



Faalkansen van leidingen in en nabij dijken

COLOFON

Titel	Faalkans van Leidingen in en nabij Dijken
Opdrachtgever	HWBP De Innovatieversneller
Auteur(s)	Anton van der Meer 
Foto omslag	IJsseldijk (https://regioonline.nl/regio-krimpenerwaard/waterleidingbreuk-dijk/)
Kenmerk	11207457-002-0001
Inhoudelijke kwaliteitsborging	Henk Kruse 
Vrijgave Deltares	Goaitske de Vries 
Datum	31 maart 2022
Status	Definitief

Inhoudsopgave

Symbolen, begrippen en definities	5
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Doel en kader van deze rapportage	7
1.3 Toepassing	8
1.4 Organisatie	8
1.5 Leeswijzer	8
2 Achtergrond	9
2.1 Veiligheidsraamwerk	9
2.2 Gevolgen van leidingfalen	9
2.3 De overstromingskans	10
3 Leidingfaalkansen uit databases	12
3.1 Drinkwaterleidingen	12
3.1.1 Omschrijving USTORE database	12
3.1.2 Leidingfaalkansen drinkwaterleidingen	12
3.1.3 Gevolgen van leidingfalen drinkwaterleidingen	13
3.2 Gasdistributieleidingen	13
3.2.1 Omschrijving Nestor database	14
3.2.2 Leidingfaalkansen gasdistributieleidingen	14
3.2.3 Gevolgen van leidingfalen gasdistributieleidingen	15
3.3 Gastransportleidingen	16
3.3.1 Omschrijving EGIG database	16
3.3.2 Leidingfaalkansen gastransportleidingen	16
3.3.3 Gevolgen van leidingfalen gastransportleidingen	16
3.3.4 Uitgesplitste leidingfaalkansen gastransportleidingen	16
4 Gebruik van de leidingfaalkansen	18
4.1 Algemeen	18
4.2 Toepassingsvoorwaarden	18
4.3 Voorbeeld	18
5 Conclusies en aanbevelingen	19
5.1 Conclusies	19
5.2 Aanbevelingen	19
Referenties	20



ISO 2394:2015 General principles on reliability for structures, Nederlandse Norm (NEN), maart 2015.....	20
Bijlage A Afleiding tabellen gastransportleidingen	21
Bijlage B Lekgroottes gastransportleidingen	23
Bijlage C Analyse USTORE-database.....	25
Bijlage D Analyse Nestor-database	26

Symbolen, begrippen en definities

Symbolen

A_{BUIS}	[m ²]	Stromingsoppervlak van de buis van de leiding.
P	[MPa]	De druk in de leiding.
P_f	[j ⁻¹], [-]	De kans op falen.

Notatie

In dit rapport wordt de punt (.) gebruikt als scheidingsteken van de decimalen. De notatie 1E-5 wordt gebruikt in de tabellen om 1×10^{-5} aan te duiden. De notatie P_x betekent de kans op x , $P_{\bar{x}}$ de kans op geen x en de notatie $P_{a|b}$ de kans op a gegeven dat b is opgetreden.

Begrippen en definities

Conditionele kans	Een kans conditioneel op een bepaalde voorwaarde. In het geval van dit rapport de kans op herstel gegeven dat de leiding is gefaald, of de kans op een overstroming gegeven dat de schade door leidingfalen niet tijdig hersteld is.
Erosie	Het proces van transport van materiaal. In de scope van dit rapport is het verplaatsen van gronddeeltjes door stromend water of stromend gas. Het resultaat van erosie is in dit geval een ontgroning.
Faalkansbegroting/-ruimte	Vanuit praktische overwegingen wordt de overstromingskans voor een dijktraject verdeeld over verschillende faalmechanismen. Deze verdeling heet de faalkansbegroting. Hoe meer faalkansruimte een mechanisme krijgt, hoe lichter de eis voor dit mechanisme maar hoe minder faalkansruimte er overblijft voor de andere mechanismen. Hoeveel faalkansruimte elk mechanisme krijgt wordt door het waterschap bepaald.
Faalpad	Een faalpad is een verzameling opeenvolgende gebeurtenissen die tot falen leidt. In de scope van dit rapport is het faalpad leidingfalen, geen herstel van de schade vóór hoogwater en falen van het resterende dijklichaam met een overstroming als gevolg.
Falen waterkering	Het optreden van een ongewenste gebeurtenis. In dit rapport is dit uiteindelijk een overstroming.
Falen Leiding	Bij falen van een leiding is de ongewenste gebeurtenis het optreden van lekkage vanuit de leiding.
Fysische explosie	Een fysische explosie is een explosie als gevolg van de expansie van een medium onder druk. In de scope van dit rapport expansie van gas na scheuren of breken van de gasleiding.
Gapend lek	Een gapend lek in een leiding is een lek dat leidt tot een ontgrondingskrater.
Krater	Een krater is een ontgroning, door in de scope van dit rapport door erosie of een fysische explosie.
Instabiele langsscheur	Een langsscheur is een scheur in een leiding waarbij een of meerdere buiselementen (in de lengterichting van de leiding) in korte tijd openscheuren. De scheurvorming stopt bij zogenaamde 'arrest pipes' (scheurstoppers) en aan de uiteinden van de sleuf ontstaan wederom erosiekraters
Overstroming	Een overstroming is in deze gedefinieerd als de inundatie van het beschermde gebied (achterland) vanuit het buitenwater met significante gevolgen.

Sluipend lek	Een sluipend lek is een lek in een vloeistofleiding (o.a. water) dat niet leidt tot een ontgrondingskrater, maar slechts tot verhoogde waterspanningen in de grond.
Trajectfaalkanseis	Nederland is verdeeld in verschillende dijktrajecten van meerdere kilometers lengte. De toelaatbare overstromingskans van één traject, de trajectfaalkanseis, is gebaseerd op de gevolgen van een overstroming en vastgelegd als eis in de Waterwet.
Verweking	Verlies van sterkte en stijfheid van een cohesieloze grond. Aanleiding van verweking is bij dit rapport een fysische explosie.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Leidingen in en nabij dijken kunnen in geval van lekkage bijdragen aan de overstromingskans van het gebied achter de waterkering. In het kader van de Project overstijgende Verkenning Kabels en Leidingen (POV K&L, 2020) is een methodiek ontwikkeld om de bijdrage van leidingen voor gas en drinkwater aan de overstromingskans te kunnen beoordelen. De methodiek wordt integrale faalkansanalyse genoemd.

De door POV K&L uitgewerkte werkwijze voor de integrale faalkansanalyse is een aanvulling op "Bijlage III Sterkte en veiligheid" van de "Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017" (I&M, 2017). Hierin wordt gerefereerd naar de NEN 3650 reeks (2020). Meer specifiek wordt de integrale faalkansanalyse genoemd in paragraaf 6.5.1 van NEN 3650-1 (2020) als mogelijkheid om een dijk met een leiding te beoordelen of ontwerpen.

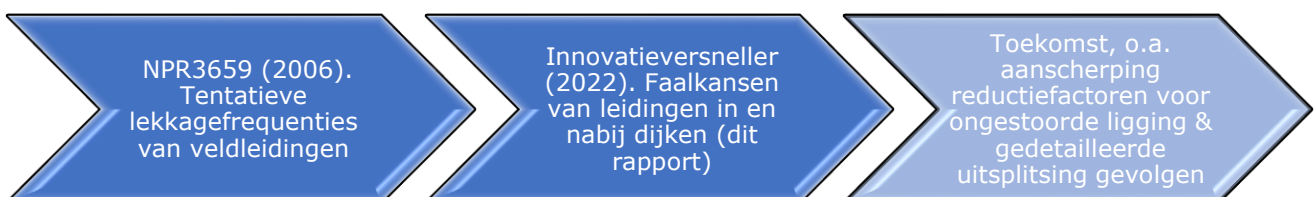
Bij het uitvoeren van een integrale faalkansanalyse is het optreden van lekkage door het falen van een leiding van belang. De kans op het falen van de leiding is een belangrijke parameter bij het uitvoeren van de analyse. Voor het falen van de leiding worden bij de analyse de nadelige gevolgen van leidingfalen voor de waterkering in beeld gebracht, zoals erosiekraters en wateroverspanningen. De effecten van deze gevolgen van leiding falen worden in de faalkansanalyse berekend door de verschillende dijkfaalmechanismen te beschouwen. Zo kan dan de bijdrage van de leiding op de kans op een overstroming van de waterkering worden berekend.

Bij toepassing van de werkwijze van de integrale faalkansanalyse is de faalkans van de leiding een belangrijke parameter. Om bij dijkbeoordelingen en dijkversterkingsprojecten de invloed van leidingen op de overstromingskans efficiënt te kunnen bepalen is er behoefte aan een overzicht van de leidingfaalkansen en is inzicht gewenst in hoe deze leidingfaalkansen kunnen worden gebruikt in een integrale faalkansanalyse van de waterkering.

1.2 Doel en kader van deze rapportage

Sinds 2017 is wettelijk voorgeschreven dat waterkeringen moeten worden beoordeeld op basis van een maximaal toelaatbare overstromingskans. De bijdrage van de in of nabij de waterkering aanwezige leidingen moet hierin worden meegenomen. Om de beoordeling goed uit te kunnen voeren zijn naast waterkering faalkansen ook leidingfaalkansen benodigd.

Deze rapportage heeft als doel de bij het beoordelen/ontwerpen van waterkeringen te gebruiken leidingfaalkansen inzichtelijk te maken en een beknopte beschrijving te geven van het gebruik van deze leidingfaalkansen bij het uitvoeren van een integrale faalkansanalyse van een waterkering. Dit rapport beperkt zich tot drinkwaterleidingen en gastransport en gasdistributieleidingen. De tabellen met leidingfaalkansen zijn een generieke inschatting en een update van de tabellen met leidingfaalkansen uit de *NPR3659:1996/A1:2006*. De leidingfaalkansen kunnen voor specifieke leidingen verder aangescherpt worden als dat nodig is door terug te grijpen op de brondocumenten en databases.



1.3 Toepassing

Het rapport bevat faalkansen van leidingen die kunnen worden gebruikt voor een eerste beoordeling van de bijdrage van het falen van leidingen aan de overstromingskans. Het betreffen conservatieve waarden die indien nodig en waar aanvullende kennis beschikbaar is kunnen worden aangescherpt. De faalkansen kunnen niet zonder nadere onderbouwing worden gebruikt voor andere doeleinden dan de beoordeling van waterkeringen.

Bij de beoordeling van waterkeringen kunnen de leidingfaalkansen bijvoorbeeld gebruikt worden bij een eenvoudige toets zoals de toepassing van filters, die dienen om een eerste schifting te maken in veilige en potentieel onveilige situaties. Als de waterkering dan veilig is beoordeeld, dan is verdere analyse niet noodzakelijk. Anders zal een meer gedetailleerde beoordeling moeten plaatsvinden, waarbij zoals hierboven is aangegeven een meer op de situatie gerichte analyse noodzakelijk kan zijn.

1.4 Organisatie

De leidingfaalkansen zijn gerapporteerd in opdracht van De Innovatieversneller en in samenwerking met de brancheorganisaties KWR Water Research Institute (waterleidingen) en Kiwa (gasdistributieleidingen) en Gasunie (gastransportleidingen). De Innovatieversneller is een onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWP). Aan de review van deze rapportage heeft onder andere de Strategische Samenwerking Water- en Netbeheerders (SSWN) meegewerkt.

1.5 Leeswijzer

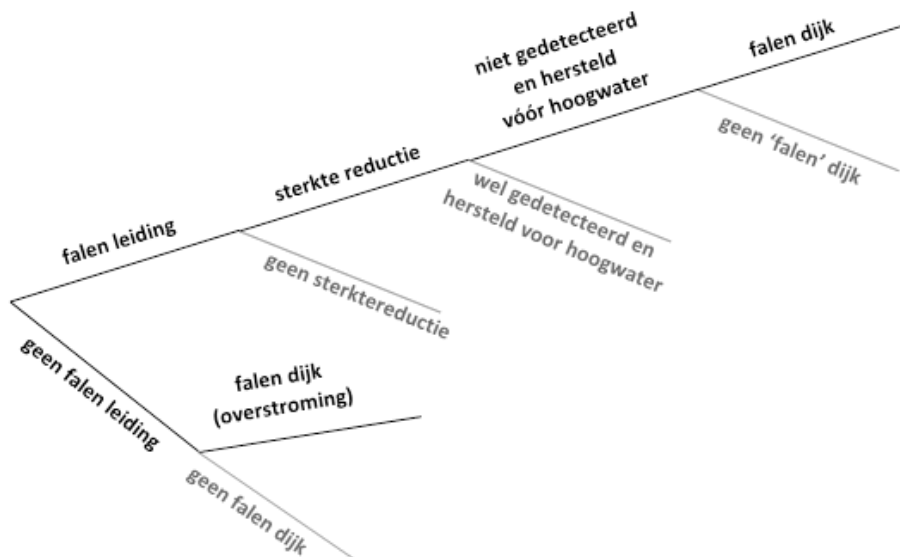
In deze rapportage is achtereenvolgens een beschrijving van het raamwerk voor de integrale faalkansanalyse voor leidingen in dijken opgenomen (Hoofdstuk 2). In het Hoofdstuk 3 zijn de leidingfaalkans opgenomen. In het Hoofdstuk 4 is aangegeven hoe de leidingfaalkansen gebruikt kunnen worden in de praktijk. Dit is geïllustreerd met één voorbeeld. Tot slot zijn in Hoofdstuk 5 concluderende opmerkingen en aanbevelingen gegeven. Er zijn vier bijlage bij het rapport gevoegd. Bijlage A waarin de leidingfaalkansen voor gastransportleidingen zijn afgeleid. Bijlage B waarin wordt ingegaan op de lekgrootte in gastransportleidingen. Bijlage C is een memo waar door KWR Water Research Institute de leidingfaalkansen voor drinkwaterleidingen zijn afgeleid. Bijlage D is een memo waar door Kiwa de leidingfaalkansen voor gasdistributieleidingen zijn afgeleid.

2 Achtergrond

2.1 Veiligheidsraamwerk

De primaire dijktrajecten in Nederland moeten voldoen aan een wettelijk bepaalde maximaal toelaatbare overstromingskans per jaar, de trajectfaalkanseis (P_{norm}). De kansen van alle mogelijke faalpaden leidend tot een overstroming moeten gezamenlijk voldoen aan deze overstromingskans. Deze trajectfaalkanseis wordt verdeeld tussen verschillende faalpaden met elk een ander initiërend faalmechanisme.

Eén van de mechanismen die wordt beschouwd is het falen van leidingen in en nabij een dijk, waardoor vervolgens een overstroming kan optreden. De generieke gebeurtenissenboom, d.w.z. de verzameling van faalpaden, uit het Veiligheidsraamwerk (Deltares, 2018) in Figuur 2.1 vormt de basis voor de faalkansanalyses om de overstromingskans door leidingfalen te bepalen. Achtereenvolgens wordt de kans bepaald op falen van de leiding met lekkage, de gevolgschade door leidingfalen (sterktereductie van de dijk), de kans op (geen) tijdig herstel voordat zich een hoogwater voordoet en de dijk zijn functie moet vervullen en ten slotte de kans dat de beschadigde dijk faalt tijdens een hoogwaterperiode.



Figuur 2.1 Generieke gebeurtenissenboom voor het beoordelen van een waterkering met invloed van een falende leiding en beschouwing van gelijktijdigheid van leidingfalen en hoogwater, conform Veiligheidsraamwerk (Deltares, 2018)

2.2 Gevolgen van leidingfalen

De gebeurtenissenboom in de bovenstaande figuur 2.1 begint bij het optreden van lekkage met falen van de leiding. Bij leiding lekkage worden er verschillende gevolgen onderscheiden.

Een leiding kan op verschillende manieren falen met verschillende gevolgen. Bij een waterleiding kan een lek leiden tot een erosiekrater of tot verhoging van de waterspanningen in de dijk (gapend en sluipend lek genoemd). Voor een sluipend lek (verhoogde waterspanningen als gevolg) is de kans op ontdekken en tijdig herstellen anders dan voor een gapend lek (erosiekrater als gevolg). Voor de beschouwing van de dijkfaalmechanismen is de modellering van de gevolgen bij een sluipend en een gapend lek verschillend.

Bij een gasleiding uit het distributie netwerk kan eveneens onderscheid gemaakt worden tussen een sluipend lek met vrij komen van gas en een gapend lek met een erosiekrater. In de praktijk wordt het ontstaan van een dergelijke erosiekrater bij gasdistributieleidingen niet waargenomen. Verder moet opgemerkt worden dat de term 'sluipend lek' bij gasdistributie minder op zijn plaats is, omdat bij gaslekken een alarmerende geur vrijkomt. Als de geur niet detecteerbaar is, dan is het lek ook zeer klein en niet relevant voor de faalkans

van een waterkering. Voor de grotere lekken, de zogenaamde Categorie I lekken, zal gelden dat die in de meeste gevallen ook te klein zijn om een risico voor een waterkering te vormen.

Bij gasleidingen behorend tot het transport netwerk (RTL, Regionaal Transportleidingnet of HTL, Hoofdtransportleidingnet) kunnen bij leidingfalen ook fysieke explosies optreden en kan afhankelijk van het leidingmateriaal een instabiele langsscheur in de leiding optreden. Een instabiele langsscheur is een scheur in de langsrichting van de leiding die in korte tijd kan doorscheuren door meerdere buiselementen. Aan de uiteinden van de scheur ontstaan wederom erosiekraters. Een instabiele langsscheur met de initiële schade op een bepaalde afstand van de dijk kan dus afhankelijk van het leiding materiaal van de gastransport leiding doorgroeien tot in de dijk.

2.3 De overstromingskans

Vanuit praktische overwegingen wordt de overstromingskans voor een dijktraject verdeeld over verschillende faalmechanismen. Deze verdeling heet de faalkansbegroting. Hoe meer faalkansruimte een mechanisme krijgt, hoe lichter de eis voor dit mechanisme, maar hoe minder faalkansruimte er overblijft voor de andere mechanismen. Hoeveel faalkansruimte elk mechanisme toegewezen krijgt wordt door het waterschap bepaald. Ook de faalkansruimte voor de bijdrage van het falen van leidingen wordt door het waterschap bepaald. Hieronder wordt op hoofdlijnen beschreven hoe de overstromingskans door leidingfalen kan worden berekend.

De bepaling van de overstromingskans (per jaar) door leidingfalen is in formulevorm uitgeschreven met de onderstaande vergelijking.

$$P_{\text{overstroming leidingfalen}} = \sum_j \left(P_{f \text{ leiding},j} \times P_{\text{geen herstel},j} \times \sum_i P_{f \text{ dijk}|\text{leiding falen,corrected},i,j} \right)$$

In de vergelijking symboliseert j de wijze van leidingfalen (gapend lek, sluipend lek of langsscheur) en i de wijze van dijkfalen (erosie door golfoverslag of golfaanval, macro-instabiliteit, piping, e.a.). $P_{f \text{ leiding}}$ is de leidingfaalkans (per jaar) van een leidingsegment en kan bepaald worden met behulp van dit rapport. De lengte van een leidingsegment is vastgesteld op 50 meter (TNO,2003). Dit is de lengte waarover de relevante parameters sterk gecorreleerd zijn. De aanwezigheid van meerdere leidingen in een dijktraject wordt meegenomen in de afleiding van de eis door middel van een lengte-effectfactor. $P_{\text{geen herstel}}$ is de (conditionele) kans op geen tijdig herstel, dus de kans dat de sterktereductie door leidingfalen er (nog) is ten tijde van een hoogwatergebeurtenis. De kans is op geen tijdig herstel is gebaseerd onder de aanname van één relevant hoogwater per jaar. $P_{f \text{ dijk}|\text{leiding falen,corrected}}$ is de kans op falen (in een jaar) van de dijk gegeven de sterktereductie door leidingfalen. De $P_{f \text{ dijk}|\text{leiding falen,corrected}}$ moet nog gecorrigeerd worden (vandaar de toevoeging *corrected*) met de kans dat de dijk faalt zonder dat er sprake is van sterktereductie door leidingfalen, als in de onderstaande vergelijking. We zijn immers opzoek naar de kans op een overstroming als gevolg van leidingfalen. Bovendien wordt de kans op falen gegeven geen leidingfalen al meegenomen onder de andere directe faalmechanismen. Zonder de bovenstaande correctie zou er sprake zijn van een dubbeltelling (zie kader).

$$P_{f,\text{dijk}|\text{leiding falen,corrected}} = P_{f,\text{dijk}|\text{leiding falen}} - P_{f,\text{dijk}|\overline{\text{leiding falen}}}$$

In de vergelijking is $P_{f,\text{dijk}|\text{leiding falen}}$ de kans op falen van de dijk door leidingfalen en bijbehorende sterktereductie en $P_{f,\text{dijk}|\overline{\text{leiding falen}}}$ de kans op falen van de dijk waarbij geen sterktereductie optreedt.

Kader

De kans op overstroming is een optelling van een bijdrage door leidingfalen en een bijdrage niet door leidingfalen:

$$P(O) = P(L) \cdot P(O|L) + P(\bar{L}) \cdot P(O|\bar{L})$$

$$P(O) = P(L) \cdot P(O|L) + (1 - P(L)) \cdot P(O|\bar{L})$$

$$P(O) = P(L) \cdot (P(O|L) - P(O|\bar{L})) + P(O|\bar{L})$$

Waarin $P(O)$ de kans op een overstroming, $P(L)$ de kans op leidingfalen, $P(\bar{L})$ de kans op geen leidingfalen, $P(O|L)$ de kans op een overstroming gegeven leidingfalen en $P(O|\bar{L})$ de kans op een overstroming gegeven geen leidingfalen. In de reguliere analyses zonder leidingfalen beschouwen we $P(O|\bar{L})$ zonder rekening te houden met $(1 - P(L))$. In de analyses met leidingfalen moeten we dus $(P(O|L) - P(O|\bar{L}))$ beschouwen om tot een juiste optelling van $P(O)$ te komen.

Bij de verschillende POV K&L cases is met betrekking tot de faalkans begroting aan waterschappen voorgesteld om overstromingen die geïnitieerd worden door leidingfalen van (alle) kruisende leidingen te toetsen aan 1% van de trajectfaalkanseis en overstromingen geïnitieerd door (alle) parallelle leidingen ook te toetsen aan 1% van de trajectfaalkanseis (Deltares,2020a; Deltares,2020b). Er kan dan worden uitgegaan van een lengte-effectfactor van 10 voor zowel kruisende als parallelle leidingen (Deltares,2020a; Deltares,2020b). De faalkanseis is voor een enkele kruisende leiding of een parallelle leiding dan 0.001 maal de dijktrajectfaalkanseis.

De maximaal toelaatbare overstromingskans van een dijktraject (P_{norm}) ligt voor veel van de primaire waterkeringen tussen de 10^{-3} en 10^{-4} per jaar. De eis voor de kansbijdrage van de leiding aan een overstroming door leidingfalen van een specifieke leiding of leidingsegment is derhalve tussen 10^{-6} en 10^{-7} per jaar. Dit is de eis voor falen van de leiding en vervolgens geen herstel en vervolgens ook nog dijkfalen. Leidingen met een hogere faalkans dan 10^{-6} en 10^{-7} kunnen dus wel voldoen aan de eis als de vervolgcansen worden meegenomen.

Het dient te worden opgemerkt dat de waterschappen de mogelijkheid hebben om een andere faalkansbegroting te hanteren en meer of minder faalkansruimte aan de leidingen toe te kennen. De faalkanseis voor een overstroming door leidingfalen kan op basis van bijvoorbeeld economische motieven worden aangepast. Een gedetailleerde beschrijving van het gebruik van de leidingfaalkansen voor parallelle en kruisende leidingen in een integrale faalkansanalyse is te vinden in het veiligheidsraamwerk van de POV K&L en de in het kader van de POV K&L uitgevoerde case studies. Deze zijn te vinden op de website (<https://povkabelsenleidingen.nl>) van de POV K&L.

3 Leidingfaalkansen uit databases

In dit hoofdstuk zijn de faalkansen van verschillende leidingen beschreven aan de hand van casuïstiek betreffende storingsen en incidenten. Er is gebruik gemaakt van de databases USTORE, Nestor en EGIG. De USTORE database omvat storingsgegevens van drinkwaterleidingen in Nederland, de Nestor database omvat storingsgegevens van gasdistributieleidingen in Nederland en de EGIG database bevat incidenten van gastransportleidingen in Europa. Zoals bij POV K&L cases beschreven worden de voor de integrale faalkansanalyse benodigde leiding faalkansen behorend bij lekkages afgeleid uit de storingsen en incidenten. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat bij elke storing of incident er sprake is van leiding lekkage.

3.1 Drinkwaterleidingen

De USTORE database met daarin storingsgegevens van drinkwaterleidingen in Nederland is geanalyseerd door KWR Water Research Institute (Bijlage C). Hieronder volgt een samenvatting van de bevindingen.

3.1.1 Omschrijving USTORE database

Voor drinkwaterleidingen (transport en distributie) in Nederland heeft KWR gegevens van storingsfrequenties ontleend uit de database USTORE. Er zijn zes leidingmaterialen te onderscheiden. Van het leidingnet valt 98.8% van de lengte binnen deze categorieën. Drinkwaterleidingnetten kennen geen gestandaardiseerde druk-regimes, zodoende is er (anders dan voor gasleidingen) geen onderscheid tussen verschillende drukken in de casuïstiek. Er zijn 22.352 storingsen geanalyseerd die zijn geregistreerd in USTORE, het uniform registratiesysteem voor storingsen aan drinkwaterleidingen. Deze data betreft storingsen van zeven drinkwaterbedrijven over de periode 2010 – 2019. Een storing wordt in USTORE geregistreerd als er sprake is van een melding die duidt op lekkage, en die door monteurs ter plekke wordt bevestigd als zijnde een storing op een leiding voor transport of distributie van drinkwater. Storingsen op aansluitleidingen en storingsen op afsluiters of brandkranen worden niet in USTORE geregistreerd. Bij storingsen is altijd sprake van lekkage. Daarom kan het door drinkwaterbedrijven gehanteerde begrip storing gelijk worden gesteld aan het begrip falen zoals gehanteerd in dit rapport. Omdat de storingsregistratie bij drinkwaterbedrijven deel uit maakt van geautomatiseerde werkorders, kan er van worden uitgegaan dat alle optredende storingsen in USTORE worden geregistreerd. Een storing kan niet worden afgemeld zonder dat het storingsformulier is ingevuld. Verder zijn er kwaliteitsafspraken gemaakt waarbij gegevens worden geverifieerd.

3.1.2 Leidingfaalkansen drinkwaterleidingen

Tabel 3.1 geeft de met USTORE data berekende storingsfrequenties weer. De hier gepresenteerde storingsfrequenties hebben betrekking op alle storingsoorzaken en alle leidingen (verder reguliere leidingen genoemd). De kansen zijn afgeleid op basis van meer dan 22 duizend storingsen (inclusief oorzaak door derden) bij zeven drinkwaterbedrijven met een gezamenlijke leidinglengte van 56 duizend kilometer in ongeveer 10 jaar. De gemiddelde faalkans is dus 5×10^{-5} per meter per jaar. Aangenomen mag worden dat leidingen in of nabij primaire waterkeringen een lagere storingsfrequentie hebben dan de hier gepresenteerde waarden. Hiervoor gelden waarschijnlijk de volgende oorzaken:

- In of nabij waterkeringen is sprake van een gecontroleerde omgeving, wat wil zeggen dat: de kans op schade door derden aanzienlijk lager is, dat de kans op extreme belastingen (zoals door omwaaiende bomen of zwaar verkeer) minder groot is en dat er zich relatief minder vaak ongewenste situaties voordoen (lokale belastingen door ongelijkmatige zettingen of kruisingen met onderheide objecten).
- Leidingen in of nabij waterkeringen zijn vanaf 1973 aangelegd volgens de Pijpleidingcode of de NEN-serie 3650, wat inhoudt dat er verzwaarde constructieve eisen aan zijn gesteld.
- Drinkwaterbedrijven voeren ruim 15 jaar een risicobeleid dat er op is gericht om de meest risicovolle leidingen in waterkeringen te vervangen of te onderwerpen aan een verzwaard beheerregime.

De omstandigheden wat betreft leidingmateriaal en ligging, zijn in primaire waterkeringen gunstiger dan voor leidingen in reguliere omstandigheden. Daarom zijn de waarden storingsfrequenties van Tabel 3.1

conservatieve schattingen en dus overschattingen van de daadwerkelijke storingsfrequenties van leidingen in waterkeringen.

Tabel 3.1 *Leiding faalkansen inclusief oorzaak door derden (per meter leiding per jaar) per leidingtype voor drinkwaterleidingen, (KWR, 2020). De schuingedrukte onderstreepte leidingfaalkansen in de tabel zijn gebaseerd op minder dan 10 storingen (deze resultaten kunnen met een betrouwbaarheidsinterval van 95% een factor 2 of meer afwijken, zie ISO 2394, 2015)*

Materiaal	Diameter ranges [mm]				
	40-89	90-124	125-200	201-400	401-700
AC	1.1E-04	9.0E-05	9.0E-05	4.0E-05	1.0E-05
Grijs Gietijzer	1.2E-04	8.0E-05	5.0E-05	2.0E-05	<u>1.0E-05</u>
Nodulair Gietijzer	<u>4.0E-05</u>	4.0E-06	1.0E-05	4.0E-06	<u>3.0E-06</u>
Staal*	2.4E-04	2.5E-04	1.7E-04	9.0E-05	<u>2.0E-06</u>
PE	1.0E-05	2.0E-05	2.0E-05	1.0E-05	<u>2.0E-06</u>
PVC	3.0E-05	2.0E-05	3.0E-05	2.0E-05	1.0E-05

* De storingsfrequentie van stalen leiding (<400 mm) is bepaald door oude stalen leiding uit de periode 1970/1980. Voor nieuwe stalen leidingen kan de faalkans geoptimaliseerd worden

In KWR (2020), Bijlage C, is een verdere uitsplitsing gemaakt naar periode van aanleg en storingen door derden of spontane storingen. In geval dat de frequenties uit Tabel 3.1 leiden tot afkeuring van leidingen, kunnen de meer specifieke storingsfrequenties uit dit rapport worden gehanteerd. Dit zal met name voor de jongere leidingen tot lagere storingsfrequenties leiden. Opgemerkt moet worden dat ook deze storingsfrequenties zijn gebaseerd op storingen in reguliere leidingen en dus een overschatting zijn.

Tabel 3.1 geeft in alle gevallen lagere storingsfrequenties dan de tabel uit de NPR 3659, met uitzondering van AC kleiner dan 200 mm. Een mogelijke verklaring kan zijn dat AC-buizen sinds de totstandkoming van de NPR-tabel aanzienlijke meer verouderd zijn dan leidingen van andere leidingmaterialen.

De berekende storingsfrequenties voor stalen leidingen kleiner dan 400 mm zijn relatief hoog en daarmee niet representatief voor stalen leidingen in waterkeringen. De verklaring van deze hoge frequenties is dat deze is veroorzaakt door de zogenaamde oude stalen leidingen die zijn toegepast in distributieleidingen tot 1980 en die zich voor een groot deel bevinden in het Limburgse heuvellandschap. Op deze oude stalen leidingen is geen kathodische bescherming aangebracht. Een uitgebreide vergelijking tussen de leidingfaalkansen van water-, gasdistributie- en gastransportleidingen kan gevonden worden in Bijlage F van het rapport dat voor de POV K&L over Filters is gemaakt (Deltares, 2020a).

3.1.3 Gevolgen van leidingfalen drinkwaterleidingen

Het grootste deel van de lekken in drinkwaterleidingen betreft een sluipend lek, dat in tegenstelling tot een gapend lek niet leidt tot een erosiekrater rondom het lek, maar wel tot verzadiging van het grondmateriaal rondom de leiding. Er geldt dat niet alle sluipende lekken worden opgemerkt (in ieder geval niet direct). In een inventarisatie van storingen (van reguliere leidingen) is waargenomen dat in ongeveer 90% van de gevallen er geen erosiekrater optreedt, zie KWR (2020), Bijlage C. In deze inventarisatie is ook gebleken dat het overgrote deel (80-90% van de storingen met kraters) een krateroppervlak heeft dat kleiner is dan 10 m². Er is niet onderzocht hoe de afmetingen van optredende erosiekraters zich verhouden tot de te berekenen kraterafmetingen volgens de NEN 3651. De algemene verwachting is dat de kraterafmetingen die worden berekend volgens NEN 3651 leiden tot aanzienlijke overschattingen.

3.2 Gasdistributieleidingen

De Nestor database met daarin storingsgegevens van gasdistributieleidingen in Nederland is geanalyseerd door Kiwa (Bijlage D).

3.2.1 Omschrijving Nestor database

Voor gasdistributieleidingen in Nederland heeft Kiwa gegevens van storingsfrequenties ontleent aan de Nestor database en de netlengte aan CODATA. Gasdistributieleidingen bevinden zich tussen een gasontvangststation en de gasmeter van de gebruiker. Een gasontvangststation ontvangt gas van het gastransportnet. Het gastransportnet wordt beheerd door Gasunie Transport Services, het gasdistributienet door zeven regionale netbeheerders. Het betreft lekfrequenties inclusief externe oorzaken op gewone veldstrekkingen en niet specifiek voor dijken.

3.2.2 Leidingfaalkansen gasdistributieleidingen

De uit de storingsfrequenties afgeleide faalkansen zijn opgenomen in de onderstaande tabel. De faalkansen zijn afgeleid op basis van 49 duizend storingsgevallen in 125 duizend kilometer leiding in 10 jaar (2009 tot en met 2018). De gemiddelde faalkans is dus (net als voor waterleidingen) 4×10^{-5} per meter per jaar. De faalkansen betreffen algemene kansen op lekken in gasdistributieleidingen. Aangenomen mag worden dat leidingen in of nabij waterkeringen een lagere storingsfrequentie hebben dan de hier gepresenteerde waarden. De belangrijkste reden hiervoor is dat sprake van een gecontroleerde omgeving, wat wil zeggen dat: extra eisen worden gesteld bij de aanleg van de leidingen, de kans op schade door derden aanzienlijk lager is, dat de kans op extreme belastingen (zoals door omwaaiende bomen of zwaar verkeer) minder groot is en dat er zich relatief minder vaak ongewenste situaties voordoen (lokale belastingen door ongelijke zettingen of kruisingen met onderheide objecten).

De gatgrootte bij lekkage met een onderscheid tussen gapende en sluipende lekken wordt in de storingsregistratie voor gasdistributieleidingen niet bijgehouden, maar gapende lekken zullen in de praktijk wel tot een verplichte zogenaamde incidentmelding leiden, omdat de veiligheid in het geding komt. Het is bekend dat niet vaak sprake is van gapende lekken. Ook is bekend dat gapende lekken vooral ontstaan door grondzakkingen of schade als gevolg van grondroeringen. Omdat kan worden aangenomen dat de kans op grondzakkingen en -roeringen in of nabij waterkeringen veel kleiner is (zoals hiervoor uitgelegd), mag worden aangenomen dat de kans op een gapend lek in of nabij een waterkering ook veel kleiner is. Bovendien worden gapende lekken in de praktijk zeer snel opgemerkt vanwege de sterke alarmerende gasgeur die in een groot gebied waargenomen wordt. Dat betekent dat de faalkans waarden in de onderstaande tabel 3.2 conservatieve schattingen zijn en dus overschattingen van de daadwerkelijke storingsfrequenties van leidingen in waterkeringen.

Tabel 3.2 Faalkansen (per meter leiding per jaar) per leidingtype voor gasdistributieleidingen, (Kiwa, 2020). De schuingedrukte onderstreepte leiding faalkansen in de tabel zijn gebaseerd op minder dan 10 storingen (deze resultaten kunnen met een betrouwbaarheidsinterval van 95% een factor 2 of meer afwijken, zie ISO 2394,2015)

Materiaal	Druk, P* (MPa)	Diameter ranges [mm]		
		0 – 124	125 -200	201 - 315
AC	P≤0.02	1.4E-04	1.6E-04	1.7E-04
Grijs Gietijzer	P≤0.02	1.8E-04	2.3E-04	3.0E-04
	0.02<P≤0.1	<u>5.9E-04</u>	2.4E-04	3.5E-04
Nodulair Gietijzer	P≤0.02	1.2E-04	1.8E-04	2.2E-04
	0.02<P≤0.1	2.6E-04	8.0E-05	2.1E-04
	0.1<P≤0.4	<u>5.0E-05</u>	3.0E-05	<u>2.0E-05</u>
	0.4<P≤0.8	2.0E-05	2.0E-05	<u>4.0E-05</u>
Staal	P≤0.02	1.1E-04	9.0E-05	1.7E-04
	0.02<P≤0.1	2.3E-04	6.0E-05	1.0E-04
	0.1<P≤0.4	3.0E-05	2.0E-05	2.0E-05
	0.4<P≤0.8	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05
PE	P≤0.02	2.0E-05	5.0E-05	1.1E-04
	0.02<P≤0.1	4.0E-05	3.0E-05	3.0E-05
	0.1<P≤0.4	3.0E-05	3.0E-05	<u>1.0E-05</u>
	0.4<P≤0.8	1.0E-05	1.0E-05	5.0E-05
PVC	P≤0.02	3.0E-05	3.0E-05	5.0E-05

* Betreft overdruk in de leiding zonder de atmosferische druk. 1 MPa = 10 bar

3.2.3 Gevolgen van leidingfalen gasdistributieleidingen

Volgens NEN 3651 kan bij leidingfalen van distributieleidingen een krater ontstaan Zonder beschikbare casuïstiek van de gevolgen behorende bij de storingen van de gasdistributieleidingen wordt in de NEN3651 aangenomen dat elke storing tot een erosiekrater leidt. Zonder kennis van de gatgrootte, wordt bovendien in de vergelijkingen de gatgrootte die tot de grootste krater leidt (binnendiameter van de leiding, ofwel een gapend lek) aangehouden.

Zoals eerder aangegeven, wordt de kratervorming zoals volgens NEN 3651 zou optreden, in de praktijk niet waargenomen bij falende gasdistributieleidingen, ook niet bij gapende lekken. Bij lagedrukleidingen (≤ 0.02 MPa) is de vorming van een krater praktisch niet mogelijk, omdat de gasdruk te laag is ten opzichte van de grondlast. Voor distributieleidingen met een druk >0.02 MPa kan een erosiekraterberekening volgens NEN 3651 Bijlage A (NEN,2012) worden gemaakt en kunnen de faalkansen uit Tabel 3.2 worden gehanteerd. Daarbij moet het resultaat als zeer conservatief worden beoordeeld, te meer omdat de faalfrequenties in Tabel 3.2 voor het merendeel kleine lekkages betreffen die geen bedreiging zullen vormen voor de waterkering.

Betreffende de erosiekraterberekeningen kunnen in eerste instantie de vereenvoudigde vergelijkingen van de NEN 3651 worden gebruikt en vervolgens de uitgebreide vergelijkingen zoals in de POV K&L rapportages is beschreven. Aangezien in de praktijk niet vaak kraters worden waargenomen, zijn de kraterafmetingen die worden berekend volgens NEN 3651 leiden zeer conservatief.

3.3 Gastransportleidingen

De EGIG database met gegevens van incidenten van gasleidingen in Europa is geanalyseerd door TNO (TNO,2020). Op basis van deze analyse zijn de tabellen in dit rapport afgeleid. De afleiding is opgenomen in Bijlage A van dit rapport.

3.3.1 Omschrijving EGIG database

De faalkansen in dit rapport (Tabel 3.3 en 3.4) betreffende aardgasgastransport leidingen zijn ontleend aan de faalfrequenties van EGIG (European Gas pipeline Incident data Group) voor aardgasgastransportleidingen. De faalkansen zijn in dit rapport zodanig gegroepeerd dat deze statistisch voldoende significant zijn. Kleine verschillen met EGIG zijn mogelijk bij optellingen van geringe faalkansen ingeval van restoorzaken. De toepassing van faalkansen uit dit rapport zijn uitsluitende bedoeld voor toepassing in faalkansanalyses voor kruisende of parallel gelegen gastransportleidingen met waterkeringen die onder NEN 3651 vallen.

3.3.2 Leidingfaalkansen gastransportleidingen

De uit de incidenten afgeleide leidingfaalkansen zijn opgenomen in de onderstaande tabel. De kansen zijn gebaseerd op de incidenten uit de periode 2007-2016, in totaal 208 gevallen. De afgeleide leidingfaalkansen kunnen gebruikt worden voor een eenvoudige analyse. Voor een gedetailleerde analyse kunnen de uitgesplitste leidingfaalkansen van Hoofdstuk 3.3.4 gebruikt worden.

Tabel 3.3 Leiding faalkansen per meter per jaar. De afleiding van deze tabel is opgenomen in Bijlage A van dit rapport

Diameter (mm)	<127 (5")*	127 (5") tot 432 (17")	≥432 (17")
Faalfrequentie	5.2E-7	1.8E-7	5.3E-8

* 1" (inch) = 25.4 mm.

3.3.3 Gevolgen van leidingfalen gastransportleidingen

Alhoewel er lekkages of scheuren met verschillende afmetingen kunnen ontstaan wordt bij de eenvoudige analyse van het ongunstigste geval uitgegaan. Zoals beschreven in NEN 3651 Bijlage A moeten dan de erosie krater, de explosiekrater en de verwekingszone worden berekend. Daarnaast kan afhankelijk van de materiaal eigenschappen van de leiding een instabiele langsscheur ontstaan. In de eenvoudige analyse kan uitgegaan worden van 5% kans op een instabiele langsscheur en 95% kans op een erosiekrater, explosiekrater en eventueel verweking. Een instabiele langsscheur kan veroorzaakt worden door graafwerkzaamheden, de bijdrage hiervan is iets minder dan 5% (Tabel 3.4). De grootte van de erosiekrater, (fysische) explosiekrater en verwekingszone kan berekend worden met de vergelijkingen uit de NEN 3651 Bijlage A (NEN,2012). Zonder kennis van de gatgrootte bij lekkage, wordt in de vergelijkingen voor de erosiekrater de gatgrootte gebruikt die tot de grootste krater leidt aangehouden. De lengte van een instabiele langsscheur kan worden berekend aan de hand van kerfslagwaarden die zijn bepaald met proeven op het leidingmateriaal (TNO 2021).

3.3.4 Uitgesplitste leidingfaalkansen gastransportleidingen

In een gedetailleerde faalkansanalyse kan gebruik worden gemaakt van de uitsplitsingen die zijn gemaakt in de EGIG database. Er is onderscheid gemaakt naar faaloorzaak en lekgrootte. Het voordeel van een gedetailleerde analyse is dat de gevolgen van falen berekend kunnen worden met kennis van de lekgrootte in de leiding en dat reductiefactoren toegepast kunnen worden op de deelfaalkansen. De uitsplitsing van de faalkans en de koppeling met de faaloorzaak en de hieraan gekoppelde lekgrootte is gegeven in Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Faalkansen voor stalen gastransportleidingen (per meter leiding per jaar) uitgesplitst naar oorzaak en lek grootte. De afleiding van deze tabel is gegeven in Bijlage A en B van dit rapport. De deelfaalkansen zijn zonder de Bevb reductiefactoren

	Oorzaak	Lekgrootte omschrijving	Oppervlakte lek (mm ²)	Faalfrequentie per leidingdiameter		
				<127 mm (<5")	127-432 (5"-17")	≥432 mm (>17")
Langsrichting	Graafwerkzaamheden	Scheurtje (pin hole)	<A _{BUIS} *	5.0E-08	1.7E-08	5.5E-09
		Gat (hole)	<A _{BUIS} *	5.9E-08	2.0E-08	6.5E-09
		Breuk (rupture)	2×A _{BUIS} ***	1.7E-08	5.8E-09	1.9E-09
	Corrosie	Scheurtje (pin hole)	<A _{BUIS} *	1.1E-07	3.5E-08	1.2E-08
		Gat (hole)	<A _{BUIS} *	2.1E-08	7.0E-09	2.3E-09
	Fout bij hot tap	Scheurtje (pin hole)	<A _{BUIS} *	1.3E-08	4.3E-09	1.4E-09
Gat (hole)		<A _{BUIS} *	4.2E-09	1.4E-09	4.7E-10	
Omtreksrichting	Defect, lasfout	Scheurtje (pin hole)	<A _{BUIS} *	6.7E-08	2.2E-08	7.5E-09
		Vervorming gestuurde scheur (hole)	<A _{BUIS} *	4.2E-09	1.4E-09	4.7E-10
		Belasting gestuurde scheur (rupture)	2×A _{BUIS} **	6.6E-09	2.2E-09	7.3E-10
	Grondverzakking, zetting	Scheurtje (pin hole)	<A _{BUIS} *	2.0E-08	6.5E-09	2.2E-09
		Vervorming gestuurde scheur (hole)	<A _{BUIS} *	2.4E-08	7.9E-09	2.6E-09
		Belasting gestuurde scheur (rupture)	2×A _{BUIS} **	2.0E-08	6.5E-09	2.2E-09
Totaal¹				4.1E-07	1.4E-07	4.6E-08

* nader te bepalen. ** Guillotine breuk ***instabiele langscheur met aan uiteinde guillotine breuk. † In deze totalen zijn de 'unknowns' niet opgenomen en deze komen dus niet exact overeen met Tabel 3.3. Zie voor de brondata Tabel A.1.

Indien er voldoende kennis is over een gastransportleiding kunnen de leiding deelfaalkansen vermenigvuldigd worden met correctie-/reductiefactoren. De reductiefactoren kunnen ontleend worden aan de Handleiding Risicoberekeningen Bevb (RIVM, 2021). De Bevb reductiefactoren kunnen toegepast worden indien locatie- of leiding-specifieke risico mitigerende maatregelen bekend zijn. Deze reductiefactoren kunnen toegepast worden op de per oorzaak uitgesplitste deelfaalkansen. De reductiefactoren en voorwaarden voor toepassing zijn te vinden in de Handleiding Risicoberekeningen Bevb (RIVM, 2021).

4 Gebruik van de leidingfaalkansen

4.1 Algemeen

In Tabel 3.1, Tabel 3.2 en Tabel 3.3 zijn de leidingfaalkansen per type leiding opgenomen. Het betreffen leidingfaalkansen (feitelijk frequenties) per meter per jaar. Deze leidingfaalkansen dienen vervolgens met de aanwezige leidinglengte te worden vermenigvuldigd (Hoofdstuk 2.3). In het geval van gastransportleidingen kan er een uitsplitsing in deelfaalkansen naar oorzaak van leidingfalen en lekgrrootte worden gemaakt (Tabel 3.4). Op de uitgesplitste faalkansen kunnen de reductiefactoren uit de Bevb (RIVM,2020) worden toegepast.

4.2 Toepassingsvoorwaarden

De leidingfaalkansen kunnen toegepast worden voor parallelle en kruisende leidingen in primaire waterkeringen. Voor deze waterkeringen (beschermde ligging, geen omwaaiende bomen) kunnen zoals eerder beschreven indien nodig de faalfrequenties worden geoptimaliseerd worden, zie aanbevelingen (Hoofdstuk 5).

De leidingfaalkansen kunnen vanzelfsprekend niet worden toegepast voor een leiding met gebreken of een leiding die wordt onderworpen aan een te grote belasting. Er is immers aangenomen dat de casuïstiek (USTORE, Nestor en EGIG) representatief is voor de betreffende leiding. Om er bij gebruik van een leiding faalkans zeker van te zijn dat de leidingfaalkans die wordt gebruikt van toepassing is op de desbetreffende leiding, moet worden aangetoond dat de leiding volgens de gangbare procedure (water, gasdistributie en gastransport) is aangelegd en dat de staat van de leiding goed is (geen beschadigingen en afname van de wanddikte of degeneratie van het leiding materiaal) en dat de leiding niet wordt onderworpen aan een te grote belasting (geen te hoge werkdruk en geen zettingssprongen of te hoge gronddrukken).

4.3 Voorbeeld

In de binnenkruin van een dijk ligt een parallelle waterleiding van PE met een diameter van 160 mm. De diameter van de leiding valt in de categorie 125-200 mm, uit Tabel 3.1 volgt een leidingfaalkans van 2E-5 per meter per jaar. Voor parallelle leidingen wordt gerekend met een leidingsegment lengte van 50 meter. De faalkans van de 50m lange leiding is dan dus 1E-3 per jaar. Voor de modellering van de sterktereductie door leidingfalen en inschatting van de vervolgcansen wordt onderscheid gemaakt tussen een sluipend en een gapend lek. In Paragraaf 0 staat dat 10% een gapend lek betreft en 90% een sluipend lek is. De kans op een sluipend lek is dus 9E-4 per jaar en de kans op een gapend lek 1E-4 per jaar. Deze waarden kunnen worden gebruikt bij de beoordeling van de leiding in de waterkering.

Het gevolg van een sluipend lek is verhoging van de waterspanningen, dit heeft een negatief effect op de stabiliteit van de waterkering. Het effect kan berekend worden met de modellen voor macro-instabiliteit. Het gevolg van een gapend lek is een krater in de dijk. De krater kan berekend worden met de vergelijkingen uit de NEN 3651 (NEN,2020). Een krater in de kruin van de dijk heeft een negatief effect op de erosiebestendigheid van de dijk en kan bij grote kraterafmetingen leiden tot kruinverlaging. Concreet wordt dan het kritiek overslagdebiet (het overslagdebiet waarbij de dijk faalt) naar beneden bijgesteld ten opzichte van een intacte dijk. Op basis van hydraulische modellen kan de vervolgcans op falen worden gekwantificeerd (met Hydra-NL of Riskeer bijvoorbeeld). Tot slot kan de kans op hoogwater vóór herstel worden bepaald door een inschatting te maken van de ontdek- en hersteltijd. De kansen kunnen ingevuld worden in het veiligheidsraamwerk (Hoofdstuk 2.1) om tot de overstromingskans door leidingfalen te komen. De overstromingskans door leidingfalen kan vervolgens worden vergeleken met de faalkanseis (Hoofdstuk 2.3).

Voorbeelden uit de praktijk kunnen worden gevonden op de website van POV k&L (<https://povkabelsenleidingen.nl/>).

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Sinds 2017 is wettelijk voorgeschreven dat waterkeringen moeten worden beoordeeld op basis van een maximaal toelaatbare overstromingskans. De bijdrage van de in of nabij de waterkering aanwezige leidingen moet hierin worden meegenomen. Om de beoordeling goed uit te kunnen voeren zijn naast waterkering faalkansen ook leidingfaalkansen benodigd. In dit rapport zijn voor integrale faalkansanalyses van leidingen in dijken de faalkansen van waterleidingen, gasdistributieleidingen en gastransportleidingen opgenomen. Deze zijn afgeleid met behulp van casuïstiek op basis van de USTORE (storingen van waterleidingen in Nederland), Nestor (storingen van gasdistributieleidingen in Nederland) en EGIG (incidenten van gastransportleidingen in Europa) databases.

De faalkansen van de leidingen kunnen gebruikt worden in de integrale faalkansanalyses van leidingen in en nabij dijken ten behoeve van beoordelingen van waterkeringen. De in tabellen in dit rapport gepresenteerde storingsfrequenties (faalfrequenties) zijn gebaseerd op reguliere leidingen en zijn dus overschattingen van storingsfrequenties van leidingen in of nabij waterkeringen. De leidingfaalkansen in dit rapport zijn hierdoor conservatief. Dit betekent dat in bepaalde gevallen als dat nodig of gewenst is een meer gedetailleerde analyse van een specifieke leidingfaalkans kan worden uitgevoerd.

Bij een meer gedetailleerde beschouwing van een leiding bij een waterkering kan met de Bevb reductiefactoren de leidingfaalkans geoptimaliseerd worden. Hiervoor is echter een betrouwbare uitsplitsing naar faaloorzaken van de leiding benodigd. Voor de gastransportleidingen is deze uitsplitsing beschikbaar en opgenomen in dit rapport.

Door het beschikbaar komen van de voorliggende rapportage met de leidingfaalkansen kunnen leidingen in en nabij waterkeringen beter in de beoordeling van de waterkering worden meegenomen. Hierdoor kunnen op korte termijn bij veel dijkversterkingsprojecten beslissingen worden genomen en kunnen kosten worden bespaard.

5.2 .Aanbevelingen

Zoals aangegeven zijn de momenteel beschikbare leidingfaalkansen conservatief en zijn de leidingfaalkansen in en nabij waterkeringen zeer waarschijnlijk lager. Aanbeveling is om een afleiding te maken van de leidingfaalkans op basis van alleen de storingen/incidenten van leidingen in dijken en deze leidingfaalkans te vergelijken met de leidingfaalkansen uit dit rapport. Door de orde van grootte van de leidingfaalkansen in vergelijking met de aanwezige leidinglengte in dijken is het niet de verwachting dat in een dergelijke studie een uitsplitsing van de leidingfaalkans naar leidingtype, druk en diameter gemaakt kan worden. Wel kan inzicht verkregen worden in de grootte van eventuele reductiefactoren voor een 'ongestoorde' ligging in een dijk. Daarnaast zou een incidentenregistratie opgezet kunnen worden voor leidingen in waterkeringen, als basis voor kennisuitwisseling tussen waterschappen en drinkwaterbedrijven.

Het is aan te bevelen om ook bij de gasdistributie leidingen een onderscheid tussen kleine en grotere lekkages te maken, zodat een faalkans per groot of klein lek beschikbaar komt. Voor waterleidingen is deze onderverdeling al beschikbaar.

De gevolgen van leidingfalen maken niet direct deel uit van dit rapport maar zijn van belang bij het beoordelen van de waterkering. De rekenregels voor de berekening van de gevolgen van leidingfalen in de vorm van kraters zijn zeer conservatief. Voor gasdistributieleidingen zijn er duidelijke aanwijzingen dat niet alle storingen tot een erosiekrater leiden, maar ontbreekt de onderbouw. Ook bij waterleidingen wordt geconstateerd dat de berekende kraterdimensies vaak veel groter zijn dan wordt geconstateerd bij leidingbreuk. Het is aan te bevelen om op korte termijn rekenregels voor een meer realistische voorspelling van de kraterdimensies op te stellen.

Referenties

Deltares, 2018. WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen Generieke uitgangspunten als vertrekpunt voor nadere uitwerking in (pilot) projecten. 11202225-005, mei 2018.

Deltares, 2020a. Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen. POV Kabels en Leidingen. 11205513-002-GEO-0004, oktober 2020.

Deltares, 2020b. Faalkansanalyse dijkontwerp Wolferen-Sprok met kruisende gasleiding A-505. 11203959-000-GEO-0001, 29 oktober 2020, definitief.

ISO 2394:2015 General principles on reliability for structures, Nederlandse Norm (NEN), maart 2015

KWR Water Research Institute (KWR), 2020. Storingsfrequenties drinkwaterleidingen. Analyse voor het POV-K&L project 'Filters in parallel gelegen leidingen'. KWR 2020.090. 23 november 2020.

Kiwa, 2020. Lekfrequenties van gasdistributieleidingen. Analyse voor het POV-K&L project 'Filters in parallel gelegen leidingen'. GT-2000187. 23 november 2020.

Nederlandse Norm (NEN), 2020. Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken. NEN 3651:2020

Normcommissie 310 004 "Transportleidingen", 2006. Praktijkrichtlijn Ondergrondse pijpleidingen. Grondslagen voor de sterkteberekening. NPR 3659:1996/A1:2006.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), 2021. Handleiding Risicoberekeningen Bevb. Versie 3.2, 1 januari 2021.

TNO, 2003. Herziening rekenfactoren en spanningscorrectiefactoren in NEN 3650. TNO rapport. Referentie: 2003-CI-R0031. 13 maart 2003.

TNO, 2020. Faalkans leiding t.b.v. Referentieproject Wolferen-Sprok voor POV Kabels en Leidingen. TNO 2020 R10945. 17 juni 2020.

TNO, 2021. Faalkansanalyse leidingen WoS 48" A524 & A533. TNO 2021 R11227. 22 juni 2021.

Bijlage A Afleiding tabellen gastransportleidingen

In deze bijlage is de afleiding van de tabellen met faalkansen uit Hoofdstuk 3.3 opgenomen. De afleiding is uitgevoerd op basis van (TNO,2020). Tabellen A.1 en A.2 volgen uit (TNO, 2020), dit zijn respectievelijk Tabel 4-3 en Tabel 4-5. De totalen zijn toegevoegd ten opzichte van de gerapporteerde tabellen (TNO,2020).

Tabel A.1 Faalkans (per 1000 km leiding per jaar) per oorzaak en lekgruote EGIG (2007-2016), naar Tabel 4-3 (TNO,2020). De totalen zijn toegevoegd ten opzichte van (TNO,2020)

Lekgruote	Oorzaak						Totaal	
	External interference	Corrosion	Mechanical defects	Hot tap by error	Ground movement	Other and unknown		
Rupture	0.0058	0.0000	0.0022	0.0000	0.0065	0.0007	0.0152	10%
Hole	0.0195	0.0007	0.0014	0.0014	0.0079	0.0014	0.0323	22%
Pinhole/crack	0.0166	0.0353	0.0224	0.0043	0.0065	0.0123	0.0974	65%
Unknown	0.0007	0.0014	0.0007	0.0000	0.0014	0.0007	0.0049	3%
Total	0.0426	0.0374	0.0267	0.0057	0.0223	0.0151	0.1498	
	28%	25%	18%	4%	15%	10%		

Tabel A.2 Faalkans per 1000 km per jaar per leidingdiameter en faalmanieren EGIG (2007-2016), naar Tabel 4-5 (TNO,2020)

Diameter (inch)		Systeem [◇] (10 ⁶ km j)	Faalkans per 1000 km per jaar				
van	tot		Unknown	Pinhole / Crack	Hole	Rupture	Totaal
	5"	0.141	0.014	0.376	0.071	0.057	0.518
5"	11"	0.336	0.006	0.134	0.060	0.018	0.218
11"	17"	0.224	0.009	0.054	0.040	0.013	0.116
17"	23"	0.150	0.007	0.053	0.020	0	0.080
23"	29"	0.144	0	0.084	0.021	0.021	0.126
29"	35"	0.090	0	0.022	0	0.011	0.033
35"	41"	0.147	0	0.007	0	0	0.007
41"	47"	0.058	0	0.017	0	0	0.017
47"		0.096	0	0.010	0	0	0.010
Total		1.386	0.005	0.098	0.033	0.015	0.150

[◇] Voor de faalkans is het aantal faalgevallen gedeeld door het aantal jaar (j) en de systeemplengte (m) waaruit de faalgevallen afkomstig zijn

Er is in dit rapport onderscheid gemaakt tussen drie diameter categorieën: <5", 5" tot 17" en >17". Daarnaast is de faalfrequentie uitgedrukt in *per meter leiding per jaar* in plaats van *per 1000 km leiding per jaar*. Bij samenvoegen van verschillende leidingdiameters is rekening gehouden met de systeemplengte. De

rood gemarkeerde $1E-7$ (1×10^{-7}) in Tabel A.3 is als volgt berekend uit de rood gemarkeerde getallen uit Tabel A.2:

$$(0.134 \cdot 0.336 + 0.054 \cdot 0.224)(0.336 + 0.224) = 0.1 / (1000 \text{ km} \cdot j) = 1 \cdot 10^{-7} / (\text{m} \cdot j)$$

De groen gemarkeerde getallen zijn de faalkansen die zijn opgenomen in Tabel 3.3 in het hoofdrapport.

Tabel A.3 Faalkans (per meter leiding per jaar) per leidingdiameter en lekgruote EGIG (2007-2016). De schuingedrukte onderstreepte leidingfaalkansen in de tabel zijn gebaseerd op minder dan 10 incidenten (deze resultaten kunnen met een betrouwbaarheidsinterval van 95% een factor 2 of meer afwijken)

Diameter (mm)		Systeem [◇] (10 ⁹ m j)	Faalfrequentie per meter per jaar				
van	tot		Unknown	Pinhole / Crack	Hole	Rupture	Total
	(5")	0.141	<u>1.4E-8</u>	3.8E-7	7.1E-7	<u>5.7E-8</u>	5.2E-7
(5")	(17")	0.560	<u>7.2E-9</u>	1.0E-7	5.2E-8	<u>1.6E-8</u>	1.8E-7
(17")		0.224	<u>1.5E-9</u>	3.6E-8	<u>8.8E-9</u>	<u>5.9E-9</u>	5.3E-8
Totaal		1.386	5.0E-9	9.8E-8	3.3E-8	1.5E-8	1.5E-7
			3%	65%	22%	10%	100%

◇ Voor de faalkans is het aantal faalgevallen gedeeld door het aantal jaar (j) en de systeemplengte (m) waaruit de faalgevallen afkomstig zijn

De faalfrequentie van gastransportleidingen is dus 1.5×10^{-7} . Voor leidingen groter dan 17 inch is de faalfrequentie een factor 3 kleiner ($5.3 \cdot 10^{-8} / 1.5 \cdot 10^{-7} \approx \frac{1}{3}$). Voor leidingen kleiner dan 5 inch is de faalfrequentie een factor 3 groter ($5.2 \cdot 10^{-7} / 1.5 \cdot 10^{-7} \approx 3$). Voor leidingen tussen de 5 en de 17 inch is de faalfrequentie grofweg gelijk ($1.8 \cdot 10^{-7} / 1.5 \cdot 10^{-7} \approx 1$).

De faalkansen uit Tabel A.1 zijn met deze factor 3, 1 en 0.33 vermenigvuldigd voor de verschillende diameterklassen en opgenomen in Tabel 3.4, overeenkomstig Tabel 4-7 uit (TNO,2020). Tabel 4-7 uit (TNO,2020) beperkt zich tot de groter leidingen >17 inch en heeft daardoor andere waarden.

Bijlage B Lekgroottes gastransportleidingen

Deze bijlage is gebaseerd op TNO (2021), Hoofdstuk 4.3.3 en Bijlage A.

In EGIG worden de lekgroottes/-types geïnclassificeerd als 'rupture' (instabiele breuk), 'hole' of 'pinhole/crack' (stabiele breuk). In de casuïstiek is een uitsplitsing gemaakt tussen de verschillende lektypes die de dimensies van de lekopening bepalen. De lekopening is gerelateerd aan de faaloorzaak en de leidingeigenschappen.

Rupture

'Rupture' is de instabiele scheur. Als de scheur in de omtreksrichting plaatsvindt dan spreken we van een guillotine breuk (onderstaande afbeelding). De afmetingen van het gat zijn simpelweg twee maal de doorsnede van de buis ($2 \cdot A_{BUIS}$).



Figure B.1 Guillotinebreuk

Als de scheur in de langsrichting plaatsvindt, dan zijn de afmetingen van het gat ook $2 \cdot A_{BUIS}$. De afstand tussen de twee openingen is afhankelijk van hoe lang de buis doorscheurt. Zie de onderstaande afbeelding. De lengte van de scheur is afhankelijk van het fractie van de buizen met een zodanige breuktaaiheid dat aan de scheurstoppeisen voldoet.

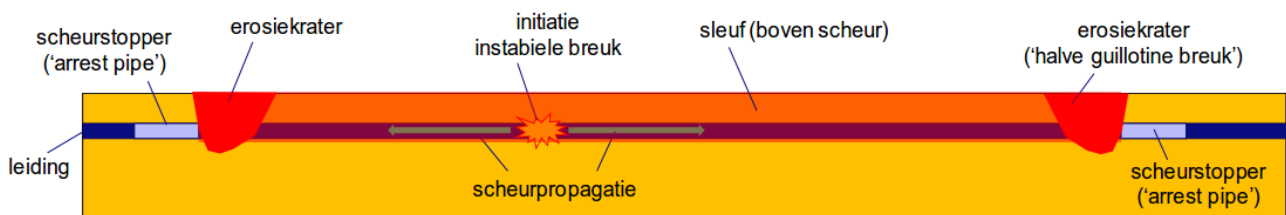


Figure B.2 Schematische weergave langsscheur inclusief erosiekraters aan de uiteinden

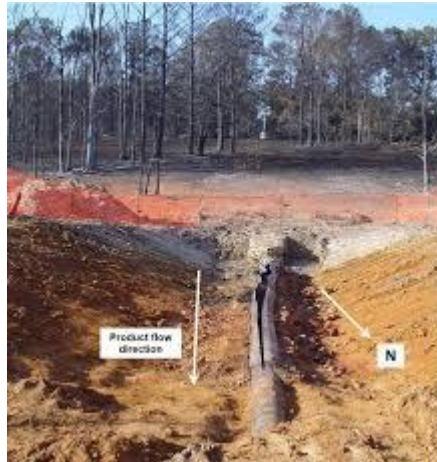


Figure B.3 Instabiele langsscheur

Hole

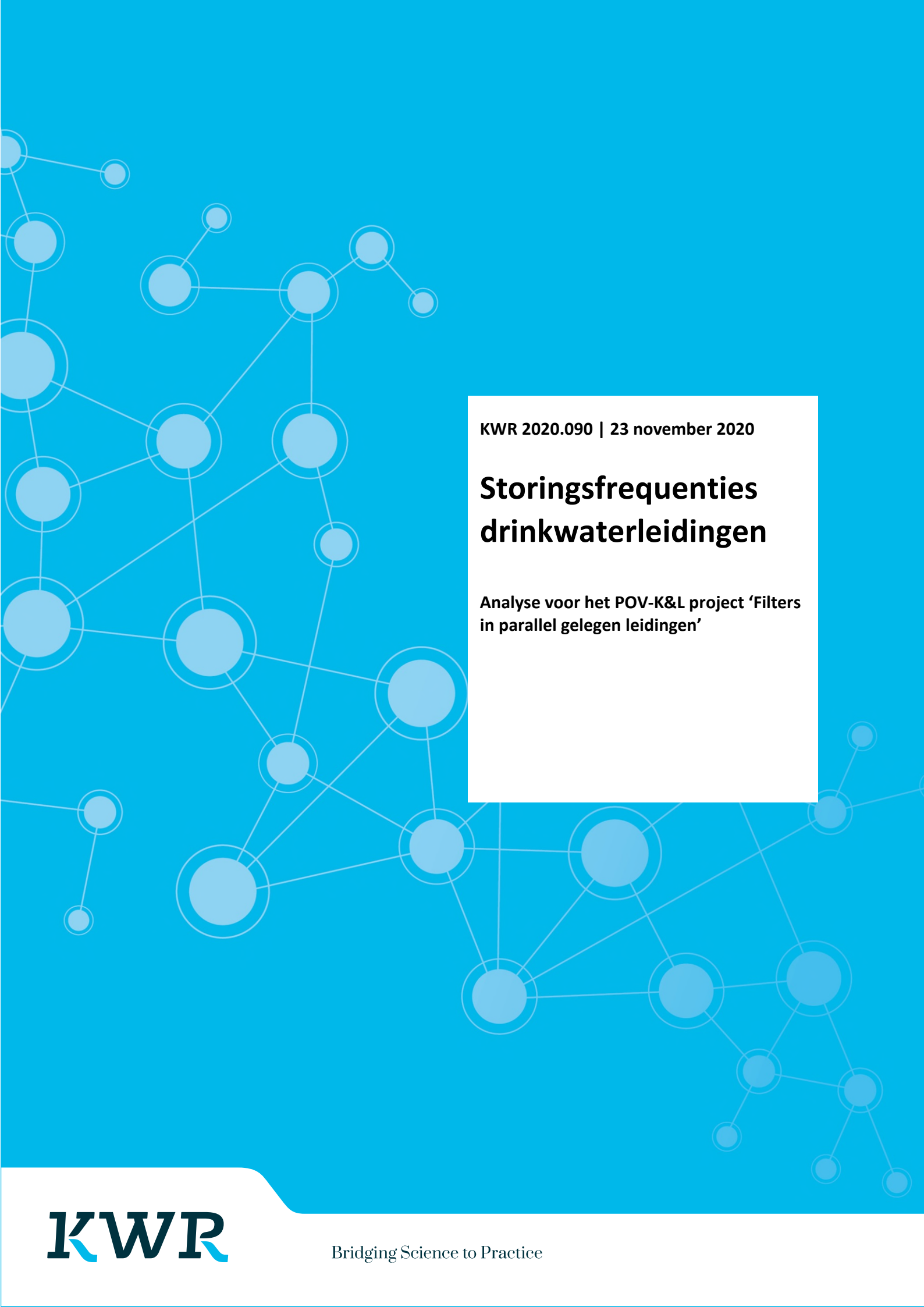
Voor het gat ('hole') in de omtreksrichting is het maximale oppervlak van de lekopening kleiner dan de diameter van de buis (A_{BUIS}). De te verwachten lekopening is afhankelijk van de leidingeigenschappen.

Pinhole

Voor de beplating van de afmetingen van gaatjes en scheurtjes in de buis dient ook een nadere analyse plaats te vinden. Het oppervlak van een pinhole is kleiner dan A_{BUIS} .



Bijlage C Analyse USTORE-database

A network diagram consisting of various sized light blue circles connected by thin white lines, set against a solid blue background. The circles vary in size and are scattered across the page, with some larger circles acting as hubs.

KWR 2020.090 | 23 november 2020

Storingsfrequenties drinkwaterleidingen

Analyse voor het POV-K&L project 'Filters
in parallel gelegen leidingen'

Storingsfrequenties drinkwaterleidingen

Analyse voor het POV-K&L project 'Filters in parallel gelegen leidingen'

KWR 2020.090 | 23 november 2020

Opdrachtnummer

403261

Projectmanager

ir. A. (Andreas) Moerman

Opdrachtgever

Deltares

Auteur(s)

ir. R.H.S. (Ralph) Beuken

Kwaliteitsborger(s)

dr.ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker

Verzonden naar

dr. H.M.G. (Henk) Kruse (Deltares)

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het adviesproject. KWR zal zich onthouden van verspreiding van dit rapport en het rapport derhalve niet verstrekken aan derden, tenzij partijen anders overeenkomen. Opdrachtgever is gerechtigd het rapport te verspreiden mits KWR daarvoor vooraf toestemming heeft verleend. Aan de toestemming voor de verspreiding van (onderdelen van) het rapport kan KWR voorwaarden verbinden.

Werkwijzen, rekenmodellen, technieken, ontwerpen van proefinstallaties, prototypen en door KWR gedane voorstellen en ideeën alsmede instrumenten, waaronder software, die in het onderzoeksresultaat zijn opgenomen, zijn en blijven het eigendom van KWR. Ook alle rechten die voortvloeien uit intellectuele- en industriële eigendom, alsmede de auteursrechten, blijven bij KWR berusten en derhalve eigendom van KWR.

Keywords

drinkwaterleidingen, waterkeringen, storingsregistratie, storingsfrequentie

Jaar van publicatie
2020

Meer informatie
Ir, Ralph Beuken
T +31306069649
E ralph.beuken@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

November 2020 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Samenvatting

In opdracht van Deltares heeft KWR Water Research Institute de kansen op storingen in drinkwaterleidingen bepaald ten behoeve van het POV K&L project 'Afronding Handelingsperspectief veiligheidsrisico K&L'.

Met behulp van USTORE, de vrijwillige storingsregistratie van Nederlandse drinkwaterbedrijven, waarbij gegevens zijn gebruikt van acht bedrijven, is voor dit project een schatting gemaakt van de storingsfrequenties van de zes belangrijkste leidingmaterialen, te weten: asbestcement, grijs gietijzer, nodulair gietijzer, staal, polyetheen en polyvinylchloride. Het totaal aantal storingen dat is betrokken in deze analyse betreft 22.352. De gemiddelde storingsfrequentie voor alle zes hier beschouwde drinkwaterleidingen bedraagt 0,05 storingen per km per jaar. Dit aantal betreft alle storingen. De storingsfrequentie exclusief oorzaak derden bedraagt 0,04 storingen per km per jaar. De storingsfrequentie kent aanzienlijke verschillen per leidingmateriaal, diameter en periode van aanleg.

Inhoud

Samenvatting	2
Inhoud3	
1 Inleiding	4
1.1 Aanleiding van dit rapport	4
1.2 Doelstelling en resultaat	4
1.3 Aanpak en leeswijzer	4
2 Registraties van leidingstoringen	6
2.1 Ontstaan van de storingsregistratie	6
2.2 Gehanteerde definities	7
2.3 Kanttekeningen bij het interpreteren van faalkansen	8
3 Indeling van storingen	10
3.1 Inleiding	10
3.2 Generieke indeling storingen, Niveau 1	10
3.3 Specifieke indeling storingen, Niveau 2	10
3.4 Categorisering oorzaak storingen	11
4 Berekende storingsfrequenties	12
4.1 Inleiding	12
4.2 Storingsfrequenties Niveau 1	12
4.3 Storingsfrequenties Niveau 2	15
4.3.1 Storingsfrequentie AC	15
4.3.2 Storingsfrequentie GGJ	16
4.3.3 Storingsfrequentie NGJ	17
4.3.4 Storingsfrequentie Staal	18
4.3.5 Storingsfrequentie PE	19
4.3.6 Storingsfrequentie PVC	20
4.4 Overige informatie over drinkwaterleidingen	22
5 Analyse van kratergrootte	23
6 Conclusies en aanbevelingen	26
7 Referenties	27
I Overzicht lengte drinkwaterleidingen	28
II Aantal geregistreerde storingen in USTORE	29

1 Inleiding

1.1 Aanleiding van dit rapport

De Project Overstijgende Verkenning Kabels en Leidingen (POV K&L) is een project dat wordt uitgevoerd met subsidie vanuit het Hoogwaterbeschermingsprogramma met als primair doel om het 'gedoe' met kabels en leidingen in dijkversterkingsprojecten op te lossen. In de POV K&L wordt onder andere een instrumentarium ontwikkeld voor het uitvoeren van een integrale faalkansanalyse voor waterkeringen met daarin niet-waterkerende objecten, waaronder drinkwaterleidingen. Dit instrumentarium betreft het Veiligheidsraamwerk Kabels & Leidingen (K&L), een eerste opzet is in 2018 ontwikkeld door Deltares. In de POV K&L wordt het Veiligheidsraamwerk verder ontwikkeld door toepassing in dijkversterkingsprojecten in de praktijk en hierdoor leerervaringen op te doen. Er wordt een aanpak gehanteerd van grof naar fijn, waarbij in eerste instantie zo veel mogelijk gebruik gemaakt wordt van een generieke benadering. Wanneer deze benadering leidt tot een beoordeling als een niet-toelaatbare situatie, wordt overgegaan naar een meer gedetailleerde berekening. Op deze wijze wordt een effectieve en efficiënte werkwijze verkregen om een groot aantal situaties te kunnen beoordelen. Een belangrijk onderdeel van dit instrumentarium betreffen de zogenaamde filters. Doel van de filters is om op eenvoudige wijze aan te tonen dat bepaalde combinaties van waterkeringen en leidingen evident veilig zijn, waardoor het uitvoeren van een meer gedetailleerde berekening niet nodig is. Deze filters worden gebaseerd op de resultaten van (integrale) faalkansanalyses waarin leidingfalen en dijkfalen tezamen worden beschouwd.

Om te komen tot filters voor drinkwaterleidingen in waterkeringen heeft Deltares aan KWR Water Research Institute gevraagd informatie aan te leveren over storingsfrequenties van drinkwaterleidingen op basis van de USTORE-registratie. De USTORE-registratie betreft een database met informatie over leidingbreuken en bijbehorende leidingen gebaseerd op data van 8 Nederlandse drinkwaterbedrijven en een registratieperiode vanaf 2009. Naast voorliggende analyse van de faalkansen van drinkwaterleidingen, voert Kiwa een vergelijkbare analyse uit naar faalkansen van lagedrukgasleidingen.

1.2 Doelstelling en resultaat

KWR stelt tabellen op van opgetreden storingsfrequenties van drinkwaterleidingen, gebaseerd op USTORE registraties zoals die door KWR in samenwerking met deelnemende drinkwaterbedrijven zijn verzameld. Door KWR zal een nadere duiding worden gegeven van de herkomst, betekenis en nauwkeurigheid van de gegevens van de tabellen.

1.3 Aanpak en leeswijzer

In samenspraak met het projectteam en Kiwa is een selectie gemaakt van leidingkarakteristieken als basis voor de op te stellen faalkansen en is aangegeven welke indelingen zijn gehanteerd voor het presenteren hiervan, zie hiervoor hoofdstuk 3. Omdat een juiste duiding van de gegevens belangrijk is, is in hoofdstuk 2 een beschrijving gegeven van de belangrijkste achtergronden van de storingsregistratie van drinkwaterleidingen en wordt het door de drinkwaterbedrijven gehanteerde begrip storingsfrequentie nader toegelicht en gerelateerd aan het in POV-verband gehanteerde begrip faalkans.

Het belangrijkste resultaat van dit rapport zijn tabellen van de belangrijkste leidingmaterialen, zijnde asbestcement (AC), grijs gietijzer (GGIJ), staal, PVC en PE, uitgesplitst naar diameterklassen en leeftijdsklassen. Deze worden weergegeven en nader toegelicht in hoofdstuk 4. Door één drinkwaterbedrijf zijn storingsregistraties uitgevoerd

waarbij ook is aangegeven of erosiekraters optraden en wat hiervan de afmeting was, zie hiervoor hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 zijn conclusies en aanbevelingen weergegeven.

2 Registraties van leidingstoringen

2.1 Ontstaan van de storingsregistratie

In 2009 zijn de vijf drinkwaterbedrijven Waterbedrijf Groningen, WMD, PWN, Dunea en WML gestart met het uniform en centraal registreren van storingen op drinkwaterleidingen. In de jaren daarna zijn Brabant Water, Waternet en Oasen gaan deelnemen aan USTORE. Op het moment van schrijven van dit rapport vinden er activiteiten plaats om ook de gegevens van Vitens over te zetten naar USTORE. De drinkwaterbedrijven nemen op vrijwillige basis deel aan USTORE met als doel om kennis op te bouwen over het falen van leidingen. In tegenstelling tot gasleidingen (zie rapportage Kiwa) is er geen verplichting tot deelname aan de centrale storingsregistratie.

In 2010 is de internetapplicatie USTOREweb in gebruik genomen waarmee drinkwaterbedrijven hun storingen volgens een voorgeschreven format kunnen uploaden. De gegevens zijn ondergebracht bij een professionele ICT-dienstverlener, waarbij voldaan wordt aan de huidige eisen van dataveiligheid. Voor het uitvoeren van analyses worden ook leidinggegevens geüpload. USTOREweb wordt beheerd door KWR. Drinkwaterbedrijven hebben beschikking tot de gegevens en kunnen zelf analyses uitvoeren met USTOREweb. De storings- en leidingnetgegevens verzameld in USTORE worden gebruikt voor het verkrijgen van:

- inzicht in het faalgedrag van individuele leidingen om daarmee saneringsbeslissingen te onderbouwen;
- kennis over de toestand en degradatie van groepen leidingmaterialen.

In 2009 is gestart met een afsprakenkader dat pragmatisch tot stand was gekomen en dat zich voornamelijk richtte op de te registreren items en de wijze van gegevensuitwisseling. Omdat drinkwaterbedrijven strategische en vitale informatie delen over storingen en leidingen en ook hun saneringsbeslissingen van leidingen deels baseren op collectief onderzoek en gegevens van collega-bedrijven, ontstond de behoefte aan een meer formeel afsprakenkader. Dit heeft geleid tot de Praktijkcode Drinkwater (PCD) voor het beheer van storingsregistratie van leidingnetten [1] die in 2017 is verschenen. Integraal onderdeel van deze PCD zijn overeenkomsten die zijn getekend tussen de deelnemende drinkwaterbedrijven en KWR en waarin onderlinge afspraken, rechten en plichten zijn vastgelegd. In deze PCD en bijbehorende overeenkomsten is onder andere vastgelegd:

- definities en systeemgrenzen met betrekking tot storingen aan leidingen;
- het uniform informatiemodel met beschrijvingen van parameters voor het vastleggen voor het vastleggen van informatie over storingen en leidingen;
- rollen en verantwoordelijkheden van drinkwaterbedrijven, KWR en de ICT-dienstverlener;
- de wijze van organiseren en communiceren met drinkwaterbedrijven;
- beveiligingsafspraken met oog op de data;
- procedures voor het afhandelen van interne problemen;
- delen van data met derden;
- afspraken over procesbeschrijvingen, evaluatie en kwaliteitsverbetering.

Onderdeel van de invoering van de praktijkcode is een aangepast informatiemodel waarbij enerzijds verbeterde en vereenvoudigde registraties mogelijk zijn en anderzijds analyses mogelijk zijn voor individuele leidingen. Voor het uitvoeren van analyses van individuele leidingen loopt een proces waar drinkwaterbedrijven leidinginformatie aanleveren op basis van individuele leidingen voorzien van XY-coördinaten. Hiermee is het mogelijk om GIS-analyses te maken voor leidingstoringen. Ten tijde van het schrijven van dit rapport is dit proces in de afrondende fase.

De Begeleidingsgroep USTORE is opgericht om de communicatie en afstemming tussen KWR en de drinkwaterbedrijven inzake USTORE te faciliteren en de kwaliteit te bewaken van USTORE en bijbehorende processen. De afspraak is dat drinkwaterbedrijven die deelnemen aan USTORE in alle gevallen eigenaar blijven van de gegevens die in USTORE zijn opgeslagen. Voor het publiceren van uitkomsten van analyses met USTORE-gegevens vraagt de publicerende partij (in dit geval KWR) via de Begeleidingsgroep USTORE goedkeuring aan de drinkwaterbedrijven waarvan USTORE gegevens gebruikt zijn. Tenzij anders overeengekomen met de drinkwaterbedrijven waarvan gegevens gebruikt zijn, worden bij het vermelden van resultaten van analyses geen bedrijfsnamen weergegeven. Voor het gebruik van gegevens voor dit project is goedkeuring gegeven door de Begeleidingsgroep USTORE van 8 juli 2020.

2.2 Gehanteerde definities

Voor USTORE hanteren de drinkwaterbedrijven een uniforme set aan definities en werkprocessen. Voor een juiste interpretatie van dit rapport, zijn de volgende definities en toelichtingen van belang.

- a De storingsregistratie heeft primair betrekking op drinkwaterleidingen voor transport en distributie. Onder transport wordt hier verstaan leidingen voor grootschalige waterverdeling, onder distributie kleinschalige waterverdeling op het niveau van wijken en straten. Op transportleidingen zijn in principe geen aansluitingen aangesloten. Optioneel kunnen drinkwaterbedrijven ook storingsregistreren voor ruwwater- en halffabricaatleidingen, maar storingsregistratie in deze categorie zijn buiten beschouwing gelaten in de analyse in dit rapport. Storingsregistratie op inwinningleidingen, terreinleidingen, spuileidingen en aansluitleidingen maken geen deel uit van de storingsregistratie.
- b De registraties aan drinkwaterleidingen voor transport en distributie hebben betrekking op buizen, verbindingen en appendages (T-stukken, bochten, verloopstukken, reparatieklemmen/manchetten etc.). Zij hebben geen betrekking op afsluiters, brandkranen en aanboringen voor huisaansluitingen.
- c De definitie van een storing is dusdanig gekozen dat deze zo veel mogelijk aansluit bij de werkprocessen van de drinkwaterbedrijven. In het kader van USTORE is er sprake van een storing aan een leiding als er een melding heeft plaatsgevonden die duidt op lekkage van een leiding, als monteurs ter plekke deze lekkage bevestigen en als deze valt onder bovengenoemde punten a en b.
- d Omdat een storing in principe een potentieel risico vormt voor besmetting, zullen drinkwaterbedrijven alle storingsregistratie op zo kort mogelijke termijn repareren. Dit wil zeggen dat de storingsfrequentie tevens de frequentie van reparatie betreft. Er is, enkele zeer bijzondere gevallen uitgezonderd, geen sprake van het gecontroleerd niet-repareren van geconstateerde storingsregistratie.
- e In dit rapport worden storingsfrequenties gepresenteerd van groepen leidingen. De storingsfrequentie is een rekenkundige benadering van het aantal storingsregistratie dat is opgetreden binnen een gespecificeerde groep in een kalenderjaar, gedeeld door de gesommeerde leidinglengte van die groep in dat kalenderjaar. Deze groep kan ook het gehele leidingnet betreffen, zie verder paragraaf 2.3.

Voor de berekening van een integrale risicoanalyse voor leidingen in waterkeringen, maakt Deltares gebruik van een faalkans van leidingen. Hierbij is de kans op schade aan de waterkering het product van de faalkans van de leiding en de kans dat dat de uitstroom tot falen van de kering leidt. De faalkans van de leiding is niet hetzelfde als de storingsfrequentie zoals in dit rapport berekend, aangezien het mogelijk is dat een niet-gedetecteerd lek leidt tot schade aan een waterkering. In het geval dat een initieel klein lek langzaam groter wordt, zal deze als hij een bepaalde omvang heeft bereikt alsnog gedetecteerd worden en in de storingsregistratie worden opgenomen. De faalkans is daarom te definiëren als de storingsfrequentie, vermeerderd met de frequentie van niet-detecteerbare lekken van een constante omvang. Overigens is het mogelijk om door intensievere monitoring (lekdetectie) de detectiegrens van lekken te verlagen, maar dat is voor de in dit rapport gepresenteerde storingsfrequenties niet het geval.

2.3 Kanttekeningen bij het interpreteren van faalkansen

Compleetheid van data

Hoewel USTORE bestaat sinds 2009, zijn niet alle storingsen van drinkwaterbedrijven die sinds dat moment zijn opgetreden erin opgenomen. Niet alle bedrijven zijn direct gaan deelnemen. In deze analyse zijn de storingsen beschouwd vanaf 2010, omdat 2009 als een 'aanloopjaar' wordt beschouwd. Verder is van één bedrijf bekend dat niet alle storingsen consequent worden meegenomen. Omdat dit tot een onderrepresentatie leidt van het aantal storingsen, is dit bedrijf in deze analyse niet meegenomen. De laatste jaren is het aantal aangeleverde storingsen lager dan voorheen. Volgens de drinkwaterbedrijven is dat omdat de aanpassing van ICT-systemen aan de nieuwe registratieafspraken veel tijd vergt. De berekening van de storingsfrequentie is dusdanig opgezet dat dit niet tot onderrepresentatie leidt.

Detecteerbare lekken

Zoals aangegeven bij de definitie van een storing, hebben deze betrekking op gemelde lekkages. Afgezien van bijzondere situaties voeren drinkwaterbedrijven geen actief lekzoekprogramma uit. De berekende storingsfrequenties zijn daarom exclusief niet-gedetecteerde lekken.

Berekening storingsfrequentie

Bij de berekening van de storingsfrequentie moet rekening worden gehouden met registraties van meerdere bedrijven met verschillende registratieperioden en met perioden die niet bestaan uit volledige jaren. Hierom wordt voor elk storingsjaar en elk bedrijf de storingsfrequentie gebaseerd op het aantal storingsen, de leidinglengte en de registratieduur volgens onderstaande formule. Voor een verdere toelichting op de rekenmethode wordt verwezen naar [1].

$$f = \frac{\sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^{T_i} N_{i,j}}{\sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^{T_i} (L_{i,j} \cdot V_{i,j})}$$

waarin:

f = storingsfrequentie [km⁻¹·jaar⁻¹]

C = aantal bedrijven

T_i = aantal registratiejaren voor bedrijf i [jaar]

N_{i,j} = aantal storingsen in jaar j voor bedrijf i [-]

L_{i,j} = aanwezige leidinglengte in jaar j voor bedrijf i [km]

V_{i,j} = volledigheid van registratie van de groep in jaar j voor bedrijf i [jaar], welke een waarde '1' heeft bij een volledig jaar en bijvoorbeeld een waarde '0,5' bij een registratie over een half jaar.

Onzekerheidsmarge storingsfrequentie

De betrouwbaarheid van een berekende storingsfrequentie is afgezien van de eerder genoemde detectiegrens, afhankelijk van het aantal storingsen waarop deze is gebaseerd. Bij een te gering aantal storingsen kan niet met zekerheid worden beweerd dat de berekende waarde representatief is voor de groep. Om die reden wordt bij USTORE voor elke berekening tevens een betrouwbaarheidsinterval bepaald, waarbij de aanname wordt gedaan dat het aantal storingsen voor een groep Poissonverdeeld is. De poissonverdeling wordt toegepast om een kansverdeling aan te geven bij discrete gebeurtenissen (aantallen storingsen), waarbij sprake is van een onafhankelijke relatie (er van uitgaande dat een storing niet het gevolg is van een eerdere storing) en die het voorkomen van bepaalde voorvallen telt gedurende een gegeven tijdsinterval, afstand, etc. (een jaar bij een bedrijf). Voor het bepalen van de onzekerheidsmarge van het aantal storingsen wordt uitgegaan van een betrouwbaarheidsinterval van 95%. Een en ander heeft tot gevolg dat bij een betrouwbaarheidsinterval van 95%

de betrouwbaarheid is uit te drukken met de marges zoals weergegeven in Tabel 1. Overigens is om redenen van overzichtelijkheid in dit rapport alleen het Poisson-gemiddelde aangegeven.

Tabel 1 Relatieve onder- en bovengrenzen bij een betrouwbaarheidsinterval van 95%

Aantal storingen	relatieve ondergrens	relatieve bovengrens
10	-52%	+84%
50	-26%	+32%
100	-19%	+22%
500	-8,6%	+9,2%
1000	-6,1%	+6,4%

3 Indeling van storingen

3.1 Inleiding

Samen met Kiwa is nagegaan welke informatie zowel voor drinkwaterleidingen als voor gasleidingen beschikbaar is. Deze informatie is in hoofdstuk 4 gepresenteerd als 'Niveau 1'. In hoofdstuk 4 is specifiek voor drinkwater een verdere onderverdeling gemaakt onder de noemer 'Niveau 2'.

3.2 Generieke indeling storingen, Niveau 1

De generieke indeling van storingsfrequenties vindt plaats door een onderscheid te maken naar materiaal en diameterklasse. Voor materialen zijn de volgende klassen onderscheiden (met tussen haakjes in dit rapport gehanteerde afkortingen) die 98,8% uitmaken van de lengte van het Nederlandse leidingnet (zie ook bijlage I):

- Asbestcement (AC);
- Grijs gietijzer (GGY);
- Nodulair gietijzer (NGY);
- Staal (ST);
- Polyetheen (PE);
- Polyvinylchloride (PVC).

De USTORE storingsregistratie maakt een verder onderscheid in sterkteklasse bij de materialen PE en PVC. Voor de analyse in dit rapport zou dat te veel detail opleveren, anders gezegd resulteren in subgroepen met een te beperkt aantal storingen om te komen tot betrouwbare uitspaken.

Naast het materiaal wordt er in de generieke indeling onderscheidt gemaakt in drie diameterranges:

- < 125 mm;
- 125-200 mm;
- > 200 mm.

3.3 Specifieke indeling storingen, Niveau 2

Bij de specifieke indeling worden de storingen verder uitgesplitst op basis van informatie die voor waterleidingen dan wel gasleidingen specifiek beschikbaar is. Voor gasleidingen wordt een onderscheid gemaakt naar drukklassen. Drinkwaternetten kennen geen onderscheid in drukklassen. Voor drinkwaterleidingen is een onderverdeling gemaakt op basis van de periode van aanleg, in perioden van 10 jaar. De in hoofdstuk 4 weergegeven tabellen bevatten de perioden waarin het specifieke materiaal is toegepast.

Drinkwaterleidingen hebben een groter bereik aan diameters dan gasleidingen. Om die reden is op Niveau 2 de onderverdeling in diameters voor drinkwaterleidingen verder uitgesplitst naar zes klassen, te weten:

- < 90 mm;
- 90-124 mm;
- 125-200 mm;
- 201-400 mm;
- 401-700 mm;
- > 700 mm.

Een en ander resulteert in tabellen per leidingmateriaal met een onderscheid naar diameterklasse en periode van aanleg. Tevens is per diameterklasse aangegeven wat de verhouding is tussen storingen op verbindingen en storingen op buisdelen.

3.4 Categorisering oorzaak storingen

Om de storingsoorzaak bij drinkwater en bij gas te kunnen vergelijken, is het belangrijk te begrijpen op welke wijze de registratie van storingsoorzaken plaatsvindt. In USTORE wordt onderscheid gemaakt tussen een verplichte en een optionele registratie. De verplichte registratie geldt voor oorzaken die een monteur objectief moet kunnen vaststellen en bevat een indeling naar 'spontane oorzaak', 'interne oorzaak' en 'externe oorzaak'. De optionele registratie bevat aspecten die minder makkelijk objectief zijn te herkennen maar die toegevoegde hebben voor kennisopbouw over het falen van leidingen. Niet alle registraties worden overigens door monteurs in het veld ingevoerd. Bijvoorbeeld bij 'Schade door beheer van pompen' wordt deze informatie achteraf toegevoegd. Voor een overzicht van categorieën voor storingsregistratie, zie Tabel 2. Onder externe oorzaak vallen bijvoorbeeld graafschaden door derden.

Tabel 2 Onderverdeling van oorzaken van storingen in USTORE

Verplichte registratie	Optionele registratie
Spontane oorzaak	<ul style="list-style-type: none"> • Aantasting (corrosie of uitloging) • Uitwendige belasting zoals verkeer, zetting, wortelingroei, storm, etc. • Onbekend
Interne oorzaak	<ul style="list-style-type: none"> • Aanleg / montagefout • Schade door monteurs of gecontracteerde aannemers • Schade door beheer pompen (verhoogde druk, drukstoten)
Externe oorzaak	Niet verder onderverdeeld

De storingsfrequenties worden in dit rapport als volgt gepresenteerd:

- inclusief externe oorzaken (spontane oorzaak, interne oorzaak en externe oorzaak);
- exclusief externe oorzaken (spontane oorzaak en interne oorzaak).

Voor deze indeling is gekozen zodat Deltares bij de integrale risicoanalyse zowel rekening kan houden met alle storingen, als met de storingen zonder externe oorzaak wat meer overeenkomt met een beschermde liggingssituatie zoals bij waterkeringen.

4 Berekende storingsfrequenties

4.1 Inleiding

Voor de berekening van de storingsfrequentie is in dit project uitgegaan van in USTORE registreerde storings van zeven drinkwaterbedrijven vanaf 2010. In totaal zijn 22.352 storings beschouwd inclusief externe oorzaak en 18.873 storings exclusief externe oorzaak. Deze aantallen bevatten storings van de zes leidingmaterialen genoemd in paragraaf 3.2. Storings op andere leidingmaterialen, zoals koper, beton, GVK, zijn niet meegenomen. Deze leidingen betreffen slechts een zeer beperkt aantal van het geheel (0,8% in de USTORE database). Storings met als kenmerk materiaal onbekend komen in de registratie niet voor.

Voor deze analyse zijn storings geanalyseerd van zeven drinkwaterbedrijven die in totale lengte vertegenwoordigen van 56.155 km. De totale lengte van het leidingnet bedraagt 120.061 km (zie Bijlage I), wat inhoudt dat de geanalyseerde storings betrekking hebben op 47% van het totale drinkwaterleidingnet. Er zijn geen redenen om aan te nemen dat de met USTORE verkregen storingsfrequenties niet representatief zouden zijn voor alle Nederlandse drinkwaterleidingen.

In de hieronder gepresenteerde tabellen zijn storingsfrequenties aangegeven in drie kleuren die verschillende betrouwbaarheidsklassen aangeven, zie ook Tabel 1. Dit betreft:

- grijs: deze hebben een lage betrouwbaarheid en zijn gebaseerd op minder dan 10 storings;
- blauw: deze hebben een beperkte betrouwbaarheid en zijn gebaseerd 10 tot en met 49 storings;
- zwart: deze hebben een hogere betrouwbaarheid en zijn gebaseerd op 50 of meer storings.

In het geval er een '-' is weergegeven, zijn voor de specifieke groep geen storings geregistreerd. Met name de grijs gemarkeerde storingsfrequenties dienen met grote omzichtigheid geïnterpreteerd te worden. In veel gevallen betreft dit slecht één registratie en invulfouten kunnen hiervoor niet uitgesloten worden.

De storingsfrequenties zijn gepresenteerd met een afronding van 2 cijfers achter de komma. Hiermee wordt voorkomen een nauwkeurigheid te veronderstellen die feitelijk niet aanwezig is. Wanneer de storingsfrequenties dusdanig laag zijn dat deze een waarde '0' zouden hebben, dan zijn drie cijfers achter de komma gehanteerd.

4.2 Storingsfrequenties Niveau 1

In Tabel 3 en Tabel 4 worden de storingsfrequenties gegeven, uitgesplitst naar materiaal en diameter. In de onderste rij worden de frequenties gegeven per diameterklasse, zonder onderscheid te maken naar materiaalsoort. In de rechterkolom wordt de frequentie gegeven per materiaalsoort, zonder onderscheid te maken naar diameterrange. Tot slot wordt in de cel rechtsonder de totale storingsfrequentie van alle leidingen gegeven. Voor het aantal storings dat is gehanteerd voor de bepaling van de storingsfrequentie, wordt verwezen naar Bijlage II.

Tabel 3 Storingsfrequenties per materiaal en diametergroep, incl. externe oorzaken

Storings per km per jaar				
Materiaal	Diameter			Per materiaal
	40-124 mm	125-200 mm	201-2000 mm	
Asbestcement	0,09	0,09	0,03	0,08
Grijs gietijzer	0,08	0,05	0,02	0,06
Nodulair gietijzer	0,004	0,01	0,004	0,004
Staal	0,24	0,17	0,02	0,16
PE	0,01	0,02	0,01	0,01
PVC	0,02	0,03	0,02	0,02
Per diametergroep:	0,05	0,06	0,02	0,05

De storingsfrequenties uit Tabel 3 laten zien dat de storingsfrequentie van alle beschouwde leidingen 0,05 storings per km per jaar bedraagt. De storingsfrequentie is aanzienlijk lager bij diameters groter dan 200 mm en bij de materialen nodulair gietijzer, PE en PVC. De hoge storingsfrequentie voor stalen leidingen is opvallend. Deze hoge frequentie wordt voornamelijk veroorzaakt door de stalen leidingen met een diameter kleiner dan 125 mm en in mindere mate door de leidingen met een diameter tussen 125 en 200 mm. De storings in deze groepen betreffen met name de zogenaamde oude stalen leidingen die zijn toegepast in distributieleidingen tot 1980 (zie ook paragraaf 4.3.4). Omdat op deze leidingen geen gegarandeerde elektrische geleiding over de verbindingen gegarandeerd kan worden, is kathodische bescherming niet mogelijk.

AC-leidingen kennen een relatief hoge storingsfrequentie, met name bij diameters kleiner dan 200 mm.

Tabel 4 Storingsfrequenties per materiaal en diametergroep, excl. externe oorzaken

Storings per km per jaar				
Materiaal	Diameter			Per materiaal
	40-124 mm	125-200 mm	201-2000 mm	
Asbestcement	0,08	0,08	0,03	0,07
Grijs gietijzer	0,07	0,04	0,02	0,05
Nodulair gietijzer	0,003	0,005	0,003	0,003
Staal	0,24	0,17	0,02	0,16
PE	0,01	0,01	0,01	0,01
PVC	0,01	0,02	0,02	0,02
Per diametergroep:	0,04	0,05	0,02	0,04

De kenmerken van de storingsfrequentie zoals hierboven beschreven voor Tabel 3 gelden ook voor Tabel 4, waarbij de storings veroorzaakt door derden niet zijn meegenomen.

In Tabel 5 zijn de storingsfrequenties aangegeven van storings als gevolg van een externe oorzaak. Deze waarden zijn gelijk aan het verschil tussen de frequenties zoals aangegeven in Tabel 3 en Tabel 4.

Tabel 5 Storingsfrequenties per materiaal en diametergroep, als gevolg van externe oorzaken

Storingen per km per jaar				
Materiaal	Diameter			Per materiaal
	40-124 mm	125-200 mm	201-2000 mm	
Asbestcement	0,012	0,007	0,003	0,009
Grijs gietijzer	0,007	0,004	0,002	0,005
Nodulair gietijzer	0,001	0,001	0,001	0,001
Staal	0,001	0,002	0,001	0,001
PE	0,005	0,006	0,001	0,004
PVC	0,009	0,007	0,003	0,008
Per diametergroep:	0,009	0,006	0,002	0,008

In Tabel 6 zijn de percentages weergegeven van storingen die worden veroorzaakt door derden. Overall bedraagt dit 16%. Opvallend is dat dit percentage veel hoger is bij PE en PVC leidingen met een diameter van 200 mm of kleiner. Het percentage is veel lager bij grijs gietijzeren en stalen leidingen en alle leidingen met een diameter groter dan 200 mm. De waarschijnlijke oorzaak hiervoor is dat het aandeel storingen door externe oorzaak relatief constant is, maar dat de storingen zonder externe oorzaak bij PE en PVC juist laag zijn.

Tabel 6 Percentage storingen met externe oorzaak ten opzichte van het totaal aantal storingen.

Storingen per km per jaar				
Materiaal	Diameter			Per materiaal
	40-124 mm	125-200 mm	201-2000 mm	
Asbestcement	14%	8%	9%	12%
Grijs gietijzer	9%	7%	8%	8%
Nodulair gietijzer	19%	15%	14%	17%
Staal	0%	1%	3%	1%
PE	40%	28%	12%	35%
PVC	40%	25%	13%	36%
Per diametergroep:	18%	10%	9%	16%

Vergelijking van de in dit rapport gepresenteerde storingsfrequenties met externe bronnen is beperkt mogelijk vanwege het ontbreken van vergelijkende studies. In Tabel 7 is een vergelijking gegeven met storingsfrequenties van de Verenigde Staten en Canada zoals verzameld door Folkman [3]. Tevens zijn er gegevens voor de gezamenlijke leidingmaterialen beschikbaar van de European Benchmarking Cooperation (EBC) [2]. Vergelijken van deze gegevens dient echter met voorzichtigheid plaats te vinden. De gegevens uit de VS en Canada bevatten geen storingen op verbindingen en als gevolg van werkzaamheden. De gegevens van de EBC zijn afkomstig van 43 drinkwaterbedrijven. De gegevens van de tien Nederlandse drinkwaterbedrijven maken hiervan ook deel uit. Daarnaast geldt voor beide bronnen gegevens zijn verkregen op basis van incidentele vragenlijsten (dit geldt met name voor Folkman) en dat de betrouwbaarheid van de gegevens minder goed is te waarborgen als die van USTORE, waarvoor specifieke werkinstructies zijn opgesteld. Met inbegrip van bovengenoemde opmerkingen kan gesteld worden dat:

- er verschillen zijn tussen de waarden, echter niet van een dusdanige omvang dat dit er twijfels ontstaan over de juistheid hiervan;
- de gemiddelde storingsfrequentie van de bedrijven die deelnemen aan USTORE lager is dan uit de VS/Canada en lager is dan de bedrijven die deelnemen aan de EBC;
- de relatief hogere storingsfrequentie voor de VS/Canada voor een groot deel wordt bepaald door het hoog aantal storingen in grijs gietijzeren leidingen.

Tabel 7 Vergelijking van storingsfrequenties per materiaal en diametergroep met externe bronnen

Storings per km per jaar			
Materiaal	VS/Canada	EBC	USTORE
Asbestcement	0,06		0,08
Grijs gietijzer	0,22		0,06
Nodulair gietijzer	0,03		0,004
Staal	0,05		0,16
PE	niet beschikbaar		0,01
PVC	0,01		0,02
Totaal:	0,09	0,13	0,05

4.3 Storingsfrequenties Niveau 2

4.3.1 Storingsfrequentie AC

In Tabel 8 en Tabel 9 zijn de storingsfrequenties weergegeven van AC leidingen. Duidelijk is te zien dat AC-leidingen uit de vijftiger jaren een hogere storingsfrequentie hebben dan jongere leidingen. Daarentegen zijn de storingsfrequenties van de oudste leidingen weer relatief laag. Verder blijkt dat de storingsfrequentie afneemt met toenemende diameter.

Voor POV is eerder een analyse uitgevoerd op een 300 mm AC leiding uit 1979 nabij Nieuwendam. Hiervoor is een storingsfrequentie bepaald van 0,0153 storings per km per jaar inclusief externe oorzaak en 0,0117 storings per km per jaar exclusief interne oorzaak. Deze waarden zijn van gelijke orde grootte als hier gepresenteerd, te weten respectievelijk 0,02 storings per km per jaar en 0,02 storings per km per jaar.

Tabel 8 Storingsfrequenties AC per periode van aanleg en diametergroep, incl. externe oorzaken

Storings per km per jaar, AC incl. externe oorzaken							
Periode	Diameter						Per periode
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
1930-1939	0,09	0,10	0,10	0,35	-	-	0,11
1940-1949	0,07	0,07	0,16	0,18	-	-	0,10
1950-1959	0,11	0,17	0,17	0,18	0,07	-	0,17
1960-1969	0,11	0,08	0,08	0,04	0,01	-	0,07
1970-1979	0,10	0,07	0,05	0,02	0,003	-	0,05
1980-1989	0,09	0,04	0,03	0,01	0,002	0,01	0,03
1990-1999	0,30	0,05	0,03	0,01	0,01	-	0,04
Per diam.groep:	0,11	0,09	0,09	0,04	0,01	0,002	0,08

Toelichting: deze en vergelijkbare tabellen geven de storingsfrequenties weer zonder de bijbehorende leidinglengtes. Door verschil in leidinglengte per leidinggroep kan bijvoorbeeld een storingsfrequentie van 0,01 storings per km per jaar (leidingen uit de tachtiger jaren met een diameter groter dan 700 mm) resulteren in een storingsfrequentie van 0,002 storings per km per jaar voor de totale diametergroep. In dit geval zijn er groepen zonder storings die van invloed zijn op het resultaat van de groep als geheel.

Tabel 9 Storingsfrequenties AC per periode van aanleg en diametergroep, excl. externe oorzaken

Storingen per km per jaar, AC excl. externe oorzaken							
Periode	Diameter						Per periode
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
1930-1939	0,06	0,09	0,10	0,33	-	-	0,10
1940-1949	0,05	0,06	0,16	0,18	-	-	0,10
1950-1959	0,10	0,16	0,17	0,17	0,06	-	0,16
1960-1969	0,10	0,06	0,07	0,03	0,01	-	0,06
1970-1979	0,07	0,05	0,04	0,02	0,002	-	0,04
1980-1989	0,07	0,03	0,03	0,01	0,001	0,01	0,02
1990-1999	0,18	0,04	0,02	0,01	0,005	-	0,03
Per diam.groep:	0,09	0,08	0,08	0,04	0,005	0,002	0,07

In Tabel 10 is voor AC de verhouding weergegeven van storingen op verbindingen versus storingen op buisdelen. Voor alle AC-leidingen geldt dat er aanzienlijk meer storingen optreden op buisdelen dan op verbindingen. Dit geldt vooral voor de meest voorkomende diameters, namelijk tussen 90 en 124 mm. Verder geldt hoe groter de diameter hoe meer storingen er relatief optreden aan verbindingen ten opzichte van leidingen.

Tabel 10 De verhouding van storingen op verbindingen ten opzichte van buisdelen voor AC leidingen per diametergroep, incl. externe oorzaken

Aantal storingen op verbindingen gedeeld door storingen op buisdelen, AC							
Verhouding	Diameter						Per materiaal
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
Verhouding	0,35	0,20	0,43	0,98	2,00	-	0,29

4.3.2 Storingsfrequentie GGII

In Tabel 11 en Tabel 12 zijn de storingsfrequenties weergegeven van GGII leidingen. De storingsfrequentie van leidingen aangelegd voor 1980 lijkt onafhankelijk van het aanlegjaar te zijn. De relatief hoge storingsfrequenties van leidingen van na 1980 is opvallend omdat dit materiaal in die periode nauwelijks meer is toegepast. Nadere analyse van deze storingen laat zien dat het hier om een beperkt aantal storingen gaat, net boven de tien storingen per groep, op een beperkte leidinglengte. Verder blijkt dat de storingsfrequentie afneemt met toenemende diameter.

Tabel 11 Storingsfrequenties grijs gietijzer per periode van aanleg en diametergroep, incl. externe oorzaken

Storingen per km per jaar, GGII incl. externe oorzaken							
Periode	Diameter						Per periode
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
1890-1899	-	0,12	-	0,04	-	-	0,04
1900-1909	0,03	0,04	0,03	0,02	0,04	-	0,04
1910-1919	-	0,05	0,08	0,21	-	-	0,07
1920-1929	0,04	0,10	0,03	0,04	-	-	0,05
1930-1939	0,16	0,08	0,05	0,02	0,01	0,01	0,05
1940-1949	0,17	0,10	0,06	0,02	-	-	0,07
1950-1959	0,21	0,08	0,05	0,02	0,02	-	0,06
1960-1969	0,22	0,05	0,03	0,02	0,08	-	0,04
1970-1979	0,17	0,10	0,07	0,03	-	-	0,08
1980-1989	1,37	0,14	0,16	0,04	-	-	0,16
1990-1999	-	0,76	0,05	0,05	-	-	0,11
Per diam.groep:	0,12	0,08	0,05	0,02	0,01	0,01	0,06

Tabel 12 Storingsfrequenties grijs gietijzer per periode van aanleg en diametergroep, excl. externe oorzaken

Storingen per km per jaar, GGJ excl. externe oorzaken							
Periode	Diameter						Per periode
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
1890-1899	-	0,12	-	-	-	-	0,03
1900-1909	0,03	0,04	0,02	0,01	0,04	-	0,03
1910-1919	-	0,04	0,08	0,17	-	-	0,06
1920-1929	0,04	0,09	0,03	0,04	-	-	0,05
1930-1939	0,16	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01	0,05
1940-1949	0,17	0,10	0,06	0,02	-	-	0,06
1950-1959	0,18	0,07	0,04	0,02	0,02	-	0,05
1960-1969	0,16	0,05	0,03	0,02	0,08	-	0,04
1970-1979	0,15	0,09	0,07	0,03	-	-	0,08
1980-1989	1,09	0,13	0,16	0,04	-	-	0,15
1990-1999	-	0,55	0,05	-	-	-	0,08
Per diam.groep:	0,11	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01	0,05

In Tabel 13 is voor GGJ de verhouding weergegeven van storingen op verbindingen versus storingen op buisdelen. Voor GGJ leidingen geldt dat er aanzienlijk meer storingen optreden op buisdelen dan op verbindingen, nog meer dan bij AC leidingen. De meest voorkomende diameters (tussen 90 en 124 mm) hebben het laagste aandeel storingen op verbindingen. Hoe groter de diameter hoe meer storingen er relatief optreden op verbindingen.

Tabel 13 De verhouding van storingen op verbindingen ten opzichte van buisdelen voor GGJ leidingen per diametergroep, incl. externe oorzaken

Aantal storingen op verbindingen gedeeld door storingen op buisdelen							
Verhouding	Diameter						Per materiaal
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
Verhouding	0.24	0.12	0.23	0.54	3.50	-	0.18

4.3.3 Storingsfrequentie NGIJ

In Tabel 14 en Tabel 15 zijn de storingsfrequenties weergegeven van NGIJ leidingen. Omdat de totale lengte van deze leidingen en het aantal storingen erg laag is, zijn maar van weinig subgroepen betrouwbare gegevens beschikbaar. Vanwege het lage aantal storingen is de storingsfrequentie uitgedrukt in drie cijfers achter de komma. Opvallend is de relatief hoge storingsfrequentie voor de leidingen die zijn aangelegd na 2010. De omvang van deze groep is echter relatief klein (totaal aantal van 18 storingen). Wellicht is dit toe te wijzen aan aanlegfouten, met daarbij de kanttekening dat NGIJ vaker wordt toegepast in relatief moeilijke omstandigheden, zoals bij hoge spanningen en in verontreinigde grond.

Tabel 14 Storingsfrequenties nodulair gietijzer per periode van aanleg en diametergroep, incl. externe oorzaken

Storingen per km per jaar, NGIJ incl. externe oorzaken							
Periode	Diameter						Per periode
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
1950-1959	-	0,12	-	0,16	-	-	0,10
1960-1969	-	0,05	-	0,17	-	-	0,06
1970-1979	-	0,01	0,02	0,01	-	-	0,01
1980-1989	-	0,02	0,02	0,01	-	-	0,01
1990-1999	-	0,00	0,003	0,001	0,002	0,002	0,002
2000-2009	0,06	0,003	0,01	0,01	0,003	-	0,004
2010-2019	0,06	0,02	0,02	0,01	0,01	-	0,02
Per diam.groep:	0,04	0,004	0,01	0,004	0,003	0,002	0,004

Tabel 15 Storingsfrequenties nodulair gietijzer per periode van aanleg en diametergroep, excl. externe oorzaken

Storingsen per km per jaar, NGIJ excl. externe oorzaken							
Periode	Diameter						Per periode
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
1950-1959	-	0,12	-	0,16	-	-	0,10
1960-1969	-	-	-	0,17	-	-	0,03
1970-1979	-	0,01	0,02	0,01	-	-	0,01
1980-1989	-	0,02	-	0,01	-	-	0,01
1990-1999	-	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002
2000-2009	0,03	0,003	0,01	0,003	0,003	-	0,003
2010-2019	0,03	0,01	0,02	0,01	0,005	-	0,01
Per diam.groep:	0,02	0,003	0,005	0,004	0,003	0,002	0,003

In Tabel 16 is voor NGIJ de verhouding weergegeven van storingsen op verbindingen versus storingsen op buisdelen. Voor NGIJ leidingen met een diameter van 90 mm tot 125 mm geldt dat er even veel storingsen plaatsvinden op verbindingen als op buisdelen. Voor leidingen met een grotere diameter treden er meer storingsen op op verbindingen dan op buisdelen. Het beperkt aantal storingsen op NGIJ noopt echter tot voorzichtigheid bij het trekken van conclusies.

Tabel 16 De verhouding van storingsen op verbindingen ten opzichte van buisdelen voor NGIJ leidingen per diametergroep, incl. externe oorzaken

Aantal storingsen op verbindingen gedeeld door storingsen op buisdelen, NGIJ							
Verhouding	Diameter						Per materiaal
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
Verhouding	-	1,00	1,60	1,17	-	-	1,27

4.3.4 Storingsfrequentie Staal

In Tabel 17 en Tabel 18 is te zien dat groepen stalen leidingen groter dan 400 mm (transportleidingen) en aangelegd na 1980, onvoldoende storingsen hebben om een storingsfrequentie met voldoende betrouwbaarheid te presenteren. Het storingsgedrag van de in deze tabellen weergegeven leidingen, zijn daarom grotendeels toe te schrijven aan de 'oude stalen leidingen', zie ook paragraaf 4.2. De gesommeerde storingsfrequenties van leidingen tussen 1980 en 2000, die hoge kwaliteit stalen leidingen representeren, zijn aanzienlijk lager. Opvallend is dat de berekende storingsfrequenties in Tabel 17 en Tabel 18 vrijwel identiek zijn, wat duidt op een zeer laag aandeel storingsen van derden. Dit blijkt ook uit Tabel 6.

Voor POV is eerder een analyse uitgevoerd op een 1219 mm stalen leiding uit 1973 nabij Vuren (POV project GoWa). Hiervoor is een storingsfrequentie vastgesteld op 0,001 storingsen per km per jaar (inclusief externe oorzaak). Deze waarde komt overeen met de waarden in Tabel 17, te weten 0,002 storingsen per km per jaar. De in Tabel 17 gepresenteerde waarden zijn ook gebaseerd op een zeer beperkt aantal storingsen en hebben derhalve een zeer beperkte betrouwbaarheid. Dit geldt overigens ook voor de voor GoWa bepaalde waarde.

Tabel 17 Storingsfrequenties staal per periode van aanleg en diametergroep, incl. externe oorzaken

Storingsen per km per jaar, staal incl. externe oorzaken							
Periode	Diameter						Per periode
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
1920-1929	0,29	0,29	0,11	0,11	-	-	0,20
1930-1939	0,24	0,18	0,18	0,07	-	-	0,18
1940-1949	0,31	0,22	0,10	0,06	-	-	0,15
1950-1959	0,22	0,23	0,19	0,10	-	-	0,20
1960-1969	0,25	0,25	0,18	0,17	0,01	0,01	0,21
1970-1979	0,17	0,42	0,17	0,03	-	-	0,13
1980-1989	0,15	0,15	0,12	0,04	0,01	-	0,04
1990-1999	-	0,25	0,13	0,06	-	-	0,01
2000-2009	0,23	-	-	0,06	-	-	0,01
2010-2019	-	-	-	-	0,01	-	0,00
Per diam.groep:	0,24	0,25	0,17	0,09	0,002	0,002	0,16

Tabel 18 Storingsfrequenties staal per periode van aanleg en diametergroep, excl. externe oorzaken

Storingsen per km per jaar, staal excl. externe oorzaken							
Periode	Diameter						Per periode
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
1920-1929	0,17	0,34	0,21	0,13	-	-	0,20
1930-1939	0,28	0,29	0,11	0,11	-	-	0,20
1940-1949	0,24	0,18	0,18	0,07	-	-	0,18
1950-1959	0,31	0,22	0,10	0,06	-	-	0,15
1960-1969	0,22	0,23	0,18	0,10	-	-	0,20
1970-1979	0,25	0,25	0,18	0,17	0,004	0,01	0,21
1980-1989	0,17	0,42	0,17	0,03	-	-	0,13
1990-1999	0,15	0,12	0,12	0,04	-	-	0,04
2000-2009	-	0,22	0,13	0,06	-	-	0,01
2010-2019	0,23	-	-	0,06	-	-	0,01
Per diam.groep:	0,24	0,25	0,17	0,09	0,001	0,002	0,16

In Tabel 19 is voor staal de verhouding weergegeven van storingsen op verbindingen versus storingsen op buisdelen. Het blijkt dat verreweg de meeste storingsen optreden op buisdelen. Dit komt overeen met het schadebeeld van 'oude stalen leidingen' dat zich kenmerkt door veel putcorrosie.

Tabel 19 De verhouding van storingsen op verbindingen ten opzichte van buisdelen voor stalen leidingen per diametergroep, incl. externe oorzaken

Aantal storingsen op verbindingen gedeeld door storingsen op buisdelen, staal							
Verhouding	Diameter						Per materiaal
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
Verhouding	0,07	0,07	0,08	0,23	-	-	0,08

4.3.5 Storingsfrequentie PE

In Tabel 20 en Tabel 21 zijn de storingsfrequenties weergegeven van PE leidingen. De storingsfrequentie van PE leidingen is relatief laag in verhouding tot andere veel gebruikte leidingmaterialen (AC, GGII en PVC). Vanwege het beperkt aantal storingsen is de betrouwbaarheid relatief laag. De storingsfrequentie van leidingen aangelegd voor 1980 is relatief hoger.

Tabel 20 Storingsfrequenties PE per periode van aanleg en diametergroep, incl. externe oorzaken

Storings per km per jaar, PE incl. externe oorzaken							
Periode	Diameter						Per periode
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
1960-1969	0,02	0,07	0,02	0,03	-	-	0,03
1970-1979	0,01	0,05	0,06	0,03	-	-	0,02
1980-1989	0,003	0,03	0,03	0,01	-	-	0,01
1990-1999	0,003	0,01	0,01	0,01	-	-	0,01
2000-2009	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	0,01
2010-2019	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	-	0,02
Per diam.groep:	0,01	0,02	0,02	0,01	0,002	-	0,01

Tabel 21 Storingsfrequenties PE per periode van aanleg en diametergroep, excl. externe oorzaken

Storings per km per jaar, PE excl. externe oorzaken							
Periode	Diameter						Per periode
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
1960-1969	0,02	0,05	0,02	0,03	-	-	0,03
1970-1979	0,004	0,04	0,05	0,03	-	-	0,02
1980-1989	0,002	0,02	0,03	0,01	-	-	0,01
1990-1999	0,001	0,01	0,01	0,01	-	-	0,005
2000-2009	0,004	0,01	0,01	0,004	-	-	0,00
2010-2019	0,01	0,01	0,002	0,01	0,01	-	0,01
Per diam.groep:	0,004	0,01	0,01	0,01	0,002	-	0,01

In Tabel 22 is voor PE de verhouding weergegeven van storings op verbindingen versus storings op buisdelen. Het blijkt dat voor leidingen met een diameter kleiner dan 125 mm de meeste storings plaatsvinden op buisdelen. Voor grotere leidingen treden de meeste storings op op verbindingen. Dit geldt met name voor diameters groter dan 200 mm.

Tabel 22 De verhouding van storings op verbindingen ten opzichte van buisdelen voor PE leidingen per diametergroep, incl. externe oorzaken.

Aantal storings op verbindingen gedeeld door storings op buisdelen, PE							
Verhouding	Diameter						Per materiaal
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
Verhouding	0,42	0,78	1,22	3,00	-	-	0,78

4.3.6 Storingsfrequentie PVC

In Tabel 23 en Tabel 24 zijn de storingsfrequenties weergegeven van PVC leidingen. PVC leidingen uit de jaren vijftig, zeventig en tien hebben de hoogste storingsfrequentie. De storings uit de jaren vijftig hebben betrekking op de oudste leidingen, toen het productieproces nog in ontwikkeling was. Hier hebben vooral de grotere diameters een hogere storingsfrequentie. De storings uit de jaren zeventig betreffen vooral leidingen met een relatief grote diameter, waarvan bekend is dat het productieproces in die periode niet optimaal was. De recente storings zijn waarschijnlijk te wijten aan fouten door derden in het aanlegproces (zwaar transport op bouwterrein), immers de storingsfrequentie zonder externe oorzaak is minder extreem. Hier treden de meeste storings op bij diameters kleiner dan 90 mm.

Tabel 23 Storingsfrequenties PVC per periode van aanleg en diametergroep, incl. externe oorzaken

Storingen per km per jaar, PVC incl. externe oorzaken							
Periode	Diameter						Per periode
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
1950-1959	0,04	0,10	0,13	0,10	-	-	0,05
1960-1969	0,03	0,05	0,04	0,03	-	-	0,03
1970-1979	0,03	0,03	0,05	0,06	0,08	-	0,04
1980-1989	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	-	0,02
1990-1999	0,02	0,01	0,01	0,01	0,003	-	0,01
2000-2009	0,02	0,02	0,02	0,01	0,005	-	0,02
2010-2019	0,05	0,03	0,03	0,02	0,01	-	0,04
Per diam.groep:	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	-	0,02

Tabel 24 Storingsfrequenties PVC per periode van aanleg en diametergroep, excl. externe oorzaken

Storingen per km per jaar, PVC excl. externe oorzaken							
Periode	Diameter						Per periode
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
1950-1959	0,03	0,07	0,13	0,10	-	-	0,04
1960-1969	0,02	0,03	0,03	0,02	-	-	0,02
1970-1979	0,02	0,02	0,05	0,05	0,08	-	0,03
1980-1989	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	-	0,01
1990-1999	0,01	0,01	0,01	0,01	0,003	-	0,01
2000-2009	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	-	0,01
2010-2019	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	-	0,02
Per diam.groep:	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	-	0,02

In Tabel 25 is voor PVC de verhouding weergegeven van storingen op verbindingen versus storingen op buisdelen. Het blijkt dat de meeste storingen optreden op buisdelen.

Tabel 25 De verhouding van storingen op verbindingen ten opzichte van buisdelen voor PVC leidingen per diametergroep, incl. externe oorzaken

Aantal storingen op verbindingen gedeeld door storingen op buisdelen, PVC							
Verhouding	Diameter						Per materiaal
	40-89 mm	90-124 mm	125-200 mm	201-400 mm	401-700 mm	701-2000 mm	
Verhouding	0,56	0,57	0,52	0,47	0,37	-	0,55

4.4 Overige informatie over drinkwaterleidingen

Voor de POV K&L is naast informatie over storingsfrequenties ook algemene informatie nodig over drinkwaterleidingen.

- De dekking van drinkwaterleidingen is niet in alle gevallen bekend. Om bevriezing tegen te gaan geldt als ontwerpeis dat de dekking minimaal 1,0 meter moet zijn. Voor de meeste leidingen wordt daarom een dekking van 1,0 meter aangehouden. Transportleidingen en leidingen in agrarisch land worden vaak dieper gelegd.
- Voor vrijwel alle leidingen geldt dat deze worden aangelegd in een zandbed. Hiermee wordt voorkomen dat er puntbelastingen ontstaan als gevolg van scherpe voorwerpen tegen de buiswand. Ook worden hiermee ongelijkmatige zettingen tegengegaan. Voor de samenstelling van de bodem rondom het zandbed kunnen geografische kaarten worden geraadpleegd. Deze geven echter beperkte informatie over stedelijke gebieden waar veel grondroering heeft plaatsgevonden. Verder geldt voor veel uitbreidingswijken dat er een zandbed op de oorspronkelijke ondergrond aangebracht.
- Drinkwaterleidingnetten kennen geen verschillende drukregimes zoals gebruikelijk in bijvoorbeeld het gasnet. De netten worden ontworpen zodat bij de aansluitingen een minimale druk heerst van 2 bar. De uitgaande druk op het pompstation varieert afhankelijk van de situatie in de meeste gevallen tussen 3,5 en 6 bar.

5 Analyse van kratergrootte

In 2020 is door een drinkwaterbedrijf extra informatie over storingen op drinkwaterleidingen aangeleverd. Dit betrof circa 12.000 storingen over de periode van 24-6-2015 t/m 24-2-2020. Van deze storingen is door monteurs aangegeven of er zich erosiekraters hebben voorgedaan en zo ja wat hiervan de afmetingen waren. De informatie is relevant voor de POV, omdat het een statistische onderbouwing geeft van de kans van optreden van een erosiekrater als gevolg van een storing van een drinkwaterleiding. Omdat er ten tijde van de analyses geen gegevens waren van de bijhorende leidingen, kunnen deze gegevens niet worden vertaald naar storingsfrequenties. De uitspraken moeten dus gelezen worden als 'gegeven een storing op leidingmateriaal x, dan is de kans op het optreden van een erosiekrater y%'.

De verkregen storingsdata is geverifieerd, door een nadere controle van de extreme waarden, aangezien deze een belangrijke rol spelen in de bevindingen. Alle storingen met een krateroppervlakte groter of gelijk aan 10 m² zijn apart bekeken. Hierbij zijn onlogische records verwijderd, zoals een leidingbreuk in een 100 mm AC leiding, resulterend in een kraterafmeting van 10 bij 5 meter. De verwachting is dat dit invulfouten betreft.

Van de resterende 11.318 storingen die in de analyse zijn meegenomen, is voor 10.156 storingen (90%) aangegeven dat er geen sprake is van een krater. Voor 169 storingen (1,5%) is de krater groter dan 10 m². Bij de storingen waar geen krater is opgetreden was er wel sprake van dat water aan de oppervlakte kwam, het incident heeft immers geleid tot een gerapporteerde storing. Uit Tabel 26 blijkt dat storingen op een AC leiding vaker dan gemiddeld een krater tot gevolg hebben. De achtergrond hiervan vergt nader onderzoek.

Tabel 26 Overzicht van storingen met en zonder krater voor de belangrijkste leidingmaterialen.

Materiaal	Aantal storingen	Kratervorming	percentage kratervorming
Alle materialen	11341	1185	10,4%
AC	5219	753	14,4%
GIJ	1652	126	7,6%
PVC	3862	286	7,4%
PE	443	11	2,5%
Overig	165		

Voor de vier belangrijkste leidingmaterialen zijn de gegevens over erosiekraters nader geanalyseerd.

AC-leidingen

- Bij 14% van de storingen treedt een erosiekrater op, bij 2,1% van de storingen is de krater groter dan 10 m².
- Het hoogste aandeel kraters komt voor in de diameterklasse 100-150 mm (15% van de storingen), bij toenemende diameter neemt het aandeel kraters af. Bij toenemende diameter is er sprake van een toenemende kratergrootte.
- Er lijken geen noemenswaardige verschillen in de krateromvang op basis van het aanlegjaar.

GIJ-leidingen

- Bij 7% van de storingen treedt een erosiekrater op, bij 0,8% van de storingen is de krater groter dan 10 m².
- Het grootste aandeel kraters komt voor in de diameterklasse 150-400 mm (10% van de storingen), bij toenemende diameter neemt het aandeel kraters toe. In de diametersklasse 400-700 mm is het aandeel kraters 17% van de storingen, dit betreft echter een zeer beperkt aantal storingen. Bij toenemende diameter is er sprake van een toenemende kratergrootte, deze toename is sterker dan bij AC.

- c Het aandeel kraters is relatief hoog bij GGIIJ dat is aangelegd na 1940 (8% van de storingen). Ook is de gemiddelde kratergrootte groter bij leidingen die zijn gelegd na 1940.

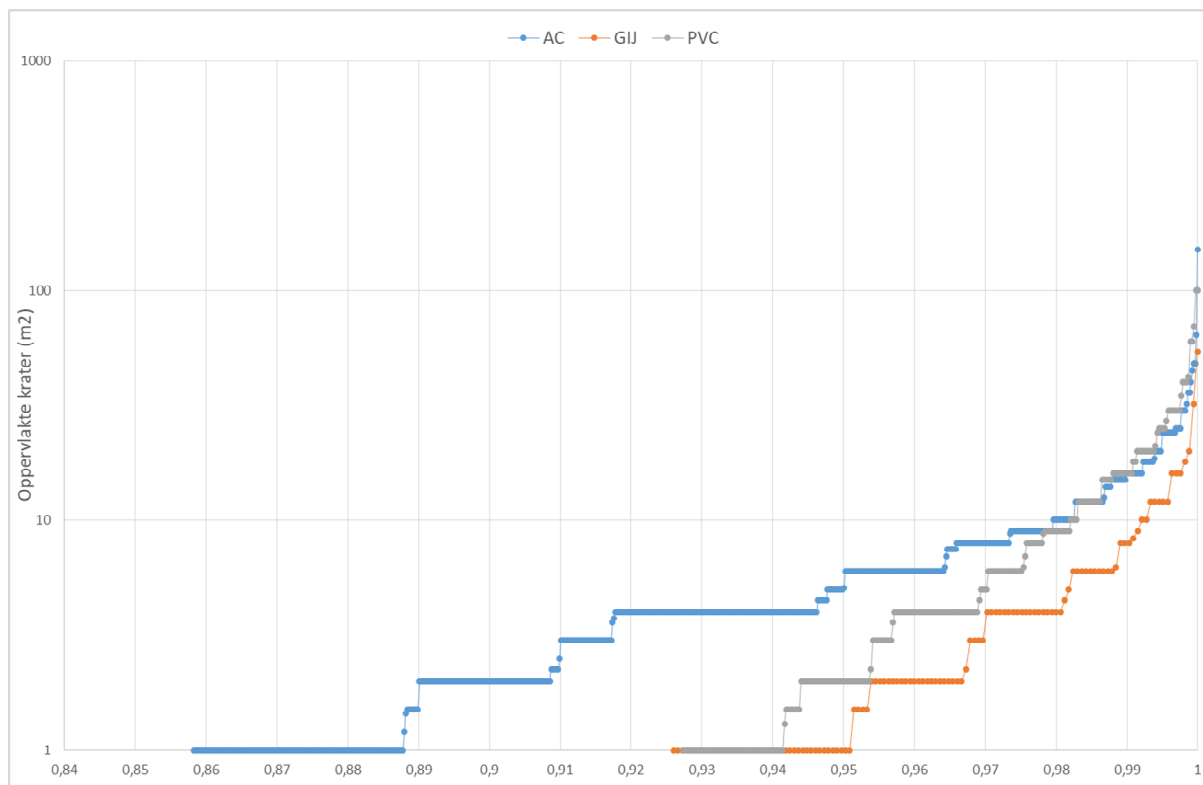
PVC-leidingen

- a Bij 7% van de storingen treedt een erosiekrater op, bij 1,8% van de storingen is de krater groter dan 10 m².
- b Het aandeel kraters neemt toe bij toenemende diameter (dit in sterkere mate dan bij GIJ). Dit bedraagt 3% van de storingen bij de leidingen kleiner dan 90 mm en 31% bij de leidingen groter dan 400 mm. Bij toenemende diameter is er sprake van een toenemende kratergrootte, deze toename is sterker dan bij AC en bij GGIIJ.
- c Leidingen die zijn aangelegd tussen 1970 en 1979 hebben relatief vaker kraters en deze zijn relatief groter dan leidingen aangelegd voor 1970 of na 1980. Leidingen aangelegd voor 1970 hebben in 5% van de storingen een krater. Leidingen aangelegd vanaf 1980 hebben in 6% van de storingen een krater. Daarentegen hebben leidingen aangelegd tussen 1970 en 1979 in 13% van de storingen een krater. In deze laatste groep zijn ook de oppervlakten relatief groot.

PE-leidingen

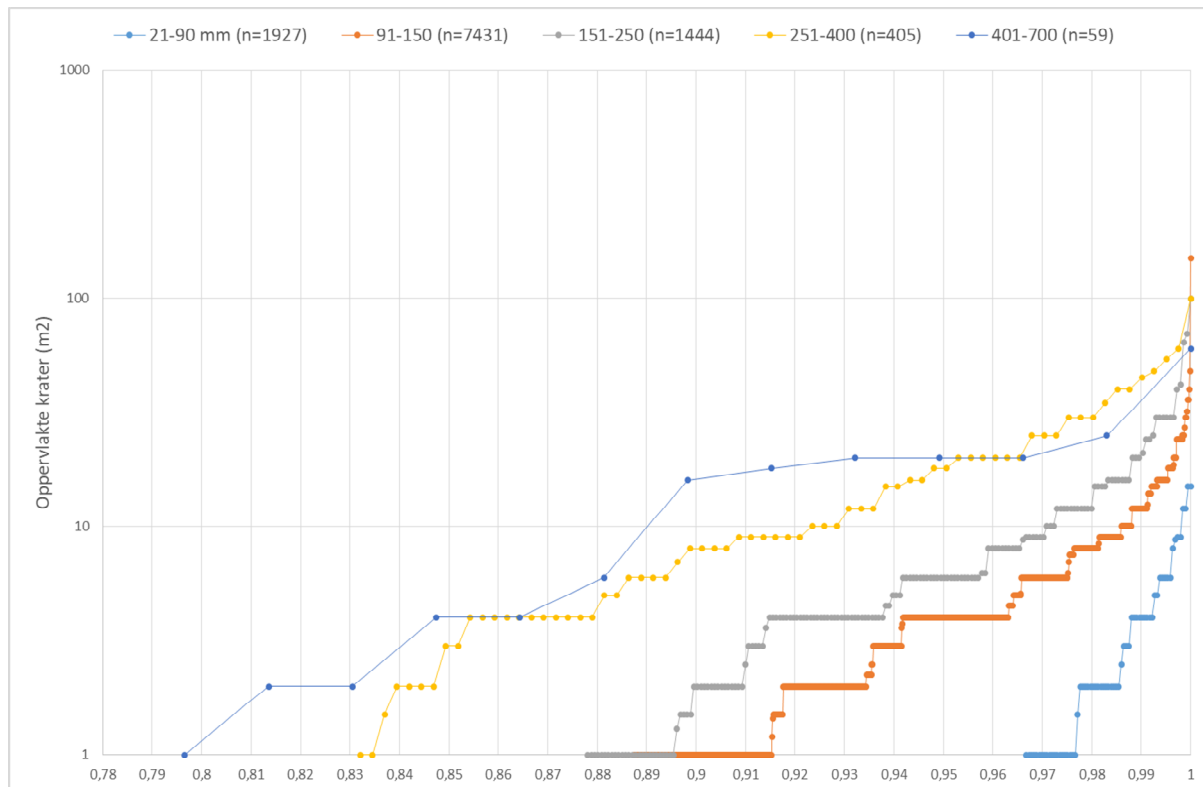
- a Bij 3% van de storingen treedt een erosiekrater op. In geen enkel geval heeft de krater een oppervlakte groter dan 10 m².
- b Er zijn geen kraters opgetreden in leidingen met een diameter groter of gelijk aan 150 mm.
- c Het aantal storingen is te beperkt om hier verder conclusies aan te verbinden.

De gegevens over erosiekraters zijn in Figuur 1 en Figuur 2 vertaald naar cumulatieve frequentieverdelingen voor de materialen AC, GIJ en PVC. Voor PE is dit gezien de beperkte omvang van het aantal storingen niet zinvol. In Figuur 1 is te zien dat overeenkomstig Tabel 26 er geen kraters zijn gemeten bij 86% van de AC-storingen, 92% van de GIJ-storingen en 93% van de PVC-storingen. Een krateroppervlak van 2 m² of minder is gemeten bij 89% van de AC-storingen, 97% van de GIJ-storingen en 95% van de PVC-storingen. Een krateroppervlak van 10 m² of minder is gemeten bij 98% van de AC-storingen, 99% van de GIJ-storingen en 98% van de PVC-storingen.



Figuur 1 Cumulatieve frequentieverdeling van erosiekraters voor de materialen AC, GGIIJ en PVC.

In Figuur 2 is te zien dat op leidingen met een diameter van 90 mm en kleiner in 97% van de storingen geen kraters zijn gemeten. Een krateroppervlak van 2 m² of minder is gemeten bij 99% van de storingen en van 10 m² of minder is gemeten bij vrijwel 100% van de storingen. Voor storingen op leidingen van 91 tot en met 150 mm, betreft dit respectievelijk 89%, 93% en 99%. Voor storingen op leidingen van 151 tot en met 250 mm, betreft dit respectievelijk 88%, 91% en 97%. Voor storingen op leidingen van 251 tot en met 400 mm, betreft dit respectievelijk 83%, 85% en 93%. Voor storingen op leidingen van groter dan 400 mm, betreft dit respectievelijk 80%, 83% en 89%.



Figuur 2 Cumulatieve frequentieverdeling van erosiekraters voor verschillende diameterklassen.

De informatie die in dit hoofdstuk is beschreven, bevat informatie die afkomstig is uit de registratie van één drinkwaterbedrijf. Bij het optreden van erosiekraters spelen ook andere factoren dan hier beschreven een rol, zoals de volumestroom van het lekkende water, bodembekleding, diepteligging en grondsoort. Bij een nadere analyse zouden deze factoren verkend kunnen worden.

6 Conclusies en aanbevelingen

Met behulp van USTORE, de vrijwillige storingsregistratie van Nederlandse drinkwaterbedrijven, waarbij gegevens zijn gebruikt van acht bedrijven, is voor dit project een schatting gemaakt van de storingsfrequenties van de zes belangrijkste leidingmaterialen, te weten: asbestcement, grijs gietijzer, nodulair gietijzer, staal, polyetheen en polyvinylchloride. Het totaal aantal storingen dat is betrokken in deze analyse betreft 22.352. De gemiddelde storingsfrequentie voor alle zes hier beschouwde drinkwaterleidingen bedraagt 0,05 storingen per km per jaar. Dit aantal betreft alle storingen. De storingsfrequentie exclusief oorzaak derden bedraagt 0,04 storingen per km per jaar. De storingsfrequentie kent aanzienlijke verschillen per leidingmateriaal, diameter en periode van aanleg. Hiervoor wordt verwezen naar hoofdstuk 4.

Er is sprake van een storing als er een melding heeft plaatsgevonden die duidt op lekkage van een leiding, die door monteurs ter plekke is bevestigd. Afgezien van bijzondere situaties voeren drinkwaterbedrijven geen actief lekzoekprogramma uit. Bovenstaande storingsfrequenties zijn daarom exclusief niet-gedetecteerde lekken.

De registratie van storingen volgens USTORE, mag beschouwd worden als relatief betrouwbaar. Bij alle deelnemende bedrijven is de storingsregistratie een integraal onderdeel van de werkinstructies en bijbehorende ICT-processen. Monteurs worden ook regelmatig geïnstrueerd over de registratie van storingen en de ingevoerde gegevens worden achteraf gecontroleerd.

De hier gepresenteerde storingsfrequenties kunnen worden ingezet in de door Deltares uit te werken integrale risicoanalyse. Deze storingsfrequenties zijn tevens te gebruiken bij het beoordelen van faalkansen van leidingen in waterkeringen. Aan NEN wordt aanbevolen om te komen tot een herziening van de huidige lekkagefrequentie in de NPR 3659 en de in dit rapport gepresenteerde frequenties te hanteren.

Uit metingen van één drinkwaterbedrijf is informatie verkregen over het optreden van een erosiekrater in het geval zich een storing heeft voorgedaan. Uit deze gegevens blijkt dat in ongeveer 10% van de storingen er een erosiekrater optreedt en in 1,5% is de krater groter dan 10 m². Verder blijkt dat het aandeel kraters naar verhouding groter is bij AC-leidingen en PVC leidingen uit de jaren zeventig.

7 Referenties

- [1] Beuken, R.H.S. en A. Moerman, Uniforme storingsregistratie – USTORE (2017). Praktijkcode voor het beheer van storingsregistratie van leidingnetten, PCD-9: 2017, KWR, Nieuwegein.
- [2] European Benchmarking Co-operation (2019) “Learning from International Best Practices, 2019 Water & Wastewater Benchmark”:
<http://www.waterbenchmark.org/handlers/ballroom.ashx?function=download&id=3057&rnd=0.19186797652157717>
- [3] Folkman, S. (2019), “Water Main Break Rates In the USA and Canada: A Comprehensive Study March2018,”:
https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1173&context=mae_facpub
- [4] Vewin Drinkwaterstatistiek 2017:
<https://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Cijfers/Drinkwaterstatistieken-2017-NL.pdf>

I Overzicht lengte drinkwaterleidingen

Om de in dit rapport bepaalde storingsfrequenties te kunnen duiden, is hier een overzicht gegeven van de lengte van het Nederlandse leidingnet. Deze informatie is afkomstig van Vewin. Deze gegevens zijn tevens vergeleken met het aantal leidingen dat is gebruikt voor de in dit rapport berekende storingsfrequenties.

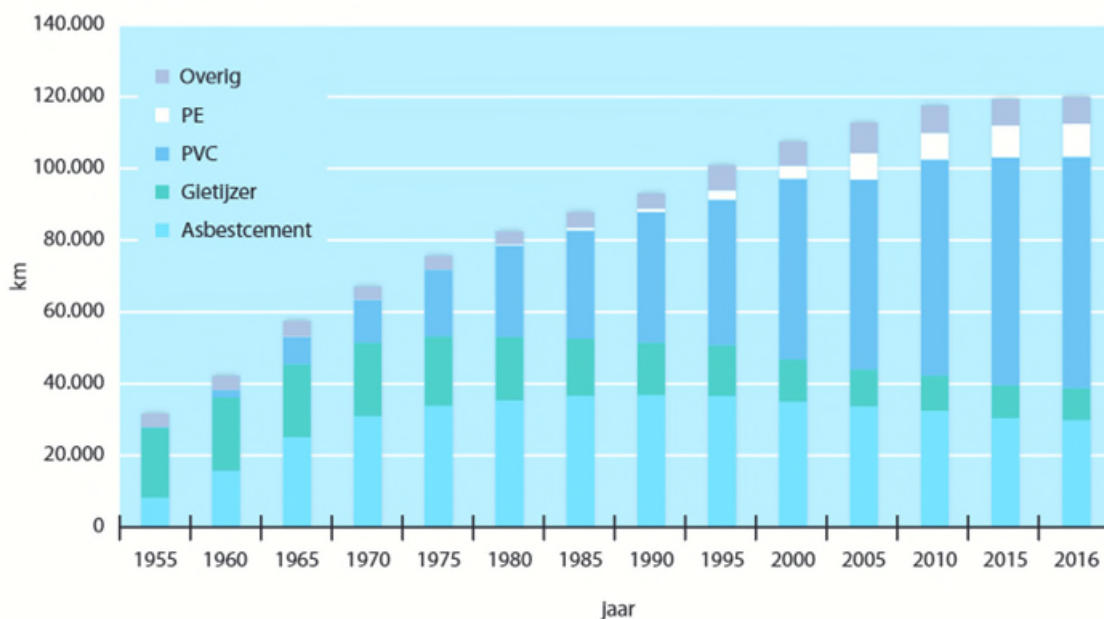
Cijfers afkomstig uit Drinkwaterstatistiek 2017, Vewin [4]

Lengte en samenstelling van het transport- en hoofdleidingnet 2016 (kilometer)

Tabel 1.5

	Totaal	PVC	Asbest- cement	Gietijzer	PE	Nodulair gietijzer	Staal	Beton	Overig
Brabant Water	18.139	9.967	6.326	1.291	306	69	92	46	42
Dunea	4.834	2.768	653	670	372	232	34	93	10
Evides Waterbedrijf	13.473	7.553	2.991	419	1.306	11	1.008	108	77
Oasen	4.203	2.333	261	111	1.240	67	188	2	2
PWN	9.948	2.477	4.085	610	1.862	499	178	195	41
Vitens	47.303	30.259	9.260	3.735	3.559	105	163	77	145
Waternet	3.130	944	61	718	243	506	114	358	184
Waterbedrijf Groningen	5.085	2.275	1.624	898	125	-	123	21	20
WMD Drinkwater	5.164	3.912	923	-	183	145	1	-	-
WML	8.782	1.931	3.622	525	91	1.750	858	2	2
Nederland	120.061	64.420	29.807	8.977	9.288	3.385	2.759	902	524

Figuur 1.8 Ontwikkeling drinkwaternet



II Aantal geregistreeerde storingen in USTORE

Om inzicht te krijgen in de verdeling van het aantal storingen over leidingmaterialen en diameters, is in deze bijlage het aantal storingen weergegeven dat als basis dient voor de berekende storingsfrequentie in respectievelijk Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5.

Tabel 27 Aantal in USTORE geregistreeerde storingen, incl. externe oorzaken

Storingen per km per jaar				
Materiaal	Diameter			Per materiaal
	40 124 mm	125-200 mm	201-2000 mm	
Asbestcement	8545	3720	726	12991
Grijs gietijzer	1245	667	156	2068
Nodulair gietijzer	48	27	21	96
Staal	1642	437	101	2180
PE	188	71	17	276
PVC	3524	941	247	4712
Per diametergroep:	15205	5878	1269	22352

Tabel 28 Aantal in USTORE geregistreeerde storingen, excl. externe oorzaken

Storingen per km per jaar				
Materiaal	Diameter			Per materiaal
	40 124 mm	125-200 mm	201-2000 mm	
Asbestcement	7387	3439	658	11484
Grijs gietijzer	1138	617	144	1899
Nodulair gietijzer	39	23	18	80
Staal	1635	432	98	2165
PE	113	51	15	179
PVC	2114	708	216	3038
Per diametergroep:	12438	5285	1150	18873

Tabel 29 Aantal in USTORE geregistreeerde storingen als gevolg van externe oorzaken

Storingen per km per jaar				
Materiaal	Diameter			Per materiaal
	40 124 mm	125-200 mm	201-2000 mm	
Asbestcement	1158	281	68	1507
Grijs gietijzer	107	50	12	169
Nodulair gietijzer	9	4	3	16
Staal	7	5	3	15
PE	75	20	2	97
PVC	1410	233	31	1674
Per diametergroep:	2767	593	119	3479

Bijlage D Analyse Nestor-database

GT-200187

23 November 2020

Lekfrequenties van gasdistributieleidingen

Analyse voor het POV-K&L project 'Filters voor parallel
gelegen leidingen'



▶ **Partner
for
Progress**



GT-200187

23 November 2020

Lekfrequenties van gasdistributieleidingen

Analyse voor het POV-K&L project 'Filters voor
parallel gelegen leidingen'

© 2020 Kiwa N.V.

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
worden veelevoudigd,
opgeslagen in een
geautomatiseerd
gegevensbestand, of openbaar
gemaakt, in enige vorm of op
enige wijze, hetzij elektronisch,
mechanisch, door fotokopieën,
opnamen, of enig andere
manier, zonder voorafgaande
schriftelijke toestemming van de
uitgever.

Kiwa Technology B.V.
Wilmersdorf 50
postbus 137
7300 AC Apeldoorn

Tel. 088 998 35 21
technology@kiwa.nl

www.kiwatechnology.com

Colofon

Titel

Lekfrequenties van
gasdistributieleidingen

Projectnummer

004P001907

Projectmanager

R.J.M. Hermkens

Opdrachtgever

Deltares

Kwaliteitsborger

C.J.A. Pulles

Auteur

P.J. Postma



Voorwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd ten behoeve van het POV K&L project 'Filters voor parallel gelegen leidingen'.

Samenwerking met KWR

Gelijktijdig met het onderzoek van Kiwa Technology naar de lekfrequenties van gasleidingen, heeft KWR eenzelfde onderzoek gedaan naar lekfrequenties van waterleidingen. Tussen KWR en Kiwa Technology heeft hierover afstemming plaatsgevonden.

De resultaten van KWR staan beschreven in het rapport "Storingsfrequenties drinkwaterleidingen" [1].

Medewerking Netbeheer Nederland

Om de lekfrequentie vast te kunnen stellen is gebruik gemaakt van storingsinformatie van de netbeheerders. Deze informatie is beschikbaar in het landelijke storingsregister NESTOR, dat door Netbeheer Nederland beheerd wordt. Netbeheer Nederland heeft toestemming gegeven om NESTOR-gegevens ten behoeve van dit project te gebruiken.

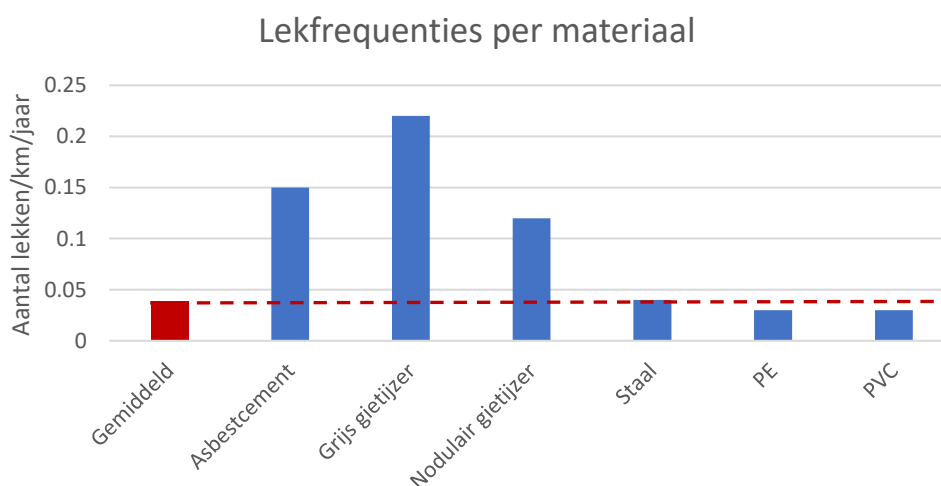


Samenvatting

In opdracht van Deltares heeft Kiwa Technology de kansen op lekken in gasleidingen bepaald ten behoeve van het POV K&L project 'Filters voor parallel gelegen leidingen'.

De gemiddelde lekfrequentie van gasleidingen is 0,04 lekken per km per jaar, indien geen onderscheid wordt gemaakt naar leidingmateriaal, diameter en netdruk. Sommige oude leidingmaterialen (asbestcement, grijs gietijzer en nodulair gietijzer) vertonen echter beduidend hogere lekfrequenties, zoals in onderstaande figuur zichtbaar is. Dat de gemiddelde lekfrequentie desondanks zo laag is, komt omdat de oude materialen met hoge lekfrequenties relatief nog maar weinig voorkomen.

De in dit rapport gepresenteerde lekfrequenties zijn vastgesteld op basis van landelijke storingsgegevens over een periode van 10 jaar (2009 tot en met 2018).



Figuur 1 De gemiddelde lekfrequentie en de lekfrequentie per leidingmateriaal



inhoudsopgave

	Voorwoord	1
	Samenvatting	2
	inhoudsopgave	3
1	Lekfrequenties	5
1.1	Achtergrond	5
2	Netstructuur gasdistributienet	6
3	Basisgegevens voor de berekening	8
3.1	NESTOR	8
3.2	CODATA	10
4	Indeling van storingen	11
4.1	Generieke indeling, Niveau 1	11
4.2	Specifieke indeling leidinggroepen, Niveau 2	12
4.3	Categorisering oorzaak lekkages	12
5	Lekfrequenties	14
5.1	Lekfrequenties generieke indeling, Niveau 1	14
5.1.1	Lekfrequenties alle lekken	14
5.1.2	Lekfrequenties, exclusief lekken door externe oorzaken	15
5.1.3	Lekfrequenties als gevolg van externe oorzaken	16
5.2	Lekfrequenties specifieke indeling, Niveau 2	16
5.2.1	Lekfrequenties alle lekken	16
5.2.2	Lekfrequenties, exclusief lekken door externe oorzaken	17
5.2.3	Lekfrequenties als gevolg van externe oorzaken	18
6	Conclusies en aanbevelingen	20
7	Verwijzingen	21
I	Aantal lekken en netlengtes	22
I.1	Lekken en netlengte totale net (2009-2018)	22
I.2	Lekken en netlengte per materiaal (2009-2018)	22
I.3	Lekken en netlengte per diameter (2009-2018)	22
I.4	Lekken en netlengte per druk (2009-2018)	22
I.5	Aantal lekken per materiaal en diameter (2009-2018)	23
I.5.1	Totaal aantal lekken (2009-2018)	23
I.5.2	Aantal lekken, excl. externe oorzaken (2009-2018)	23
I.5.3	Aantal lekken als gevolg van externe oorzaken (2009-2018)	23



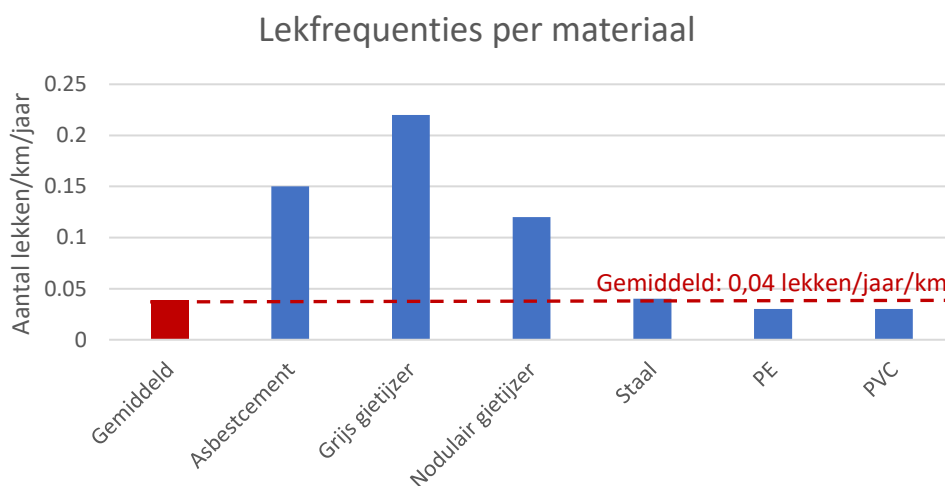
I.6	Aantal lekken per druk, materiaal en diameter (2009-2018)	24
I.6.1	Totaal aantal lekken (2009-2018)	24
I.6.2	Aantal lekken, excl. externe oorzaken (2009-2018)	25
I.6.3	Aantal lekken als gevolg van externe oorzaken (2009-2018)	26
II	Definities	27



1 Lekk frequenties

In opdracht van Deltares heeft Kiwa Technology de kansen op lekken in gasleidingen bepaald ten behoeve van het POV K&L project 'Filters voor parallel gelegen leidingen'.

De gemiddelde lek frequentie van gasleidingen is 0,04 lekken per km per jaar, indien geen onderscheid wordt gemaakt naar leidingmateriaal, diameter en netdruk. Sommige oude leidingmaterialen vertonen echter beduidend hogere lek frequenties, zoals in onderstaande figuur zichtbaar is. De lek frequenties zijn vastgesteld op basis van landelijke storingsgegevens over een periode van 10 jaar (2009 tot en met 2018).



Figuur 1: De gemiddelde lek frequentie en de lek frequentie per leidingmateriaal.

De lek frequenties hebben betrekking op hoofdleidingen van het gasdistributienet. Dat is inclusief de aanwezige verbindingen, maar exclusief de aansluitleidingen¹. Verder beperkt het zich tot de grote/risicovolle² lekken.

Gelijktijdig met het onderzoek van Kiwa Technology naar de lek frequenties van gasleidingen, heeft KWR eenzelfde onderzoek gedaan naar lek frequenties van waterleidingen [1]. Daarbij heeft er afstemming plaatsgevonden tussen KWR en Kiwa Technology om, voor zover mogelijk, tot een eenduidige indeling te komen. Een en ander wordt toegelicht in de betreffende hoofdstukken.

1.1 Achtergrond

In het kader van het HWBP (Hoogwaterbeschermingsprogramma) worden faalkansberekeningen uitgevoerd. Daarvoor zijn faalkansen (kans op lekkages) van leiding in de nabijheid van waterkeringen nodig. De lek frequenties voor gasleidingen die genoemd worden in NPR 3659:A1:C1:1996, zijn inmiddels gedateerd (periode 1965-1980) [2]. Kiwa Technology is daarom gevraagd de lek frequenties op basis van de geregistreerde lekken in gasdistributieleidingen vast te stellen over de periode 2009 tot en met 2018.

¹ Een aansluitleiding is de verbindende leiding tussen het distributienet en de afnemer, zie ook hoofdstuk 2.

² Lekken worden als risicovol beschouwd indien een verhoogde kans op schade, gewonden of doden is, als gevolg van brand of explosie. Dat is het geval indien het lek groot is en/of dicht in de buurt van een gebouw is. Het heeft dus geen betrekking op de eventuele risico's voor het functioneren van een dijklichaam.



2 Netstructuur gasdistributienet

De Nederlandse gasinfrastructuur is onder te verdelen in het landelijke gastransportnet (beheerd door Gasunie Transport Services, een onderdeel van de Nederlandse Gasunie) en een groot aantal lokale distributienetten [3]. Deze distributienetten worden beheerd door de zeven regionale netbeheerders.

De grens tussen het landelijk transportnet en de distributienetten ligt bij het zogenaamde gasontvangststation (GOS). Het gasdistributienet bevat alles vanaf het GOS tot en met de gasmeter bij de gebruiker.

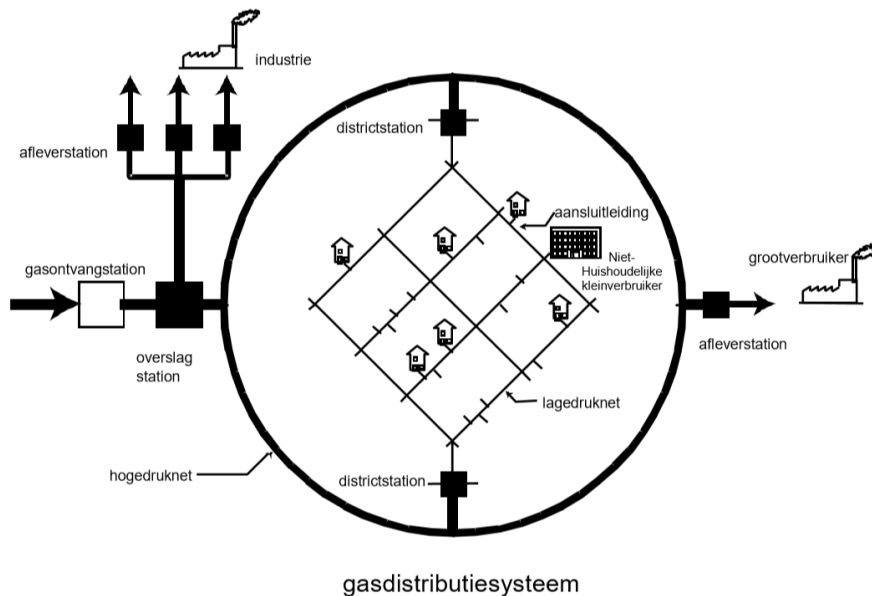
Gasdistributienetten worden onderscheiden naar hun maximale bedrijfsdruk¹ (MOP: Maximum Operating Pressure). Dit is de daadwerkelijke druk die in het net aanwezig is. Afhankelijke van de gasvraag en de afstand tot het station kan de druk lokaal lager zijn als gevolg van de stromingsweerstand.

In Nederland gelden een aantal standaard/veel voorkomende druktrappen, die genoemd worden naar hun bedrijfsdruk (de drukken worden uitgedrukt in overdruk t.o.v. de luchtdruk):

- 8 bar (0,8 MPa)
- 4 bar (0,4 MPa)
- 1 bar (0,1 MPa)
- 100 mbar (10 kPa)
- 30 mbar (3 kPa)

De netten met een druk van 1 bar of meer worden ook wel hogedruknetten genoemd (let op: niet te verwarren met het hogedruk landelijk transportnet) en hebben voornamelijk een regionale transportfunctie. Deze netten liggen daarom niet alleen in het stedelijke gebied, maar ook in de buitengebieden. De 100 mbar en 30 mbar netten worden ook wel lagedruknetten genoemd, en hebben een distributiefunctie. Om die reden liggen lagedruknetten vooral in stedelijke gebied. De hogedruknetten voeden de lagedruknetten. De koppeling gaat via stations waar onder meer de druk wordt gereduceerd met regelaars. Een en ander is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.

¹ Dit is de daadwerkelijke druk die in het net aanwezig is. Afhankelijke van de gasvraag en de afstand tot het station kan de druk lokaal lager zijn als gevolg van de stromingsweerstand.



Figuur 2: Schematische weergave van het gasdistributiesysteem

Om de leveringszekerheid te verhogen, zijn de hogedruknetten vaak in een ringvorm aangelegd, terwijl de lagedruknetten vaak in sterke mate vermaasd zijn.

Verder wordt onderscheid gemaakt tussen hoofdleidingen en aansluitleidingen. De hoofdleidingen bestaan uit alle leidingen (inclusief alle verbinden en appendages, exclusief stations) die het distributiesysteem vormen. Hoofdleidingen liggen voornamelijk in publieke grond. De aansluitleidingen verbinden de afnemers met de hoofdleidingen en liggen derhalve veelal in particuliere grond.

De gebruikte buismaterialen verschillen per druktrap. Voor lagedruknetten wordt vooral PVC gebruikt. Voor hogedruknetten wordt vooral staal en (in toenemende mate) PE gebruikt.



3 Basisgegevens voor de berekening

Voor de berekening van de lekfrequenties is gebruik gemaakt van beschikbare gegevensbronnen. Het betreft de volgende brongegevens:

- Lekgegevens: NESTOR
- Netlengte: CODATA

Van deze bronnen zijn de gegevens gebruikt over een periode van 10 jaar. Er is daarbij gekozen voor de meest recente periode waarvoor de storingscijfers definitief zijn vastgesteld. Dit betreft de periode van 2009 tot en met 2018.

In de loop van de tijd veranderen de netlengtes en het aantal storingen. Om de lekfrequenties te bepalen, is gekozen om het gemiddelde aantal lekken per jaar te bepalen en dit te delen door de gemiddelde netlengte in deze 10 jaar.

De achtergronden van NESTOR en CODATA worden hieronder in meer detail beschreven.

3.1 NESTOR

De Autoriteit Consument en Markt (ACM) verwacht dat de regionale en landelijke netbeheerders jaarlijks inzicht geven in de betrouwbaarheid en veiligheid van het gasnet [3]. De netbeheerders gebruiken een landelijke methode voor het registreren van storingen en geplande onderbrekingen: NESTOR Gas. De NESTOR-registratie is ingevoerd in 1976. Bij de start konden netbeheerders nog op vrijwillige basis meedoen. Sinds 2005 participeren alle netbeheerders [4]. Inmiddels zijn alle netbeheerders in Nederland verplicht om de registratie in te vullen [3].

NESTOR zorgt ervoor dat alle netbeheerders in Nederland op dezelfde manier registreren [5]. De doelen van NESTOR-registratie zijn:

- invulling geven aan de verplichting uit de MRQ (Ministeriële regeling kwaliteitsaspecten netbeheer elektriciteit en gas);
- de betrouwbaarheid van de levering van elektriciteit en gas in Nederland én per netbeheerder in kaart brengen;
- de veiligheid van de levering van gas in Nederland in kaart brengen.

Voor de netbeheerders zelf is NESTOR ook belangrijk. De netbeheerders willen weten waardoor storingen zijn ontstaan, zodat ze hiervan kunnen leren en ze daardoor storingen kunnen voorkomen. Ook willen ze de storingen zo snel mogelijk verhelpen. Het achterliggende doel is steeds de klant: die moet zo min mogelijk last hebben van storingen en onderbrekingen. Daarom gebruiken de netbeheerders de NESTOR gegevens ook voor onder andere:

- het bepalen of de infrastructuur gewijzigd of onderhouden moet worden, om storingen te voorkomen;
- het storingsproces verbeteren, om een storing zo snel mogelijk op te lossen.

Er vindt registratie plaats van de volgende gegevens, onderscheiden naar drukniveau:

- het identificatienummer dat de netbeheerder toekent aan de storing, de onderbreking of het vastgestelde lek.
- de locatiegegevens van de storing, de onderbreking of het vastgestelde lek¹.
- de datum waarop de netbeheerder het lek vaststelt.
- de datum en het aanvangstijdstip van de storing of onderbreking.
- de datum en het tijdstip van beëindiging van de onderbreking.

¹ De locatiegegevens zijn niet beschikbaar voor dit onderzoek.

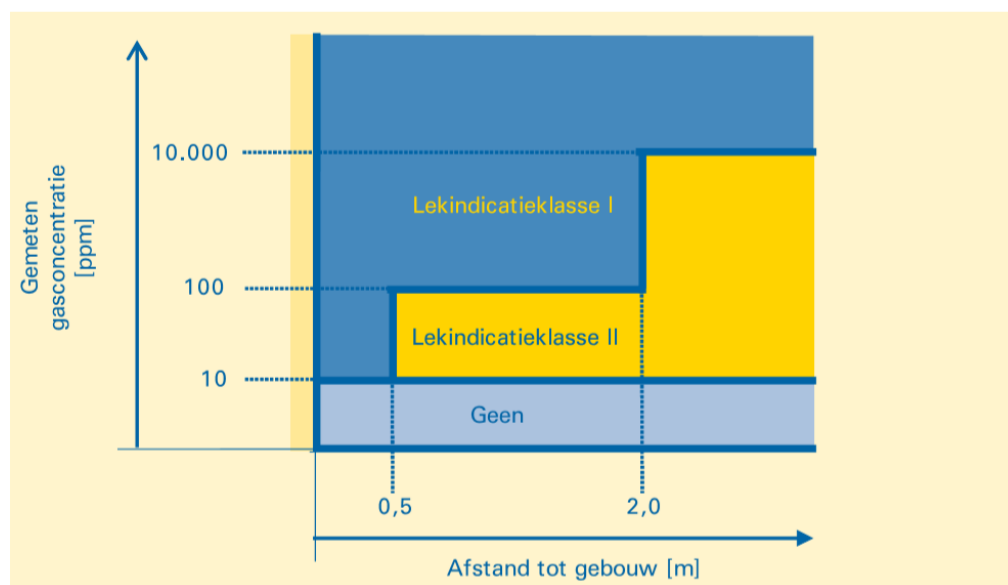


- het onderscheid tussen storingen waarbij de veiligheid van personen of objecten in onmiddellijk gevaar is en storingen waarbij dat niet het geval is.
- de datum en het tijdstip van veiligstellen van storingen waarbij de veiligheid van personen of objecten in onmiddellijk gevaar is (kans op (letsel)schade als gevolg van brand of explosie).
- de aard en oorzaak van de storing, waarmee wordt aangegeven of het bijvoorbeeld om een lekkage dan wel om te hoge of te lage druk ging.
- het drukniveau van het onderdeel van het gastransportnet waarin de storing of onderbreking zich voordoet of waarin het lek is vastgesteld.
- de wijze waarop de netbeheerder het lek heeft vastgesteld.
- het totale aantal getroffen afnemers.

In NESTOR worden meerdere typen storingen geregistreerd, waaronder lekkages. Ten behoeve van dit rapport zijn uitsluitend de geregistreerde lekken gebruikt en zijn andersoortige storingen buiten beschouwing gelaten.

Alleen categorie I lekken

Een deel van de geregistreerde lekken zijn geconstateerd bij het lekzoeken. Van de lekken die bij lekzoeken worden vastgesteld, zijn in deze rapportage alleen de zogenaamde categorie I lekken geteld. De categorisering van lekken gebeurt op basis van de gemeten hoeveelheid gas en de afstand tot gebouwen [6], zoals weergegeven in de volgende figuur.



Figuur 3: Categorisering lekken volgens de meetprocedure voor bovengronds lekzoeken (bron: Gasnet, jaargang 21 nummer 2 [7])

De reden om categorie II lekken niet mee te tellen in de lekfrequenties is dat het hier om kleine lekjes gaat die geen risico vormen voor eventuele kratervorming.

Of er wel of geen ontgroning heeft plaatsgevonden, wordt overigens niet in de NESTOR-data vastgelegd. Evenmin wordt de grootte van het gat in de leiding gerapporteerd. Bij waterleidingen wordt wel eens onderscheid gemaakt tussen gapend en sluipend lek, in verband met de risico's voor waterkeringen [8]. Maar een dergelijk onderscheid kan op basis van de NESTOR data niet worden gemaakt voor gasleidingen.



3.2 CODATA

De Gaswet kent diverse verplichtingen voor de netbeheerders tot het verstrekken van informatie aan de Minister van Economische Zaken dan wel de Autoriteit Consument en Markt (ACM) [9]. In dat verband wordt een informatiecycclus aangehouden onder de naam CODATA [10].

De CODATA gegevens worden jaarlijks verstrekt door de netbeheerders. Onderdeel hiervan zijn de gegevens over transport- en distributieleidingen. De gegevens over leidingen bestaan uit:

- De lengte
- De materiaalsoort
- De bedrijfsdruk¹

Er wordt bij CODATA geen onderscheid gemaakt naar diameter. Om bij de lekfrequenties toch onderscheid te kunnen maken naar diameter is gebruik gemaakt van een diameterverdeling die in 2008 is vastgesteld [11]. Hierin staat de toen geldende diameterverdeling per materiaal. Kiwa acht het aannemelijk dat de diameterverdeling in de loop van de tijd niet veel varieert en daarmee voldoende basis vormt om de lekfrequenties per diametergroep te kunnen bepalen.

¹ Zie hoofdstuk 2.



4 Indeling van storingen

Naast de lekfrequentie voor het hele net, zijn ook de lekfrequenties voor mogelijk relevante deelpopulaties bepaald. Daarbij is in samenwerking met KWR een vergelijking gemaakt met de beschikbare informatie voor water- en gasleidingen. Voor een deel is de informatie gelijk en kan dezelfde indeling worden toegepast. Maar er zijn ook een aantal verschillen. In onderling overleg is besloten om de lekfrequenties op twee niveaus te presenteren:

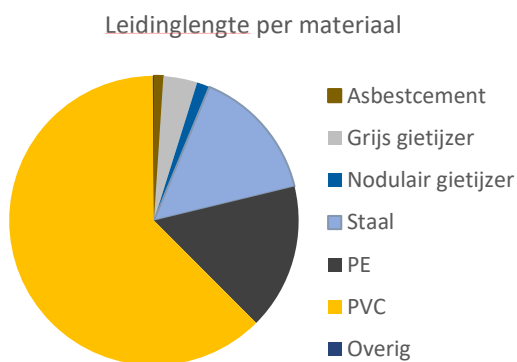
- **Generieke indeling, Niveau 1**
Hierbij worden populaties vastgesteld op basis van categorieën die voor zowel water- als gasleidingen beschikbaar zijn. Het betreft hier de volgende categorieën:
 - Materialen
 - Diametergroepen
- **Specifieke indeling, Niveau 2**
Hier worden de populaties verder uitgesplitst op basis van informatie die voor waterleidingen dan wel gasleidingen specifiek beschikbaar is. In het geval van gasleidingen betreft dit:
 - Maximale Operationele Druk (MOP)

Naast de indeling van de leidingen wordt ook onderscheid gemaakt naar de oorzaak van de lekkage.

4.1 Generieke indeling, Niveau 1

Voor zowel waterleidingen als gasleidingen is in de storingsinformatie het materiaal en de diameter bekend. Voor materialen worden de volgende soorten onderscheiden (met tussen haakjes de daarvoor vaak gebruikte afkortingen):

- Asbestcement (AC)
- Staal (ST)
- Nodulair gietijzer (N.GY)
- Grijs gietijzer (G.GY)
- Koper (CU)
- Polyvinylchloride (PVC)
- Polyetheen (PE)



Hierbij moet opgemerkt worden dat bij PE en PVC ook nog vaak gehanteerde subgroepen bestaan, zoals bijvoorbeeld de verschillende generaties PE en bij PVC het onderscheid tussen zogenaamd hard en slagvast PVC. Maar deze subgroepen worden niet in (al) de brondata onderscheiden. Om die reden is het ook niet mogelijk om deze specificering toe te passen.

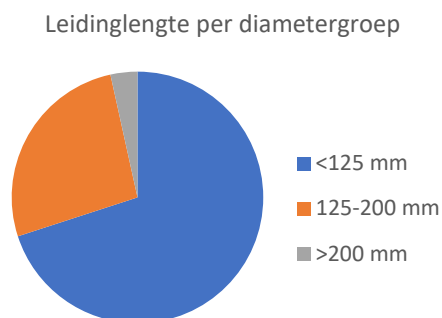
Het onderscheid kan overigens wel relevant zijn. Van 1^e generatie PE is bekend dat het veel gevoeliger is voor puntbelastingen. Bij PVC wordt vaak onderscheid gemaakt tussen hard PVC (het normale PVC dat ook voor waterleidingen wordt gebruikt) en slagvast PVC (dat sinds de jaren 80 voor gasleidingen wordt gebruikt). Dit is vooral relevant met betrekking tot graafschades. Slagvast PVC is iets beter bestand tegen slagbelastingen. Voor zover het onderscheid tussen hard PVC en slagvast PVC kan worden gemaakt, is dit terug te zien in de lekfrequenties. De lekfrequenties van hard PVC en slagvast PVC zijn gelijk indien lekken door externe factoren buiten



beschouwing worden gelaten. Worden lekken door externe factoren wel meegenomen, dan zijn de lekfrequenties van hard PVC twee keer zo hoog.

Naast het materiaal wordt er onderscheid gemaakt naar diameterranges. Deze zijn in de brondata al samengevoegd tot een aantal groepen. Water- en gasleidingen hebben de volgende overeenkomstige diameterranges in de brondata:

- < 125 mm
- 125-200 mm
- > 200 mm

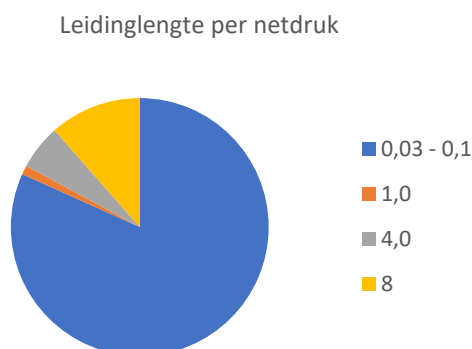


Voor gas kan de groep < 125 mm worden opgesplitst bij 50 mm. Bij water ligt de splitsing van deze groep echter bij 90 mm. Daarom is gekozen om bij de generieke indeling deze groepen samen te voegen. Bij water wordt de groep met diameter >200 mm nog verder onderverdeeld. Dit is voor gas met de beschikbare gegevens niet mogelijk. Bovendien is deze groep bij gas te klein om een verdere uitsplitsing te rechtvaardigen. De grootste diameters die voor gas zijn toegepast, zijn 500 a 600 mm en komen waarschijnlijk alleen voor in oude 30 mbar netten. In de huidige aanlegpraktijk wordt over het algemeen niet groter gelegd dan 315 mm.

4.2 Specifieke indeling leidinggroepen, Niveau 2

Gasnetten zijn onderverdeeld in een aantal druktrappen (zie ook hoofdstuk 2). De volgende standaard druktrappen worden onderscheiden:

- 30 en 100 mbar
- 1 bar
- 4 bar
- 8 bar



Deze indeling is gekozen, omdat 30 en 100 mbar netten dezelfde functie en hetzelfde materiaalgebruik kennen. Er bestaan ook enkele netten met afwijkende drukken. Dit betreft 200 mbar, 2 en 3 bar netten. De 200 mbar netten zijn meegenomen in de groep 30 en 100 mbar. De 2 en 3 bar netten zijn opgenomen in de groep 4 bar.

4.3 Categorisering oorzaak lekkages

Op verzoek van de opdrachtgever worden de lekfrequenties gegeven inclusief en exclusief lekkages als gevolg van zogenaamde externe factoren. Worden deze twee bij elkaar opgeteld, dan geeft dit weer de totale lekfrequentie.



Bij externe factoren moet worden gedacht aan activiteiten door derden, waarbij in principe de kosten verhaalbaar zijn. In de brondata voor gas betreft dit de volgende gedefinieerde oorzaken:

- Door de klant / aangeslotene
- Graafwerk
- Vandalisme/diefstal

Alle andere oorzaken worden niet als externe factor worden beschouwd. Dit betreft de volgende gedefinieerde oorzaken in het storingsregister:

- Aanlegfout (in het verleden)
- Anders, toelichten bij opm.
- Bediening
- Corrosie / veroudering
- Montagefout (nu)
- Onbekend
- Productfout
- Puntbelasting
- Werking van de bodem



5 Lekfrequenties

In dit hoofdstuk worden de lekfrequenties gepresenteerd. De cijfers waarop deze frequenties zijn gebaseerd, staan in bijlage I. Deze cijfers zijn van belang om de hier gegeven frequenties te kunnen wegen. Per indeling worden drie lekfrequenties gegeven:

- Lekfrequenties van alle lekken
- Lekfrequenties, exclusief lekken als gevolgen van externe oorzaken
- Lekfrequenties van lekken uitsluitende als gevolg van externe oorzaken.

De lekfrequenties van de laatste twee punten vormen opgeteld samen de lekfrequenties van alle lekken, zoals genoemd onder het eerst punt. Door het onderverdelen kunnen kleine populaties ontstaan met weinig lekken en/of weinig lengte. Naarmate het aantal (n) lekken kleiner is, wordt de onzekerheid groter (de onzekerheid is evenredig met $\frac{1}{\sqrt{n}}$). In overleg met KWR is daarom tot het volgende besloten:

- De lekfrequentie wordt **grijs** getoond, indien:
 - minder dan 10 lekken zijn gevonden (te grote onzekerheid)
 - de netlengte kleiner dan 10 km is. (onvoldoende representatief).
- De lekfrequentie wordt in **blauw** getoond, indien:
 - het aantal lekken tussen 10 en 50 ligt (lagere zekerheid)

5.1 Lekfrequenties generieke indeling, Niveau 1

Bij de generieke indeling worden de lekken ingedeeld naar materiaal en diametergroep. Van een aantal lekken is het materiaal niet bekend. Het aandeel lekken waarbij het materiaal niet bekend is, betreft 0,8% van alle lekken. Er is ook een deel van de netlengtes waarvan het materiaal niet bekend is. Dit betreft 0,1% van de totale netlengte. De lekken waarvan het materiaal niet bekend is, hebben geen relatie met de netlengte waarvan het materiaal niet van bekend is. Dat betekent dat uit deze twee getallen geen lekfrequentie mag worden berekend. Daarom is deze categorie niet in de tabellen opgenomen. Het is echter wel meegenomen in de lekfrequenties, indien geen onderscheid naar materiaal wordt gemaakt.

5.1.1 Lekfrequenties alle lekken

De lekfrequentie van het totale net is 0,04 lekken per km per jaar. In tabel 1 worden de frequenties gegeven, uitgesplitst naar materiaal en diameter. In de onderste rij worden de frequenties gegeven per diameterrange, zonder onderscheid te maken naar materiaalsoort. In de rechterkolom wordt de frequentie gegeven per materiaalsoort, zonder onderscheid te maken naar diameterrange. Tot slot wordt in de cel rechts onderin de lekfrequentie van het totaal gegeven. Zie bijlage I.5.1 voor het aantal lekken per item.

Tabel 1: Lekfrequenties per materiaal en diametergroep, incl. externe oorzaken

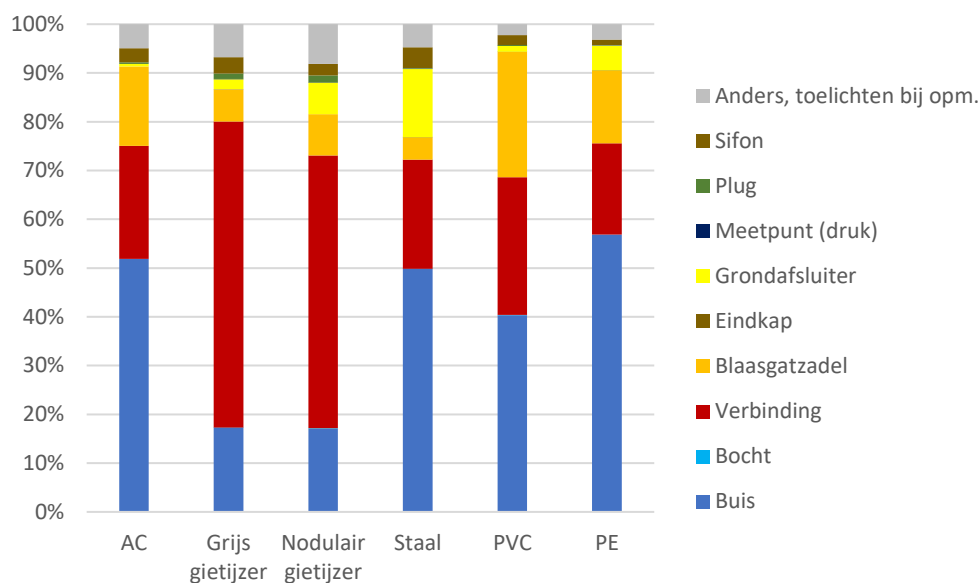
Lekken per km per jaar				
Materiaal	Diameter			Per materiaal
	<125 mm	125-200 mm	>200 mm	
Asbestcement	0,14	0,16	0,17	0,16
Grijs gietijzer	0,18	0,24	0,31	0,23
Nodulair gietijzer	0,10	0,11	0,20	0,13
Staal	0,05	0,02	0,03	0,04
PE	0,02	0,04	0,06	0,03
PVC	0,03	0,03	0,05	0,03
Per diametergroep:	0,03^a	0,04^a	0,10^a	0,04^a

^{a)} Lekfrequentie alle gasleidingen, inclusief lekken waarvan het materiaal niet bekend is.



De tabel laat zien dat vooral per materiaal de lekfrequenties verschillen. Maar ook de diameter lijkt uit te maken. Bij de diameters >200 mm liggen de lekfrequenties twee keer zo hoog. Een deel van de verklaring is gelegen in het feit dat asbestcement, grijs gietijzer en nodulair gietijzer relatief meer voorkomen bij de grotere diameters, Daar komt bij dat juist voor deze materialen een positieve relatie tussen diameter en lekfrequentie zichtbaar is.

Interessant is om ook even te kijken welke componenten het meeste bijdragen aan de lekkages in een leidingsysteem van een bepaald materiaal.



Figuur 4: Relatieve bijdrage aan de lekfrequenties van componenten (per leidingsysteem van een bepaald materiaal)

In figuur 4 is terug te zien dat bij gietijzeren leidingen (zowel grijs als nodulair) relatief vaker problemen zijn met de verbindingen. Vroeger werden hiervoor onder andere zogenaamde lood-striktouwverbindingen voor gebruikt. Bij de overschakeling naar het droge aardgas droogde het hennep uit, waardoor deze verbindingen vaak lekkageproblemen veroorzaken. Dat vooral bij PVC relatief vaak problemen zijn met blaasgatzadels, is niet verwonderlijk. Het zetten van blazen om de leiding tijdelijk af te sluiten is typisch een techniek voor lagedruk netten en PVC is bij uitstek het materiaal dat in lagedruk netten wordt toegepast. Bij staal is juist het aandeel van grondafsluiters groter, wat begrijpelijk is, omdat in hogedruk netten vaker grondafsluiters worden toegepast en staal vooral voor hogedruknetten wordt gebruikt.

5.1.2 Lekfrequenties, exclusief lekken door externe oorzaken

Indien de externe oorzaken niet worden meegenomen, dan is de lekfrequentie van het totale net 0,03 lekken per km per jaar. In *tabel 2* staan deze lekken uitgesplitst naar materiaal en diameter. In de onderste rij worden de frequenties gegeven per diameterrange, zonder onderscheid te maken naar materiaalsoort. In de rechterkolom wordt de frequentie gegeven per materiaalsoort, zonder onderscheid te maken naar diameterrange. Tot slot wordt in de cel rechts onderin de lekfrequentie van het hele net gegeven. Zie voor het totaal aantal lekken per item bijlage I.5.2.



Tabel 2: Lekk frequenties per materiaal en diametergroep, excl. externe oorzaken

Lekken per km per jaar, exclusief externe oorzaken				
Materiaal	Diameter			Per materiaal
	<125 mm	125-200 mm	>200 mm	
Asbestcement	0,13	0,15	0,16	0,14
Grijs gietijzer	0,17	0,23	0,30	0,21
Nodulair gietijzer	0,09	0,10	0,19	0,12
Staal	0,05	0,02	0,03	0,03
PE	0,02	0,03	0,05	0,02
PVC	0,01	0,02	0,04	0,02
Per diametergroep:	0,02^a	0,04^a	0,09^a	0,03^a

^{a)} Lekk frequentie alle gasleidingen, inclusief lekken waarvan het materiaal niet bekend is.

In vergelijking tot de lek frequenties inclusief externe oorzaken valt op dat het weglaten van externe invloeden geen invloed heeft op de getallen voor nodulair gietijzer en staal. Dit is te begrijpen, omdat leidingen van staal en nodulair gietijzer veel minder gevoelig zijn voor graafschade dan de overige materialen.

5.1.3 Lekk frequenties als gevolg van externe oorzaken

In de onderstaande tabel zijn de lek frequenties gegeven als gevolg van externe oorzaken. De frequenties zijn gegeven met een extra cijfer achter de komma, omdat de frequenties erg laag zijn. Zie voor het totaal aantal lekken per item bijlage 5.1.3.

Tabel 3: Lekk frequenties als gevolg van externe oorzaken

Lekken per km per jaar als gevolg van externe oorzaken				
Materiaal	Diameter			Per materiaal
	<125 mm	125-200 mm	>200 mm	
Asbestcement	0,014	0,010	0,012 ^b	0,012
Grijs gietijzer	0,008	0,009	0,011	0,009
Nodulair gietijzer	0,004 ^b	0,005 ^b	0,007 ^b	0,005
Staal	0,003	0,001	0,003 ^b	0,002
PE	0,008	0,007	0,008 ^b	0,008
PVC	0,012	0,008	0,008	0,011
Per diametergroep:	0,010^a	0,006^a	0,007^a	0,009^a

^{a)} Lekk frequentie alle gasleidingen in de drukgroep, inclusief lekken waarvan het materiaal niet bekend is.

^{b)} Het totaal aantal lekken in 10 jaar ligt tussen de 10 en 50, wat een lagere betrouwbaarheid betekent.

Hier is zichtbaar dat stalen leidingen minder gevoelig zijn voor externe oorzaken. Dit is te begrijpen omdat een stalen leiding veel beter bestand is tegen schade door bijvoorbeeld graafwerkzaamheden.

5.2 Lekk frequenties specifieke indeling, Niveau 2

Voor gasleidingen kan onderscheid gemaakt worden naar netdruk. De resultaten daarvan staan hieronder weergegeven.

5.2.1 Lekk frequenties alle lekken

In tabel 4 worden de frequenties gegeven, uitgesplitst per drukgroep, materiaal en diameter. Per drukgroep wordt eveneens per diametergroep de frequentie gegeven, zonder onderscheid te maken naar materiaal soort. In de rechterkolom wordt de frequentie gegeven per drukgroep en per materiaal soort, zonder onderscheid te maken naar diameter range. Tot slot wordt telkens in de cel in rechterkolom op de rij "Per diametergroep", de lek frequentie per druktrap gegeven, zonder onderscheid te maken naar diameter en materiaal. Zie voor het totaal aantal lekken per item bijlage I.6.1.



In deze tabel valt op dat nodulair gietijzer beter lijkt te presteren in de hogere drukgroepen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat nodulair gietijzer en grijs gietijzer niet eenvoudig te onderscheiden zijn. Dit kan veroorzaken dat lekken in grijs gietijzeren leidingen bij de registratie per ongeluk toegekend worden aan nodulair gietijzer. Omdat grijs gietijzer niet in 4 en 8 bar netten voorkomt, kan daar deze vergissing niet gemaakt worden.

Tabel 4: Lekfrequenties per druk, materiaal en diametergroep, incl. externe oorzaken

Lekken per km per jaar					
Druk	Materiaal	Diameter			Per materiaal
		<125 mm	125-200 mm	>200 mm	
30 - 100 mbar	Asbestcement	0,14	0,16	0,17	0,15
	Grijs gietijzer	0,18	0,23	0,30	0,22
	Nodulair gietijzer	0,12	0,18	0,22	0,16
	Staal	0,11	0,09	0,17	0,11
	PE	0,02	0,05	0,11	0,03
	PVC	0,03	0,03	0,05	0,03
	Diametergroep:	0,04	0,05	0,14	0,04^a
1 bar	Grijs gietijzer	0,59 ^d	0,24	0,35	0,33
	Nodulair gietijzer	0,26 ^b	0,08 ^b	0,21	0,18
	Staal	0,23	0,06	0,10	0,10
	PE	0,04	0,03	0,03 ^b	0,03
	Diametergroep:	0,05	0,07	0,17	0,08^a
4 bar	Nodulair gietijzer	0,05 ^c	0,03 ^b	0,02 ^c	0,03^b
	Staal	0,03	0,02	0,02 ^b	0,02
	PE	0,03	0,03	0,01 ^c	0,03
	Diametergroep:	0,03	0,03	0,02^b	0,03^a
8 bar	Nodulair gietijzer	0,02 ^b	0,02	0,04 ^c	0,02
	Staal	0,01	0,01	0,01	0,01
	PE	0,01	0,01 ^b	0,05 ^b	0,01
	Diametergroep:	0,01	0,01	0,02	0,01^a

^a) Lekfrequentie alle gasleidingen in de drukgroep, inclusief lekken waarvan het materiaal niet bekend is.

^b) Het totaal aantal lekken in 10 jaar ligt tussen de 10 en 50, wat een lagere betrouwbaarheid betekent.

^c) Minder dan 10 lekken in 10 jaar, wat een lage betrouwbaarheid geeft.

^d) De populatie betreft minder dan 10 km, en wordt daarom niet als representatief beschouwd.

5.2.2 Lekfrequenties, exclusief lekken door externe oorzaken

In tabel 5 worden de frequenties gegeven exclusief de lekken door externe oorzaken. Deze worden uitgesplitst per drukgroep, materiaal en diameter. Per druktrap wordt eveneens per diametergroep de frequentie gegeven, zonder onderscheid te maken naar materiaalsoort. In de rechterkolom wordt de frequentie gegeven per druktrap en per materiaalsoort, zonder onderscheid te maken naar diameter. Tot slot wordt telkens in de cel in rechterkolom op de rij "Per diametergroep", de lekfrequentie per druktrap gegeven, zonder onderscheid te maken naar diameter en materiaal. Zie voor het totaal aantal lekken per item bijlage I.6.2.



Tabel 5: Lekk frequenties per druk, materiaal en diametergroep, excl. externe oorzaken

Lekken per km per jaar, exclusief externe oorzaken					
Druk	Materiaal	Diameter			Per materiaal
		<125 mm	125-200 mm	>200 mm	
30 - 100 mbar	Asbestcement	0,13	0,15	0,16	0,15
	Grijs gietijzer	0,17	0,23	0,29	0,22
	Nodulair gietijzer	0,11	0,17	0,21	0,16
	Staal	0,10	0,09	0,15	0,11
	PE	0,01	0,04	0,09	0,03
	PVC	0,01	0,02	0,04	0,03
	Diametergroep:	0,02^a	0,05^a	0,13^a	0,03^a
1 bar	Grijs gietijzer	0,59 ^d	0,23	0,34	0,33
	Nodulair gietijzer	0,25 ^b	0,08 ^b	0,20	0,18
	Staal	0,19	0,06	0,09	0,10
	PE	0,03	0,02 ^b	0,03 ^b	0,03
	Diametergroep:	0,04^a	0,06^a	0,16^a	0,08^a
4 bar	Nodulair gietijzer	0,05 ^c	0,03 ^b	0,01 ^c	0,03^b
	Staal	0,03	0,02	0,02 ^b	0,02
	PE	0,02	0,03	0,01 ^c	0,03
	Diametergroep:	0,02^a	0,03^a	0,02^{a,b}	0,02^a
8 bar	Nodulair gietijzer	0,02 ^b	0,02	0,04 ^c	0,02
	Staal	0,01	0,01 ^b	0,01	0,01
	PE	0,01	0,00 ^b	0,04 ^c	0,01
	Diametergroep:	0,01^a	0,01^a	0,01^a	0,01^a

^a) Lekk frequentie alle gasleidingen in de drukgroep, inclusief lekken waarvan het materiaal niet bekend is.

^b) Het totaal aantal lekken in 10 jaar ligt tussen de 10 en 50, wat een lagere betrouwbaarheid betekent.

^c) Minder dan 10 lekken in 10 jaar, wat een lage betrouwbaarheid geeft.

^d) De populatie betreft minder dan 10 km, en wordt daarom niet als representatief beschouwd.

Het weglaten van de externe factoren heeft vooral invloed op de leidingen in de lagedruk netten (30 en 100 mbar). Dit kan ten eerste verklaard worden door het materiaalgebruik. In lagedruk netten worden meer materialen toegepast die gevoeliger zijn voor graafschade. Naast het materiaalgebruik is een mogelijke verklaring dat de hogedruk leidingen vaker in buitengebied liggen, waar minder kans is op graafschade.

5.2.3 Lekk frequenties als gevolg van externe oorzaken

In de onderstaande tabel zijn de lekk frequenties gegeven als gevolg van externe oorzaken. De frequenties zijn gegeven met een extra cijfer achter de komma, omdat de frequenties erg laag zijn. Zie voor het totaal aantal lekken per item bijlage I.6.3.



Tabel 6: Lekk frequenties per druk, materiaal en diametergroep, als gevolg van externe oorzaken

Lekken per km per jaar als gevolg van externe oorzaken					
Druk	Materiaal	Diameter			Per materiaal
		<125 mm	125-200 mm	>200 mm	
30 - 100 mbar	Asbestcement	0,014	0,010	0,012 ^b	0,012
	Grijs gietijzer	0,008	0,009	0,010	0,009
	Nodulair gietijzer	0,005 ^b	0,008 ^b	0,007 ^b	0,007
	Staal	0,005	0,006	0,013 ^b	0,005
	PE	0,009	0,013	0,018 ^b	0,010
	PVC	0,012	0,008	0,008	0,011
	Diametergroep:	0,008^a	0,011^a	0,009^a	0,010^a
1 bar	Grijs gietijzer	0,000 ^{dc}	0,007 ^c	0,014 ^c	0,011 ^b
	Nodulair gietijzer	0,010 ^c	0,002 ^c	0,008 ^b	0,007 ^b
	Staal	0,037 ^b	0,003 ^c	0,005 ^c	0,009 ^b
	PE	0,009 ^c	0,006 ^b	0,001 ^c	0,008
	Diametergroep:	0,006^a	0,010^{a,b}	0,007	0,008^a
4 bar	Nodulair gietijzer	0,000 ^c	0,002 ^c	0,008 ^c	0,003 ^c
	Staal	0,003 ^c	0,001 ^c	0,002 ^c	0,002 ^b
	PE	0,005	0,003 ^b	0,000 ^c	0,005
	Diametergroep:	0,002^a	0,005^{a,b}	0,002^c	0,004^a
8 bar	Nodulair gietijzer	0,001 ^c	0,001 ^c	0,000 ^c	0,001 ^c
	Staal	0,001	0,001 ^b	0,002 ^b	0,001
	PE	0,003 ^b	0,003 ^b	0,015 ^c	0,003 ^b
	Diametergroep:	0,001^a	0,001^a	0,002^b	0,001^a

^a) Lekk frequentie alle gasleidingen in de drukgroep, inclusief lekken waarvan het materiaal niet bekend is.

^b) Het totaal aantal lekken in 10 jaar ligt tussen de 10 en 50, wat een lagere betrouwbaarheid betekent.

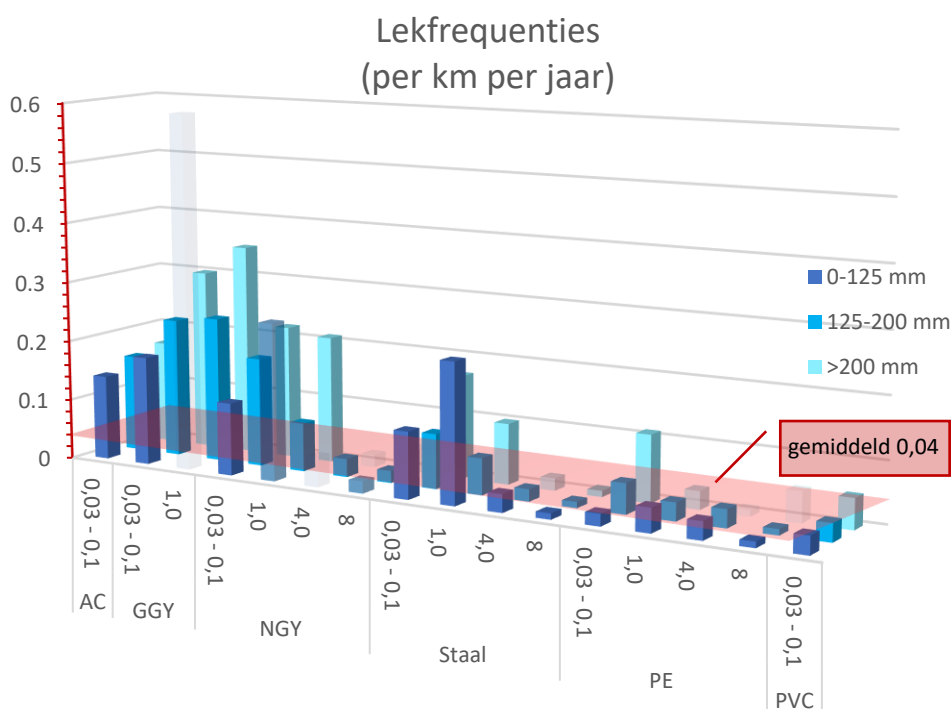
^c) Minder dan 10 lekken in 10 jaar, wat een lage betrouwbaarheid geeft.

^d) De populatie betreft minder dan 10 km, en wordt daarom niet als representatief beschouwd.



6 Conclusies en aanbevelingen

De algemene lekfrequentie van gasleidingen ligt rond 0,04 lek per km per jaar. Vooral per materiaalsoort zijn er echter duidelijke verschillen, maar ook per netdruk. Dat de gemiddelde lekfrequentie desondanks zo laag is, komt omdat de oude materialen met hoge lekfrequenties relatief nog maar weinig voorkomen.



Figuur 5: Lekfrequenties per materiaal, netdruk en diametergroep.

Asbestcement leidingen en grijs gietijzeren leidingen hebben een beduidend hogere lekfrequentie. Dit lijkt voor nodulair gietijzer ook het geval, maar er zijn aanwijzingen dat dit mogelijk veroorzaakt wordt door vergissingen bij het invullen van de storingsgegevens, omdat ter plekke moeilijk onderscheid te maken is tussen nodulair en grijs gietijzer.

De druk van het net lijkt ook verschil te maken. Dit kan in de eerste plaats verklaard worden doordat bij lagedruknetten meer materialen worden toegepast die gevoelig zijn voor graafschade. Daarnaast is een mogelijke verklaring dat hogedruk leidingen vaker in buitengebied liggen en daardoor minder kans op graafschade hebben.

In de NPR 3659/A1/C1:1996 worden lekfrequenties genoemd voor de periode 1965 – 1980. Aanbevolen wordt om de NPR te wijzigen en voor lagedruk gasleidingen de in dit rapport genoemde lekfrequenties te hanteren.



7 Verwijzingen

- [1] R. Beuken, „Storingsfrequenties drinkwaterleidingen. Analyse voor het POV-project 'Filters in parallel gelegen leidingen',” KWR, Nieuwegein, 2020.
- [2] -, „NPR 3659/A1/C1:1996 Ondergrondse pijpleidingen. Grondslagen voor de sterkteberekening.” NEN, Delft, 2006.
- [3] R. v. Aerde, „Betrouwbaarheid van gasnetten in Nederland. Resultaten 2019.” Netbeheer Nederland, Den Haag, 2020.
- [4] R. v. Aerde, „Betrouwbaarheid van gasdistributienetten in Nederland. Resultaten 2018.” Netbeheer Nederland, Den Haag, 2019.
- [5] -, „Handleiding Nestor Gas. Versie 4.0,” Netbeheer Nederland, Den Haag, 2018.
- [6] Netbeheer Nederland, „Meetprocedure voor bovengronds lekzoeken, versie augustus 2012,” 31 08 2012. [Online]. Available: https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Meetprocedure_bovengrondse_lekzoeken__versie_augustus_2012_100.pdf. [Geopend 2020 09 02].
- [7] C. Lock, „Bovengronds lekzoeken deel 2,” *Gasnet*, vol. jaargang 21, nr. 2, pp. 1-8, 2007.
- [8] T. Schweckendiek en A. v. d. Meer, „Faalkansanalyse dijkontwerp Gorinchem - Waardenburg met kruisende waterleiding. Tweede toepassing Veiligheidsraamwerk Kabels & Leidingen.” Stuurgroep Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen (POV K&L), Delft, 2020.
- [9] -, „KENGETALLEN REGIONALE GASNETTEN. CODATA handboek NG,” NMa, 2009.
- [10] -, „Regeling kwaliteitsaspecten netbeheer elektriciteit en gas,” *Staatscourant*, p. 9., 30 12 2004.
- [11] C. Lock, P. Van Norden en A. Hendriks, „Overzicht van de aanwezige leidingmaterialen in het Nederlandse gasdistributienet,” Kiwa N.V., Apeldoorn, 2008.



I Aantal lekken en netlengtes

Om onzekerheid van de lekfrequenties te kunnen beoordelen, is van belang om te weten om hoeveel storingen het gaat. Voor de representativiteit is van belang om te weten wat de daadwerkelijke netlengte is. Daarom zijn deze cijfers hier ter informatie gegeven.

I.1 Lekken en netlengte totale net (2009-2018)

Aantal lekken	48518
Aantal lekken, excl. externe oorzaak	37347
Gemiddelde netlengte (km)	124633

I.2 Lekken en netlengte per materiaal (2009-2018)

In de onderstaande tabel ontbreken de lekken en de netlengtes waarvan het materiaal niet bekend is.

Materiaal	Lekken		Lekken excl. ext. oorzaken		Gem. netlengte [km] [%]	
Asbestcement	2004	4%	1846	5%	1302	1%
Grijs gietijzer	10366	22%	9948	27%	4727	4%
Nodulair gietijzer	2131	4%	2042	6%	1772	1%
Staal	6778	14%	6352	17%	18641	15%
PE	5546	12%	3941	11%	20308	16%
PVC	21297	44%	12864	35%	77724	62%

I.3 Lekken en netlengte per diameter (2009-2018)

Diametergroep	Lekken		Lekken excl. ext. oorzaken		Gem. netlengte [km] [%]	
<125 mm	29601	61%	20841	56%	87238	70%
125-200 mm	14662	30%	12534	34%	33088	27%
>200 mm	4255	9%	3972	11%	4307	3%

I.4 Lekken en netlengte per druk (2009-2018)

Drukgroep	Lekken		Lekken excl. ext. oorzaken		Gem. netlengte [km] [%]	
0,03 - 0,1	43786	90%	33219	89%	101852	82%
1,0	1196	2%	1078	3%	1411	1%
4,0	2032	4%	1716	5%	7038	6%
8	1504	3%	1334	4%	14329	11%



I.5 Aantal lekken per materiaal en diameter (2009-2018)

I.5.1 Totaal aantal lekken (2009-2018)

Aantal lekken (2009-2018)				
Materiaal	Diameter			Per materiaal
	<125 mm	125-200 mm	>200 mm	
Asbestcement	721	943	340	2004
Grijs gietijzer	3741	4582	2043	10366
Nodulair gietijzer	562	909	660	2131
Staal	4845	1453	480	6778
PE	4236	1156	154	5546
PVC	15254	5493	550	21297
Grand Total	29601^a	14662^a	4255^a	48518

^{a)} Lekfrequentie alle gasleidingen, inclusief lekken waarvan het materiaal niet bekend is.

I.5.2 Aantal lekken, excl. externe oorzaken (2009-2018)

Aantal lekken, exclusief externe oorzaken (2009-2018)				
Materiaal	Diameter			Per materiaal
	<125 mm	125-200 mm	>200 mm	
Asbestcement	649	881	316	1846
Grijs gietijzer	3565	4411	1972	9948
Nodulair gietijzer	538	868	636	2042
Staal	4569	1346	437	6352
PE	2882	927	132	3941
PVC	8427	3983	454	12864
Grand Total	20841^a	12534^a	3972^a	37347^a

^{a)} Lekfrequentie alle gasleidingen, inclusief lekken waarvan het materiaal niet bekend is.

I.5.3 Aantal lekken als gevolg van externe oorzaken (2009-2018)

Aantal lekken als gevolg van externe oorzaken (2009-2018)				
Materiaal	Diameter			Per materiaal
	<125 mm	125-200 mm	>200 mm	
Asbestcement	72	62	24 ^b	158
Grijs gietijzer	176	171	71	418
Nodulair gietijzer	24 ^b	41 ^b	24 ^b	89
Staal	276	107	43 ^b	426
PE	1354	229	22 ^b	1605
PVC	6827	1510	96	8433
Grand Total	8760^a	2128^a	283^a	11171^a

^{a)} Lekfrequentie alle gasleidingen, inclusief lekken waarvan het materiaal niet bekend is.

^{b)} Het totaal aantal lekken in 10 jaar ligt tussen de 10 en 50, wat een lagere betrouwbaarheid betekent.



I.6 Aantal lekken per druk, materiaal en diameter (2009-2018)

I.6.1 Totaal aantal lekken (2009-2018)

Totaal aantal lekken (2009-2018)					
Druk	Materiaal	Diameter			Per materiaal
		<125 mm	125-200 mm	>200 mm	
30 - 100 mbar	Asbestcement	720	942	340	2002
	Grijs gietijzer	3712	4502	1807	10021
	Nodulair gietijzer	502	780	399	1681
	Staal	4141	828	185	5154
	PE	2483	731	107	3321
	PVC	15235	5474	548	21257
	Diametergroep:		27017^a	13367^a	3402^a
1 bar	Grijs gietijzer	24 ^d	67	228	319
	Nodulair gietijzer	26 ^b	38 ^b	250	314
	Staal	69	60	94	223
	PE	233	53	27 ^b	313
	Diametergroep:	352^a	218^a	599^a	1169^a
4 bar	Nodulair gietijzer	5 ^c	16 ^b	2 ^c	23^b
	Staal	73	66	32 ^b	171
	PE	1449	345	9 ^c	1803
	Diametergroep:	1527^a	427^a	43^{a,b}	1997^a
8 bar	Nodulair gietijzer	29 ^b	75	9 ^c	113
	Staal	562	499	169	1230
	PE	71	27 ^b	11 ^b	109
	Diametergroep:	662^a	601^a	189^a	1452^a

^a) Lekfrequentie alle gasleidingen in de drukgroep, inclusief lekken waarvan het materiaal niet bekend is.

^b) Het totaal aantal lekken in 10 jaar ligt tussen de 10 en 50, wat een lagere betrouwbaarheid betekent.

^c) Minder dan 10 lekken in 10 jaar, wat een lage betrouwbaarheid geeft.

^d) De populatie betreft minder dan 10 km, en wordt daarom niet als representatief beschouwd.



I.6.2 Aantal lekken, excl. externe oorzaken (2009-2018)

Aantal lekken, exclusief externe oorzaken (2009-2018)					
Druk	Materiaal	Diameter			Per materiaal
		<125 mm	125-200 mm	>200 mm	
30 - 100 mbar	Asbestcement	648	880	316	1844
	Grijs gietijzer	3536	4333	1745	9614
	Nodulair gietijzer	481	744	386	1611
	Staal	3946	774	171	4891
	PE	1473	552	89	2114
	PVC	8412	3968	452	12832
	Diametergroep:	18691^a	11354^a	3174^a	33219^a
1 bar	Grijs gietijzer	24 ^d	65	219	284
	Nodulair gietijzer	25 ^b	37 ^b	240	302
	Staal	58	57	89	204
	PE	175	43 ^b	26 ^b	244
	Diametergroep:	258^a	202^a	574^a	1034^a
4 bar	Nodulair gietijzer	5 ^c	15 ^b	1 ^c	21^b
	Staal	66	61	29 ^b	156
	PE	1183	315	9 ^c	1507
	Diametergroep:	1254^a	391^a	39^{a,b}	1684^a
8 bar	Nodulair gietijzer	27 ^b	72	9 ^c	108
	Staal	499	454	148	1101
	PE	51	17 ^b	8 ^c	76
	Diametergroep:	577^a	543^a	165^a	1285^a

^a) Lekfrequentie alle gasleidingen in de drukgroep, inclusief lekken waarvan het materiaal niet bekend is.

^b) Het totaal aantal lekken in 10 jaar ligt tussen de 10 en 50, wat een lagere betrouwbaarheid betekent.

^c) Minder dan 10 lekken in 10 jaar, wat een lage betrouwbaarheid geeft.

^d) De populatie betreft minder dan 10 km, en wordt daarom niet als representatief beschouwd.



I.6.3 Aantal lekken als gevolg van externe oorzaken (2009-2018)

Aantal lekken als gevolg van externe oorzaken (2009-2018)					
Druk	Materiaal	Diameter			Per materiaal
		<125 mm	125-200 mm	>200 mm	
30 - 100 mbar	Asbestcement	72	62	24 ^b	158
	Grijs gietijzer	176	169	62	407
	Nodulair gietijzer	21 ^b	36 ^b	13 ^b	70
	Staal	195	54	14 ^b	263
	PE	1010	179	18 ^b	1207
	PVC	6823	1506	96	158
	Diametergroep:	8326^a	2013^a	228^a	10567^a
1 bar	Grijs gietijzer	0 ^{c,d}	2 ^c	9 ^c	11 ^b
	Nodulair gietijzer	1 ^c	1 ^c	10 ^b	12 ^b
	Staal	11 ^b	3 ^c	5 ^c	19 ^b
	PE	58	10 ^b	1 ^c	69
	Diametergroep:	70^a	16^{a,b}	25^{a,b}	111^a
4 bar	Nodulair gietijzer	0 ^c	1 ^c	1 ^c	2 ^c
	Staal	7 ^c	5 ^c	3 ^c	15 ^b
	PE	266	30 ^b	0 ^c	296
	Diametergroep:	273^a	36^{a,b}	4^{a,c}	313^a
8 bar	Nodulair gietijzer	2 ^c	3 ^c	0 ^c	5 ^c
	Staal	63	45 ^b	21 ^b	129
	PE	20 ^b	10 ^b	3 ^c	33 ^b
	Diametergroep:	85^a	58^a	24^{a,b}	167^a

^a) Lekfrequentie alle gasleidingen in de drukgroep, inclusief lekken waarvan het materiaal niet bekend is.

^b) Het totaal aantal lekken in 10 jaar ligt tussen de 10 en 50, wat een lagere betrouwbaarheid betekent.

^c) Minder dan 10 lekken in 10 jaar, wat een lage betrouwbaarheid geeft.

^d) De populatie betreft minder dan 10 km, en wordt daarom niet als representatief beschouwd.



II Definities

CODATA	Bij wet geregelde informatiecyclus voor het verstrekken van netgegevens door de netbeheerders aan de Minister van Economische Zaken.
Bedrijfsdruk	De druk die in het net heerst.
Externe oorzaken	Onder externe oorzaken vallen de volgende oorzaken: <ul style="list-style-type: none">• Activiteiten van een klant of aangeslotene• Graafwerkzaamheden• Vandalisme/diefstal
Gasdistributienet	Het gasnet vanaf het gasontvangststation tot en met de gasmeter bij de afnemer.
Hoofdleidingen	Dit betreft zowel de buizen als de voorkomende verbindingen en appendages in het gasdistributienet, maar exclusief stations en meet- en regelopstellingen. Aansluitleidingen (en storings daaraan) tellen niet mee. Het genoemde materiaal heeft betrekking op het materiaal van de buis en niet van de verbindingen of appendages.
Lek	Het onbedoeld lekken van gas uit het leidingsysteem naar de omgeving. Voor dit rapport beperkt tot de grotere, urgente lekken. Dat betekent dat lekken naar aanleiding van bovengronds lekzoeken, die gecategoriseerd zijn als categorie II, niet meetellen.
Lekfrequentie	aantal lekken per km per jaar Voor dit rapport tellen alleen lekken in hoofdleidingen mee. Lekken in aansluitleidingen, stations en gasmeter- en regelopstellingen worden in dit rapport buiten beschouwing gelaten (zie definities lek en hoofdleidingen).
Lekfrequentie alle lekken	Dit is gelijk aan: Lekfrequenties, excl. externe oorzaken + lekfrequenties externe oorzaken.
Lekfrequenties externe oorzaken	De lekfrequenties die uitsluitend zijn veroorzaakt door externe oorzaken.
Lekfrequenties, excl. externe oorzaken	De lekfrequenties van lekken die niet het gevolg zijn van externe oorzaken.
Maximale bedrijfsdruk	Maximale druk die in het net heerst. Deze druk is in het net aanwezig indien er geen afname is. Zodra er wel afname is, zal naarmate de afstand tot het station en de gasstroom groter is, de druk lokaal lager zijn als gevolg van drukverliezen.
MOP	Maximum Operating Pressure, de maximale bedrijfsdruk.
NESTOR	Landelijk storingsregistratiesysteem dat door alle gasnetbeheerders verplicht gebruikt wordt.