

WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen

**Generieke uitgangspunten als vertrekpunt voor
nadere uitwerking in (pilot) projecten**



WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen

Generieke uitgangspunten als vertrekpunt voor nadere uitwerking in (pilot) projecten

dr.ir. T. Schweckendiek

11202225-005

Titel

WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	11202225-005	11202225-005-GEO-0001- jjjm	14

Trefwoorden

kabels en leidingen; dijken; beoordeling; faalkansanalyse



Samenvatting

Kabels en leidingen in de nabijheid van waterkeringen dienen in de beoordeling van de veiligheid te worden betrokken als ze een nadelig effect kunnen hebben. De wijze waarop leidingen kunnen worden beoordeeld is in het WBI 2017 slechts summier uitgewerkt. De huidige regels in eenvoudige en gedetailleerde toets zijn bijna uitsluitend overgenomen van de NEN3650-serie en vooral gericht op de sterkte van de leiding, en daarmee op de kans van leidingfalen. Verder wordt er in de Toets op Maat verwezen naar een integrale faalkansanalyse als additionele mogelijkheid om de veiligheid aan te tonen.

Dit rapport schetst een veiligheidsraamwerk dat kan worden gebruikt om op alle toetsniveaus (eenvoudig, gedetailleerd, op maat) een invulling aan concrete beoordelingen te geven en om toekomstige onderbouwing van eenvoudige rekenregels en filters te faciliteren.

Referenties

- Deltares (2016). Analyse faalkans dijk met naburige waterleiding, Deltares rapport 1210950-000. Auteurs: Nugroho, D., & Greeuw, G.*
- Deltares (2017). Factsheet indirecte mechanismen. Deltares notitie 11200574-007-GEO-0001. 18 september 2017, auteur: Han Knoeff.*
- IenM (2017). Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 – Bijlage III Sterkte en Veiligheid. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.*
- KPR (2016). Factsheet post "overig" in de faalkansbegroting en indirecte mechanismen. Kennisplatform Risicobenadering, 9 november 2016.*
- NEN. (2012a). NEN 3650-1, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1: Algemene eisen.*
- NEN. (2012b). NEN 3650-2, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 2: Aanv. eisen voor leidingen van staal.*
- NEN. (2012c). NEN 3650-3, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3: Aanvullende eisen voor leidingen van kunststof.*
- NEN. (2012d). NEN 3650-4, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 4: Aanv. eisen voor leidingen van beton.*
- NEN. (2012e). NEN 3650-5, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 5: Aanvullende eisen voor leidingen van gietijzer.*
- NEN. (2012f). NEN 3651, Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken.*
- POV-K&L (2017). Project Overstijgende Verkenning Kabels en Leidingen – Plan van Aanpak. Nisa Nurmohamed et al., 22 augustus 2017.*
- TNO & Deltares (2017). Methodiek "Falen waterkering als gevolg van falen pijpleiding", fase 1. TNO 2016 R11806A, 23 juni 2017.*

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
01	mei 2018	dr.ir. T. Schweckendiek		drs. ir. J.G. Knoeff		dr.ir. M.S. Sule	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding en context	1
1.2 Probleemstelling en doel	1
1.3 Aanpak en leeswijzer	1
2 Kabels en leidingen WBI	2
2.1 Invloed NWO op directe faalmechanismen	2
2.2 Toetsen kabels en leidingen in WBI	2
2.3 Faalkanseis	3
3 Veiligheidsraamwerk	4
3.1 Faalpad (gebeurtenissenboom)	4
3.2 Beoordelingsniveaus	7
3.3 Toets op maat	7
3.3.1 Integrale faalkansanalyse	7
3.3.2 Schatten van kansen	8
3.4 Gedetailleerde toets	9
3.5 Eenvoudige toets (filters)	9
3.6 Verwaarloosbare faalkans leiding (optredingscriterium)	10
3.7 Omgaan met het lengte-effect bij leidingen	10
3.7.1 Kruisende leidingen	11
3.7.2 Parallelle leidingen	11
3.7.3 Meerdere leidingen	11
4 Vervolg en aanbevelingen	12
4.1 Pilot cases in de POV-K&L	12
4.2 Faalkans leiding	12
4.2.1 Benutten casuïstiek en empirische data	12
4.2.2 Invloed hoogwater op kans falen leiding	12
4.2.3 Betrouwbaarheidseisen vanuit transportfunctie of externe veiligheid	12
4.3 Onderbouwing bouwstenen	13
4.3.1 Stabiliteitszone	13
4.3.2 Filters	13
4.3.3 Semi-probabilistische voorschriften	13
4.3.4 Faalkanseis leiding	13
4.4 Factsheet gebruik NEN3650 serie	13
4.5 Opstellen Technische Richtlijn	13
4.6 Andere indirecte faalmechanismen en NWO's	14
4.7 Disseminatie	14
4.8 Tot besluit	14

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en context

Het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI) is de verzameling van alle instrumenten voor het beoordelen van primaire waterkeringen in Nederland aan de waterveiligheidsnormen zoals vastgesteld in de wijziging van de Waterwet in 2017. Deze normen zijn vastgesteld als toelaatbare overstromingskansen (per traject en jaar) en het WBI geeft kaders richtlijnen en instrumenten (o.a. technische rapportages, voorschriften, en software) om vast te stellen of al dan niet aan de gestelde norm wordt voldaan.

Kabels en leidingen kunnen een negatieve (verzwakkende) invloed hebben op waterkeringen. Zo kunnen bijvoorbeeld lekkende of barstende leidingen een dijk verzadigen of de geometrie zodanig aantasten dat de stabiliteit van de kering in het geding komt. Dergelijke invloeden van leidingen zijn dan ook bij de veiligheidsbeoordeling van waterkeringen te betrekken, ze verhogen immers de faalkans van de kering (of de overstromingskans).

Ook bij dijkversterkingsprojecten spelen leidingen een rol, bv. met de vraag of een bestaande leiding verlegd moet worden, of dat de veiligheid moet worden geborgd door voorzieningen zoals een vervangende waterkering. Met locatie specifieke analyses kan hierbij soms alsnog aangetoond worden dat de situatie veilig is, en kunnen verregaande voorzieningen en de daarmee gemoeide kosten worden voorkomen. Dergelijke mogelijkheden worden ook in de recent opgestarte POV Kabels en Leidingen (POV-KL, 2017) onderzocht. Het is van belang dat de gerelateerde te ontwikkelen ontwerpinstrumenten naadloos aansluiten bij het veiligheidsraamwerk van het WBI zodat voor versterkte waterkeringen in de toekomst aan kan worden getoond dat ze aan de veiligheidseisen in de Waterwet voldoen, ook inclusief de invloed van leidingen.

1.2 Probleemstelling en doel

Er zijn verschillende manieren denkbaar om de faalkans van een waterkering met invloed van leidingen te bepalen, of om aan te tonen dat de situatie al dan niet aan de vigerende eisen voldoet. Doel van dit rapport is om invulling te geven aan de veiligheidsbeoordeling vanuit WBI perspectief (dus uitsluitend vanuit waterveiligheid) om zo goed mogelijk aan te sluiten bij (a) de uitwerking voor andere indirecte faalmechanismen en/of verzwarende omstandigheden (bv. voorlanden), en (b) de gelaagde aanpak binnen het WBI van grof naar fijn (eenvoudig, gedetailleerd, op maat).

De uitwerking kan tegelijk als vertrekpunt dienen voor het nader uit te werken 'Handelingsperspectief Veiligheidsrisico' binnen de POV-KL en de in dit kader uit te werken pilot projecten.

1.3 Aanpak en leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de belangrijkste uitgangspunten en kaders vanuit het WBI betreffende kabels en leidingen. In hoofdstuk 3 wordt een generiek veiligheidsraamwerk beschreven waarmee aan kan worden getoond dat een situatie (waterkering met invloed leiding) aan de overstromingskansseisen vanuit de Waterwet voldoet. Startpunt is een integrale faalkansanalyse, op basis waarvan tevens vereenvoudigingen in termen van semi-probabilistische toetsen of eenvoudige filters onderbouwd kunnen worden. Ook voor de vereenvoudigingen en het opstellen van filters worden suggesties gegeven. Tenslotte geeft hoofdstuk 4 aanbevelingen voor de toepassing en nadere uitwerking in het vervolg.

2 Kabels en leidingen WBI

2.1 Invloed NWO op directe faalmechanismen

Het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI) definieert een aantal directe faalmechanismen. Leidingen hebben vooral invloed op:

- Macroinstabiliteit binnenwaarts.
- Piping.
- Overslag en erosie.

Deze invloed komt bijvoorbeeld tot uiting door verhoogde waterspanningen in een dijk door een lekkende leiding (sluipend lek) of door aantasting van de stabiliteit als gevolg van een erosiekrater (gapend lek). Niet alleen falende leidingen zijn van invloed op de veiligheid van een waterkering, ook kan het noodzakelijk zijn om met de aanwezigheid van intacte leidingen in de schematisering rekening te houden (bv. interne erosie langs leidingen). De invloed van leidingen op de faalkans van een waterkering is sterk situatieafhankelijk.

2.2 Toetsen kabels en leidingen in WBI

In het WBI (IenM, 2017) worden kabels en leidingen behandeld als NWO ('object op of nabij een waterkering' welke 'kan leiden tot schade aan de waterkering'), waarbij schade moet worden opgevat als nadelige invloed op het waterkerend vermogen. Dit is in lijn met de behandeling van andere NWO's en indirecte faalmechanismen zoals ook beschreven in de factsheets Deltares (2017) en KPR (2016).

Op hoofdlijnen voorziet het WBI voor kabels en leidingen de volgende drie toetsniveaus, in lijn met de beoordeling van andere faalmechanismen:

- Eenvoudige toets (o.b.v. leidingkenmerken; bv. materiaal, inwendige druk, diameter).
- Gedetailleerde toets (rekenmodellen volgens bijlage E van NEN 3651).
- Toets op maat (faalkans/risicoanalyse, in-situ metingen; tevens NEN 3651 Bijlage E).

In tegenstelling tot directe faalmechanismen zijn de eenvoudige toets en de gedetailleerde toets voor kabels en leidingen gericht op het aantonen van een verwaarloosbare kansbijdrage van het falen van de leiding (optredingscriterium) of op een verwaarloosbaar effect (schadecriterium; bv. stabiliteits- versus invloedszone); voor directe faalmechanismen zijn de toetsen gericht zijn op de toelaatbare kans van het mechanisme zelf.

Uiteindelijk biedt het WBI altijd de mogelijkheid om te onderbouwen dat de waterkering aan de faalkanseis vanuit de Waterwet voldoet, rekening houdend met de invloed van kabels en leidingen. Dat kan zowel middels een uitgebreide faalkans/risicoanalyse in de toets op maat, maar ook met eenvoudigere en minder bewerkelijke semi-probabilistische analyses of eenvoudige criteria ('filters'), mits onderbouwd of voldoende aannemelijk gemaakt kan worden dat daarmee aan de faalkanseis wordt voldaan. Dat betekent dat een toets buiten de in IenM (2017) beschreven methodes niet noodzakelijkerwijs een integrale faalkansanalyse hoeft te zijn.

2.3 Faalkanseis

De toelaatbare overstromingskans per jaar vanuit de Waterwet heeft betrekking op een waterkering traject en alle relevante faalmechanismen (faaloorzaken). Een concrete faalkanseis kan per doorsnede en faalmechanisme worden afgeleid door:

$$P_{eis,dsn} = \frac{\omega P_{eis}}{N_{dsn}}$$

Waarin:

$P_{eis,dsn}$	Faalkanseis per faalmechanisme per doorsnede of kunstwerk (per jaar).
P_{eis}	Norm van het dijktraject (overstromingskans per jaar).
ω	Faalkansruimtefactor.
N_{dsn}	Lengte-effect factor.

De berekende of geschatte faalkans $P_{f,dsn}$ moet dus kleiner zijn dan de eis: $P_{f,dsn} < P_{eis,dsn}$.

Let wel: Het toetsen aan of ontwerpen voor een dergelijke doorsnede-eis kan een praktische invulling zijn van het aantonen van de aanvaardbare overstromingskans. Laatste is echter de enige die wettelijk vastgelegd is. Er kan ook direct op niveau van de overstromingskans worden gewerkt door alle faalkansen per faalmechanisme en dijkvak of kunstwerk te combineren.

In sommige situaties kan de invloed van een leiding op de dijkveiligheid in de schematisering van het directe faalmechanisme worden meegenomen. Als het echter gaat om een falende leiding (bv. sluipend of gapend lek) betreft het een scenario met een bepaalde kans van optreden (meestal de faalkans van de leiding) en een bepaald (soms onzeker) effect op de kans van optreden van een faalmechanisme van de waterkering ('verzwarende omstandigheid'). De generieke manier om hiermee om te gaan in de WBI systematiek is het gewogen optellen van alle conditionele faalkansen per scenario (zie ook Deltares, 2017):

$$P_{f,dsn} = \sum_i P_{f,i} \cdot P(S_i)$$

Waarin:

$P_{f,dsn}$	Faalkans per doorsnede of kunstwerk (per jaar).
$P_{f,i}$	Conditionele faalkans bij scenario i .
$P(S_i)$	Kans op voorkomen van scenario i .

Gezien de invloed van een falende leiding sterk kan verschillen per situatie maar ook per faalmechanisme in dezelfde situatie, is het niet mogelijk om een generiek toepasbare faalkanseis aan de leiding zelf te stellen (zie ook hfdst. 3 in TNO & Deltares, 2017). In het WBI wordt gesteld dat bij een faalkans van de leiding van 1% van de faalkanseis de extra bijdrage aan de overstromingskans van mogelijk leidingfalen verwaarloosbaar klein zal zijn (zie discussie in sectie 4.3.4).

3 Veiligheidsraamwerk

In een gezamenlijke studie van TNO & Deltares (2017) heeft een inventarisatie plaats gevonden van de vigerende regelgeving voor (pijp)leidingen in de nabijheid van waterkeringen. In deze studie is ook een grof beeld geschetst hoe de veiligheid waterkeringen met invloed van pijpleidingen kan worden aangetoond op verschillende niveaus. Hieronder wordt deze aanpak verder geconcretiseerd voor toepassing in WBI kader, gebruik makend van de in hst. 2 beschreven mogelijkheid om direct of indirect aan te tonen of aannemelijk te maken dat aan de overstromingskansen van de Waterwet wordt voldaan.

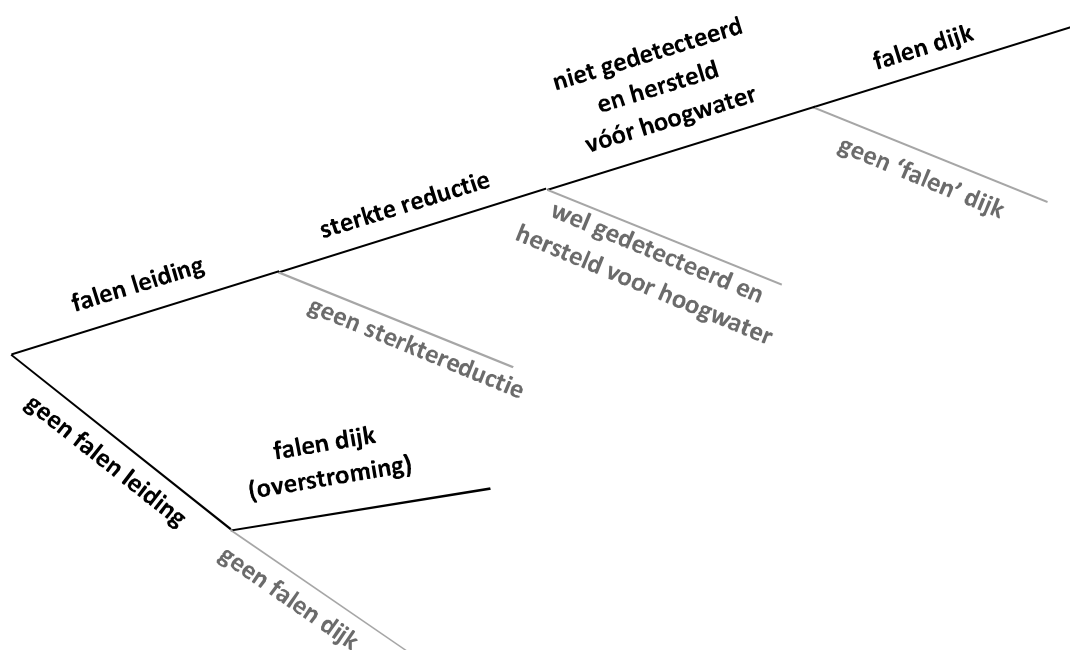
Ook al is er een grote verscheidenheid aan leidingen, faaloorzaken en faalverschijningen zoals bijvoorbeeld:

- Lekkage van vloeistofleidingen (sluipend lek), soms leidend tot verhoging van waterspanningen.
- Barsten van vloeistofleidingen (gapend lek) met erosie als gevolg.
- Explosie van gasleidingen.
- Erosie langs het vulmateriaal (door verkeerd materiaal of geen verdichting) etc.

Deze dienen de als basis voor het opstellen van de generieke gebeurtenissenboom en verdere uitwerking in dit hoofdstuk. De verwachting is dat ondanks de grote verscheidenheid het merendeel van de situaties in dezelfde aanpak vatbaar zal zijn.

3.1 Faalpad (gebeurtenissenboom)

De generieke gebeurtenissenboom (soms ook 'faalpaden') genoemd in Figuur 3.1 dient als basis voor alle verdere beschouwingen en vormt hiermee de basis van het voorgestelde veiligheidsraamwerk. De aparte takken zijn beschreven in



Figuur 3.1 Generieke gebeurtenissenboom voor het beoordelen van een waterkering met invloed van een falende leiding en beschouwing van de gelijktijdigheid van leiding falen en hoogwater

Tak	Beschrijving	Kans
Falen leiding	'Falen leiding' betreft de kans op leiding falen (bv. sluipend lek of barsten/explosie).	P_{lf}
Geen falen leiding	Bij 'geen falen leiding' is alleen met de aanwezigheid van een intacte leiding in de schematisering rekening te houden (cq. standaard beoordeling zonder invloed van leidingfalen)	$1 - P_{lf}$
Sterkte reductie	'Sterkte reductie' betreft de schematisering van de (negatieve invloed) van de gefaalde leiding op de dijk. In gedetailleerde analyses kan dit gevat worden in continue kansverdelingen (bv. verhoging waterspanning door sluipend lek), discrete scenario's met een kans. Deze knoop kan ook als eenvoudige filter worden gebruikt (bv. geen overlap invloeds-zone en stabiliteitszone, zoals bekend in de huidige systematiek).	<i>(verwerkt in schematisering faalmechanisme, bv. als scenario)</i>
Niet gedetecteerd en hersteld voor hoogwater	De sterktereductie in de vorige tak betekent feitelijk dat de dijk beschadigd is in de zin dat het waterkerend vermogen is aangetast. Deze schade leidt niet noodzakelijkerwijs tot overstroming. Deze tak betreft de kans dat een relevante (hoge) waterstand tijdens de herstelperiode optreedt.	$P_{hw lf}$
Falen dijk	'Falen dijk' is vervolgens een conventionele analyse van een faalmechanisme, inclusief de geschematiseerde sterkte reductie, al dan niet in vorm van een scenario. Een voorbeeld is de schematisering van een dijk voor macrostabiliteit inclusief erosiekrater van een gebarsten leiding. <i>Gezien het hier om falen binnen de detectie en herstelperiode gaat betreft het in gevallen waar deze periode duidelijk korter is dan 1 jaar niet de klassieke definitie van hoogwater waarbij de jaarmaxima van de hydraulische randvoorwaarden worden toegepast. Idealiter worden hier dus de hydraulische randvoorwaarden voor de detectie en herstelperiode toegepast. Omdat deze echter moeilijk te bepalen zijn kunnen de statistieken van de jaarmaxima als conservatieve benadering worden gebruikt.</i>	$P_{f hw,lf}$

Tabel 3.1 Definities generieke gebeurtenissenboom (Figuur 3.1)

In formulevorm kan de gebeurtenissenboom als combinatie van de in gedefinieerde overgangskansen worden weergegeven:

$$P_f = P_{f|hw,lf} \cdot P_{hw|lf} \cdot P_{lf} + P_{f|\bar{lf}} \cdot (1 - P_{lf})$$

Waarin $P_{f|\bar{lf}}$ de conditionele faalkans van de dijk is zonder invloed van leidingfalen.

Dit raamwerk werkt de algemene werkwijze in het WBI zoals beschreven in hst. 2 uit door leidingfalen expliciet als scenario te beschouwen, naast het scenario van de intacte leiding. De kansen op leidingfalen en hoogwater tijdens de herstelperiode geven dan invulling aan de totale scenariokans. De sterktereductie maakt onderdeel uit van de schematisering en soms ook van de scenariokans.

De middels deze generieke foutenboom (blauwdruk) uitgewerkte aanpak heeft betrekking op één direct faalmechanisme (bv. macrostabiliteit binnenwaarts). Afhankelijk van het faalscenario kan het nodig zijn om meerdere directe faalmechanismen te beschouwen als het leidingfalen hier invloed op heeft.

Voor de praktische invulling en handhaving van de gebeurtenissenboom zijn de volgende kanttekeningen te plaatsen:

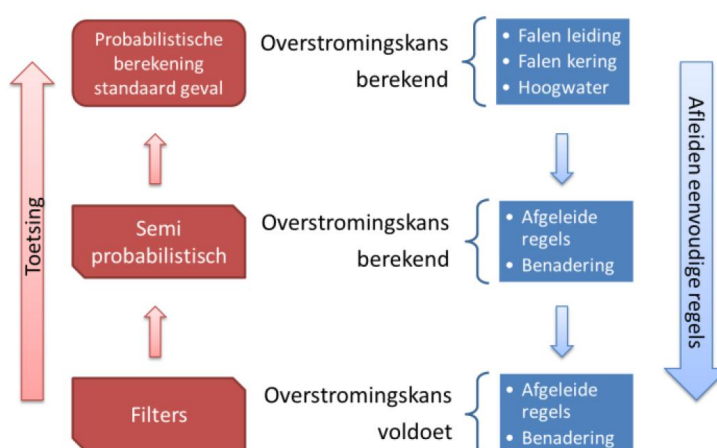
1. De kans op falen van de leiding kan ingevuld worden volgens de bekende methodes uit de NEN 3650 serie, of door gebruik te maken van eventueel beschikbare empirische gegevens. Soms kan het in een beoordelingscontext ook voldoende zijn om een hoge schatting van de faalkans van de leiding te hanteren als hiermee kan worden aangetoond dat de leiding geen significante invloed heeft op de overstromingskans (werkwijze 'van grof naar fijn').
2. Soms zijn meerdere faalscenario's voor een leiding denkbaar (bv. sluipend en gapend lek), met verschillende kans van optreden en gevolgen. In dat geval kunnen meerdere takken startend met 'falen leiding' in de gebeurtenissenboom aanwezig zijn. De uitwerking is verder analoog voor alle takken.
3. De opbouw van de gebeurtenissenboom veronderstelt in principe dat falen van de leiding onafhankelijk van hoogwater optreedt. In de praktijk betekent dit dat een toepassingsvoorwaarde is dat de waterkering tijdens hoogwater niet zodanig vervormt dat de leiding bezwijkt. Mocht er toch een afhankelijkheid bestaan kan deze in de kans op leidingfalen en de gelijktijdigheid met hoogwater ('hoogwater tijdens herstel periode') in rekening worden gebracht.
4. Bij hoogwater moet voor sommige faalscenario's niet aan hoogwaters in de klassieke zin worden gedacht waarbij de statistieken van de jaarextremen van toepassing zijn, maar aan hoogwaters binnen de detectie en herstelperiode, die mogelijk veel korter is. Idealiter wordt dan ook de statistiek van de belastingextremen voor een kortere periode toegepast. Als de beschikbare tools deze mogelijkheid niet bieden is het wel hanteren van belastingstatistieken op jaarbasis een conservatief uitgangspunt (werkwijze 'van grof naar fijn').
5. Schade aan de waterkering door een falende leiding kan al dan niet worden gedetecteerd. De informatie over mogelijke detectie kan in de kans op 'hoogwater tijdens herstel periode' worden verwerkt. Zo kan voor explosies en gapende lekken van detectie worden uitgegaan, terwijl voor sluipende lekken doorgaans zal gelden dat deze onopgemerkt blijven en de kans op samenvallen met hoogwater praktisch gelijk aan één zal zijn.
6. Detectie door middel van monitoring kan in combinatie met beheersmaatregelen (bv. afsluiten vloeistofleiding) worden ingezet om anderszins onvoldoende veilige situaties te beheersen. Indien handig kunnen hiervoor de takken in de generieke foutenboom nog verder worden opgesplitst (bv. 'detectie lek', 'beheersmaatregel succesvol' etc.).
7. Reststerkte zoals weergegeven met de laatste tak 'overstroming' wordt hier niet nader uitgewerkt, kan echter in een toets op maat worden meegenomen indien nodig of doelmatig.

Dit generieke raamwerk dient als kader voor de veiligheidsbeoordeling. De gebeurtenissenboom kan in een integrale faalkaansanalyse in een toets op maat als blauwdruk worden gebruikt en direct worden ingevuld; op andere toetsniveau's dient het raamwerk ter structurering van de toetsstappen ('van grof naar fijn') en ter onderbouwing van de veiligheidseisen, zoals beschreven in de volgende secties.

3.2 Beoordelingsniveaus

De beoordeling in het WBI kent verschillende niveaus, te weten de eenvoudige toets, de gedetailleerde toets en de toets op maat ('van grof naar fijn'; zie sectie 2.2). Deze niveaus kunnen ook op kabels en leidingen worden toegepast. Naast de bestaande uitwerking in bijlage 3 van de ministeriele regeling (IenM, 2017) die vooral op de sterkte van de leiding is gericht kan bovenstaand uitgewerkt raamwerk tot andere vereenvoudigde toetscriteria of rekenregels leiden.

Een algemeen uitgangspunt is dat toetscriteria op een lager beoordelingsniveau zodanig onderbouwd of gekozen moeten zijn dat bij voldoen aan de criteria aannemelijk is dat aan de toetscriteria van een hoger niveau (ruim) wordt voldaan. Idealiter liggen aan deze criteria kansbeschouwingen ten grondslag, ook al zal dat niet altijd mogelijk zijn. Zoals in TNO & Deltares (2017) beschreven en in Figuur 3.2 weergegeven werkt de onderbouwing van semi-probabilistische regels en filters van fijn naar grof, in tegenstelling tot de toepassing ervan.



Figuur 3.2 Samenhang toetsniveaus in toetsing (grof naar fijn) en afleiding (fijn naar grof). TNO & Deltares (2017)

De volgende secties bevatten suggesties en aandachtspunten voor de nadere invulling per niveau beschreven.

3.3 Toets op maat

3.3.1 Integrale faalkansanalyse

Een toets op maat kan worden ingevuld met een integrale faalkansanalyse van falen van de leiding, invloed van het falen op de waterkering tot aan bezwijken en/of overstroming toe. De gebeurtenissenboom in Figuur 3.1 en de bijbehorende beschrijving in sectie 3.1 geven hier blauwdruk voor, die in de gepresenteerde of in licht aangepaste vorm direct kan worden toegepast. Hiermee wordt ook invulling gegeven aan het berekenen van de 'additionele dysfunctiekans' die in bijlage E van NEN 3651 in het kader van een geavanceerde toetsing wordt genoemd.

Een voorbeeld van een dergelijke integrale faalkansanalyse wordt beschreven in Deltares (2016). Die grove stappen van de analyse zijn hieronder weergegeven omdat de rapportage nog niet openbaar is (zie ook TNO & Deltares, 2017):

1. De faalkanseis in een doorsnede voor binnenwaartse macroinstabiliteit, piping en overslag is bepaald op basis van het nieuwe ontwerpinstrumentarium (Rijkswaterstaat, 2015a), met bijbehorende nieuwe normwaarden.

2. De kans op een gapend lek per strekkende meter is indicatief bepaald op basis van kengetallen voor lagedruk waterleidingen.
3. De kansverdeling voor de ontgrondingsstraal door een gapend lek in een waterleiding is bepaald door Monte-Carlo variatie van de parameters in de formules volgens NEN3651, Bijlage A.
4. De kansverdeling voor de buitenwaterstand is bepaald met hulp van lokale statistiek en aanvullende informatie.
5. De kans op falen van de waterkering bij falen van de leiding is bepaald door integratie van de conditionele faalkans als functie van buitenwaterstand en ontgrondingsstraal over de (gezamenlijke) kansverdeling van buitenwaterstand en ontgrondingsstraal.
6. De conditionele kans op macroinstabiliteit als functie van buitenwaterstand en ontgrondingsstraal is bepaald door probabilistische glijvlakanalyses met onzekere sterkte-eigenschappen en onzekere modelfactor.
7. De conditionele kans op piping als functie van buitenwaterstand en ontgrondingsstraal is bepaald door probabilistische analyses op basis van de toetsregel in het nieuwe ontwerpinstrumentarium (Rijkswaterstaat, 2015a).
8. De conditionele kans op overslag als functie van buitenwaterstand en ontgrondingsstraal is bepaald door probabilistische analyses met hulp van het daarvoor binnen het ontwerpinstrumentarium voorgeschreven overslagmodel.

In de case studie is geen rekening gehouden met de kans dat een hoogwaterperiode samenvalt met de herstelperiode na ontgroning door leiding falen. Impliciet is daarmee een herstelperiode aangenomen van minstens een jaar. In een gerelateerde publicatie die zich nu in de reviewfase bevindt wordt het effect van een kortere hersteltijd wel meegenomen.

3.3.2 Schatten van kansen

Het schatten van de aparte (conditionele) kansen in een integrale faalkansanalyse kan op verschillende manieren worden vormgegeven:

1. Kwantitatieve analyses (bv. faalkansberekeningen met grenstoestand modellen).
2. Expert elicitation (het schatten van kansen d.m.v. gestructureerde expert bevraging; dit wordt regelmatig door het USACE in de VS gebruikt voor risicoanalyses van waterkeringen en is door de Prof. Cooke van de TU Delft voor veel en zeer uiteenlopende gevallen toegepast).

In een beoordelings- of toets situatie is het niet altijd nodig om kansen zo accuraat mogelijk te schatten. Het gaat tenslotte om de beoordeling of de onderzochte situatie al dan niet voldoende veiligheid is gezien de eisen resulterend uit de Waterwet. Er kunnen dus ook in een toets op maat op onderdelen grove conservatieve inschattingen worden gemaakt waar nauwkeurige schattingen moeilijk verkrijgbaar en voor het aantonen van de veiligheid niet nodig zijn, bijvoorbeeld door:

1. Uitgaan van (aannemelijke) bovengrenzen.
2. Werken met voorzichtige (conservatieve) kansinschattingen.

Het heeft bijvoorbeeld puur voor het verkrijgen van het toetsoordeel weinig zin om veel te investeren in het goed schatten van de kans op een hoogwater tijdens de herstelperiode als de situatie al voldoet ook al is die kans gelijk aan een. Voor een mogelijke prioritering van maatregelen of in een risicoanalyse context is het soms juist wel wenselijk om een zo goed mogelijke schatting van de faalkans te verkrijgen.

3.4 Gedetailleerde toets

Zoals in sectie 2.2 beschreven is het toetsen van waterkeringen met kabels en leidingen gebaseerd op de relevante directe faalmechanismen, met de invloed van potentieel falende kabels en leidingen als verzwarende omstandigheid in de schematisering.

Van grof naar fijn

In eerste instantie kan hierbij worden nagegaan (i) of de kans op falen al dan niet verwaarloosbaar is (zie sectie 3.6), of dat het effect van leidingfalen al dan niet verwaarloosbaar is (schadecriterium). Laatst kan bijvoorbeeld worden onderbouwd door het effect van leidingfalen in de schematisering van het directe faalmechanisme te verwerken (bv. erosiekrater als gevolg van gapend lek) en na te gaan of de invloed op de veiligheid of faalkans al dan niet significant is. Het voordeel van deze werkwijze is dat als de kans van leidingfalen verwaarloosbaar klein is het niet meer nodig is om de schematisering van het directe faalmechanisme aan te passen, en andersom, het niet nodig is om de faalkans van de leiding te bepalen als het effect als verwaarloosbaar kan worden beschouwd.

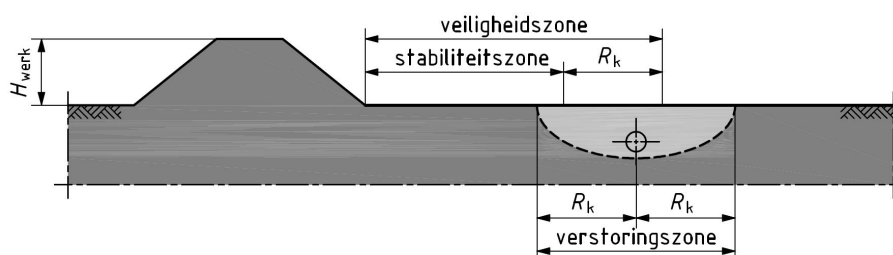
Scenario's

Indien dat na beschouwing van optredingscriterium en schadecriterium nog nodig kan leidingfalen als scenario met kans van optreden in de beoordeling van het directe faalmechanisme worden meegenomen. Voor het bepalen van de kans van optreden kunnen de in 3.1 beschreven concepten en handvatten worden gebruikt, inclusief de kans op detectie en de kans op hoogwater na schade. In de WBI systematiek komt men in een beoordeling uit op dergelijke scenario analyses in een toets op maat voor NWO's.

3.5 Eenvoudige toets (filters)

De eenvoudige toets heeft als doel om nadere analyse te voorkomen als met eenvoudige middelen de situatie evident veilig is. De huidige bepalingen in het WBI (IenM, 2017) en de NEN 3651 gaan hierbij vooral in op de leidingsterkte en daarmee op de kans op falen van de leiding. Dat is in feite een invulling van het in de vorige sectie beschreven optredingscriterium. Als de kans op leidingfalen verwaarloosbaar klein is hoeft geen integrale analyse van leidingfalen en invloed op optreden van een direct faalmechanisme te gebeuren (zie ook 3.6).

Andere filters kunnen ook worden gezocht in het effect van falen van de leiding op de waterkering (schadecriterium). Deels wordt dit al ingevuld door het concept van de veiligheidszone, ofwel dat de stabiliteitszone van een waterkering al dan niet overlapt met de verstoringszone van de leiding (zie Figuur 3.3). Terwijl de verstoringszone met de NEN 3651 goed te bepalen is, zou het overigens aan te bevelen zijn om de bepaling van de stabiliteitszone eenduidig te beschrijven. De tegenwoordig in de praktijk gehanteerde aanpak is de stabiliteitszone te bepalen met het uitredepunt van de kritieke glijcirkel. Deze aanpak gaat eraan voorbij dat de ligging van het kritieke glijcirkel kan veranderen met bijvoorbeeld de aanwezigheid van een erosiekrater, maar ook aan het driedimensionale karakter van taludafschuivingen waardoor kleine erosiekraters waarschijnlijk verwaarloosbaar zijn.



Figuur 3.3 Parallelle leiding ligt binnen de veiligheidszone (NEN 3651)

Naast de stabiliteitszone zijn er mogelijk andere eenvoudige kenmerken of criteria te ontwikkelen om situaties te filteren waarbij falen van de leiding evident verwaarloosbaar is voor de overstromingskans.

Zoals in TNO & Deltares (2017) aangegeven behoeven ook de bestaande filters beschreven in de eenvoudige toets schema's van de NEN 3651 nadere onderbouwing voor toepassing met WBI 2017. Het is nu niet duidelijk of voor alle filters voldoende aannemelijk is dat bij voldoen aan het criterium de bijdrage aan de overstromingskans verwaarloosbaar is.

3.6 Verwaarloosbare faalkans leiding (optredingscriterium)

In de praktische uitwerking van alle toetssporen (behalve de integrale faalkansanalyse) is het voor het gebruik van het optredings-criterium noodzakelijk om te weten wanneer de faalkans van een leiding als verwaarloosbaar mag worden geacht. Ook voor de onderbouwing van kwalitatieve of semi-kwantitatieve filters moet een dergelijk getal worden gehanteerd.

Voor Nederlandse waterkeringen zijn voor dergelijke doeleinden vaker redeneringen gebruikt waarbij ervan wordt uitgegaan dat als een kans een factor 10 of 100 kleiner is dan een gerelateerde eis, de bijdrage van de faalgebeurtenis als verwaarloosbaar of acceptabel mag worden beschouwd. Er zijn voor kabels en leidingen in essentie de volgende opties:

1. 1-10 % van de faalkanseis per direct mechanisme: Als de faalkans van een leiding kleiner is dan 10% van de faalkanseis per doorsnede per direct mechanisme is het praktisch onmogelijk dat de bijdrage aan de faalkans door het beschouwde faalscenario doorslaggevend wordt in het niet voldoen aan de eis, ook al voldoet de situatie zonder leidingfalen maar nipt. *NB: Als er meerdere scenario's voor het leidingfalen zelf denkbaar zijn zou de 10% verdeeld moeten worden over de scenario's om de dezelfde maat van veiligheid te hanteren.*
2. 1 % van de norm-overstromingskans: In discussie omtrent andere NWO's en indirecte faalmechanismen is deze eis geopperd. Ook deze eis is dus gerelateerd aan de norm. Falen van een leiding wordt dat in feite als direct faalmechanisme beschouwd met een faalkansbudget van 1 %. Er moet dan nog wel met het 'aantal equivalente, onafhankelijke leidingen' rekening worden gehouden, analoog aan het lengte-effect bij andere faalmechanismen.

Het voordeel van optie 1 is dat de gerelateerde eis conservatief is in de zin dat de faalkansbijdrage altijd verwaarloosbaar is op lokaal mechanisme niveau. Optie 2 is minder conservatief en heeft mogelijk voordelen qua work-flow in de uitwerking. Er wordt aanbevolen om op basis van case studies (bv. POV-KL) en met groeiende ervaring een keuze uit bovenstaande opties te maken en deze vast te leggen om zo een eenduidige werkwijze te bieden en toekomstige beoordelingen te vereenvoudigen.

Ook bij een situatie-specifieke integrale aanpak kan eerst de analyse (bv. gedetailleerd) met scenario's grof worden uitgewerkt door hoge/conservatieve schattingen van de conditionele faalkansen of overgangskansen in de gebeurtenissenboom te hanteren (desnoods kans gelijk aan 1 bij initieel gebrek aan beter). Vervolgens kan via de gebeurtenissenboom terug worden gerekend welke faalkans voor de leiding kritiek wordt voor het voldoen aan de norm.

3.7 Omgaan met het lengte-effect bij leidingen

Voor directe faalmechanismen van dijken wordt met het lengte-effect rekening gehouden in het afleiden van de faalkanseis per doorsnede. Ook leidingen kennen als lijninfrastructuur zelf een lengte-effect waarmee rekening te houden is. Hieronder wordt per typische situatie

uiteengezet hoe het lengte-effect van de leiding in rekening kan worden gebracht indien nodig.

3.7.1 Kruisende leidingen

Relevante kruisende leidingen liggen doorgaans in de kritieke (maatgevende) doorsnede. Er hoeft dan ook geen additioneel lengte-effect in rekening te worden gebracht. In feite zijn bij aanwezigheid van doorsnedes met kruisende leidingen de standaard lengte-effect factoren als iets te streng omdat ze van (statistisch) homogene dijkvakken in lengterichting uitgaan.

Voor kruisende leidingen is het wel van belang om rekening te houden met de lengte van de leiding die (bij falen) invloed heeft op de waterkering. Vaak worden faalkansen van leidingen per km uitgedrukt (bv. o.b.v. empirische data) of berekend. In dat geval is de faalkans voor de daadwerkelijk relevante lengte te corrigeren (los van het feit dat leidingen juist onder en om waterkeringen sterker uitgevoerd zijn).

3.7.2 Parallele leidingen

Voor parallelle leidingen is aannemelijk dat het lengte-effect van de leiding zelf niet significant zal bijdragen aan het al in rekening gebrachte lengte-effect van de dijk zelf. Leidingen zijn immers doorgaans veel homogener dan de (ondergrond)eigenschappen die het lengte-effect voor directe mechanismen als macrostabiliteit of piping veroorzaken. Voor faalmechanismen met lange onafhankelijke lengtes (en weinig lengte-effect) zoals overslag zou het noodzakelijk kunnen zijn om nog met extra lengte-effect door de leiding zelf rekening te houden (d.w.z. aantal onafhankelijke leidinglengtes binnen onafhankelijke mechanismelengte). Deze faalmechanismen zijn echter zelden dominant.

Het voorstel is dan ook om pragmatisch de faalkans per vaklengte te hanteren voor falen van een parallelle leiding en verder geen extra bewerkingen voor het lengte-effect uit te voeren.

3.7.3 Meerdere leidingen

Zowel voor parallelle als kruisende leidingen geldt dat de faalkans van meerdere leidingen groter zal zijn dan die van een individuele leiding. In een integrale (faalkans)analyse kunnen de faalscenario's van de aparte leidingen worden beschouwd en gecombineerd als aparte scenario's. Net als bij het combineren van faalmechanismekansen is da aannahme veilig dat de aparte faalkansen worden opgeteld.

Voor het bepalen van faalkanseisen aan leidingen kan bij vergelijkbare leidingen met vergelijkbare gevolgen bij falen de aanvaardbare (verwaarloosbare) faalkans worden onderverdeeld over de aanwezige leidingen, analoog aan het opstellen van een faalkansbegroting.

4 Vervolg en aanbevelingen

Het voorliggende rapport beschrijft de WBI kaders op hoofdlijnen in termen van een generiek veiligheidsraamwerk dat aansluit bij de veiligheidsfilosofie voor waterkeringen in de zin van de overstromingskansnormen in de Waterwet. In het vervolg is het belangrijk om concrete invulling te geven aan de verschillende elementen binnen dit raamwerk. De volgende aanbevelingen voor het vervolg zijn deels ingegeven door eerdere bevindingen in het TNO & Deltares (2017) rapport en de gerelateerde review door KPR (Bijlage 3).

4.1 Pilot cases in de POV-K&L

Gezien de grote verscheidenheid aan situaties ligt uitwerking in concrete projecten voor de hand, zoals afgesproken tussen WBI en POV-KL. In de POV-KL pilots kan de toepasbaarheid van het raamwerk worden getoetst en kunnen de elementen concreter worden ingevuld en onderbouwd (bv. 'filters').

Voor de nadere uitwerking is aan te raden om te starten met een inventarisatie van leidingtypen en situaties die in combinatie met een waterkering voor kunnen komen. Op basis van een dergelijke typologie kunnen situaties worden gerangschikt naar relevantie, bijvoorbeeld op basis van hoe vaak ze voorkomen en of ze in de praktijk vaak kritisch zijn qua veiligheid. Ook het 'Handelingsperspectief Veiligheid' binnen de POV-KL kan zo prioriteren en afbakenen welke situaties en pilot projecten de grootste impact op het HWBP op korte termijn zullen hebben.

4.2 Faalkans leiding

4.2.1 Benutten casuïstiek en empirische data

Niet voor alle bekende faaloorzaken (zie bijlage L van de NEN 3650-1) is een faalkans-analyse mogelijk, sommige hebben immers te maken met menselijk handelen (bv. schade door graafwerkzaamheden). Het is dan ook aan te bevelen om voor het bepalen van de faalkans van een leiding zoveel mogelijk gebruik te maken van casuïstiek en empirische data, indien nodig te corrigeren voor de verschillen tussen leidingen nabij waterkeringen (meer aandacht, vergunningen vereist) en de algemene statistieken (zie TNO & Deltares, 2017).

4.2.2 Invloed hoogwater op kans falen leiding

Het gepresenteerde raamwerk gaat er in principe vanuit dat er geen significante invloed van hoogwater op de kans van leidingfalen is, ook al zou een dergelijke invloed in rekening worden gebracht (bv. via de kans van gelijktijdigheid van leidingfalen en hoogwater). Er wordt aanbevolen om in de pilot projecten van de POV-KL na te gaan of dit uitgangspunt houdbaar is en welke criteria kunnen worden gehanteerd om de invloed van hoogwater op het falen van een leiding als verwaarloosbaar te achten, danwel met deze invloed op een praktische wijze om te kunnen gaan.

4.2.3 Betrouwbaarheidseisen vanuit transportfunctie of externe veiligheid

Als inzichtelijk kan worden gemaakt welke betrouwbaarheidseisen vanuit de transportfunctie of externe veiligheid gelden (incl. handhaving) kan deze informatie mogelijk worden gebruikt om te prioriteren, of zelfs om aannemelijk te maken dat de invloed van leidingbreuk op de overstromingskans verwaarloosbaar is. De informatie vanuit andere eisen aan een leiding kans dus mogelijk als filter dienen voor evident veilige situaties.

4.3 Onderbouwing bouwstenen

4.3.1 Stabiliteitszone

De operationele definitie van de stabiliteitszone in NEN 3651 (breedte = 4H) is onvoldoende onderbouwd en behoeft herziening. Ook de in de praktijk veelvuldig gehanteerde pragmatische aanpak om de grens van de stabiliteitszone te definiëren als het uittreepunt van de kritieke glijcirkel zonder invloed van leidingfalen is ontbeert nadere onderbouwing. Tegelijk is er behoefte aan een eenduidig schadecriterium. Er wordt aanbevolen om onderzoek te doen naar een onderbouwd criterium voor de veiligheidszone.

4.3.2 Filters

Ook de andere eenvoudige filters in de NEN 3651 en het WBI zijn niet geijkt aan de faalkanseisen gerelateerd aan de waterveiligheidsnormen. Er wordt aanbevolen om onderbouwing te geven aan de bestaande filters en eventueel nieuw te ontwikkelen filters, zowel voor de leiding (optredingscriterium) als de waterkering (schadecriterium), te relateren aan de relevante faalkanseisen. Gedetailleerde suggesties hierover worden gegeven in TNO & Deltares (2017).

4.3.3 Semi-probabilistische voorschriften

Vergelijkbaar met het vorige punt over filters zijn de semi-probabilistische rekenregels niet gekalibreerd voor condities met schade door leidingfalen, bv. met een erosiekrater. Er wordt aanbevolen om in case studies (bv. POV-KL) vergelijkende berekeningen semi-probabilistisch en probabilistisch uit te voeren om na te gaan hoe goed de kalibratierelaties in deze gevallen matchen.

Nog belangrijker is het om na te gaan of de partiële factoren in de NEN 3650 serie en de eisen aan vervangende waterkeringen stroken met de eisen die vanuit waterveiligheid direct of indirect aan leidingen en vervangende waterkeringen worden gesteld.

4.3.4 Faalkanseis leiding

Er is in principe geen faalkanseis voor de leiding zelf, toch is het voor verschillende doeleinden wenselijk om hier een indicatie of waarde voor te hebben. In sectie 3.6 worden hiervoor drie opties beschreven. Er wordt aanbevolen om op basis van case studies (bv. POV-KL) en met groeiende ervaring een keuze uit deze opties te maken en deze vast te leggen om zo een eenduidige werkwijze te bieden en toekomstige beoordelingen te vereenvoudigen.

4.4 Factsheet gebruik NEN3650 serie

In de huidige versie van WBI staat nog een ongelukkige verwijzing naar de NEN3650 serie met betrekking tot het bouwjaar van leidingen en wanneer bepaalde toetsen van toepassing zijn. De aanbeveling is om dit in een factsheet recht te zetten tot er weer een update van het WBI (bijlage 3 ministeriële regeling) komt.

Voor een update is het wel belangrijk na te gaan welk detailniveau in de ministeriële regeling wenselijk is. Voor details kan waarschijnlijk beter naar technische rapporten (zie hieronder) worden verwezen, zeker als er nog ontwikkelingen in het werkveld plaats vinden.

4.5 Opstellen Technische Richtlijn

Het voorliggende rapport kan worden benut als aanzet tot het opstellen van een Technische Rapport (TR) voor het beoordelen van Waterkeringen met Kabels en Leidingen. Dit rapport bevat de theoretische kaders en aanbevelingen voor de nadere uitwerking. In een uiteindelijke TR zijn de aanbevelingen door concreet uitgewerkte voorschriften en rekenregels te vervangen. Deze zijn verder te illustreren met uitgewerkte voorbeelden. De pilot projecten

in de POV-KL bieden een uitgelezen kans voor het testen van concrete voorschriften en rekenregels en voor het terugkoppelen van ervaringen. Ook kunnen de pilot cases dienen als basis voor de in de TR op te nemen voorbeelden.

4.6 Andere indirecte faalmechanismen en NWO's

De uitwerking in dit rapport voor kabels en leidingen is naar verwachting eenvoudig overdraagbaar op andere indirecte faalmechanismen en NWO's. Er wordt aanbevolen om de toepassing van het generieke raamwerk op andere objecten dan kabels en leidingen te testen, en indien succesvol nader uit te werken.

4.7 Disseminatie

Voor toepassing in de praktijk zal het essentieel zijn om de (met name in de POV-KL, maar ook in andere praktijkprojecten) opgedane ervaringen met het werkveld te delen door:

- Publiceren van een technische richtlijn en case studies.
- Opleidingen.
- Workshops (t.b.v. uitwisseling praktijkdeskundigen en terugkoppeling ervaringen naar kennis ontwikkeling).

4.8 Tot besluit

Tenslotte kunnen ervaringen met de nieuwe werkwijze ook aanleiding geven om op termijn de relevante bijlages van de ministeriele regeling WBI te herzien. Hiervoor zullen zich nieuwe kennis en werkwijzen echter eerst in de praktijk moeten bewijzen. De vrijheden die het WBI biedt in het kader van de toets op maat kunnen in de tussentijd uitkomst bieden in kritieke situaties.