

Door-  
ontwikkeling  
Veiligheids-  
raamwerk K&L



# Doorontwikkeling Veiligheidsraamwerk K&L

## SAMENVATTING

De Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen (POV K&L) is uitgevoerd binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Een belangrijk resultaat van de POV K&L is het opgeleverde Veiligheidsraamwerk POV K&L. In vijf praktijkcasussen is de systematiek van het algemene WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen (K&L) toegepast. Daarbij is een nadere invulling gegeven aan de interactie tussen leidingfalen en dijkfalen. De toepassing is zeer succesvol gebleken. Bij alle projecten heeft dit geresulteerd in grote kostenbesparingen.

Bij de praktijkcasussen hebben we geleerd dat het Veiligheidsraamwerk K&L nog kennisleemten bevat. Aangezien de POV K&L eind 2020 stopt, is de inhoudelijke doorontwikkeling voorzien binnen het project De Innovatieversneller van het HWBP. De volgende inhoudelijke aandachtspunten worden hierbij meegegeven:

### *Technisch inhoudelijke aspecten*

Werkend van grof naar fijn kan de doorontwikkeling van de technisch inhoudelijke aspecten worden onderverdeeld in drie stappen:

- Stap 1: Eenvoudig, geometrische kenmerken en filters.
- Stap 2: Gedetailleerd, bestaande rekenregels, aangevuld met nieuwe kennis.
- Stap 3: Geavanceerd, toepassing Veiligheidsraamwerk K&L.

Bij Stap 1 is actualisatie nodig van de bepaling van het beoordelingsprofiel en de verstoringszones en nadere analyse van de filters voor parallelle lagedrukleidingen. Indien bij Stap 2 niet aan de faalkanseis wordt voldaan kan daarbij aanvullende analyse inclusief de faalkans van een leiding nog uitkomst bieden. Bij Stap 3 bestaat de verdere doorontwikkeling van het Veiligheidsraamwerk K&L uit een aantal specifieke onderdelen, zie hieronder.

### *Doorontwikkeling naar BOI Veiligheidsraamwerk K&L*

Dit betreft de verdere doorontwikkeling van Stap 3 ten behoeve van het toekomstige beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI) met betrekking tot de volgende aspecten:

- Faalkanseisen: er zijn twee opties mogelijk:
  - Optie 1: leidingfalen is direct faalmechanisme, waarbij de faalkanseis ten laste van de post 30% "Overige" van de toelaatbare overstromingskans komt.
  - Optie 2, leidingfalen is verzwarende omstandigheid bij een direct faalmechanisme, waarbij de kans op leidingfalen moet passen binnen de voor het dijkfaalmechanisme beschikbare faalkansruimte.
  - Aanbevolen wordt om uit te gaan van Optie 1, omdat deze overzichtelijker is en meer faalkansruimte biedt dan Optie 2.
  - De verdiscontering van de lengte-effecten en de bepaling van het totaal aantal kruisende en parallelle leidingen in een dijktraject vergt nog wel nadere uitwerking.
- Leidingfalen:
  - Faaloorzaken: implementatie van de faaloorzaken van lagedruk gas- en vloeistofleidingen.
  - Faalkansen: verzamelen faalfrequenties van leidingen met industriewater, landbouwwater, afvalwaterleidingen, persleidingen en riolen. Data verzamelen c.q. databases maken van faalfrequenties van leidingen in waterkeringen.
  - Impactzone en kritieke impactzone: actualisatie veiligheidszone.
  - Faalpaden: bepaling invloed van compenserende maatregelen, zoals damwandconstructies en andere constructieve voorzieningen.
  - Gebeurtenissenbomen: nagaan welke gebeurtenissen (on)afhankelijk van elkaar zijn en verificatie van uitgangspunt: conditionele faalkansen of conditionele additionele faalkansen.
- Dijkfalen:
  - Dijkfaalmechanismen: bepaling impact andere directe en indirecte faalmechanismen op de bijdrage aan de kans op overstroming
  - Nadere uitwerking invloed golfoverslag op afschuiving binnentalud.
  - Heroverweging relatie tussen schadefactor en betrouwbaarheidsindex.

### *Aanpassing NEN 3650 reeks*

Binnen de NEN 3650 reeks zijn er normdelen, die aanpassing behoeven om deze goed aan te laten sluiten op overstromingskansen, zoals:

- NEN 3650-1:
  - Partiële factoren: onderliggende invloedscoëfficiënten ( $\alpha$ 's), betrouwbaarheidsindices ( $\beta$ 's) en faalkanseisen ook in NEN-norm opnemen.
  - Identificatie veiligheidsniveau in relatie tot NEN 9997-1.
  - Aanbevolen wordt om de vereiste omvang van geotechnisch onderzoek en de betrouwbaarheid in relatie tot het veiligheidsniveau verder uit te werken, inclusief de consequenties van minder grondonderzoek dan volgens de NEN-norm is vereist.
  
- NEN 3651:
  - Veiligheidszone: afstemming van de methodiek op de interactie tussen leidingfalen en dijkfalen en verificatie van de invloed van andere dijkfaalmechanismen, zoals piping en de invloed van een sluipend lek.
  - Verstoringzones: aanpassing berekeningsmodel erosiekraters, dat is gebaseerd op zand en (zeer) conservatieve resultaten geeft voor kleiige materialen.
  - Faaloorzaken: voor distributie leidingen is gebruik gemaakt van gegevens van KIWA (gas) en KWR (drinkwater). Of deze ook kunnen worden toegepast voor andere lagedruk waterleidingen (bijvoorbeeld afvalwater), persleidingen en rioleringen moet nog worden geverifieerd.
  - Faalmanieren: aanbevolen wordt om bij de verdere uitwerking voor zowel water- als gasleidingen bij een gapend en een sluipend lek rekening te houden met de omvang van de gaten (klein gat of groot gat) en scheuren en de oppervlakte van de uitstroomopening.
  - Faalkansen: de statistiek voor drinkwaterleidingen kan sterk worden verbeterd door landelijke uitbreiding en daar ook leidingen met afvalwater (industrie, landbouw et cetera) persleidingen en riolen te betrekken. Verder is het belangrijk is om inzicht te krijgen in met name de aantasting en verouderingsmechanismen van leidingen van binnenuit.
  - Damwandconstructies: deze risicobeperkende maatregel kan vervallen als de kans op leidingfalen en dijkfalen voldoet aan de faalkanseisen van het WBI/OI (wettelijke beoordelingsinstrumentarium/ontwerpinstrumentarium). Het verdient aanbeveling om de NEN-norm hierop aan te passen. Daarbij kunnen ook alternatieven worden betrokken die bij bestaande leidingkruisingen zonder onderbreking van de leiding zijn aan te brengen.
  - Parallele ligging in het profiel van een waterkering: verificatie is nodig of parallelle lagedruk leidingen in de kern van de dijk wel of niet acceptabel zijn. Dit kan op basis van de systematiek van de filters voor parallelle lagedrukleidingen nader worden onderbouwd.
  - Minimum wanddikte, relatieve sterkte en importantiefactor: evaluatie en heroverweging van deze eisen wordt aanbevolen.
  - Ontwerpaspecten: De Unity Check uit de PLE-sterkteberekeningen dient nog te worden doorvertaald naar een kans op falen van de leidingsterkte. Het achtergronddocument 'Omrekening van Unity Check naar faalkans' [TNO, 2020] biedt daar aanknopingspunten voor.
  - Beoordelen van bestaande leidingen: evaluatie en heroverweging is nodig van de eisen waarvan kan worden afgezien en de uitfiltering van lagedrukleidingen op basis van diameters (staal  $\varnothing$  500 mm en niet-staal  $\varnothing$  125 mm) en diameter-druk-verhouding.
  
- NPR 3659
  - Nadere invulling van faalfrequenties van leidingen in waterkeringen en faalfrequenties van afvalwaterleidingen, persleidingen, vrij verval leidingen et cetera wordt aanbevolen.

### *Toepasbaarheid bij regionale keringen*

Het Veiligheidsraamwerk POV K&L is toegepast op primaire waterkeringen. Voor regionale keringen kunnen in principe dezelfde stappen van grof naar fijn worden toegepast. Deze stappen moeten voor regionale keringen nog wel op een aantal specifieke onderdelen nader worden uitgewerkt.

## INHOUD

1.	Inleiding .....	6
1.1	Context .....	6
1.2	Procesmatige leerervaringen POV K&L .....	6
1.3	Leeswijzer .....	7
2.	Faalkanseisen .....	8
2.1	Faalkanseisen Optie 1 .....	8
2.1.1	Basisprincipe .....	8
2.1.2	Faalkanseisen voor kruisende en parallelle leidingen .....	8
2.2	Faalkanseisen Optie 2 .....	9
2.2.1	Basis principe .....	9
2.2.2	Invloed van meerdere leidingen op de faalkanseisen .....	10
3.	Doorontwikkeling technisch inhoudelijke aspecten .....	11
3.1	Stap 1: Eenvoudig .....	11
3.1.1	Geometrische kenmerken .....	11
3.1.2	Filters voor lagedrukleidingen .....	11
3.2	Stap 2: Gedetailleerd .....	12
3.2.1	Rekenregels NEN 3650 reeks .....	12
3.2.2	Rekenregels WBI 2017 .....	12
4.	Doorontwikkeling BOI Veiligheidsraamwerk K&L .....	13
4.1	Systematiek Veiligheidsraamwerk K&L .....	13
4.2	Leidingfalen .....	14
4.2.1	Basisgegevens .....	14
4.2.2	Faaloorzaken .....	14
4.2.3	Faalmanieren .....	14
4.2.4	Faalkansen .....	14
4.2.5	Impactzone en kritieke impactzone .....	14
4.2.6	Scenario's en faalpaden .....	14
4.2.7	Gebeurtenissenbomen .....	15
4.3	Dijkfalen .....	15
4.3.1	Dijkfaalmechanismen .....	15
4.3.2	Invloed van overslagdebiet op macro-instabiliteit binnenwaarts .....	15
4.3.3	Relatie tussen schadefactor en betrouwbaarheidsindex .....	16
5	Aanpassing NEN 3650 reeks .....	17
5.1	NEN 3650-1 .....	17
5.1.1	Partiële factoren .....	17
5.2	NEN 3651 .....	17
5.2.1	Veiligheidszone .....	17
5.2.2	Stabiliteitszone .....	18
5.2.3	Verstoringszones .....	18
5.2.4	Faaloorzaken .....	19

5.2.5	Faalmanieren.....	19
5.2.6	Damwandconstructies .....	19
5.2.7	Parallele ligging in het profiel van een waterkering .....	19
5.2.8	Minimum wanddikte.....	20
5.2.9	Relatieve sterkte .....	21
5.2.10	Importatiefactor .....	21
5.2.11	Ontwerpaspecten – spanningen en vervormingen door belastingen.....	21
5.2.12	Beoordeling van bestaande leidingen.....	22
5.3	NPR 3659 .....	23
6.	Toepassing Veiligheidsraamwerk K&L bij regionale keringen .....	24
6.1	Faalkanseisen .....	24
6.1.1	Veiligheidsnormen regionale keringen .....	24
6.1.2	Van doorbraakkansen naar faalkanseisen.....	24
6.1.3	Integrale analyse van leidingfalen en dijkfalen.....	25
	Afkortingen en begrippen .....	26
	Referenties.....	30
	Colofon.....	33

# 1. Inleiding

## 1.1 Context

De Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen (POV K&L) is uitgevoerd binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) met als belangrijkste doel om de risico's van kabels en leidingen bij dijkversterkingsprojecten te minimaliseren. Het project is gestart in september 2017 en eindigt in december 2020.

Met het huidige instrumentarium (WBI/OI) is het moeilijk om de faalkansbijdrage van kabels en leidingen aan de toelaatbare kans op overstroming te bepalen. Dit vormt een risico voor dijkversterkingsprojecten met (aanwezige) kabels en leidingen.

Om aan de faalkansbijdrage van kabels & leidingen een nadere invulling te kunnen geven is in vijf praktijkcasussen door de POV K&L het algemene WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen (K&L) (Deltares, 2018] toegepast en uitgewerkt.

Bij de praktijkcasussen hebben we geleerd dat het Veiligheidsraamwerk POV K&L nog kennisleemten bevat. In het voorliggende rapport worden deze kennisleemten beschreven en worden aanbevelingen gedaan voor de verdere doorontwikkeling van het Veiligheidsraamwerk K&L. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in kennisleemten die betrekking hebben op het huidige instrumentarium voor beoordelen en ontwerp van waterkeringen: het WBI 2017 [I&M, 2016] en het OI 2017 [I&M, 2017] en het instrumentarium voor buisleidingen: de NEN 3650 reeks [NEN, 2020].

Bij de beschrijving van de kennisleemten worden aanbevelingen gegeven voor de doorontwikkeling met als doel om uiteindelijk tot een algemeen toepasbaar BOI Veiligheidsraamwerk K&L te komen ten behoeve van het toekomstige BOI (beoordelings- en ontwerpinstrumentarium). Dit instrument kan dan worden toegepast bij de integrale veiligheidsbeoordeling van primaire waterkeringen in de bestaande situatie en dijkversterkingsontwerpen met kabels en leidingen. De aanpassing van de NEN 3650 reeks, afgestemd op overstromingskansen vormt onderdeel van het toekomstige instrument: BOI Veiligheidsraamwerk K&L.

## 1.2 Procesmatige leerervaringen POV K&L

Bij de casussen van de POV K&L is er bij de toepassing van de systematiek van het Veiligheidsraamwerk POV K&L in de samenwerking tussen waterkeringbeheerder, leidingbeheerder, specialisten en marktpartijen een aantal procesmatige uitdagingen naar voren gekomen, zoals:

- Meer ervaring nodig voor generieke toepassing Veiligheidsraamwerk POV K&L. Er is nog onvoldoende ervaring opgedaan met de toepassing van de systematiek van het Veiligheidsraamwerk POV K&L. Om tot een generieke methode en een generiek instrument te kunnen komen, die worden verankerd in het BOI, is toepassing in meer casussen nodig.
- Leiding -en waterkeringgegevens op orde bij de start. Bij de start van de casussen waren de leidingdossiers niet altijd volledig, waardoor aanvullend veldonderzoek en leidinginspectie nodig was, voordat de faalkansanalyses konden worden uitgevoerd. Dit kan worden voorkomen door er voor te zorgen dat bij de start van 'Stap 3: Geavanceerd' het leidingdossier compleet is. Dat geldt uiteraard ook voor het waterkeringdossier. In dat opzicht ligt er ook een gezamenlijke verantwoordelijkheid en rol bij de waterkering-/netbeheerders om daar bijvoorbeeld in het kader van de vergunningverlening een goede invulling aan te geven.
- Pas het Veiligheidsraamwerk POV K&L eerder in het proces toe. Bij de casussen waren de dijkversterkingsplannen al in een vergevorderd stadium, waardoor de planning van de faalkansanalyses en het definitief ontwerp en de interactie met de

ontwerpteams niet goed op elkaar konden worden afgestemd. Dit pleit ervoor om al in een zo vroeg mogelijk stadium de samenwerking met elkaar op te zoeken.

- Benadruk het gezamenlijke belang.

In verband met de kwaliteit en het beheer van leidingen is er een gezamenlijk belang van de netbeheerder vanuit leveringszekerheid en van de waterkeringbeheerder vanuit veiligheid tegen overstroming. In de casussen is de meerwaarde van samenwerken en informatie delen duidelijk naar voren gekomen. Deze open en efficiënte benadering is voor de toekomst essentieel om in termen van maatschappelijk kosten en baten tot een optimaal resultaat te kunnen komen.

- Schakel deskundige hulp in bij toepassing van het Veiligheidsraamwerk POV K&L. Toepassing van het Veiligheidsraamwerk POV K&L kan zeer complex zijn en kan niet zonder hulp van technische specialisten op het gebied van waterkeringen en leidingen worden uitgevoerd. Dat geldt ook voor de kwaliteitsborging van de op te leveren producten. Het is belangrijk om op tijd de complexiteit van het vraagstuk in te schatten en de inzet van onafhankelijke topexperts op het gebied van waterkeringen en van pijpleidingen te mobiliseren.

- Integratie en optimalisatie beheer.

De werkwijze met het Veiligheidsraamwerk K&L biedt verder een basis om de beheerpraktijk van waterkeringbeheerder en leidingbeheerder te integreren en te optimaliseren. Om de faalkans van een leiding en daarmee de bijdrage aan de overstromingskans van de waterkering te reduceren kunnen ook beheermaatregelen worden ingezet. Voorbeelden daarvan zijn periodieke inspectie en monitoring van de ligging (meting zetting en zinking) en de kwaliteit van de leiding (kathodische bescherming, inwendige en uitwendige coating, afname wanddikte).

## Vervolg

De doorontwikkeling van het Veiligheidsraamwerk POV K&L is inhoudelijk vanaf 2021 voorzien binnen het project De Innovatieversneller van het HWBP. De samenwerking tussen netbeheerders en waterkeringbeheerders wordt verder gestimuleerd in de in oprichting zijnde Strategische Samenwerking Water -en Netbeheerders (SSWN).

## 1.3 Leeswijzer

Dit rapport is voornamelijk bedoeld als leidraad voor de programmadirectie van het HWBP en de NEN-Normcommissie Transportleidingen om te zorgen voor implementatie en doorontwikkeling van de producten van de POV K&L ten behoeve van het toekomstige BOI en in de NEN 3650 reeks.

In hoofdstuk 2 worden de verschillende opties voor de bepaling van de faalkanseisen behandeld.

Hoofdstuk 3 gaat in op de technisch inhoudelijke kennisleemten en de beoogde doorontwikkeling wordt benoemd.

In hoofdstuk 4 ligt de nadruk op de aspecten die relevant zijn voor de verdere doorontwikkeling van het toekomstige BOI Veiligheidsraamwerk K&L.

In hoofdstuk 5 worden de aandachtspunten benoemd, die van belang zijn om ervoor te zorgen dat de toekomstige aanpassingen van de NEN 3650 reeks ook aansluiten bij de overstromingskansbenadering.

In hoofdstuk 6 wordt een aanzet gegeven voor de toepassing van de systematiek van het Veiligheidsraamwerk K&L bij regionale keringen.



## 2. Faalkanseisen

Voor de bepaling van de faalkanseisen zijn er in principe twee opties mogelijk waarmee vanuit de overstromingskansnorm faalkanseisen aan leidingen kunnen worden gesteld, namelijk Optie 1 of Optie 2 (zie ook paragrafen 2.1 en 2.2). In de Factsheet 'Post "overig" in de faalkansbegroting en indirecte mechanismen' [KPR, 2016] worden beide opties gegeven, waarbij de kabels en leidingen als niet-waterkerende objecten (NWO's) op verschillende manieren worden meegenomen:

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

Gedurende de uitwerking van de praktijkcasussen is de POV K&L gestart met Optie 1. Als gevolg van voortschrijdend inzicht is ook Optie 2 toegepast en is er discussie ontstaan over de verdiscontering van de lengte-effecten. Het onderscheid tussen kruisende en parallelle leidingen speelt daarbij ook een rol. Vanwege de verzwaring van de faalkanseis op doorsnedeniveau bij Optie 2 voor het dijkfaalmechanisme golfoverslag, erosie kruin/binnentalud wordt aanbevolen om Optie 1 verder uit te werken.

### 2.1 Faalkanseisen Optie 1

#### 2.1.1 Basisprincipe

Bij Optie 1 wordt leidingfalen als een direct faalmechanisme beschouwd en wordt de faalkanseis ten laste gebracht van de post 30% "Overige" van de toeplaatbare faalkans van een dijktraject ( $P_{max}$ ). Daarvoor is in de casussen van de POV K&L maximaal 5% ( $\approx$  faalkansruimte factor  $\omega = 0,05$ ) gereserveerd voor het falen van alle leidingen in een dijktraject.

#### 2.1.2 Faalkanseisen voor kruisende en parallelle leidingen

Voor de bepaling van de faalkanseis per individuele leiding dient in verband met de verdiscontering van het lengte-effect onderscheid te worden gemaakt in kruisende leidingen (puntconstructies) en parallelle leidingen (langsconstructies).

##### *Kruisende leidingen*

Bij kruisende leidingen kan voor de bepaling van de faalkanseis per individuele leidingkruising, in analogie met de benadering bij waterkerende kunstwerken, worden uitgegaan van een equivalent aantal kruisingen of  $N_{EQ,KR,PL} = 10$ . Uitgaande van  $\omega = 0,01$  als voldoende veilig geachte startwaarde geeft dit per individuele kruisende leiding een faalkanseis van  $\omega \times P_{max} / N_{EQ,KR,PL} = 0,01 \times P_{max} / 10 = 0,1\%$  van  $P_{max}$ .

Bij de bepaling van  $N_{EQ,KR,PL} = 10$  wordt er impliciet van uitgegaan dat het falen van maximaal 10 leidingkruisingen een substantiële bijdrage levert aan de toelaatbare kans op overstroming. Verificatie van  $N_{EQ}$  is nog wel nodig op basis van:

- Inventarisatie van alle kruisende leidingen in een dijktraject.
- Uitsplitsing daarvan naar leidingkenmerken, zoals: medium (gas of vloeistof), materiaal (staal of niet-staal), inwendige druk (hogedruk of lagedruk).

##### *Parallelle leidingen*

Bij parallelle leidingen kan voor de bepaling van de faalkanseis per individuele parallelle leiding rekening worden gehouden met de lengte-effect factor  $N_{PAR,PL}$  op basis van de volgende formule:  $N_{PAR,PL} = a \times L_{leiding} / b$

met:

a = 0,01: deel van de leidingen dat een significante bijdrage levert aan de kans op overstroming.

$L_{\text{leiding}}$  = 50.000 m: totale lengte van alle parallelle leidingen in een dijktraject.

b = 50 m: autocorrelatielengte van een leiding.

Dit resulteert in een factor  $N_{\text{PAR,PL}} = 10$ , wat met  $\omega = 0,01$  als voldoende veilig geachte startwaarde per individuele parallelle leiding overeenkomt met een faalkans op doorsnedeniveau van  $\omega \times P_{\text{max}} / N_{\text{PAR,PL}} = 0,01 \times P_{\text{max}} / 10 = 0,1\%$  van  $P_{\text{max}}$ .

Verificatie van  $N_{\text{PAR,PL}}$  is nog wel nodig op basis van:

- Inventarisatie van alle parallelle leidingen in een dijktraject.
- Uitsplitsing daarvan naar leidingkenmerken, zoals: leidingpositie in het dwarsprofiel, leidinglengte, medium (gas of vloeistof), materiaal (staal of niet-staal), inwendige druk (hogedruk of lagedruk).
- Nadere onderbouwing van de factoren a en  $L_{\text{leiding}}$ .

## 2.2 Faalkanseisen Optie 2

### 2.2.1 Basis principe

Bij Optie 2 wordt leidingfalen als verzwarende omstandigheid bij een direct faalmechanisme meegenomen. Dat betekent dat de som van de faalkansen van alle scenario's van leidingfalen moet passen binnen de daarvoor binnen een dijktraject beschikbare faalkansruimte van een dijkfaalmechanisme. Voor de belangrijkste, dominant veronderstelde dijkfaalmechanismen zijn de daaruit voortvloeiende faalkanseisen weergegeven in tabel 2.1.

Dijkfaalmechanisme		Faalkansruimte factor $\omega$	Lengte-effect factor N
Golfoverslag, erosie kruin/binnentalud	(GEKB)	0,24	1, 2 of 3 2)
Graserosie buitentalud	(GEBU)	$0,10 \times 0,9 \times 0,5 = 0,045$	1, 2 of 3 2)
Piping	(STPH)	0,24	$1 + (a \times L_{\text{traject}} / b)$ 3)
Macro-instabiliteit binnenwaarts	(STBI)	0,04	$1 + (a \times L_{\text{traject}} / b)$ 4)
Macro-instabiliteit buitenwaarts	(STBU)	0,4	$1 + (a \times L_{\text{traject}} / b)$ 4)
1) $P_{\text{max}}$ = maximaal toelaatbare faalkans [1/jaar], geldt voor het dijktraject 2) N is afhankelijk van dijktraject en watersysteem 3) $L_{\text{traject}}$ is lengte dijktraject [m] en a = 0,9 (bovenrivieren) of 0,4 (overige) 4) $L_{\text{traject}}$ is lengte dijktraject [m] en a = 0,033 en b = 50 m			

Tabel 2.1: Faalkanseisen per dijkfaalmechanisme (Optie 2).

De toelaatbare faalkans op doorsnedeniveau volgt uit  $P_{\text{eis,dsn}} = \omega \times P_{\text{max}} / N$

Daarin is  $P_{\text{max}}$  de maximaal toelaatbare kans op falen van een dijktraject. Die is gelijk aan de toelaatbare kans op overstroming conform de Waterwet, waarin daarvoor een signaleringswaarde (voor de veiligheidsbeoordeling van een bestaande situatie) en een ondergrens (voor de veiligheidsbeoordeling van een ontwerp) wordt gedefinieerd.

Uit tabel 2.1 blijkt dat de lengte-effect factor per dijkfaalmechanisme verschillend is. Dat geldt ook voor de bijbehorende autocorrelatielengte. Indien bijvoorbeeld wordt uitgegaan van een dijktraject met  $P_{\text{max}} = 1/10.000$  per jaar (ondergrens norm) in het bovenrivierengebied met een lengte van 25,8 km gelden de in tabel 2.2 vermelde waarden.

Dijkfaalmechanisme		Faalkansruimte factor $\omega$	Lengte-effect factor N	Faalkanseis $P_{eis,dsn}$ [% van $P_{max}$ ]	Auto-correlatielengte [m]
Golfoverslag, erosie kruin/binnentalud	(GEKB)	0,24	1	24%	25.800 <sup>1)</sup>
Graserosie buitentalud	(GEBU)	$0,10 \times 0,9 \times 0,5 = 0,045$	1	4,5%	25.800 <sup>1)</sup>
Piping	(STPH)	0,24	78,4	0,31%	300 <sup>2)</sup>
Macro-instabiliteit binnenwaarts	(STBI)	0,04	18,0	0,22%	50 <sup>3)</sup>
Macro-instabiliteit buitenwaarts	(STBU)	0,4	18,0	2,2%	50 <sup>3)</sup>

1)  $L_{traject} / 1 = 25.800$  m (faalkans wordt gedomineerd door belasting)  
2) Factor  $b = 300$  m in formule voor N (faalkans wordt gedomineerd door sterkte)  
3) Factor  $b = 50$  m in formule voor N (faalkans wordt gedomineerd door sterkte)

Tabel 2.2: Voorbeeld van faalkanseisen per dijkfaalmechanisme (Optie 2)

Uit het voorbeeld van tabel 2.2 blijkt dat de faalkanseisen per dijkfaalmechanismen en de bijbehorende autocorrelatielengten verschillend zijn. Bovendien is daarbij nog geen rekening gehouden met de consequenties van de aanwezigheid van meerdere leidingen in een dijktraject en hoe daarmee om te gaan als er meerdere leidingen in een mechanismevak liggen.

### 2.2.2 Invloed van meerdere leidingen op de faalkanseisen

Om faalkanseisen per individuele leiding te kunnen bepalen moet er rekening worden gehouden met de invloed van meerdere leidingen in een dijkvak dat representatief is voor een dijkfaalmechanisme. In feite is dat de autocorrelatielengte, zoals weergegeven in tabel 2.2.

Dat betekent voor het rekenvoorbeeld van tabel 2.2 dat voor het dijkfaalmechanisme GEKB rekening moet worden gehouden met een autocorrelatielengte, die gelijk is aan de lengte van het dijktraject. Er moet dan net als bij Optie 1 rekening worden gehouden met  $N_{EQ} = 10$  voor kruisende leidingen en een lengte-effect factor van  $N = 10$  voor parallelle leidingen, wat tot een forse verzwaring leidt van de faalkanseis op doorsnedeniveau. Vanwege de grote consequenties daarvan is het niet aan te bevelen om bij de bepaling van de faalkanseisen uit te gaan van Optie 2 maar van Optie 1.

#### **Doorontwikkeling vanuit de programmadirectie van het HWBP**

De uitwerking van het veiligheidsformat voor kabels en leidingen moet passen in de generieke uitwerking van de veiligheidsfilosofie en dient uiteindelijk te landen in het BOI. In het BOI wordt op dit moment gewerkt aan een handleiding NWO's waarin de resultaten van diverse projecten bij elkaar komen. De programmadirectie van het HWBP streeft ernaar dat de resultaten van de POV Kabels & Leidingen worden meegenomen in de ontwikkeling van het WBI2023 en de handreiking ontwerpen van overstromingskansen, waarvan een update in 2021 of 2022 is voorzien.

## 3. Doorontwikkeling technisch inhoudelijke aspecten

### 3.1 Stap 1: Eenvoudig

De eenvoudige methode is gebaseerd op geometrische kenmerken van de dijk en van de leiding en kan zonder veel rekenwerk worden uitgevoerd. Daarbij kunnen parallelle lagedrukleidingen eenvoudig worden uitgefilterd.

#### 3.1.1 Geometrische kenmerken

Het beoordelingsprofiel is het minimaal vereiste dijkprofiel, dat voor alle dijkfaalmechanismen juist aan de norm voldoet. In Bijlage C van het WBI 2017 [I&M, 2016] wordt beschreven hoe het beoordelingsprofiel op basis van geometrische kenmerken kan worden bepaald. Deze methode is overgenomen uit het wettelijk toetsinstrumentarium WTI 2011 [Deltares, 2016] met elementen uit de eenvoudige toetsing van de veiligheid van waterkeringen op basis van overschrijdingskansen. Actualisatie daarvan volgens een veiligheidsbenadering (met bepaling van het restprofiel na dijkfalen) op basis van overstromingskansen heeft niet plaatsgevonden.

De verstoringszones is de zone om een leiding waarbinnen de invloed van de aanwezigheid of het falen c.q. bezwijken van de leiding merkbaar. Voor de berekening van de verstoringszones wordt gebruik gemaakt van formules van Bijlage A van NEN 3651 [NEN, 2020-f]. In de eenvoudige methode worden vereenvoudigde formules toegepast, die zeer conservatieve waarden geven. Deze kunnen worden aangescherpt op basis van bijlage 'Bepaling ontgrondingskraters gas- en waterleidingen' bij het rapport 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen' [POV K&L, 2020-e]. Omdat daarbij de verstoringszones zijn berekend met ongunstige, veilige uitgangspunten zijn deze nog steeds aan de conservatieve, veilige kant. Aanbevolen wordt om bij de aanscherping van de verstoringszones aansluiting te zoeken bij de voorgestelde aanpassingen van Bijlage A van NEN 3651 (zie ook paragraaf 5.2.3).

#### 3.1.2 Filters voor lagedrukleidingen

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 drinkwaterleidingen in het beheergebied van Waterschap Rivierenland (boven- en benedenrivierengebied). De beslisbomen zijn bepaald op basis van berekeningen met het Veiligheidsraamwerk POV K&L volgens Stap 2: Geavanceerd en liggen ten grondslag aan de filtercriteria, zoals die in Hoofdstuk 4 'Leerpunten uit praktijkcasussen' van het rapport 'Veiligheidsraamwerk POV K&L [POV K&L, 2020-f] zijn opgenomen. De beslisbomen en filtercriteria kunnen nog niet voor alle gebieden en watersystemen worden toegepast. Bovendien zijn deze erg conservatief, waardoor er nog slechts een beperkt aantal leidingen kan worden uitgefilterd. Een verbeterslag om op basis van meer dijkprofielen en ondergronden tot algemeen toepasbare filters te komen levert naar verwachting meer winst op. Specifieke aandachtspunt daarbij is het maken van filters voor kruisende lagedruk leidingen.

#### **Doorontwikkeling vanuit de programmadirectie HWBP**

In een werkwijze van grof naar fijn wordt geprobeerd om zo weinig mogelijk energie te steken in onderdelen die niet belangrijk zijn. Eenvoudige beslisregels zijn handig om de relevante onderdelen te selecteren en vormen een belangrijk onderdeel van het beoordelings- en ontwerpinstrumentarium. De filters voor parallelle lagedruk leidingen landen in de handreiking NWO vanuit BOI. De programmadirectie van het HWBP zal het overleg met BOI voortzetten over de wijze waarop de beslisregels uit de POV Kabels & Leidingen kunnen landen in het instrumentarium en verder ontwikkeld kunnen worden.

## 3.2 Stap 2: Gedetailleerd

De gedetailleerde methode van leidingfalen en dijkfalen is gebaseerd op bestaande rekenregels van de NEN 3650 reeks [NEN, 2020] en het WBI 2017 [I&M, 2016], aangevuld met nieuwe kennis uit de casussen van de POV K&L. De faalkans van een leiding wordt hierbij in eerste instantie nog niet meegenomen of bepaald, dat wil zeggen dat als conservatief uitgangspunt wordt gesteld: faalkans leiding = 1.

Indien blijkt dat falen van de leiding een relevante bijdrage levert aan de overstromingskans kan een nadere analyse, inclusief de faalkans van de leidingen nog uitkomst bieden. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van de aanbevelingen uit het rapport 'Veiligheidsraamwerk POV K&L' [POV K&L, 2020-f] of de daaraan ten grondslag liggende bronnen.

### 3.2.1 Rekenregels NEN 3650 reeks

De eisen en rekenregels van de NEN 3650 reeks zijn van toepassing met uitzondering van de geconstateerde kennisleemten en aspecten, die niet goed aansluiten bij de veiligheidsbenadering op basis van overstromingskansen. Dit betreft onderdelen van NEN 3651, zoals:

- Bepaling van de veiligheidszone.
- Bepaling van de verstoringzone bij een sluipend lek van vloeistofleidingen.
- Uitfiltering van lagedrukleidingen.

Voor meer informatie zie paragraaf 5.2.

### 3.2.2 Rekenregels WBI 2017

Uitgangspunt zijn de rekenmethodieken en rekenregels uit het huidige WBI 2017 en OI 2017, die nog moeten landen in het toekomstige BOI 2023. Bij de casussen van de POV K&L is de interactie tussen leidingfalen en dijkfalen uitgevoerd voor de volgende dijkfaalmechanismen:

Directe mechanismen (direct leidend tot overstroming):

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

Indirecte mechanismen (niet direct leidend tot overstroming):

- Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU)

De mogelijkheid bestaat dat leidingfalen in combinatie met andere dijkfaalmechanismen ook een kansbijdrage leveren aan de kans op overstroming. Verificatie daarvan moet nog plaatsvinden (zie ook paragraaf 4.3.1).

#### **Doorontwikkeling vanuit de programmadirectie van het HWBP**

Belangrijk is dat in projecten meer ervaring wordt opgedaan met de toepassing van het Veiligheidsraamwerk K&L. Het onderwerp is daarom geagendeerd in het project De Innovatieversneller.

## 4. Doorontwikkeling BOI Veiligheidsraamwerk K&L

### 4.1 Systematiek Veiligheidsraamwerk K&L

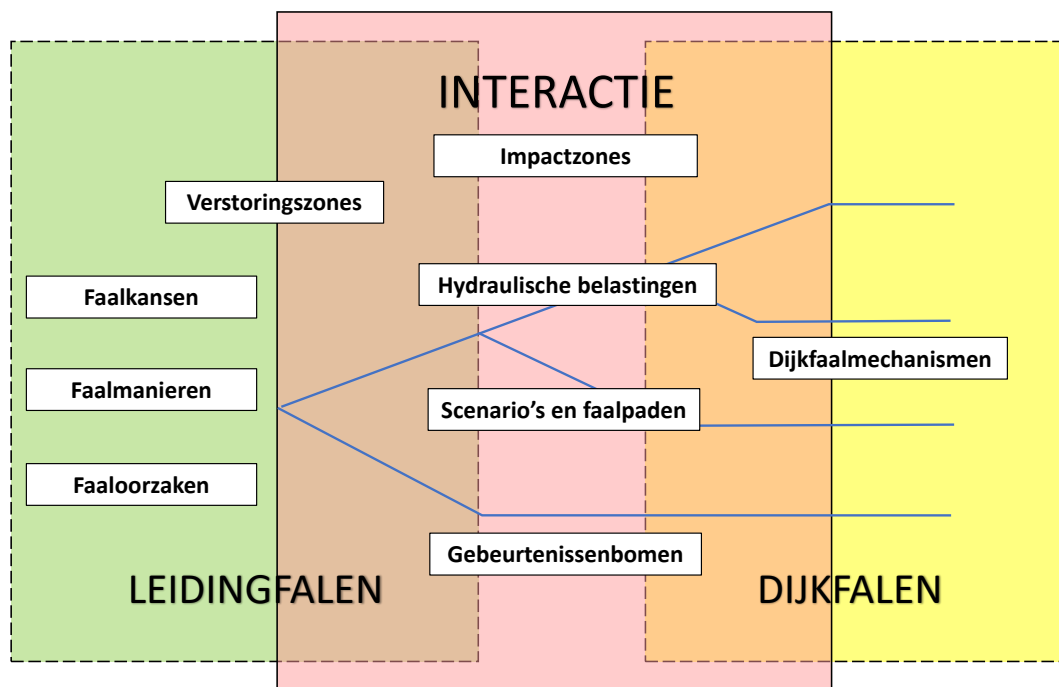
Toepassing van de systematiek van het veiligheidsraamwerk betreft Stap: 3 Geavanceerd. Deze stap is gebaseerd op een probabilistische benadering bij de interactie tussen leidingfalen en dijksfalen. Daarbij wordt de systematiek van het Veiligheidsraamwerk POV K&L gevolgd. De daarin nog aanwezige kennisleemten worden in de volgende paragrafen nader omschreven.

Het WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen [Deltares, 2018] is getest in een beperkt aantal praktijkcasussen voor kruisende en parallelle leidingen. De resultaten en leerpunten zijn vastgelegd in het rapport 'Veiligheidsraamwerk POV K&L' [POV K&L, 2020-f], dat kan worden beschouwd als een eerste groene versie voor maatwerktoeepassingen op de korte termijn.

Om tot een generiek toepasbare methodiek en rekeninstrumenten te kunnen komen, die ook in het BOI en de NEN 3650 reeks worden verankerd voor de langere termijn, zijn meer casussen nodig en nadere invulling van een aantal kennisleemten. In de volgende paragrafen wordt daar dieper op ingegaan. Daarbij wordt als leidraad de onderdelen van het schema van figuur 4.1 gevolgd, dat ook in het rapport 'Veiligheidsraamwerk POV K&L' is gebruikt.

#### **Doorontwikkeling vanuit de programmadirectie van het HWBP**

Belangrijk is dat in projecten ervaring wordt opgedaan met het Veiligheidsraamwerk K&L. Het onderwerp is daarom geagendeerd in het project De Innovatieversneller. Aan De Innovatieversneller zal worden gevraagd hoe de aandachtspunten uit dit hoofdstuk kunnen worden opgepakt en gemonitord.



Figuur 4.1: Onderdelen van de systematiek van het toekomstige BOI Veiligheidsraamwerk K&L

## 4.2 Leidingfalen

### 4.2.1 Basisgegevens

Het vertrekpunt is het verzamelen van de leidinggegevens, die volgens de NEN 3650 reeks nodig zijn. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in stalen en niet-stalen leidingen en is ook Bijlage B van NEN 3650-1 [NEN, 2020-a] van toepassing. Bij de toepassing van de systematiek van het Veiligheidsraamwerk K&L zijn specifieke gegevens nodig, die voor gas- en vloeistofleidingen verschillend zijn. Meer informatie daarover staat in rapport 'Veiligheidsraamwerk POV K&L' [POV K&L, 2020-f].

### 4.2.2 Faaloorzaken

De bij de casussen van de POV K&L toegepaste verdeling van de faaloorzaken in 5 hoofdcategorieën (externe invloeden, corrosie, mechanische gebreken, operationele fouten en groundbeweging) is breed toepasbaar en kan in principe worden gehandhaafd. Specifiek aandachtspunt daarbij is nog wel de implementatie van de faaloorzaken van lagedruk gas- en vloeistofleidingen, die daar nog niet helemaal goed op aansluit.

### 4.2.3 Faalmanieren

De manier van falen van een leiding manifesteert zich in een klein gat, scheur, groot gat of leidingbreuk. Bij de casussen van de POV K&L is daar een invulling aan gegeven, die als vertrekpunt kan worden gebruikt bij de verdere doorontwikkeling.

### 4.2.4 Faalkansen

Dit betreft het verzamelen van faalfrequenties van verschillende type leidingen. Bij de casussen van de POV K&L zijn enkel faalfrequenties verzameld over hogedruk gas-, olie- en lagedruk gas- en drinkwaterleidingen. De statistiek voor drinkwaterleidingen is representatief voor 57% van de totale leidinglengte in Nederland en kan sterk worden verbeterd door deze landelijk uit te breiden. Daarbij zijn leidingen met industriewater en landbouwwater buiten beschouwing gelaten. Dat geldt ook voor afvalwaterleidingen, persleidingen en riolen. Voor die leidingen was geen informatie over faalfrequenties beschikbaar, dus die moeten nog nader worden bepaald. Verder is het belangrijk is om inzicht te krijgen in met name de aantasting en verouderingsmechanismen van leidingen van binnenuit.

De door de POV K&L uit de verschillende databases verzamelde faalfrequenties van leidingincidenten zijn representatief voor het totale areaal van leidingen. Daarbij is geen onderscheid mogelijk tussen faalincidenten in de veiligheidszone van waterkeringen of daarbuiten. Aanbevolen wordt om in de komende jaren bij waterschappen en/of leidingbeheerders data en informatie te gaan verzamelen en op basis daarvan databases te maken om de faalfrequenties van leidingen in waterkeringen specifiek en beter in beeld te krijgen. Het effect van incidenten binnen de veiligheidszone van waterkeringen is groot, vanwege het relatief lage aantal kilometers van kruisende leidingen. Eén incident heeft dan namelijk direct een grote impact op de faalfrequentie.

### 4.2.5 Impactzone en kritieke impactzone

De impactzone is de zone waarin leidingfalen invloed heeft op een dijkfaalmechanisme. De kritieke impactzone is de zone waarin leidingfalen tot gevolg heeft dat een dijkfaalmechanisme niet meer voldoet aan de daarvoor geldende veiligheidseis. In feite is dat een geactualiseerde definitie van de veiligheidszone van NEN 3651, die beter aansluit bij de overstromingskansbenadering. Voor de daaruit voortvloeiende gewenste aanpassing van NEN 3651 zie paragraaf 5.2.1.

### 4.2.6 Scenario's en faalpaden

In de casussen van de POV K&L zijn de scenario's en faalpaden bepaald voor hogedruk en lagedruk leidingen in een gronddijk. Daarbij is nog geen invulling gegeven aan de invloed van compenserende maatregelen, zoals damwandconstructies (enkelvoudige damwand of kistdam) en andere constructieve voorzieningen, waardoor de hoogte of stabiliteit van de

waterkering voldoet aan de faalkanseisen. Dit soort voorzieningen kan een forse reductie opleveren van de kansbijdrage van leidingfalen aan de kans op overstroming, dus het is de moeite waard om de invloed daarvan in beeld te brengen.

#### 4.2.7 Gebeurtenissenbomen

In de gebeurtenissenbomen worden faalkansen van scenario's gecombineerd. Daarbij wordt tevens rekening gehouden met de hersteltijd. Daarbij is het ook van belang om na te gaan welke gebeurtenissen (on)afhankelijk van elkaar zijn en of er moet worden uitgegaan van conditionele faalkansen of conditionele additionele faalkansen.

Bij conditionele faalkansen wordt uitgegaan van de kans op falen van een dijkfaalmechanisme, gegeven leidingfalen met of zonder herstel. Bij conditionele additionele faalkansen wordt uitgegaan van de som van de kansbijdragen van de scenario's van leidingfalen zonder herstel van alle dijkfaalmechanismen tezamen.

Over hoe daar verder mee om te gaan is meer duidelijkheid nodig.

### 4.3 Dijkfalen

#### 4.3.1 Dijkfaalmechanismen

Uitgangspunt zijn de rekenmethodieken en rekenregels uit het huidige WBI 2017 en OI 2017, die nog moeten worden verwerkt in het toekomstige BOI 2023. Bij de casussen van de POV K&L is de interactie tussen leidingfalen en dijkfalen uitgevoerd voor de volgende dominant geachte dijkfaalmechanismen:

Directe mechanismen (direct leidend tot overstroming):

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

Indirecte mechanismen (niet direct leidend tot overstroming):

- Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU)

De mogelijkheid bestaat dat leidingfalen in combinatie met andere dijkfaalmechanismen ook een kansbijdrage kunnen leveren aan de kans op overstroming, zoals:

Directe mechanismen:

- Golfklappen op asfaltbekleding buitentalud (AGK)
- Wateroverduk bij asfaltbekleding (AWO)
- Grasbekleding afschuiving buitentalud (GABU)
- Grasbekleding afschuiving binnentalud (GABI)
- Stabiliteit steenzetting (ZST)

Indirecte mechanismen:

- Micro-instabiliteit (STMI)
- Golfafslag voorland (VLGA)
- Zettingsvloeiing voorland (VLZV)

Verificatie daarvan moet nog plaatsvinden.

#### 4.3.2 Invloed van overslagdebiet op macro-instabiliteit binnenwaarts

Bij de analyse van de casus Wolferen – Sprok (Gasunie) [POV K&L, 2020-b] is gebleken dat er bij het ontwerp van de dijkversterking wordt uitgegaan van beïnvloeding van de kans op macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI) door golfoverslag, erosie kruin en binnentalud (GEKB) bij een overslagdebiet  $> 1$  l/m/s. Daarbij is de werkwijze van de 'KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag OI2014v4' [KPR, 2018] gevolgd. Die voorziet in een eerste aanzet om te kunnen voldoen aan veiligheidseisen bij onderlinge beïnvloeding van deze twee dijkfaalmechanismen.



KPR beschouwt twee situaties: A. Falen door macro-instabiliteit bij  $q < 1$  l/m/s (volgens de standaard werkwijze voor het faalmechanisme macro-instabiliteit) en B. Falen door macro-instabiliteit bij  $q \geq 1$  l/m/s (met als conservatief uitgangspunt dat volledige verzadiging van het dijklichaam optreedt). Vervolgens wordt gesteld dat voor beide situaties de doorsnede-eis geldt. Dat is in feite een te soepele eis, omdat de doorsnede-eis de som is van de faalkanseisen voor situatie A en B. Dat betekent dat de faalkanseisen voor de beide situaties strenger moeten zijn.

De werkwijze zoals beschreven in de bovengenoemde KPR factsheet is een eerste stap, die inhoudelijk nog nadere uitwerking vraagt. In de analyses van de casussen van de POV K&L is nagegaan of desondanks wordt voldaan aan de eisen volgens de werkwijze van de KPR factsheet. In de integrale faalkansanalyses van dijkfalen en leidingfalen door de POV K&L is situatie A standaard opgenomen in de faalpaden, waarbij de faalkanseis altijd strenger is dan de doorsnede-eis. Verder is kwalitatief afgeleid dat de faalpaden die in de analyses van de POV K&L zijn uitgewerkt, maatgevend zijn ten opzichte van situatie B volgens de KPR factsheet. Hiermee is de invloed van een overslagdebiet  $> 1$  l/m/s op macro-instabiliteit binnenwaarts afgedekt in de toepassing van de systematiek van het Veiligheidsraamwerk K&L.

#### 4.3.3 Relatie tussen schadefactor en betrouwbaarheidsindex

Bij de analyse van de casus Zeeburgereiland [POV K&L, 2018] is gebleken dat de relatie uit het WBI 2017 [I&M, 2016] tussen de schadefactor ( $\gamma_n$ ) en de vereiste betrouwbaarheidsindex ( $\beta_{eis}$ ) een lagere  $\beta$  oplevert dan volgens een probabilistische stabiliteitsberekening voor de scenario's met leidingfalen. De reden daarvan is dat de relatie uit het WBI niet is gekalibreerd voor de situatie macro-instabiliteit buitenwaarts en voor de situatie met verstoringzones als gevolg van leidingfalen. Aanbevolen wordt om bij de analyses bij de bepaling van de faalkans op macro-instabiliteit geen gebruik te maken van de  $\beta$ - $\gamma_n$ -relatie uit het WBI, maar deze te bepalen met een probabilistisch rekenmodel.

## 5 Aanpassing NEN 3650 reeks

### 5.1 NEN 3650-1

#### 5.1.1 Partiële factoren

In Bijlage B Ontwerpaspecten – Ontwerpgegevens van NEN 3651-1 [NEN, 2020-a] staan in de tabellen B.1 t/m B.4 partiële factoren ( $\gamma$ 's) voor grondeigenschappen/-parameters. Die zijn gebaseerd op betrouwbaarheidseisen ( $\beta$ 's), waarvan de onderbouwing is te vinden in het rapport 'Herziening rekenfactoren en spanningscorrectiefactoren in NEN 3650' [TNO, 2003]. Aanbevolen wordt om de onderliggende uitgangspunten, zoals invloedscoëfficiënten ( $\alpha$ 's), betrouwbaarheidsindices ( $\beta$ 's) en faalkanseisen ook in de tekst van Bijlage B op te nemen.

Door het uitvoeren van lokaal geotechnisch onderzoek kunnen de partiële factoren worden aangescherpt. In de casussen van de POV K&L kon op basis van een statistische bewerking van de onderzoeksresultaten de partiële factor van 2,0 voor zettingen worden gereduceerd tot 1,5. Voor meer mogelijkheden zie achtergronddocumenten 'Optimalisatie leidingberekeningen met PLE' [R+K, 2020] en 'Optimalisatie leidingberekeningen volgens NEN 3650' [Lievense|WSP, 2020].

Verdere aandachtspunten daarbij zijn:

- De waarden van tabel B.1 zijn consistent gemaakt met NEN 9997-1 [NEN, 2017]. De vraag is in hoeverre er in NEN 9997-1 aandacht wordt gegeven aan de faalkansbenadering met onderliggende veiligheidsniveaus. Mogelijke verschillen dienen nog te worden geïdentificeerd.
- De vraag is in hoeverre de omvang van het geotechnisch onderzoek ook invloed op het veiligheidsniveau heeft en wat de consequenties zijn als er minder grondonderzoek wordt uitgevoerd dan volgens de NEN-norm is vereist. Dan is er ook een heroverweging nodig van het volgens de NEN 3650 reeks vereiste geotechnisch onderzoek en de relatie daarvan met de NSTT (The Netherlands Society for Trenchless Technology) en de SIKB (Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer).

Aanbevolen wordt om de vereiste omvang van het geotechnisch onderzoek en de betrouwbaarheid van de geotechnische parameters verder uit te werken.

### 5.2 NEN 3651

#### 5.2.1 Veiligheidszone

In paragraaf 6.2 van NEN 3651 [NEN, 2020-f] staan rekenregels voor de bepaling van de veiligheidszone, die bestaat uit een stabiliteitszone en een verstoringszone bij een gapend lek. Deze zones kunnen met behulp van vereenvoudigde of uitgebreide formules worden berekend. De methodiek sluit voor wat betreft de interactie tussen leidingfalen en dijkefalen niet goed aan op de benadering op basis van overstromingskansen. Daarnaast ontbreekt inzicht in de invloed op de veiligheidszone van andere dijkefaalmechanismen, zoals piping en de invloed van een sluipend lek.

In de casussen van de POV K&L is invulling gegeven aan de kennishiaten met als resultaat een geactualiseerde nieuwe veiligheidszone: de kritieke impactzone. Dit is de zone, waarin de verstoringszone een zodanige impact heeft op een dijkefaalmechanisme dat dit niet meer aan de faalkanseis voldoet. Voor nadere informatie zie rapport 'Veiligheidsraamwerk POV K&L [POV K&L, 2020-f]' en de casussen voor kruisende leidingen bij Gorinchem – Waardenburg (Dunea) [POV K&L, 2020-a], Wolferen-Sprok (Gasunie) [POV K&L, 2020-b] en Wolferen – Sprok (Vitens) [POV K&L, 2020-c].

- *Interactie tussen stabiliteitszone en verstoringszone*

Bij de bepaling van de veiligheidszone volgens NEN 3651 worden de stabiliteitszone en de verstoringszone apart beschouwd en wordt er geen rekening gehouden met de interactie tussen beide en de invloed daarvan op de kans op macro-instabiliteit van de waterkering. Uit grondmechanische berekeningen is gebleken dat de ligging van de maatgevende

schuifvlakken wordt beïnvloed door de aanwezigheid van de verstoringszone. Bij de casussen van de POV K&L is gebleken dat dit kan leiden tot een bredere stabiliteitszone dan op basis van stabiliteitsberekeningen zonder verstoringszone. Verificatie daarvan kan plaatsvinden op basis van semi-probabilistische grondmechanische berekeningen inclusief verstoringszones volgens Stap 2: Gedetailleerd. Aanbevolen wordt om de bevindingen, inclusief nadere toelichting vast te leggen in een Achtergronddocument.

### 5.2.2 Stabiliteitszone

Volgens paragraaf 6.2.2.1 van NEN 3651 kan de stabiliteitszone ook worden bepaald met de vuistregel van  $4 \times H_{\text{werk}}$ , waarbij  $H_{\text{werk}}$  gelijk is aan de hoogte van het waterstaatswerk boven het maaiveld (kruinhoogte minus maaiveldhoogte). De vuistregel is destijds in het kader van de Pijpleidingcode bepaald als robuuste en veilige rekenwaarde op basis van de resultaten van stabiliteitsberekeningen zonder opdrijven.

Uitzonderingen, waarvoor de vuistregel niet geldt, zijn:

- bij zeer slappe lagen in de ondergrond;
- als de spanningstoestand nog niet aan de bestaande belastingtoestand is aangepast;
- bij voortgaande deformaties van het waterstaatswerk;
- als een sterke omhooggerichte grondwaterstroming (bijvoorbeeld door kwel) optreedt.

Indien nodig kan de beheerder van het waterstaatswerk een grotere stabiliteitszone in rekening brengen wanneer lokale omstandigheden en/of andere faalmechanismen, veroorzaakt door de specifieke bodemgesteldheid een rol spelen.

Uit de analyses van de casussen van de POV K&L is gebleken dat de kritieke impactzone bij leidingfalen groter is dan volgens de 4H vuistregel, waarbij de kritieke impactzone voor piping maatgevend is gebleken. Heroverweging van de vuistregel middels verificatie op basis van de bepaling van de kritieke impactzones voor macro-instabiliteit en piping is nodig.

### 5.2.3 Verstoringzones

In bijlage A van NEN 3651 staan vereenvoudigde en uitgebreide formules voor de bepaling van de verstoringszones van gas- en vloeistofleidingen. Deze geven deterministische waarden, waarin die geen inzicht geven in de onzekerheidsmarges. Daarnaast zijn sommige formules niet meer actueel en ontbreken formules voor de verdiscontering van een sluipend lek. Het verschil in faaloorzaken komt niet tot uiting. Verder wordt bij de faalmanieren van een leiding onderscheid gemaakt in een klein gat, een groot gat of een volledige afschuiving. De grens tussen een klein gat en een groot gat is niet gedefinieerd, terwijl scheuren niet worden genoemd. Het model voor de berekening van de afmetingen van erosiekraters is gebaseerd op (fijn) zand en geeft (zeer) conservatieve resultaten voor cohesieve, kleiige materialen. Nader onderzoek is nodig om voor deze veel voorkomende grondsoorten meer realistische kraterafmetingen te kunnen berekenen.

- *Verstoringzones van gasleidingen*

#### *Erosiekrater*

Inzicht in de onzekerheden in de bepaling van de straal van de erosiekrater  $G_B$  en de invloed van andere grondsoorten dan zand (met name kleiig materiaal) ontbreekt. Actualisatie daarvan is gewenst. Daarbij kan naast het uitvoeren van modelproeven voor de kraterdimensies ook gebruik worden gemaakt van data uit publicaties uit de praktijk.

De formules in NEN 3651 zijn niet inzichtelijk genoeg om tot een eenduidige aanpak te komen. Het rapport 'Berekeningsmethode ontgroning bij gasleidingbreuk, evaluatie NEN3651' [Deltares, 2010] over de onderbouwing daarvan geeft een heldere uiteenzetting van de rekenmethodiek. Het verdient aanbeveling om dat bij de actualisatie van NEN 3651 mee te nemen.

### *Explosiekrater en verwekingszone*

Inzicht in de onzekerheden in de formule voor de berekening van de straal van de erosiekrater ontbreekt evenals de invloed van andere grondsoorten dan zand.

De formules voor de bepaling van de afmetingen van de verwekingszone ( $E_i$  en  $E_k$ ) zijn verouderd (1914), zodat actualisatie wenselijk is.

- *Verstoringszones van vloeistofleidingen*

Inzicht in de onzekerheden in de formule voor de berekening van de straal van de erosiekrater  $R_B$  en de invloed van andere grondsoorten dan zand ontbreekt. Bovendien ontbreken er rekenregels voor de beoordeling van de invloed van een sluipend lek. Daarbij kan naast modelproeven voor de kraterdimensies ook gebruik worden gemaakt van data uit publicaties uit de praktijk. Verzamel daarbij ook data van bijvoorbeeld waterleidingen, maar ook van andere vloeistofleidingen op basis van bijvoorbeeld incidentrapportages (desnoods anoniem; vergelijkbaar met gasleidingen). Een bijkomend probleem is dat kleine lekkages erg moeilijk zijn te detecteren.

#### 5.2.4 Faaloorzaken

In het rapport 'Veiligheidsraamwerk POV K&L' [POV K&L, 2020-g] is onderscheid gemaakt tussen transportleidingen en distributieleidingen. Daarbij is voor distributie leidingen gebruik gemaakt van faaloorzaken van KIWA (gas) en KWR (drinkwater). De vraag is of die faaloorzaken ook voor andere lagedrukleidingen (bijvoorbeeld afvalwater) gelden.

#### 5.2.5 Faalmanieren

In Bijlage A van NEN 3651 wordt onderscheid gemaakt in een klein gat, groot gat of volledige afschuiving (guillotinebreuk). In de casussen van de POV K&L is voor de waterleidingen een klein gat gelijkgesteld aan de waarde van 20 mm uit de 'Handleiding Risicoberekening Bevb' [RIVM, 2020], welke tevens als grens tussen een sluipend en gapend lek is gehanteerd. Voor gastransportleidingen is bij de faaloorzaak 'corrosie' uitgegaan van een gaatje met  $D < 20$  mm ( $A < 314$  mm<sup>2</sup>) en bij de faaloorzaak 'mechanische gebreken/lasfouten' uitgegaan van een scheurtje met  $L < 50$  mm ( $A < 25$  mm<sup>2</sup>). Aanbevolen wordt om bij de verdere uitwerking van de faalmanieren voor zowel water- als gasleidingen rekening te houden met de gaten en scheuren en de oppervlakte van de uitstroomopening.

#### 5.2.6 Damwandconstructies

Volgens paragraaf 8.1.7.1 van NEN 3651 zijn bij leidingkruisingen die onder het ontwerppeil (tegenwoordig waterstand bij norm) kruisen risicobeperkende maatregelen nodig in de vorm van een enkelvoudige damwand of een kistdam (voorheen vervangende waterkering genoemd).

Bij de casussen van de POV K&L is gebleken dat een dergelijke kostbare maatregel achterwege kan worden gelaten als de kans op leidingfalen en dijkfalen voldoet aan de faalkanseisen van het WBI/OI. Het verdient aanbeveling om de NEN hierop aan te passen.

Daarbij kan ook worden gedacht aan het ontwikkelen van alternatieve oplossingen voor een damwandconstructie die ook voor bestaande leidingkruisingen zonder onderbreking van de leiding is aan te brengen voor die gevallen die niet aan de faalkanseis voldoen.

#### 5.2.7 Parallele ligging in het profiel van een waterkering

In paragraaf 7.3 van NEN 3651 staat dat voor gasdistributieleidingen (maximaal 0,8 MPa) met  $p_a < 0,1$  MPa, waarbij voor PE-leidingen geldt  $D_i < 200$  mm en vloeistofleidingen met  $H^3 \times D_i^5 < 40$  mag worden overwogen om de leiding in een waterkering te leggen. Tevens dient daarbij onder meer te worden aangetoond dat de toelaatbare dysfunctiekans van  $7 \times 10^{-12}$  per meter per jaar niet wordt overschreden.

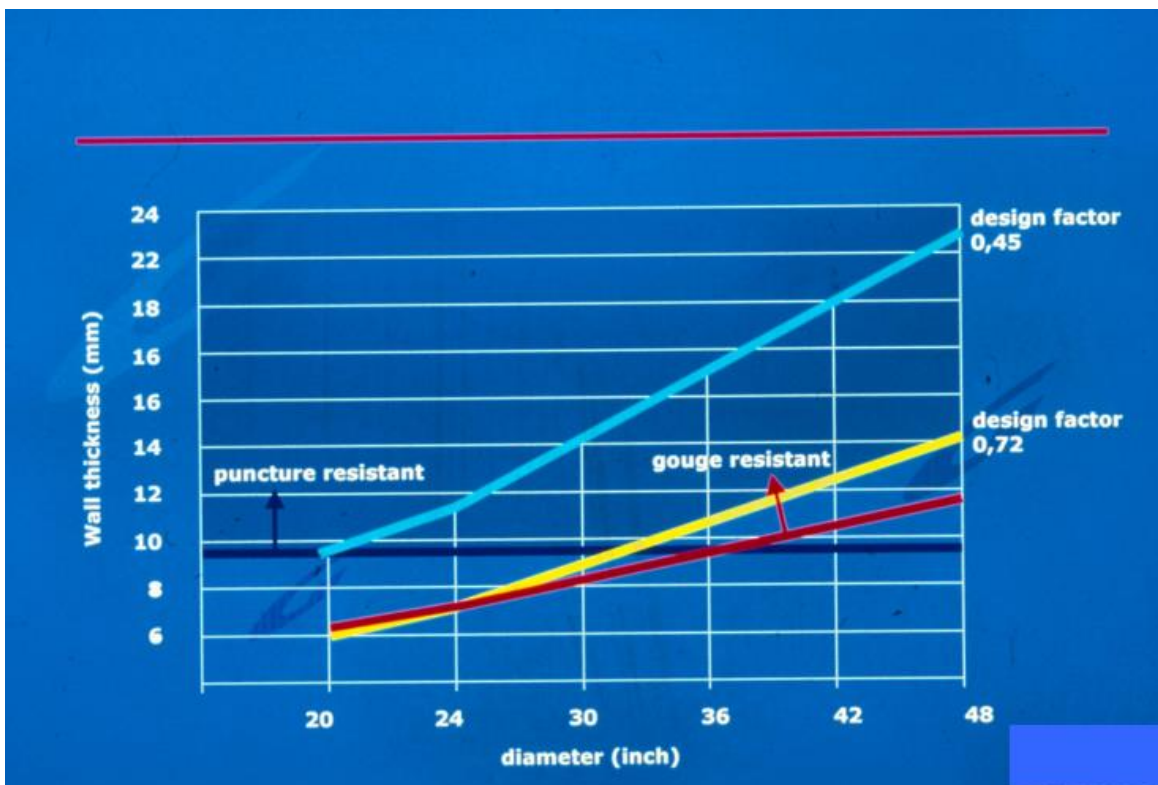
De vraag is wel of deze getallen op basis van de integrale faalkansbenadering voldoende statistisch kunnen worden onderbouwd. Dat geldt ook voor de beoordeling van kruisingen met HDD's waar ook sprake is van dysfunctiekansen.

Door de POV K&L zijn filters voor Stap 1: Eenvoudig ontwikkeld voor de uitfiltering van parallelle lagedrukleidingen. De resultaten daarvan zijn gerapporteerd in 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen' [POV K&L, 2020-e]. Op basis daarvan kan worden geconcludeerd dat parallelle gasleidingen  $< 0,1$  MPa (1 bar) en  $< \varnothing 200$  mm en vloeistofleidingen met  $H^3 \times D_i^5 < 40$  in de kruin van een primaire waterkering niet kunnen worden uitgefilterd en dat de impact daarvan op de dijkfaalmechanismen nader moeten worden beoordeeld volgens Stap 2: Gedetailleerd.

### 5.2.8 Minimum wanddikte

In paragraaf 11.1.2 van NEN 3651 staan in Tabel 11 eisen voor de minimale nominale wanddikte van een leiding in verband met mechanische beschadiging. Over wat de invloed daarvan is, al dan niet in combinatie met de importantiefactor  $S$ , op de kans op falen door 'externe invloeden' is meer informatie beschikbaar.

Zo is met betrekking tot de weerstand van stalen leidingen tegen beschadiging door graafwerkzaamheden bekend dat buisleidingen met een wanddikte  $> 10$  mm van modern staal goed bestand zijn tegen krassen en doorponsen door "normale" graafmachines (bron: onderzoek British Gas, Gasunie, EPRG, PRCI), zie figuur 5.1).



Figuur 5.1: Invloed van wanddikte op weerstand tegen krassen en doorponsen

(Bron: J. Spiekhout, R.N. Knott: "The design of transmission pipelines to be resistant to external interference", page 427-441, 3rd International Conference on Pipeline Technology, Brugge, Belgium, May 21-24, 2000. Editor: R. Denys, Elsevier, Amsterdam, ISBN: 0-444-50271-8).

De kern van het probleem bij de bepaling van de frequentie van voorkomen en de raakkans zit in de verdeling van de zwaarte van graafmachines, andere graafwerktuigen et cetera.

Wel kan worden gesteld dat het vergroten van de wanddikte niet zo'n effectieve maatregel is om de faalkans van een leiding te verkleinen. Dit kan wel worden bewerkstelligd door meer aandacht te besteden aan voldoende kerftaaiheid van het staal en toepassing van een goede coating of kathodische bescherming. Door een en ander inzichtelijk te maken kan de eis worden geëvalueerd en heroverweging over nut en noodzaak van de minimum wanddikte-eis plaatsvinden.

### 5.2.9 Relatieve sterkte

Volgens de paragrafen 6.6. en 11.1.3 van NEN 3651 moet een leiding in de strekking van een leidingkruising inclusief de veiligheidszones voor inwendige druk minstens 20% sterker zijn dan in de aangrenzende veldleiding. De invloed van deze eis op de kans op falen van de leidingsterkte is niet bekend.

De gedachte bij de eis van relatieve sterkte was dat ingeval van een te hoge overdruk barsten van de buis op zou treden buiten de leidingkruising. Uit de breukmechanica blijkt dat mogelijk barsten van een leiding in eerste instantie wordt bepaald door de kerftaaiheid (kerfslagwaarde) en aanwezige beschadigingen of corrosie en veel minder door de sterkte van het materiaal. Ook bij het stoppen van een instabiele lopende scheur ('fracture arrest') is de kerftaaiheid belangrijker dan de sterkte. De eis van een 20% hogere sterkte (in de praktijk een 20% hogere wanddikte) in relatie tot barsten heeft dus geen nut. De materiaaleisen genoemd in de NEN 3650 voor gastransportleidingen garanderen voldoende kerftaaiheid. Voor bestaande leidingen zal aangetoond moeten worden dat de kerftaaiheid voldoende is (als vermeld op de materiaalcertificaten of uit een analyse van de data van uitgenomen pijpstukken). Uiteraard moet ook een goede leidingconditie worden aangetoond. Zie ook rapport 'Optimalisatie leidingberekeningen volgens NEN 3650' [Lievense|WSP, 2020].

Om daaraan ook nog een eis voor de relatieve sterkte en de minimum wanddikte (> circa 10 mm) toe te voegen lijkt een overmaat aan veiligheid. Door de invloed van de relatieve sterkte-eis op de faalkans inzichtelijk te maken kan heroverweging van deze eisen plaatsvinden.

### 5.2.10 Importantiefactor

In paragraaf 6.5 van NEN 3651 staat dat de toetswaarde van een te berekenen spanning of vervorming van de leiding in de kruising wordt bepaald door de toetswaarde met de importantiefactor  $S$  te vermenigvuldigen. De importantiefactor  $S$  is een risicofactor die, afhankelijk van het personele en materiele risico, voor primaire waterkeringen varieert van 0,75 tot 1,0 (zie ook Bijlage B van NEN 3651). De invloed van  $S$  op de kans op falen van leidingen is niet bekend. Deze kan worden berekend op basis van sterkteberekeningen met het programma PLE zonder en met importantiefactoren. De daaruit resulterende Unity Check in de doorsnede van een leiding kan met de bijbehorende  $\beta$ -waarde worden omgerekend naar een kans op falen van de leidingsterkte. Deze werkwijze wordt nader toegelicht in het achtergronddocument 'Omrekening van Unity Check naar faalkans' [TNO, 2020].

Opgemerkt wordt dat de gevolgen van falen van primaire waterkeringen ook al zijn verdisconteerd in de nieuwe veiligheidsnormen op basis van overstromingskansen. Echter daarbij is geen rekening gehouden met de gevolgen van het falen van waterkerende kunstwerken, bijzondere waterkerende constructies en niet-waterkerende objecten. Door de invloed van de importantiefactor op de faalkans inzichtelijk te maken kan heroverweging over nut en noodzaak daarvan plaatsvinden.

### 5.2.11 Ontwerpaspecten – spanningen en vervormingen door belastingen

De leidingsterkteberekeningen met PLE worden gebaseerd op partiële belasting- en sterktefactoren en resulteren in een veiligheidsfactor in de leidingdoorsnede (UC = Unity Check). De UC kan met de bijbehorende betrouwbaarheidsindex ( $\beta$ ) worden doorvertaald naar een kans op falen van de leidingsterkte. Daarvoor zijn wel grondmechanische parameters bij verschillende  $\beta$ 's nodig. Lastige aspecten daarbij zijn dat er weinig tot geen statistische data beschikbaar is over het falen van leidingen in kruisingen en dat het aantal kilometers kruisende leidingen beperkt is, wat de bepaling van een betrouwbare faalkans belemmert. Dat geldt ook voor vervormingen en hoekverdraaiingen. Aanbevolen wordt om de vertaalslag van UC naar  $\beta$  ook op te nemen in de software (rekenprogramma PLE).

### 5.2.12 Beoordeling van bestaande leidingen

In Bijlage E van NEN 3651 staan eisen voor de beoordeling van bestaande leidingen. Dat zijn leidingen die vóór 1972 zijn aangelegd. De leidingen die daarna zijn aangelegd moeten voldoen aan de ontwerpisen van de NEN 3650 reeks. Bijlage E mag niet worden toegepast voor ontwerpen en voorziet in eisen, waarvan mag worden afgezien en filters voor lagedrukleidingen, die niet zijn afgestemd op de benadering op basis van overstromingskansen.

- *Eisen waarvan mag worden afgezien*

In paragraaf E.1.2 van NEN 3651 wordt de mogelijkheid geboden om af te zien van de ontwerpisen voor:

- relatieve sterkte voor stalen leidingen;
- veiligheidszone;
- in rekening brengen van reële grondbelasting;
- beperking voor de verticale deflectie;
- damwandconstructie als risicobeperkende maatregel.

Wat de invloed daarvan is op de faalkans van een leiding en de dijkfaalmechanismen is niet bekend en moet nog nader worden geëvalueerd.

- *Filters*

Paragraaf E.2.2 van NEN 3651 voorziet in een beoordelingsschema (Figuur E.1), waarin lagedrukleidingen ( $< 1,0 \text{ MPa} \approx \leq 10 \text{ bar}$ ) van staal  $< \varnothing 500 \text{ mm}$  en niet-staal,  $\leq \varnothing 125 \text{ mm}$  automatisch voldoen aan de eisen en niet verder hoeven te worden beoordeeld. Deze kenmerken zijn niet getoetst aan de veiligheidsbenadering voor primaire waterkeringen op basis van overstromingskansen. Dat geldt ook voor de grafiek van Figuur E.2, voor een beoordeling op basis van de middellijn-druk-verhouding van niet-stalen lagedrukleidingen.

Door de POV K&L zijn filters voor Stap 1: Eenvoudig ontwikkeld voor de uitfiltering van parallelle lagedrukleidingen. De resultaten daarvan zijn gerapporteerd in 'Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen' [POV K&L, 2020-e]. Daarbij is rekening gehouden met de leidinglocatie, de faalkans van leidingen per materiaal, medium inwendige druk en diameter en de invloed van een gapend lek en een sluipend lek. Op basis van de daarop gebaseerde beslisbomen kan het volgende worden geconcludeerd:

- stalen lagedrukleidingen  $\leq \varnothing 500 \text{ mm}$  kunnen niet worden uitgefilterd;
- niet-stalen lagedruk leidingen  $\leq \varnothing 125 \text{ mm}$  in de kruin of in de buitenteen kunnen niet worden uitgefilterd;
- niet-stalen lagedrukleidingen kunnen op basis van de middellijn-druk-combinatie niet altijd worden uitgefilterd.

Dit betekent dat de huidige filterkenmerken in NEN 3651 niet consistent zijn met de benadering op basis van overstromingskansen. Aanpassing daarvan is mogelijk 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 zijn representatief voor het beheergebied van Waterschap Rivierenland (boven- en benedenrivierengebied) en moeten nog wel verder worden geëvalueerd voor andere beheergebieden.

In afwachting daarvan wordt aanbevolen om voorlopig de huidige filters van NEN 3651 niet toe te passen.

### 5.3 NPR 3659

De tabel met faalkansen van 'NPR 3659' [NPR, 2006] is verouderd, terwijl ook de onderbouwing daarvan niet bekend is. Door de POV K&L is onderzoek gedaan naar de faalfrequenties van lagedruk en hogedruk gasleidingen en waterleidingen. De resultaten daarvan zijn beschreven in de verschillende rapportages van de casussen en zijn samengevat in het rapport 'Veiligheidsraamwerk POV K&L' [POV K&L, 2020-g]. Deze faalfrequenties zijn representatief voor data van het hele areaal aan leidingen en kunnen voor faalfrequenties van leidingen in waterkeringen voorlopig, met enkele kanttekeningen voor bepaalde materiaal-medium-combinaties, zoals in de rapportages van de POV K&L is aangegeven, als veilige conservatieve waarden worden toegepast.

Bij de bepaling van de faalfrequenties per categorie leiding zijn de volgende kennisleemten geconstateerd:

- Gastransportleidingen: de toegepaste faalfrequenties zijn gebaseerd op faalincidenten van hogedruk gastransport leidingen met een inwendige druk  $> 1,6$  MPa ( $\approx > 16$  bar). Volgens de NEN 3650 reeks ligt de grens tussen gasdistributieleidingen en hogedruk gastransportleidingen bij 1,6 MPa ( $\approx 16$  bar). Opgemerkt wordt dat er volgens KIWA in Nederland geen gasdistributieleidingen  $> 8$  bar aanwezig zijn, maar dat leidingen  $\leq 16$  bar wel zijn toegestaan. Voor de faalfrequenties van gasdistributieleidingen  $\geq 1,0$  MPa ( $\approx \geq 10$  bar) en  $\leq 1,6$  MPa ( $\approx \leq 16$  bar) is nadere inventarisatie en analyse nodig.
- Gasdistributieleidingen: de toegepaste faalfrequenties zijn gebaseerd op faalincidenten van lagedruk gasdistributieleidingen met een inwendige druk  $\leq 0,8$  MPa ( $\approx \leq 8$  bar). Voor de faalfrequenties van lagedruk gasleidingen  $> 0,8$  MPa ( $\approx > 8$  bar) en  $< 1,0$  MPa ( $\approx < 10$  bar) is nadere inventarisatie en analyse nodig.
- Overige leidingen: faalfrequenties van andere waterleidingen (zoals bijvoorbeeld industrie-, landbouw- en ander afvalwaterleidingen) zijn niet geïnventariseerd. Dat geldt ook voor stadsverwarming, persleidingen, vrijverval leidingen en rioleringen. Ook daarvan is nadere inventarisatie en analyse nodig.

Nadere invulling van de faalfrequenties van leidingen in waterkeringen en van de faalfrequenties afvalwaterleidingen, persleidingen, vrij verval leidingen et cetera wordt aanbevolen.

In afwachting daarvan wordt aanbevolen om met uitzondering van betonnen leidingen voorlopig de tabel met faalkansen van NPR 3659 niet toe te passen.

#### **Doorontwikkeling vanuit de NEN**

De aanpassing van de NEN 3650 reeks valt onder de verantwoordelijkheid van de NEN-Normcommissie Transportleidingen. De tekstvoorstellen daarvoor dienen te worden afgestemd op de doorontwikkeling van de rekenregels in het toekomstige BOI.



## 6. Toepassing Veiligheidsraamwerk K&L bij regionale keringen

### 6.1 Faalkanseisen

#### 6.1.1 Veiligheidsnormen regionale keringen

De huidige veiligheidsnormen van regionale keringen zijn gebaseerd op de 'IPO-Richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden' [IPO, 1999] en zijn representatief voor een veiligheidsbenadering op basis van overschrijdingskansen per dijkvak. Uitgangspunt daarbij was dat een boezemwaterkering het maatgevende boezempeil (MBP) veilig moet kunnen keren.

Bij de bepaling van de veiligheidsnormen werd al rekening gehouden met de gevolgen van een doorbraak en de bijbehorende kans daarop. De gevolgen waren daarbij gedefinieerd in termen van financieel-economische schade. Voor de kans op doorbraak is destijds gekozen voor een factor 5 maal kleinere kans dan de veiligheidsnorm op basis van overschrijdingskansen. Een en ander is weergegeven in tabel 6.1.

<b>Normklasse</b>	<b>Veiligheidsnorm [1/jaar]</b>	<b>Kans op doorbraak [1/jaar]</b>
I	1/10	1/50
II	1/30	1/150
III	1/100	1/500
IV	1/300	1/1.500
V	1/1.000	1/5.000

Tabel 6.1: Overzicht van veiligheidsnormen (overschrijdingskansen) en doorbraakkansen van regionale keringen

#### 6.1.2 Van doorbraakkansen naar faalkanseisen

Bij de nieuwe veiligheidsnormen voor primaire waterkeringen is de vertaalslag gemaakt van overschrijdingskansen per dijkvak naar overstromingskansen per dijktraject op basis van maatschappelijke kosten en baten (MKBA), lokaal individueel risico (LIR) en groepsrisico (GR).

Voor de regionale keringen zijn overschrijdingskansen van toepassing en is geen vertaalslag gemaakt naar een overstromingskans. In het Programmaplan van het Onderzoeksprogramma Regionale Keringen [STOWA, 2020] zijn acties opgenomen om de nut en noodzaak hiervan te verkennen.

Vooruitlopend daarop kan bij de veiligheidsbeoordeling van regionale keringen al ervaring worden opgedaan met het toepassen van het Veiligheidsraamwerk K&L. Daarbij kan in eerste instantie worden uitgegaan van een toelaatbare kans op overstroming, die gelijkgesteld wordt aan de kans op doorbraak. Voor de verdeling van de faalkansruimte van de kans op doorbraak over de verschillende dijkfaalmechanismen kan gebruik worden gemaakt van de verdeling, zoals die wordt gehanteerd in de 'IPO-Richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden' [IPO, 1999]. Daarin wordt een faalkansruimte van 10% gereserveerd voor 'overige mechanismen'. In analogie met de primaire waterkeringen kan daarvan een gedeelte worden gereserveerd voor het bepalen van een faalkanseis voor kruisende en voor parallelle leidingen.

### 6.1.3 Integrale analyse van leidingfalen en dijkfalen.

Voor regionale keringen kunnen in principe dezelfde stappen van grof naar fijn worden toegepast als voor primaire waterkeringen. Deze stappen moeten voor regionale keringen nog wel op een aantal specifieke onderdelen worden uitgewerkt.

#### **Doorontwikkeling vanuit STOWA**

De toepassing van het Veiligheidsraamwerk K&L voor regionale keringen kan van meerwaarde zijn voor de doelstelling van de STOWA. Het verdient aanbeveling om hierover af te stemmen bij de doorontwikkeling van het Veiligheidsraamwerk K&L voor primaire waterkeringen.

## Afkortingen en begrippen

<i>Afkorting</i>	<i>Omschrijving</i>
BEVB	Besluit Externe Veiligheid Buisleidingen
BOI	Beoordelings- en Ontwerp Instrumentarium
EEM	Eindige Elementen Methode
GEBU	Graserosie buitentalud
GEKB	Golfoverslag, erosie kruin en binnentalud
HDD	Horizontal Directional Drilling (horizontaal gestuurde boring)
HBN	Hydraulisch Belasting Niveau
HWBP	Hoogwaterbeschermingsprogramma
IPO	Inter Provinciaal Overleg
MBP	Maatgevend Boezem Peil
NEN	Nederlands Normalisatieinstituut
NSTT	Netherlands Society for Trenchless Technology
OI	Ontwerp Instrumentarium
PLAXIS	Plastisch rekenmodel op basis van Eindige Elementen Methode
PLE	Programma voor Leidingsterkteberekeringen volgens de Eindige elementenmethode
S	Importantiefactor
SIKB	Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer
STBI	Macro-instabiliteit binnenwaarts
STBU	Macro-instabiliteit buitenwaarts
STOWA	Stichting Toegepast Waterbeheer
STPH	Piping Heave
UC	Unity Check
WBI	Wettelijk Beoordelings Instrumentarium
WBN	Waterstand Bij Norm

<i>Begrip</i>	<i>Omschrijving</i>
<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 dijkprofiel dat noodzakelijk is om voor alle dijkfaalmechanismen 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 (<math>\beta</math>)</i>	Parameter die gerelateerd is aan de faalkans.
<i>Conditionele faalkans</i>	Faalkans, gegeven een bepaalde voorwaarde (conditie).
<i>Dijkfaalmechanisme</i>	Een mechanisme waardoor een dijk kan falen of bezwijken.
<i>Dijkfalen</i>	Het falen of bezwijken van een dijk.
<i>Dijktraject</i>	Deel van een primaire waterkering dat afzonderlijk genormeerd is.
<i>Direct mechanisme</i>	Dijkfaalmechanisme 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 dijktraject.
<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>Freatische lijn</i>	Niveau van de grondwaterstand in de dijk.
<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.
<i>Groep I buisleidingen</i>	Buisleidingen voor het transport van intrinsiek gevaarlijke stof.

<i>Begrip</i>	<i>Omschrijving</i>
<i>Groep II buisleidingen</i>	Buisleidingen waarbij het transportmedium uitsluitend gevaarlijk is door het effect bij uittrede.
<i>Horizontal Directional Drilling</i>	Horizontaal gestuurde boring.
<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 dijksfaalmechanisme.
<i>Importantiefactor</i>	Reductiefactor bij de bepaling van de toelaatbare spanningen en vervormingen, gebaseerd op het belang van het waterstaatswerk.
<i>Indirect mechanisme</i>	Dijksfaalmechanisme dat indirect tot overstroming leidt.
<i>Invloedszone</i>	Zone waarbinnen de invloed van een dijksfaalmechanisme 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 dijksfaalmechanisme 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>Leidingfalen</i>	Het falen of bezwijken van een leiding (lek raken).
<i>Lengte-effect</i>	Het effect dat de kans op falen van een waterkering of een object groter is naarmate deze langer zijn.
<i>Leidingkruising</i>	Kruising van een leiding met een waterstaatswerk, inclusief de veiligheidszones.
<i>Macro-instabiliteit</i>	Afschuiving van een grondlichaam.
<i>Partiële factoren</i>	Factoren die betrekking hebben op de spreiding van belasting- en sterkteparameters.
<i>Piping</i>	Terugschrijdende erosie in een tunneltje (pipe) onder een dijkslichaam.

<i>Begrip</i>	<i>Omschrijving</i>
<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 krachterspel 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>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>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.
<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>Waterstaatwerk</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 van een dijktraject.

## Referenties

- [Bevb, 2010], Besluit externe veiligheid buisleidingen  
Ministerie van VROM  
2010
- [Deltares, 2010], Berekeningsmethode ontgronding 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], Lekkageproeven 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
- [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
- [IPO, 1999], IPO-Richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden  
Interprovinciaal Overleg  
30 november 1999
- [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 en 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  
Rapport Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen  
3 december 2020



- [POV K&L, 2020-g], Veiligheidsraamwerk POV K&L  
Toepassing in de praktijk  
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, 2020], Handleiding Risicoberekeningen Bevb  
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)  
Versie 3.1  
1 april 2020
- [STOWA, 2020], Programmaplan ORK IV: Slim investeren en uitlegbaar veilig  
STOWA, IPO en Unie van Waterschappen  
Maart 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] Ontgroning 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

### **Betrokkenen**

Han Knoeff | Hoogwaterbeschermingsprogramma  
Bianca Hardeman | Hoogwaterbeschermingsprogramma  
Jan Spiekhout | B&B Advisor  
Lambert Vendrik | Waterschap Scheldestromen  
Ronald Koets | Waterschap Scheldestromen  
Timo Schweckendiek | Deltares  
Robert Slomp | Rijkswaterstaat

### **Uitgave**

POV Kabels & Leidingen