



Veiligheids-
raamwerk
POV K&L

Toepassing
in de praktijk

**Vastgesteld door de
stuurgroep Project Overstijgende Verkenning
Kabels & Leidingen (POV K&L)
op donderdag 3 december 2020**

Peter Ouwendijk | Hoogheemraadschap van Delfland, *voorzitter*

Jos Teeuwen | Waterschap Limburg

Marjo van Maurik - de Graaff | Waterschap Hollandse Delta

Hennie Roorda | Waterschap Rivierenland

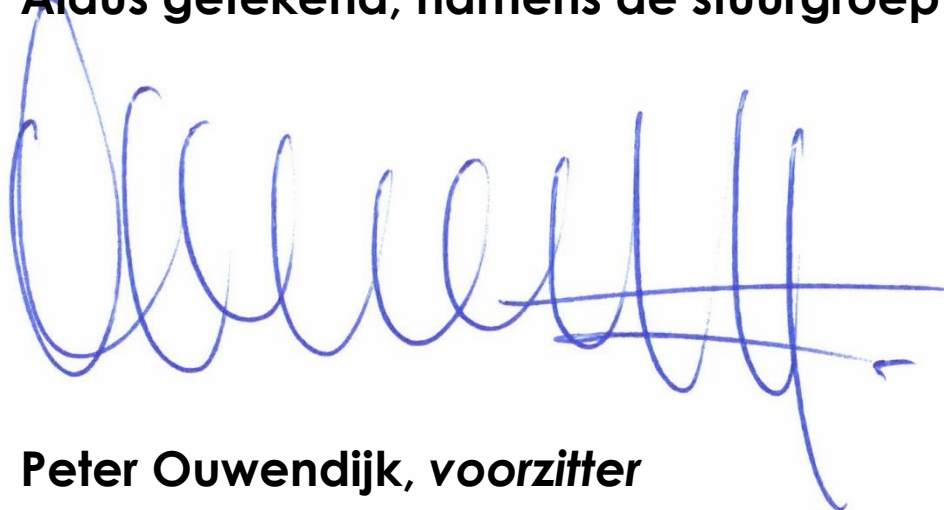
Adri Bom-Lemstra | Provincie Zuid-Holland, *namens IPO*

Ria Doedel | PWN

Han Slootweg | Platform Netbeheerders

Erik Wagener | Hoogwaterbeschermingsprogramma, *agendalid*

Aldus getekend, namens de stuurgroep POV K&L,

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

Peter Ouwendijk, voorzitter



Veiligheidsraamwerk POV K&L

Toepassing in de praktijk

Voorwoord

Voor u ligt het rapport *Veiligheidsraamwerk POV K&L*.

In het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) werken Rijkswaterstaat en de waterschappen samen aan veilige waterkeringen. In 2050 moeten alle primaire waterkeringen voldoen aan de nieuwe normering voor de waterveiligheid. Deze normering geldt vanaf 1 januari 2017. De ervaring leert dat kabels en leidingen hoog scoren als het gaat om risico's op vertraging en aanvullende kosten. Binnen het HWBP is de Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen (POV K&L) in 2017 gestart met als belangrijkste doel om de risico's te minimaliseren.

Kernboodschap POV K&L

Verbinden van de werelden van waterkeringbeheerders en netbeheerders om samen kabels & leidingen zorgvuldig, toekomstbestendig en veilig in te passen in waterkeringen en bij dijkversterkingen tegen de laagste maatschappelijke kosten.

Kabels en leidingen hebben effect op de veiligheid van een waterkering. Het beoordelen van de veiligheid van een waterkering met kabels en leidingen vraagt dan ook om een integrale aanpak waarbij we zowel het gedrag van de kabels en leidingen als die van de waterkering beschouwen en de onderlinge beïnvloeding hiervan. Dat betekent dat inzicht nodig is in de kans op falen van (met name) leidingen en het effect hiervan op de waterkering, in het bijzonder op de dijkfaalmechanismen en op de kansbijdrage van falen van leidingen aan de toelaatbare kans op overstroming.

Het beoordelen of een waterkering met leiding voldoet aan de faalkanseisen op basis van overstromingskansen is veelal complex en vergt veel inhoudelijke expertise en inzet. Daarvoor is een algemeen Veiligheidsraamwerk Kabels & Leidingen (K&L) opgesteld, dat door de POV K&L in de praktijk is toegepast in casussen. De systematiek van het Veiligheidsraamwerk K&L is nader uitgewerkt en geeft invulling aan de interactie tussen leidingfalen en dijkfalen op basis van integrale faalkansanalyses. Deze analyses zijn toegepast voor bestaande en nieuwe leidingen, die de primaire waterkering kruisen of parallel daaraan liggen. De resultaten van de uitwerkingen in de praktijkcasussen vormen de basis van het voorliggende rapport.

Disclaimer en doorontwikkeling

Bij de casussen is gebleken dat het Veiligheidsraamwerk K&L in de praktijk werkt en dat daarbij ook een aanpak van grof naar fijn mogelijk is.

Het Veiligheidsraamwerk POV K&L heeft aantoonbaar enorme potentie voor het realiseren van forse besparingen bij versterkingsopgaven. Zowel waterkeringbeheerders als netbeheerders hebben baat bij een succesvolle toepassing. Met de versterkingsopgave van het HWBP en de aanstaande energietransitie komen waterkeringbeheerders en netbeheerders elkaar vaker tegen in de toekomst. Toepassing van het Veiligheidsraamwerk POV K&L kan onnodige verleggingen voorkomen. De met het Veiligheidsraamwerk POV K&L opgedane ervaringen en leerpunten kunnen worden toegepast voor de veiligheidsbeoordeling van bestaande en nieuwe leidingen in en bij primaire en regionale waterkeringen. Omdat dit op een beperkt aantal casussen is uitgevoerd zijn er nog kennisleemten, die nadere invulling behoeven om tot een generiek toepasbaar instrument te komen.

We adviseren om met het Veiligheidsraamwerk POV K&L onder deskundige begeleiding bij meer casussen toe te passen. De inhoudelijke doorontwikkeling van het veiligheidsraamwerk K&L wordt ondergebracht bij het project De Innovatieversneller van het HWBP.

We zijn bijzonder trots op het resultaat wat er nu ligt. Dit was nooit gelukt zonder de bijdrage van alle betrokkenen. Hierbij willen we dan ook alle betrokkenen hartelijk bedanken voor de open houding, gedrevenheid en inzet om hier een succes van te maken!

Peter Ouwendijk,
voorzitter van de stuurgroep POV K&L

Samenvatting

De POV Kabels & Leidingen (POV K&L) wordt uitgevoerd binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) met als belangrijkste doel om de risico's van kabels en leidingen bij dijkversterkingsprojecten te minimaliseren. In voorliggend rapport wordt de aanpak en systematiek van het veiligheidsraamwerk POV K&L beschreven.

Het huidige instrumentarium voor de veiligheidsbeoordeling van primaire waterkeringen in de ontwerpsituatie en in de bestaande situatie bevat kennisleemten bij de bepaling van de faalkansbijdrage van kabels en leidingen aan de toelaatbare kans op overstroming.

Om aan de faalkansbijdrage van kabels & leidingen een nadere invulling te kunnen geven is in praktijkcasussen door de POV K&L de systematiek van het algemene WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen (K&L) toegepast en verder uitgewerkt. Daarbij is een nadere invulling gegeven aan de interactie tussen leidingfalen en dijkfalen.

Naast de inhoudelijke aanpak is ook aandacht besteed aan de plaats van het Veiligheidsraamwerk POV K&L in het ontwerpproces van dijkversterkingsplannen. Dat is uitgewerkt in een stappenplan, dat is gebaseerd op het werken van grof naar fijn, wat aansluit bij de werkwijze van het huidige ontwerpinstrumentarium (OI) en het wettelijke beoordelingsinstrumentarium (WBI). Het Veiligheidsraamwerk POV K&L is onderdeel van het stappenplan, dat zowel voor de veiligheidsbeoordeling van een ontwerpsituatie als een bestaande situatie kan worden toegepast. In de POV K&L is met name ingegaan op veiligheidsbeoordeling van een ontwerpsituatie.

De werkwijze van grof naar fijn bestaat uit drie stappen: Stap1: Eenvoudig, Stap 2: Gedetailleerd en Stap 3: Geavanceerd. Stap 1 is gebaseerd op een beoordeling van geometrische kenmerken van de leiding en de waterkering en voorziet in beslisbomen voor de uitfiltering van parallelle lagedrukleidingen. Stap 2 is gebaseerd op bestaande rekenregels uit het WBI/OI en de NEN 3650 reeks, uitgebreid met nieuwe kennis uit de casussen van de POV K&L.

Stap 3 voorziet in de interactie tussen leidingfalen en dijkfalen door toepassing van de systematiek van het Veiligheidsraamwerk POV K&L op basis van faalkansanalyses. Daarvoor zijn specifieke gegevens nodig over de faaloorzaken, faalmanieren, faalkansen en verstoringszones van de leiding en de dijkfaalmechanismen. Daarbij wordt bij leidinglek/-breuk naast de gevolgen van een gapend lek (met een kortstondig groot uitstroomdebiet) ook de gevolgen van een sluipend lek (met een langdurig klein uitstroomdebiet) meegenomen. De interactie wordt bepaald op basis van scenario's en faalpaden, resulterend in gebeurtenissenbomen, waarin alle scenariokansen worden gecombineerd tot een conditionele en/of additionele faalkans van de leiding, die wordt getoetst aan de faalkanseis. Indien niet aan de eis wordt voldaan kan de berekende faalkans worden gereduceerd door verfijningen in de vorm van geavanceerde rekenmodellen en nadere analyse van de faalkansen.

Uit de faalkansanalyses kan ook een zone worden afgeleid, waarbinnen het falen van de leiding impact heeft op een bepaald dijkfaalmechanisme. Dit wordt de impactzone genoemd, die in de plaats kan komen van de huidige veiligheidszone (stabiliteitszone + verstoringszone), zoals die in NEN 3651 wordt gedefinieerd.

Bij vijf praktijkcasussen zijn we erin geslaagd de methodiek succesvol toe te passen. Dit vergt maatwerk. In alle vijf casussen is de uitkomst dat het haalbaar wordt geacht dat de waterkering met leiding aan de veiligheidsnorm kan voldoen. Er hoeft dan geen dure damwand of kistdam gemaakt te worden. Hierdoor kan veel tijd en geld worden bespaard!

Bij de praktijkcasussen hebben we geleerd dat het Veiligheidsraamwerk POV K&L nog kennisleemten bevat, maar dat dit een bredere toepassing niet in de weg staat. Voor de concrete toepassing daarvan is voorlopig nog wel specialistische kennis nodig is. Aan de hand van meer casussen kan de systematiek verder worden doorontwikkeld tot een generieke rekenmethodiek in het toekomstige beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). In samenhang daarmee zullen ook aanpassingen nodig zijn in de NEN 3650 reeks, zodat deze goed aansluit op de overstromingskansbenadering.

INHOUD

1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Kader: HWBP en POV K&L.....	7
1.3	Wet-/regelgeving.....	8
1.4	Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI).....	8
1.4.1	Verschillen tussen veiligheidsbeoordeling bestaande situatie en ontwerpsituatie	8
1.4.2	Instrumentarium	9
1.5	Relatie veiligheidsraamwerk POV K&L met andere documenten	9
1.6	Doelgroep	10
1.7	Leeswijzer	10
2	Ontwerp dijkversterking met leiding	12
2.1	Integrale aanpak in 3 stappen	12
2.2	Stap 1: Eenvoudig	13
2.3	Stap 2: Gedetailleerd	14
2.4	Stap 3: Geavanceerd	15
3	Toepassing Veiligheidsraamwerk K&L.....	16
3.1	Inleiding.....	16
3.2	Casussen.....	16
3.3	Faalkanseisen	17
3.3.1	Mogelijke opties	17
3.3.2	Aanbeveling	18
3.3.3	Resumé	21
3.4	Systematiek Veiligheidsraamwerk POV K&L	21
3.5	Benodigde gegevens	22
3.5.1	Gasleiding	22
3.5.2	Vloeistofleiding	23
3.5.3	Waterkering	23
3.6	Leidingfalen	24
3.6.1	Faaloorzaken	24
3.6.2	Faalmanieren.....	26
3.6.3	Faalkansen.....	27
3.6.4	Verstoringszones.....	31
3.6.5	Faalkansen uitgesplitst naar ratio sluipend lek/gapend lek.....	35
3.7	Dijkfalen	36
3.7.1	Dijkfaalmechanismen.....	36

3.8	Interactie tussen leidingfalen en dijkfalen.....	36
3.8.1	Impactzones.....	36
3.8.2	Kritieke impactzone	37
3.8.3	Hydraulische belastingen	37
3.8.4	Scenario's en faalpaden.....	38
3.8.5	Gebeurtenissenbomen	39
3.9	Verfijningen	40
4	Leerpunten uit praktijkcasussen	41
4.1	Procesmatig.....	41
4.1	Technisch inhoudelijk	41
4.1.1	Inzet van deskundigen	41
4.1.2	Filters voor parallelle lagedruk leidingen	41
4.1.3	Van Unity Check naar faalkans	43
4.1.4	Optimalisatie sterkteberekeningen PLE	43
4.1.5	Optimalisatie leidingberekeningen.....	43
4.1.6	Kritieke impactzone versus veiligheidszone NEN 3651.....	43
4.1.7	Bepaling verstoringszones	43
4.3	Dijkfalen	43
4.3.1	Noodzaak damwandconstructie	43
4.4	Doorontwikkeling.....	43
	Afkortingen en begrippen	44
	Referenties.....	49
	Colofon.....	52

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Een waterkering moet voldoen aan wettelijk vastgelegde veiligheidseisen om ons voldoende te kunnen beschermen tegen hoogwater. Het effect van aanwezige kabels en leidingen kunnen de veiligheidsbeoordeling en inspectie en onderhoud van de waterkeringen behoorlijk ingewikkeld maken. Ook bij dijkversterkingen onderschatten we wat ervoor nodig is om kabels en leidingen tijdig te verleggen of in te passen in de "nieuwe" dijk. Daarnaast realiseren dijkbeheerders zich lang niet altijd hoe belangrijk de leveringszekerheid voor de netbeheerder (kabel- of leidingbeheerder) is. Dijkversterkingsprojecten met relatief veel kabels en leidingen kosten daardoor veel tijd en geld.

Vanuit de verbinding van waterkeringbeheerders en netbeheerders is de Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen (POV K&L) vraaggestuurd te werk gegaan om gedragen oplossingen te vinden vanuit de behoefte uit de praktijk. De verbinding van de werelden van waterkeringbeheerders en netbeheerders is randvoorwaardelijk en daarom een hoofddoel geworden van de POV K&L. De andere twee hoofdoelen betreffen het minimaliseren van uitvoeringsrisico's en het minimaliseren van veiligheidsrisico's.

Dit rapport heeft als doel om de opgedane ervaringen van de POV K&L op het gebied van integrale veiligheidsanalyses van primaire waterkeringen met leidingen weer te geven, zodat dit verder benut kan worden in de praktijk. De focus ligt hierbij op de ontwerpfase. Omdat de invloed van kabels niet is onderzocht valt dit buiten de scope van het voorliggende rapport. Bij het versterken van de waterkering, waarbij leidingen in of nabij de waterkering liggen, is de opgave dat het dijkontwerp van de waterkering inclusief aanwezige leiding(en) voldoet aan de veiligheidseisen conform de Waterwet en de NEN 3650 reeks.

Het beoordelen van de veiligheid van een primaire waterkering met kabels en leidingen vraagt om een integrale aanpak waarbij de faalkans van de kabels en leidingen en de faalkans van de waterkeringen in samenhang worden beschouwd. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van de systematiek van het algemene WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen (K&L), welke door de POV K&L verder is doorontwikkeld. Het WBI Veiligheidsraamwerk K&L is in vijf praktijkcasussen toegepast, namelijk in vier praktijkcasussen bij de veiligheidsbeoordeling in de ontwerpfase en één casus bij de veiligheidsbeoordeling van de bestaande situatie. Daarbij is gebleken dat het Veiligheidsraamwerk K&L in feite ook bruikbaar is voor de onderbouwing van een eenvoudige rekenregels (zoals bijvoorbeeld het opstellen van beslisbomen voor filters) of voor de onderbouwing van gedetailleerde rekenregels. De opgedane ervaringen en leerpunten zijn vastgelegd in het voorliggende rapport, dat generiek van opzet is en kan worden toegepast voor de veiligheidsbeoordeling van zowel ontwerpsituaties als bestaande situaties. Het is goed om te beseffen dat dit een eerste aanzet is, die nog kennisleemten bevat en dat verdere doorontwikkeling nodig is. Voor een overzicht daarvan, zie rapport 'Doorontwikkeling veiligheidsraamwerk K&L' [POV K&L, 2020-f].

1.2 Kader: HWBP en POV K&L

In het landelijke Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), een alliantie van het Rijk en de gezamenlijke Waterschappen, werken we aan dijkversterkingen voor de primaire waterkeringen. De opgave is fors: tot 2050 is het vooruitzicht om circa 1.100 kilometer primaire waterkerkering te versterken. Om het programma te realiseren is het noodzakelijk om te (blijven) zoeken naar slimme en innovatieve oplossingen. De ervaring leert dat kabels en leidingen hierbij tot de toprisico's behoren. Het gaat dan vooral over uitvoeringsrisico's en veiligheidsrisico's. Door de programmadirectie van het HWBP is een Kennis en Innovatie Agenda opgesteld, waarin staat beschreven hoe de ontwikkeling van kennis en innovatie wordt georganiseerd. Om het 'gedoe' rond kabels en leidingen bij dijkversterkingen in het HWBP op te lossen is de POV K&L opgezet.

In 2017 is de POV K&L gestart met als kernboodschap:

"Verbinden van de werelden van waterkeringbeheerders en netbeheerders om samen kabels en leidingen zorgvuldig, toekomstbestendig en veilig in te passen in waterkeringen en bij dijkversterkingen uit te voeren tegen de laagst maatschappelijke kosten".

Eén van de hoofddoelen van de POV K&L is het minimaliseren en beter beheersen van veiligheidsrisico's van kabels en leidingen in dijkprojecten. Het gaat hierbij nadrukkelijk om de risico's van:

- de kabels en leidingen zelf;
- de primaire waterkeringen;
- de kabels en leidingen en de primaire waterkeringen samen!

1.3 Wet-/regelgeving

Door een wijziging in de Waterwet wordt sinds 2017 bij de periodieke veiligheidsbeoordeling van de bestaande primaire waterkeringen gekeken naar de overstromingskansen voor het achterliggende gebied. Hiermee is een grote systeemsprong gemaakt: van overschrijdingskansen per dijkvak (geldend in een dijkkring) naar overstromingskansen per dijktraject (ook wel normtraject genoemd).

Kabels en leidingen behoren tot de niet-waterkerende objecten (NWO's), waarvan moet worden aangetoond of het falen van de NWO's en de resulterende gevolgschade aan de waterkering niet leidt tot een ontoelaatbare toename van de overstromingskansen. Het aantonen hiervan is niet goed mogelijk met de huidige instrumenten, zoals vastgelegd in het wettelijke beoordelingsinstrumentarium WBI [I&M, 2016], het ontwerpinstrumentarium [I&M, 2017] en de NEN 3650 reeks [NEN, 2020], waarvan specifiek de NEN 3651, die voor groep I buisleidingen van toepassing is. Op enkele onderdelen daarvan moet nog nieuwe kennis worden ontwikkeld en vastgelegd. Zie hiervoor rapport 'Doorontwikkeling Veiligheidsraamwerk K&L' [POV K&L, 2020-f].

Door het WBI is het WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen [Deltares, 2018] opgesteld met onder andere een systematiek voor het uitvoeren van een 'toets op maat' bij de periodieke veiligheidsbeoordeling van de bestaande situatie. Daarin wordt op hoofdlijnen een generieke aanpak gepresenteerd om faalpaden en gebeurtenissenbomen op te stellen. Op deze manier kan de actuele overstromingskansen worden berekend, die wordt getoetst aan de wettelijk vereiste overstromingskansen. Dit rapport beschrijft de concrete uitwerking van de systematiek.

Voor het dijkontwerp van primaire waterkeringen zijn de veiligheidseisen vastgelegd in het ontwerpinstrumentarium (OI 2017). Rekenvoorschriften voor de situatie met kabels en leidingen ontbreken hierin. In de POV K&L is gebruik gemaakt van de systematiek in het algemene WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen om deze vervolgens uit te werken en toe te passen in een ontwerpsituatie met de daarbij behorende eisen en randvoorwaarden.

De NEN 3650 reeks en specifiek de NEN 3651 is niet afgestemd op toepassing van de overstromingskansenbenadering bij waterkeringen met leidingen. Daarnaast ontbreekt in voorschriften en eisen in het WBI, OI en de NEN 3650 reeks ook de samenhang die bij de overstromingskansenbenadering van essentieel belang is.

1.4 Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI)

1.4.1 Verschillen tussen veiligheidsbeoordeling bestaande situatie en ontwerpsituatie

Er dient bij de toepassing van het Veiligheidsraamwerk K&L duidelijk onderscheid te worden gemaakt in de periodieke wettelijke beoordelingsfase en de ontwerpfase. Hoewel in principe dezelfde systematiek van het Veiligheidsraamwerk K&L kan worden gehanteerd zijn met name de uitgangspunten en randvoorwaarden wezenlijk verschillend. De belangrijkste verschillen zijn samengevat in tabel 1.1.

Kenmerk	Beoordeling veiligheid bestaande situatie	Beoordeling veiligheid ontwerpsituatie
Trajectnorm 1)	Signaleringswaarde	Ondergrens
Zichtperiode	12 jaar	25, 50 of 100 jaar 2)
Dijkdimensies	Bestaande dijk	Versterkte dijk
Leidingsituatie	Aantonen dat op basis van het Veiligheidsraamwerk POV K&L (toets op maat) de kansbijdrage van leidingfalen aan de overstromingskans voldoet aan de faalkanseis.	Aantonen dat op basis van het Veiligheidsraamwerk POV K&L (geavanceerde methode) de kansbijdrage van leidingfalen aan de overstromingskans voldoet aan de faalkanseis.
<p>1) Norm van het dijktraject conform Waterwet 2) Hiervan mag op basis van kostenoptimalisatie worden afgeweken</p>		

Tabel 1.1: Belangrijkste verschillen tussen veiligheidsbeoordeling bestaande situatie en ontwerpsituatie.

Deze verschillen zijn direct van invloed op de bepaling van de veiligheidseisen en de hydraulische belastingen (inclusief de bijbehorende toeslagen) en de verdiscontering van zettingen en vervormingen van de waterkering.

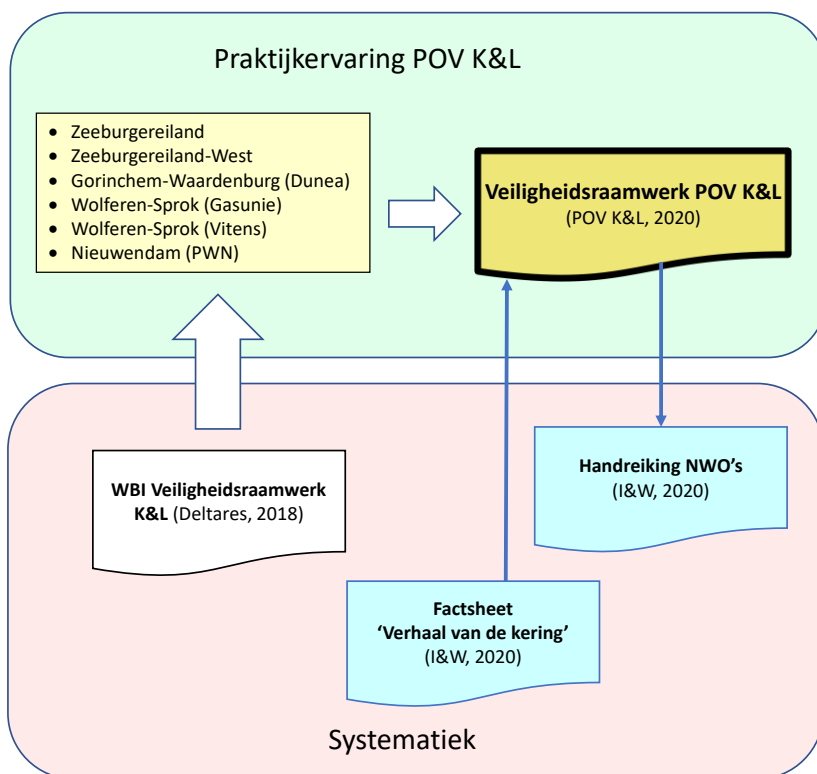
1.4.2 Instrumentarium

Het voorliggende rapport heeft een relatie met de ontwikkeling van het beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI) en het opstellen van de Handreiking NWO's.

In het kader van het BOI is de factsheet 'Verhaal van de kering' [I&W, 2020] opgesteld, die aanknopingspunten biedt om het resultaat van de veiligheidsbeoordeling beter aan te laten sluiten op de overstromingskansbenadering. Onderdeel daarvan is het opstellen van scenario's, faalpaden en gebeurtenissenbomen ter onderbouwing van de bijdrage aan de overstromingskans. De systematiek van het Veiligheidsraamwerk K&L sluit daar naadloos op aan. In het BOI ligt de focus op de directe faalmechanismen die direct tot overstroming leiden. Indirecte faalmechanismen leiden op zichzelf niet direct tot overstroming, maar kunnen in een keten van gebeurtenissen leiden tot falen van de waterkering. In 2018 is binnen het BOI-project besloten om voor alle indirecte mechanismen te adviseren om met scenario's te werken. Het BOI wil deze aanpak gebruiken om de eenvoudige beoordelingsregels aan te scherpen en heeft verzocht om hiervan voorbeelden aan te leveren.

1.5 Relatie veiligheidsraamwerk POV K&L met andere documenten

Het WBI Veiligheidsraamwerk K&L vormt het algemene kader voor de systematiek waarop de uitwerking van de vijf praktijkcasussen is gebaseerd. De wijze waarop het WBI Veiligheidsraamwerk K&L is toegepast en de leerervaringen zijn opgenomen in het voorliggende rapport. Aan de hand van de praktijkervaringen is de methodiek verder ontwikkeld, maar deze vervangt het WBI Veiligheidsraamwerk K&L niet. De inhoud van het voorliggende rapport kan worden gezien als het resultaat van praktijktoepassingen die een aanvulling daarop vormen. Zoals in bovenstaande paragrafen is beschreven is er ook een relatie met andere documenten. Dit is grafisch weergegeven in figuur 1.1.



Figuur 1.1: Relatie Veiligheidsraamwerk POV K&L met andere documenten

1.6 Doelgroep

Het voorliggende document is in eerste instantie bedoeld als leidraad voor het ontwerpteam van een dijkversterkingsproject voor een primaire waterkering, waarbij bestaande of nieuwe leidingen ingepast worden in het ontwerp van de waterkering. Technisch managers van dijkversterkingsprojecten en kabel en/of leidingbeheerders zijn hierbij de belangrijkste doelgroep. Voor de waterkeringbeheerder is het essentieel om vanaf de start de leidingbeheerder daarbij te betrekken en zijn ervaring en expertise te benutten om samen tot een gedragen integraal ontwerp van de waterkering te komen.

Ook specialisten op het gebied van waterveiligheid en ondergrondse infrastructuur kunnen profiteren van de opgedane kennis die hierin is opgenomen.

1.7 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

Hoofdstuk 2 geeft een omschrijving van de algemene stappen die worden doorlopen bij het ontwerpen van een waterkering met bestaande of nieuwe leidingen.

Hoofdstuk 3 maakt de essentie van de systematiek van het Veiligheidsraamwerk K&L inzichtelijk in een generiek schema voor de werkwijze van grof naar fijn.

Hoofdstuk 4 beschrijft de met het Veiligheidsraamwerk K&L opgedane ervaringen en leerpunten

Alle producten van de POV K&L worden ontsloten door een digitale 'Wegwijzer'. De producten die betrekking hebben op de toepassing van het Veiligheidsraamwerk K&L zijn weergegeven in figuur 1.2.



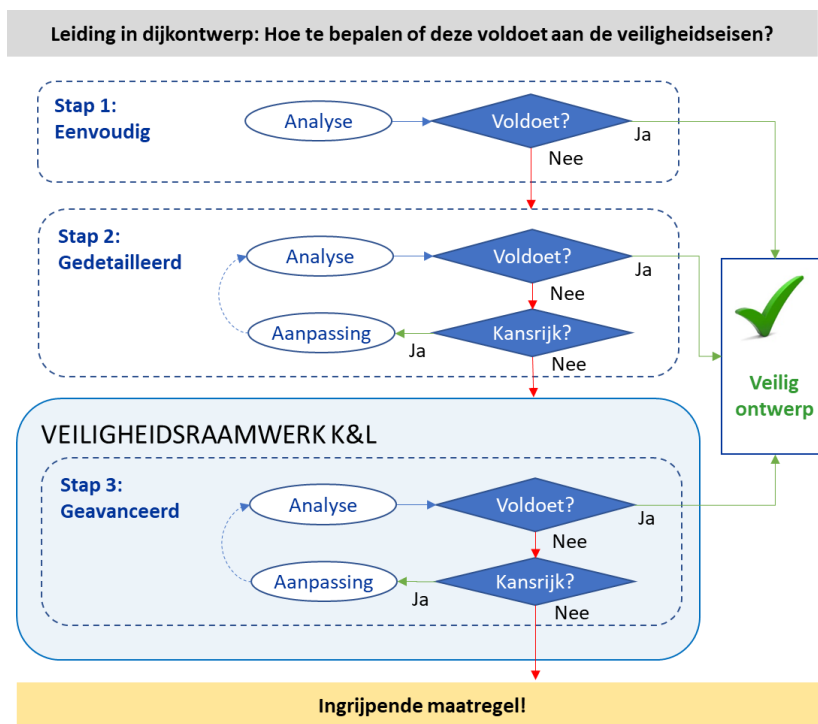
Figuur 1.2: Overzicht producten POV K&L met betrekking tot 'Veiligheid, methodiek & rekenen'.

2 Ontwerp dijkversterking met leiding

Bij het ontwerpen van een waterkering hebben we vaak te maken met kabels en leidingen. Leidingen kunnen zowel kruisend als parallel aan de waterkering liggen. Dit hoofdstuk gaat in op de situatie waarbij leidingen in of nabij de waterkering liggen. Bij een dijkversterkingsproject is het raadzaam om zo snel mogelijk te inventariseren welke leidingen en kabels waar liggen. Al in de verkenningsfase loont het om na te gaan welke leidingen en kabels mogelijk impact hebben op het dijkontwerp ten behoeve van het voorkeursalternatief. Hoe eerder hierbij door de waterkeringbeheerder contact wordt gezocht met de leidingbeheerder(s), des te meer ruimte is er nog om indien nodig het dijkontwerp hierop aan te passen.

2.1 Integrale aanpak in 3 stappen

De POV K&L heeft de systematiek van het algemene WBI Veiligheidsraamwerk K&L [Deltares, 2018] toegepast en verder ontwikkeld. Toepassing van het Veiligheidsraamwerk K&L is echter niet de eerste stap om uit te voeren en loont mogelijk pas nadat eerdere stappen niet het gewenste resultaat hebben opgeleverd. De stappen die van grof naar fijn worden doorlopen bij het ontwerpen van een waterkering met leidingen zijn visueel weergegeven in figuur 2.1.



Figuur 2.1: Stappen integraal ontwerpproces waterkering en leiding

Deze werkwijze is in lijn met die van het WBI 2017 [I&M, 2016], die bij de veiligheidsbeoordeling werkt van eenvoudig via gedetailleerd naar geavanceerd (of de 'toets op maat'). Indien daarbij een bepaalde oplossingsrichting kansrijk is kan door eenvoudige aanpassingen en/of aanvullende gegevens de uitgevoerde analyse worden aangescherpt. De stappen in het ontwerpproces worden achtereenvolgens in de volgende paragrafen toegelicht. Daarbij worden Stap 1 en Stap 2 kort toegelicht in de paragrafen 2.2 en 2.3 en komt Stap 3 uitgebreid aan de orde in Hoofdstuk 3.

2.2 Stap 1: Eenvoudig

De eerste stap is om op eenvoudige wijze het ontwerp van de waterkering met de in of nabij gelegen leiding te beschouwen.

Stap 1 is eenvoudig uitvoerbaar en gebaseerd op beslisregels en weinig rekenwerk. Daarbij is het vertrekpunt een geometrische toets van de verstoringzone van de leidingen in relatie tot het minimaal vereiste ontwerpprofiel van de waterkering. Als dit niet het gewenste resultaat oplevert kunnen in het boven- en

benedenrivierengebied parallelle lagedruk leidingen worden uitgefilterd op basis van de beslisbomen uit het rapport 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen' [POV K&L, 2020-e]. Deze filters zijn gebaseerd op de leidingpositie in het dwarsprofiel, het transportmedium, het leidingmateriaal, de leidingdiameter en de inwendige druk.

Eventueel zijn kleine aanpassingen aan het ontwerp kansrijk om aan de filtercriteria te kunnen voldoen. Bij deze stap heeft bezwijken van de leiding geen bijdrage aan de overstromingskans.

Benodigde gegevens

Bij Stap 1 zijn algemene gegevens nodig over de situatie, ligging, dwars-/lengteprofiel van de leiding, de dijk en de ondergrond. Daarbij zijn ook gegevens nodig over de versterkingsmaatregelen en is ook verificatie nodig van de mogelijke impact van de dijkversterking op de leiding. Voorbeelden daarvan zijn:

- de leiding kan de eventuele extra zettingen als gevolg van de grondbelasting dragen c.q. is sterk genoeg.
- de leiding komt niet te diep onder het maaiveld te liggen in verband met het beheer van de leiding.
- mogelijke problemen bij herstel of vervanging als gevolg van leidinglek/-breuk.

Specifiek voor de leiding zijn gegevens nodig over de leidingkenmerken, zoals transportmedium (gas of vloeistof), leidingmateriaal (staal of niet-staal), leidingdiameter en inwendige druk (lagedruk ($\leq 1,0 \text{ MPa} \approx \leq 10 \text{ bar}$) of hogedruk ($> 1,0 \text{ MPa} \approx > 10 \text{ bar}$)).

Opgemerkt wordt dat de grenzen voor de inwendige druk (lage- of hogedruk) mede afhankelijk zijn van de groepsindeling van de leidingen volgens NEN 3650-1. Daarin wordt onderscheid gemaakt tussen leidingen in Groep I (voor transport van intrinsiek gevaarlijke stoffen) en voor leidingen in Groep II (voor transport van andere stoffen, die uitsluitend gevaarlijk zijn door het effect bij uittrede). Aardgasleidingen in Groep II hebben betrekking op lokaal transport/distributie-leidingen met een inwendige druk $\leq 1,6 \text{ MPa} (\approx \leq 16 \text{ bar})$.

De verstoringzones worden berekend op basis van vereenvoudigde formules van bijlage A van NEN 3651 [NEN, 2020-f]. Deze zijn representatief voor een gapend lek, dat wordt gekenmerkt door een groot uitstroomdebiet gedurende korte tijd.

Voor de bepaling van de verstoringzone bij een sluipend lek, dat wordt gekenmerkt door een klein uitstroomdebiet gedurende lange tijd, geeft NEN 3651 geen rekenregels. Verificatie daarvan op basis van een controleberekening voor macro-instabiliteit binnenwaarts en buitenwaarts is nodig. Daarbij kan als veilig, conservatief uitgangspunt worden uitgegaan van 100% verzadiging van het grondlichaam.

Analyse

Voor de bepaling van de gevolgen van leidingfalen kunnen de verstoringzones van de leiding worden bepaald op basis van de vereenvoudigde formules van NEN 3651 [NEN, 2020-f]. Voor dijkfalen kan het beoordelingsprofiel van de waterkering volgens het WBI [I&M, 2016] worden bepaald.

Kenmerken Stap 1: Eenvoudig

- Gebaseerd op geometrische kenmerken en vereenvoudigde rekenregels voor buisleidingen uit de NEN 3651 en voor waterkeringen uit het WBI.
- Uitfilteren van parallelle lagedruk leidingen (inwendige druk $\leq 1,0 \text{ MPa} \approx \leq 10 \text{ bar}$) op basis van leidingpositie en leidingkenmerken.

Voldoet (ja/nee)

Als de verstoringszone buiten het beoordelingsprofiel ligt heeft leidingfalen geen bijdrage aan de overstromingskans. Zo niet, dan volgt Stap 2: Gedetailleerd, die is gebaseerd op bestaande rekenregels, aangevuld met leerpunten uit de POV K&L.

2.3 Stap 2: Gedetailleerd

De tweede stap, die in de casussen van de POV K&L 'Klassiek' wordt genoemd, voorziet in toepassing van gedetailleerde rekenregels uit de NEN 3650 reeks [NEN, 2020], het WBI [I&M, 2016] of het OI [I&M, 2017]. Hierbij wordt in eerste instantie de faalkans van een leiding nog niet meegenomen of bepaald, dat wil zeggen dat als conservatief uitgangspunt wordt gesteld: faalkans leiding = 1. Als dat niet het gewenste resultaat oplevert kan voor lagedruk leidingen de faalkans van de leiding bij deze stap worden betrokken.

Kenmerken Stap 2: Gedetailleerd

- Gedetailleerde (semi)probabilistische rekenregels gebaseerd op uitgebreide formules uit de NEN 3650 reeks of uit het WBI of het OI.
- Van toepassing voor lagedruk en hogedruk leidingen.

Benodigde gegevens

Voor stap 2 zijn in het algemeen meer gegevens nodig dan in Stap 1.

Voor de leiding zijn dezelfde gegevens nodig over de leidingkenmerken, aangevuld met de sterkte en de kwaliteit van de leiding, met extra informatie over de wanddikte, materiaalkwaliteit/-overgangen, zettingen/zakkingen en vervormingen et cetera.

Voor de dijk zijn gegevens nodig over de veiligheidseisen, aangevuld met de resultaten van geotechnisch onderzoek. Daarbij is ook verificatie nodig van de mogelijke impact van de dijkversterking op de leiding, zoals bijvoorbeeld of de leiding de eventuele extra grondbelasting kan dragen c.q. sterk genoeg is en of een leiding niet te diep onder het maaiveld komt te liggen in verband met het beheer van de leiding en mogelijke problemen bij herstel of vervanging als gevolg van leidinglek/-breuk.

Analyse

De integrale analyse is gebaseerd op een (semi)probabilistische rekenmethode, waarbij voor de geotechnische dijkfaalmechanismen gebruik wordt gemaakt van partiële veiligheidsfactoren. De analyse wordt per dijkfaalmechanisme uitgevoerd voor de situatie zonder leidingfalen en voor de situatie met leidingfalen. Elke situatie moet voldoen aan de veiligheidseisen van de waterkering. Voor de situatie met leidingfalen kan voor lagedrukleidingen bij de bepaling van de verstoringszones en de faalkans van de leiding gebruik worden gemaakt van de bijlagen bij het rapport 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen' [POV K&L, 2020-e]. Hogedruk leidingen moeten altijd volgens Stap 3 worden beoordeeld.

Kansrijk (ja/nee)

Dit is een iteratief proces waarbij dijkontwerp en aanwezige leiding op elkaar worden afgestemd. Dit iteratieve proces start op het moment dat er binnen de principeoplossing van het dijkversterkingsplan nog kansrijke aanpassingen mogelijk zijn. Dit is lokaalspecifiek en mede afhankelijk van de aanwezige veiligheidsmarge ten opzichte van de veiligheidseis. Voorbeelden daarvan zijn reductie van de belasting op de leiding door aanpassing van het dijkprofiel of compenserende maatregelen om de verstoringszones te verkleinen. Daarbij kan ook de afweging om door te gaan naar Stap 3 of de keuze voor ingrijpende maatregelen worden betrokken.

Aanpassing

De aanpassing kan zowel betrekking hebben op kleine maatregelen in het dijkontwerp, zoals geringe aanpassingen van het dwarsprofiel en/of beperkte maatregelen aan de leiding.

Voldoet (ja/nee)

Als de situatie van dijkfalen zonder en met leidingfalen niet voldoet aan de gestelde veiligheidseisen volgt Stap 3: Geavanceerd.

2.4 Stap 3: Geavanceerd

Kenmerken

De derde stap, die in de casussen van de POV K&L 'Probabilistisch (grof en verfijnd) wordt genoemd, is gebaseerd op integrale faalkansanalyses op basis van scenario's, faalpaden en gebeurtenissenbomen.

Bij Stap 3 worden probabilistische analyses uitgevoerd. Om deze stap te kunnen doorlopen is kennis van het

Veiligheidsraamwerk POV K&L noodzakelijk. De toepassing daarvan is gebaseerd op integrale faalkansanalyses van scenario's van leidingfalen in combinatie met dijkfalen. Voor deze integrale faalkansanalyses heeft de POV K&L het algemene WBI veiligheidsraamwerk K&L toegepast en doorontwikkeld tot een praktische toepassing daarvan. De toepassing van het veiligheidsraamwerk POV K&L wordt uitgebreid behandeld in Hoofdstuk 3.

Kenmerken Stap 3: Geavanceerd

- Geavanceerde rekenregels met interactie tussen leidingfalen en dijkfalen gebaseerd op integrale faalkansanalyses volgens de systematiek van het Veiligheidsraamwerk POV K&L.

Benodigde gegevens

Voor de leiding zijn meer gedetailleerde gegevens nodig dan in Stap 2. Zie hiervoor paragraaf 3.6.

Analyse

Het Veiligheidsraamwerk K&L wordt toegepast. Daarbij wordt van grof naar fijn gewerkt met als vertrekpunt een grove benadering met veilige uitgangspunten en standaard rekenmodellen.

Kansrijk (ja/nee)

Dit is een iteratief proces waarbij de inpassing van de leiding en het dijkontwerp op elkaar worden afgestemd. Dit iteratieve proces start op het moment dat er binnen het principe van het dijkversterkingsplan nog kansrijke aanpassingen mogelijk zijn.

Aanpassing

Indien het resultaat niet voldoet aan de faalkanseisen kan gebruik worden gemaakt van verfijningen in de bepaling van de faalkans en/of toepassing van geavanceerde rekenmodellen.

Voldoet (ja/nee)

Indien er geen veilige inpassing van de leiding mogelijk is zijn ingrijpende maatregelen nodig.

3 Toepassing Veiligheidsraamwerk K&L

3.1 Inleiding

Voor een integrale faalkansanalyse van leidingen in waterkeringen is het Veiligheidsraamwerk K&L de basis. Algemeen is de systematiek op hoofdlijnen beschreven in het document 'WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen' [Deltares, 2018], in opdracht van Rijkswaterstaat. Daarin wordt aanbevolen aan de POV K&L om de systematiek in praktijkprojecten te testen.

De POV K&L heeft samen met andere experts kennis ontwikkeld om de systematiek uit te werken. Dit betreft met name de toepassing van Stap 3: Geavanceerd. Deze uitwerking is getest in dijkversterkingsprojecten, waarbij integrale faalkansanalyses zijn uitgevoerd voor verschillende situaties met parallelle en kruisende waterleidingen en een kruisende gasleiding. Daarbij moet wel nadrukkelijk het volgende in acht worden genomen.

"De situaties zijn bij elk dijkontwerp verschillend van aard en leiden elk tot een specifieke uitwerking van de systematiek en ontwikkeling van het Veiligheidsraamwerk POV K&L. De uitwerking vraagt om maatwerk, specialistische kennis en is vrij complex gebleken. De methodiek is algemeen toepasbaar; echter de resultaten zijn niet 1 op 1 toepasbaar in andere "vergelijkbare" situaties."

3.2 Casussen

Bij een viertal casussen was het vertrekpunt bij de veiligheidsbeoordeling een ontwerpsituatie bij een dijkversterkingsproject. Daarbij is onderscheid gemaakt in casussen, die zijn gebaseerd op inpassing van een bestaande leiding of een nieuw aan te leggen leiding, transportmedium (gas of vloeistof), configuratie (kruisend of parallel) en inwendige druk (lage druk: $\leq 1,0$ MPa $\approx \leq 10$ bar of hoge druk: $> 1,0$ MPa $\approx > 10$ bar). De kenmerken van deze casussen, die allemaal betrekking hebben op stalen gas- en waterleidingen, zijn samengevat in tabel 3.1.

Dijktraject	Dijkversterkingsplan	Kenmerken pijpleiding
44-2	Zeeburgereiland [POV K&L, 2018] en Zeeburgereiland-West [POV K&L, 2019-a]	Nieuwe parallelle lagedruk waterleiding staal \varnothing 800 mm van Waternet
43-6	Gorinchem – Waardenburg (Dunea) [POV K&L, 2020-a]	Bestaande kruisende lagedruk ruwwater transportleiding staal \varnothing 1200 mm van Dunea
43-4	Wolferen – Sprok (Gasunie) [POV K&L, 2020-b]	Bestaande kruisende hogedruk gas transportleiding staal \varnothing 900 mm van Gasunie
43-4	Wolferen – Sprok (Vitens) [POV K&L, 2020-c]	Bestaande kruisende lagedruk waterleiding staal \varnothing 700 mm van Vitens

Tabel 3.1: Overzicht veiligheidsbeoordeling casussen in ontwerpsituaties.

Ook is de casus Nieuwendam [POV K&L, 2020-d] uitgevoerd, die gaat over de veiligheidsbeoordeling van een bestaande primaire waterkering met parallelle lagedruk leiding, asbestcement DN 300 mm van PWN in de binnenkruinlijn.

Dijktraject	Bestaande dijk	Kenmerken pijpleiding
13-9	Nieuwendam [POV K&L, 2020-d]	Bestaande parallelle lagedruk waterleiding asbestcement DN 300 mm van PWN

Tabel 3.2: Overzicht veiligheidsbeoordeling casus in een bestaande situatie.

Een overzicht van de locaties van de casussen is weergegeven in figuur 3.1.



Figuur 3.1: Overzicht van de locaties van de casussen

De praktijkcasussen zijn niet zomaar gekozen. Bij alle casussen werd toepassing van de methodiek van het veiligheidsraamwerk POV K&L als zeer kansrijk gezien. Het streven daarbij was om te kunnen onderbouwen of de aanwezigheid van de bestaande (of geplande nieuwe) leidingen een aanvaardbare bijdrage aan de overstromingskans hebben.

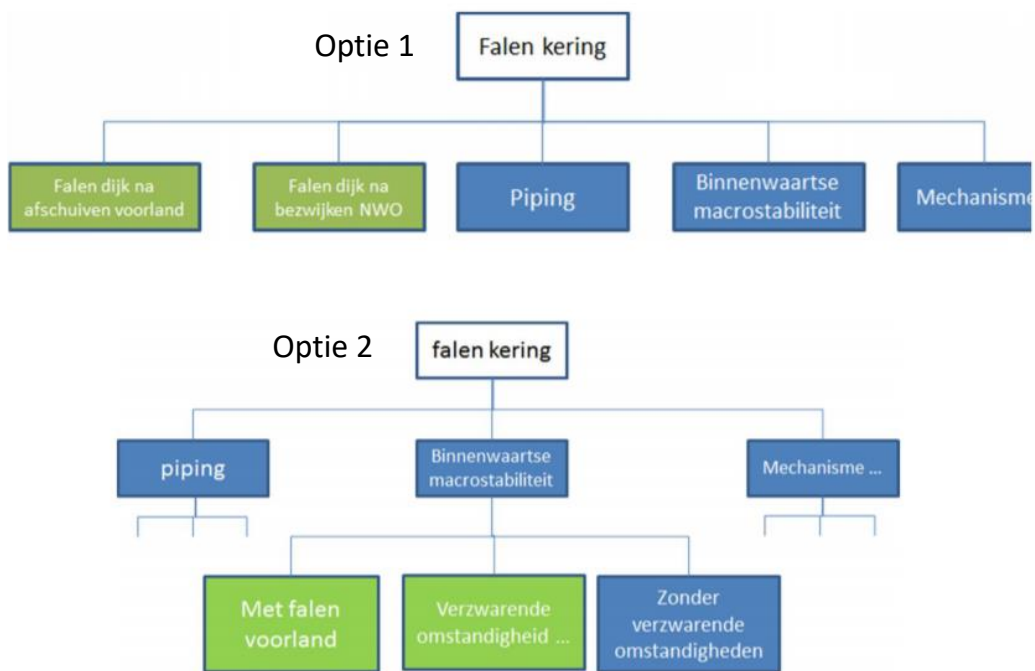
3.3 Faalkanseisen

3.3.1 Mogelijke opties

Voor de veiligheidsbeoordeling van niet-waterkerende objecten zijn in het WBI 2017 [I&M, 2016] geen faalkanseisen geformuleerd. In de Factsheet 'Post "overig" in de faalkansbegroting en indirecte mechanismen' [KPR, 2016] worden daarvoor twee opties gegeven. Daarin staat dat in de faalkansbegroting van een dijktraject ruimte is gereserveerd voor de directe faalmechanismen (gras erosie kruin/binnentalud, binnenwaartse macro-instabiliteit, piping, duinafslag, falen van kunstwerken/puntconstructies en falen bekledingen buitentalud). Daarnaast is een post 30% 'Overig' opgenomen, die is gereserveerd voor faalkansbijdragen die onbekend zijn of niet kunnen worden gekwantificeerd.

In het WBI 2017 [I&M, 2016] is ervoor gekozen om onderscheid te maken tussen directe faalmechanismen (direct leidend tot overstroming) en indirecte faalmechanismen (niet direct leidend tot overstroming), In het WBI 2017 kunnen indirecte faalmechanismen als verzwarende omstandigheid worden meegenomen bij de directe faalmechanismen. Het falen van niet-waterkerende objecten (NWO's), zoals: begroeiing, bebouwing, kabels & leidingen en overige niet-waterkerende objecten valt onder de indirecte faalmechanismen). Volgens de bovengenoemde Factsheet [KPR, 2016] kunnen de NWO's op twee manieren worden meegenomen (zie figuur 3.2):

- Optie 1: Als afzonderlijk direct faalmechanisme, waarbij de faalkansbijdrage van een individuele leiding centraal staat.
- Optie 2: Als verzwarende omstandigheid voor een direct faalmechanisme.



Figuur 3.2: Twee opties voor faalkanseisen voor indirecte mechanismen

3.3.2 Aanbeveling

In de casussen van de POV K&L zijn in de loop der tijd zowel optie 1 als optie 2 toegepast. Daarbij heeft een ontwikkeling plaatsgevonden over welke optie de voorkeur zou moeten hebben. Deze vraag is op 21 november ook aan de werkgroep ENW-Veiligheid voorgelegd. Daarbij werd in de mondelinge toelichting aangegeven dat zowel Optie 1 als Optie 2 mogen worden toegepast en moeten worden opengehouden. Daarin kan de waterkeringbeheerder, in onderling overleg met de leidingbeheerder een keuze maken.

Bij de nadere uitwerking van de faalkanseisen in de casussen is gebleken dat er nog geen standaard recept mogelijk is voor de verdiscontering van de lengte-effecten. Het onderscheid tussen kruisende en parallelle leidingen speelt daarbij ook een rol. Een en ander is ook als aandachtspunt opgenomen in het rapport 'Doorwerking Veiligheidsraamwerk K&L' [POV K&L, 2020-f].

In tabel 3.3 is een voorbeeld van faalkanseisen volgens optie 1 op een rijtje gezet.

Voorbeeld faalkanseisen Optie 1: Falen NWO als direct faalmechanisme		
Verdeling faalkansruimte post 'Overige'	Faalkanseis	
	Voor alle NWO's	Per individueel NWO
Post 'Overige', waarvan:	$0,30 \times P_{\max}$	
Falen indirecte mechanismen	$0,10 \times P_{\max}$	
Falen onbekende mechanismen	$0,10 \times P_{\max}$	
Falen niet-waterkerende objecten (NWO's), waarvan:	$0,10 \times P_{\max}$	
Falen bebouwing (NWO-be)	$0,02 \times P_{\max}$	
Falen begroeiing (NWO-bo)	$0,02 \times P_{\max}$	
Falen kabels en leidingen (NWO-kl), waarvan:	$0,04 \times P_{\max}$	
Falen kruisende leidingen (NWO _{KR,PL})	$0,02 \times P_{\max}$	$0,02 \times P_{\max} / N_{EQ,KR,PL} \ 1)$
Falen parallelle leidingen (NWO _{PAR,PL})	$0,02 \times P_{\max}$	$0,02 \times P_{\max} / N_{PAR,PL} \ 2)$
Falen overige NWO,s (NWO-ov)	$0,02 \times P_{\max}$	
<p>1) Equivalent aantal kruisende leidingen $N_{EQ,KR,PL} = 10$ bij totaal aantal kruisende leidingen $N_{TOT,KR-PL} \leq 100$ (bij $N_{TOT,KR,PL} > 100$ is heroverweging van $N_{EQ,KR,PL}$ nodig)</p> <p>2) Factor lengte-effect parallelle leidingen $N_{PAR-PL} = a \times L_{leiding} / b = 0,01 \times 50.000 / 50 = 10$.</p>		

Tabel 3.3: Voorbeeld van faalkanseisen van een dijktraject volgens optie 1

De verdeling van de faalkansruimte kan per dijktraject door de waterkeringbeheerder worden vastgesteld. Uit het voorbeeld van tabel 3.3. volgen voor het falen van een individuele leiding de volgende faalkanseisen:

- Individuele leidingkruising $P_{eis, KR, PL} = 0,2\%$ van P_{\max}
- Individuele parallelle leiding $P_{eis, PAR, PL} = 0,2\%$ van P_{\max}

De verdeling van deze faalkansruimte over kruisende en parallelle leidingen en de bepaling van het equivalent aantal kruisende leidingen en factor voor het lengte-effect voor de parallelle leidingen is indicatief en dient per dijktraject nader te worden bepaald. Bij de nadere uitwerking daarvan moet ook rekening worden gehouden met het werkelijke aantal kruisende en parallelle leidingen in het dijktraject. Indien uit inventarisatie daarvan blijkt dat het werkelijke aantal kruisende of parallelle leidingen in het dijktraject kleiner is dan 10 kan worden uitgegaan van het werkelijke aantal leidingen, eventueel uitgebreid met een extra aantal voor toekomstige uitbreidingen.

De som van alle scenario's met leidingfalen moet voldoen aan de faalkanseis van een individuele leiding. Daaraan levert de kans op falen van de betreffende directe dijkfaalmechanisme(n), gegeven een gebeurtenis in de vorm van een scenario een bijdrage. Het scenario zonder leidingfalen kan voor elk direct dijkfaalmechanisme worden getoetst aan de standaard doorsnede-eis ($P_{eis,dsn}$), die daarvoor volgens het WBI of het OI van toepassing is.

In tabel 3.4 zijn de kenmerken van de faalkanseisen volgens optie 2 op een rijtje gezet.

Optie 2: Falen NWO als indirect faalmechanisme	
Dijkfaalmechanisme	Faalkanseis kruisingen op doorsnedeniveau ($P_{eis,dsn}$)
Golfoverslag, erosie kruin en binnentalud (GEKB)	$0,24 \times P_{max} / N_{GEKB} / N_{EQ,KR-PL}$ 1)
Graserosie buitentalud (GEBU)	$0,045 \times P_{max} / N_{GEBU} / N_{EQ,KR-PL}$ 1)
Piping (STPH)	$0,24 \times P_{max} / N_{STPH}$ 2)
Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)	$0,04 \times P_{max} / N_{STBI}$ 3)
<p>1) P_{max} = maximaal toelaatbare kans op overstroming. Factor lengte-effect $N_{GEKB} = N_{GEBU} = 1, 2$ of 3 (afhankelijk van dijktraject en watersysteem). Equivalent aantal kruisende leidingen in dijktraject: $N_{EQ,KR,PL} = 10$ en lengte-effect parallelle leidingen: $N_{PAR-PL} = 10$.</p> <p>2) Factor lengte-effect: $N_{STPH} = 1 + (a \times L_{traject} / 300)$ met $a = 0,9$ (bovenrivierengebied) of $a = 0,4$ (overige).</p> <p>3) Factor lengte-effect $N_{STBI} = 1 + (0,033 \times L_{traject} / 50)$.</p>	

Tabel 3.4: Faalkanseisen volgens optie 2.

Uit tabel 3.4 blijkt dat de faalkansruimte factor (ω) per dijkfaalmechanisme (varieert van $\omega = 0,04$ tot $\omega = 0,24$) en dat de bijbehorende lengte-effect factor (N) verschillend zijn. De oorzaak daarvan is de autocorrelatielengte van een dijkfaalmechanisme. Dat is de lengte van een dijkvak met uniforme eigenschappen, die representatief is voor een dijkfaalmechanisme en de doorsnede daarvan.

Voor de dijkfaalmechanismen GEKB en GEBU is de autocorrelatielengte groot ($L_{traject} / 1,2$ of 3). Dat komt omdat de faalkans daarvan wordt gedomineerd door de hydraulische belastingen (buitenwaterstand, golfbelasting en stroming).

Voor de geotechnische dijkfaalmechanismen STBI en STPH is de autocorrelatielengte klein (50 m respectievelijk 300 m). Dat komt omdat de faalkans daarvan wordt gedomineerd door de sterkte-eigenschappen van de ondergrond.

Omdat de scenario's met leidingfalen en het aantal leidingen in een dijkvak een bijdrage kunnen leveren aan de faalkans van het beschouwde dijkfaalmechanisme moet bij de faalkanseis op doorsnedeniveau rekening worden gehouden met extra faalkansruimte. Dit leidt tot een factor 10 strengere faalkanseis op doorsnedeniveau c.q. objectniveau voor de dijkfaalmechanismen GEKB en GEBU, wat grote consequenties kan hebben voor de veiligheidsbeoordeling, die dan ook geldt voor de doorsnedes zonder objecten.

3.3.3 Resumé

Uit de vergelijking van de faalkanseisen van optie 1 en optie 2 kan het volgende worden geconcludeerd:

- Zowel bij optie 1 als bij optie 2 is een inventarisatie nodig van het totale aantal en type leidingen in een dijktraject.
- Bij optie 1 kunnen de scenario's met leidingfalen worden ondergebracht bij de post 'Overig', waarvoor 30% van de toelaatbare kans op overstroming beschikbaar is.
- Bij optie 1 kunnen de scenario's zonder leidingfalen worden ondergebracht bij de directe dijk faalmechanismen en leiden dan niet tot een verzwaring van de standaard faalkanseisen van het WBI/OI.
- Bij optie 2 leiden de scenario's met leidingfalen voor de dijkfaalmechanismen golfoverslag, erosie kruin en binnentalud (GEKB) en graserosie buitentalud (GEBU) tot een forse verzwaring van de faalkanseis op doorsnedeniveau.

Op basis van deze conclusies wordt aanbevolen om voor de scenario's met leidingfalen de beschikbare faalkansruimte van 30% 'Overig' te benutten en voor de scenario's zonder leidingfalen de faalkansruimte binnen de directe dijkfaalmechanismen te benutten.

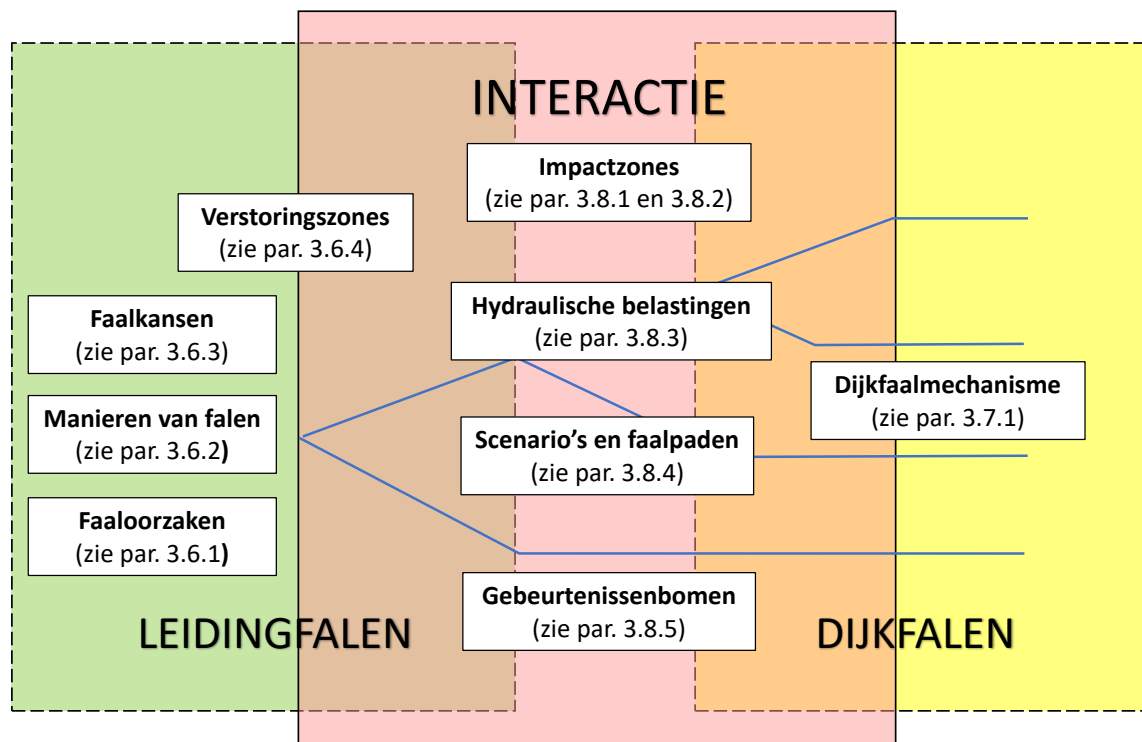
Voorbeeld faalkanseisen scenario's met leidingfalen (Optie 1)

Trajectnorm (ondergrens): $P_{\max} = 1/10.000$ (1,00E-04) per jaar

- Faalkanseisen voor kruisende leidingen:
 - Factor faalkansruimte: $\omega = 0,02$
 - Totaal aantal kruisende leidingen in dijktraject: $N_{\text{TOT,KR-PL}} = 38$ (< 100)
 - Equivalent aantal kruisende leidingen: $N_{\text{EQ,KR-PL}} = 10$
 - Faalkanseis per individueel NWO: $P_{\text{eis,NWO}} = 0,2\%$ van $1,00\text{E-}04 = \underline{2,0\text{E-}07}$ per jaar
- Faalkanseisen voor parallelle leidingen:
 - Factor faalkansruimte: $\omega = 0,02$
 - Totaal aantal parallelle leidingen in dijktraject: $N_{\text{TOTAAL,KR-PL}} = 41$
 - Factor lengte-effect parallelle leidingen: $N_{\text{PAR-PL}} = 10$
 - Faalkanseis per individueel NWO: $P_{\text{eis,NWO}} = 0,2\%$ van $1,00\text{E-}04 = \underline{2,0\text{E-}07}$ per jaar; de som van alle scenario's van de dijkfaalmechanismen met leidingfalen moet hieraan voldoen

3.4 Systematiek Veiligheidsraamwerk POV K&L

Het algemene WBI Veiligheidsraamwerk K&L is door de POV K&L in de praktijk toegepast en doorontwikkeld tot een instrument Veiligheidsraamwerk POV K&L, gebaseerd op een faalkansbenadering, waarbij de kans op falen van een leiding wordt gecombineerd met de kans op falen van de waterkering. De interactie tussen leidingfalen en dijkfalen is zichtbaar gemaakt in figuur 3.3.



Figuur 3.3: Interactie tussen tussen leidingfalen en dijkfalen.

Om de integrale faalkansanalyses uit te kunnen voeren is het belangrijk om vooraf alle daarvoor benodigde uitgangspunten en randvoorwaarden goed vast te leggen. Dat betreft de beschikbare (en een inventarisatie van de nog te verzamelen) gegevens van de leiding en van de waterkering, inclusief de onderliggende datafiles.

3.5 Benodigde gegevens

In het algemeen moeten van de leiding ontwerpgegevens worden verzameld, conform het gestelde in Bijlage B van NEN 3650-1 [NEN, 2020-a].

3.5.1 Gasleiding

Voor een gasleiding zijn aanvullend nog de volgende gegevens nodig:

- Geometrie/configuratie bestaande leiding (situatie, dwarsprofielen, bodemopbouw, geotechnisch onderzoek et cetera).
- Aanvullend lokaal grondmechanisch onderzoek ter plaatse van de leiding.
- Leidingkenmerken (materiaal, ontwerpdruk et cetera).
- Materiaalgegevens (diameter, wanddikte, staalsoort-/kwaliteit, lassen en materiaalovergangen, afsluiters en appendages, kathodische bescherming, et cetera).
- Inwendige-/uitwendige coating en kathodische bescherming.
- Gegevens over de periode van aanleg tot heden, zoals meetgegevens van zakbaken, zetbaken, peilbuizen en afname van de wanddikte door corrosie (integriteitscontrole van de leiding, bijvoorbeeld door 'intelligent pigging').
- Afmetingen impactzones en kritieke impactzones voor leiding in versterkte waterkering.
- Verstoringszones (erosiekrater, explosiekrater, plastische zone en verwekingszone).
- Rekentechnische zone NEN 3651.
- Bepaling invloeden van dijkversterking op de leiding (zettingen, zakkingen en horizontale vervormingen in de impactzones).
- Uitgebreide sterkteberekening (situatie 1: bestaande leiding in bestaande dijk en situatie 2: bestaande leiding in versterkte dijk).

3.5.2 Vloeistofleiding

Voor een vloeistofleiding zijn aanvullend nog de volgende gegevens nodig:

- Geometrie/configuratie bestaande leiding (situatie, dwarsprofielen, bodemopbouw, geotechnisch onderzoek et cetera).
- Aanvullend lokaal grondmechanisch onderzoek ter plaatse van leiding: veldonderzoek + bepaling sterkte-eigenschappen conform NEN 3651-1 en aanvullende proeven ten behoeve van variatieberekeningen grondeigenschappen.
- Leidingkenmerken (leidingmateriaal, diameter, wanddikte, ontwerpdruk et cetera).
- Gegevens over de periode van aanleg tot heden, zoals meetgegevens van zak-/zetbaken en afname van de wanddikte door corrosie, mogelijke veroudering, kathodische bescherming in geval van staal.
- Afmetingen kritieke impactzone (nieuwe veiligheidszone) voor de bestaande situatie en de toekomstige situatie na dijkversterking.
- Afmetingen kritieke impactzone (nieuwe veiligheidszone) voor toekomstige situatie na dijkversterking.
- Rekentechnische zone NEN 3651.
- Bepaling invloeden van dijkversterking op de leiding (zettingen, zakkingen en horizontale vervormingen).
- Uitgebreide sterkteberekening voor situatie bestaande leiding in bestaande dijk en bestaande leiding in versterkte dijk.
- Resultaten netwerkberekening en pompkarakteristieken.

3.5.3 Waterkering

De voor het dijkontwerp benodigde gegevens zijn als volgt:

Dijktraject

- Trajectnummer, trajectlengte en trajectnorm (signaleringswaarde en ondergrens).
- Veiligheidseisen op doorsnedeniveau per dijkfaalmechanisme.
- Hydraulische belastingen: waterstand bij norm (WBN) en hydraulisch belastingniveau (HBN) bij verschillende overslagcriteria.
- Overschrijdingsfrequenties van hoog- en laagwaterstanden (inclusief invloed van klimaatverandering voor zichtperiode).
- Grondwaterstanden en polderpeilen.

Indien in de praktijk blijkt dat er slechts een beperkt aantal van de benodigde gegevens beschikbaar zijn moeten deze alsnog worden verzameld. Dat kan bijvoorbeeld door het uitvoeren van aanvullend lokaal geotechnisch onderzoek of door nadere inspectie van de inspectie ter controle van de staalkwaliteit, aanwezige wanddikte, coating et cetera.

Geometrie en ondergrond:

- Geometrische gegevens (situatietekening en lengte-/dwarsprofielen), grondonderzoek, (conform de specificaties van het OI/WBI en de NEN 3650 reeks) ter plaatse van de leiding en de aangrenzende dijkvakken voor de huidige situatie en de situatie na dijkversterking.
- Grondopbouw (2d-schematisering).
- Geschiedenis van het dijkvak zoals piping (zand meevoerende wellen), dreigende doorbraak et cetera.
- Sterkteparameters (S , m , ϕ , POP/OCR/grensspanning et cetera).
- Waterspanningen (headline en freatische lijn).
- Graskwaliteit (open of gesloten zode); nodig voor het beoordelingsspoor GEBU. Bij de aanwezigheid van een steen- of asfaltbekleding moeten daarover ook de gegevens worden verzameld voor de beoordelingssporen AGK (Asfalt, golfklappen), AWO (Asfalt, wateroverdrukken) en ZST (Steenzetting).
- Eigenschappen van de pipinggevoelige laag (d_{70} , doorlatendheid, et cetera).
- Eventueel bestek/ontwerptekeningen van de historische dijkversterkingen.
- Zettingen en vervormingen bij hoogwater.

3.6 Leidingfalen

Bij de casussen van de POV K&L is enkel informatie verzameld over hogedruk gas-, olie- en lagedruk gas- en drinkwaterleidingen. Daarbij zijn leidingen met industriewater en landbouwwater buiten beschouwing gelaten. Dat geldt ook voor afvalwaterleidingen, persleidingen en riolen. Voor die leidingen moeten de relevante gegevens nog worden verzameld.

3.6.1 Faaloorzaken

Faaloorzaken hogedruk transport leidingen (Groep I leidingen conform NEN 3650)

Aardgasleidingen $> 1,6$ MPa ($\approx > 16$ bar) vallend onder groep I leidingen. Het disfunctioneren van leidingen kan optreden door verschillende faaloorzaken. Bij de definiëring van de faaloorzaken wordt aangesloten bij de indeling, zoals die in Europa op basis van de casuïstiek van leidingincidenten voor gas- en vloeistofleidingen in ook Nederland in het kader van de externe veiligheid wordt toegepast. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in vijf categorieën van faaloorzaken:

1. Externe beïnvloeding (external interference).
Schade door bijvoorbeeld graafwerkzaamheden of contact met de leiding.
2. Corrosie (corrosion).
Inwendige of uitwendige aantasting van de buiswand.
3. Mechanische gebreken (mechanical defects).
Materiaalfouten, ontwerpfouten, aanlegfouten, lasfouten en gebreken aan appendages.
4. Operationele fout (operational error).
Druk-/temperatuurwisselingen en falen van afsluiters et cetera.
5. Grondbeweging (ground movement).
Zakking-/zettingen en vervormingen van de dijk bij hoogwater.

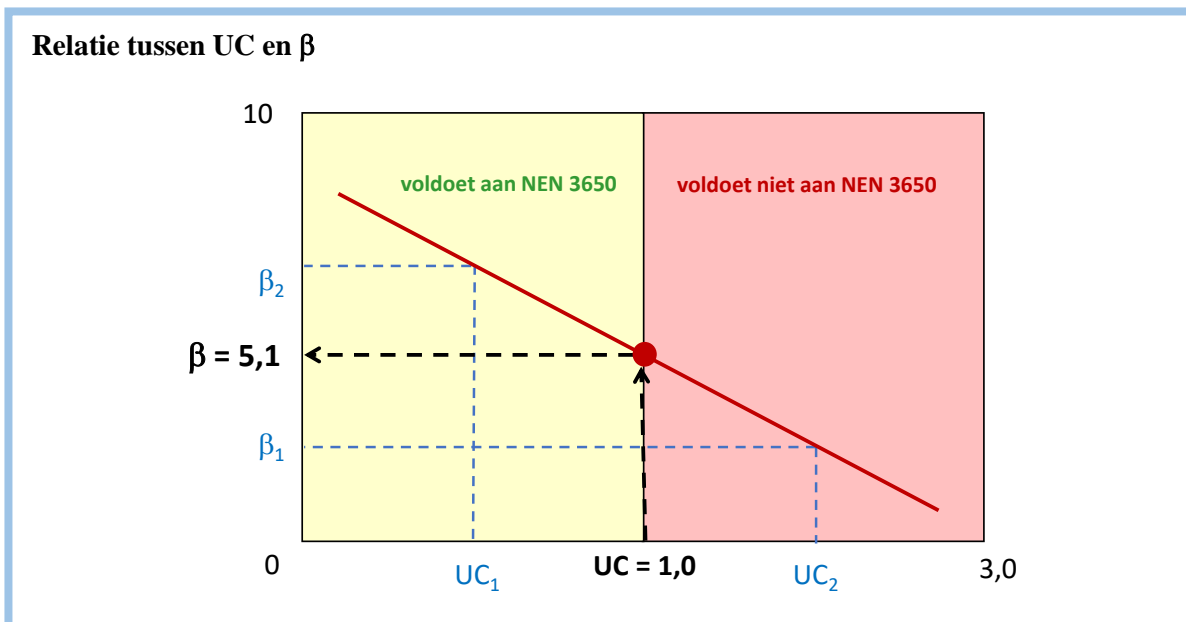
Voor de faaloorzaken in de categorieën 1 t/m 4 kunnen de bijbehorende faalkansen worden ontleend aan de casuïstiek van leidingincidenten (zie paragraaf 3.6.3).

Voor de bepaling van de faalkans van faaloorzaak 5. Grondbeweging kan gebruik worden gemaakt van de resultaten van leidingsterkteberekeningen met het gevalideerde rekenprogramma PLE. De daarbij benodigde invoer van partiële belasting- en sterktefactoren (γ) staat in NEN 3651-1 [NEN, 2020-a].

Met PLE worden per strekkende meter leiding de aanwezige materiaalspanningen en vervormingen berekend en getoetst aan de daarvoor geldende criteria. De verhouding tussen de grenswaarde en het criterium wordt uitgedrukt in een veiligheidsmarge, die Unity Check (UC) wordt genoemd. Als $UC \leq 1$ voldoet de leidingsterkte aan het criterium en bij $UC > 1$ is dat niet het geval. Bij $UC = 1$ voldoet de sterkte van de leiding exact aan de sterkte-eisen van NEN 3650 reeks. Uit [TNO, 2003] volgt dat dan voor een kruisende leiding wordt voldaan aan de vereiste betrouwbaarheidseis van $\beta = 5,1$, die representatief is gesteld voor een referentieperiode van 30 jaar bij een leidinglengte van 100 m en een autocorrelatielengte van 10 m.

Van de relatie tussen UC en β via γ kan worden gebruikt door bij meerdere γ 's de bijbehorende UC en β te bepalen. Dit resulteert in een trendlijn waarmee voor elke met PLE berekende spanningen of vervorming een schatting kan worden gemaakt van de kans op falen van de leidingsterkte. Meer informatie daarover is te vinden in het achtergronddocument 'Omrekening van Unity Check naar faalkans', [TNO, 2020].

Hierbij is ook werken van grof naar fijn mogelijk, namelijk door op basis van de UC in te schatten of de faalkansbijdrage relevant is of aanleiding geeft om voor de faaloorzaak 'grondbeweging' een hogere faalkans te hanteren dan voor de overige faaloorzaken.



Faalorzaken gasdistributieleidingen ($\leq 0,8 \text{ MPa} \approx \leq 8 \text{ bar}$)

In het kader van het rapport 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen' [POV K&L, 2020-e] zijn door KIWA lekfrequenties van gasdistributieleidingen bepaald inclusief en exclusief lekkages als gevolg van externe factoren. De in de brondata geregistreerde faalorzaken zijn samengevat in tabel 3.5.

Categorieën van faalorzaken	Faalorzaken KIWA	
Externe invloeden	Externe factoren	Door de klant/aangeslotene
		Graafwerk
		Vandalisme/diefstal
Corrosie	Interne factoren	Corrosie/veroudering
Mechanische gebreken		Aanlegfout
		Montagefout
		Productfout
Operationele fouten		Bediening
Grondbeweging	Werking van de bodem	
	Puntbelasting	
	Anders of onbekend	

Tabel 3.5: Faalorzaken van gasdistributieleidingen.

Voor meer informatie zie rapport Lekfrequenties van gasdistributieleidingen, bijlage bij rapport 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen' [POV K&L, 2020-e]. Daaruit volgt dat de lekfrequenties van alle materialen en diameters voor 25% worden bepaald door externe factoren en voor 75% door interne factoren.

Faalorzaken drinkwaterleidingen (Groep II leidingen $\leq 1,6 \text{ MPa} \approx \leq 16 \text{ bar}$)

In het kader van het rapport 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen', [POV K&L, 2020-e] zijn door KWR storingsfrequenties van drinkwaterleidingen bepaald inclusief en exclusief lekkages als gevolg van externe factoren. De in de brondata geregistreerde faalorzaken zijn samengevat in tabel 3.6.

Categorieën van faalorzaken	Faalorzaken KWR	
	Externe invloeden	Externe oorzaak
Corrosie	Spontane oorzaak	Aantasting (corrosie of uitloging)
Mechanische gebreken	Interne oorzaak	Aanleg-/montagefout
		Schade door monteurs of gecontracteerde aannemers
Operationele fouten		Schade door beheer pompen (verhoogde druk, drukstoten)
Grondbeweging		Uitwendige belasting, zoals verkeer, zetting, wortelingroei, storm, et cetera
	Onbekend	

Tabel 3.6: Faalorzaken van drinkwaterleidingen.

Voor meer informatie zie rapport *Storingsfrequenties van drinkwaterleidingen*, bijlage bij rapport 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen' [POV K&L, 2020-e]. Daaruit volgt dat de lekfrequenties van alle materialen en diameters voor 20% worden bepaald door externe oorzaken en voor 80% door interne oorzaken.

Bij de casussen van de POV K&L zijn enkel faalfrequenties verzameld over gas en drinkwaterleidingen. Daarbij zijn leidingen met industriewater en landbouwwater buiten beschouwing gelaten. Dat geldt ook voor afvalwaterleidingen, persleidingen en vrijverval riolen. Voor die leidingen was geen informatie over faalfrequenties beschikbaar.

Aanbevolen wordt om na te gaan of het niet beter zou zijn om onderscheid te maken tussen hogedruk transportleidingen en lagedruktransportleidingen en bij lagedruktransportleidingen een nadere onderverdeling toe te passen.

3.6.2 Faalmanieren

De manier van falen van een leiding is afhankelijk van de faaloorzaak (zie paragraaf 3.6.1) van schade aan de leiding, waardoor het schadebeeld zich op verschillende manieren kan manifesteren (zie figuur 3.4 tot en met 3.9).

Klein gat of scheur

Een klein gat is maximaal 20 mm en een scheur is maximaal 55 mm lang.



Figuur 3.4: Klein gat



Figuur 3.5: Omtreksscheur

Groot gat

Een groot gat is groter dan 20 mm.



Figuur 3.6: Groot gat



Figuur 3.7: Volledige afschuiving

Volledige afschuiving

Leidingbreuk, ook wel '(guillotinebreuk' genoemd, waarbij de leiding over de volledige doorsnede open is.

Langsscheur

Grote scheur, die groter is dan 20 mm.

Falen koppeling

Niet goed aansluitende koppelingen, zoals bijvoorbeeld bij de mof-spie-verbinding van gelede leidingen.



Figuur 3.8: Langsscheur



Figuur 3.9: Falen koppeling

3.6.3 Faalkansen

De Nederlandse praktijkrichtlijn NPR 3659 [NPR, 2006] voorziet in een wijzigingsblad met faalkansen van leidingen voor verschillende drukken en leidingmaterialen. Deze faalkansen zijn niet meer actueel en bovendien is er geen onderbouwing beschikbaar over de wijze waarop de faalkansen destijds zijn afgeleid.

Door de POV K&L zijn ten behoeve van de praktijkcasussen op basis van casuïstiek van leidingincidenten en expertkennis faalfrequenties van leidingen afgeleid. Daarbij is onderscheid gemaakt in faalfrequenties voor transportleidingen en distributieleidingen en hoge en lagedrukleidingen, die alle faaloorzaken omvatten.

Faalfrequenties van hogedruk stalen gastransport leidingen

Voor de faalfrequenties van stalen hogedruk gastransport leidingen kan gebruik worden gemaakt van data uit EGIG (European Gas pipeline Incident data Group). Het rapport dat deze gegevens bevat wordt periodiek geactualiseerd en kan worden gedownload via [<https://www.egig.eu>].

Voorbeeld faalfrequenties ECIG per faaloorzaak [EGIG, 2018]

Cause	Primary failure frequency			
	1970-2016 per 1,000 km·yr	1997-2016 per 1,000 km·yr	2007-2016 per 1,000 km·yr	2012-2016 per 1,000 km·yr
External interference	0.144	0.064	0.043	0.032
Corrosion	0.052	0.034	0.037	0.027
Construction defect / Material failure	0.051	0.022	0.027	0.021
Hot tap made by error	0.014	0.006	0.006	0.003
Ground movement	0.026	0.023	0.022	0.031

De faalfrequenties zijn mede afhankelijk van de leidingdiameter. Nadere informatie daarover is te vinden via de EGIG-website.

Voorbeeld faalfrequenties ECIG per manier van falen en diameterklasse [EGIG, 2018]

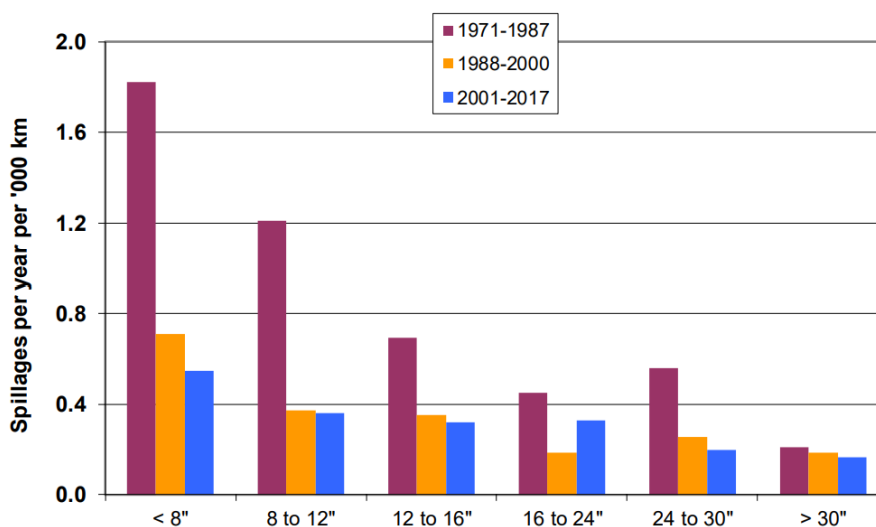
Nominal diameter	System exposure ·10 ⁶ km·yr	Secondary failure frequency per 1,000 km·yr			
		Unknown	Pinhole/crack	Hole	Rupture
diameter < 5"	0.141	0.014	0.376	0.071	0.057
5" ≤ diameter < 11"	0.336	0.006	0.134	0.060	0.018
11" ≤ diameter < 17"	0.224	0.009	0.054	0.040	0.013
17" ≤ diameter < 23"	0.150	0.007	0.053	0.020	0.000
23" ≤ diameter < 29"	0.144	0.000	0.084	0.021	0.021
29" ≤ diameter < 35"	0.090	0.000	0.022	0.000	0.011
35" ≤ diameter < 41"	0.147	0.000	0.007	0.000	0.000
41" ≤ diameter < 47"	0.058	0.000	0.017	0.000	0.000
diameter ≥ 47"	0.096	0.000	0.010	0.000	0.000

Aanbevolen wordt om bij de integrale faalkansanalyses van gastransportleidingen uit te gaan van de faalfrequenties van EGIG. Omdat die representatief zijn voor alle gasleidingen in Europa kunnen deze voor leidingen in waterkeringen als conservatieve, veilige waarden worden beschouwd. De verwachting is dat het aantal leidingincidenten in primaire waterkeringen in Nederland een orde kleiner is.

Faalfrequenties van Groep I olieleidingen

Voor de faalfrequenties van stalen hogedruk olietransportleidingen kan gebruik worden gemaakt van gegevens van CONCAWE (**CON**servation of **C**lean **A**ir and **W**ater **E**urope). Het rapport dat deze gegevens bevat wordt periodiek geactualiseerd en kan worden gedownload via de website [<https://www.concawe.eu>].

Voorbeeld faalfrequenties CONCAWE per diameterklasse [CONCAWE, 2020]



Aanbevolen wordt om bij de integrale faalkansanalyses van olietransportleidingen uit te gaan van de faalfrequenties van CONCAWE. Omdat de waarden van deze tabel representatief zijn voor alle olieleidingen in Europa kunnen deze voor leidingen in waterkeringen als conservatieve, veilige waarden worden beschouwd. De verwachting is dat het aantal leidingincidenten in primaire waterkeringen in Nederland een orde kleiner is.

Lek-/storingsfrequenties van gasdistributie en drinkwaterleidingen

Voor lagedruk gas- en waterdistributiewaterleidingen kan gebruik worden gemaakt van de lekfrequenties van KIWA en KWR op basis van registraties van incidenten uit de databases NESTOR en USTORE. De resultaten daarvan zijn samengevat in tabel 3.7. Ter vergelijking zijn daarin ook de faalkansen volgens NPR 3659 [NPR, 2006] opgenomen.

Leidingmateriaal	Lek-/storingsfrequenties van gasdistributieleidingen en drinkwaterleidingen ¹⁾ [per kilometer per jaar]		
	NPR 3659 (2006)	Alle diameters en drukken	
		Gas ²⁾ (KIWA) 2009 t/m 2018	Water ³⁾ (KWR) 2010 t/m 2019
Staal hogedruk	8,0E-04	n.v.t.	n.v.t.
Staal lagedruk	2,5E-01	4,0E-02	1,6E-02
Grijs gietijzer	5,0E-01	2,3E-01	6,0E-02 ⁴⁾
Nodulair gietijzer	5,0E-02	1,3E-01	4,0E-03 ⁴⁾
PVC	1,5E-01	3,0E-02	2,0E-02
PE	1,0E-01	3,0E-02	1,0E-02
Gewapend beton zonder plaatstalen kern	5,0E-02	-	-
Gewapend beton met plaatstalen kern	1,0E-02	-	-
Asbestcement	5,0E-02	1,6E-01	8,0E-02

1) De frequenties zijn gemiddelde waarden, waarvan de spreiding daaromheen per regio verschillend kan zijn.
2) Totale lengte gasleidingen: 124.633 km (landelijk dekkend). De faalfrequenties zijn representatief voor leidingen $\leq \varnothing 400$ mm.
3) Betreft 65.155 km van de totale lengte van 120.061 km waterleiding. De storingsfrequenties zijn representatief voor leidingen $\leq \varnothing 700$ mm. Voor leidingen > 700 mm zijn onvoldoende gegevens beschikbaar.
4) Aanbevolen wordt om in verband met onzekerheden deze waarden niet toe te passen maar in plaats daarvan voorlopig uit te gaan van de waarden voor gas.

Tabel 3.7: Overzicht van lek-/storingsfrequenties van gas- en waterdistributieleidingen.

Voor de onderbouwing van de waarden van tabel 3.7 zie rapport 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen' [POV-K&L, 2020-e]. Indien nodig kunnen op basis van deze rapporten ook faalfrequenties per diametergroep of drukklasse worden bepaald.

Aanbevolen wordt om bij integrale faalkansanalyses uit te gaan van de faalfrequenties van tabel 3.7 in plaats van de faalkansen van NPR 3659 [NPR, 2006]. Omdat de waarden van deze tabel representatief zijn voor het totale areaal leidingen in Nederland kunnen deze voor leidingen in waterkeringen, omdat de faalfrequenties daarvan naar verwachting een orde kleiner zijn, als conservatieve, veilige waarden worden beschouwd. De faalfrequenties van tabel 3.7 kunnen niet worden toegepast voor horizontale boringen (HDD), persleidingen van gemalen en riolen. Dat geldt ook voor huisaansluitingen, die worden geacht geen bijdrage te leveren aan de kans op overstroming. Omdat voor betonnen leidingen geen actuele faalfrequenties beschikbaar zijn wordt aanbevolen om daarvoor uit te gaan van de waarden van NPR 3659.

Lekfrequenties van waterleidingen met een grote diameter

Voor waterleidingen met een diameter > 700 mm zijn onvoldoende registratiegegevens beschikbaar. Aanbevolen wordt om daarvoor uit te gaan van de faalfrequenties van Groep I olieleidingen.

Correctiefactoren Bevb

Voor de faalkansen van leidingen in dijken kunnen ten opzichte van de faalkansen voor veldleidingen correctiefactoren volgens de Handleiding Risicoberekeningen Bevb [RIVM, 2020] worden toegepast. De correctiefactoren zijn oorspronkelijk bedoeld voor Groep I leidingen, maar worden in het voorliggende rapport ook aanbevolen voor toepassing op alle (transport)leidingen. De correctiefactoren hebben betrekking op de invloed van mitigerende maatregelen in verband met het risico van Groep I leidingen. Als voorbeeld zijn hierna de tabellen 3.8 en 3.9 voor hogedruk aardgastransportleidingen gegeven. Daartoe is het risico ingedeeld in clusters met bijbehorende correctiefactoren.

Clusters	Toelichting	Correctiefactor Bevb (vermenigvuldigingsfactor)
Mitigerende maatregelen ter voorkoming van beschadiging door derden		
Cluster 1: Regelgeving en casuïstiek	A. Grondroerdersregeling WIBON-wetgeving (wet informatie-uitwisseling bovengrondse en ondergrondse netten en netwerken)	Afhankelijk van leidingexploitant (zie Tabel 11 van RIVM, 2020)
	B. Casuïstiek Reductie faalfrequentie uit casuïstiek	idem
	C. Actief rappel	idem
Cluster 2: Afdekking met beschermend materiaal	Maatregelen waarbij er een ondergrondse afdekking plaatsvindt van de te beschermen leiding.	0,599 (waarschuwingslint) 0,2 (beschermplaten)
Cluster 3: Beheermaatregelen	Beperkingen aan of uitsluiting van graafwerkzaamheden door middel van een beheerovereenkomst met de grondeigenaar.	0,1 (overeenkomst graven/boren verboden) 0,1 (grondroeren verboden voorgesteld)
Cluster 4: Fysieke barrières op maaiveld	Maatregelen die ertoe dienen dat het bij graafwerkzaamheden duidelijk is dat de werkzaamheden niet mogen worden uitgevoerd.	0,1 (dijklichaam)
Cluster 5: Overige maatregelen	Maatregelen die afhankelijk van de grondroerdersregeling doorwerken.	Afhankelijk van Cluster 1A en 1C
Cluster 6: Extra gronddekking	Per 10 cm extra gronddekking kan een reductiefactor worden toegepast.	Reductiefactor 1,3 tot 11 (zie Tabel 11 van [RIVM, 2020])
Cluster 7: Wanddikte	Wanddikte exclusief corrosietoeslag	0,1 (≥ 15 mm) 1,0 (< 15 mm)
<ul style="list-style-type: none"> - $factor = factor_{cluster1} \times factor_{cluster2} \times factor_{cluster3} \times factor_{cluster4} \times factor_{cluster5} \times factor_{cluster6} \times factor_{cluster7}$ - Voor de clusters 2 t/m 5 kan slechts één maatregel gekozen worden per cluster. - $factor_{cluster5} = (A \times C)^{-1} / factor_{geselecteerde\ maatregel,\ cluster5}$ - als er geen maatregelen worden gespecificeerd voor cluster 5 geldt $factor_{cluster5} = 1,0$ <p>Faalfrequentie _{beschadiging door derden, gecorrigeerd} = faalfrequentie _{beschadiging door derden} × factor</p>		

Tabel 3.8: Correctiefactoren mitigerende maatregelen ter voorkoming van beschadiging door derden (bron: RIVM, 2020).

Clusters	Toelichting	Correctiefactor Bevb (delingsfactor)
Mitigerende maatregelen ter voorkoming van overige faaloorzaken		
Mechanisch falen	Het verlagen van de maximaal toegestane operationele druk OF Het uitvoeren van een In Line Inspectie (ILI) gecombineerd met defectanalyse en indien benodigd reparatie.	10
Uitwendige corrosie	Uitvoeren van een passende high-resolution metal loss InLine Inspectie (ILI) gecombineerd met gedegen defectanalyse en indien benodigd reparatie.	10
Natuurlijke oorzaken	Ontoelaatbare zettingen c.q. spanningen kunnen door middel van een evaluatie redelijkerwijs vergaand worden uitgesloten.	10
	Natuurlijke oorzaken kunnen worden uitgesloten	100
Operationele en overige zaken	Overdruk beveiligingsysteem op basis van het van toepassing zijnde Safety Integrity Level (SIL).	10 (toegepaste SIL = berekende SIL +1) 100 (toegepaste SIL = berekende SIL +2)
$\text{Faalfrequentie}_{\text{overige faaloorzaak, gecorrigeerd}} = \text{faalfrequentie}_{\text{overige faaloorzaak}} / \text{factor}$		

Tabel 3.9: Correctie mitigerende maatregelen ter voorkoming van overige faaloorzaken (bron: RIVM, 2020).

In een RIVM-brief [RIVM, 2011] worden de maatregelen uitgebreid beschreven. De randvoorwaarden worden genoemd in de bijlage (Hoofdstuk 5) van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb [RIVM, 2020].

Verder kan bij groep II leidingen een reductie op de faalkans worden toegepast ingeval van extra onderzoek aan de lassen, materiaalproeven of herbeproeving. Dit moet per geval worden vastgesteld. Opgemerkt wordt dat groep I leidingen naast constructietoezicht tevens onafhankelijk worden geverifieerd door een inspectie instelling die voldoet aan EN ISO/IEC 17020. Dit is in het algemeen niet het geval bij Groep II leidingen.

De toe te passen correctiefactoren hebben betrekking op de faalkans van de leiding en de locatie en zone in het dijkprofiel waar leidingfalen optreedt. Daarom moeten de correctiefactoren per impactzone (zie paragraaf 3.6.3) worden bepaald.

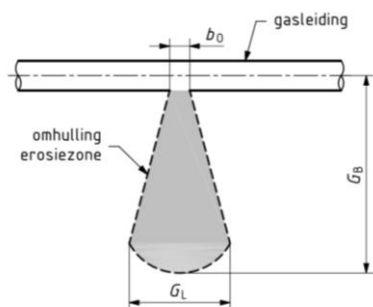
3.6.4 Verstoringzones

Bij leidingfalen zijn de faaloorzaken en de faalmanieren van de leiding bepalend voor de afmetingen van de zone waarbinnen verstoring van de grond rondom de leiding kan optreden.

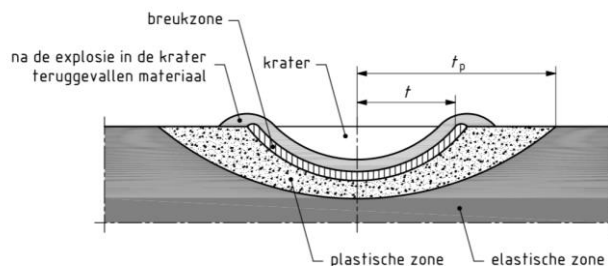
Daarbij is het transportmedium (gas of vloeistof), de hoeveelheid uitstromend debiet en de bijbehorende druk (hoge of lagedruk) bepalend voor de mate van verstoring van de zone rondom de leiding (krater, plastische zone, verweking et cetera). In NEN 3651 wordt dit de verstoringzone genoemd.

Verstoringzones gasleidingen

Als basis voor de berekening van de verstoringzones van gasleidingen kan gebruik worden gemaakt van de formules uit Bijlage A van [NEN, 2020-f]. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in een krater als gevolg van erosie (zie figuur 3.10) en een krater, plastische zones en elastische zones als gevolg van explosie (zie figuur 3.11).



Figuur 3.10: Verstoringzone gasleiding bij erosie (bron: [NEN, 2020-f])



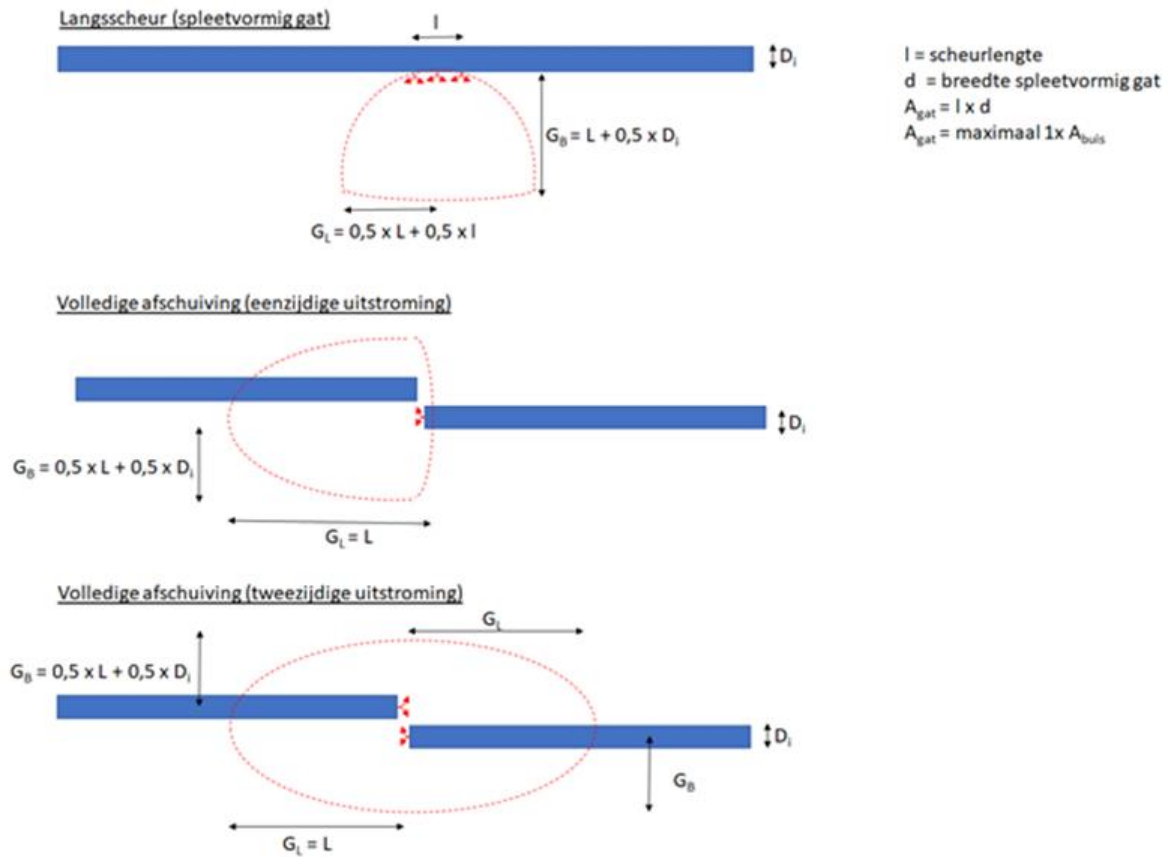
Figuur 3.11: Verstoringzones gasleiding bij explosie (bron: [NEN, 2020-f])

De dimensies van de verstoringzones zijn mede afhankelijk van de faalmanieren van de leiding (zie paragraaf 3.6.2).

Bij een erosiekrater als gevolg van een gapend lek is dat afhankelijk van de inwendige druk, de uitstroomsnelheid, het uitstroomdebiet en de gatgrootte.

Bij een explosie ontstaat er een drukgolf in de ondergrond, die invloed heeft op de korrelspanningen en waterspanningen in de ondergrond. Daardoor kan de grond rondom de erosiekrater plastisch vervormen en verweken. De bijbehorende afmetingen van verstoringzones zijn mede afhankelijk van de grondsoort en de vochtigheid, dichtheid en verwekingsgevoeligheid van de ondergrond. Bijlage A van NEN 3651 voorziet in formules voor de berekening van deze verstoringzones.

In figuur 3.12 zijn enkele kenmerkende vormen van erosiekraters uit het modelonderzoek van falende gasleidingen weergegeven.



Figuur 3.12: Geometrie erosiekraters bij verschillende faalmanieren van gasleidingen (bron: [WL,1972]).

Verstoringszones vloeistofleidingen bij een gapend lek

Bij een gapend lek is er sprake van een groot gat in de leiding met een kortstondig groot uitstroomdebiet. Als basis voor de berekening van de verstoringzones van vloeistofleidingen kan gebruik worden gemaakt van de formules uit Bijlage A van NEN 3651 [NEN, 2020-f].

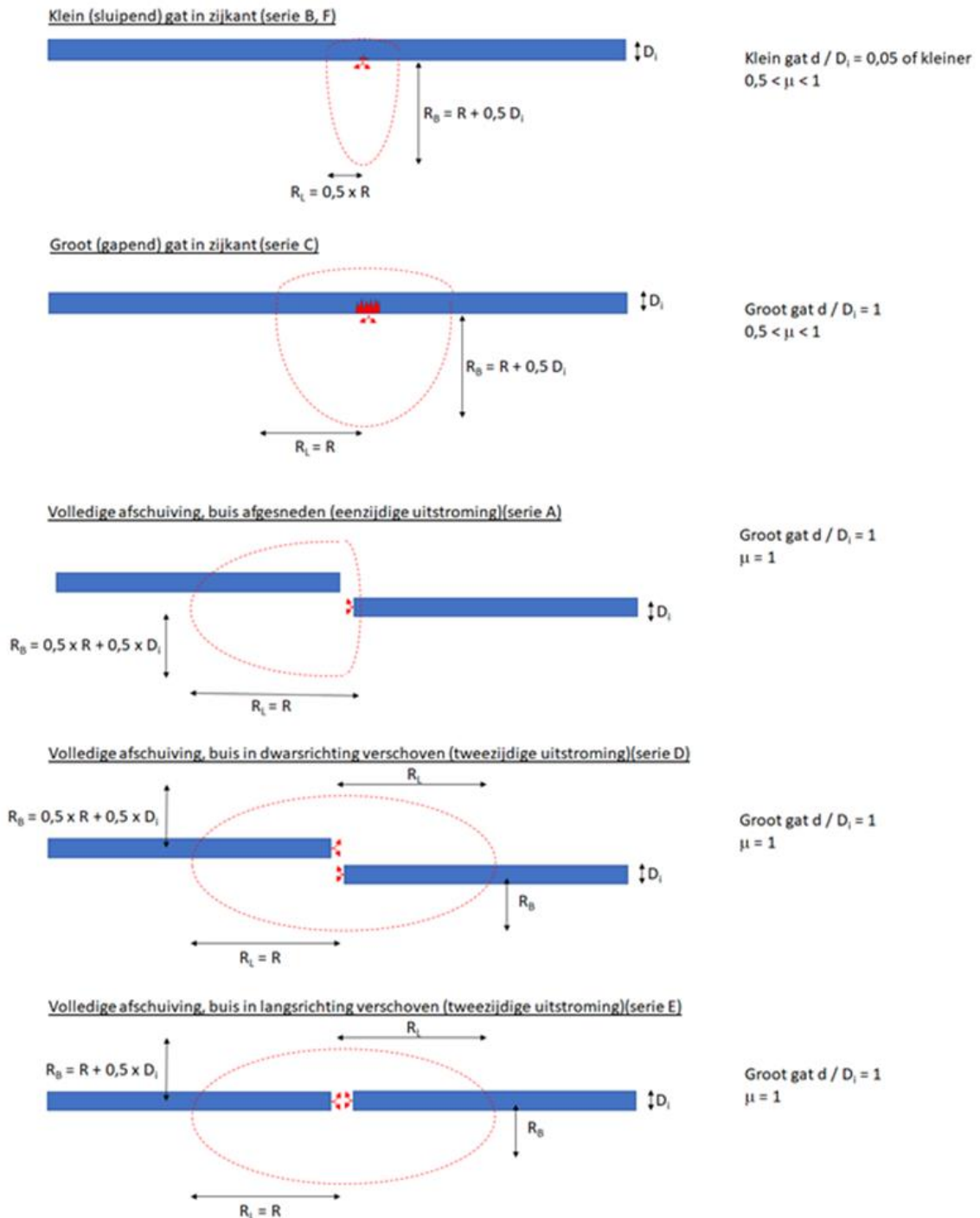


Figuur 3.13: Verstoringzone vloeistofleiding bij erosie

Daarmee kunnen de dimensies worden berekend van een ontgrondingskrater als gevolg van erosie door leidinglek/-breuk (zie figuur 3.13).

Daarbij wordt voor de berekening van de kraterstraal R_B onderscheid gemaakt in een uitgebreide formule en een vereenvoudigde formule. Deze formules zijn representatief voor een erosiekrater in fijn zand als gevolg van een gapend lek, waarbij er sprake is van een groot uitstroomdebiet gedurende een korte periode.

De uitgebreide formule is gebaseerd op modelonderzoek [Deltares, 2010], waarbij impliciet rekening is gehouden met een marge voor onzekerheden. Daarbij kan de rekenwaarde voor R_B worden beschouwd als een 5%-karakteristieke bovengrens. De afmetingen van de erosiekrater is mede afhankelijk van de manier van falen van een leiding. In figuur 3.14 zijn een aantal kenmerkende geometrieën van erosiekraters van waterleidingen weergegeven uit het modelonderzoek.



Figuur 3.14: Geometrie erosiekrater bij verschillende manieren van falen van waterleidingen (bron: [Deltares, 2010]).

De onzekerheid in de vereenvoudigde formule $R_B = 8 \times (H^3 \times D_i^5)^{0,125}$ van [NEN, 2020-f] is door de POV K&L verdisconteerd bij de analyse van de praktijkcasus Nieuwendam (PWN) [POV K&L, 2020-d] door de bepaling van de spreiding in de empirische factor $C = 8$. Daaruit volgt een gemiddelde waarde van $\mu_c = 4,72$ en een standaard afwijking van $\sigma_c = 1,88$ met een lognormale verdeling.

Verstoringszones vloeistofleiding bij een sluipend lek

Bij een sluipend lek is er sprake van een klein gat of scheurtje in de leiding met een gering langdurig uitstroomdebiet, dat in de regel niet wordt gedetecteerd. NEN 3651 [NEN, 2020-f] geeft geen rekenregels voor de bepaling van de verstoringzone bij een sluipend lek. Bij de analyses van de casussen door de POV K&L is gebleken dat de gevolgen van een sluipend lek voor de waterkerende functie maatgevend kan zijn ten opzichte van een gapend lek. De oorzaak daarvan is dat een sluipend lek kan leiden tot verweking of verzadiging van de ondergrond, waardoor de kans op macro-instabiliteit toeneemt. Bij de casussen van de POV K&L is als conservatief vertrekpunt ervan uitgegaan dat een sluipend lek leidt tot 100% verzadiging van het dijklichaam. Indien dat geen bevredigend resultaat oplevert is optimalisatie mogelijk door de mate van verzadiging in het ondergrondmodel te modelleren als functie van het uitstromend debiet in de tijd. Bij de casus Nieuwendam (PWN) [POV K&L, 2020-d] is een dergelijke analyse uitgevoerd.

3.6.5 Faalkansen uitgesplitst naar ratio sluipend lek/gapend lek

Bij de uitsplitsing van de faalkansen in sluipend versus gapend lek is aansluiting gezocht met de definitie, zoals die in het besluit externe veiligheid (Bevb, 2010) voor een klein gat en een groot gat voor de faaloorzaken 'externe beïnvloeding' en 'corrosie' wordt gehanteerd. Daarbij is de grens bij een gat van 20 mm gelegd. Op basis daarvan is arbitrair een gat ≤ 20 mm gelijkgesteld aan een sluipend lek en een gat > 20 mm aan een gapend lek. De bijbehorende ratio sluipend lek /gapend lek voor de verdeling van de faalkansruimte is 75%/25%.

De ratio kan ook worden beïnvloed door de gronddekking op de leiding en de samenstelling van de ondergrond en dient per geval nader te worden bepaald.

Voorbeeld van ratio sluipend lek / gapend lek

	Gronddekking	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m
	Lek (in waterkering)	sluipend	sluipend	gapend	gapend
Faaloorzaak leiding	External interference	50	50	50	50
	Corrosion	50	90	50	10
	Mechanical defects	90	99	10	1
	Operational	50	90	50	10
	Ground movement	50	50	50	50

Dit voorbeeld is gebaseerd op de casus Gorinchem – Waardenburg (Dunea) [POV K&L, 2020-a], waarbij casus specifiek de kansverdeling tussen gapend en sluipend lek is afgeleid voor verschillende waarden van de gronddekking.

Op basis van een breukmechanica beschouwing en een beschouwing van de faalkansstatistiek kan gekomen worden tot een minder conservatieve indeling sluipend lek – gapend lek. De verwachting is dat bij lagedruk leidingen het percentage gapend lek zeker geringer zal zijn. Aanbevolen wordt om daarbij de grens tussen een gapend en een sluipend lek nader te onderbouwen.

3.7 Dijkfalen

3.7.1 Dijkfaalmechanismen

Bij een integrale faalkansanalyse worden de volgende dominante dijkfaalmechanismen beschouwd:

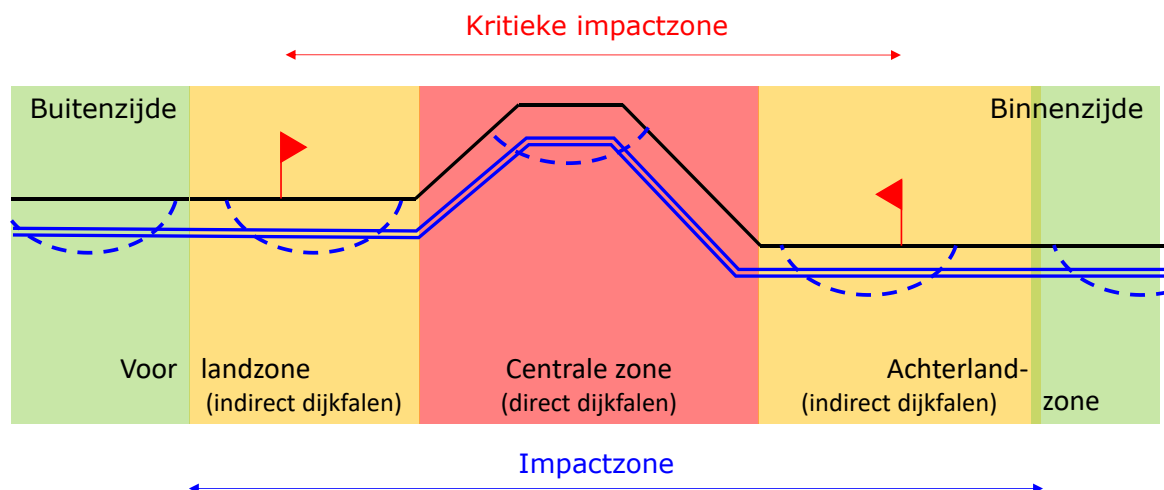
- Golfoverslag, erosie kruin/binnentalud (GEKB)
- Graserosie buitentalud (GEBU)
- Piping (STPH)
- Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)
- Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU)

Uitgangspunt daarbij zijn de rekenregels van het WBI 2017 [I&M, 2016].

3.8 Interactie tussen leidingfalen en dijkfalen

3.8.1 Impactzones

De impactzone is de zone waarin leidingfalen invloed heeft op dijkfalen en bestaat uit de invloedszone van een dijkfaalmechanisme plus de straal van de verstoringzone. Afhankelijk van de locatie van leidingfalen in het dwarsprofiel van de dijk en de impact van de verstoringzones op de dijkfaalmechanismen kan dit leiden tot direct of indirect dijkfalen. Om daar inzicht in te krijgen wordt het dwarsprofiel ingedeeld in technische zones, die relevant zijn voor de bepaling van de impact van leidingfalen op dijkfalen en daarom impactzones zijn genoemd (zie Figuur 3.15).



Figuur 3.15: Impactzone en kritieke impactzone bij een leidingkruising.

De achtergronden van de verschillende impactzones wordt hierna nader toegelicht.

1) Centrale zone (direct dijkfalen)

Dit is de zone waarbinnen leidingfalen direct leidt tot falen van de waterkering. Deze zone is alleen maar relevant voor een erosiekrater door een gapend lek, of door een erosiekrater als gevolg van dijkfalen. Aangenomen wordt dat een sluipend lek niet tot direct falen van de waterkering kan leiden.

2) Impactzone overige dijkfaalmechanismen (indirect dijkfalen)

Dat zijn de zones waarbinnen leidingfalen niet direct leidt tot falen van de waterkering, maar wel een negatieve invloed heeft op een dijkfaalmechanisme. Deze zone verschilt per dijkfaalmechanisme en is mede afhankelijk van de faaloorzaak en de gevolgen van leidingfalen. Deze zone wordt opgesplitst in drie zones, namelijk een 'voorlandzone', een 'bermzone' aan de binnenzijde en een 'achterlandzone'. Ingeval van een berm aan de

buitenzijde kan die ook in de zonering worden meegenomen. Indien er geen berm aanwezig is kan de bermzone achterwege worden gelaten.

Per dijkfaalmechanisme wordt in elke impactzone de faalkans berekend voor de scenario's zonder leidingfalen en met leidingfalen. In feite is dit een geactualiseerde werkwijze voor de bepaling van de veiligheidszone van NEN 3651 [NEN, 2020-f].

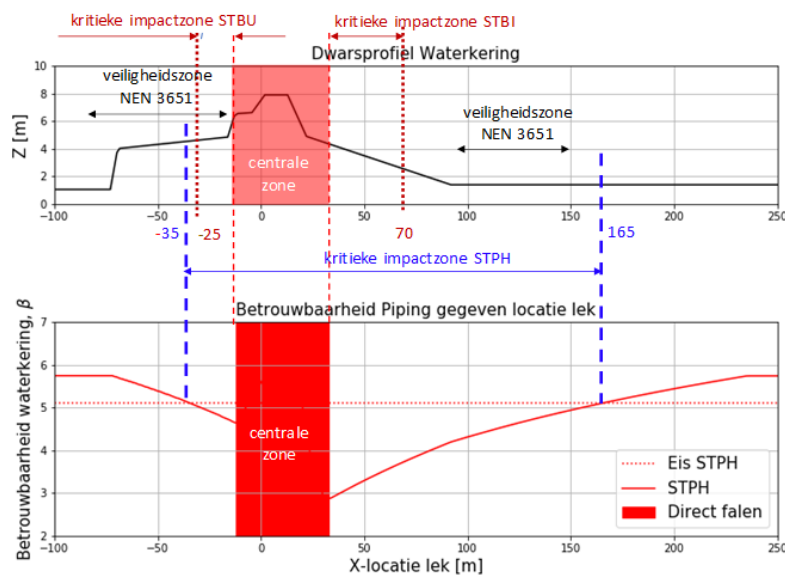
Bij de nadere uitwerking zijn de invloedszones van de geotechnische dijkfaalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts (STBI), macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU) en piping (STPH) maatgevend. Daarbij wordt de aanwezige partiële veiligheidsfactor (γ_n of γ_{pip}) vertaald naar de onderliggende betrouwbaarheidsindex (β).

3.8.2 Kritieke impactzone

De kritieke impactzone is de begrenzing van de zone, waarbij de (conditionele of additionele) kans op leidingfalen groter is dan de faalkanseis. De kritieke impactzone is tevens van belang voor de waterkeringbeheerder en de leidingbeheerder bij de bepaling van de nieuwe veiligheidszone. Bij de faalkansanalyses zijn de kritieke impactzones van belang voor de verdiscontering van het lengte-effect van de leiding en de keuze van de correctiefactoren Bevb.

Voorbeeld bepaling kritieke impactzone

- Methodiek: Stap 2: Gedetailleerd
- Verstoringzone: Erosiestraal vloeistofleiding $R_K = 15$ m



- Maatgevend STPH: kritieke impactzone = 35 + 165 = 200 m

3.8.3 Hydraulische belastingen

Voor de scenario's zonder leidingfalen kan gebruik worden gemaakt van de rekenmodellen/-methoden volgens het WBI 2017 [I&M, 2016]. Bij projecten waarbij direct volledig probabilistisch wordt gewerkt, kan deze informatie ook worden gebruikt.

Voor de scenario's met verstoringzone kan dezelfde modellering worden aangehouden als voor de scenario's zonder leidingfalen. Het enige verschil is dat nu de dimensies van de verstoringzone in de modellering worden meegenomen. Voor de bepaling van de dimensies van de verstoringzones zie paragraaf 3.6.4.

Waterstand bij norm en hydraulische belastingniveau

Voor de bepaling van hydraulische belastingen moeten de vigerende modellen voor de bepaling van Hydraulische Belastingen van het beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI) worden gebruikt. Bij de casussen van de POV K&L is voor de bepaling van de hydraulische belastingen gebruikt gemaakt van Hydra-NL. Dit kan ook met rekenmodellen van het BOI, die daarvoor beschikbaar zijn, zoals Riskeer. De herhalingstijden van de waterstand bij norm (WBN) en hydraulisch belastingniveau (HBN) voor het ontwerp zijn gebaseerd op de ondergrens van de veiligheidsnorm (P_{max}) en de standaard factor (ω) voor de verdeling van de faalkansruimte volgens het WBI [I&M, 2016]. Deze herhalingstijden gelden op jaarbasis en houden geen rekening met de invloed van de hersteltijd. Voor het bepalen van conditionele faalkansen binnen de hersteltijd zijn wel aannames nodig die realistisch zijn en zijn afgestemd met de waterkeringbeheerder en de netbeheerder.

Invloed van herstel

Bij leidingfalen door een gapend lek kan er in de kritieke impactzone een erosie- of explosiekrater ontstaan. Als er op dat moment geen hoogwater is, leidt een erosiekrater niet tot een overstroming. De kans op hoogwater voordat de leiding en de dijk zijn hersteld is in de gebeurtenisboom ingevuld. Daarbij is de volgende formule toegepast:

$$P \{HW \text{ vóór herstel}\} = (T_{HW} + T_{HERSTEL}) / T_{REF}$$

waarin:

$P \{HW \text{ vóór herstel}\}$ = kans op hoogwater vóór herstel

T_{HW} = tijdsduur van het hoogwater, gedurende aanwezigheid van verstoringszone

$T_{HERSTEL}$ = tijdsduur van detectie- en herstel leiding en waterkering

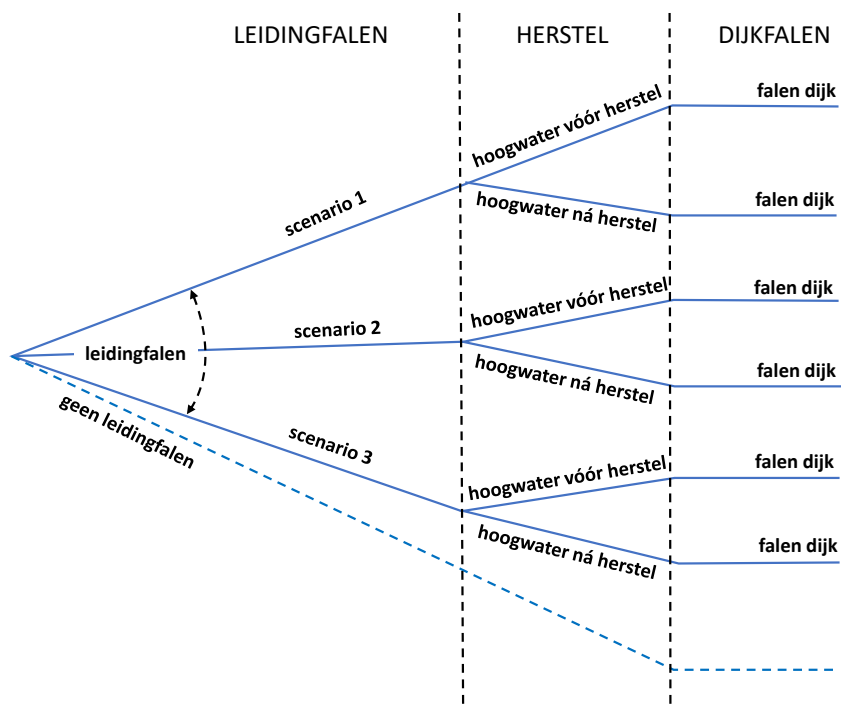
T_{REF} = referentieperiode hoogwater

De hersteltijd dient in onderling overleg met de waterkering- en leidingbeheerder te worden vastgesteld. Factoren die een rol spelen bij het bepalen van een realistische hersteltijd zijn hierbij van belang. Het gaat bijvoorbeeld niet alleen om de beschikbaarheid en mobilisatie van mensen en materieel, maar ook om de levertijd van (leiding)materialen en het formaliseren daarvan in een protocol. De kans op hoogwater nadat de leiding en de dijk zijn hersteld volgt uit:

$$P \{HW \text{ ná herstel}\} = 1 - P \{HW \text{ vóór herstel}\}$$

3.8.4 Scenario's en faalpaden

De interactie tussen leidingfalen en dijkfalen geschiedt door een inventarisatie van alle relevante scenario's, die bij het falen van een leiding tot het falen van de dijk kunnen leiden en in faalpaden worden vastgelegd. Een voorbeeld daarvan is weergegeven in figuur 3.16.



Figuur 3.16: Voorbeeld van schematische weergave van scenario's en faalpaden

Het voorbeeld van figuur 3.16 is representatief voor het rekenen met conditionele faalkansen (gegeven de scenario's met de kans op leidingfalen bij hoogwater vóór herstel en hoogwater ná herstel). Er is ook een mogelijkheid om te rekenen met conditionele, additionele faalkansen (gegeven de scenario's met de kans op leidingfalen bij hoogwater vóór herstel. Voor meer informatie daarover zie 'Doorontwikkeling Veiligheidsraamwerk K&L' [POV K&L, 2020-f].

De inventarisatie van de scenario's en faalpaden geschiedt per afzonderlijk dijkfaalmechanisme en wordt vanwege het verschil in faalkanseisen (zie paragraaf 3.3) gesplitst in scenario's zonder leidingfalen en scenario's met leidingfalen. Voor de scenario's met leidingfalen wordt tevens rekening gehouden met de kans op hoogwater vóór en ná herstel van de schade als gevolg van leidingfalen.

Na kwantificering van de kans op leidingfalen, de kans op herstel na leidingfalen en de modelmatige schematisering van de interactie tussen leidingfalen en dijkfalen kan per dijkfaalmechanisme voor elk scenario de faalkansen worden berekend. Het combineren van de faalkansen van de scenario's met leidingfalen met de kans op dijkfalen geschiedt met behulp van een gebeurtenissenboom.

3.8.5 Gebeurtenissenbomen

Een gebeurtenissenboom is een aaneenschakeling van gebeurtenissen, die leiden tot de ongewenste topgebeurtenis. In het Veiligheidsraamwerk POV K&L zijn dat de scenario's, die via de faalpaden leiden tot overstroming. In de gebeurtenissen worden de faalkansen van de scenario's ingevuld en gecombineerd tot een totale faalkans.

De faalkansen die volgen uit de analyse van de scenario's met leidingfalen en de invloed daarvan op een dijkfaalmechanisme worden ingevuld in een gebeurtenissenboom.

Daarbij volgt het combineren van de faalkansen uit nadere invulling van:

- 1) elkaar uitsluitende gebeurtenissen in het begin.
- 2) consequenties voor de bepaling faalkansen en de gebeurtenissenbomen.

Indien niet aan de gestelde eis wordt voldaan zijn verfijningen mogelijk door toepassing van andere rekenmodellen/-methoden, zoals EEM of probabilistische benaderingen en/of optimalisatie van de faalkansen van de leiding.

3.9 Verfijningen

In het werken van grof naar fijn kan op de verschillende onderdelen de invulling van de dealkansen op verschillend detailniveau worden gedaan. Dat kan bijvoorbeeld door toepassing van geavanceerde rekenmodellen of aanscherping van de faalkansen door verdiepende analyses.

Zo is bij de faalkansanalyse van de casus Zeeburgereiland [POV K&L, 2018] een verfijning toegepast door de kans op instabiliteit te berekenen met een probabilistisch rekenmodel vanwege twijfels over de vertaalslag van de schadefactor naar de kans op instabiliteit. De reden daarvan is dat de daarbij gebruikte relatie uit het WBI niet is gekalibreerd voor de situatie macro-instabiliteit buitenwaarts en voor de situatie met verstoringszones als gevolg van leidingfalen. Dat probleem is opgelost door de kans op instabiliteit te bepalen op basis van probabilistische stabiliteitsberekeningen, waarbij grote vervormingen als gevolg van ontgrondingskraters zijn meegenomen.

Andere mogelijkheden voor verfijning of aanscherping zijn:

- Aanscherping faalkansen leidingen (casuïstiek leidingincidenten), die in de impactzone van de waterkering liggen.
- Bij de modellering toepassen van plastische en/of probabilistische rekenmodellen.
- Implementeren van beheersmaatregelen en monitoring in de integrale faalkansanalyses.
- Aanscherping rekenwaarden verstoringszones.
- Verdiscontering van 3D-effecten.
- Herverdeling van de faalkansruimte van het dijktraject.

4 Leerpunten uit praktijkcasussen

Bij de toepassing en uitwerking van de systematiek van het algemene Veiligheidsraamwerk K&L is in de praktijkcasussen een aantal ervaringen opgedaan. Daarvan kan worden geleerd bij de verdere ontwikkeling en toepassing van het Veiligheidsraamwerk K&L. De belangrijkste leerpunten zijn hierna op een rijtje gezet.

4.1 Procesmatig

- 1) Tijdig alle benodigde gegevens van de leiding en de waterkering verzamelen.
- 2) Vooraf uitgangspunten en randvoorwaarden gezamenlijk vastleggen.
- 3) Generieke aanpak van grof naar fijn ontwikkeld, die in het Veiligheidsraamwerk POV K&L is geïntegreerd en aansluit bij de aanpak van het WBI 2017 [I&M, 2016].
- 4) De faalkanseisen voor scenario's met leidingfalen zijn nog niet eenduidig.
- 5) Samenwerking met ontwerpteams dijkversterking kan beter.

Er zijn nu voor het eerst praktijkervaringen opgedaan met de toepassing van het Veiligheidsraamwerk POV K&L in een beperkt aantal complexe casussen met een doorlooptijd van 1,0 tot 1,5 jaar. Daarbij is naast bestaande kennis ook nieuwe kennis ontwikkeld en toegepast. Hiervoor was maatwerk nodig, waarbij de inzet van experts op het gebied van waterkeringen en leidingen en voldoende budget cruciaal waren. Deze werkwijze zal voorlopig in de komende periode niet wezenlijk anders zijn om uiteindelijk na toepassing in meer praktijkcasussen tot kennisoverdracht naar de betrokken partijen en een algemeen toepasbare methodiek en rekeninstrument in het BOI te kunnen komen.

Eind 2020 stopt de POV K&L met de werkzaamheden. Voor de uitvoering van meer integrale faalkansanalyses met het Veiligheidsraamwerk POV K&L kan het Hoogwaterbeschermingsprogramma worden benaderd of de in oprichting zijnde Strategische Samenwerking Water- en Netbeheerders (SSWN).

4.1 Technisch inhoudelijk

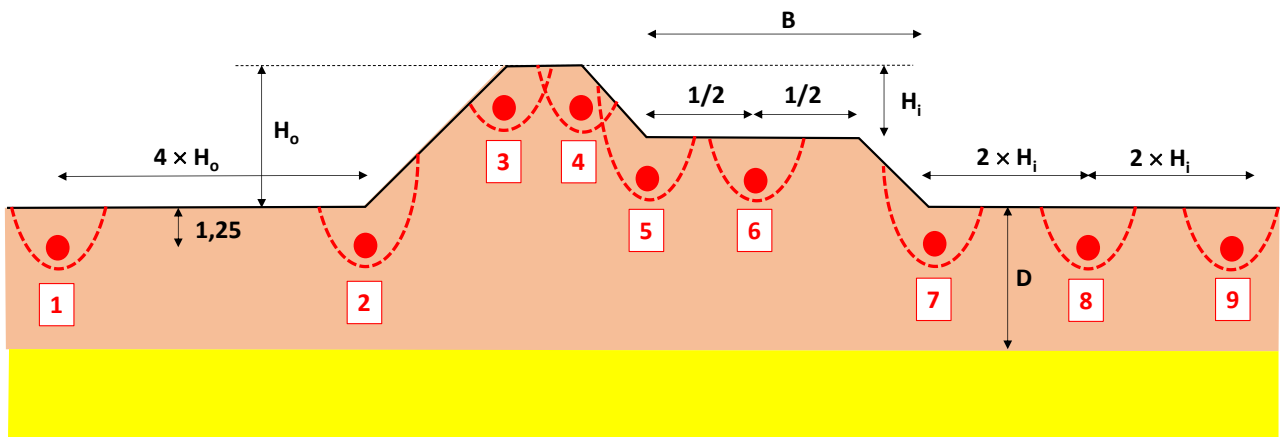
4.1.1 Inzet van deskundigen

Het toepassen van het veiligheidsraamwerk is nu nog technisch zeer complex en er is op dit moment slechts een selecte groep van experts beschikbaar is, die daarvoor voldoende deskundig zijn.

4.1.2 Filters voor parallelle lagedruk leidingen

In het rapport 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen' [POV K&L, 2020-e] staan beslisbomen voor de uitfiltering van parallelle lagedruk gas- en drinkwaterdistributieleidingen (inwendige druk $\leq 1,0$ MPa $\approx \leq 10$ bar) voor het boven- en benedenrivierengebied. De uitfiltering geschiedt door toepassing van de beslisbomen op basis van de volgende kenmerken:

- 1) Leidingpositie in of bij de waterkering.
- 2) Leidingkenmerken:
 - Transportmedium; gas (G) of drinkwater (W).
 - Leiding materiaal: asbestcement (AC), grijs gietijzer (GGIJ), nodulair gietijzer (NGIJ), staal (ST), PE of PVC en bijbehorende faalkansen.
 - Leidingdiameter: D (m), maximaal 0,5 m.
 - Inwendige druk: P in bar (1 bar $\approx 0,1$ MPa).
 - Parameter PDD (komt overeen $P \times D^2$).
 - Gronddekking op de leiding: 1,25.



Figuur 4.1: Leidinglocaties met bijbehorende erosiekrater.

1) Voor afmetingen erosiekrater zie Bijlage 'Bepaling ontgrondingskraters gas- en waterleidingen' bij het rapport 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen'.

Voor de faalkansen per leidingmateriaal/-diameter en dimensies van de afmetingen van de erosiekrater zie rapport 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen' [POV K&L, 20202-e].

Bij toepassing van de beslisbomen blijkt dat de volgende parallelle distributieleidingen $< \varnothing$ 500 mm in 'Stap 1; Eenvoudig' zonder nadere analyse kunnen worden uitgefilterd.

- Drinkwaterleidingen met inwendige druk ≤ 6 bar ($\approx 0,6$ MPa):
 - In de $4H_o$ -zone aan de buitenzijde: alle leidingen met $PDD \leq 0,8$ (leidingpositie 1).
 - In de binnenkruin: geen enkele leiding (leidingpositie 4).
 - In de binnenberm: alle PE-leidingen met $PDD \leq 0,06$ en $D \leq 200$ mm onder voorwaarde dat berm breedte > 40 m (leidingpositie 6).
 - Bij de binnenteen: alle PE-leidingen met $PDD \leq 0,11$ en $D < 90$ mm en alle NGIJ-, PE- en PVC-leidingen met $PDD \leq 0,11$ en $D < 200$ mm (leidingpositie 7).
 - In de $4H_i$ -zone aan de binnenzijde: alle leidingen met $PDD \leq 0,11$ onder voorwaarde dat dikte deklaag $> 3,2$ m (leidingposities 8 en 9).
- Gasdistributieleidingen met inwendige druk ≤ 7 bar + 1 bar (atmosferische druk) = ≤ 8 bar $\approx \leq 0,8$ MPa):
 - In $4H_o$ -zone aan de buitenzijde: alle leidingen (leidingpositie 1).
 - In de binnenkruin: alle leidingen met $PDD \leq 0,17$ (leidingpositie 4).
 - In de binnenberm: alle leidingen met $PDD \leq 0,17$ en $D < 200$ mm onder voorwaarde dat: dikte deklaag $> 3,2$ m en berm breedte > 40 m (leidingpositie 6).
 - Bij de binnenteen: alle leidingen met $PDD \leq 0,17$ (leidingpositie 7).
 - In de $4H_i$ -zone aan de binnenzijde: alle leidingen onder voorwaarde dat berm breedte $> 9,5$ m en dikte deklaag $> 5,4$ m (leidingposities 8 en 9).

Uit de beslisbomen volgt dat alle leidingen op de leidingposities 2 en 3 niet door filters komen. Indien bepaalde leidingen met een kleinere diameter D en/of een lagere inwendige druk P niet kunnen worden uitgefilterd kan op basis van de beslisbomen uit het rapport 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen' worden geverifieerd of deze alsnog kunnen worden uitgefilterd. Zoniet dan moet voor de veiligheidsbeoordeling worden doorgedaan naar 'Stap 2: Gedetailleerd'.

4.1.3 Van Unity Check naar faalkans

Sterkteberekeningen van leidingen moeten voldoen aan de eisen van de NEN 3650 reeks [NEN, 2020]. Daarvoor is geen probabilistisch rekenmodel beschikbaar. Gebruik kan worden gemaakt van het huidige rekenmodel PLE, dat is gebaseerd op partiële belasting- en sterktefactoren. De toe te passen factoren staan in NEN 3651-1 [NEN, 2020-a]. De sterkteberekeningen resulteren in een veiligheidsfactor (Unity Check) op doorsnedeniveau. Deze kan via de betrouwbaarheidsindex (β) worden omgerekend naar de kans op falen van de sterkte van de leiding. Hoe dat in zijn werk gaat wordt beschreven in het achtergronddocument 'Omrekening van Unity Check naar faalkans' [TNO, 2020].

4.1.4 Optimalisatie sterkteberekeningen PLE

Bij de berekeningen met het rekenmodel PLE is gebleken dat er veel winst valt te behalen door optimalisatie van de rekenmethodiek (plastisch rekenen in plaats van elastisch rekenen) en aanscherping van de partiële veiligheidsfactoren. Hoe dat in zijn werk gaat wordt beschreven in het achtergronddocument 'Optimalisatie leidingberekeningen met PLE' [R+K, 2020].

4.1.5 Optimalisatie leidingberekeningen

Bij de berekeningen met het rekenmodel PLE is gebleken dat er veel winst valt te behalen door aanscherping van de partiële veiligheidsfactoren. Hoe dat in zijn werk gaat wordt beschreven in het achtergronddocument 'Optimalisatie leidingberekeningen volgens NEN 3650' [Lievense|WSP, 2020].

4.1.6 Kritieke impactzone versus veiligheidszone NEN 3651

De bepaling van de veiligheidszone volgens NEN 3651 [NEN, 2020-f] sluit niet aan bij de bepaling van de veiligheidszone op basis van overstromingskansen. Daartoe dient de kritieke impactzone te worden bepaald bij leidingfalen voor de dijkfaalmechanismen macro-instabiliteit binnenwaarts, macro-instabiliteit buitenwaarts en piping. Bij de casussen is gebleken dat de kritieke impactzone tot een grotere veiligheidszone leidt dan volgens de vuistregel ($4 \times H_{\text{werk}}$) van NEN 3651. Dit aspect is van cruciaal belang voor de beoordeling van de veiligheid door de waterkeringbeheerder en netbeheerder.

4.1.7 Bepaling verstoringszones

In de regel wordt de straal van een erosiekrater berekend met formules uit Bijlage A van NEN 3651. Indien nodig kunnen deze worden aangescherpt op basis van formules uit het rapport 'Bepalen ontgrondingskraters gas- en waterleidingen', bijlage bij het rapport 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen' [POV K&L, 2020-g]. Aanknopingspunten voor het uitvoeren van veldproeven zijn te vinden in de achtergronddocumenten [Deltares, 2019-a] en [Deltares, 2019-b].

4.3 Dijkfalen

4.3.1 Noodzaak damwandconstructie

Een leidingkruising onder de waterstand bij de norm zonder de volgens NEN 3651 [NEN, 2020-f] vereiste damwandconstructie (voorheen vervangende waterkering genoemd) is een kansrijke oplossing. Een dergelijke damwandconstructie niet altijd nodig voor de waterveiligheid.

4.4 Doorontwikkeling

Het voorliggende rapport is gebaseerd op de ervaringen van de POV K&L bij de toepassing van een integrale faalkansanalyse van waterkering met leiding in een aantal dijkversterkingsprojecten. Bij het testen van het Veiligheidsraamwerk K&L in de praktijkcasussen zijn we tegen een aantal kennisleemten aangelopen. Deze zijn verwoord in het rapport 'Doorontwikkeling Veiligheidsraamwerk K&L' [POV K&L, 2020-f].

Afkortingen en begrippen

<i>Afkorting</i>	<i>Omschrijving</i>
BEVB	Besluit Externe Veiligheid Buisleidingen
BOI	Beoordelings- en Ontwerp Instrumentarium
CONCAWE	CONservation of Clean Air and Water in Europe
DN	Nominale diameter
EGIG	European Gas pipeline Incident data Group
GEBU	Graserosie buitentalud
GEKB	Golfoverslag, erosie kruin en binnentalud
HDD	Horizontal Directional Drilling (horizontaal gestuurde boring)
HBN	Hydraulisch Belasting Niveau
HWBP	Hoogwaterbeschermingsprogramma
NEN	Nederlands Normalisatieinstituut
OI	Ontwerp Instrumentarium
PDD	Rekenfactor inwendige druk P en diameter D
STBI	Macro-instabiliteit binnenwaarts
STBU	Macro-instabiliteit buitenwaarts
STPH	Piping Heave
UC	Unity Check
WBI	Wettelijk Beoordelings Instrumentarium
WBN	Waterstand Bij Norm

Begrip	Omschrijving
<i>Additionele faalkans</i>	Toegevoegde faalkans.
<i>Autocorrelatielengte</i>	Lengte waarbinnen de sterkte- of belasting van een constructie min of meer hetzelfde is.
<i>Beoordelingsprofiel</i>	Minimaal dijksprofiel dat noodzakelijk is om voor alle dijksfaalmechanismen juist aan de norm te voldoen.
<i>Bezwijken</i>	Een specifieke vorm van falen waarbij een constructie zoveel vervormt of beschadigd raakt dat er ernstig functieverlies optreedt.
<i>Betrouwbaarheidsindex (β)</i>	Parameter die gerelateerd is aan de faalkans.
<i>Conditionele faalkans</i>	Faalkans, gegeven een bepaalde voorwaarde (conditie).
<i>Dijksfaalmechanisme</i>	Een mechanisme waardoor een dijk kan falen of bezwijken.
<i>Dijksfalen</i>	Het falen of bezwijken van een dijk.
<i>Dijkstraject</i>	Deel van een primaire waterkering dat afzonderlijk genormeerd is.
<i>Direct mechanisme</i>	Dijksfaalmechanisme dat direct tot overstroming leidt
<i>Distributieleiding</i>	Een leiding die een product brengt van de transportleiding naar de huisaansluiting.
<i>Faalkansbegroting</i>	Verdeling van de toelaatbare faalkans over de segmenten en faalmechanismen van een dijkstraject.
<i>Faalkanseis</i>	Toelaatbare faalkans.
<i>Faalmanier</i>	Manier waarop falen van een constructie zichtbaar wordt.
<i>Faaloorzaak</i>	Oorzaak van falen of bezwijken van een constructie.
<i>Faalpad</i>	Reeks van gebeurtenissen waardoor een constructie kan falen of bezwijken.
<i>Falen</i>	Het niet meer kunnen vervullen van de belangrijkste functie.
<i>Gapend lek</i>	Grote hoeveelheid uitstromend medium gedurende korte tijd als gevolg van leidinglek/-breuk.
<i>Gebeurtenissenboom</i>	Aaneenschakeling van gebeurtenissen met bijbehorende faalkansen.
<i>Golfoverslag, erosie kruin en binnentalud</i>	Falen van de bekleding op de kruin en/of op het binnentalud door overslaande golven.
<i>Graserosie buitentalud</i>	Falen van de grasbekleding op het buitentalud door golfbelasting of waterstroming.

Begrip	Omschrijving
<i>Groep I buisleidingen</i>	Buisleidingen voor het transport van intrinsiek gevaarlijke stof.
<i>Groep II buisleidingen</i>	Buisleidingen waarbij het transportmedium medium uitsluitend gevaarlijk is door het effect bij uittrede.
<i>Horizontal directional drilling</i>	Horizontaal gestuurde boring.
<i>Huisaansluiting</i>	De kortste verbinding tussen een distributieleiding en een perceel of pand.
<i>Hydraulische belasting</i>	Kracht die water uitoefent op allerlei waterbouwkundige constructies. Deze kracht moet bekend zijn om een constructie stevig genoeg te kunnen ontwerpen.
<i>Hydraulisch belastingniveau</i>	De minimaal benodigde kruinhoogte waarbij water en golven veilig gekeerd kunnen worden.
<i>Hogedrukleiding</i>	Leiding deel uitmakend van een leidingtransportsysteem waarin de maximale bedrijfsdruk groter is dan of gelijk aan 1 MPa (10 bar). NEN 3650 betreft in eerste instantie Groep I (gevaarlijke) leidingen en gaat voor aardgas uit van > 16 bar. Voor andere leidingen zijn er geen beperkingen.
<i>Impactzone</i>	Zone waarbinnen leidingfalen impact heeft op een dijkfaalmechanisme
<i>Importantiefactor</i>	Reductiefactor bij de bepaling van de toelaatbare spanningen en vervormingen, gebaseerd op het belang van het waterstaatswerk.
<i>Indirect mechanisme</i>	Dijkfaalmechanisme dat indirect tot overstroming leidt.
<i>Intreepunt</i>	Locatie aan de rivierzijde van de dijk waar het kwelwater de grond indringt.
<i>Invloedszone</i>	Zone waarbinnen de invloed van een dijkfaalmechanisme aanwezig is.
<i>Kerfslagwaarde</i>	Het resultaat van een kerfslagproef, die als waarde de hoeveelheid energie geeft, die nodig is om een proefstaaf, met een standaardafmeting, bij een bepaalde temperatuur te breken. Aan de hand daarvan kan de taaiheid/brosheid van een materiaal worden bepaald.
<i>Kritieke impactzone</i>	Zone waarbinnen leidingfalen een zodanige impact heeft op een dijkfaalmechanisme dat niet meer aan de faalkanseis wordt voldaan.
<i>Lagedrukleiding</i>	Leiding deel uitmakend van een leidingsysteem waarin de maximale bedrijfsdruk kleiner is dan 1 MPa (\approx 10 bar).
<i>Leggerprofiel</i>	Profiel waaraan een waterstaatswerk naar ligging, vorm, afmeting en constructie moet voldoen.
<i>Leidingfalen</i>	Het falen of bezwijken van een leiding.
<i>Lengte-effect</i>	Het effect dat de kans op falen van een waterkering of een object groter is naarmate deze langer zijn.

Begrip	Omschrijving
<i>Leidingkruising</i>	Kruising van een leiding met een waterstaatswerk, inclusief de veiligheidszones.
<i>Macro-instabiliteit</i>	Afschuiving van een grondlichaam.
<i>Normtraject</i>	Zie 'Dijktraject'
<i>Partiële factoren</i>	Factoren die betrekking hebben op de spreiding van belastingen en sterkteparameters.
<i>Piping</i>	Terugschrijdende erosie in een tunneltje (pipe) onder een dijklichaam.
<i>Probabilistische methode</i>	Rekenmethode voor het bepalen van de sterkte van een constructie, waarbij de kansverdelingen van alle variabelen die de sterkte mede bepalen, worden gespecificeerd en gecombineerd, en waarbij ook rekening wordt gehouden met correlaties tussen deze variabelen.
<i>Rekentechnische zone</i>	Zone die zich uitstrekt over de kruising en aanpalende terreinstrook waarbinnen belastingen op de terreinleiding en het bijbehorende krachtenspel nog praktische betekenis hebben voor de spanningen in het kruisingsgedeelte.
<i>Semi-probabilistische methode</i>	Rekenmethode die is gebaseerd op partiële veiligheidsfactoren.
<i>Signaleringswaarde</i>	De signaleringswaarde voor een dijktraject is, samen met de ondergrens, als norm in de wet opgenomen. De waarde betreft een overstromingskans en is zodanig gekozen dat er voldoende tijd is voor het uitvoeren van een verbeteractie. Alle primaire waterkeringen in Nederland hebben een signaleringsnorm gekregen tussen de 1 op 300 en de 1 op 100.000 per jaar.
<i>Sluipend lek</i>	Kleine hoeveelheid uitstromend medium gedurende lange periode als gevolg van leidinglek/-breuk.
<i>Stabiliteitszone</i>	Terreinstrook naast het waterstaatswerk die wordt bepaald door het faalmechanisme macro-instabiliteit van het waterstaatswerk.
<i>Theoretisch profiel</i>	Fictief minimaal ontwerpprofiel dat nog voldoet aan de veiligheidseisen.
<i>Transportleiding</i>	Een leiding, niet zijnde een distributieleiding, die dient voor het transporteren van producten van een producent naar een afnamepunt, van waaruit producten verder, na een eventuele bewerking, kunnen worden gedistribueerd naar de consument.
<i>Uittreepunt</i>	Locatie aan de landzijde van de dijk waar kwelwater het eerst aan de oppervlakte komt.
<i>Unity Check</i>	Veiligheidsmarge in de sterkte of stijfheid van een constructie, waarbij de optredende spanningen of vervormingen niet groter mogen zijn dan de maximale grenswaarde. De Unity Check mag niet meer dan 1,0 bedragen.

Begrip	Omschrijving
<i>Veiligheidsnorm</i>	Het wettelijk vastgelegde niveau van bescherming van een dijktraject tegen overstromen. In de Waterwet zijn voor elk dijktraject twee normen vastgelegd: een signaleringswaarde en een ondergrens.
<i>Veiligheidszone</i>	Terreinstrook naast het waterstaatswerk waarbinnen een lekkage van de leiding de stabiliteit van het (waterstaats)werk in gevaar kan brengen.
<i>Verstoringszone</i>	Zone om de leiding waarbinnen de invloed van de aanwezigheid of bezwijken van de leiding merkbaar is.
<i>Waterstaatswerk</i>	Civieltechnische constructie, zoals een weg, waterkering of waterloop, inclusief kunstwerken.
<i>Waterstand bij norm</i>	Buitenwaterstand die hoort bij de overschrijdingskans van de veiligheidsnorm.

Referenties

- [Bevb, 2010], Besluit externe veiligheid buisleidingen
Ministerie van VROM
2010
- [CONCAWE, 2020], Performance of European cross-country oil pipelines
Statistical summary of reported spillages in 2018 and since 1971
Report 12/20
Conservation of Clean Air and Water Europe
July 2020
- [Deltares, 2010], Berekeningsmethode ontgroning bij gasleidingbreuk, evaluatie NEN3651
Deltares
Kenmerk: 1201743-000-ZKS-0003
December 2010
- [Deltares, 2018], WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen
Generieke uitgangspunten als vertrekpunt voor nadere uitwerking in (pilot) projecten
Deltares (RWS-WVL)
Kenmerk 11202225-005-GEO-0001-jpjm
Versie 01 (definitief)
Mei 2018
- [Deltares, 2019-a], Lekkage proeven ter simulatie van het falen van waterleidingen
Achtergrondrapport
Deltares, POV K&L
26 februari 2019.
- [Deltares, 2019-b], Explosie proeven ter simulatie van het falen van gasleidingen
Achtergrondrapport
Deltares, POV K&L
26 februari 2019.
- [EGIG, 2018], Gas pipeline incidents
10th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group
(period 1970 – 2016)
European Gas pipeline Incident data Group
March 2018
- [ENW, 2009], Technisch Rapport Actuele sterkte van dijken (TRAS)
Expertise Netwerk Waterveiligheid
27 maart 2009
- [I&M, 2016], WBI 2017
Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017
Bijlage III Sterkte en veiligheid
Ministerie van Infrastructuur en Milieu
2 december 2016
- [I&M, 2017], OI 2017
Handreiking ontwerpen met overstromingskansen
Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansnormen
Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Versie 4: OI2014v4 (definitief)
Februari 2017

- [I&W, 2020], Factsheet, 'Verhaal van de kering'
 Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
 Versie 1
 19 juni 2020
- [ISO, 2012], Conformity assessment — Requirements for the operation of various types of
 bodies performing inspection
 International Standard Organisation
 Maart 2012
- [KPR, 2016], KPR Factsheet 'Post "overig" in de faalkansbegroting en indirecte mechanismen'
 Kennisplatform Risicobenadering
 9 november 2016
- [KPR, 2018], KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag OI2014v4
 Kennisplatform Risicobenadering
 8 maart 2018
- [Lievense|WSP, 2020], Optimalisatie leidingberekeningen volgens NEN 3650
 Achtergrondrapport
 Lievense|WSP, B&B Advisory, POV K&L
 3 december 2020
- [NEN, 2017], NEN 9997-1:2016+C2:2017
 Geotechnisch ontwerp van constructies
 Deel 1 Algemene regels
 Normcommissie 351 006 "Geotechniek"
 1 november 2017
- [NEN, 2020], NEN (NEN 3650 reeks, 2020), bestaande uit:
 NEN (2020-a). NEN 3650-1, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1: Algemene eisen,
 NEN (2020-b). NEN 3650-2, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 2: Staal,
 NEN (2020-c). NEN 3650-3, Kunststof,
 NEN (2020-d). NEN 3650-4, Beton,
 NEN (2020-e). NEN 3650-5: Gietijzer,
 NEN (2020-f). NEN 3651, Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke
 waterstaatswerken.
 Normcommissie 310 004 Transportleidingen
 Januari 2020
- [NPR, 2006], Praktijkrichtlijn Ondergrondse pijpleidingen
 Grondslagen voor de sterkteberekening
 NPR 3659/A1:2003/C1
 Correctieblad C6
 2006
- [POV K&L, 2018], Faalkansanalyse bij dijkontwerp Zeeburgereiland met parallelle waterleiding
 Eerste toepassing van het Veiligheidsraamwerk Kabels & Leidingen
 Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen
 11 september 2018
- [POV K&L, 2019-a], Faalkansanalyse bij dijkontwerp Zeeburgereiland-West
 Addendum op het rapport Faalkansanalyse bij dijkontwerp Zeeburgereiland met
 parallelle waterleiding
 Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen
 9 oktober 2019
- [POV K&L, 2020-a], Faalkansanalyse dijkontwerp Gorinchem-Waardenburg met kruisende
 waterleiding
 Tweede toepassing Veiligheidsraamwerk Kabels & Leidingen
 Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen
 11 augustus 2020

- [POV K&L, 2020-b], Faalkansanalyse dijkontwerp Wolferen - Sprok met kruisende gasleiding A-505
Derde toepassing Veiligheidsraamwerk Kabels & Leidingen
Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen
29 oktober 2020
- [POV K&L, 2020-c], Faalkansanalyse dijkontwerp Wolferen-Sprok met kruisende waterleiding
Vierde toepassing Veiligheidsraamwerk Kabels & Leidingen
Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen
3 december 2020
- [POV K&L, 2020-d], Faalkansanalyse primaire waterkering Nieuwendam met parallelle waterleiding
Vijfde toepassing Veiligheidsraamwerk Kabels & Leidingen
Project Overstijgende Verkenning Kabels en Leidingen
3 december 2020
- [POV K&L, 2020-e], Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen
Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen
3 december 2020
- [POV K&L, 2020-f], Doorontwikkeling Veiligheidsraamwerk K&L
Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen
3 december 2020
- [R+K, 2020], Optimalisatie leidingberekeningen met PLE
Achtergrondrapport
r+k Consulting Engineers, POV K&L
3 december 2020
- [RIVM, 2011], RIVM-brief, Invloed diepteligging en wanddikte op de faalfrequentie voor leidingen met aardolieproducten en overige leidingen
Referentienummer 165/11 CEV Vli/sij-3063
26 juni 2011
- [RIVM, 2020], Handleiding Risicoberekeningen Bevb
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)
Versie 3.1
1 april 2020
- [TNO, 2003], Herziening rekenfactoren en spanningscorrectiefactoren in NEN 3650
TNO Bouw
13 maart 2003
- [TNO, 2020], Omrekening van Unity Check naar faalkans
Achtergrondrapport
TNO Bouw, POV K&L
3 december 2020
- [WL, 1972] Ontgronding door gasleidingbreuk, verslag modelonderzoek
Waterloopkundig Laboratorium Delft, M1136
1972

Colofon

Auteurs

Harry Schelfhout | namens Hoogheemraadschap van Delfland
Nisa Nurmohamed | namens Hoogheemraadschap van Delfland
Jos Janssen | namens Hoogheemraadschap van Delfland
Martijn de Koning | namens Hoogheemraadschap van Delfland

Reviews

Jan Spiekhout | B&B Advisor
Lambert Vendrik | Waterschap Scheldestromen
Ronald Koets | Waterschap Scheldestromen
Timo Schweckendiek | Deltares
Robert Slomp | Rijkswaterstaat

Vaststelling

Stuurgroep POV Kabels & Leidingen