



# HANDLEIDING VEILIGHEIDSONTWERP

Ontwerpen





Ministerie van Infrastructuur  
en Waterstaat

## **Handleiding Veiligheidsontwerp**

Ontwerpen van primaire waterkeringen in lijn met de overstromingskansbenadering

Datum      April 2026  
Versie     2.0  
Status     DEFINITIEF

## Colofon

Uitgegeven door      Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat  
Auteurs

### Informatie

Telefoon

Mobiel

E-mail

Datum

Versie

Status

April 2026

2.0

Definitief

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1	Aanleiding	4
1.2	Doel en karakter	4
1.3	Positionering	4
1.4	Wettelijk kader: de Omgevingswet	6
1.5	Doelgroep en afbakening	7
1.6	Verantwoording, kwaliteitsborging en beheer van deze handleiding	7
1.7	Leeswijzer	8
<b>2</b>	<b>Ontwerpprincipes</b>	<b>9</b>
2.1	Voorwaarden voor een goed ontwerp	9
2.2	Leidende principes bij ontwerpen	11
2.3	Aanpak veiligheidsontwerp: eerst tekenen, dan rekenen	14
2.4	Robuustheid	15
<b>3</b>	<b>Randvoorwaarden waterveiligheidsontwerp</b>	<b>17</b>
3.1	Juridische randvoorwaarden	17
3.2	Beleidsmatige Randvoorwaarden	18
<b>4</b>	<b>Ontwerpproces</b>	<b>20</b>
4.1	Fasering van ontwerptraject	20
4.2	Diverse sleutelfiguren in het ontwerpproces rond waterveiligheid	21
4.3	Fasen en beslisvragen	22
4.4	Bepalen veiligheidsopgave op trajectniveau	24
4.5	Bepalen projectscope (projectniveau)	25
4.6	Verkenningfase	27
4.7	Planuitwerkingsfase	28
4.8	Realisatiefase	29
4.9	Nazorgfase	30
<b>5</b>	<b>Veiligheidseisen en veiligheidsverificatie</b>	<b>31</b>
5.1	Inleiding	31
5.2	Veiligheidseisen	33
5.3	Overige eisen	37
5.4	Veiligheidsverificatie	39
<b>6</b>	<b>Omgaan met onzekerheden</b>	<b>43</b>
6.1	Inleiding	43
6.2	Soorten onzekerheden	43
6.3	Generieke stappen voor omgaan met onzekerheid	45
<b>7</b>	<b>Bronnen</b>	<b>52</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De handleiding Veiligheidsontwerp is onderdeel van het beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). Het BOI bevat instrumenten die het Rijk ter beschikking stelt voor het ontwerpen en beoordelen van primaire waterkeringen. Ook sluit het BOI aan op het systeem van continue monitoring van de overstromingskans zoals beoogd door de Omgevingswet. Onderdeel daarvan is het goed borgen van de belangrijkste principes voor veiligheidsontwerp. Deze handleiding en onderliggende handleidingen en technische rapporten vervangen het OI2104 versie 4.

## 1.2 Doel en karakter

De handleiding Veiligheidsontwerp biedt ondersteuning en toelichting bij de keuzes die rondom waterveiligheid moeten worden gemaakt in de verschillende fasen van het ontwerpproces.

Deze handleiding is onderdeel van het procesinstrumentarium van het BOI (zie paragraaf 1.4); het karakter van dit document is dan ook *procesmatig*. Het beschrijft *hoe* keuzes in het ontwerpproces gemaakt kunnen worden, maar niet van welke rekenregels, inhoudelijke uitgangspunten en criteria en (onderliggende) kennis gebruik kan worden gemaakt. Technisch-inhoudelijke informatie voor het ontwerp en veiligheidsverificatie is opgenomen in de Handleidingen overstromingskansanalyse, technische leidraden en andere lagen van het basisinstrumentarium.

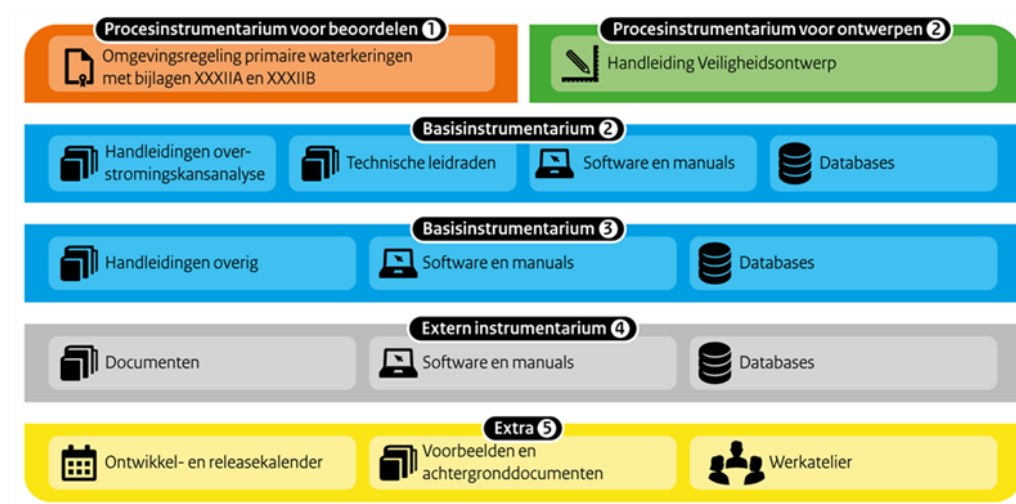
Het procesmatige karakter van deze handleiding betekent dus dat een vertaling nodig is naar concrete inhoudelijke uitgangspunten en eisen voor het project. De beheerder kan deze vertaling maken in de vorm van bijvoorbeeld een basispecificatie dijken op het niveau van het areaal en technische uitgangspuntennotities (TUN) op het niveau van projecten. Deze vertaling is niet statisch: aan het eind van iedere fase evalueert de beheerder de gemaakte keuzes en resulterende uitgangspunten en past deze zo nodig aan.

## 1.3 Positionering

Deze handleiding gaat over het waterveiligheidsontwerp van een waterkering. In een dijkontwerp spelen naast waterveiligheid veel meer aspecten een rol. De handleiding is onderdeel van het beoordelings- en ontwerpinstrumentarium dat door het Rijk ter beschikking wordt gesteld voor het ontwerpen van waterkeringen. De handleiding heeft een focus op de verkennings- en planuitwerkingsfase, maar bevat ook elementen die in andere fasen van een dijkversterking van belang zijn.

### *Het beoordelings- en ontwerpinstrumentarium*

De handleiding Veiligheidsontwerp maakt deel uit van het beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). Dit instrumentarium wordt door het Rijk beschikbaar gesteld voor het beoordelen en ontwerp van primaire waterkeringen. Een overzicht van het BOI is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Overzicht proces- en basisinstrumentarium BOI.

Het BOI bestaat uit een proces- en basisinstrumentarium. Het procesinstrumentarium bevat instrumenten waarin het proces van beoordelen en ontwerp, de te maken keuzes en de daarbij aan te houden (beleidsmatige) randvoorwaarden vanuit waterveiligheid worden beschreven. Naast de handleiding Veiligheidsontwerp maakt ook de Omgevingsregeling voor het beoordelen van de primaire waterkeringen deel van het procesinstrumentarium (Ministerie I&W, 2022). De handleiding Veiligheidsontwerp heeft in tegenstelling tot de Omgevingsregeling geen verplichtend karakter. De gebruiker kan onderbouwd afwijken.

Het basisinstrumentarium bestaat uit handleidingen, technische leidraden, softwareapplicaties en databases. Deze instrumenten kunnen worden gebruikt om de overstromingskans van een dijktraject te bepalen. De handleiding overstromingskansanalyse en de handleidingen overstromingskansanalyse ondersteunen het uitvoeren van de analyses om een overstromingskans van een dijktraject te bepalen en deze te vertalen naar het juiste handelingsperspectief, zowel in het kader van een beoordeling als voor uitwerking en veiligheidsverificatie van een versterkingsontwerp.

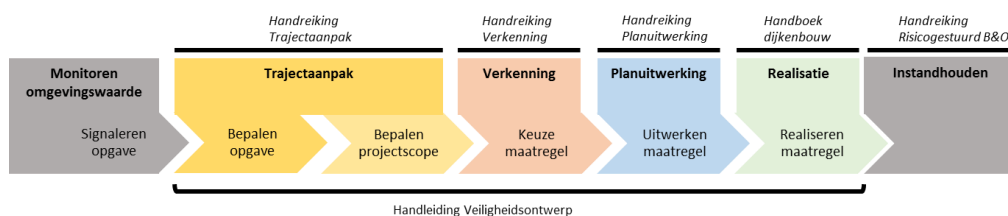
De handleiding overstromingskansanalyse algemeen beschrijft de leidende principes van de overstromingskansbenadering en sluit aan bij de stappen van de beoordeling zoals deze worden beschreven in Bijlage XXXIIA bij de Regeling en op de keuzes die in deze handleiding Veiligheidsontwerp worden beschreven.

De uitwerking van een overstromingskansanalyse per faalmechanisme staat beschreven in de handleidingen overstromingskansanalyse deel 1-5 en de handleiding overstromingskansanalyse kunstwerken. Deze handleidingen beschrijven hoe, volgens de leidende principes, van grof naar fijn de overstromingskans per faalmechanisme kan worden bepaald.

In de handleiding Veiligheidsontwerp wordt naar instrumenten in het basisinstrumentarium verwezen wanneer deze relevant zijn voor het ontsluiten van specifieke kennis en het uitvoeren van analyses bij de te maken keuzes.

### Overige documenten

Door de programmadirectie van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), Rijkswaterstaat (RWS), Unie van waterschappen en STOWA worden ook handleidingen of handreikingen ter beschikking gesteld voor de uitvoering van het ontwerpproces. Deze documenten zijn gericht op specifieke stappen zoals bijvoorbeeld het bepalen van een voorkeursalternatief (zie Figuur 2). In de handleiding Veiligheidsontwerp wordt naar deze handleidingen of handreikingen verwezen wanneer deze relevant zijn voor de keuzes binnen het aspect waterveiligheid.



Figuur 2 Overzicht verschillende fasen in het ontwerpproces en bijbehorende handleidingen en handreikingen.

## 1.4

### Wettelijk kader: de Omgevingswet

De Omgevingswet is een stelsel van regels voor de fysieke leefomgeving. De regelgeving die betrekking heeft op de veiligheid van de primaire waterkeringen is in 2023 overgeheveld van de Waterwet naar de Omgevingswet. Uitzondering hierop zijn de onderdelen van de Waterwet die betrekking hebben op het Deltaprogramma en op de bekostiging van maatregelen binnen het HWBP. Deze onderdelen zijn onderdeel van de Waterwet.

#### Omgevingswet

De Omgevingswet gaat over de fysieke leefomgeving, waar de primaire waterkeringen deel van uitmaken. Omgevingswaarden leggen de gewenste kwaliteit die de overheid wil bereiken voor de fysieke leefomgeving of een onderdeel daarvan vast. Voor de primaire waterkeringen zijn de omgevingswaarden en de 'andere parameters voor de signalering over de veiligheid van een dijktraject' vastgelegd in de vorm van een overstromingskans of faalkans<sup>1</sup>. Deze komen overeen met de waarden die in 2017 in de Waterwet zijn vastgelegd voor de ondergrens en signaleringswaarde van de dijktrajecten.

De wet stelt dat aan de omgevingswaarden voor de veiligheid van primaire waterkeringen wordt voldaan met ingang van 1 januari 2050. Door monitoring wordt bewaakt dat de veiligheid van primaire waterkeringen voldoet aan de omgevingswaarde, en wordt bepaald of hiervoor maatregelen nodig zijn.

Het monitoren van de omgevingswaarde is een continu proces gericht op het bewaken van de omgevingswaarde dat zowel bestaat uit het bepalen van de impact van veranderingen op de (berekende) overstromings- of faalkans als en uitvoeren van maatregelen om aan de omgevingswaarde te voldoen.

<sup>1</sup> Een overstromingskans betreft de kans per jaar dat een overstroming optreedt in een dijktraject. De faalkans wordt gebruikt in die gevallen dat het falen van een dijktraject niet direct leidt tot een overstroming, maar tot een verhoging van de belasting op de achterliggende keringen.

Als blijkt dat niet wordt voldaan of zal worden voldaan aan de omgevingswaarde, worden door de beheerder beheer- en/of versterkingsmaatregelen getroffen om weer aan de omgevingswaarde te voldoen. Deze handleiding ondersteunt het definiëren en uitwerken van versterkingsmaatregelen.

## 1.5 Doelgroep en afbakening

### *Doelgroep*

Doelgroep voor deze handleiding zijn medewerkers van waterschappen, Rijkswaterstaat en ingenieursbureaus die betrokken zijn bij het waterveiligheidsontwerp. In het bijzonder de technisch managers, ontwerpleiders en adviseurs waterveiligheid.

### *Afbakening*

De handleiding Veiligheidsontwerp is opgesteld ter ondersteuning van het ontwerpen en realiseren van versterkingsmaatregelen bij primaire waterkeringen in Nederland. De handleiding is gericht op de hoofdfunctie van de waterkering: het bieden van voldoende veiligheid tegen overstroming. Naast deze hoofdfunctie spelen meer aspecten een rol bij het ontwerp van een dijkversterking, denk aan omgeving en medegebruik. De handleiding gaat op die aspecten niet inhoudelijk in – wel geeft hoofdstuk 5 een aantal handvatten om tot eisen voor andere aspecten dan waterveiligheid te komen.

De handleiding gaat niet over subsidiabiliteit. De subsidiabiliteit van het waterveiligheidsontwerp wordt bepaald op grond van de subsidieregelingen.

De handleiding is verder niet van toepassing:

- Voor het ontwerp van duinwaterkeringen. Vanuit het programma kustlijn­zorg wordt de kustlijn met behulp van zandsuppleties onderhouden.
- Bij het uitwerken van systeem- en beheermaatregelen<sup>2</sup> van een primaire waterkering.
- Voor het ontwerp van regionale waterkeringen.
- Voor ontwerpen van gebiedsoplossingen (meerlaagsveiligheid) en
- Als contractstuk. De handleiding kan worden gebruikt om per fase een set van projectspecifieke uitgangspunten en randvoorwaarden op te stellen die gebruikt kunnen worden bij het opstellen van contractstukken.

Wel kunnen elementen uit de handreiking voor bovenstaande punten worden benut.

De principes in deze handreiking zijn ook van toepassing voor kunstwerken. Voor een nadere uitwerking van het veiligheidsontwerp van kunstwerken wordt verwezen naar de [Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken \(WOWK\)](#). De WOWK biedt methoden waarmee op praktische wijze kan worden geverifieerd of het ontwerp van een waterbouwkundig kunstwerk in een primaire waterkering gedurende zijn gehele levensduur het in de wet vereiste waterkerend vermogen bezit.

## 1.6 Verantwoording, kwaliteitsborging en beheer van deze handleiding

Deze handleiding is opgesteld vanuit het programma BOI en tot stand gekomen in samenwerking met het Adviesteam Dijkontwerp en de Begeleidingsgroep BOI. De Handleiding is in verschillende cases getoetst en besproken door en met een brede groep beoogde gebruikers.

---

<sup>2</sup> In de trajectaanpak worden de passende maatregelen gedefinieerd. Dat kunnen systeem, beheer of versterkingsmaatregelen zijn.

Het beheer van deze handleiding berust bij het programma BOI.

## 1.7

### **Leeswijzer**

Na deze inleiding, gaat de handleiding in hoofdstuk 2 in op de *ontwerpprincipes*: welke leidende principes gelden in algemene zin bij het opstellen van een waterveiligheidsontwerp? Vervolgens behandelt hoofdstuk 3 de belangrijkste juridische en beleidsmatige randvoorwaarden voor het waterveiligheidsontwerp. Hoofdstuk 4 beschrijft het ontwerpproces en de belangrijkste beslisvragen: de stap van veiligheidsopgave naar ontwerpogave en uitwerking daarvan in verkenning, planuitwerking en realisatie. Hoofdstuk 5 bevat de kern van deze handleiding en beschrijft twee methodes om tot veiligheidseisen te komen en de wijze waarop veiligheidsverificatie plaatsvindt. Hoofdstuk 6 gaat ten slotte in op onzekerheden en schetst daartoe een generiek handelingsperspectief voor de omgang daarmee.

## 2 Ontwerpprincipes

In dit hoofdstuk worden vijf voorwaarden en vijf principes beschreven die horen bij het maken van een waterveiligheidsontwerp van primaire waterkeringen in lijn met de overstromingskansbenadering. Het betreft een aantal algemene leidende principes die sterk met elkaar samenhangen en daarom als een eenheid moeten worden begrepen en toegepast. Het gaat om uitgangspunten op een hoger abstractieniveau die leidend zijn voor maken van een goed waterveiligheidsontwerp.

Het volgen van deze principes dient het overkoepelde doel: het verkrijgen van een doeltreffend veiligheidsontwerp.

### 2.1 Voorwaarden voor een goed ontwerp

#### 2.1.1 *Voldoet aan de norm*

De overstromingskans van een goed veiligheidsontwerp is kleiner dan de norm: de omgevingswaarde, zoals deze in de Omgevingswet is vastgelegd.

#### 2.1.2 *Maakbaar*

Keuzen in het waterveiligheidsontwerp kunnen impact hebben op de realisatie en andersom kan de wijze van realiseren ook grote invloed hebben op de waterveiligheid. Het is belangrijk dat de ontwerper waterveiligheid oog heeft voor het raakvlak waterveiligheid-maakbaarheid.

Enkele voorbeelden van raakvlakken tussen maakbaarheid en waterveiligheid:

- Toets de maakbaarheid al tijdens de keuze van een oplossingsrichting. Voorkom een situatie waarin tijdens de realisatiefase blijkt dat een oplossing niet realiseerbaar is bijvoorbeeld vanwege te beperkte werkruimte of bereikbaarheid.
- Wees bewust van de impact van ontwerpkeuzes op realisatie in termen van benodigde tijd en ruimte. Dit geldt in bijzondere mate voor het toepassen van innovaties.
- Denk vanuit de relatie tussen functionele eisen en uitvoerings- en materiaalspecificaties. Vaak is de functie waterveiligheid bepalend voor materiaalkeuzes. Maak dit transparant.
- Betrek ook de uitvoeringswijze of uitvoeringsspecificaties in het ontwerpproces. De uitvoering kan een dominante invloed hebben op waterveiligheid, denk aan de erosiebestendigheid van een bekleding waar een goede verdichting van het grootste belang is. Het is van belang om deze relatie vroegtijdig te onderkennen en als ontwerper te worden betrokken in de uitvoeringsspecificaties.

#### 2.1.3 *Beheerbaar*

Beheer is een integraal onderdeel van het ontwerp. Beheer is daarbij een breed begrip. Een dijk moet onder dagelijkse en hoogwateromstandigheden kunnen worden geïnspecteerd en onderhoudbaar zijn. In lijn met de Grondslagen voor hoogwaterbescherming wordt benadrukt dat de kans op bijvoorbeeld de niet-begaanbaarheid van een dijk veel groter mag zijn dan de kans op een dijkdoorbraak. Voor regulier onderhoud, inspectie en herstel moet een dijk begaanbaar zijn. Deze activiteiten hoeven echter niet plaats te vinden onder extreme omstandigheden. Alleen als de begaanbaarheid van de kering vereist is om

bijvoorbeeld coupures te sluiten, dan is de eis aan de begaanbaarheid terug te voeren op de overstromingskansnorm

Een beheerbare dijk vraagt ook een voorspelbaar gedrag van de kering. Observaties moeten kunnen worden gerelateerd aan het gedrag van de kering<sup>3</sup>. Op basis van het verwachte gedrag kan het beheer onder dagelijkse en hoogwateromstandigheden worden georganiseerd. Onder dagelijkse omstandigheden is beheer gericht op in stand houden. Onder hoogwateromstandigheden is het beheer gericht op het voorkomen van een overstroming. Als een kering onvoldoende beheerbaar is, moet dit in het ontwerp worden opgelost, bijvoorbeeld door extra redundantie of door het hanteren van maatregelen en materialen die ductiel bezwijken zodat er waarnemings- en handelingstijd is.

Een beheerplan is onderdeel van het veiligheidsontwerp van een waterkering. Bij elk ontwerp hoort een passende beheer- en onderhoudsstrategie. Met behulp van de keuzeboom 'faalvorm tot onderhoudsstrategie' is na te gaan of een ontwerp beheer- en onderhoudbaar is. Zo niet, dan moet het ontwerp worden aangepast (zie Handreiking risicogestuurd beheer en onderhoud, bijlage 12).

Enkele voorbeelden van raakvlakken tussen beheerbaarheid en waterveiligheid:

- Neem inspectie en monitoring mee in het ontwerp.
- Ga na wat het effect is van ontwerpkeuzes op beheerorganisatie, met name bij calamiteiten
- Besteed aandacht voor het benodigde onderhoud in het ontwerp
- Vroegtijdig aandacht voor beheer, onderhoudsinspanning en vergunningen bij het maken van keuzes in het waterveiligheidsontwerp.

#### 2.1.4 *Inpasbaar*

Het waterveiligheidsontwerp én de (bestaande) omgeving bepalen samen in sterke mate de vormgeving en materialisatie van de waterkering. Daarmee heeft het waterveiligheidsontwerp een sterke relatie met inpasbaarheid in de omgeving en de ruimtelijke kwaliteit. Voor omgevingsaspecten en ruimtelijke kwaliteit wordt verwezen naar de handreikingen Verkenning en Planuitwerking van het Hoogwaterbeschermingsprogramma.

Een bijzonder aspect betreft de materialisatie van de kering. Er is een sterk raakvlak tussen het waterveiligheidsontwerp en het ontwerpen vanuit de duurzaamheidsprincipes vanuit: Energie en klimaat – Circulariteit - Ruimtelijke kwaliteit. Vanuit duurzaamheid kan bijvoorbeeld worden gekozen voor een grondgestuurd ontwerp waarbij de dimensies van de kering mede worden bepaald door de eigenschappen van de beschikbare grond.

#### 2.1.5 *Toekomstbestendig*

Een goed ontwerp is toekomstbestendig. Toekomstbestendig wil zeggen dat in het ontwerp vooruit wordt gekeken door rekening te houden met toekomstige ontwikkelingen (bijv. klimaatontwikkelingen, beleidsontwikkelingen, bodemdaling, verouderingsprocessen). Dit gebeurt niet pas in het ontwerpproces. Op nationaal en regionaal niveau worden toekomstscenario's verkend en transformatie- en adaptatiepaden opgesteld die landen in nationaal en regionaal beleid. Hieruit volgen randvoorwaarden voor ontwerp (bijvoorbeeld klimaatscenario, beleidsscenario's), aanpasbaarheid en uitbreidbaarheid voor het veiligheidsontwerp.

---

<sup>3</sup> Het gedrag van de kering is ook belangrijk voor het begrijpen van het ontwerpprobleem. Wanneer het gedrag onder dagelijkse omstandigheden niet wordt begrepen is het moeilijk om een juiste maatregel te kiezen.

Voor aanpasbaar en uitbreidbaar worden de volgende definities gehanteerd:  
Aanpasbaar: Het aanpassen van het type kering. Daarbij wordt niet voortgebouwd op het bestaande keringconcept van een eerdere versterking. Een voorbeeld is het in grond versterken van een kering waarbij een bestaande damwand wordt verwijderd omdat anders niet meer aan de norm kan worden voldaan.  
Uitbreidbaar: Het uitbreiden van het bestaande keringconcept. Zoals het zwaarder uitvoeren van de eerder gekozen oplossingsrichting 'constructief versterken' door het bijplaatsen van ankers of het verbreden van een stabiliteitsberm.

In het ontwerp wordt rekening gehouden met de volgende dijkversterking. Door technologische vernieuwing en beperkt invloed van kosten die ver in de toekomst liggen is verder vooruitkijken doorgaans niet nodig.

Voorbeelden van toekomstbestendigheid het waterveiligheidsontwerp zijn:

- Belasting en sterkte veranderen in de toekomst, bijvoorbeeld door effecten van klimaatverandering. Vooruitkijkend ontwerpen hoeft niet altijd te betekenen dat preventief moet worden ontworpen op mogelijke toekomstige veranderingen. Er zijn verschillende mogelijkheden om op deze veranderingen te anticiperen in het ontwerp, variërend van reactief in combinatie met monitoren tot zeer preventief met een verre tijdhorizon. Keuzes die hierin gemaakt worden zijn een belangrijk onderdeel van het ontwerp.
- De keuze voor een op het eerste gezicht aantrekkelijke oplossing kan op termijn een groot ongewenst effect hebben: een lock-in. Een lock-in kan ontstaan door de keuze voor een bepaalde principeoplossing die bij latere versterkingen de keuze voor een andere, meer wenselijke oplossing in de weg staat. Het signaleren van een mogelijke lock-in is een onderdeel van het ontwerp en een noodzakelijk inzicht om bij de afweging een juist besluit te kunnen nemen.
- Maak de relatie tussen waterveiligheid en uitbreidbaarheid en aanpasbaarheid concreet zodat dit op een goede manier meegewogen kan worden in een afweging. Een LCC-analyse is hierbij een mogelijk hulpmiddel.

## 2.2 Leidende principes bij ontwerpen

Dit zijn de leidende principes voor het waterveiligheidsontwerp:

- Stel de beslisvraag centraal
- Denk breed
- Kijk vooruit
- Wees realistisch, expliciet en transparant
- Denk vanuit het totale veiligheidsontwerp

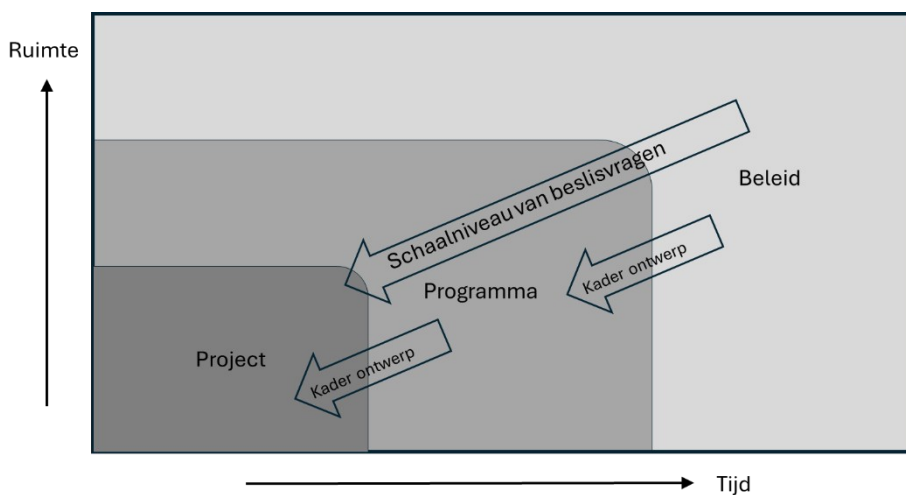
### 2.2.1 *Stel de beslisvraag centraal*

Iedere fase van de dijkversterkingsopgave kent beslisvragen. Er zijn vele beslisvragen tijdens het ontwerpproces. In hoofdstuk 4 worden hiervan voor de verschillende fasen van het ontwerpproces voorbeelden gegeven. Zonder het nemen van een besluit kan de fase niet met succes worden afgerond.

Het bieden van de informatie om een besluit te kunnen nemen is een belangrijk deel van het ontwerp. Deze informatie kan op allerlei wijzen worden verkregen, enkele voorbeelden zijn: gegevensinwinning, ontwerpberoevingen, kostenramingen, informatie vanuit de beheerorganisatie. Wanneer onzekerheden in deze informatie

een grote invloed hebben op het besluit dan is sprake van een onstabiel besluit en zal moeten worden gekeken of een verdere ontwerpinspanning of gegevens inwinning doelmatig is.

Ook voorafgaand aan het ontwerpproces worden beslisvragen beantwoord, vaak op een hoger schaalniveau in ruimte en tijd. De antwoorden op die beslisvragen vormen het (convergerende) kader waarmee het ontwerpproces start, zie Figuur 3. Deze handleiding heeft betrekking op het projectniveau. Een voorbeeld hiervan zijn de randvoorwaarden die aan uitbreidbaarheid en aanpasbaarheid van het ontwerp worden gesteld. Deze volgen uit de landelijke en regionale adaptatiestrategieën (zie paragraaf 2.1.5)



Figuur 3: Beslisvragen op verschillende schaalniveaus in ruimte en tijd

De volgende principes 'Denk breed' (paragraaf 2.2) en 'Kijk vooruit' (paragraaf 2.3) moeten in dit licht gezien worden.

### 2.2.2 Denk breed

Een goed ontwerp heeft het systeemgedrag als uitgangspunt. Het is essentieel om vanuit het systeem naar de waterkering en haar omgeving te kijken: het systeemgedrag staat centraal. Met het systeem wordt bedoeld "het samenhangende geheel van één of meer oppervlaktewaterlichamen en grondwaterlichamen, met bijbehorende bergingsgebieden, waterkeringen en ondersteunende kunstwerken", zoals ook nader gedefinieerd in Bijlage XXXIIA bij de Omgevingsregeling

Dit vereist een brede blik en regelmatig uit- en inzoomen. Zeker aan het begin van het ontwerptraject is het nodig dat van tijd tot tijd wordt uitgezoomd om te kunnen beoordelen of op systeemniveau de juiste keuzes zijn gemaakt en niet onbewust een belangrijke beslisvraag is blijven liggen. Dat daarbij soms twee stappen vooruit en soms weer één stap terug worden gezet, is onvermijdelijk.

Onderdeel van het systeemgedrag is het gedrag van de kering zelf. Begrip van het gedrag is randvoorwaarde voor het maken van een veiligheidsontwerp. Start met denken vanuit mogelijke fysische processen en de afhankelijkheid tussen deze processen en bedenk hoe deze tot een overstroming kunnen leiden. Heb daarbij oog voor de 'onbekenden' die niet in de standaardoverzichten met faalwijzen voorkomen.

De monitoring van de kering geeft inzicht in het gedrag van de kering. In de Omgevingswet is vastgelegd dat de impact van ontwikkelingen op de overstromingskans (omgevingswaarde) continue wordt gemonitord. Wanneer een opgave wordt gesignaleerd moeten maatregelen worden genomen. De gegevens uit de continue monitoring (inclusief resultaten uit de beoordeling) vormen het vertrekpunt voor het definiëren van maatregelen.

Voorbeelden van breed denken tijdens het waterveiligheidsontwerp zijn:

- Redeneer vanuit gedrag van het watersysteem en waterkering. Een waterkering die wordt versterkt is onderdeel van een groter systeem. Bij strategische ontwerpkeuzes werk je vanuit het systeem van globaal naar detail: systeemniveau – trajectniveau – dijkvakniveau – doorsnedeniveau (zie ook figuur 2.1).
- De waterkering is breder dan het gebied tussen de teenlijnen van een dijk. De omgeving van het fysieke dijklichaam heeft een wezenlijke invloed op de waterveiligheid. Denk hierbij aan de invloed van het voorland: een dijk met een voorland gedraagt zich anders dan een dijk zonder voorland, bijvoorbeeld vanwege het dempend effect van het voorland op verschillende belastingen. Een ander voorbeeld van omgevingseffecten op de waterveiligheid zijn niet-waterkerende objecten in voor- of achterland.

### 2.2.3 *Kijk vooruit*

Kijk vooruit houdt in dat er, in aanvulling op de randvoorwaarde toekomstbestendig, ook binnen een versterkingsproject over de fasen heen vooruit wordt gekeken. Zodat er tijdig wordt geïdentificeerd als bepaalde oplossingen niet mogelijk zijn, of om tijdig knelpunten te identificeren. Denk hiervoor aan grondaankoop, vergunningen, verleggen van leidingen, monitoring waterspanningen, grondonderzoek, etc.

### 2.2.4 *Wees realistisch, expliciet en transparant in het omgaan met onzekerheden*

Het waterveiligheidsontwerp onderbouwt dat de overstromingskans van de waterkering en het watersysteem voldoende klein is voor een bepaalde zichtperiode. Bij de onderbouwing van de overstromingskans neemt de omgang met onzekerheden in belasting en sterkte een belangrijke plek in. Het is reëel om te stellen dat lang niet alle onzekerheden exact kunnen worden gekwantificeerd. Dat is meestal niet nodig voor een goede ontwerpbeslissing. Het moet helder zijn hoe in het ontwerp is omgegaan met moeilijk kwantificeerbare onzekerheden. Zie ook hoofdstuk 6.

Enkele voorbeelden van realistisch, expliciet en transparant omgaan met onzekerheden:

- Ga bewust om met onzekerheden door deze expliciet te maken en toets het effect van onzekerheden op de beantwoording van de beslisvraag. Bepaal hiervoor realistische bandbreedtes en voer binnen de bandbreedtes van onzekerheden een hoekpuntenanalyse (zie ook de Omgevingsregeling, Bijlage XXXIIB) uit om de stabiliteit van de te nemen beslissingen te toetsen. Het hangt sterk van de beslisvraag af hoe met onzekerheden moet worden omgegaan. In verschillende ontwerpfasen kunnen andere keuzen worden gemaakt. Als voorbeeld: Voor het vaststellen van het maximale ruimtebeslag van de versterking voor een no-regret beslissing over de locatie van het verleggen van kabels en leidingen wordt anders omgegaan met onzekerheden dan wanneer er een stabiele keuze moet worden gemaakt tussen een dijkversterking naar binnen, een dijkversterking naar buiten of een compacte dijkversterking met constructieve elementen. In het

eerste geval is een conservatieve keuze goed te onderbouwen, in het tweede geval minder.

- Beschouw onzekerheden in samenhang en maak niet voor iedere afzonderlijke onzekerheid een voorzichtige keuze. Ga na of de resultante van de omgang met onzekerheden bij een pragmatische werkwijze nog steeds leidt tot een geloofwaardige overstromingskans. Hiervoor kan tijdens het ontwerpproces een gerichte of een steekproefsgewijze geavanceerde analyse worden uitgevoerd. In jargon heet dit een *sanity check*. Deze *sanity check* moet de onzekerheden meer in samenhang beschouwen en is bedoeld om na te gaan of pragmatische ontwerpkeuzes niet leiden tot het stapelen van veiligheidsrisico's.
- Wees transparant over kennisleemtes en kennis die in ontwikkeling is. Geef aan wat de mogelijkheden en risico's zijn wanneer nieuwe nog niet geconsolideerde kennis wordt toegepast voor het veiligheidsontwerp. Betrek hierbij landelijke expertise en lokale (gebieds)kennis en neem besluiten over omgaan met nieuwe en onzekere kennis op het juiste niveau binnen een organisatie.

#### 2.2.5 *Denk vanuit het totale veiligheidsontwerp*

Het is belangrijk dat voor het veiligheidsontwerp onderdelen van de waterkering in samenhang worden ontworpen en niet volledig onafhankelijk van elkaar. Dit lijkt een voor de hand liggend principe, maar in de ontwerppraktijk is het toch soms noodzakelijk om de ontwerpopdracht op te splitsen per functioneel onderdeel of per faalmechanisme vanwege de toegenomen complexiteit van analyses en de omvang van het werk door de toegenomen grootte van dijkversterkingsprojecten. Denk bijvoorbeeld aan het ontwerp van langsconstructies ter verbetering van de stabiliteit of het ontwerp van pipingmaatregelen. Het is goed denkbaar dat deze functionele onderdelen door verschillende teams worden uitgewerkt. Het is dan belangrijk om deze werkzaamheden goed op elkaar af te stemmen en het functioneren van de waterkering als geheel te beschouwen. Zo kunnen functionele onderdelen gecombineerd worden. Denk bijvoorbeeld aan een stabiliteitsscherm dat ook dienstdoet als anti-pipingmaatregel. Het is ook mogelijk dat het ene functionele onderdeel een ongewenst effect uitoefent op het ander functionele onderdeel. Denk daarbij bijvoorbeeld aan een pipingmaatregel waarbij erosiepijpontwikkeling onder een deel van de waterkering wordt toegestaan. Wanneer deze erosiepijpontwikkeling effect kan hebben op de macrostabiliteit moet daar bij het ontwerp op macrostabiliteit ook rekening mee gehouden worden.

Vanzelfsprekend is het veiligheidsontwerp onderdeel van een integraal ontwerp waarin ook andere belangen en waarden worden afgewogen. Het integraal ontwerp valt buiten de scope van deze handreiking.

### 2.3 **Aanpak veiligheidsontwerp: eerst tekenen, dan rekenen**

Ondanks het adagium 'scherp beoordelen en robuust ontwerpen', zien we in de praktijk een beweging naar 'scherp ontwerpen' door de combinatie van toenemende kennisontwikkeling en druk op financiële middelen. Dit leidt tot een grote inspanning om aan het begin van elke fase (reken)uitgangspunten in detail vast te leggen en een grote rekeninspanning om aan te tonen dat elk uitgangspunt bijdraagt aan een doelmatig ontwerp. De kans op spijt-keuzes, waarbij de beoogde levensduur niet wordt gehaald, wordt daardoor vergroot.

Een robuust ontwerp ontstaat 'vanzelf' wanneer een ontwerp start met het schetsen vanuit de randvoorwaarden uit beheer en inpassing (zie paragraaf 2.1). Vanuit de verschillende functies van de kering volgen minimale eisen aan dimensies van de kering. Denk daarbij aan een weg op de kering. Vanuit beheer volgen

uitgangspunten voor kruinhoogte en taludhellingen. Vanuit toegankelijkheid van de waterkering voor het uitvoeren van inspecties kunnen eisen aan het maximaal toelaatbare overslagdebiet volgen tijdens extreme omstandigheden (bijvoorbeeld 1 l/s/m voor situaties met een herhalingstijd van 100 jaar. Vanuit beheer volgen uitgangspunten voor taludhellingen (bijvoorbeeld 1:3). De materialisatie volgt uit de logische combinatie van aanwezige situatie, beschikbaar materiaal en algemene dijkprincipes.

Van grof naar fijn kan met het BOI de overstromingskans van het schetsontwerp worden geverifieerd. Van grof naar fijn betekent dat:

- Werken met een realistische schematisatie (zie voorgaande paragraaf);
- Starten vanuit geconsolideerde kennis en generieke rekenmodellen BOI;
- Start met vaste faalkansbegroting (methode A, hoofdstuk 5);
- Start met zo groot mogelijke vakken.

De volgende stap is verifiëren dat dit schetsontwerp aan de waterveiligheidseisen voldoet (veiligheidsverificatie, H5). Wanneer dit niet zo is, kunnen vanuit realistische schematisaties, dimensies worden aangepast.

Wanneer ruimte beperkt is voor het schetsontwerp of er zijn ander knelpunten, dan zijn er, afhankelijk van de situatie, een aantal mogelijkheden:

- Scherper dimensioneren: kleinere vakken, locatiespecifieke rekenmodellen, nieuwe kennis, onderbouwd minder conservatief met onzekerheden omgaan;
- Ontwerp aanpassen (bijvoorbeeld constructieve maatregel toevoegen)
- Aanpassen eisen vanuit beheer en inpassing

Voor het werken met onzekerheden rondom het ontwerp worden in hoofdstuk 6 handvatten gegeven. Sommige onzekerheden zijn lastig te kwantificeren. In dat geval kan gekozen worden voor maatregelen waarmee deze onzekerheden minder van invloed zijn.

## **2.4 Robuustheid**

### **2.4.1 Robuust ontwerpen**

In de Nederlandse praktijk van het werken aan primaire waterkeringen is het adagium 'scherp beoordelen, robuust ontwerpen' breed geaccepteerd. Hiermee wordt bedoeld dat waterkeringen zó beoordeeld worden dat onnodige versterkingen worden voorkomen en dat wanneer versterking wél nodig is, deze zodanig wordt uitgevoerd dat de waterkering met voldoende zekerheid de beoogde levensduur haalt. 'Robuust' is dus enige overmaat in het ontwerp ten opzichte van wat minimaal nodig is om aan de overstromingskans te voldoen, zodat met voldoende zekerheid de beoogde levensduur wordt gehaald. Een robuust ontwerp is geen doel op zich. Voorkomen moet worden dat een maatregel zo scherp wordt gedimensioneerd en dat het ontwerp zijn einde levensduur (bijna) zeker niet haalt.

Redenen voor robuustheid zijn:

1. Bij het ontwerpen van een waterkering vormen de startkosten vaak een groot deel van de kosten. Het is daarom economisch efficiënt om ervoor te zorgen dat de kering geruime tijd aan de veiligheidsnormen voldoet. Dit vormt de economische onderbouwing voor het principe van robuust ontwerpen.
2. Voorkomen disproportionele schade bij onverwachte gebeurtenissen. In een bredere context, zoals het constructief ontwerpen volgens de Eurocodes

(met name NEN-EN 1991-1-7), wordt robuustheid normatief gedefinieerd als het vermogen van een constructie om disproportionele schade te voorkomen bij onverwachte gebeurtenissen zoals explosies, aanrijdingen of lokale fouten. Dit wordt bereikt via principes als alternatieve draagwegen, ontkoppelbaarheid van constructiedelen, dimensionering op bijzondere belastingen, en geleidelijk (ductiel) bezwijken. Zo kan een ductiel bezwijkende kolom in een gebouw leiden tot herverdeling van belastingen binnen het systeem in plaats van een kettingreactie die leidt tot instorting.

3. Ondervangen restonzekerheden: Sommige onzekerheden zijn lastig te kwantificeren. In dat geval kan gekozen worden voor maatregelen waarmee deze onzekerheden minder van invloed zijn. Voorbeeld: In plaats van een berm voor piping (gevoelig voor onzekerheden in doorlatendheid), kan een kwelwegaafhankelijke maatregel worden gekozen zoals een filter.

Robuustheid is soms 'bijvangst'. Bijvoorbeeld omdat eisen aan onderhoudbaarheid, uitvoering (denk aan staffels in damwandlengtes) of ruimtelijke inpassing tot overmaat leiden. Soms is robuustheid het resultaat van een bewuste ontwerpkeuze.

Robuustheid staat niet los van de begrippen 'levensduur' en 'uitbreidbaarheid'. De gewenste levensduur is een uitgangspunt van een ontwerp. De mate van robuustheid van een ontwerp is situatieafhankelijk. Het inbrengen van robuustheid kan bijvoorbeeld verstandig zijn bij constructieve versterkingsmaatregelen die op termijn moeilijk uitbreidbaar zijn. Andersom kan het soms verstandig zijn om met een kleine simpele ingreep een grote investering uit te stellen. Instrumenten zoals een LCC-analyse kunnen behulpzaam zijn voor de verantwoording hiervan. Op uitbreidbaarheid is in het kader van toekomstbestendigheid in paragraaf 2.1.5 ingegaan.

#### **Voorbeeld**

Bij een dijkversterking in Zeeland bepaalden omgevingsfactoren, zoals nabijgelegen functies, de mate van uitbreidbaarheid en daarmee het type maatregel. Een constructieve oplossing bood uitkomst. Door te kiezen voor een relatief lange levensduur en een robuust ontwerp is de verwachting dat een toekomstige aanpassing beperkt nodig zal zijn.

#### 2.4.2

##### *Mate van robuustheid*

De mate van robuustheid laat zich moeilijk in algemene zin voorschrijven. Dit vergt een afweging. Hieronder zijn enkele gidsvragen gegeven die kunnen helpen bij die afweging:

1. Welke aspecten zijn sterk kostenbepalend? Heeft de keuze voor/minder robuustheid op die aspecten consequenties voor de oplossingsrichting/het VKA en bijbehorende kosten?
2. Welke componenten zijn moeilijk uitbreidbaar/aanpasbaar?
3. Als schades ontstaan, wat zijn dan de gevolgen en wat is het handelingsperspectief? Voorkom kettingreacties bij het bezwijken van een element. Als dit risico bestaat, voer dat element robuuster uit dan strikt noodzakelijk, zorg voor redundantie of materialen die ductiel bezwijken. Dit sluit aan bij de Eurocode-concepten waarbij plastisch gedrag van dragende elementen tijd en ruimte biedt voor interventie, zodat lokale schade niet leidt tot totale bezwijken van het systeem.
4. Wijkt het ontwerp sterk af van de gangbare praktijk of de keringen in het beheergebied?

### 3 Randvoorwaarden waterveiligheidsontwerp

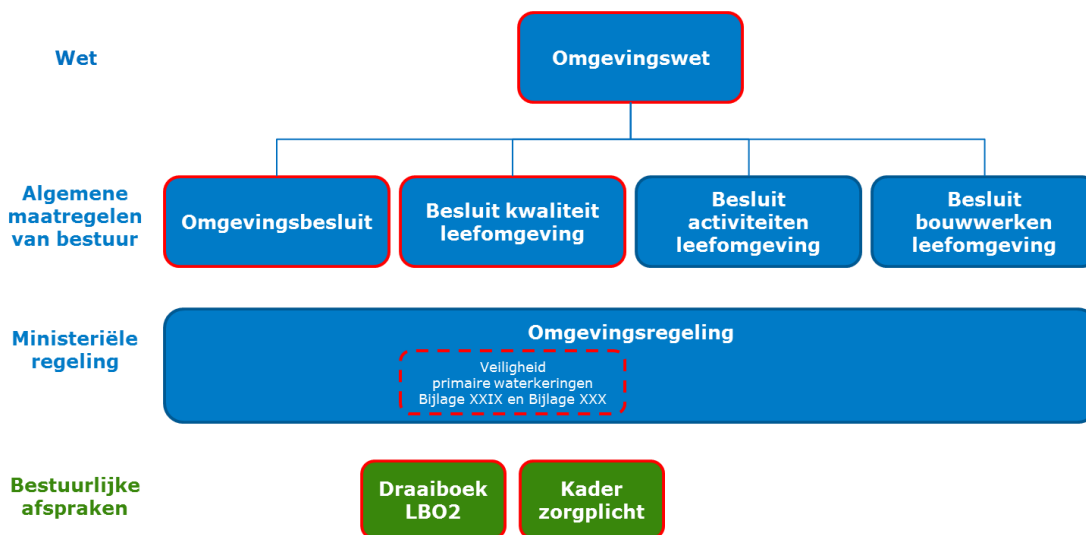
Naast randvoorwaarden die in de Omgevingswet zijn vastgelegd is er een aantal beleidsmatige randvoorwaarden voor het veiligheidsontwerp van een waterkering. De beleidsmatige randvoorwaarden in dit document betreffen afspraken die bijvoorbeeld op nationaal of alliantieniveau zijn gemaakt.

#### 3.1 Juridische randvoorwaarden

##### 3.1.1 Omgevingswet

De Omgevingswet is een stelsel van regels voor de fysieke leefomgeving. De fysieke leefomgeving omvat onder meer bouwwerken, infrastructuur, water, bodem, lucht, landschappen, natuur en cultureel erfgoed. In de Omgevingswet maken alle elementen uit de fysieke leefomgeving integraal onderdeel uit van visies en beleid.

De voorschriften met betrekking tot het bepalen van de veiligheid van de primaire waterkeringen vallen per 1 januari 2024 onder de Omgevingswet en de daarop berustende uitvoeringsregelgeving. Naast de Omgevingswet blijven de Waterschapswet en onderdelen van de Waterwet geldig. De regels voor het deltaprogramma, de deltacommissaris en het deltafonds blijven in de Waterwet. Ook de regels over heffingen en over de bekostiging van maatregelen voor primaire waterkeringen zijn onderdeel van de Waterwet.



Figuur 4: stelsel Omgevingswet.

In de Omgevingswet is met de algemene zorgplicht vastgesteld dat iedereen voldoende zorg moet dragen voor de fysieke leefomgeving en redelijkerwijs verplicht is om nadelige gevolgen voor de fysieke leefomgeving van zijn activiteiten te voorkomen of, als dat redelijkerwijs niet mogelijk is, maatregelen te nemen om de gevolgen te beperken.

In relatie tot de veiligheid tegen overstromingen zijn in de Omgevingswet algemene bepalingen opgenomen over primaire waterkeringen. De wet schrijft onder andere voor dat er een omgevingswaarde voor de primaire waterkeringen wordt vastgesteld.

De omgevingswaarden voor de veiligheid van Primaire waterkeringen zijn in bijlage II bij het Besluit kwaliteit leefomgeving opgenomen. De omgevingswaarden betreffen de maximaal toelaatbare overstromingskans per jaar, voor enkele trajecten faalkans. Ook is een signaleringsparameter opgenomen. Deze is niet van belang voor het veiligheidsontwerp omdat wordt ontworpen op basis van de maximaal toelaatbare overstromingskans.

De Omgevingswet, het Besluit bouwwerken leefomgeving en het Besluit activiteiten leefomgeving bevatten ook andere regels die relevant (kunnen) zijn voor primaire waterkeringen. Zo moet voor de aanleg, verlegging of versterking van een primaire waterkering een projectbesluit worden vastgesteld. Deze regels hebben geen betrekking op het veiligheidsontwerp en zijn daarom niet uitgewerkt in deze handleiding. (In het Omgevingsbesluit staan wel beperkingengebieden die van invloed zijn, bijvoorbeeld stroomgebiedsplannen en overstromingsrisicobeheerplannen.)

### 3.1.2 *Meerlaagsveiligheid*

Meerlaagsveiligheid is niet optioneel maar vigerend beleid welke in de wet is vastgelegd. Dat betekent dat het een verplichting is te onderzoeken hoe meerlaagsveiligheid invulling kan krijgen. Het meest geëigende moment hiervoor zijn de fasen voorafgaand aan het versterkingsproject: in regionaal beleid en/of de trajectaanpak (initiatiefase van een project), zie Figuur 5.

Deze handleiding gaat niet in op de maatregelen in laag 2 en 3 en de wijze waarop de uitwisseling tot stand kan komen.

Opgemerkt wordt dat een Ruimte voor de Rivier-project een maatregel in laag 1 kan zijn waarbij de hydraulische belasting wijzigt. Deze maatregel heeft echter geen gevolgen voor de eis aan de waterkering.

## 3.2 **Beleidsmatige Randvoorwaarden**

### 3.2.1 *Bijlage XXXIIB bij de Omgevingsregeling*

De randvoorwaarden die voor overstromingskansanalyses in bijlage XXXIIB voor beoordelen van primaire keringen zijn opgenomen gelden ook voor het veiligheidsontwerp. De randvoorwaarden in bijlage XXXIIB hebben met betrekking op:

- Het duiden van de overstromingskans
- Randvoorwaarden van het watersysteem
- Analyse faalmechanismen
- Onderbouwen overstromingskans

### 3.2.2 *Zichtjaar*

De bepaling van overstromings- of faalkansen vindt plaats voor de verwachte situatie op peildatum (zie paragraaf 2.3 bijlage XXXIIB). Bij de beoordeling is dat aan de situatie aan het eind van een beoordelingsperiode. Voor het veiligheidsontwerp is geen peildatum (voor ontwerpen verder: zichtjaar) voorgeschreven. Bij een partiele versterking, een kort cyclische ontwerpaanpak of

een strategie waarbij met kleine ingrepen langzaam naar de norm wordt toegegroeid kan geen eenduidige zichtjaar worden vastgesteld.

Om oplossingen met verschillende levensduren en/of grote verschillen in investerings- en B&O-kosten met elkaar te kunnen vergelijken is een LCC-analyse een handig hulpmiddel. Voor een LCC-analyse wordt bij projecten binnen het HWBP een analyseperiode van 100 jaar aangehouden (ofwel: kijk 100 jaar vooruit).

Bij integrale versterkingen wordt in praktijk vaak rekening gehouden met een levensduur van 50 jaar voor een groene kering, een levensduur van 100 jaar voor een constructie of orde 25 jaar bij kort-cyclische versterkingen. Bij dergelijke planperioden is de verwachte situatie in het zichtjaar moeilijker te voorspellen dan bij een beoordeling. Het is belangrijk om de mogelijke impact van autonome ontwikkelingen zoals morfologische ontwikkelingen, bodemdaling, verouderingsprocessen en klimaat te bepalen en mee te nemen in het veiligheidsontwerp. Zie ook het handboek Plan van Aanpak Verkenningfase en het document Handelingsperspectief Life Cycle Costing LCC HWBP-projecten.

### 3.2.3

#### *Klimaatscenario's*

Door de minister wordt het toe te passen klimaatscenario voor beoordelen voorgeschreven (zie paragraaf 3.12 bijlage XXXIIB bij de Omgevingsregeling. Het klimaatscenario kan bij nieuwe inzichten wijzigen.

Het klimaatscenario is verwerkt in de hydraulische databases die binnen het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium beschikbaar worden gesteld.

De verandering van het klimaat heeft op diverse manieren invloed op de hydraulische belastingen en sterkte van de kering. De keuze voor een klimaatscenario bepaalt daarmee mede de kans dat de verwachte levensduur wordt over- of onderschreden. Omdat een kortere levensduur over het algemeen minder acceptabel is dan een langere levensduur, kiezen we in een ontwerp meestal voor een wat pessimistischer klimaatscenario, zie hiervoor ook de ENW-adviezen [Omgaan met toekomstverwachtingen bij het ontwerpen](#) en [Omgaan met klimaatverandering in hydraulische ontwerpbelastingen voor waterkeringen](#).

Ten behoeve van het afleiden van hydraulische belastingen voor het veiligheidsontwerp heeft het Directoraat Generaal Water en Bodem (DGWB) beleid opgesteld.

## 4 Ontwerpproces

Het ontwerpen van een waterkering is vaak een creatief, complex en iteratief proces. Dit geldt zowel voor de technische uitwerking van het veiligheidsontwerp als voor de raakvlakken tussen het waterveiligheidsontwerp en de omgeving waarin de waterkering zich bevindt.

Dit hoofdstuk schetst het ontwerpproces vanuit het perspectief van het veiligheidsontwerp. Er wordt een overzicht gegeven van de te doorlopen fasen in het ontwerpproces, de betrokken rollen en de beslisvragen en doelen per ontwerpfase met betrekking tot het waterveiligheidsontwerp.

Voor een breder interdisciplinair overzicht van de activiteiten en doelen in de verschillende fasen van het ontwerpproces wordt verwezen naar de werkwijzers Verkenning en Planuitwerking voor HWBP-projecten

Daarnaast is er een Handreiking Trajectaanpak (Unie van Waterschappen) die zich richt op de fase voordat er sprake is van een dijkversterkingsproject.

### 4.1 Fasering van ontwerptraject

Om te komen tot een breed gedragen dijkversterking is het nodig om gefaseerd te werk te gaan.

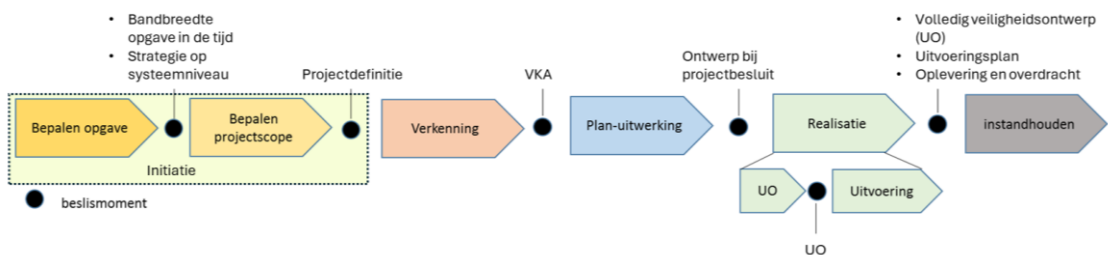
Voor HWBP-projecten wordt uitgegaan van de volgende fasen:

- Initiatie
  - Bepalen veiligheidsopgave
  - Bepalen ontwerpogave
- Verkenning
- Planuitwerking
- Realisatie
- Nazorg en instandhouding

Onderstaande figuren geven een beknopte beschrijving van de fasering en het ontwerpproces. Figuur 5 suggereert een lineair ontwerpproces, in werkelijkheid is het een iteratief proces. Figuur 6 geeft aan dat het ontwerpproces op verschillende niveaus plaats vindt waarbij aan het begin van een fase wordt teruggekeken of de randvoorwaarden uit de voorgaande fase een goed uitgangspunt vormen voor de volgende fase en aan het eind vooruit of het resultaat toepasbaar is voor een volgende fase. Het kan voorkomen dat een stap terug moet worden gezet. Om de kans op vertraging te verkleinen kan het zinvol zijn om vooruit te kijken naar volgende fasen. Soms is de doorlooptijd van een fase te kort om voldoende nauwkeurige informatie te verzamelen om een beslissing te nemen. Het kan dan verstandig zijn om in een eerdere fase al te starten met het verzamelen van informatie (zie ook hoofdstuk 6).

In het ontwerpproces gelden steeds de principes uit hoofdstuk 2.

De fasen zijn in het vervolg van dit hoofdstuk meer in detail beschreven vanuit het perspectief van waterveiligheidsontwerp.



Figuur 5: Ontwerpfasen van het bepalen opgave tot voorbij de realisatie

	Initiatie	Verkenning	Planuitwerking	Realisatie
niveau	Stelsysteem			
	Traject	Stelsysteemstrategie en projectdefinitie		
	Project		VKA	
	Dijkvak			Ontwerp bij projectbesluit
	Uitvoering			UO en uitvoeringsplan

Figuur 6: Ontwerpfasen en globaal detailniveau

#### 4.2 Diverse sleutelfiguren in het ontwerpproces rond waterveiligheid

Voor het goed toepassen van deze handleiding is het van belang dat de rollen van de verschillende betrokkenen helder zijn. Daarom worden de verschillende rollen in deze paragraaf verder beschreven.

##### De adviseur waterveiligheid

De adviseur waterveiligheid is hier een verzamelnaam voor technisch ontwerper, ontwerpend adviseur, specialist etc. Deze adviseurs, al dan niet onder leiding van een disciplineleider, maken een technische vertaling van de beslisvraag naar een concrete waterveiligheidsopgave. In de praktijk blijkt dat er verschillende keuzen worden gemaakt bij het omgaan met onzekerheid in informatie en nieuwe kennis en dat deze keuzen een belangrijke invloed kunnen hebben op de opgave. In het ontwerp dienen de argumenten bij dergelijke keuzen daarom transparant te worden uitgelegd en vastgelegd. De rol van de adviseur is het toeleveren van de juiste informatie op basis waarvan besluiten kunnen worden genomen. Om het besluitproces te helpen kan de adviseur een keuzestrategie voorbereiden. Deze strategie kan gebruikt worden bij de besluitvorming die vaak op een hoger niveau plaatsvindt, zoals binnen een integraal team of bij een overleg tussen project en beheerder.

##### De technisch manager

De technisch manager (TM) maakt vaak deel uit van het projectmanagementteam (of communiceert daar direct mee) en heeft in die hoedanigheid een verantwoordelijkheid ten aanzien van voor de planning, organisatie en controle van de technische onderdelen van het ontwerp. Via deze rol heeft de TM overzicht over de impact van het onderdeel techniek binnen het totale ontwerp en heeft daarmee zicht op de raakvlakken met andere disciplines zoals bijvoorbeeld omgeving en

planstudies. Afhankelijk van de wijze waarop het project is georganiseerd geeft de TM leiding aan één of meerdere teams. Denk bijvoorbeeld aan een team dat tekeningen en 3D-ontwerpen uitwerkt maar ook aan het team dat het waterveiligheidsontwerp uitvoert. De TM is daardoor betrokken bij de integrale ontwerpafwegingen om te komen tot een besluit en kan technische vraagstukken met veel impact agenderen en naar het juiste beslisniveau brengen. Daarbij is het omgaan met onzekerheden een belangrijk aspect. In hoofdstuk 6 wordt hier nader op ingegaan.

#### *Beheerder*

De beheerder heeft inzicht in de relatie tussen het ontwerp en het beheer en het beleid. De beheerder is intensief betrokken bij: het formuleren van technische randvoorwaarden; zaken die om besluiten vragen met projectoverstijgende consequenties; zaken die grote invloed hebben op beheer en onderhoud; zaken die invloed hebben of raken aan waterschapsbeleid.

#### *Oprachtgever*

De opdrachtgever zal vanuit de subsidievertrekking worden betrokken bij zaken die impact hebben op de kosten van de opgave. De opdrachtgever zal toetsen of het ontwerp en de afwegingen die daarbij gemaakt zijn voldoende doelmatig zijn.

### **4.3 Fasen en beslisvragen**

Tabel 1 geeft een globaal overzicht van de fasen in het ontwerpproces en de te beantwoorden vragen per fase. De vragen zijn generiek geformuleerd en worden voor ieder project doordacht en projectspecifiek gemaakt. In elke fase worden keuzes gemaakt die daarmee randvoorwaarden zijn voor de volgende fase. In elke fase wordt toegewerkt naar een besluit. Daarbij worden aan het begin van een fase uitgangspunten vastgesteld. De uitgangspunten betreffen startwaarden die gedurende de fase kunnen worden aangepast.

Tabel 1: Beslisvraag en besluit relevant voor veiligheidsontwerp

<b>Fase</b>	<b>Beslisvragen (Start van fase)</b>	<b>Hoofdbesluiten (Eind van fase)</b>
Initiatie: Bepalen veiligheidsopgave (systeemniveau, trajectniveau)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wat is de veiligheidsopgave?</li> <li>• Wat is de strategie op systeemniveau?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwachting en bandbreedte van opgave in de tijd.</li> <li>• Strategie op systeemniveau voor volgende fase</li> </ul>
Initiatie: Bepalen ontwerpogave (projectniveau)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welke projecten en maatregelen definieer ik en welke eisen stel ik daaraan?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maatregelen worden vastgesteld</li> <li>• De projectdefinitie wordt vastgesteld.</li> </ul>
Verkenning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welk detailniveau van het ontwerp behorende bij de verschillende alternatieven heb ik nodig om de keuze voor het voorkeursalternatief (VKA) te maken?</li> <li>• Wat is het VKA?</li> <li>• Wat is de maximale ruimtereservering behorende bij het VKA?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Er wordt besloten wat het VKA wordt.</li> <li>• Er wordt een ruimtereservering gemaakt op basis van het hoekpunten ruimtebeslag VKA.</li> </ul>
Planuitwerking	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wat is het benodigd ontwerp voor de Planuitwerkingsfase? (Locatie en vorm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwerp behorende bij projectbesluit wordt vastgesteld. Betreft het DO.</li> </ul>
Realisatie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komt de gerealiseerde waterkering verifieerbaar overeen met het ontwerp?</li> <li>• Is de overstromingskans voldoende klein tijdens realisatie en de beoogde levensduur?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voor start van bouw wordt een volledig veiligheidsontwerp voor alle onderdelen opgesteld, inclusief werkwijze, verificatie en beheersmaatregelen (o.a. hoogwaterveiligheid tijdens bouw)</li> </ul>
Nazorg en instandhouding	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Functioneren de gerealiseerde maatregelen als gepland? Zo niet, wat is het handelingsperspectief)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaststellen of ontwerp functioneert zoals gepland</li> <li>• Beheersmaatregelen vaststellen indien ontwerp niet goed functioneert.</li> </ul>

Een belangrijke vraag in elke fase is wanneer het ontwerp goed genoeg is. In het algemeen geldt: een ontwerp is ver genoeg uitgewerkt als meer informatie niet leidt tot een ander antwoord op de beslisvraag. Ofwel als de onzekerheden zodanig klein zijn dat het antwoord op de beslisvraag stabiel is. In de praktijk betekent dat, dat met behulp van gevoeligheidsanalyses wordt ingeschat welk effect andere informatie op het veiligheidsontwerp heeft in het licht van de beslisvraag die in de betreffende fase aan de orde is. Zie ook hoofdstuk 6 over het omgaan met onzekerheden, in het bijzonder 6.3.4.

Onderstaande paragrafen gaan per fase in op de wijze waarop de beslisvragen beantwoord kunnen worden op basis van output vanuit het veiligheidsontwerp.




#### 4.4 Bepalen veiligheidsopgave op trajectniveau

Startpunt voor het bepalen van de veiligheidsopgave is het resultaat van de beoordeling. De beoordeling beschouwt de overstromingskans op het moment van rapportage aan de Tweede Kamer. Voor het bepalen van de ontwerpogave is het nodig verder in de tijd te kijken.

In deze fase worden keuzes gemaakt over zaken die vroegtijdig in gang moeten worden gezet omdat ze een grote impact kunnen hebben op de planning en de opzet van een versterkingsproject. Daarbij kan gedacht worden aan het al dan niet overwegen van maatregelen in laag 2 en 3 van meerlaagsveiligheid, systeemmaatregelen of het vroegtijdig inzetten van een grootschalige of fundamentele onderzoeks- of monitoringscampagne om tot een scherpere veiligheidsopgave te komen, zoals het opzetten van een meetnet om het effect van hoogwater op de stijghoogte in de ondergrond te meten. Ook het onderzoek van mogelijkheden om gebiedsopgaven aan de veiligheidsopgave te koppelen is iets dat vroegtijdig moet worden opgepakt en dat een grote invloed kan hebben op het veiligheidsontwerp.

De Handreiking Trajectaanpak (Unie van Waterschappen) geeft richting aan de activiteiten die in deze fase uitgevoerd kunnen worden.

Tabel 2: Veiligheidsontwerp tijdens fase "Veiligheidsontwerp op trajectniveau"

<p><b>Beslisvragen:</b></p> <p>Wat is de veiligheidsopgave?</p> <p>Wat is de strategie op systeemniveau?</p>	<p><b>Besluiten:</b></p> <p>Besluit veiligheidsopgave wordt genomen waarin o.a. aangegeven wordt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verwachting en breedte van opgave in de tijd</li> <li>- Strategie op systeemniveau (maatregelen meerlaags veiligheid en bij preventie belastingreducerende maatregel of dijkversterking)</li> </ul>
<p style="text-align: center;"></p> <p><b>Benodigde informatie:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resultaten wettelijke beoordeling</li> <li>- Gegevens van systeem</li> <li>- Overzicht nieuwe kennis (landelijk)</li> <li>- Gegevens beheer en onderhoud en calamiteitenbestrijding</li> <li>- Gegevens sterkte en belasting, autonome ontwikkelingen</li> </ul>	<p style="text-align: center;"></p> <p><b>Ondersteuning besluiten:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Veiligheidsopgave in de tijd</li> <li>- Onderzoek kansrijkheid systeemmaatregelen vanuit waterveiligheid</li> <li>- Hoekpuntenanalyse ten aanzien van impact onzekerheden en nieuwe kennis</li> <li>- Duiding van onzekerheden, is scope stabiel?</li> </ul> <p style="text-align: center;"></p>

Voorbeeld impact van gebiedsontwikkeling op veiligheidsontwerp:

- Aanleg van nevengeulen (KRW-doelstelling) in de uiterwaarden van dijken in bovenrivierengebied en Noordelijke Maasvallei. Talrijke voorbeelden: Denk bijv. aan Gebiedsontwikkeling Well, Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum, Gebiedsontwikkeling Meanderende Maas, Dijkversterking Gorinchem Waardenburg, Gebiedsontwikkeling Grebbedijk, etc. Consequenties zijn groot: effect op sterkte (minder voorlandweerstand > STPH), effect op

materialisering (mogelijkheden onderzoeken van grondgestuurd ontwerpen met vrijkomende grond).



- Verleggen van leidingen, grondverwerving

#### **4.5 Bepalen projectscope (projectniveau)**

Deze fase omvat de overstap van trajectniveau naar projectniveau. Het doel van deze fase is om tot projectdefinities te komen. De projectbegrenzingsen hoeven daarbij niet overeen te komen met de trajectgrenzen. In onderstaand overzicht is een voorbeeld gegeven van te nemen besluiten voordat een dijkversterkingsproject van start gaat. De hardheid van deze besluiten is afhankelijk van de vraag of het traject wordt opgedeeld in projectgebieden en in welke mate de uitgangspunten, die in deze fase worden vastgelegd, effect kunnen hebben op andere projecten binnen hetzelfde of aangrenzende normtraject, zeker als de planningsen daarvan (deels) parallel lopen.

De Handreiking Trajectaanpak (Unie van Waterschappen) geeft richting aan de activiteiten die in deze fase uitgevoerd kunnen worden.

Tabel 3: Veiligheidsontwerp tijdens fase "Bepalen projectdefinitie"

<p><b>Beslisvragen:</b></p> <p>Welke projecten en (beheer-) maatregelen definieer ik en welke eisen stel ik daaraan?</p>	<p><b>Besluiten:</b></p> <p>De projectdefinitie wordt vastgesteld waarin o.a. wordt aangegeven:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- De projectbegrenzing</li> <li>- Wat de belangrijkste faalmechanismen zijn (drager van de opgave)</li> <li>- Of een rivierverruimende of meerlaagsveiligheid maatregel moet worden overwogen bij de afweging tussen alternatieven in de verkenningsfase</li> <li>- Eisen veiligheidsontwerp projectniveau (zie hs. 5)</li> <li>- Hydraulische belastingen</li> <li>- Wijze waarop wordt omgegaan met nieuwe kennis en onzekerheden</li> <li>- Wijze waarop wordt omgegaan met instandhoudingseisen</li> <li>- Zichtperiode t.b.v. LCC-analyse</li> <li>- Beleidsmatige randvoorwaarden omgaan met klimaatsverandering</li> <li>- Beleidsmatige randvoorwaarden</li> </ul>
<p style="text-align: center;"></p> <p><b>Benodigde informatie voor veiligheidsontwerp:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Besluiten uit vorige fase</li> <li>- De basisinformatie voor deze fase bestaat o.a. uit:</li> <li>- Gegevens belasting, incl. autonome ontwikkelingen (bv klimaat)</li> <li>- Gegevens sterkte (nieuwe onderzoeken)</li> <li>- Overzicht nieuwe kennis (landelijk)</li> <li>- Omgevingsopgave (bijvoorbeeld potentiële winlocaties) en meekoppelkansen</li> <li>- Meer specifieke informatie beheer, onderhoud en calamiteitenbestrijding</li> </ul>	<p style="text-align: center;"></p> <p><b>Ondersteuning besluiten vanuit veiligheidsontwerp:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gevoeligheidsanalyses nieuwe kennis gericht op drager van opgave</li> <li>- Eisen veiligheidsontwerp op projectniveau</li> <li>- Output wordt ondersteund door bijv. analyses naar:             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Impact onzekerheden belasting en sterkte</li> <li>o Impact nieuwe kennis</li> <li>o Impact instandhoudingseisen</li> <li>o Impact beleidsmatige randvoorwaarden</li> </ul> </li> <li>- Voorstel handelingsperspectief voor besluitvorming</li> </ul>

## 4.6 Verkenningfase

In de verkenningfase worden maatregelen en alternatieven globaal ontworpen en in het afwegingsproces getrechterd tot een voorkeursalternatief (VKA). Tabel 4 geeft voorbeelden van benodigde informatie en uit te voeren werkzaamheden om de beslisvragen in de Verkenningfase te beantwoorden vanuit de invalshoek van het veiligheidsontwerp.

Tabel 4: Veiligheidsontwerp tijdens de Verkenningfase

<p><b>Beslisvragen:</b></p> <p>Welk detailniveau van het ontwerp behorende bij de verschillende alternatieven heb ik nodig om de keuze voor het voorkeursalternatief (VKA) te maken?</p> <p>Wat is het VKA?</p> <p>Wat is de maximale ruimtereservering behorende bij het VKA?</p>	<p><b>Besluiten:</b></p> <p>Er wordt besloten wat het voorkeursalternatief wordt. Daarin is o.a. vastgelegd:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Type maatregel</li> <li>- Hoekpunten ruimtebeslag</li> <li>- Faalkanseis op doorsnedeniveau (zie hs. 5)</li> <li>- Wijze waarop is omgegaan met nieuwe kennis en onzekerheden</li> <li>- LCC-analyse inclusief beheer en onderhoudskosten</li> <li>- Voorstel omgaan met innovatieve maatregelen</li> </ul>
<p><b>Benodigde informatie voor veiligheidsontwerp:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Besluiten uit vorige fase</li> <li>- Het soort basisinformatie is vergelijkbaar met de vorige fase echter meer gericht op aanscherping NVA en gericht op de afweging tussen alternatieven</li> </ul>	<p><b>Ondersteuning besluiten vanuit veiligheidsontwerp:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Veiligheidsontwerp hoofdonderdelen van verschillende haalbare alternatieven voor afweging VKA</li> <li>- Bandbreedte in ruimtebeslag van de onderzochte alternatieven die wordt ondersteund door bijv. analyses naar:             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Impact onzekerheden belasting en sterkte</li> <li>o Impact nieuwe kennis</li> </ul> </li> <li>- Voorstel handelingsperspectief omgaan met onzekerheden en nieuwe kennis voor besluitvorming</li> <li>- Schatting dimensies en materialisering voor VKA kostenraming en gewenste vrijheidsgraden</li> <li>- Innovatiescan en beoordelen van innovaties vanuit waterveiligheidsontwerp</li> </ul>

4.7

**Planuitwerkingsfase**

In de Planuitwerkingsfase wordt het voorkeursalternatief verder uitgewerkt en aangescherpt. Daarbij worden afwegingen gemaakt op een groter detailniveau. In deze fase wordt gesproken over varianten (in plaats van alternatieven) binnen het voorkeursalternatief. De Handreiking Planuitwerking HWBP-projecten geeft een overzicht van de werkwijze op hoofdlijnen vanuit meerdere disciplines. Tabel 5 beschrijft enkele werkzaamheden die vanuit het veiligheidsontwerp die in deze fase kunnen worden uitgevoerd om de beslisvragen te beantwoorden en input te leveren aan de besluitvorming aan het eind van deze fase.



*Tabel 5: Veiligheidsontwerp tijdens de Planuitwerkingsfase*

<p><b>Beslisvragen:</b></p> <p>Wat is het ontwerp voor de Planuitwerkingsfase? (Locatie en vorm)</p>	<p><b>Besluiten:</b></p> <p>Het veiligheidsontwerp (hoofdonderdelen) wordt vastgesteld. Daarin is o.a. vastgelegd:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Locatie en vorm van de waterkering (zichtbare deel aan oppervlakte)</li> <li>- Dimensionering en materialisering van hoofdonderdelen ontwerp</li> <li>- Gemaakte keuze uit varianten</li> <li>- Bijstellen veiligheidseisen op doorsnedeniveau (zie hs. 4)</li> <li>- Wijze waarop is omgegaan met nieuwe kennis en innovaties</li> <li>- Acceptatie ondergrond-, rekenmodellen</li> <li>- Kostenraming op DO niveau</li> </ul>
<p><b>Benodigde informatie voor veiligheidsontwerp:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Besluiten uit vorige fase</li> <li>- De basisinformatie is vergelijkbaar met de vorige fase echter gericht op het dimensioneren van de functionele onderdelen van de waterkering die de vorm en kosten bepalen.</li> <li>- Nieuw type informatie: informatie gericht op de materialisering. In dit geval kan ook gedacht worden aan gegevens van het lokaal beschikbare materiaal en hergebruiksmogelijkheden</li> </ul>	<p><b>Ondersteuning besluiten vanuit veiligheidsontwerp:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Veiligheidsontwerp hoofdonderdelen (DO), hierbij worden vaak verschillende varianten onderzocht en wordt veiligheidsverificatie uitgevoerd</li> <li>- Bepalen ruimtebeslag (ook PvVR en beheergrenzen)</li> <li>- Bepalen eisen veiligheidsontwerp op doorsnedeniveau bij gekozen ontwerp</li> <li>- Dimensies en materialisering voor kostenraming DO worden ondersteund door bijv. analyses naar:             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Impact onzekerheden belasting en sterkte</li> <li>o Impact nieuwe kennis</li> </ul> </li> <li>- Voorstel handelingsperspectief omgaan met onzekerheden en nieuwe kennis voor besluitvorming</li> <li>- Impact van materialisering functionele onderdelen - detailniveau/vrijheidsgraden</li> <li>- Inventariseren resterende ontwerpopgave veiligheidsontwerp in realisatiefase</li> </ul>

## 4.8 Realisatiefase

In de Realisatiefase zijn de vrijheidsgraden van het veiligheidsontwerp beperkt. In deze fase worden verificatie-eisen afgeleid per functioneel onderdeel. Deze eisen moeten passend zijn bij de veiligheidseis van het betreffende functionele onderdeel. Tabel 6 beschrijft enkele werkzaamheden die vanuit het veiligheidsontwerp in deze fase kunnen worden uitgevoerd om de beslisvragen te beantwoorden en input te leveren aan de besluitvorming aan het eind van deze fase.

Tabel 6: Veiligheidsontwerp tijdens de Realisatiefase

<p><b>Beslisvragen:</b></p> <p>Komt de gerealiseerde waterkering verifieerbaar overeen met het ontwerp?</p> <p>Is de overstromingskans voldoende klein tijdens realisatie en de beoogde levensduur?</p>	<p><b>Besluiten:</b></p> <p>Voor start van bouw wordt een volledig veiligheidsontwerp alle onderdelen opgesteld. Dit omvat o.a.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensionering van alle onderdelen</li> <li>- Materialisering van alle onderdelen</li> <li>- Uitvoeringswijze</li> <li>- Verificatieplan realisatiefase</li> <li>- Handelingsperspectief bij non-conformance (beheersmaatregelen)</li> <li>- Protocol hoogwaterveiligheid tijdens realisatie</li> <li>- Eisen waterveiligheid tijdens realisatie</li> <li>- Monitoringsplan realisatiefase</li> <li>- Overdrachtdossier voor beheerfase (nazorg en instandhouding)</li> <li>- Beheerplan (ontwerper, uitvoerder)</li> </ul>
<p style="text-align: center;"></p> <p><b>Benodigde informatie voor veiligheidsontwerp:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Besluiten uit vorige fase</li> <li>- In deze fase is aanvullende informatie nodig die is gericht op detaillering van het veiligheidsontwerp. Geacht kan worden aan:             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Risico's in uitvoering die impact kunnen hebben op veiligheidsontwerp</li> <li>o Detailinformatie gericht op specifiek onderdeel van het ontwerp dat in vorige fase nog niet vastgesteld hoefde te worden</li> <li>o Detailinformatie bestaande waterkerende objecten</li> <li>o Detailinformatie niet-waterkerende objecten</li> </ul> </li> <li>- Informatie ten aanzien van amovatie met impact op waterveiligheidsontwerp</li> </ul>	<p style="text-align: center;"></p> <p><b>Ondersteuning besluiten vanuit veiligheidsontwerp:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Volledig uitgewerkt veiligheidsontwerp (UO): vorm, materiaal en uitvoering</li> <li>- Onderbouwing waterveiligheid tijdens uitvoering (koppelen aan monitoring)</li> <li>- Output wordt ondersteund door bijv. analyses naar:             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Verificatie-eisen per onderdeel kering (materiaal)</li> <li>o Eisen hoogwaterveiligheid tijdens uitvoering</li> <li>o Controle hoogwaterveiligheid tijdens uitvoering en koppelen met monitoring en beheersmaatregelen</li> </ul> </li> <li>- Voorstel handelingsperspectief bij non-conformance (beheersmaatregelen)</li> <li>- Overdrachtdossier waterveiligheid (beheer)</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitoring hoogwaterveiligheid tijdens uitvoering</li> </ul>	
---	--

Het is belangrijk om tijdens realisatie ontwerpwijzigingen bij te houden.

#### 4.9 Nazorgfase

De beheerfase waarin periodieke beoordeling plaatsvindt sluit aan op deze fase.

*Tabel 7: Nazorgfase*

<p><b>Beslisvragen:</b></p> <p>Functioneren de gerealiseerde maatregelen als gepland? Zo niet, wat is het handelingsperspectief)</p>	<p><b>Besluiten:</b></p> <p>Vaststellen dat ontwerp functioneert zoals gepland of vaststellen dat beheersmaatregelen moeten worden getroffen</p>
<p><b>Benodigde informatie in nazorgfase:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gegevens uit voorgaande fasen</li> <li>- Deze input wordt aangevuld met: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Gegevens controle metingen tijdens instandhoudingsfase</li> <li>o Monitoring en onderzoek tijdens instandhoudingsfase</li> <li>o Observaties tijdens beheer</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>Ondersteuning vanuit veiligheidsontwerp:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitoring aan omgevingswaarde</li> <li>- Analyses monitoringsgegevens</li> <li>- Nadere uitwerking van beheerplan met eisen en aandachtspunten voor instandhoudingsfase en beoordeling uitwerken van beheersmaatregelen indien nodig</li> </ul>

## 5 Veiligheidseisen en veiligheidsverificatie

### 5.1 Inleiding

Kernactiviteiten in het ontwerpproces zijn: 1) het afleiden van ontwerpseisen 2) het verifiëren of het ontwerp aan de gestelde eisen voldoet 3) het verifiëren dat het gerealiseerde werk overeenkomt met het ontwerp. Dit hoofdstuk gaat, na een korte introductie in deze inleiding, achtereenvolgens op deze activiteiten in.

#### 5.1.1 *Veiligheidseisen*

Iedereen in Nederland heeft recht op een minimaal beschermingsniveau tegen overstromen uitgedrukt in een kans op overlijden van 1/100.000 per jaar. Dit recht is in de wet vertaald in normen die de maximaal toelaatbare overstromingskansen per traject aangeven. Voor sommige trajecten wordt vanuit een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA), ongewenst groepsrisico of kritieke infrastructuur een kleinere toelaatbare overstromingskans voorgeschreven. De maximaal toelaatbare overstromingskansen zijn per traject als omgevingswaarde in de Wet vastgelegd.

Paragraaf 5.2 beschrijft de ontwerpseisen vanuit waterveiligheid. De wettelijke overstromingskansen eisen gelden voor een traject. Deze kunnen worden vertaald naar eisen voor onderdelen en mechanismen. Hiervoor worden verschillende methoden beschreven. Naast de wettelijke overstromingskansen eisen worden ook andere en soms dwingende (minimum)eisen gesteld vanuit nevenfuncties. Deze eisen kunnen invloed hebben op het ontwerp en worden behandeld in paragraaf 5.3.

#### 5.1.2 *Veiligheidsverificatie*

Het begrip 'veiligheidsverificatie' wordt in dit hoofdstuk breed gebruikt als het toetsen van het ontwerp aan de eisen. Dit geldt in de verschillende fases van het project. Uiteindelijk rond dit uit in een ontwerp welke aan de eisen voldoet voor de realisatiefase.

De ontwerpverificatie is er daarna op gericht om te verifiëren dat de uiteindelijke keringen eruit komen te zien conform ontwerp. Hier zijn procedures en lijsten voor welke niet verder uitgewerkt worden.

In de veiligheidsverificatie wordt getoetst of het ontwerp voldoet aan de overstromingskansen eisen. De basis voor de veiligheidsverificatie is een overzicht van gebeurtenissen die kunnen leiden tot overstromen. In de basis zijn dit de faalmechanismes. In een cyclisch proces van grof naar fijn wordt ingezoomd op de gebeurtenissen die de overstromingskansen bepalen. De vraag wanneer de uitwerking afdoende is, is deels afhankelijk van de beslisvraag die voorligt (zie hoofdstuk 4) en deels van de omgang met onzekerheden (hoofdstuk 6). De maatregelen en keuzes die worden gemaakt om overstromingskansen te reduceren worden vastgelegd. Eventuele nieuwe (ongewenste) gebeurtenissen die het gevolg zijn van gemaakte keuzes, bijvoorbeeld door de keuze voor een maatregel met onderdelen welke kunnen falen, worden aan het overzicht van gebeurtenissen toegevoegd. De verificatie is afgerond wanneer is onderbouwd dat de overstromingskans van het totaal aan gebeurtenissen kleiner is dan de vereiste overstromingskans.

Het uitgangspunt is een ontwerp op de initiële mechanismes zoals beschreven in Tabel 5.1 van Bijlage XXXIIB (Randvoorwaarden beoordeling) bij de Regeling. In het kader van robuust ontwerpen, zie paragraaf 5.2, worden vervolgmecanismen in

principe alleen meegenomen in het ontwerp als er onevenredige inspanning nodig is om aan de eisen te voldoen of als er een evidente bijdrage is die onderdeel is van de eindoplossing. Bijvoorbeeld voor een grasbekleding wordt de onderlaag doorgaans al meegenomen aangezien hier al veel kennis over is en dit veel uitmaakt voor de ontwerpdimensies. Als wel wordt ontworpen op vervolprocessen moet worden gekeken of het meenemen van vervolprocessen, en dus het accepteren van falen door het initiële mechanisme, niet leidt tot een ontwerp waarbij kortcyclisch (jaarlijks of elke paar jaar) grote schade ontstaat die leidt tot een onevenredige onderhoudsinspanning.

Voor de verschillende initiële mechanismen kunnen op basis van een standaard faalkansbegroting en lengte-effecten eisen worden afgeleid (zie paragraaf 5.2) en zijn er verificatieprocedures beschikbaar in de Technische Leidraden. Voor andere gebeurtenissen ligt dit meer bij de ontwerper. Paragraaf 5.4 beschrijft nader hoe het verificatieproces verloopt.

### 5.1.3

#### *Veiligheidseisen in verschillende fasen*

De keuzes met betrekking tot veiligheid worden volgens dezelfde structuur als in paragraaf 4.3 per fase samengevat in onderstaande tabel. Daarbij moet worden opgemerkt dat er nog verschillende gebeurtenissen zijn die wel moeten worden ondervangen, maar die niet expliciet een veiligheidseis krijgen op basis van de faalkansruimte. Bijvoorbeeld fouten in de uitvoering. Hoe hier mee om te gaan wordt verder uitgewerkt in paragraaf 5.3 en Hoofdstuk 6.

*Tabel 8: Veiligheidseisen in verschillende fasen*

<b>Fase</b>	<b>Beslisvragen</b>	<b>Veiligheidseisen per fase</b>
Bepalen veiligheidsopgave (systeemniveau, trajectniveau)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wat is de veiligheidsopgave?</li> <li>• Wat is de strategie op systeemniveau?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Overstromingskansnorm (faalkanseis traject)</li> </ul>
Bepalen ontwerpogave (projectniveau)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welke projecten definieer ik en welke eisen stel ik daaraan?</li> <li>• Welke faalmechanismen zijn er waar de waterkering niet aan voldoet?</li> <li>• Waar moet ik versterken?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faalkanseis op projectniveau (doorgaans gelijk aan overstromingskansnorm, als alleen geotechnische mechanismes spelen is hier optimalisatie in mogelijk, zie 5.2.5)</li> </ul>
Verkenning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welk detailniveau van het ontwerp behorende bij de verschillende alternatieven heb ik nodig om de keuze voor het voorkeursalternatief (VKA) te maken?</li> <li>• Wat is het VKA?</li> <li>• Wat is de maximale ruimtereservering behorende bij het VKA?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faalkanseis op doorsnede niveau (begroting en lengte-effect doorgaans afgeleid op trajectniveau en toegepast op projectniveau) of via assemblage onderbouwen dat aan overstromingskansnorm wordt voldaan.</li> </ul>
Planuitwerking	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wat is het ontwerp voor de Planuitwerkingsfase? (Locatie en vorm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alleen waar nodig, bijstellen faalkanseis op doorsnedeniveau *) of via assemblage onderbouwen dat aan overstromingskansnorm wordt voldaan.</li> </ul>

Realisatie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Komt de gerealiseerde waterkering verifieerbaar overeen met het ontwerp?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vertaling van ontwerpparameters naar verificatie-eisen (product- en uitvoeringsspecificaties)**)</li> </ul>
Nazorg en instandhouding	<ul style="list-style-type: none"> <li>Functioneren de gerealiseerde maatregelen als gepland? Zo niet, wat is het handelingsperspectief</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trajectfaalkanseis</li> <li>evt. bijstellen planperiode**)</li> <li>Calamiteitenbestrijding meenemen in onderbouwen veiligheid?**)</li> </ul>

Opmerking:

\*) In sommige gevallen kan de faalkansbegroting die in de verkenningsfase is vastgesteld in de planuitwerkingsfase bij worden gesteld wanneer duidelijk is welke maatregelen zijn gekozen. Bij voorkeur zodanig dat dit niet moeilijk omkeerbare keuzen beïnvloedt, zoals de keuze voor het VKA of het maximaal claimbare ruimtebeslag.

\*\*) Strikt genomen geen veiligheidseisen maar hier sterk aan gerelateerd.

## 5.2 Veiligheidseisen

### 5.2.1 Ontwerpen op basis van overstromingskans

Er zijn twee manieren om met overstromingskansen te ontwerpen, waarbij in beide gevallen centraal staat dat aan de overstromingskansnorm voor het traject wordt voldaan:

A. **Decompositie:** De eis voor het hele traject wordt 'van bovenaf' vertaald naar eisen per doorsnede en mechanisme.

B. **Assemblage:** De kansen per doorsnede worden 'van onderaf' samengevoegd tot een totale trajectkans die lager moet zijn dan de gestelde eis.

Deze methoden worden verder uitgelegd in paragraaf 5.2.2 en 5.2.3. Wanneer decompositie of assemblage toe te passen staat in paragraaf 5.2.4. In beide gevallen zijn nodig probabilistische analyses of het gebruik van kalibratie-relaties om de faalkans te bepalen op basis van semi-probabilistische verificaties.

### 5.2.2 A. Decompositie: faalkanseisen afleiden per doorsnede per mechanisme

In de decompositie aanpak worden doorsnede-eisen per mechanisme ( $P_{eis;dsn}$ ) bepaald als functie van de overstromingskansseis voor een traject ( $P_{eis}$ ). Dit kan via bijvoorbeeld door een faalkansbegroting en lengte-effect factoren te gebruiken:

$$P_{eis;dsn} = \omega \cdot P_{eis} / N_{dsn} \quad (4.1)$$

Dit staat verder uitwerkt in BOI (2023A). Hierin zijn twee zaken van belang: de faalkansbijdrage  $\omega$  van het betreffende initiële mechanisme en de lengte-effect factor  $N_{dsn}$ . Beide zijn afhankelijk van het te beschouwen faalmechanisme. De faalkansbijdrage van alle mechanismes is vastgelegd in een faalkansbegroting. In de handleiding Overstromingskansanalyse – Algemeen (BOI, 2023A) is een faalkansbegroting opgenomen. Dit resulteert samen met de lengte-effect factor direct in faalkanseisen per mechanisme per doorsnede op basis waarvan ontworpen

kan worden. De lengte-effectfactor verschilt per mechanisme, voor geotechnische mechanismes kan deze worden bepaald via:

$$N = 1 + a \cdot L / b \quad (4.2)$$

Waarin  $L$  de lengte van het traject is,  $a$  het deel van de lengte van het traject is wat bijdraagt aan de overstromingskans en  $b$  de zogenaamde equivalent onafhankelijke lengte. De bepaling van  $N$  per mechanisme staat in de handleiding Overstromingskansanalyse van het betreffende mechanisme, startwaardes staan gegeven in de bijbehorende katernen.

De startwaarden voor faalkansbijdrage en lengte-effect leiden voor een 'gemiddelde' situatie tot een economisch ontwerp. De startwaarden kunnen worden heroverwogen en aangepast aan de lokale situatie, wat in de praktijk ook gebeurt. Een niet optimale faalkansverdeling kan leiden tot een minder doelmatig, maar nooit tot een onveilig ontwerp. Hierbij wordt opgemerkt dat alleen grote veranderingen in de faalkansbijdrage significante impact hebben, bijvoorbeeld een faalkansbijdrage voor stabiliteit van 24% in plaats van 4% (ten koste van een strengere eis voor een ander mechanisme). Zoals verwoord in de Grondslagen (ENW, 2016): "Zo zal een verruiming of verkleining van een bijdrage aan de faalkansbegroting met bijvoorbeeld een factor twee nauwelijks merkbare consequenties in termen van dijkdimensies hebben."

Naast een faalkansbegroting zijn er ook andere manieren om eisen per vak per mechanisme te bepalen. Bijvoorbeeld door deze allemaal gelijk te stellen (en te verifiëren of deze uiteindelijk leidt tot een voldoende veilig ontwerp) of te optimaliseren met de veiligheidsrendementmethode, zie volgende paragraaf. Gedurende het ontwerpproces kunnen de eisen per doorsnede en mechanisme zo ook worden geëvalueerd en bijgesteld.

#### **Voorbeelden aanpassen faalkansbegroting en lengte-effect factoren**

De standaard aanpak kan worden geoptimaliseerd door bijvoorbeeld:

- Herverdelen faalkansbegroting (1): in geval bijvoorbeeld piping niet speelt in een traject of wordt 'wegontworpen' kan deze ruimte worden gebruikt voor een ander mechanisme.
- Herverdelen faalkansbegroting (2): in geval stabiliteit een veel groter effect heeft op de kosten van het ontwerp dan piping, kunnen deze faalkansruimtes worden geruild.
- Aanpassen lengte-effecten (1): in geval er kan worden onderbouwd dat maar een deel van het trajectgevoelig is voor een mechanisme, kan de parameter  $a$  hier op worden aangepast. Als via een maatregel een mechanisme wordt uitgesloten voor een deel van het traject, kan dit worden gebruikt om minder strenge eisen aan dit mechanisme te stellen in de rest van het traject.
- Aanpassen lengte-effecten (2): In het dijkversterkingsproject SAFE (Deltares, 2024) is onderbouwd hoe de trajectfaalkans direct ingeschat kan worden door het combineren (op basis van assemblage; manier B) van veel doorsnedeanalyses. Dit levert een veel lagere berekende kans dan het gebruik van de standaard lengte-effectfactoren.

In de faalkansbegroting staat standaard ook een post van 30% onvoorzien. Het wordt aanbevolen deze niet te veranderen. Zie ook paragraaf 5.4.4. Als er wordt ontworpen met vervolgmecanismen (zoals eerder genoemd is dit niet de

standaard), kan dit door te zorgen dat de combinatie van initieel- en vervolgmecanisme gezamenlijk voldoet aan  $P_{eis,dsn}$ .

### 5.2.3

#### *B. Assemblage: doorsnede kansen per mechanisme combineren tot trajectkansen*

Bij de assemblage-aanpak worden vooraf geen eisen gesteld aan doorsnedes. In plaats daarvan worden kansen per doorsnede en per faalmechanisme berekend en daarna met elkaar gecombineerd. Zo kun je zien of het hele traject aan de veiligheidseis voldoet, zonder het gebruik van een faalkansbegroting. Hierbij worden ook lengte-effecten meegenomen, maar dan op vak-niveau (in tegenstelling tot de  $a$  uit formule 4.2 welke geldt voor het traject; zie verder Deltares, 2024).

Assembleren vraagt wel om meer rekenwerk, want je moet soms verschillende ontwerpen proberen tot het goed is, hoewel de analyses eenvoudig zijn. Assembleren sluit goed aan bij het principe "eerst tekenen dan rekenen", zie paragraaf 2.3, waarin vooral wordt geverifieerd of een ontwerp aan de eisen voldoet. Een voordeel is verder dat je minder voorzichtig (conservatief) hoeft te zijn. Conservatieve keuzes op het gebied van lengte-effecten, combineren van mechanismes en het gebruik van kalibratierelaties kunnen vermeden worden. Dit leidt tot een doelmatiger ontwerp. Verder heeft assemblage als voordeel meer flexibiliteit in ontwerp en beheerkeuzes en is bruikbaar in alle processen binnen het waterkeringenbeheer. Als er één assemblagebestand is kunnen veranderingen (tijdens bijvoorbeeld beheer opgemerkt) direct verwerkt worden om het effect op de overstromingskans te bepalen. Zo wordt kan de omgevingswaarde in overeenstemming met de Omgevingsregeling gemonitord worden.

Deze aanpak vraagt assemblagetechnieken, waarmee je de kansen per doorsnede kunt combineren tot een kans voor het hele traject. Dit kan met geavanceerde software of met simpelere hulpmiddelen zoals Excel. In de handleiding overstromingskansanalyse - Algemeen (BOI, 2023A) en in de Rode Draad Assembleren (Adviesteam Dijken, 2024) is dit uitgewerkt.

Bij decompositie is een expliciete post onvoorzien opgenomen voor gebeurtenissen die niet in de rekenregels verwerkt zitten, zie ook paragraaf 5.4.4. Dit kan ook bij assemblage worden meegenomen, bijvoorbeeld door niet helemaal precies tot op de norm te ontwerpen. Wat ook weer aansluit bij het principe van robuust ontwerpen, zie paragraaf 2.4.

### **Veiligheidsrendement**

Een specifieke uitwerking van deze assemblage aanpak is de veiligheidsrendementmethode (VRM). VRM is een verfijning van het gebruik van assemblage. Deze methode kan worden toegepast voor de fase van scopebepaling en het opstellen van ontwerpeisen. Weeg af of kosten voor deze methode (o.m. tijd, geld, minder transparantie) opwegen tegen baten (o.m. scherpere scope, scherpere ontwerpeisen, lagere levensduurkosten).

De veiligheidsrendement methode (zie Klerk, 2020) is een aanpak waarbij dijkversterkingen op basis van het grootste rendement (verhouding kosten maatregel en risicoreductie door maatregel) worden ontworpen. De uitkomst is een lijst maatregelen per dijkvak die gezamenlijk zorgen voor een bepaalde benodigde maximaal toelaatbare faalkans. Met de VRM kan een economisch optimale veiligheidsopgave voor een project worden afgeleid. Deze projectscope is weergegeven per vak en mechanisme als een bepaalde faalkans, inclusief een kosten-optimale optie voor de versterking, die gecombineerd aan de trajecteis voldoen. Wanneer een traject in fasen (bijv. 3 deelprojecten) versterkt wordt, kan zo ook voor elk deelproject een doelbetrouwbaarheid worden bepaald.

#### 5.2.4

##### *Decompositie of assemblage?*

Zoals in voorgaande paragrafen verwerkt hebben decompositie en assemblage beide voor- en nadelen. Beide methodes kunnen in de verschillende projectfasen worden gebruikt en elkaar aanvullen. Decompositie heeft als grootste voordeel dat dit stabiliteit geeft en een beperkte hoeveelheid analyse nodig heeft aangezien er de eisen per mechanisme en per doorsnede worden vastgezet. Assemblage heeft als voornaamste voordelen dat deze meer flexibiliteit biedt bij de scopebepaling en verificatie van een ontwerp, en goed aansluit bij andere processen in de waterveiligheid.

Beide methodes hebben daarmee hun nut en kunnen naast elkaar worden gebruikt. Dit leidt tot de volgende suggesties voor het gebruik:

- Gebruik A Decompositie voor het bepalen van ontwerpdimensies van maatregelen als de scope stabiel is, er behoefte is stabiliteit in een complexe ontwerpomgeving en de faalmechanismen bepalend zijn voor de ontwerpdimensies. Decompositie geeft hier een eerste schot voor de boeg als er verder geen startpunt is voor het ontwerp. Dit is minder scherp dan op basis van assemblage maar, past goed binnen robuust ontwerpen (zie paragraaf 2.4) en levert stabiele randvoorwaarden.
- Gebruik B Assemblage voor het bepalen van de ontwerpogave binnen de trajectaanpak: welke vakken moeten worden versterkt om aan de eisen te voldoen. En daarnaast als de ontwerpogave voornamelijk wordt bepaald door andere overwegingen dan de faalmechanismen (eerst tekenen dan rekenen, zie paragraaf 2.3). Daarnaast kan assemblage worden gebruikt voor het verifiëren van het uiteindelijke ontwerp (planuitwerking en realisatiefase) en daarna voor het monitoren van de omgevingswaarde (nazorgfase). Ook is assemblage een handige methode om te kijken hoe ver de uiteindelijk gerealiseerde betrouwbaarheid af ligt van de eis.

Veiligheidsrendement kan in beide gevallen gebruikt worden voor een verfijning als de verwachting is dat dit tot een ander resultaat leidt.

Er is een voorbeeld uitgewerkt in de Handleiding Overstromingskansanalyse – Algemeen waarin op basis van assemblage en decompositie de scope en ontwerpeisen worden bepaald.

#### 5.2.5 *Delen van trajecten versterken*

Soms worden delen van een traject versterkt in een project. Het is dan de vraag welke eisen voor de delen van het traject gelden. Voor geotechnische mechanismen kan een normtraject opgeknapt worden waarbij de eis naar rato van de lengte verdeeld wordt (met verder de faalkansbegroting gelijk gehouden). Dit gaat echter niet goed voor meer waterstand gedreven mechanismes als graserosie van de kruin en het binnentalud. Voor deze gevallen kan de trajecteis per mechanisme als projecteis worden gebruikt.

#### 5.2.6 *Uitvoeringseisen*

Tijdens en vlak na de uitvoering kan de overstromingskans hoger worden door de werkzaamheden aan de waterkering. Dit wordt ook onderkend in de Grondslagen voor Hoogwaterbescherming (ENW, 2016). Dit betekent niet dat er lagere eisen gelden tijdens de uitvoering. Binnen DIV Macrostabieliteit<sup>4</sup> is een aanpak ontwikkeld om invulling te geven aan de veiligheidseisen tijdens uitvoering. Deze is gebaseerd op de volgende principes, namelijk:

- De veiligheid mag tijdens de uitvoering nooit lager worden dan de overstromingskans voorafgaand aan de versterking;
- Er is een periode van 4 jaar waarin de faalkans groter mag zijn dan de norm. Daarna moet de faalkans aan de norm voldoen.

Om aan de waterveiligheidseisen te voldoen betekent dit dat er aanvullende maatregelen nodig kunnen zijn in het kader van een hoogwateractieplan, zoals de mogelijke inzet van noodmaatregelen (inclusief bijvoorbeeld kleidepots), tijdelijke keringen rondom de dijk of andere beheersmaatregelen.

### 5.3 **Overige eisen**

#### 5.3.1 *Algemeen*

In de overstromingskansbenadering wordt gekeken naar de kans op een overstroming. Daarvan is doorgaans pas sprake bij het optreden van een bres. In dat geval is er per definitie sprake van zware schade aan de waterkering. De Wet stelt geen eisen aan de kans op schade, overslag of instroom zonder dat dit leidt tot een (te grote kans op) overstroming. Het is denkbaar dat de kans op een overstroming voldoende klein is, maar dat de kans op schade of substantiële overslag groot is (al is dit uiteraard meestal niet zo). Dat kan dan leiden tot het in de knel komen van nevenfuncties of onevenredig hoge onderhoudskosten. Het specificeren van een maximaal toelaatbare overstromingskans geeft dus niet altijd de garantie dat een nieuwe of versterkte waterkering op alle andere functies naar wens presteert. Daarvoor zullen soms aanvullende eisen aan het ontwerp gesteld moeten worden.

De Omgevingswet stelt, anders dan aan de maximaal toelaatbare kans op overstroming, geen concrete eisen aan het ontwerp van een waterkering. Ook uit het wettelijk kader van de zorgplicht volgen geen concrete ontwerpeisen, zoals aan de onderhoudbaarheid of begaanbaarheid van een waterkering, de mogelijkheden voor calamiteitenzorg en de beschikbaarheid van een weg op een dijk als evacuatie-route (zie ook paragraaf 3.1.2, die hangt af van de invulling van

<sup>4</sup> [Generiek - HWBP-Macrostabieliteit - Deltares Public Wiki](#)

meerlaagsveiligheid). De zorgplicht vereist ook niet dat een beheerder te allen tijde in staat is om noodmaatregelen te treffen en zo een overstroming te voorkomen. Eisen op het vlak van onderhoudbaarheid, begaanbaarheid en calamiteitszorg zullen dus - indien gewenst - afzonderlijk geformuleerd moeten worden. Dit is beleid van het waterschap en deze eisen kunnen de ontwerpafmetingen beïnvloeden. Uiteraard is het wel zo dat een nieuw ontworpen waterkering zodanig beheerd en onderhouden moet worden, dat aan de veiligheidseisen (en daarmee de onderliggende ontwerpuitgangspunten) wordt voldaan. Veronderstellingen die bij het ontwerp worden gedaan over de conditie van de dijk moeten immers stroken met de realiteit. Ter illustratie: als er in het ontwerp rekening gehouden is met een grasmat zonder schade, dan zal dat in de praktijk ook gerealiseerd moeten worden. Het kan dus voorkomen dat er bij het ontwerp veronderstellingen worden gedaan die eisen stellen aan het beheer en onderhoud, en vice versa.

Er zijn diverse methodes beschikbaar voor het systematisch identificeren en specificeren van ontwerpseisen. Een algemeen bekend voorbeeld is Systems Engineering. Specifiek voor thema's zoals beschikbaarheid en betrouwbaarheid kunnen RAMS-analyses behulpzaam zijn. Daarbij wordt systematisch gekeken naar de aspecten Reliability (betrouwbaarheid), Availability (beschikbaarheid), Maintainability (onderhoudbaarheid) en Safety (veiligheid). Door deze aspecten voor de verschillende onderdelen van de waterkering af te lopen, kan tot een complete set prestatie-eisen worden gekomen waar het ontwerp aan moet voldoen.

### 5.3.2 *Eisen vanuit andere functies*

Door wet- en regelgeving worden soms dwingende (minimum)eisen gesteld aan andere functies. Voorbeelden daarvan zijn (niet uitputtend):

- **Bouwbesluit:** dit is een regeling die voorschriften bevat waar bouwwerken zoals gebouwen aan moeten voldoen. Het Besluit bouwwerken leefomgeving geeft aan welke NEN-normbladen dwingend zijn voorgeschreven. De eisen voor nieuwbouw, verbouw en afkeur van gebouwen kunnen bijvoorbeeld dienen als basis voor het stellen van eisen aan de kans op schade aan belendingen.
- **Machinerichtlijn:** Deze richtlijn stelt eisen aan o.a. de personele veiligheid. Kunstwerken zoals sluizen en gemalen zijn machines in de zin van de Machinerichtlijn.
- **Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb):** een buisleiding voor het transport van gevaarlijke stoffen, zoals een hogedrukgasleiding, dient minimaal te voldoen aan de eisen uit het Bevb. Dit garandeert een minimale kans op '*loss of containment*'. Of daarmee ook wordt voldaan aan de overstromingskansnorm is echter nog niet gezegd, al is dit wel mogelijk.

In alle andere gevallen zal de beheerder zelf een passende en redelijke eis moeten formuleren. In principe kan door een beheerder elke eis worden gesteld, zolang deze maar niet strijdig is met wet- en regelgeving. In de tekstbox worden verschillende handvatten gegeven voor het formuleren van eisen als er geen sprake is van dwingende (wettelijke) voorschriften.

### Handvatten voor formuleren van eisen aan nevenfuncties

- Kijk welke prestaties voor nevenfuncties worden behaald als aan de overstromingskansnorm wordt voldaan. Zo kan bijvoorbeeld worden bekeken of de kans op wateroverlast aanleiding geeft tot zorg bij een dijkhoogte waarbij de kans op overstrooming door Gras Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB) voldoende klein is. Informatie over hoe om te gaan met waterbezwaar als gevolg van hoge golfoverslagdebieten is te vinden in een KPR-factsheet "Hoe om te gaan met waterbezwaar als gevolg van hoge overslagdebieten " [3].
- Kijk naar conventies. Er zijn bijvoorbeeld NEN-normbladen die niet door het Bouwbesluit zijn aangewezen of wettelijk zijn voorgeschreven voor bepaalde toepassingen, maar die wel breed worden toegepast. Een voorbeeld daarvan is het NEN-normblad voor kabels en leidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken (NEN 3651). Dit normblad is niet voorgeschreven door het Bouwbesluit of de Waterwet maar wordt door opdrachtgevers wel vaak voorgeschreven in contracten. Een ander voorbeeld is dat het gangbaar is om bij het ontwerp van wegen gebruik te maken van de bepalingen uit NEN-EN 1997-1 (Eurocode 7). Het aansluiten op conventies zal veelal weinig discussie opleveren.
- Kijk naar analogieën. Soms worden er in andere domeinen eisen gehanteerd voor soortgelijke ongewenste gebeurtenissen. Een voorbeeld zijn de normen voor wateroverlast door extreme neerslag. Deze kunnen dienen als referentieniveaus bij de beoordeling van de kans op wateroverlast door overslag.
- Kijk - specifiek voor de beschikbaarheid van de waterkering als evacuatie-route - naar de omstandigheden waaronder een evacuatie nog wel/niet in de rede ligt. Dit kan helpen om te onderbouwen of en onder welke omstandigheden het redelijk zou zijn om eisen te stellen aan de beschikbaarheid van de weg als evacuatie-route. Overigens stelt de Omgevingswet geen eisen aan de beschikbaarheid van evacuatie-routes. De onderbouwing van de evacuatiefracties die gebruikt zijn bij het opstellen van de normering zijn ook veelal op een hoger abstractieniveau (als fracties, niet specifiek op routes) uitgevoerd, zodat deze fracties niet gemakkelijk zijn te relateren aan specifieke wegen op dijken.
- Het KPR heeft een factsheet opgesteld over verkeersbelastingen in relatie tot macrostabiliteit<sup>5</sup>. Hierin is ook informatie opgenomen over verschillende typen verkeersbelastingen.

## 5.4 Veiligheidsverificatie

### 5.4.1 Algemeen

Zoals besproken in 5.1.2. gebruiken we hier de term veiligheidsverificatie om te bepalen of een ontwerp aan de veiligheidseisen voldoet. Dit geldt in elke fase van het veiligheidsontwerp. In de ontwerpverificatie wordt uiteindelijk getoetst of het gebouwde resultaat in overeenstemming met de eisen wordt gebouwd. De veiligheidsverificatie wordt hieronder besproken en richt zich dus vooral op het proces om tot een veilig ontwerp te komen. De basis voor de veiligheidsverificatie is een overzicht van gebeurtenissen die kunnen leiden tot overstrooming.

<sup>5</sup> Zie technische leidraden [artikel Verkeersbelasting en stabiliteit](#)

De belangrijkste kenmerken van de veiligheidssverificatie zijn:

1. Het ontwerpproces is **iteratief**. Verschillende fasen kunnen worden onderscheiden waarin beslissingen worden genomen. De uitgangspunten voor de beslissing uit een fase vormen de randvoorwaarden voor de volgende fase.
2. **Overzicht gebeurtenissen** aan de hand waaraan het veiligheidsontwerp wordt opgesteld en getoetst en zo nodig aangepast in het verificatieproces. Er zijn verschillende gebeurtenissen die de overstromingskans bepalen:
  - Faalmechanismen: gebeurtenissen die worden ingeleid door een trigger (extreme hydraulische belasting, neerslag, etc.) gevolgd door een initieel mechanisme en vervolgmecanismen, uiteindelijk leidend tot overstroming. Waarbij vervolgmecanismen zoals eerder opgemerkt meestal niet worden meegenomen in het ontwerp.
  - Overige gebeurtenissen die bepalen hoe de kering erbij ligt tijdens een hoogwatersituatie, bijvoorbeeld:
    - Gebeurtenissen die ertoe leiden dat de kering er anders bij ligt dan in het ontwerp is verondersteld, bijvoorbeeld door graverij. Als dit met beheer niet opgelost kan worden is een ontwerpmaatregel nodig.
    - Gebeurtenissen die tijdens uitvoering verkeerd kunnen gaan.

De gebeurtenissen kunnen op verschillende manieren worden ondervangen (uitvoeringscontroles, beheer, etc.) en vragen niet altijd een ontwerp oplossing. Het doel van deze stap is vooral om het overzicht te houden.

3. **Van grof naar fijn**. In elke ontwerpstep is het van belang om vooral te focussen op de gebeurtenissen die bepalend zijn voor de ontwerpbeslissing, waarbij naast impact op overstromingskans ook rekening wordt gehouden met andere relevante criteria die van invloed zijn op de beslissing. De "van grof naar fijn" aanpak betekent niet van conservatief naar aangescherpt maar vanuit ver uiteen liggende hoekpunten naar minder ver uiteen liggende hoekpunten. Een hoekpuntenanalyse richt zich daarbij op een beslisvraag, zie hoofdstuk 6.
4. **Vastleggen keuzes**. Om houvast te hebben moeten keuzes gedurende het ontwerpproces worden vastgelegd. Hier kan uiteraard op terug worden gekomen als de keuze niet goed uitpakt voor het ontwerp.

Voor dit hoofdstuk zijn vooral de gebeurtenissen en verificaties van belang, deze worden in de volgende paragrafen verder uitgewerkt.

#### 5.4.2

##### *Overzicht gebeurtenissen*

In paragraaf 5.1.2. is aangegeven dat het van belang is om een overzicht te krijgen van alle gebeurtenissen die de veiligheid van de waterkering beïnvloeden. Hieronder vallen de faalmechanismen (zie 5.4.3) en overige gebeurtenissen (zie 5.4.4). Er zijn methodes beschikbaar om dit gestructureerd te doen, zie bijvoorbeeld onderstaand blok en (DIV Piping, 2023), wat vooral voor innovatieve of complexere ontwerpen handig kan zijn. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen gebeurtenissen in Ontwerp, Uitvoering en Beheer. Het is van belang deze allemaal te beschouwen, aangezien ook uitvoering- en beheergebeurtenissen het ontwerp kunnen beïnvloeden.

### FMECA voor het omgaan met gebeurtenissen

Een zogenaamde Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA) is een methode die gestructureerd helpt om de veiligheid van een bestaande situatie of ontwerp te onderbouwen (niet om eisen af te leiden). Hierbij worden alle componenten gedefinieerd, de mogelijke faalmechanismen geïdentificeerd, de kans hierop en het effect bepaald, om te bepalen of een gebeurtenis relevant is (niet aan de eisen voldoet). Als dit het geval is kan een maatregel worden bepaald om de gebeurtenis wel aan de eisen te laten voldoen (zie Hoofdstuk 5). Dit resulteert in een lijst met alle gebeurtenissen en de benodigde maatregelen. Dit staat verder uitgewerkt in DIV Piping (2023). Het voordeel van de FMECA is dat je alle gebeurtenissen en maatregelen die nodig zijn overzichtelijk samenvat, wat de kans op het missen van gebeurtenissen of maatregelen verkleint.

Gebeurtenis S				A. Effect (onderbouwing)	B. Kans (onderbouwing)	C. Relevantie (onderbouwing)	Maatregel (onderbouwing)
#	Component (Functie)	Mogelijke falen	CAT	Beschrijving + inschatting P(F/S)	P(S) of kwalitatief	Op basis effect en kans. Verwaarloosbaar of opnemen in foutenboom.	
A	Granulair filter (water doorlaten, korrels tegenhouden)	A.1 Verstopping	B	Te hoge waterspanning, niet verwaarloosbaar effect	Grote kans	Meenemen in foutenboom	Monitoring
		A.2 Korrels doorlaten	O	Filter functioneert niet met piping als gevolg. Niet verwaarloosbaar effect	Verwaarloosbare kans bij goed ontwerp	Niet relevant als ontworpen volgens vigerende methodes	Ontwerpen als gesloten filter

#### 5.4.3 Verificatie faalmechanismen

In de Regeling (Tabel 4.1; Ministerie van I&M, 2022, Bijlage XXXIIB) is een lijst met initiële mechanismen opgenomen voor de verificatie van de relevante faalmechanismen.

Of de faalmechanismen aan de eisen voldoen kan worden onderbouwd via onder meer:

- Probabilistische analyse, zie bijvoorbeeld (BOI, 2023A)
- Semi-probabilistische analyses via de kalibratierelaties uit de handleidingen per faalmechanisme.

Voor vervolgmecanismen zijn er maar beperkt verificaties beschikbaar, het ontwerp richt zich doorgaans echter voornamelijk op het initiële mechanisme, zie 5.1.2.

#### 5.4.4 Verificatie overige gebeurtenissen

Er zijn naast de bekende faalmechanismes ook gebeurtenissen waarvan de verificatie niet is vastgelegd. Het kan bijvoorbeeld gaan om graverij of fouten in de uitvoering. In (DIV, 2023) worden voorbeelden gegeven hoe je verificaties van deze overige gebeurtenissen kan doen. En hoe je kan onderbouwen dat je aan de eisen voldoet. Bijvoorbeeld via ontwerp oplossing, monitoring of beheer. Het is aan de ontwerper om dit uit te werken en te onderbouwen, in Hoofdstuk 6 en in DIV (2023) worden hier verder handvatten voor gegeven.

Er worden niet direct kwantitatieve eisen gegeven voor de individuele overige gebeurtenissen. Het gaat er vooral om deze gebeurtenissen te identificeren en

aannemelijk te maken hoe ze in een voldoende kleine (verwaarloosbare) kansbijdrage resulteren. Binnen de standaard faalkansbegroting (methode decompositie) is 30% faalkansruimte gereserveerd voor overige mechanismen. Het wordt aanbevolen deze ongemoeid te laten zodat alle overige gebeurtenissen hierbinnen passen.

## 6 Omgaan met onzekerheden

### 6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe kan worden omgegaan met onzekerheden bij het opstellen van een veiligheidsontwerp van primaire waterkeringen. Onzekerheden komen in elke fase van het ontwerp voor. Het in dit hoofdstuk geschetste handelingsperspectief moet dan ook gelezen worden tegen de achtergrond van voorgaande hoofdstukken en geïntegreerd in elke stap van het ontwerpproces.

Voor het ontwerp is het integraal beschouwen van onzekerheden belangrijk. Dit betreft twee samenhangende onderdelen:

- Welke onzekerheden zijn er (overzicht!) voor het beantwoorden van de beslisvraag? Weten we voldoende voor de technische ontwerpkeuzes en het beantwoorden van beslisvragen die in een specifieke fase moeten worden genomen?
- Wat is de relatie van deze onzekerheden met randvoorwaarden vanuit inpasbaarheid, beheerbaarheid, maakbaarheid en toepasbaarheid. Is daarvoor meer informatie nodig (eis aan detailniveau)?

### 6.2 Soorten onzekerheden

De volgende soorten onzekerheden kunnen grote invloed hebben op het veiligheidsontwerp:

- Niet of beperkt reduceerbare onzekerheid: Met niet reduceerbare of inherente onzekerheid wordt bedoeld op zuiver toeval dat niet te reduceren is door nader onderzoek of gegevensverzameling. Het betreft bijvoorbeeld:
  - De kans op een hoge rivierafvoer of storm op zee. Voor deze onzekerheden wordt vaak gebruik gemaakt van statistiek.
  - Beperkt meetbare eigenschappen van de ondergrond die een grote invloed hebben op het faalmechanisme. Bijvoorbeeld het effect van heterogeniteit op piping. De voorspelkracht van beschikbare modellen is gelimiteerd, vaak omdat de kennis ontbreekt om een voorspelling te kunnen maken of omdat er geen verzameling aan goed gedocumenteerde praktijkcases beschikbaar is waarmee de modeluitkomsten kunnen worden vergeleken. Voor deze model- en schematisatieonzekerheden worden in het veiligheidsformat vaak praktische afspraken gemaakt in de handleidingen overstromingskansanalyse van de verschillende faalmechanismen.
- Reduceerbare onzekerheid:
  - Reduceerbare onzekerheid door ruimtelijke variabiliteit in combinatie met een beperkt aantal metingen: bijvoorbeeld variaties in opbouw van de ondergrond of de geometrie. Met onderzoek, zoals metingen of bureauonderzoek naar historische gegevens, kan de projectomgeving beter in kaart worden gebracht en kan deze onzekerheid worden verkleind. Opgemerkt moet worden dat, met name in de geotechniek, er grenzen zitten aan de mate waarin de onzekerheid over ruimtelijke variabiliteit redelijkerwijs met grondonderzoek kan worden teruggebracht.
  - Reduceerbare kennis- en modelonzekerheid: Er is sprake van kennis- en modelonzekerheid doordat de fysische werkelijkheid van een te beschouwen faalmechanisme sterk moet worden

vereenvoudigd met modellen. De modellen worden met de tijd verbeterd, bijvoorbeeld door validatie met praktijkproeven, en zullen daardoor vaak steeds beter in staat zijn om de werkelijkheid te voorspellen en daarmee de modelonzekerheid te verkleinen. Ook meer geavanceerde modellen kunnen leiden tot een afname van de modelonzekerheid, maar dat is geen vanzelfsprekendheid. Wanneer modelmatige verfijning wordt overwogen is het belangrijk om transparant te zijn over de meerwaarde ten aanzien van het terugbrengen van onzekerheden. Modellen die meer parameters verlangen kunnen ook weer meer onzekerheden introduceren. Wanneer validatie van deze modellen met praktijksituaties moeilijk is dan blijft het moeilijk te onderbouwen dat deze de werkelijkheid beter voorspellen.

- **Beleidsonzekerheid:** De normstelling van onze primaire waterkeringen is helder vastgelegd in wetgeving als resultaat van politieke besluitvorming. Keuzes ten aanzien van bijvoorbeeld afvoerverdeling, systeemmaatregelen of subsidiabiliteit (wie betaalt wat) zijn *randvoorwaarden* voor het ontwerpproces; daarom hoeven effecten van onzekerheden hierover niet meegenomen te worden in het veiligheidsontwerp.
- Ook vanuit de beheerder kunnen voorwaarden zijn gedefinieerd. Nationale, regionale en lokale voorwaarden kunnen wijzigen. Het is belangrijk om de impact van de onzekerheid over de deze randvoorwaarden op de beslisvragen in kaart te brengen en wanneer deze groot zijn te agenderen bij de opdrachtgever.

### **Begrenzings aan hoeveelheid informatie**

De onzekerheid in ruimtelijke variabiliteit kan in veel gevallen worden verkleind door meer onderzoek uit te voeren. Voor bepaalde parameters is de fluctuatieschaal echter dermate klein, dat de afweging ontstaat of aanvullend onderzoek nog opweegt tegen het verkleinen van de onzekerheid. Of dat de onzekerheid niet beter geaccepteerd kan worden. Denk daarbij bijvoorbeeld aan state parameters bij het bepalen van de schuifsterkte van een bodemlaag.

In de praktijk blijkt het bepalen van de faalkans per mechanisme voor een deel op schattingen en aannames te berusten. Dit kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van hiaten in beschikbare gegevens of het langzaam ontstaan van inzichten in de ruimtelijke variabiliteit van een parameter die een grote invloed heeft op een faalmechanisme.

### **Nieuwe kennis**

Door kennisontwikkeling komen we steeds meer te weten over sterkte, belasting en de modellen die het faalgedrag beschrijven. Nieuwe inzichten rond de fysica kunnen leiden tot aanpassing van modellen, denk bijvoorbeeld aan pipinggevoeligheid van getijdzanden (die aanzienlijk kleiner is dan voorheen werd verondersteld) of de sterkte van klei in de initieel onverzadigde zone (die in sommige gevallen laat zien dat er meer sterkte tegen een afschuiving aanwezig is dan voorheen werd verondersteld).

Het omgaan met nieuwe kennis maakt deel uit van de praktijk van dijkontwerpen. Dat betekent dat aan het begin van elke fase wordt aangegeven welke kennis wordt gebruikt bij het beantwoorden van de beslisvraag en aan het einde van elke fase wordt gecontroleerd of kennisontwikkelingen die niet zijn meegenomen impact hebben op het besluit. Toepassing van nieuwe kennis is per definitie

onzeker, bijvoorbeeld doordat er nog weinig ervaring mee is opgedaan. Er zijn hulpconstructen beschikbaar om de toepassing van nieuwe kennis te ondersteunen, zoals De Innovatieversneller of het Adviesteam Dijkontwerp.

Technische leidraden geven handvatten voor het schematiseren, modelleren en vaststellen van parameters voor het uitvoeren van (semi-)probabilistische analyses die worden gebruikt voor de veiligheidsverificatie of veiligheidsanalyse. In de praktijk blijkt dat er behoefte is aan een handelingsperspectief voor het omgaan met onzekerheden die samenhangen met de begrenzingen in onderzoeksinspanning die praktisch gezien in een projectfase geleverd kan worden en met onzekerheden die te maken hebben met het omgaan met nieuwe kennis. Het stappenplan in paragraaf 6.3 biedt hiervoor een generiek handelingsperspectief.

## **6.3 Generieke stappen voor omgaan met onzekerheid**

### **6.3.1 Stappen**

Het handelingsperspectief voor omgaan met onzekerheid wordt aan de hand van de volgende stappen beschreven:

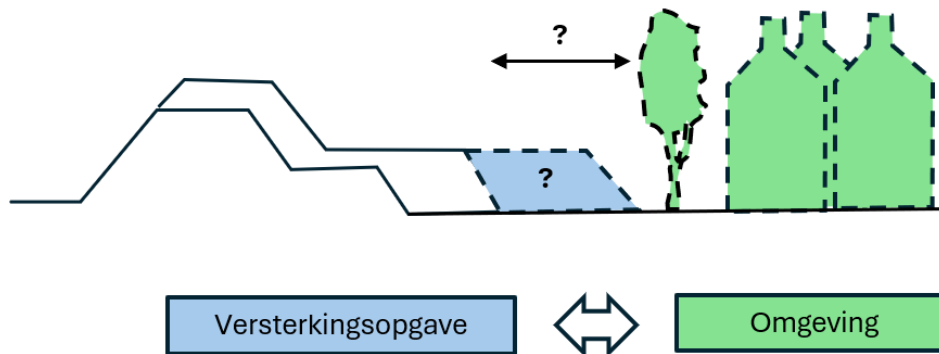
1. Formuleren van beslisvraag
2. Inventariseren onzekerheden
3. Impact van onzekerheid op beslisvraag
4. Keuzestrategie
5. Besluit (beantwoording van beslisvraag)

### **6.3.2 Formuleren van de beslisvraag**

Het centraal formuleren van een beslisvraag is een belangrijk principe in *mindset* bij het waterveiligheidsontwerp. "Centraal" betekent bijvoorbeeld:

- Breed gedragen binnen de diverse disciplines van het project;
- In nauwe afstemming met beheerder en programmadirectie HWBP.

In hoofdstuk 4 is ingegaan op de beslisvragen die in de verschillende fasen van het veiligheidsontwerp van belang zijn, deze vragen zijn algemeen. Het is belangrijk om de beslisvragen projectspecifiek te maken en vroegtijdig en scherp te formuleren. Redeneer daarbij zowel vanuit de versterkingsopgave als vanuit de impact van de opgave op de omgeving. Denk bij dat laatste aan zaken als inpasbaarheid, impact op kosten, impact op ruimtelijke kwaliteit, rivierkundige impact etc.



*Figuur 7: Versterkingsopgave en impact op omgeving*

Het detailniveau waarop beslisvragen worden geformuleerd en beantwoord is afhankelijk van de fase waarin het project zich bevindt. Maar ook binnen een fase zal het gewenste detailniveau gaandeweg kunnen veranderen. Denk aan beslisvragen ten aanzien van systeemmaatregelen of, en soms tegelijkertijd, beslisvragen die gericht zijn op de impact op dijkvakniveau. Het is wenselijk om al snel inzicht te hebben in knelpunten die bepalend zijn voor de opgave en dimensionering. Bijvoorbeeld een dijk die aan weerszijden bebouwing heeft waardoor weinig ruimte beschikbaar is voor brede dijken.

Het helpt daarbij om deze zaken ook te visualiseren op kaart zodat bij de verschillende teams helder is waar beslisvragen spelen.

Onderstaande praktijkvoorbeeld laat zien dat de werkwijze rond omgaan met onzekerheden ook procesmatige eisen stelt aan een project.

#### **Voorbeeld impact op organisatie van project**

Bij een project langs de zuidelijke Maasoever is de aanpak rond het omgaan met onzekerheden, zoals beschreven in de Handreiking Veiligheidsontwerp, al lerend toegepast in de Verkenningsfase. Het technisch team van het project heeft met een hoekpuntenanalyse de impact van onzekerheden en kennisleemtes in kaart gebracht. De vraag over hoe om te gaan met deze onzekerheden had men in de beginfase nog niet zo scherp. De beslisvragen en doelstellingen werden gaandeweg specifieker. Het vooraf formuleren van expliciete beslisvragen is een leerpunt geweest. Het uitstippelen van de route naar omgaan met onzekerheden is in een project namelijk cruciaal. Je zult hiermee rekening moeten houden bij de organisatie van het project. Dat kan bijvoorbeeld betekenen dat de organisatie en planning anders zijn dan men gewend was. Hierbij kan gedacht worden aan: meer ruimte bieden voor het gezamenlijk formuleren van beslisvragen; het inplannen van meer tussentijdse beslismomenten; het rekening houden met opschaling van het besluit naar het juiste niveau wanneer slepende discussies over nieuwe kennis en moeilijk reduceerbare onzekerheden dreigen te ontstaan.

### 6.3.3 *Inventariseren van onzekerheden*

De beantwoording van een beslisvraag is afhankelijk van de informatie of kennis die op dat moment beschikbaar is en van de inzichten die er bestaan rond het te beschouwen faalmechanisme. Inventariseer de onzekerheden die een belangrijke invloed kunnen hebben op de uitkomst van de beslisvraag. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van ervaring uit het ontwerpteam, ervaring vanuit de beheersorganisatie en van het landelijk overzicht van nieuwe kennis.

**Landelijk overzicht nieuwe kennis en impact onzekerheden**

Informatie hierover kan ingewonnen worden via de Release-kalender van het BOI en de Innovatieversneller.

Formuleer vervolgens de onzekerheden in scenario's of verdelingen en geef aan wat een realistische schatting zou kunnen zijn van de beoogde parameter (basisschematisering) en binnen welke marge (onder- en bovengrens) deze zou kunnen afwijken van de schatting in een gevoeligheidsanalyse.

### 6.3.4 *Impact van onzekerheid op beslisvraag*

Het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse helpt bij het verkrijgen van inzicht in het effect dat een onzekerheid heeft op de beslisvraag. Een gevoeligheidsanalyse kan bijvoorbeeld laten zien in welke mate de dimensie van een versterkingsmaatregel wordt bepaald door kennis of een parameter, waarvan de waarde (nog) erg onzeker is.

Deze analyse wordt in het BOI een hoekpuntenanalyse genoemd. De hoekpuntenanalyse kan kwalitatief worden uitgevoerd maar wordt vaak ondersteund met modelberekeningen. De hoekpunten van de uitkomst worden in kaart gebracht en leveren informatie voor het beantwoorden van de beslisvraag. In een hoekpuntenanalyse worden de parameters gevarieerd waarvan de onzekerheid een impact kan hebben op de beantwoording van de beslisvraag. Nagegaan moet worden of het verkleinen van de onzekerheid van de betreffende parameter nodig is om een stabiel antwoord te kunnen geven op de beslisvraag.

Bij het bepalen van de impact op de beslisvraag geldt het principe "denk breed" op verschillende manieren:

- Beschouw de onzekere parameter niet geïsoleerd maar de beschouw deze in samenhang met alle andere onzekere parameters of modelkeuzen die een rol spelen bij het te beschouwen faalpad. Kijk daarbij ook uit voor *cherry picking*: richt het onderzoek niet alleen op potentiële meevallers, maar weeg ook potentiële tegenvallers mee.
- Beschouw bij de impact van de onzekerheid ook de impact op het totale ontwerp. Kijk daarbij ook naar de andere faalmechanismen en het ontwerp van bijbehorende maatregelen.

De hoekpuntenanalyse zelf geeft geen direct antwoord op de beslisvraag maar brengt de bandbreedte van het ontwerp in kaart. Hiermee kan duidelijk worden gemaakt of een keuze bepalend is voor de beslisvraag die op dat moment voorligt. Dit betekent dat het detailniveau van de hoekpuntenanalyse per faalpad en per oplossing sterk kan verschillen.

### **Voorbeeld detailniveau hoekpuntenanalyse**

Om te bepalen of bebouwing op 5 meter van de teen gespaard kan worden is het wellicht niet nodig om te weten of een pipingberm 40 of 60 meter lang moet worden, maar wellicht wel wat de minimale opstelruimte tijdens de uitvoering is voor een heistelling van een kwelscherm. In dat geval is het dus van belang om te weten of er wel of geen pipingopgave is.

In een hoekpuntenanalyse worden achtereenvolgens de volgende stappen doorlopen:

- Het selecteren van parameters waarvan verwacht wordt dat de onzekerheid een relatief grote invloed kan hebben op de faalkans of het ontwerp. Voor deze selectie is kennis en ervaring over het mechanisme en de parameter van belang.
- Het schatten van de meest aannemelijke waarde van de te onderzoeken parameter<sup>6</sup> als referentie voor de hoekpuntenanalyse, zie uitgelicht.
- Het schatten van een onder- en/of bovengrens van de te onderzoeken parameter. Of een onder- dan wel bovengrens wordt beschouwd hangt af van de beslisvraag die voorligt.
- Het samenstellen van realistische scenario's waarmee de hoekpunten worden verkend, te beginnen met de set van meest aannemelijke parameterwaarden. In plaats van daarna achtereenvolgens de invloed van iedere parameter afzonderlijk te beschouwen kan het efficiënter zijn om voor het beantwoorden van de beslisvraag de gevoeligheid van combinaties van parameteruitersten te bekijken. Hoe meer parameteruitersten worden geclusterd hoe verder de berekende hoekpunten uiteen liggen, maar ook hoe minder berekeningen nodig zijn. Let bij het combineren van parameteruitersten ook op logische correlaties tussen parameters.

### **Aannemelijke waarden als referentie**

Kies bij een hoekpuntenanalyse aannemelijke waarden als referentie en niet een combinatie van parameters die aan de uiterste randen van de onzekerheidsband zit. Kies dus een referentie die past bij a-priori verwachtingen, gebruik daarbij deskundigheid en ingenieursgevoel en besef dat modellen en parameters slechts een benadering van de werkelijkheid zijn en zijn ontwikkeld en gevalideerd voor een bepaald geldigheidsgebied.

Het is af te raden om voor de hoekpuntenanalyse een referentie te kiezen van parameterwaarden die stuk voor stuk aan de conservatieve kant van de bandbreedte zitten en waarbij het totaal niet meer past bij verwachtingen en gevoel. In dat geval krijg je geen goed beeld van de impact van onzekerheden op het geheel en start de redentatie heel erg vanuit het uitsluiten van alle individuele onzekerheden (op parameterniveau). Dat staat haaks op de grondslagen van onze overstromingskansbenadering die juist het "aannemelijk maken op basis van de kennis die we hebben" centraal stelt.

Bij de hoekpuntenanalyse gaat het er om een beeld te krijgen van de impact van onzekerheden en daarbij is van belang in hoeverre onzekerheden verkleind kunnen worden (bijvoorbeeld door onderzoek of metingen of andere keuzen). Het

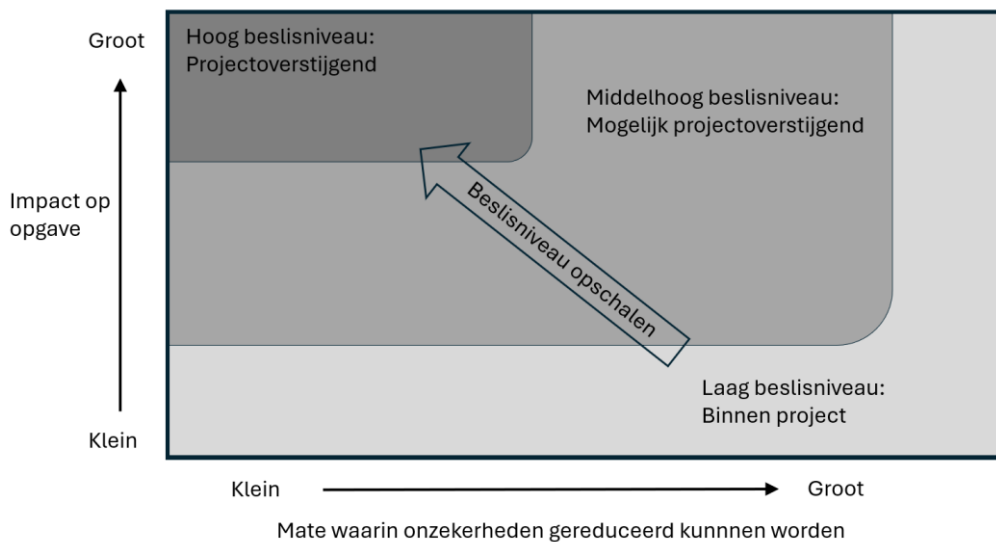
---

<sup>6</sup> Let wel het gaat daarbij om de waarde van de parameter waarmee het model moet worden gevoed. Dus als het model bijvoorbeeld vraagt om een karakteristieke waarde dan gaat het in de hoekpuntenanalyse om een schatting van de meest aannemelijk waarde, de onder- en/of bovengrens van deze karakteristieke waarde.

is dan goed denkbaar dat juist bij de keuze van de referentie-uitgangspunten anders wordt omgegaan met reduceerbare onzekerheden dan met niet-reduceerbare onzekerheden.

### 6.3.5 Keuzestrategie en nemen van een besluit

Het nemen van een besluit over het omgaan met onzekerheden is onder andere afhankelijk van de impact van de onzekerheid op de beslisvraag en de mate waarin onzekerheden kunnen worden verkleind. Dit wordt in Figuur 8 geïllustreerd.



Figuur 8: Mate van onzekerheid en impact op opgave

Toelichting bij figuur:

- Hoog beslisniveau: Wanneer de impact van de onzekerheid groot is en de onzekerheid moeilijk reduceerbaar is door aanvullend onderzoek binnen het project dan zal het besluit het karakter hebben van een afspraak. Deze afspraak zou op een hoog beslisniveau gemaakt moeten worden. Vragen als:
  - Hoe werkt de afspraak door bij andere projecten?
  - Hoe past de afspraak bij het beleid van het waterschap?
  - Welke landelijke kennisontwikkeling speelt er rond deze onzekerheid?
  - Komt er binnenkort nieuwe kennis beschikbaar waarmee de onzekerheid verkleind wordt?
  - Is het ontwerp voldoende adaptief als later mocht blijken dat de gemaakte keuze toch te optimistisch was?
  - Past de keuze bij een *no-regret* gedachte?
  - Wordt de subsidieverstrekker voldoende betrokken in de besluitvorming?
- Laag beslisniveau: Wanneer de impact op de beslisvraag beperkt is dan is opschaling naar een hoger niveau minder relevant. Voor moeilijk reduceerbare onzekerheden ligt het dan voor de hand om behoudende keuzen te maken en voor sterk reduceerbare onzekerheden zal de keuze afhankelijk zijn van een afweging tussen kosten en baten in de fase van het project.

- Middelhoog beslisniveau: Wanneer de impact van de onzekerheid groot is maar wanneer de onzekerheid wel reduceerbaar is, dan is het evident om de onzekerheid te reduceren. De mate waarin de onzekerheid dient te worden verkleind zal breder moeten worden afgewogen, waarbij vaak de beheerder en subsidieverstrekker betrokken worden.

#### **Voorbeeld van "beslissingen op juiste niveau"**

Hieronder staat een voorbeeld van een keuzedilemma van een adviseur uit een technisch team. In de betreffende situatie is sprake van een onzekerheid die grote impact heeft op de versterkingsopgave en waarbij de onzekerheid zelf reduceerbaar is door intensief onderzoek (onzekerheid B in bovenstaande figuur). De adviseur bespreekt dit met de technisch manager van het project en samen komen ze op het volgende keuzen:

1. Meer onderzoek en nadere analyse uitvoeren om de onzekerheid te verkleinen.
2. De onzekerheid vertalen in veilige uitgangspunten zonder intensief vervolgonderzoek en daarop ontwerpen.
3. Uitstellen van opgave voor het betreffende faalmechanisme. Hierbij horen afspraken zoals: omgaan met zorgplicht (Hoe wordt veiligheid gecontroleerd? Welke beheersmaatregelen moeten worden getroffen? Welke afstand tot de norm is acceptabel?)

De technisch manager werkt de consequenties van de keuzen uit en bespreekt deze met het integraal ontwerpteam, en vervolgens met de beheerder en de subsidievertrekker. Andere projecten bij hetzelfde waterschap worstelen met een vergelijkbaar beslisprobleem. Er wordt voor gekozen om het intensieve onderzoek in te zetten en de kennis op meerder projecten toe te gaan passen. Hierover wordt ook advies gevraagd bij landelijke experts.

Dit is slechts een voorbeeld. In een andere situatie zou een andere keuze kunnen worden genomen. Met dit voorbeeld wordt aangegeven dat besluiten over het omgaan met onzekerheden die grote impact kunnen hebben, op het juiste niveau genomen moeten worden.

Een goede onderbouwing is van belang voor het nemen van een besluit over het omgaan met nieuwe kennis. Kijk daarbij over de grenzen van het project naar landelijke beschikbare kennis. Stel daarbij vragen zoals:

- Hoe is in andere projecten omgegaan met deze onzekerheid? Is er een landelijk handelingsperspectief voor omgaan met deze onzekerheid?
- Wat is de terugvaloptie als toekomstige kennisontwikkelingen leiden tot onverwachte resultaten? Loopt er landelijk onderzoek of kan daarop worden aangevuld wanneer uitstel van beslissing mogelijk is?

#### 6.3.6

##### *Verschillende partijen en rollen*

Het technisch team (adviseur waterveiligheid en de technisch manager) hebben vaak het eerste inzicht in het effect van onzekerheden op de versterkingsopgave. Vaak is het de rol van de technisch manager om dit te communiceren naar de beslissers binnen het integrale projectteam, de beheerder of de opdrachtgever. De werkwijze vergt inzicht in het besluitvormingsproces en een proactieve rol van zowel de adviseur waterveiligheid als van de technisch manager als lid van het managementteam en/of het integraal ontwerpteam, zie hoofdstuk 4.

In Tabel 9 is een voorbeeld gegeven van partijen die betrokken kunnen zijn bij het komen tot een besluit over het omgaan met onzekerheden die relatief grote invloed hebben op het veiligheidsontwerp. Het is van belang dat deze partijen betrokken zijn bij de ontwikkeling van de keuzestrategie.

*Tabel 9: Betrokkenheid verschillende partijen bij omgaan met onzekerheden*

	<b>Technisch team</b>	<b>Integrale projectteam, Beheerder, Opdrachtgever</b>	<b>Landelijke expertise</b>
1. Formuleren beslisvraag	X	X	(X) Adviserend
2. Inventariseren van onzekerheden	X Onzekerheden versterkingsopgave	X Onzekerheden impact omgeving	(X) Adviserend
3. Impact op beslisvraag	X	X	-
4. Keuzestrategie	X Aanleveren beslisinformatie, advies handelingsplan	X Integrale afweging omgaan onzekerheden	(X) Advies, overzicht onzekerheden, handelingsperspectief, Rijpheid van kennis
5. Beantwoording beslisvraag	-	X	-
X Deze partij heeft hier actieve rol (X) Deze partij heeft mogelijk een rol (desgevraagd) - Deze partij heeft hier in principe geen rol			

## 7 Bronnen

BOI (2023A). [Handleiding Overstromingskansanalyse – Algemeen](#). Juli 2023

BOI (2023B). [Handleiding Overstromingskansanalyse dijken/dammen Deel 2: Piping](#). December 2023

Deltares (2024). Bepalen van realistische trajectfaalkansen voor piping en macrostabiliteit - Analyses t.b.v. dijkversterking SAFE. Deltares rapport 11208407-002-ZWS-0001, 2 februari 2024

[DIV Piping \(2023\). Veiligheidsraamwerk innovatieve pipingmaatregelen. W. Kanning en S. Rikkert. 21-12-2023.](#)

ENW (2017). [Grondslagen voor Hoogwaterbescherming](#). Tweede herziene druk.

Ministerie I en M (2022). [Regeling van de Minister van Infrastructuur en Waterstaat, van 12 november 2022, nr. IENW/BSK-2022/237672](#),  
Tot wijziging van de Omgevingsregeling in verband met het vaststellen van regels over de monitoring van de omgevingswaarden voor de veiligheid van de primaire waterkeringen en een juridisch-technische aanpassing

Programmadirectie HWBP (2017) Werkwijzer verkenning HWBP-projecten

Programmadirectie HWBP (2014) Handreiking planuitwerking HWBP-projecten

Unie van Waterschappen [Handreiking trajectaanpak](#) september 2018



**BOI**



Rijkswaterstaat  
*Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat*

**Deltares**