaat van 31 mei 1965. De samenstelling van de Commissie ten tijde van het opstellen van de leidraad voor constructie en beheer van gasleidingen in en nabij waterkeringen was als volgt:

Voorzitter

Ir. J. B. Schijf	oud-hoofdingenieur-directeur van de Rijkswaterstaat

Leden

Prof. Ir. W. C. Bischoff van Heemskerck	hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Delft
Ir. W. G. Boltje	hoofd van de Technische Dienst van het Hoogheemraadschap Noordhollands Noorderkwartier
Ir. H. A. Ferguson	hoofd van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat
Ir. H. de Groot	hoofd van de Technische Dienst van het Hoogheemraadschap Rijnland
Ir. M. Klasema	hoofd van de Dienst der Zuiderzeewerken
Prof. Ir. J. L. Klein	oud-hoofddirecteur van de Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland
Ir. W. C. van Mierlo	directeur van het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft
Prof. Ir. N. Nanninga	hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Delft
Ir. H. M. Oudshoorn	hoofdingenieur-directeur van de Rijkswaterstaat in de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging
Ir. A. Paape	hoofd van het Waterloopkundig Laboratorium te Delft
Ir. H. Visser	hoofd van de Technische Dienst van het Waterschap Walcheren
Ir. H. Wieringa	hoofdingenieur-directeur van de Provinciale Waterstaat in Overijssel
Ir. H. Zandvoort	hoofdingenieur-directeur van de Provinciale Waterstaat in Friesland

Lid en secretaris

Ir. W. van der Kleij	hoofd van de Afdeling Waterkeringen en Landaanwinning van de Hoofddirectie van de Waterstaat

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.

225026*-316 ISBN 90 12 00078 5