Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Technische Leidraad Grondslagen voor hoogwaterbescherming

24 november 2026

Inhoudsopgave

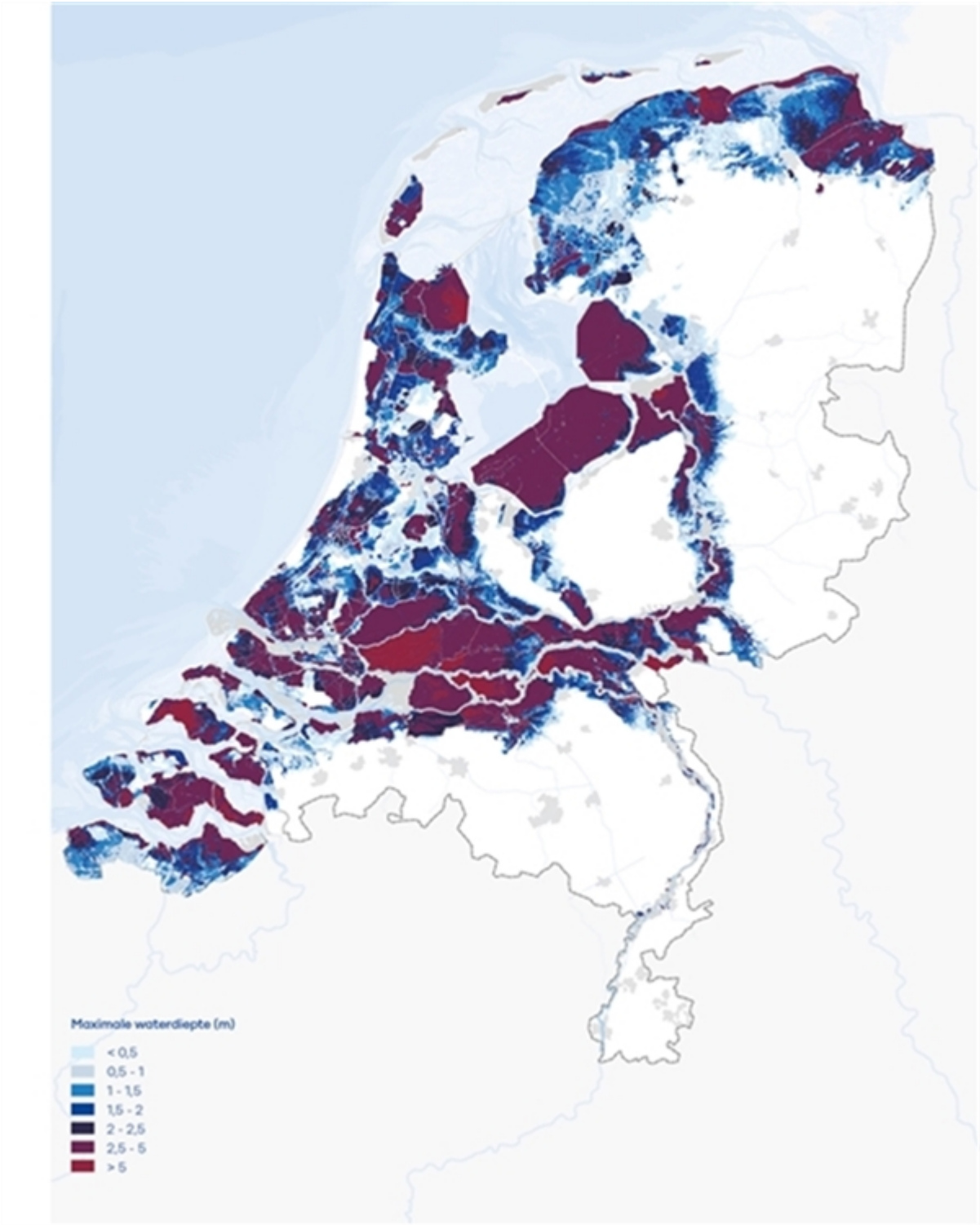
1 Inleiding 3
Inleiding grondslagen van de Nederlandse hoogwaterbescherming 3
2 De Nederlandse hoogwaterbescherming 9
Historie van de Nederlandse hoogwaterbescherming 9
Het waterveiligheidsbeleid vanaf 1953 11
3 Onzekerheid, kans en risico 20
Onzekerheid 20
Kansen 23
Risico 25
Overstromingsrisico's berekenen 26
4 Van risico naar norm 31
Aanvaardbaar risico 31
Het afleiden van normen 34
Normen voorliggende keringen 45
De verschillende normen in de Waterwet 47
5 Van normen naar technische eisen 49
Basisbegrippen in betrouwbaarheidsanalyses 49
Belasting en sterkte 50
Faalmechanismen 52
Lengte-effect en meerdere afhankelijke faalmechanismen per traject 54
Betrouwbaarheidseisen 57
Methoden voor het beoordelen van de betrouwbaarheid 60
6 Ontwerpen 64
De ontwerpcyclus 64
Ontwerpverificatie: voldoet het ontwerp aan de gestelde eisen? 67
Het verkleinen van de overstromingskans van het ontwerp 69
Inpassing van het ontwerp in de omgeving 73
Gevolgbeperkende maatregelen in het ontwerp 74
Procedures voor dijkontwerp 75
7 Continue zorg voor hoogwaterbescherming 77
Continue zorg voor hoogwaterbescherming 77
8 Crisisbeheersing 85
Crisisbeheersing 85

1 Inleiding

Inleiding grondslagen van de Nederlandse hoogwaterbescherming

Het belang van hoogwaterbescherming

Overstromingen vormen van oudsher een bedreiging voor Nederland. De bescherming tegen het water is een belangrijke voorwaarde om in Nederland te kunnen wonen en werken. Onderstaande figuur geeft het overstroombare deel van Nederland weer: dat is niet alleen het deel dat onder zeeniveau ligt, maar ook de delen van Nederland die kunnen overstromen bij hoge rivierafvoeren. De overheid vindt het voorkómen van overstromingen van groot belang. De bescherming tegen hoogwater is dan ook wettelijk verankerd in de Waterwet, die de basis voor een blijvende beveiliging tegen overstromingen vormt.



Figuur 1 Nederland kan voor 60% overstromen vanuit de zee, meren en de grote rivieren met mogelijke waterdieptes van meer dan 5m tot gevolg.

De Delta-paradox

De manier om met de overstromingsdreiging om te gaan is een belangrijk onderwerp van maatschappelijk en politiek debat en dat is begrijpelijk gezien de geografische omstandigheden in ons land. De maatschappelijke discussie hierover zal altijd wel in beweging blijven. Sinds de Middeleeuwen zijn er in ons land dijken en polders gebouwd. Sommigen vragen zich echter af of de dijken wel verhoogd moeten worden en of het niet veel beter is de rivieren meer ruimte te geven.

Soms wordt zelfs de vraag gesteld of de leefbaarheid in de lage delen van Nederland nog langer te handhaven is en of het niet beter is de belangrijkste economische activiteiten te verplaatsen naar de hogere delen van Nederland.

In navolging van de Deltacommissie 2008 is het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) ervan overtuigd dat Nederland ook in de toekomst een aantrekkelijke plek blijft om te wonen en te werken, ook in de relatief lage delen. Dit wordt ook wel de Delta-paradox genoemd: ondanks de kwetsbaarheid voor overstromingen kan in Nederland prettig gewoond worden. Het blijft dan wel nodig te investeren in maatregelen om de overstromingsrisico's op een aanvaardbaar niveau te houden. Inzicht in de effectiviteit van maatregelen is daarbij van belang.

Meerlaagsveiligheid

Er zijn verschillende typen maatregelen mogelijk om de kans op een overstroming of de gevolgen van een overstroming te verkleinen. Het geheel wordt ook wel aangeduid met de term meerlaagsveiligheid, waarbij drie lagen worden onderscheiden:

1. Preventie: voorkomen dat een overstroming plaatsvindt.
2. Ruimtelijke inrichting: de ruimte zo inrichten dat de gevolgen van een overstroming beperkt worden.
3. Crisisbeheersing: maatregelen die de gevolgen beperken bij een (dreigende) overstroming.

In het Deltaprogramma is in 2014 geconcludeerd dat preventie in Nederland de belangrijkste laag is en dat de andere twee lagen aanvullend zijn. Deze conclusie is overgenomen door regering en parlement. Aandacht voor ruimtelijke inrichting en crisisbeheersing blijft echter nodig om de huidige en toekomstige overstromingsrisico's te beperken.

Doel van (nieuwe) Grondslagen

Nieuwe Grondslagen

In de Waterwet staan normen voor waterkeringen om de veiligheid van Nederland op een aanvaardbaar niveau te houden. Deze wettelijke normen vragen een vertaling naar de praktijk. Zo is het nodig de norm met uniforme rekenwijzen en op basis van gedeelde kennis te vertalen in een oordeel over de veiligheid van een waterkering en in een ontwerp voor een dijk(versterking). De te hanteren rekenwijzen en kennis staan onder andere in Leidraden en Technische rapporten (Technische Leidraden).

Het document Grondslagen voor hoogwaterbescherming vormt de koepel boven deze documenten. Het beschrijft de achterliggende principes van de hoogwaterbescherming in Nederland: de totstandkoming van de wettelijke normen en de vertaalslag naar beoordelen, ontwerpen en beheren .

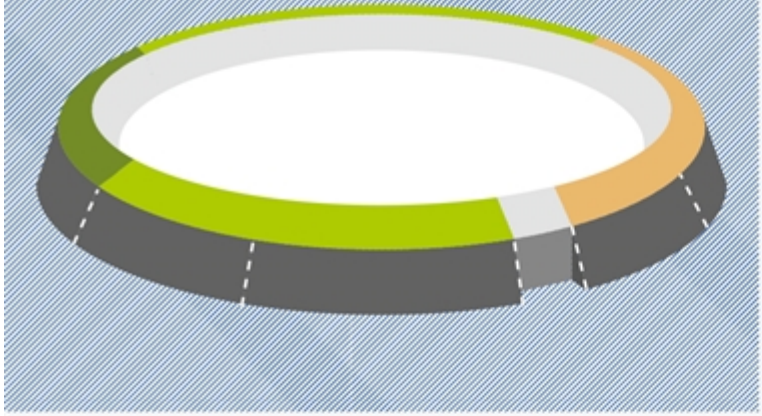
In 1998 is de eerste versie van Grondslagen uitgebracht, met als titel Grondslagen voor waterkeren. Er zijn nu goede redenen om een nieuwe versie uit te brengen: het kabinet heeft in 2015 besloten de eisen aan de bescherming tegen grootschalige overstromingen fundamenteel te wijzigen. Het type norm verandert en daarmee ook de rekenwijzen voor het beoordelen en ontwerpen van waterkeringen. Dat is aanleiding om de Grondslagen opnieuw te beschrijven.

Deze nieuwe versie van de Grondslagen heeft een nieuwe titel gekregen: Grondslagen voor hoogwaterbescherming. Die verandering past bij de maatschappelijke ontwikkeling om bij het voorkomen van overstromingen niet alleen te kijken naar de waterkering, maar ook naar mogelijkheden om hoge waterstanden en golven te verminderen door ingrepen in de omgeving van de waterkering (zoals rivierverruiming).

Fundamentele wijziging: de nieuwe norm

De nieuwe norm voor waterkeringen wordt op andere manier uitgedrukt. Tot 2017 werd de norm uitgedrukt als een waterstand die veilig gekeerd moest worden, waarmee de norm zich alleen op de belasting richtte. De sterkte van de waterkering speelde wel een grote rol, maar was niet expliciet opgenomen in het normgetal. De nieuwe norm is uitgedrukt als een overstromingskans. Deze wijziging was al in 1996 voorzien en staat ook al beschreven in de Grondslagen voor waterkeren. De belangrijkste reden om over te gaan op een overstromingskans is dat deze kans de mate van bescherming tegen overstromingen goed uitdrukt. De overstromingskans hangt immers af van zowel van de hydraulische belastingen (waterstanden en golven) als de sterkte van de kering (hoogte, breedte, materiaalsoort, enzovoort).

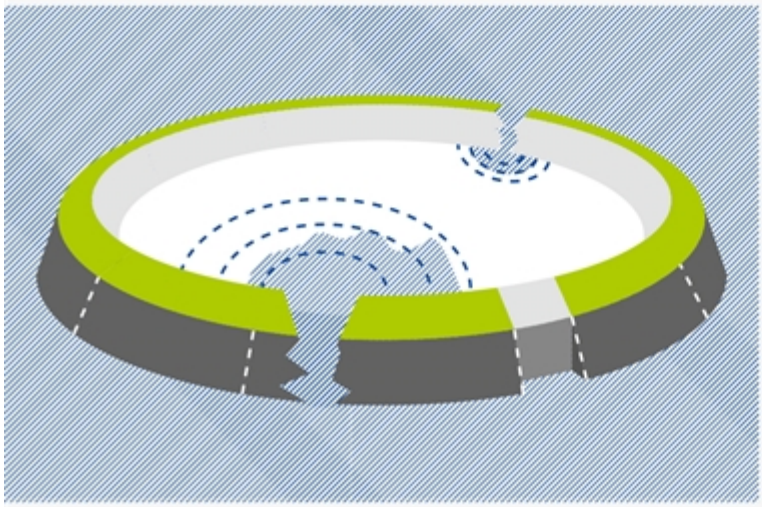
De nieuwe norm is gebaseerd op het overstromingsrisico. Risico heeft betrekking op zowel de kans op als de gevolgen van een overstroming (zie figuur 1.3). De gevolgen zijn beter in beeld gebracht dan in het verleden, met meer aandacht voor slachtoffers (doden) en getroffenen. Voor het eerst heeft het slachtofferrisico een expliciete rol gespeeld bij de actualisatie van de normen voor de waterkeringen. Het kabinet heeft besloten dat de kans op overlijden door een overstroming in alle beschermde gebieden in Nederland kleiner moet zijn dan 1/100.000 per jaar.



De kans op een overstroming:
Per onderdeel van de dijkring wordt de kans op een doorbraak bepaald.



Het gevolg van een overstroming:
Voor elke doorbraak worden de gevolgen (schade en slachtoffers) bepaald.



Het risico van een overstroming:
Voor elk onderdeel van de dijkring wordt de kans op een overstroming met de daarbij horende gevolgen gecombineerd. Alle combinaties samen vormen het overstromingsrisico.
Kans x gevolg = risico

Figuur 2 Schematische weergave van de risicobenadering.

Doelgroep, afbakening en leeswijzer

Doelgroep

De doelgroep van Grondslagen voor hoogwaterbescherming is breed: zowel de professional die aan de slag gaat met leidraden en technische rapporten als de geïnteresseerde leek wordt met dit boek bediend. Dit draagt bij aan eenzelfde taalgebruik door alle betrokkenen, wat de onderlinge communicatie kan verbeteren. Omdat ook specialisten het boek gebruiken, is enig vakjargon onvermijdelijk. De gehanteerde begrippen worden echter zo goed mogelijk uitgelegd en toegelicht. Er is wel enige variatie in diepgang: de hoofdstukken 5 tot en met 8 en dan met name hoofdstuk 5, zijn specialistischer van karakter dan de andere hoofdstukken.

Grondslagen voor hoogwaterbescherming is gebaseerd op de kennis over hoogwaterbescherming die in 2016 beschikbaar is. Hoogwaterbescherming zal als onderdeel van maatschappelijke belangen en afwegingen continu in beweging blijven. Ook kennis over hoogwaters en hoogwaterbescherming blijft zich ontwikkelen en dat geldt ook voor innovatieve (meet)technieken waarmee de veiligheid of het beeld van de veiligheid te verbeteren is. De aandacht voor veiligheid zal naar verwachting niet afnemen. De vraag hoe veilig is veilig genoeg is naar de opvatting van het Expertise Netwerk Waterveiligheid niet een uitkomst van een rekensom, maar bij uitstek een maatschappelijke en politieke vraag. Het gaat immers om de afweging tussen de diverse belangen, waarbij het bovendien technisch niet mogelijk is het risico tot nul te reduceren. Beide aspecten betekenen dat ook deze nieuwe versie van Grondslagen op een gegeven moment weer zal veranderen.

Afbakening

Omdat preventie de belangrijkste laag voor de hoogwaterbescherming in Nederland is, richt ook dit document zich voornamelijk op laag 1 van meerlaagsveiligheid (zie paragraaf 1.1): preventie staat centraal. Laag 2, maatregelen in de ruimtelijke inrichting om de gevolgen van overstromingen te beperken, is nog volop in ontwikkeling. Grondslagen besteedt hier beperkt aandacht aan. Het concept krijgt verder uitwerking in bijvoorbeeld Deltaprogramma Ruimtelijke adaptatie, het programma Water en Evacuatie en het Platform Landelijk Informatiesysteem Water en Overstromingen. Laag 3, crisisbeheersing, komt wel expliciet in deze Grondslagen aan bod. De reden daarvoor is dat de crisisbeheersing, en met name het geschatte effect van evacuatie, is verwerkt in de nieuwe normen via de zogenaamde evacuatiefractie (het deel van de bevolking dat voorafgaand aan een overstroming geëvacueerd kan worden). De mate van succes van evacuatie is op zijn beurt afhankelijk van onder meer de hoogwatervoorspellingen wat reden is om aandacht te besteden aan de crisisbeheersing.

Leeswijzer

Drie hoofdstukken in dit boek geven een beschrijving van de achtergronden van de hoogwaterbescherming. Hoofdstuk 2 begint met een systeembeschrijving van de Nederlands hoogwaterbescherming: de belangrijke elementen in het waterveiligheidsbeleid en de verantwoordelijkheden. Hoofdstuk 3 belicht technisch-wetenschappelijke achtergronden van de begrippen onzekerheid, kans en risico. Hoofdstuk 5 gaat in op het vertalen van norm naar technische eisen.

De andere hoofdstukken spitsen zich toe op activiteiten (soms ook processen genoemd) die verschillende overheden uitvoeren voor de hoogwaterbescherming (Rijk, waterschappen, provincies, gemeenten en veiligheidsregio's):

- Risiconormering (hoofdstuk 4)
- Ontwerpen (hoofdstuk 6)

- Beoordelen (hoofdstuk 7)
- Beheer en onderhoud (hoofdstuk 7)
- Crisisbeheersing (hoofdstuk 8)

De gebruikte bronnen zijn vanwege de leesbaarheid niet in de tekst opgenomen. Aan het eind van dit boek is wel per hoofdstuk een overzicht gegeven van de belangrijkste documenten. De nieuwe Waterwet zelf is niet in dit boek opgenomen, daarvoor wordt verwezen naar www.wetten.nl.

Versie 1.0: 2 juli 2025

2 De Nederlandse hoogwaterbescherming

Historie van de Nederlandse hoogwaterbescherming

Historie

Het huidige Nederland is merendeels intensief bewoond, met name de gebieden nabij de rivieren en de zee. Dit zijn vaak de laaggelegen gebieden. De gevolgen van een overstroming kunnen nu vele malen ernstiger zijn dan ooit tevoren in de geschiedenis: het resultaat van duizend jaar inspanningen van onze voorouders is een dichtbevolkt, hoog ontwikkeld en ook laaggelegen gebied, waar overstromingen kunnen leiden tot het verlies van vele mensenlevens, tientallen miljarden euro's schade en ontwrichting van de samenleving.

Een uitgebreid stelsel van waterkeringen biedt dit laaggelegen land bescherming. Het water dat Nederland binnenkomt via de grote rivieren wordt zo snel mogelijk afgevoerd naar de zee als het veel is en juist zo lang mogelijk vastgehouden als het weinig is. Het peil op het IJssel- en Markermeer wordt gereguleerd en zandsuppleties zorgen ervoor dat de kustlijn op een vastgestelde plaats blijft liggen. Meer dan ergens anders in de wereld is de hoogwaterbescherming hier geregeld door instituties en regelgeving.

De loop van de rivieren en de invloed van de zee hebben de vorming van ons land in hoge mate bepaald. Aanvankelijk zochten de bewoners van ons land de hogere gronden op om zich te vestigen. Zo'n 2.500 jaar geleden begonnen zij zich voor het eerst actief te beschermen tegen hoogwater en konden zij een groter deel van het land bewonen en bewerken.

Noord-Nederland

In het noorden van Nederland zijn de vroegste tekenen van hoogwaterbescherming te vinden. Vanaf circa 500 v.Chr. werden daar honderden terpen opgeworpen. Ook begonnen de bewoners daar met het aanleggen van lage grondlichamen van opgestapelde kleizoden. Lokale dorps- en kloostergemeenschappen legden deze dijken aan rond kleine akkers. Vanaf de twaalfde eeuw begon men kleinere dijkjes met elkaar te verbinden. Zo ontstonden aaneengesloten ketens van waterkeringen: de dijkringen. Individuen en kleine gemeenschappen waren niet meer in staat de aanleg en het onderhoud van de dijken uit te voeren. Daarom werden in de late middeleeuwen tal van waterschappen opgericht. Desondanks deden zich vele kleinere en grotere overstromingen voor.

Rivierengebied

In het rivierengebied was de dynamiek van het water groot. De loop van de rivieren veranderde regelmatig. De invloed hiervan op de bodemopbouw langs de rivieren is tot op heden zichtbaar. Een belangrijke maatregel om meer greep op de rivierlopen te krijgen was de aanleg van het 02 De Nederlandse hoogwaterbescherming Pannerdensch Kanaal in het begin van de achttiende eeuw en later het Bijlands Kanaal, een verlegging van de aftakking (de bovenmond) van de IJssel en de Pannerdensche Kop. Vanaf die tijd voerde de Waal grofweg 2/3 van het water uit de Boven-Rijn af en

het Pannerdensch Kanaal 1/3. Deze afvoerverdeling is sindsdien niet wezenlijk gewijzigd. Desondanks kwamen geregeld overstromingen voor in het rivierengebied. Daarom vonden aan het begin van de negentiende eeuw verschillende ingrepen plaats: de aanleg van een aantal overlaten, het rechter maken van de rivier om de afvoer van het water te versnellen, scheiding van de Maas en de Waal en verhoging van de dijken. Door deze ingrepen kwamen overstromingen in het rivierengebied aanzienlijk minder vaak voor dan in de eeuwen ervoor.

De laatste grote overstroming in het rivierengebied vond plaats in 1926. De rivierafvoer bij Lobith die bij deze overstroming is gemeten, is de hoogste ooit: 12.850 kubieke meter per seconde.

Tijdens de kritieke hoogwaterstanden van 1993 en 1995 werden maximale afvoeren van 11.000 en 12.000 kubieke meter per seconde gemeten. Omdat niet meer te garanderen was dat de dijken het zouden houden, is toen besloten 250.000 mensen te evacueren. Dit heeft geresulteerd in een programma van dijkversterkingen (Deltaplan Grote Rivieren) en een programma gericht op het vergroten van de afvoercapaciteit zonder dijkverhogingen (het programma Ruimte voor de Rivier).

Zuiderzee

De Zuiderzee is ontstaan als gevolg van regelmatige overstromingen en het wegslaan van de veenondergrond. Er hebben zich in de loop der eeuwen vele overstromingen vanuit de Zuiderzee voorgedaan. Vaak werd met dijkversterkingen gereageerd, maar soms werd een overstroomd gebied overgelaten aan de zee. Vanaf de negentiende eeuw werd gestudeerd op het afsluiten en droogleggen van de Zuiderzee. Het motief was vooral landaanwinning. Drijvende kracht was de minister van Waterstaat, Cornelis Lely. De plannen hebben geresulteerd in de Zuiderzeewerken die uiteindelijk pas zijn uitgevoerd tussen 1920 en 1975. Eerst was er uitstel door de uitbraak van de Eerste Wereldoorlog maar de plannen werden weer actueel door de Zuiderzeevloed van 1916. Veel dijken rond de Zuiderzee braken door, met als gevolg vooral materiële schade maar ook zestien doden op het eiland Marken.

De aanleg van de Afsluitdijk, die in 1932 werd voltooid, leidde tot een aanzienlijke verkorting van de kustlijn. De Zuiderzee werd omgevormd tot IJsselmeer. In dezelfde tijd werden ook de Wieringermeer, de Noordoostpolder en de Flevopolders aangelegd.

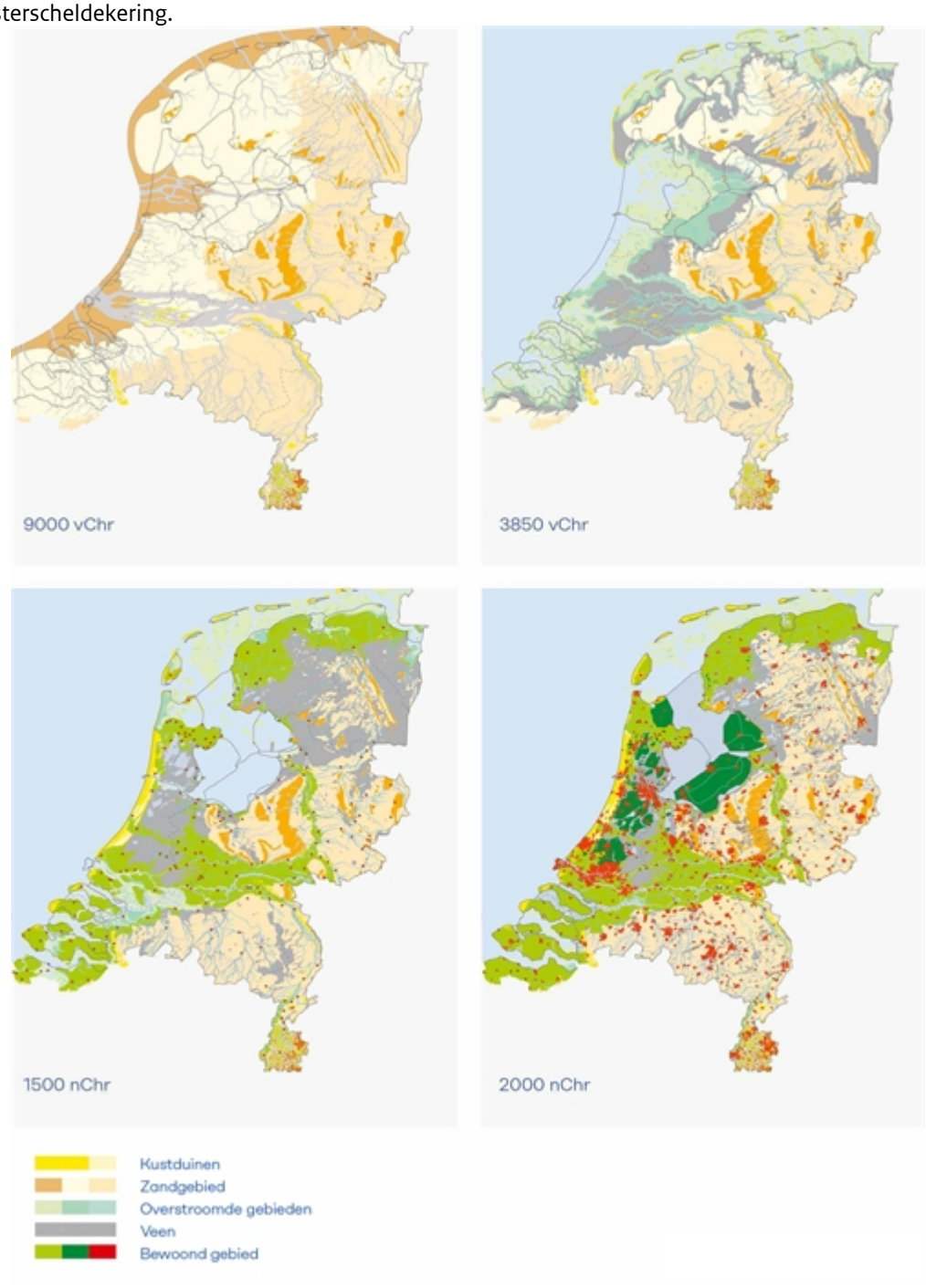
Kustgebied

De aanleg van de Afsluitdijk heeft veel invloed gehad op de ligging van de geulen en platen in het Waddengebied, ook nu nog. Het Waddengebied is onderdeel van de Nederlandse kust die verder bestaat uit de gesloten Hollandse kust en de Zeeuwse delta. De hele Nederlandse kust maakt weer deel uit van een veel groter systeem, van de klifkust in Noord-Frankrijk tot en met het Noord-Duitse Waddengebied. De Nederlandse kust wordt gekenmerkt door strand en duinen die op sommige plekken kilometers breed zijn. Op veel plaatsen is sprake van structurele erosie. Met strandhoofden en suppleties wordt de erosie tegen gegaan (strandhoofden) dan wel gecompensereerd (suppleties).

Zuidwestelijke delta

De zuidwestelijke delta is vele malen geteisterd door overstromingen. Dit gebied werd zowel door hoogwater op zee als door hoge rivierwaterstanden bedreigd. Regelmatig veranderden de Zuid-Hollandse en Zeeuwse eilanden van vorm. Een van de bekendste overstromingen is de Sint-Elizabethsvloed van 1421. De dijkdoorbraken en overstromingen richtten in Zeeland en Holland grote verwoestingen aan en volgens schattingen vonden ongeveer 2.000 mensen de dood. De overstroming die ons huidige beleid heeft bepaald is de Watersnoodramp van 1953. Hierbij vielen 1.836 doden en circa 2.000 vierkante kilometer land overstroomde. Direct na de ramp werd de Deltacommissie geïnstalleerd. Deze commissie moest plannen maken om een dergelijke ramp in de toekomst te voorkomen. De commissie adviseerde een aantal zeearmen af te sluiten, waardoor de kustlijn van het

land zo'n 700 kilometer korter zou worden. In 1958 is op basis van dit advies de Deltawet vastgesteld en is besloten de Deltawerken aan te leggen, met als meest innovatieve onderdeel de Oosterscheldekering.



Figuur 1 Het veranderende Nederland in de loop der tijden.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Het waterveiligheidsbeleid vanaf 1953

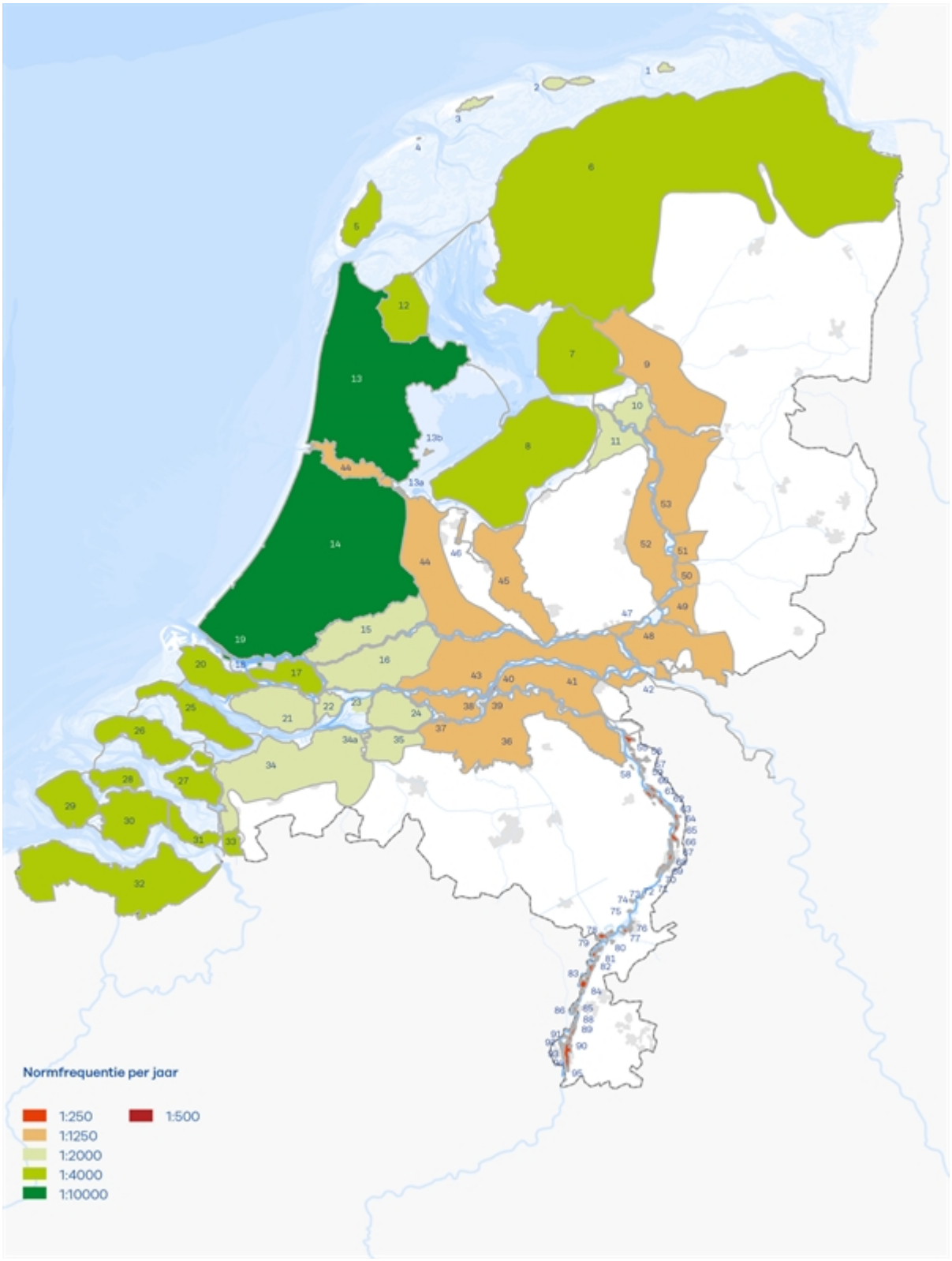
Normen voor primaire waterkeringen

Het advies van de Deltacommissie vormde de basis voor het vastleggen van veiligheidsnormen in de wet. De Deltacommissie deed een voorstel voor de maatgevende hoogwaterstanden die de dijken moesten keren. Dit was een vereenvoudigde benadering voor het vastleggen van eisen aan de

overstromingskans, waarbij alleen waterstanden in beschouwing werden genomen. Een waterkering zou een bepaalde hoogwaterstand nog veilig moeten kunnen keren. Dit was destijds een nieuwe manier van denken over hoogwaterbescherming. Waar in het verleden een dijkverhoging plaatsvond op basis van de tot dan toe hoogst bekende lokale waterstand, werd de dijkversterking voortaan gestuurd door de kans dat een bepaalde maatgevende hoogwaterstand zou worden overschreden. Er werd niet langer gereageerd op opgetreden overstromingen, maar men ging proactief beschermen op basis van statistische analyses.
De Deltacommissie onderbouwde de hoogte van de normen door de kosten van versterkingsmaatregelen af te wegen tegen de verlaging van het overstromingsrisico. In het westen van het land zouden de gevolgen van een overstroming het grootst zijn en hier werden dan ook de strengste normen voorgesteld. Waterkeringen moesten daar een waterstand met een kans van overschrijden van 1/10.000 per jaar kunnen weerstaan. Voor andere delen van Nederland werden lagere normen voorgesteld. De Deltacommissie beperkte zich tot de waterkeringen langs de kust. Pas later hebben andere commissies, op basis van het gedachtegoed van de Deltacommissie, veiligheidsnormen voor de rivierdijken voorgesteld. De normen die de Deltacommissie en volgende commissies hebben voorgesteld, betreffen de zogenaamde primaire keringen. Deze beschermen het land tegen een overstroming van uit de grote wateren (ook wel buitenwater genoemd. Met buitenwater worden volgens artikel 1.1 van de Waterwet de oppervlaktewaterlichamen bedoeld waarvan de waterstand direct invloed ondervindt van stormvloed, hoog oppervlaktewater op één van de grote rivieren, hoogwater op het IJsselmeer of het Markermeer of een combinatie daarvan. Daarnaast behoren het Volkerak-Zoommeer, Grevelingenmeer, het getijdedeel van de Hollandsche IJssel en de Veluwerandmeren tot het buitenwater.): de zee, de grote rivieren en de grote meren. Tot de primaire waterkeringen behoren dijken, dammen, duinen en de constructies die daar onderdeel van kunnen zijn, zoals coupures en sluizen.

Naast primaire keringen kent ons land regionale keringen langs bijvoorbeeld vaarten, kanalen en plassen. Een doorbraak van regionale keringen heeft veelal minder grote gevolgen dan een doorbraak van primaire keringen, maar kan toch een aanzienlijke impact hebben. De veiligheidsnormen voor deze keringen worden vastgesteld door provincies. Tot slot zijn er nog vele kilometers kering zonder een specifieke status, waarvoor geen veiligheidsnormen zijn vastgesteld in nationale of provinciale wetten of verordeningen.

Tot 2017 betroffen de normen een gehele dijkring: een aaneengesloten ring van waterkeringen en hooggelegen gronden. In de Wet op de Waterkeringen en later de Waterwet had iedere dijkring zijn eigen overschrijdingskansnorm.



Figuur 1 De dijkringen in Nederland met hun nummer.

In het nieuwe stelsel zijn de primaire keringen opgedeeld in één of meer dijktrajecten met een eigen norm. Een dijktraject wordt gekenmerkt door een gelijke bedreiging en bij doorbraak door min of meer gelijke gevolgen. Een overzicht is weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 2 De dijktrajecten in Nederland.

Met ingang van 2017 grenzen alle primaire keringen aan buitenwater. De uitzondering hierop is de Diefdijk die als enig primair dijktraject niet aan buitenwater grenst. Deze historische kering, die onderdeel uitmaakt van de Hollandse Waterlinie, is ooit aangelegd om de Alblasserwaard te beschermen tegen wateroverlast vanuit de Betuwe.

Primaire waterkeringen worden periodiek beoordeeld op hun waterstaatkundige toestand en hier moet verslag over worden uitgebracht aan de Staten-Generaal. Op deze wijze houdt de Nederlandse overheid zicht op de hoogwaterbescherming. Als een kering niet meer aan de wettelijke eisen voldoet moeten er maatregelen worden genomen.

Typen primaire waterkeringen

De meeste primaire keringen bieden direct bescherming tegen overstromingen. Een aantal keringen doet dat indirect door de belasting op een achterliggende keringen te beperken. Dit worden ook wel voorliggende keringen genoemd. Een voorbeeld is de Afsluitdijk die de belasting op de waterkeringen rond het IJsselmeer beperkt. Ook stormvloedkeringen zoals de Balgstuw bij Ramspol zijn voorliggende keringen. Als een voorliggende kering faalt, neemt de hydraulische belasting op de achterliggende primaire waterkeringen toe, waardoor de kans op een overstroming groter wordt. Er hoeft in dat geval niet daadwerkelijk een overstroming op te treden. Er zijn verschillende typen waterkeringen:

Duinen

Duinen zijn natuurlijke landschapsvormen. Zij worden door de wind gevormd uit aangespoeld zand in wisselwerking met de vegetatie die het zand vangt en vasthoudt. De stabilisatie is te versnellen of versterken met helmaanplant. Die beplanting is echter niet bedoeld en ook niet in staat om afslag van zand door golven bij hoge waterstanden tegen te houden. De werking van duinen als hoogwaterkering berust uitsluitend op de totale massa van het zand. Deze massa moet zo groot zijn dat er bij afkalving door een storm nog voldoende zand blijft liggen om het hoogteverschil tussen het zeeniveau en het achterland te keren. Na de storm kan bij lagere waterstanden het opbouwproces door de wind opnieuw beginnen. Door dit dynamische karakter vragen duinen speciale aandacht in beheer en onderhoud.

Dijken en dammen

Dijken en dammen zijn kunstmatige grondlichamen. In tegenstelling tot duinen, die weinig bestand zijn tegen erosie door golfslag, moeten dijken vanwege hun kleinere afmetingen dat in hoge mate wel zijn. Die erosiebestendigheid ontleent een dijk aan de gebruikte materialen, zoals klei met grasvegetatie, een bekleding van steenachtige materialen of asfalt. Typerend voor deze constructies is de vorm van het grondlichaam, die in dwarsdoorsnede veelal trapeziumvormig is. Het waterkerend vermogen van de constructie wordt geleverd door de hoogte, de vorm van het dwarsprofiel en de ondergrond. Aandachtspunten zijn voldoende weerstand tegen afschuiven (standzekerheid) en waterdichtheid. De dijk ontleent zijn standzekerheid aan de schuifsterkte van het dijklichaam en de ondergrond.

Waterkerende kunstwerken

Waterkerende kunstwerken worden gemaakt ten behoeve van een andere functie die de waterkering kruist. Denk hierbij aan een schutsluis (IJmuiden) of stormvloedkering (Nieuwe Waterweg, Hollandsche IJssel) voor de scheepvaart, een gemaal (Katwijk), een spuisluis (Haringvlietsluizen) voor de waterdoorvoer of een coupure (Lobith) voor verkeer.

In verband met hun verschillende functies zijn waterbouwkundige kunstwerken meestal voorzien van één of meer beweegbare afsluitmiddelen. In gesloten toestand dragen deze middelen de krachten die erop werken over op het starre deel van het kunstwerk. De stormvloedkering in de Oosterschelde waarborgt de veiligheid van het achterliggende gebied met behoud van getijdewerking.

Het onderscheid tussen de diverse typen waterkeringen en de daarin opgenomen objecten is niet altijd heel scherp. Een combinatie van een constructie en een grondlichaam wordt ook wel een waterkerende constructie genoemd. Ze kunnen grondconstructies versterken, aanvullen of volledig

vervangen. Voorbeelden zijn damwanden, kistdammen en keermuren. Deze worden ook wel langsconstructies genoemd. Speciale aandacht bij het ontwerp vereist de overgang tussen de waterkerende constructie en de aansluitende grondconstructie.

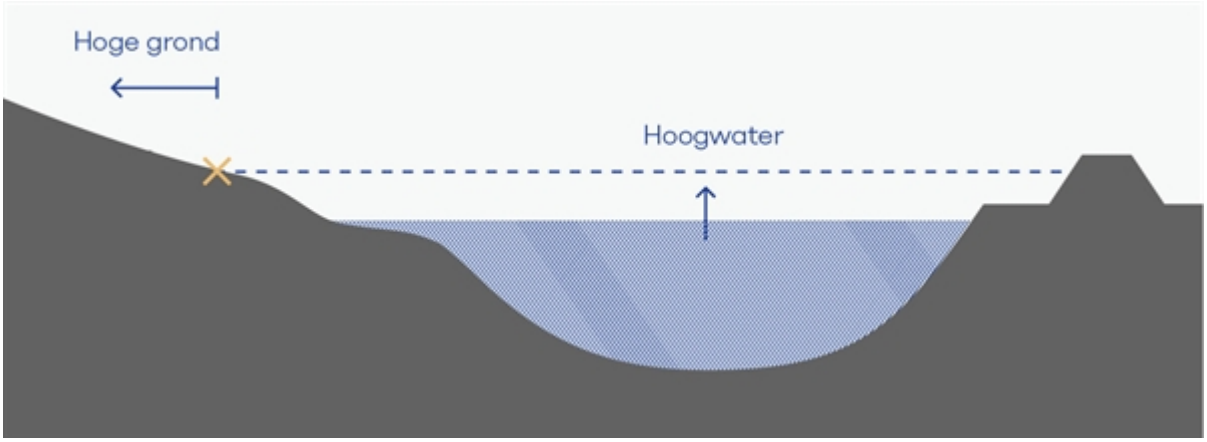
Hoge gronden

Een deel van Nederland ligt van nature zo hoog dat de kans dat op een overstroming vanuit de zee, meren of grote rivieren verwaarloosbaar klein is. Denk hierbij aan de Utrechtse Heuvelrug, Drenthe en de Veluwe. Deze gebieden zijn voor hun veiligheid niet afhankelijk van de primaire keringen en worden hoge gronden genoemd.

Tot 2017 maakten hoge gronden deel uit van dijkringen, die de basis vormden voor de normering. Dijkring 45, die de Gelderse Vallei omringt, bestaat bijvoorbeeld aan de noord- en zuidkant uit de keringen langs de Randmeren en de Rijn en aan de west- en oostkant uit de hoge gronden van de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe. De norm gold voor de gehele dijkring. In het nieuwe systeem van dijktrajecten is dit anders. Voor de bescherming van het zelfde gebied gelden nu twee verschillende normen voor de twee dijktrajecten langs de Randmeren en de Rijn (de Grebbedijk).

Daarnaast liggen met name in Limburg hoge gronden die niet in een legger zijn opgenomen als primaire waterkering, maar door hun hoge ligging wel bescherming bieden aan het achtergelegen gebied en ook onderdeel kunnen zijn van een dijktraject. Dergelijke gronden zijn niet te vergelijken met hoge gronden zoals de Veluwe: ze zijn veel kleiner van omvang en lang niet altijd van nature hooggelegen. Toch wordt ook in deze gevallen gesproken van hoge grond. Er is voor gekozen geen normen te stellen voor heel korte trajecten, maar in plaats daarvan een langer traject aan te wijzen waar hoge gronden deel van kunnen uitmaken.

Als een kering of dijktraject overgaat in hoge grond, is er een punt vanaf waar de bijdrage aan de overstromingskans verwaarloosbaar klein is. Waar dit precies is, hangt onder andere af van de waterstanden die kunnen optreden. Als deze veranderen door klimaatverandering of ingrepen in het rivierbed dan kan dit punt opschuiven. Het is ook mogelijk dat hooggelegen gebieden door afgravingen lager komen te liggen en kunnen overstromen. Het is belangrijk hier toezicht op te houden, bijvoorbeeld via de Ontgrondingswet. De aansluiting van een kering op hoge grond vraagt aandacht. Er moet worden voorkomen dat het beschermde gebied via de hoge grond kan overstromen.

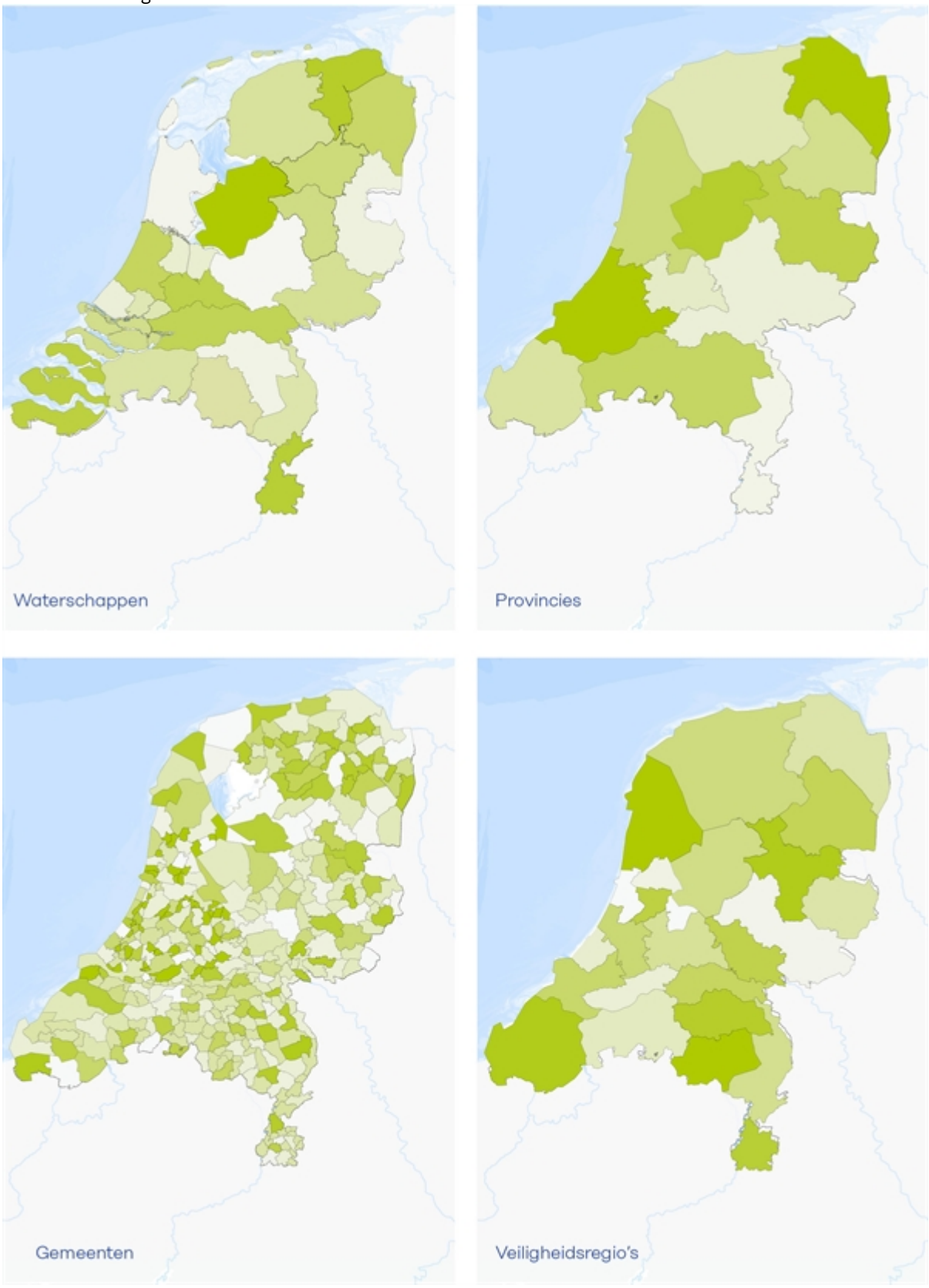


Figuur 3 Hoge grond.

Bestuurlijke verantwoordelijkheden

De zorg voor het keren van water in Nederland is verdeeld over drie bestuurslagen: het Rijk, de provincies en de waterschappen. De gemeenten spelen een rol in de ruimtelijke ordening, als vertegenwoordiger van andere belangen bij waterkeringen zoals wonen en verkeer, en in de

communicatie met de burger. De veiligheidsregio speelt een rol bij de rampenbeheersing in het geval van een dreigende calamiteit.



Figuur 4 De verschillende bestuurslagen in Nederland die een rol hebben in de hoogwaterbescherming.

Sinds het Bestuursakkoord Water zijn de taken in het waterbeheer verdeeld onder het motto decentraal wat kan, centraal wat moet. Ook is afgesproken dat slechts één bestuurslaag, het Rijk of de provincie, verantwoordelijk is voor het vaststellen van doelen voor het waterbeheer en de daarbij behorende regels, de normen en het beleid. De desbetreffende bestuurslaag ziet er ook op toe of de uitvoerende overheden de doelen daadwerkelijk halen. Er is steeds sprake van één toezichthouder en één uitvoerende overheidsorganisatie. Rijkswaterstaat vervult de uitvoerende rol voor het hoofdwatersysteem (de zee, grote meren en grote rivieren) en de waterschappen voor het regionale watersysteem (waaronder de boezem- en polderwateren). De waterschappen zijn verantwoordelijk voor het beheer van het grootste deel van de primaire waterkeringen en de regionale keringen. Rijkswaterstaat heeft een klein deel van de primaire keringen (waaronder grote voorliggende waterkeringen zoals afsluitdammen en stormvloedkeringen) en een aantal regionale keringen in beheer.

Waterschappen

De waterschappen zijn beheerder van het grootste deel van de primaire waterkeringen, het regionale systeem, waaronder de regionale waterkeringen, en zijn verantwoordelijkheid voor de kwantiteit en kwaliteit van het oppervlaktewater. Daarnaast hebben ze de zorg voor de zuivering van afvalwater. Waterschappen kennen een gekozen bestuur en hebben eigen bevoegdheden op het terrein van vergunningverlening en handhaving. Ze hebben een eigen belastinggebied om hun taken te bekostigen. Het beheer en onderhoud van de waterkeringen wordt volledig betaald door de waterschappen. De versterking van primaire waterkeringen komt in aanmerking voor subsidie uit het hoogwaterbeschermingsprogramma. De kosten van versterking komen daarmee voor 50% voor rekening van het Rijk, voor 40% voor rekening van de gezamenlijke waterschappen en voor 10% voor rekening van het waterschap dat de kering in beheer heeft.

Provincies

De provincie is verantwoordelijk voor de organisatie van het waterschapsbestel. Ook heeft zij een rol in de ruimtelijke ordening en als gebiedsregisseur. De provincie stelt de kaders vast voor het beheer van het regionale watersysteem onder meer door de aanwijzing en normering van de regionale waterkeringen die in beheer zijn bij de waterschappen. Vanwege de relatie met de ruimtelijke inpassing van de versterking van een primaire waterkering, berust de goedkeuringsbevoegdheid van het projectplan bij de provincie. Daarbij wordt getoetst of het projectplan strijdig is met de wet of het algemeen belang. Tot slot kan de provincie nadere eisen stellen aan de instandhouding van hoge gronden op basis van de Ontgrondingenwet of de Wet op de ruimtelijke ordening.

Gemeenten

De gemeenten zijn de bestuurslaag die het dichtst bij de burger staat en zij hebben dan ook een belangrijke rol in de communicatie. Gemeenten hebben taken in het ruimtelijke en sociale domein. Het beleid voor het ruimtelijke domein staat in structuurvisies en bestemmingsplannen. In deze plannen worden de waterkeringen ingepast. Daarnaast draagt de gemeente verantwoordelijkheden bij een eventuele overstroming, zoals het handhaven van de openbare orde en veiligheid en de zorg voor de volksgezondheid. Dit wordt vastgelegd in een rampenplan.

Veiligheidsregio's

De veiligheidsregio’s zijn een vorm van verlengd lokaal bestuur. In een veiligheidsregio werken verschillende besturen en diensten op het terrein van crisisbeheersing samen. Bij een ramp of crisis van meer dan plaatselijke betekenis berusten het gezag en de bestuurlijke verantwoordelijkheid bij de voorzitter van de veiligheidsregio.

Rijk

Het ministerie stelt de wetten en regels op voor het beheer van de primaire waterkeringen en het hoofdwatersysteem. Daarnaast stelt het ministerie de normen op voor de regionale waterkeringen die Rijkswaterstaat in beheer heeft. Rijkswaterstaat voert op basis van de wetten, regels en normen haar taak als beheerder van het hoofdwatersysteem en keringen uit. Langs de zandige kust is Rijkswaterstaat verantwoordelijk voor de handhaving van de ligging van de kustlijn waarbij de door het parlement vastgestelde basiskustlijn als grens geldt. Het toezicht op de primaire waterkeringen en op de door Rijkswaterstaat beheerde niet-primaire waterkeringen berust bij de Inspectie Leefomgeving en Transport.

Wet- en regelgeving

In het dichtbevolkte Nederland zijn veel zaken vastgelegd in wet- en regelgeving. Artikel 21 van de Grondwet noemt de zorg voor de bewoonbaarheid van ons land een fundamentele taak van de overheid. Deze taak is voor de bescherming tegen overstroming verder uitgewerkt in specifieke wet- en regelgeving.

Van belang zijn vooral de Waterwet, de provinciale verordeningen en de waterschapskeuren. Daarnaast spelen ook de Beleidslijn grote rivieren, als het gaat om de rivier zelf, en de Europese Richtlijn Overstromingsrisico (ROR) een rol.

De Waterwet regelt het beheer van het watersysteem, dat wil zeggen de waterkeringen, het oppervlaktewater en het grondwater, en richt zich ook op het verbeteren van de samenhang tussen waterbeleid en ruimtelijke ordening. De Waterwet vormt de basis voor normen en eisen die aan watersystemen kunnen worden gesteld. Voor primaire waterkeringen staan de normen in de wet zelf. Voor regionale waterkeringen in beheer bij het Rijk worden de normen vastgesteld bij algemene maatregel van bestuur en voor regionale waterkeringen in beheer bij de waterschappen bij provinciale verordening.

De beheerder van de primaire waterkering (een waterschap of Rijkswaterstaat) heeft de taak om de veiligheid tegen overstromingen te borgen door de primaire keringen te laten voldoen aan de veiligheidseisen die volgen uit de Waterwet. De Waterwet verplicht de waterkeringbeheerder iedere twaalf jaar verslag uit te brengen over de toestand van de primaire waterkeringen en aan te geven of deze voldoen aan de wettelijk gestelde eisen. Als de beoordeling daartoe aanleiding geeft, moet de beheerder aangeven welke maatregelen hij voor de veiligheid nodig acht. De Waterwet geeft aan onder welke voorwaarden maatregelen gesubsidieerd worden. Daarnaast verplicht de Waterwet beheerders te oefenen voor calamiteiten en rampenplannen op te stellen en af te stemmen. Nadere eisen zijn vastgelegd in het Waterbesluit. Ook aan gemeenten en veiligheidsregio's worden eisen op het gebied van crisisbeheersing gesteld. Deze vloeien voort uit de Wet veiligheidsregio's.

De Europese Richtlijn Overstromingsrisico's (ROR) is verankerd in de Waterwet. De ROR vormt een belangrijk internationaal juridisch instrument om doelen en maatregelen voor het beperken van overstromingsrisico's af te stemmen met de stroomgebiedspartners in de (internationale) rivierstroomgebieden. Een belangrijk principe is dat lidstaten geen maatregelen nemen die stroomopwaarts of stroomafwaarts de overstromingsrisico's doen toenemen (principe van niet-afwentelen). In tegenstelling tot veel Europese richtlijnen heeft de ROR een open karakter: de EU heeft geen concrete doelen of maatregelen voorgeschreven. Wel zijn de lidstaten verplicht om overstromingsgevaar- en overstromingsrisicokaarten te maken. Hierop staan de gevaren en gevolgen van overstromingen. Daarnaast moeten de lidstaten overstromingsrisicobeheerplannen opstellen waarin zij nationale doelen en maatregelen voor het reduceren van overstromingsrisico's opnemen.

Bij de aanleg of versterking van een kering spelen nog enkele andere wetten een rol, zoals de Wet ruimtelijke ordening (2006), de Onteigeningswet (1851), de Woningwet (1991), de Wet milieubeheer

(1993), de Natuurbeschermingswet 1998, de Flora- en faunawet (1998) en de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (2010).
Naar verwachting treedt in 2021 de Omgevingswet in werking. Met deze wet vereenvoudigt en bundelt het Rijk de regels voor ruimtelijke projecten waardoor het makkelijker wordt om ruimtelijke projecten te starten. Een veelheid aan wetten zal deels of geheel worden ondergebracht in de Omgevingswet. Zo gaan de Waterwet en de Wet milieubeheer grotendeels, en gaat de Wet ruimtelijke ordening geheel op in de Omgevingswet.

Versie 1.0: 2 juli 2025

3 Onzekerheid, kans en risico

Onzekerheid

Er is sprake van onzekerheid als meer uitkomsten denkbaar zijn dan er daadwerkelijk verwezenlijkt kunnen worden. Zo is het onzeker of komend jaar ergens een overstroming op zal treden. Ook de gevolgen van een eventuele overstroming zijn onzeker. Het is bijvoorbeeld onzeker of een evacuatie precies volgens plan verloopt. Ook is niet precies te voorspellen hoe het water zich bij een dijkdoorbraak door het landschap zal verspreiden en wat de gevolgen zijn.

Onzekerheden zijn er in vele soorten en maten. In de wetenschappelijke literatuur bestaan dan ook vele classificaties van onzekerheid en vele methoden om met onzekerheid om te gaan. In de waterbouwkunde wordt veelal onderscheid gemaakt tussen inherente (aleatorische) onzekerheid en kennis (epistemische) onzekerheid. Met inherente onzekerheid wordt gedoeld op zuiver toeval dat niet te reduceren is door nader onderzoek of gegevensverzameling (natuurlijke variabiliteit). Vaak genoemde voorbeelden zijn de onzekerheden ten aanzien van dobbelsteenworpen en zeewaterstanden. Met kennisonzekerheid wordt gedoeld op onzekerheid die voortkomt uit gebrek aan kennis, zoals de onzekerheid over de sterkte van de dijken. Deze onzekerheid is wél te verkleinen, met nader onderzoek of gegevensverzameling.

Classificaties zoals hierboven kunnen gemakkelijk filosofische vragen oproepen. Zijn zeewaterstanden echt van nature onvoorspelbaar? En is de uitkomst van een dubbelsteenworp werkelijk inherent onzeker? Of is de uitkomst van een dobbelsteenworp in principe te voorspellen maar alleen in praktische zin onzeker door de gevoeligheid van de uitkomst voor minimale variaties bij het gooien van de dobbelsteen? Is dit niet ook de fundamentele oorzaak van de onvoorspelbaarheid van extreme waterstanden? Dit zijn geen gemakkelijke vragen. Over het deterministische wereldbeeld van Laplace hebben geleerden eeuwen gediscussieerd, denk bijvoorbeeld aan de bekende twist tussen Einstein en Bohr over voorspelbaarheid in de kwantummechanica.

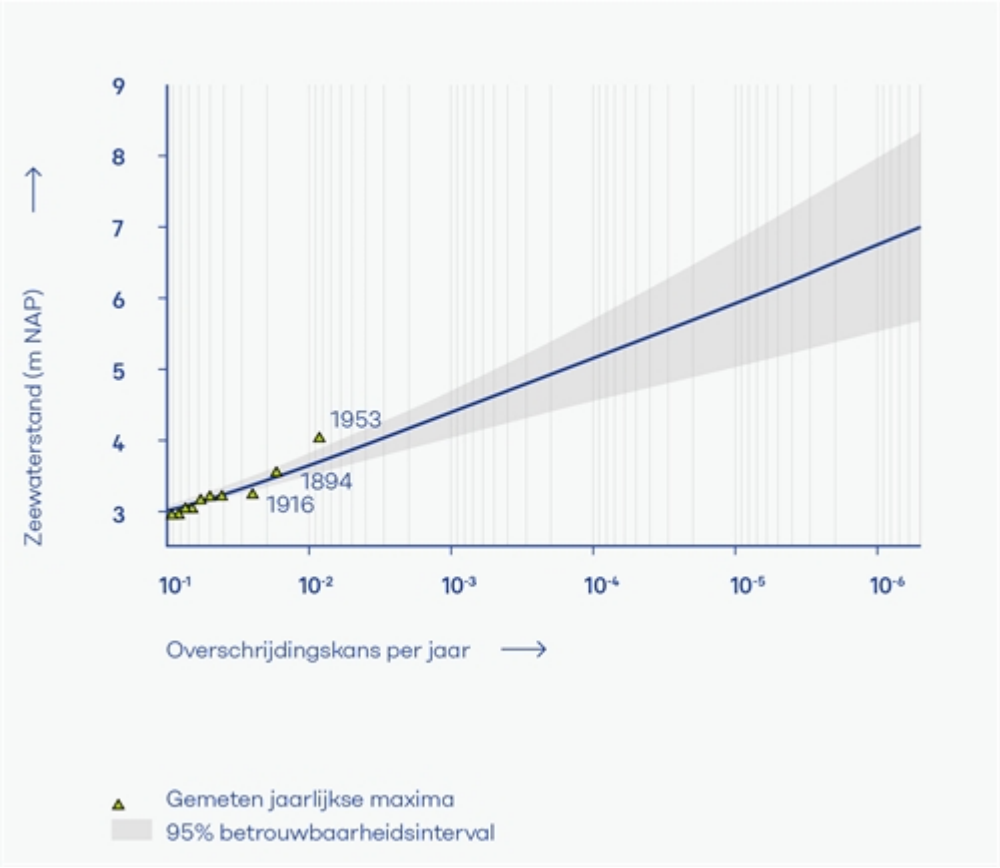
In de praktijk zijn dergelijke filosofische vragen gelukkig minder relevant. Voor beslissingen is het vooral van belang welke onzekerheden er zijn, hoe groot ze zijn en of ze in praktische zin te verkleinen zijn. Met de grootte van onzekerheden wordt hierbij zowel gedoeld op de grootte van de verschillen in de mogelijke uitkomsten als op de waarschijnlijkheid van de verschillende uitkomsten.

Onzekerheden komen voor een belangrijk deel voort uit de grilligheid van de natuur, gegevensbeperkingen en ons onvermogen om de complexe werkelijkheid precies met modellen te beschrijven. Hierdoor is het in de praktijk onmogelijk om precies te voorspellen wat de toekomst brengt. Daarvan volgen hieronder enkele belangrijke voorbeelden.

Onzekerheid over extreme waterstanden

Het is praktisch onmogelijk om te voorspellen hoe hoog de hoogste waterstand op een specifieke locatie in het komende jaar zal zijn. Hooguit is aan te geven wat de kans is dat een bepaalde

hoogwaterstand zal worden bereikt of overschreden (zie onderstaande figuur).



Figuur 1 De jaarlijkse kans op overschrijding van een bepaalde waterstand.

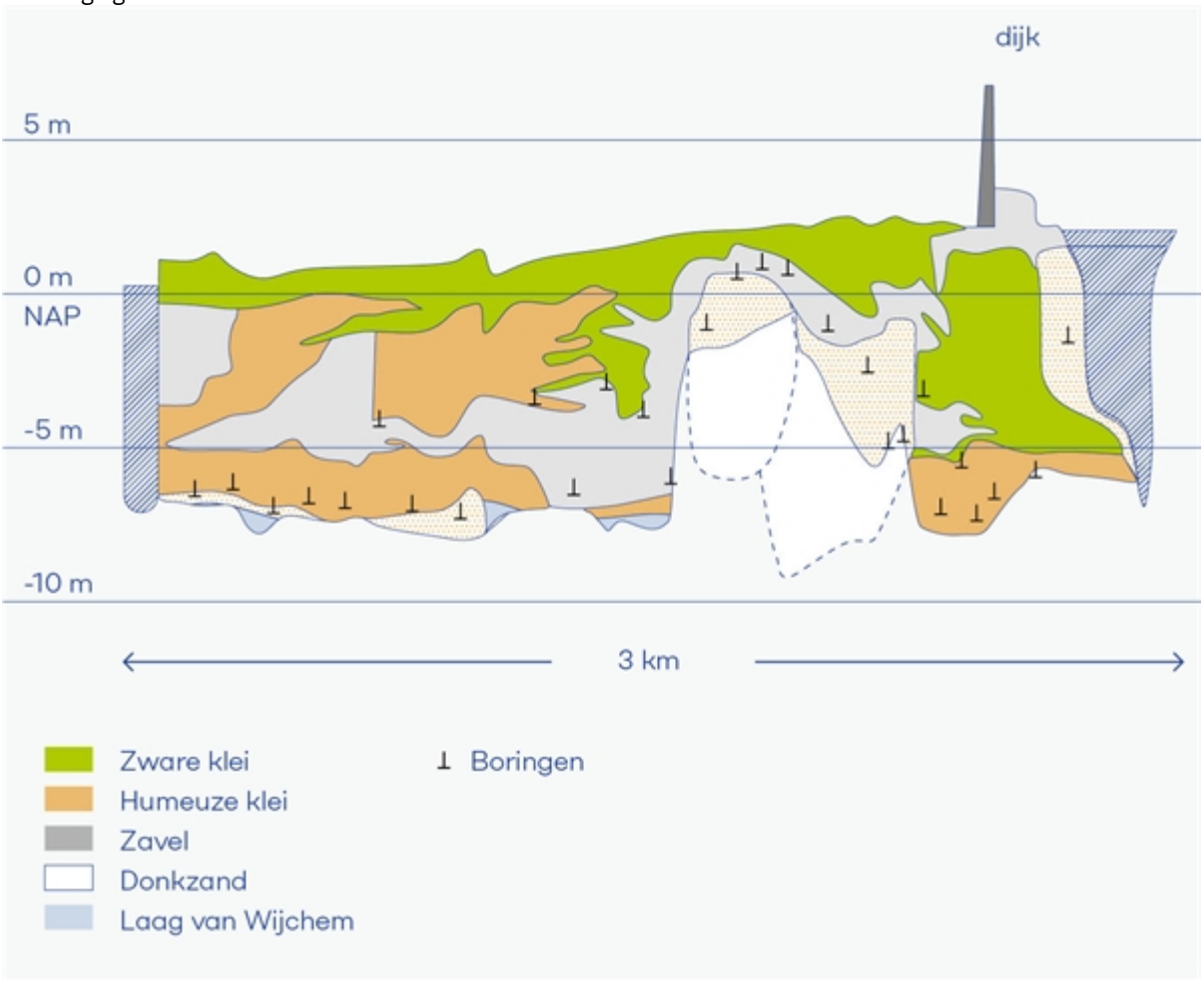
Deze kansen zijn te bepalen met statistische analyses van jaarlijks opgetreden hoogwaterstanden. Voldoende lange meetreeksen om de natuurlijke variabiliteit van de waterstand precies te beschrijven zijn niet beschikbaar. In de praktijk zijn alleen meetreeksen van een beperkte duur voorhanden, bijvoorbeeld van 100 jaar. Daarom moet ver worden geëxtrapoleerd om iets te kunnen zeggen over de zeewaterstand met een overschrijdingskans van bijvoorbeeld 1/10.000 per jaar. Dergelijke extrapolaties zijn met de nodige onzekerheid omgegeven. Bovendien zijn in de praktijk modelberekeningen nodig, bijvoorbeeld om gegevens over afvoeren te vertalen in hoogwaterstanden langs een rivier. De modellen benaderen de werkelijkheid, maar geven daar geen perfecte beschrijving van. Ook dat introduceert onzekerheid. Aan de onzekerheid rond de extreme waterstanden liggen in de praktijk dus verschillende oorzaken ten grondslag.

Onzekerheid over de sterkte van waterkeringen

De daadwerkelijke sterkte van kunstwerken, duinen en dijken is in de praktijk onzeker. Zo wordt het vermogen van een dijk om extreme waterstanden te keren in belangrijke mate bepaald door de onzekere eigenschappen van de ondergrond. De natuurlijke ondergrond van de dijken varieert van punt tot punt. De grond is opgebouwd uit verschillende lagen, zoals Pleistoceen zand en rivierafzettingen (zie onderstaande figuur voor een voorbeeld). Hoewel deze laagopbouw en de eigenschappen van de ondergrond in theorie overal precies te bepalen zijn, zijn ze onzeker totdat ze daadwerkelijk zijn gemeten. En zelfs als ze zijn gemeten, zijn ze vaak nog enigszins onzeker door meetonzekerheden.

Ons beeld over de ondergrond is gebaseerd op metingen zoals boringen en sonderingen. Die liggen vaak tientallen of zelfs honderden meters uit elkaar. Op de plaats van een boring of sondering zijn de eigenschappen van de ondergrond vrij goed bekend, maar tussen de boor- en sondeerlocaties zijn

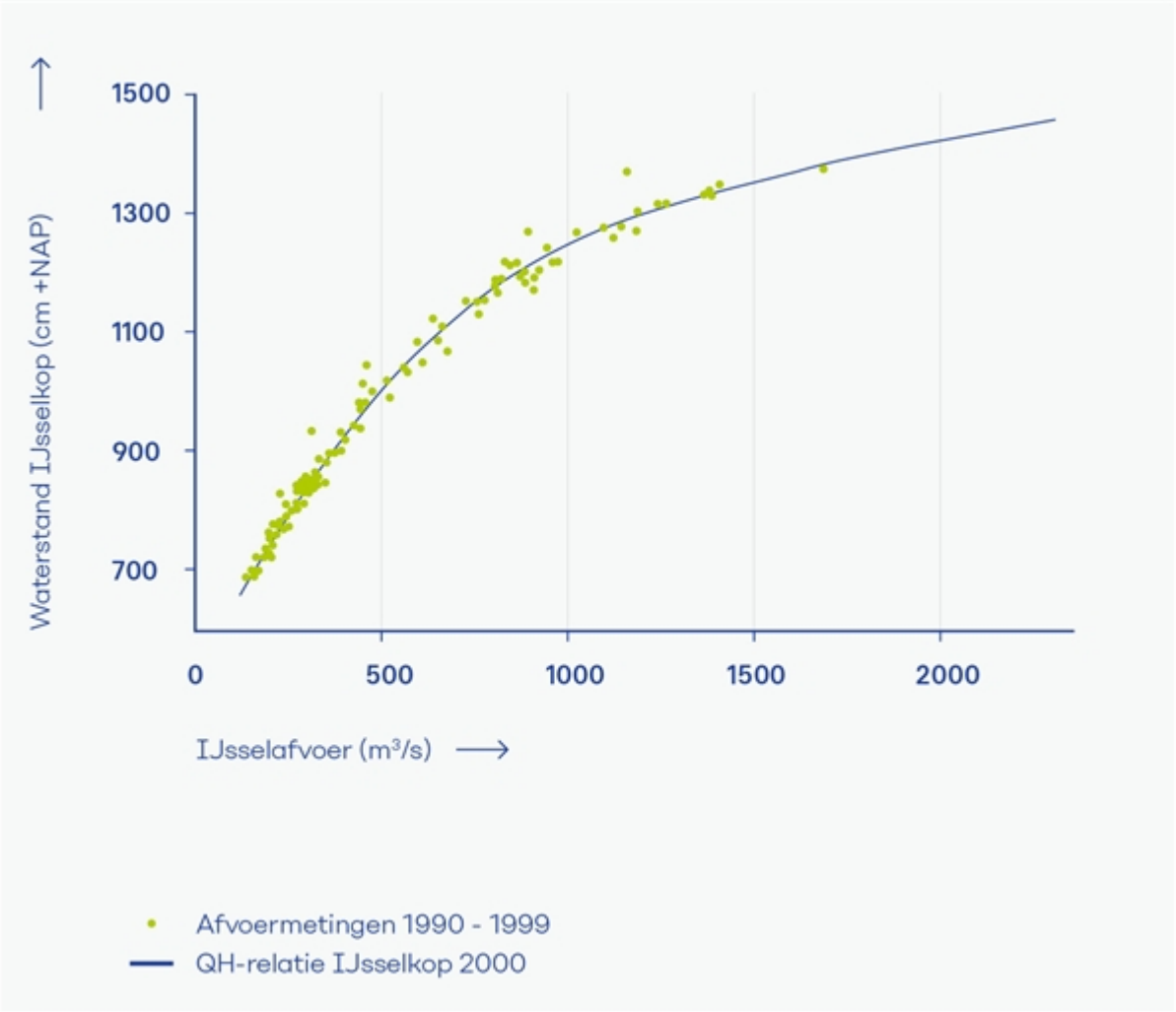
deze onzeker. Deze onzekerheid is groter naarmate de dichtstbijzijnde boor- en sondeerlocatie verder weg ligt.



Figuur 2 Een overzicht van de laagopbouw volgens boringen en sonderingen. Tussen deze boringen en sonderingen is het onzeker hoe de ondergrond is opgebouwd.

Modelonzekerheid

Modellen zijn altijd vereenvoudigingen van een complexe werkelijkheid. Uitkomsten van modelberekeningen zijn daarom altijd met onzekerheid omgeven. Onderstaande figuur geeft geeft ter illustratie de relatie tussen rivierafvoer en de waterstand. Te zien is dat de berekende waterstand kan afwijken van de gemeten waarde.



Figuur 3 Illustratie van de modelonzekerheid: de onzekere relatie tussen de rivierafvoer en de waterstand.

Onzekerheid over de gevolgen van overstromingen

De gevolgen van overstromingen zijn afhankelijk van vele onzekere factoren, zoals de locaties van de dijkdoorbraken, de bresontwikkeling en het tempo waarmee het water zich door het getroffen gebied verspreidt. Ook de kwetsbaarheid van mensen, gebouwen en infrastructuur is onzeker, net als de gevolgen van een overstroming buiten het direct getroffen gebied. Hoe verloopt de opvang van getroffenen? En wat is de bredere economische impact van de overstroming? Zelfs als uitgebreide voorbereidingen zijn getroffen, is het onzeker of tijdig alarm wordt geslagen, tijdig tot actie wordt overgegaan en maatregelen volgens plan zullen verlopen. In de praktijk is het vaak zeer onzeker of noodmaatregelen zullen slagen. Bij de Watersnoodramp van 1953 bleef het gebied rond Rotterdam ternauwernood gespaard, hoewel ook de Schielandse Zeedijk onder het natuurgeweld bezweek. Schipper Evergroen wist zijn schip De Twee Gebroeders namelijk in de bres te varen, waarna het gat in de dijk kon worden gedicht. Dat deze noodgreep slaagde, is nauwelijks te bevatten. Als het niet was gelukt, was het leed ook in deze streek niet te overzien geweest. Achter de Schielandse Zeedijk bevinden zich namelijk enkele dichtbevolkte polders, de diepste van Nederland.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Kansen

Omdat de normen voor de waterkeringen zijn gedefinieerd in termen van overstromingskansen,

speelt het kansbegrip een belangrijke rol in het Nederlandse waterveiligheidsbeleid. Over de betekenis van kansen bestaan verschillende opvattingen. Twee belangrijke interpretaties zijn de frequentistische en de Bayesiaanse (genoemd naar Thomas Bayes, 1702-1761). In beide interpretaties is de kans een getal tussen 0 en 1. Een waarde dicht bij 0 correspondeert met een lage waarschijnlijkheid, een waarde dicht bij 1 met een hoge waarschijnlijkheid. Er zijn echter belangrijke verschillen tussen de frequentistische en Bayesiaanse interpretaties. Deze kunnen gemakkelijk leiden tot spraakverwarring en misvattingen over de praktische betekenis van de overstromingskans(norm)en.

Frequentistische en Bayesiaanse interpretaties

Volgens de frequentistische interpretatie is een kans het gemiddeld aantal keren dat een bepaald resultaat wordt verkregen in een lange reeks identieke, onafhankelijke experimenten. Een kans heeft dan de betekenis van een relatieve frequentie. Klassiek voorbeeld is het werpen van een dobbelsteen. Er zijn zes mogelijke uitkomsten. Door zeer vaak met een dobbelsteen te gooien zal blijken dat elke uitkomst een kans van voorkomen heeft van 1/6. Het bepalen van de kans op hoogwater is echter complexer: hier speelt niet alleen inherente onzekerheid, maar ook kennisonzekerheid een rol. De relatieve frequentie van een bepaalde hoogwaterstand is daardoor niet met zekerheid vast te stellen. De kans op een overstroming is daarmee volgens de frequentistische interpretatie zelf ook onzeker. Het is dan niet met zekerheid te stellen of de overstromingskans kleiner is dan een norm. Hooguit kan worden gesteld wat de kans is dat aan een norm wordt voldaan.

Volgens de Bayesiaanse interpretatie is een overstromingskans een maat voor de waarschijnlijkheid dat een overstroming optreedt, gegeven de kennis die we hebben. Het onderscheid tussen beide typen onzekerheden doet in de Bayesiaanse interpretatie niet ter zake. Volgens de Bayesiaanse interpretatie is de kans op een overstroming niet onzeker; de kans is een weergave van alle aanwezige onzekerheden zoals ingeschat door degene die de kans berekent. De kans is daarmee niet langer een fysische eigenschap maar een subjectief waarschijnlijkheidsoordeel (degree of belief). Volgens de Bayesiaanse interpretatie kan iemand slechts één antwoord geven op de vraag of de overstromingskans kleiner is dan de norm. De kansinschattingen van verschillende personen kunnen wel verschillend zijn. In de praktijk worden dergelijke verschillen overbrugd door het uitwisselen van gegevens, second opinions en het vastleggen van best practices.

Toepassing in de hoogwaterbescherming

Voor de vraag of het voldoende veilig is, doet het in de praktijk niet ter zake of de onzekerheid over het waterkerend vermogen van de waterkeringen het gevolg is van inherente onzekerheid of van kennisonzekerheid. Daarom is de Bayesiaanse interpretatie gekozen als basis voor de risicoanalyses die ten grondslag liggen aan de normen en de instrumenten voor het ontwerp en de wettelijke beoordeling van waterkeringen. Deze keuze sluit aan bij de aanpak die in het kader van het Bouwbesluit en Eurocodes al vele jaren – nationaal en internationaal – wordt toegepast bij het ontwerp van gebouwen en infrastructuur (zie Kunstwerken: eisen uit de Waterwet en het Bouwbesluit).

Het gebruik van een Bayesiaanse kansbegrip heeft enkele belangrijke praktische consequenties. Zo worden de onzekerheden die voortkomen uit bijvoorbeeld gegevensbeperkingen en kennistekort tot uitdrukking gebracht in de berekende overstromingskans. Dit betekent dat gegevens inwinning en nader onderzoek kunnen leiden tot een verandering van de (of eigenlijk: onze) overstromingskans. Als de overstromingskans wordt opgevat als een eigenschap van een waterkerend systeem, dan was dat uiteraard onmogelijk. De overstromingskans is niet een eigenschap van de waterkering die eenduidig te bepalen is, zoals de hoogte van een waterkering, maar een inschatting gebaseerd op de kennis over de waterkering. De overstromingskans is daarmee ook een maat voor onze onzekerheid: de kans is immers afhankelijk van onze beschikbare kennis en informatie over het systeem. Zo neemt onze

onzekerheid over het waterkerend vermogen van een nieuwe stuwdam drastisch af als het stuwmeer eenmaal gevuld is. Na het vullen van het meer zijn de eigenschappen van de dam niet veranderd maar onze nieuwe inschatting van de kans op doorbraak is aanzienlijk kleiner dan voor het vullen.
Het bovenstaande betekent ook dat een overstromingskans niet overeenkomt met de overschrijdingskans van de waterstand waarbij een overstroming optreedt. Deze kansen zijn alleen aan elkaar gelijk als precies bekend is bij welke waterstand de waterkering zal doorbreken. In de praktijk is dat echter onzeker, bijvoorbeeld door gebrek aan kennis over de ondergrond. Door deze onzekerheid bestaat er een kans dat de waterkering al bij een relatief lage waterstand zal doorbreken, maar er is ook een kans dat dit pas bij een relatief hoge waterstanden gebeurt.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Risico

Er bestaan veel verschillende definities van risico. In de waterbouwkundige praktijk is overstromingsrisico een begrip dat betrekking heeft op zowel de mogelijke gevolgen van overstromingen als de kansen daarop. Het geeft aan welke gevolgen zich met welke kans voor kunnen doen. Risico wordt vaak aangeduid als kans maal economische schade. Risico is echter meer dan dat. Het is ook mogelijk het overstromingsrisico uit te drukken in andere risicomaten, zoals het groepsrisico (de kans dat een grote groep mensen overlijdt) en het individueel risico (de kans dat een persoon overlijdt). Welke risicomaat de voorkeur verdient, is afhankelijk van de factoren die bepalen hoe ernstig een bedreigende situatie wordt ervaren. In de Nederlandse aanpak wordt naar drie risicomaten gekeken: de jaarlijkse verwachtingswaarde van de schade, het individueel risico en het groepsrisico.

Een duidelijk beeld van overstromingsrisico's en de mate waarin deze met maatregelen te verkleinen zijn, kan beslissingen op het gebied van waterveiligheid ondersteunen. Dijkversterkingen, rivierverruimingen, ruimtelijke maatregelen en maatregelen voor crisisbeheersing en zelfredzaamheid hebben allemaal invloed op het overstromingsrisico, zij het op een verschillende wijze. Door te laten zien wat het effect van deze uiteenlopende maatregelen op het overstromingsrisico is, is een consistente, gelijkwaardige afweging mogelijk. Welke maatregelen of maatregelenpakketten uiteindelijk de voorkeur verdienen, zal overigens niet alleen afhankelijk zijn van het effect op het overstromingsrisico, maar ook van de kosten en eventuele andere baten dan waterveiligheid.

Het overstromingsrisico kan behulpzaam zijn om te beoordelen of de geboden veiligheid voldoende is: of sprake is van een aanvaardbaar risico. De eerste Deltacommissie beoordeelde de aanvaardbaarheid van het overstromingsrisico's op basis van kosten-batenanalyses (economisch risico). De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (de voorganger van het Expertise Netwerk Waterveiligheid) heeft voorgesteld ook het resulterende groepsrisico en het individueel risico als criteria te hanteren bij het beoordelen van de aanvaardbaarheid. Alle drie risicomaten hebben een voorname rol gespeeld bij het vaststellen van de overstromingskansnormen.

Economisch risico

Het economisch risico is de economische waardering van de kansen op uiteenlopende mogelijke schades, uitgedrukt in euro's of euro's per jaar. In kosten-batenanalyses wordt het economisch risico vaak gelijkgesteld aan de jaarlijkse verwachtingswaarde van de schade, het product van kans en schade. De achtergrond daarvan is de gedachte dat de overheid eventuele schades op een efficiënte wijze kan spreiden over alle Nederlanders. Als dit niet het geval is en ieder zijn eigen schade draagt, zal het risico vaak zwaarder worden gewaardeerd.

Groepsrisico

Het groepsrisico is een risicomaat die inzicht geeft in de kansen op grote aantallen slachtoffers. Inzicht hierin is van belang omdat rampen waarbij grote aantallen mensen om het leven komen grote onrust en gevoelens van onveiligheid kunnen veroorzaken. Een verkeersongeluk met 20 slachtoffers kan het nieuws dagenlang in zijn greep houden. Dat geldt echter niet voor de veel talrijkere ongelukken met één slachtoffer.

Individueel risico

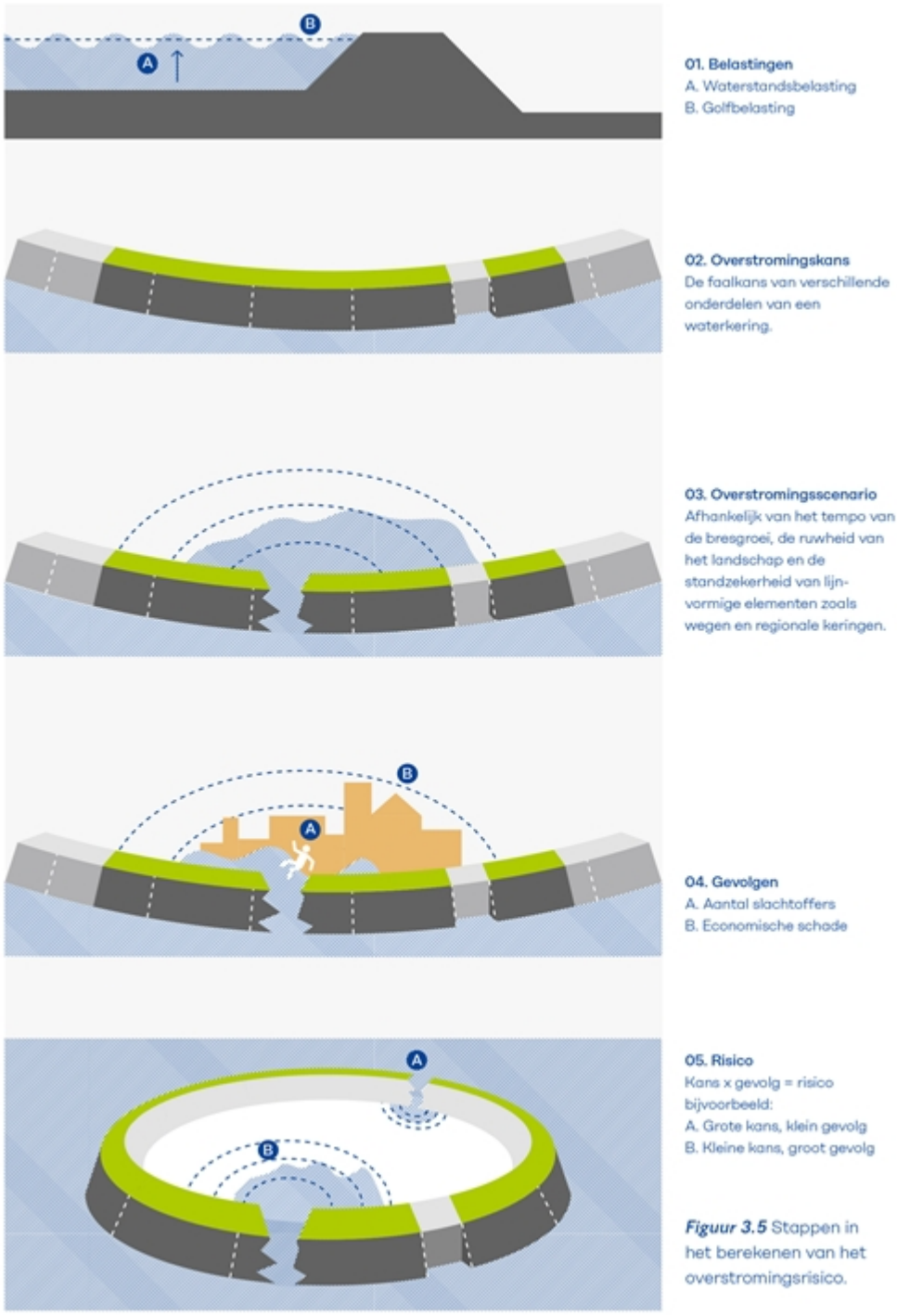
Het groepsrisico en kosten-batenanalyses hebben betrekking op de totale omvang van het risico. Ze geven geen inzicht in de risico's die individuen lopen. Ons oordeel over de aanvaardbaarheid van risico's wordt daar echter wel vaak mede door bepaald. Het lokaal individueel risico (LIR) is een risicomaat voor de kans dat een persoon die ergens permanent verblijft komt te overlijden door een overstroming, rekening houdend met de mogelijkheid voor evacuatie. Door een grens te stellen aan het lokaal individueel risico ontstaat in Nederland voor iedereen in binnendijks gebied een basisveiligheidsniveau.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Overstromingsrisico's berekenen

De kans dat een waterkering ergens faalt, wordt bepaald door de kans op een belasting en de kans dat de waterkering deze belasting niet kan weerstaan. Een overstroming kan zich op oneindig veel verschillende manieren voltrekken, afhankelijk van onder andere de condities waaronder de overstroming optreedt, de locaties van de dijkdoorbraken en de standzekerheid van lijnvormige elementen in het landschap zoals hooggelegen (spoor)wegen. De gevolgen van een overstroming zijn afhankelijk van de kwetsbaarheid van het getroffen gebied en van de beslissingen die burgers en bestuurders nemen naarmate de overstromingsdreiging toeneemt. Het succes van een preventieve evacuatie hangt in belangrijke mate af van de beschikbare tijd en de condities waaronder de evacuatie moet plaatsvinden. Door te evacueren kan het aantal getroffenen worden verkleind, maar een verkeerschaos zou bij een overstroming van een diepe polder juist tot veel slachtoffers kunnen leiden. Over al deze factoren bestaat onzekerheid en kan alleen in termen van kansen (waarschijnlijkheden) worden gesproken. Door alle mogelijke gevolgen met de bijbehorende kansen te combineren, wordt het overstromingsrisico verkregen.

De berekening van het overstromingsrisico bestaat uit de volgende stappen (zie onderstaande figuur):



Figuur 1 Stappen in het berekenen van het overstromingsrisico.

01 **Belastingen**

Bepaal de kansverdelingen van de belastingen waar de verschillende onderdelen van de waterkering aan onderhevig zijn. Verschillende typen belastingen kunnen van belang zijn, zoals een waterstands- of golfbelasting, maar ook een aardbevingsbelasting, verkeersbelasting of de belasting van het eigen gewicht. Houd hierbij rekening met de mogelijkheid dat verschillende typen belastingen gelijktijdig kunnen optreden.

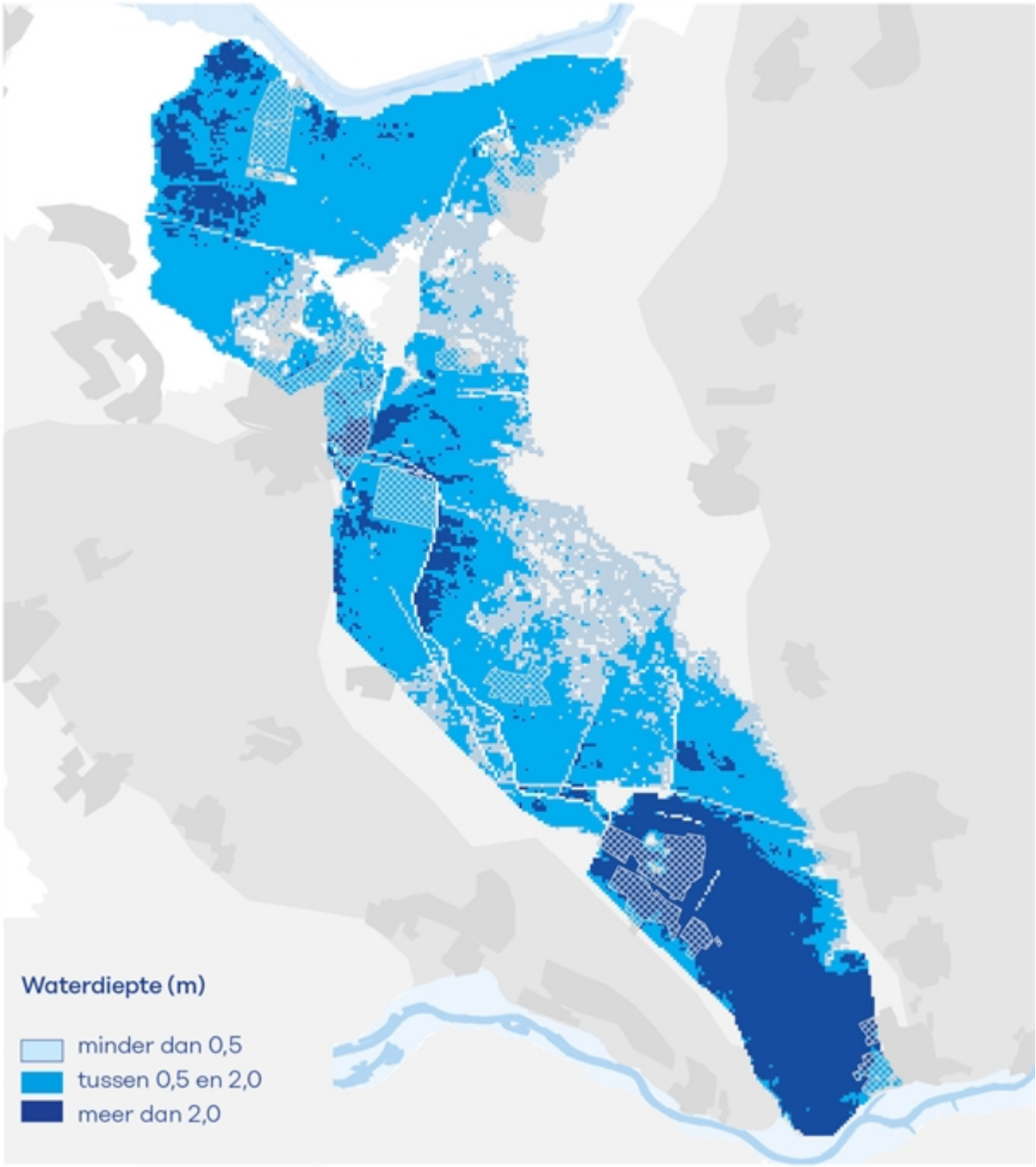
02 **Overstromingskans**

Bepaal voor alle mogelijke belastingen de kans dat de kering op één of meer locaties zijn waterkerend vermogen verliest en een overstroming optreedt. Houd hierbij rekening met afhankelijkheden. Verschillende onderdelen van een waterkering worden immers gelijktijdig aan een hoogwaterbelasting onderworpen. Hierdoor is de kans relatief groot dat deze gelijktijdig zullen doorbreken bij een extreme hoogwaterstand.

03 **Overstromingsscenario**

Bepaal het verloop van mogelijke overstromingen. Een overstromingsverloop wordt ook wel een overstromingsscenario genoemd. Zo'n scenario laat zien hoe het water zich over het getroffen gebied verspreidt, afhankelijk van onder andere de breslocatie, het tempo van de bresgroei, de ruwheid van het landschap en de standzekerheid van lijnvormige elementen zoals wegen en regionale keringen. Al deze factoren zijn met onzekerheden omgeven. Met deze onzekerheden kan rekening worden gehouden door kansen toe te kennen aan de verschillende scenario's.

De gedefinieerde overstromingsscenario's worden geacht model te staan voor alle mogelijke manieren waarop een overstroming zich kan voltrekken. De som van de scenariokansen is dan gelijk aan de overstromingskans. Dat is namelijk de kans dat het ergens, op welke manier dan ook, misgaat. Door de verzameling van scenario's verder uit te breiden, ontstaat een nauwkeuriger beeld van het overstromingsrisico.



Figuur 2 Voorbeeld van een berekend overstromingspatroon (de Gelderse Vallei vanuit de Lek).

04 **Gevolgen**

Bepaal per overstromingsscenario de gevolgen. Dit kan door de kenmerken van de overstroming, zoals de maximale waterdieptes en de maximale stroom- en stijgsnelheden in het getroffen gebied, te combineren met gegevens over de aldaar aanwezige personen en kwetsbare objecten. Het aantal slachtoffers en in mindere mate de schade zullen afhankelijk zijn van de vraag hoe lang van tevoren men de overstroming ziet aankomen, of tijdig wordt besloten tot preventieve evacuatie en of de evacuatie volgens plan verloopt. Met de onzekerheid hierover is in risicoanalyses rekening te houden door aan de verschillende mogelijke uitkomsten van evacuaties kansen toe te kennen.

05 **Risico**

Combineer overstromingskansen met de gevolgen om een beeld van het risico te verkrijgen. Dit kan op verschillende manieren. Door eerst per scenario de kans te vermenigvuldigen met de bijbehorende schade en de uitkomsten vervolgens op te tellen, ontstaat de verwachtingswaarde van de schade voor het hele gebied. Door deze berekening voor kleinere oppervlakte-eenheden uit te voeren, ontstaat een ruimtelijk beeld van de verwachtingswaarden van de schade. Op dezelfde wijze is de kans op overlijden van een individu te bepalen. Door in deze berekening ook de kans te verwerken dat iemand in het gebied aanwezig is en niet preventief is geëvacueerd, komt het lokaal individueel risico in beeld. Om het groepsrisico te berekenen moeten de slachtofferaantallen per scenario worden gesorteerd van laag naar hoog om dan de bijbehorende cumulatieve som van de scenariokansen te berekenen. Zo ontstaat per slachtofferaantal de cumulatieve kans. Deze waarden kunnen worden uitgezet in een groepsrisicocurve(FN-curve).



Figuur 3 De verschillende elementen die een rol spelen bij de omvang van het gevolg van een overstroming.

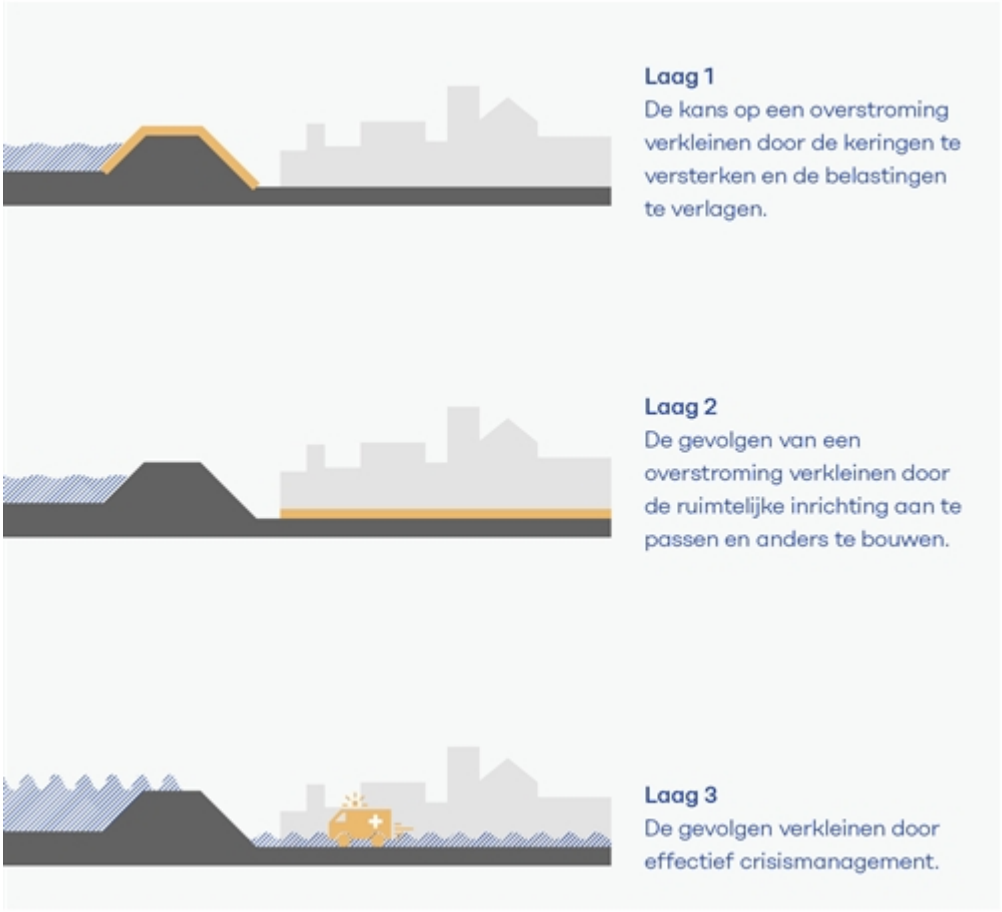
Versie 1.0: 2 juli 2025

4 Van risico naar norm

Aanvaardbaar risico

In Nederland ligt zoals gezegd een uitgebreid stelsel van waterkeringen die mensen en goederen beschermen tegen overstromingen. Door de onzekerheid over de sterkte en belastingen van deze keringen is altijd sprake van een overstromingsrisico. De vraag is wat een aanvaardbaar risiconiveau is. Dit hangt onder andere samen met de kosten voor het verkleinen van het risico.

Het risico van een overstroming is op meerdere manieren te beheersen. Ten eerste is de kans op een overstroming te verkleinen door waterkeringen te versterken of de belasting te verlagen, bijvoorbeeld door rivierverruiming. Ten tweede zijn de omvang van de schade en het aantal slachtoffers te beïnvloeden via de ruimtelijke inrichting, bijvoorbeeld door niet te bouwen in laaggelegen gebieden. Ten derde zijn de gevolgen te beperken door te zorgen voor goede evacuatiemogelijkheden en rampenbeheersing.



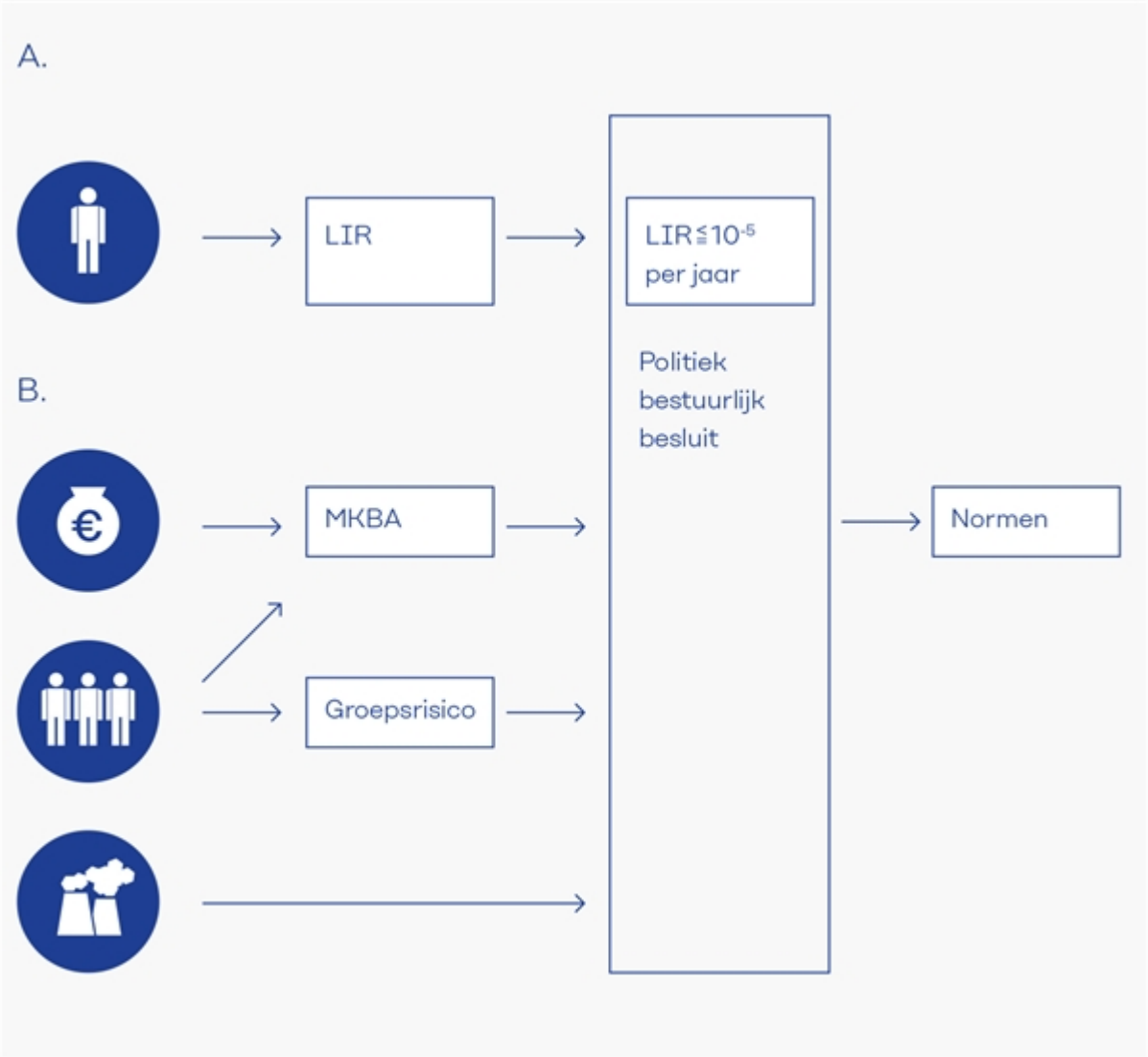
Figuur 1 De verschillende lagen van meerlaagsveiligheid.

Ingegeven door de historie van overstromingen en de toenemende bevolkingsdruk is in Nederland al lang geleden de keuze gemaakt om in te zetten op het voorkomen van overstromingen door waterkeringen aan te leggen. Dit betekent niet dat het beperken van gevolgen niet zinvol is; een strategische keuze om op de langere termijn de gevolgen niet te laten toenemen zou zeer verstandig kunnen zijn. Echter, in Nederland is de meest doelmatige manier om het overstromingsrisico te verkleinen bijna altijd het verkleinen van de kans op een overstroming. Daarom hebben we een uitgebreid stelsel van keringen, welke wettelijk zijn verankerd.

De normen in de Waterwet zijn afgeleid van het overstromingsrisico dat aanvaardbaar wordt gevonden voor gebieden die bescherming genieten van primaire keringen (de Waterwet stelt geen eisen aan de bescherming tegen overstromingen in buitendijks gebied).

De normen voor deze gebieden berusten op de volgende twee principes:

1. Iedereen moet kunnen rekenen op dezelfde minimale bescherming: het basisbeschermingsniveau, uitgedrukt in Lokaal Individueel Risico (LIR).
2. Waar de gevolgen van een overstroming zeer groot zijn, is een kleinere overstromingskans passend, op basis van het groepsrisico en een Maatschappelijke Kosten Baten Analyse (MKBA).



Figuur 2 De principes die ten grondslag liggen aan de overstromingskansnormen voor de primaire waterkeringen.

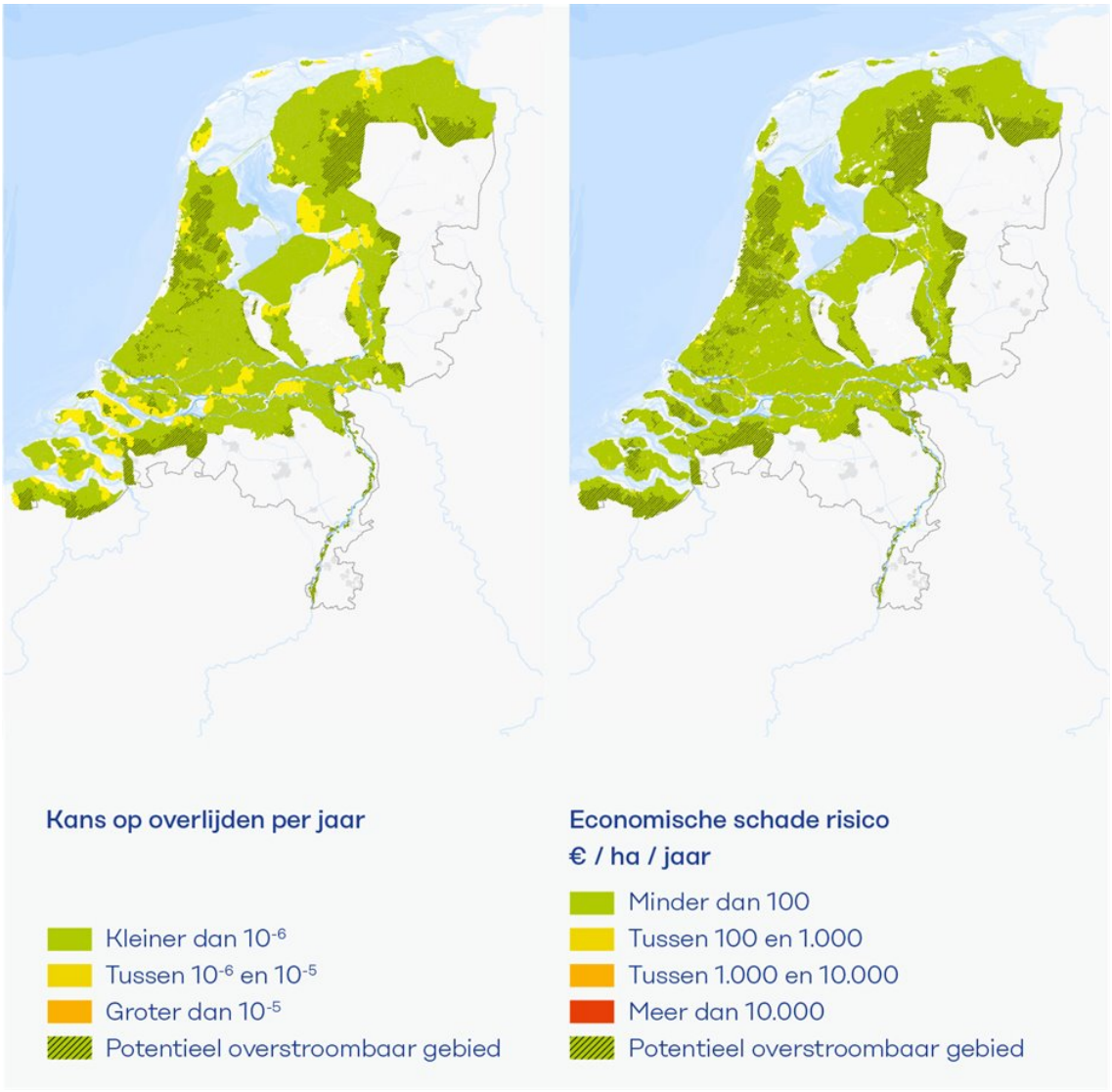
Op hoofdlijnen geldt: hoe groter de potentiële gevolgen, des te strenger de bijbehorende normen. Grote gevolgen kunnen bestaan uit veel slachtoffers of grote economische schade. Daarnaast kunnen de gevolgen groot zijn als grote maatschappelijke verstoring optreedt bij overstroming van bijzondere objecten zoals de kerncentrale bij Borssele.

De normen voor de dijktrajecten variëren van 1/100 tot 1/1.000.000 per jaar. Deze normen leiden ertoe dat het risico (kans maal gevolg) in de overstroombare delen van Nederland vrijwel gelijk is.



Figuur 3 Maximaal toelaatbare overstromingskansen: de ondergrenzen zoals vastgelegd in de Waterwet.

De overstromingskansnormen gelden voor zogenaamde dijktrajecten. Dit zijn delen van de oorspronkelijke dijkringen. Ze zijn bepaald door rekening te houden met het overstroombare gebied en de omvang van de schade. De afmetingen van een waterkering worden naast de norm ook door de lengte van het traject bepaald. In totaal zijn zo 234 dijktrajecten gedefinieerd met een lengte die varieert van 0,2 tot 47 kilometer en een gemiddelde lengte van 15 kilometer. Ieder traject is in de Waterwet vastgelegd via de Rijkscoördinaten van het begin- en eindpunt en een kaart.

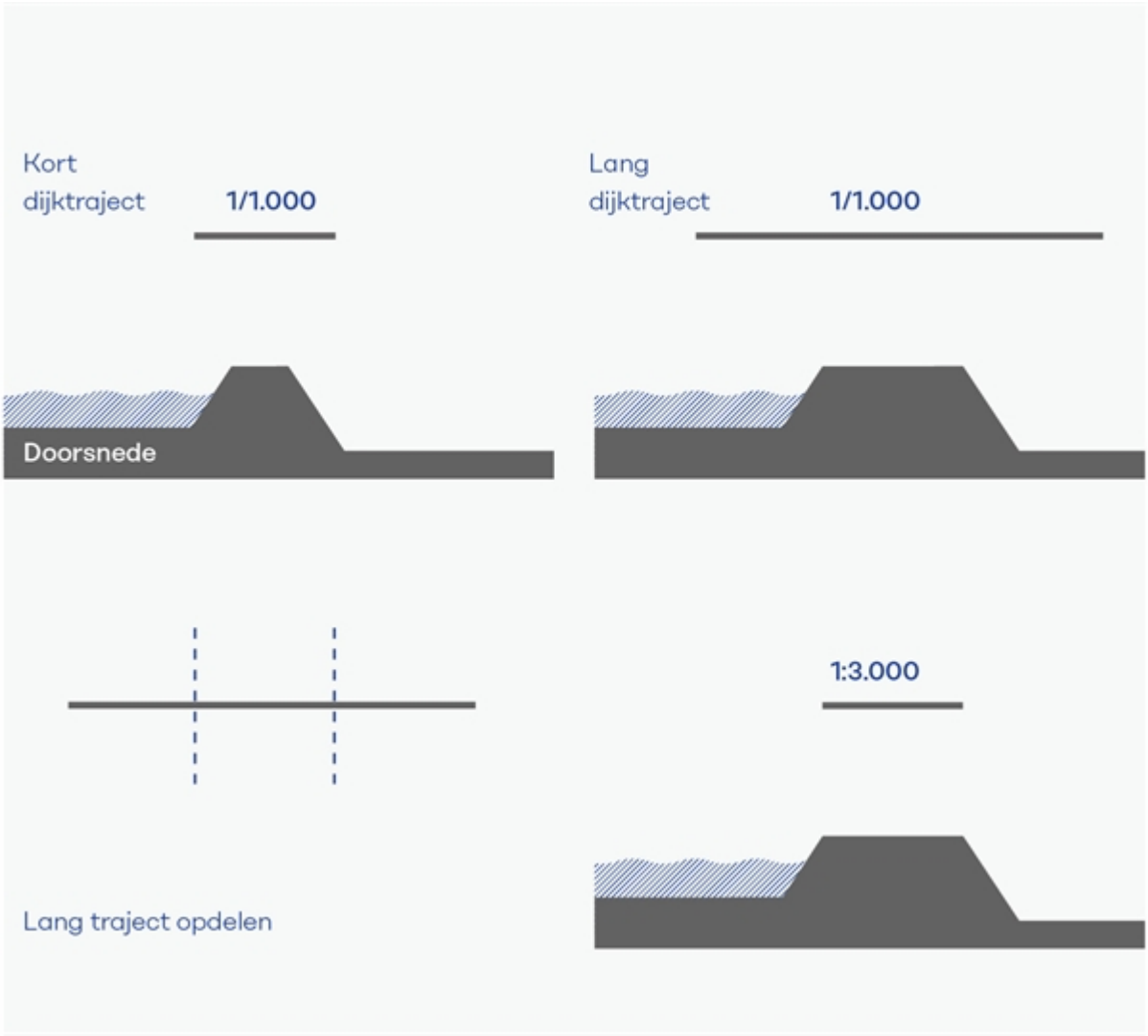


Figuur 4 Het lokaal individueel risico en de economische schade als alle keringen voldoen aan de eisen in de Waterwet.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Het afleiden van normen

De normen zijn het resultaat van een bestuurlijk proces dat is gevoed met de resultaten van risicoberekeningen en een kosten-batenstudie. In veel gevallen zijn deze resultaten overgenomen, waarbij rekening is gehouden met de onzekerheid in de invoergegevens.



Figuur 1 Schematische weergave van de relatie tussen de lengte van een dijktraject, de norm en de doorsnede. Een lang dijktraject met dezelfde eis als een kort traject zal een grotere doorsnede hebben. Door de langere kering op te delen in kortere trajecten met elk een strengere eis is er een betere relatie tussen norm en doorsnede. Dit een gevolg van het zogenaamde lengte-effect, zie Lengte-effect.

Overstromingen in de Waterwet

In de Waterwet staan overstromingskansnormen. Maar wat wordt hier bedoeld met een overstroming? De Waterwet heeft betrekking op de primaire waterkeringen langs buitenwater en niet op het regionale systeem. Ook instroom van buitenwater leidt echter niet altijd tot een overstroming in de zin van de Waterwet. Het bezwijken van een sluisdeur die onderdeel is van een primaire kering hoeft bijvoorbeeld niet per se tot substantiële schade te leiden, wanneer het instromende water in het achterliggende watersysteem geborgen kan worden.

Overstromingen zijn er in vele soorten en maten, met uiteenlopende gevolgen. In theorie zouden er verschillende eisen gesteld kunnen worden aan de verschillende overstromingsscenario's, afhankelijk van hun gevolgen. Maar de Waterwet noemt per traject één maximaal toelaatbare overstromingskans. Deze overstromingskans is gedefinieerd als 'de kans op verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject waardoor het door het dijktraject beschermde gebied zodanig overstroomt dat dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade ontstaan' (art. 1.1). Wanneer er sprake is van substantiële economische schade is niet omschreven omdat dit zal afhangen

van de lokale situatie. In de praktijk is het volgende criterium te hanteren: als de gemiddelde Waterdiepte in minimaal één gebied of buurt met gelijke viercijferige postcode (op basis van de wijk- en buurtkaart van het CBS) groter is dan 0,2 meter, is er sprake van een overstroming. Dit criterium is gebaseerd op de ervaring dat slachtoffers en grootschalige schade pas optreden als de lokale waterdieptes groter zijn dan circa 0,2 meter. Van dit algemene principe kan in specifieke situaties onderbouwd worden afgeweken.

Basisbeschermingsniveau

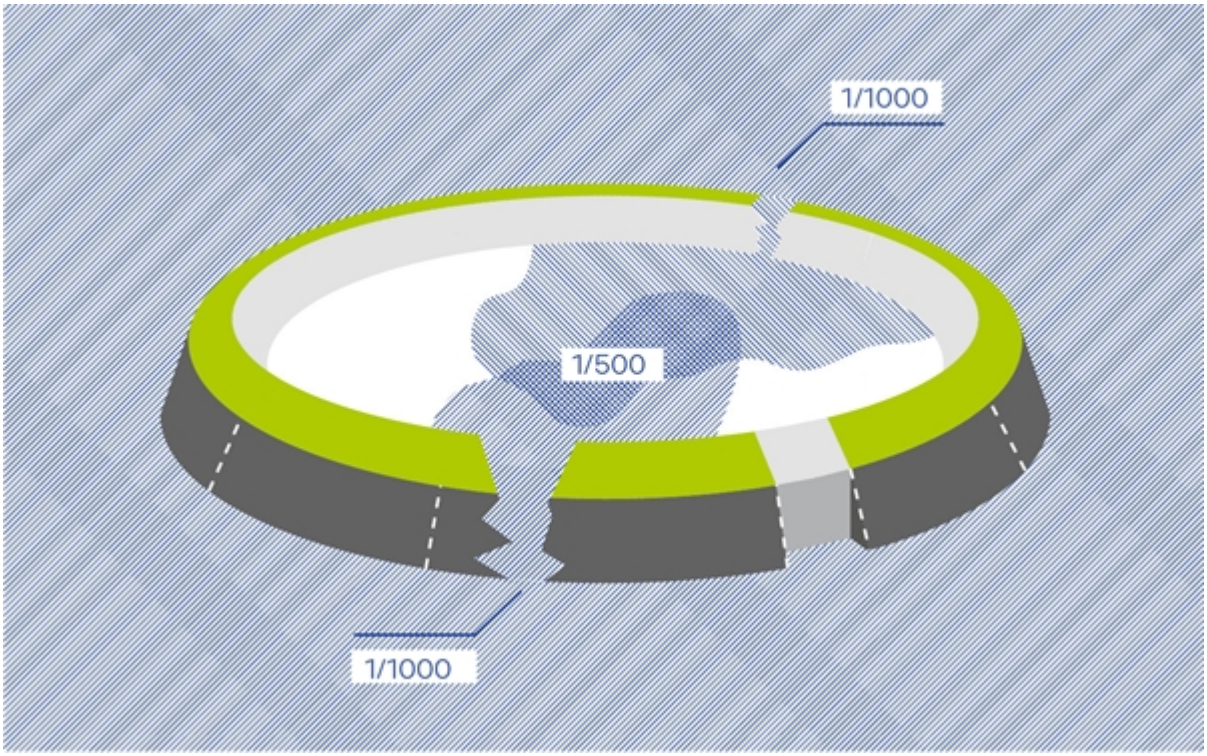
Om iedereen dezelfde minimale bescherming te bieden is politiek besloten dat het Lokaal Individueel Risico (LIR) maximaal 1/100.000 per jaar mag zijn. Het LIR is de kans om ergens te overlijden ten gevolge van een overstroming en kan per locatie als volgt worden berekend:

LIR = overstromingskans x mortaliteit x (1- evacuatiefractie)

Met de mortaliteit: de kans op overlijden gegeven een overstroming en de evacuatiefractie: het gedeelte van de bevolking dat gemiddeld genomen uit het bedreigde gebied is geëvacueerd voordat een overstroming en de evacuatiefractie optreedt.

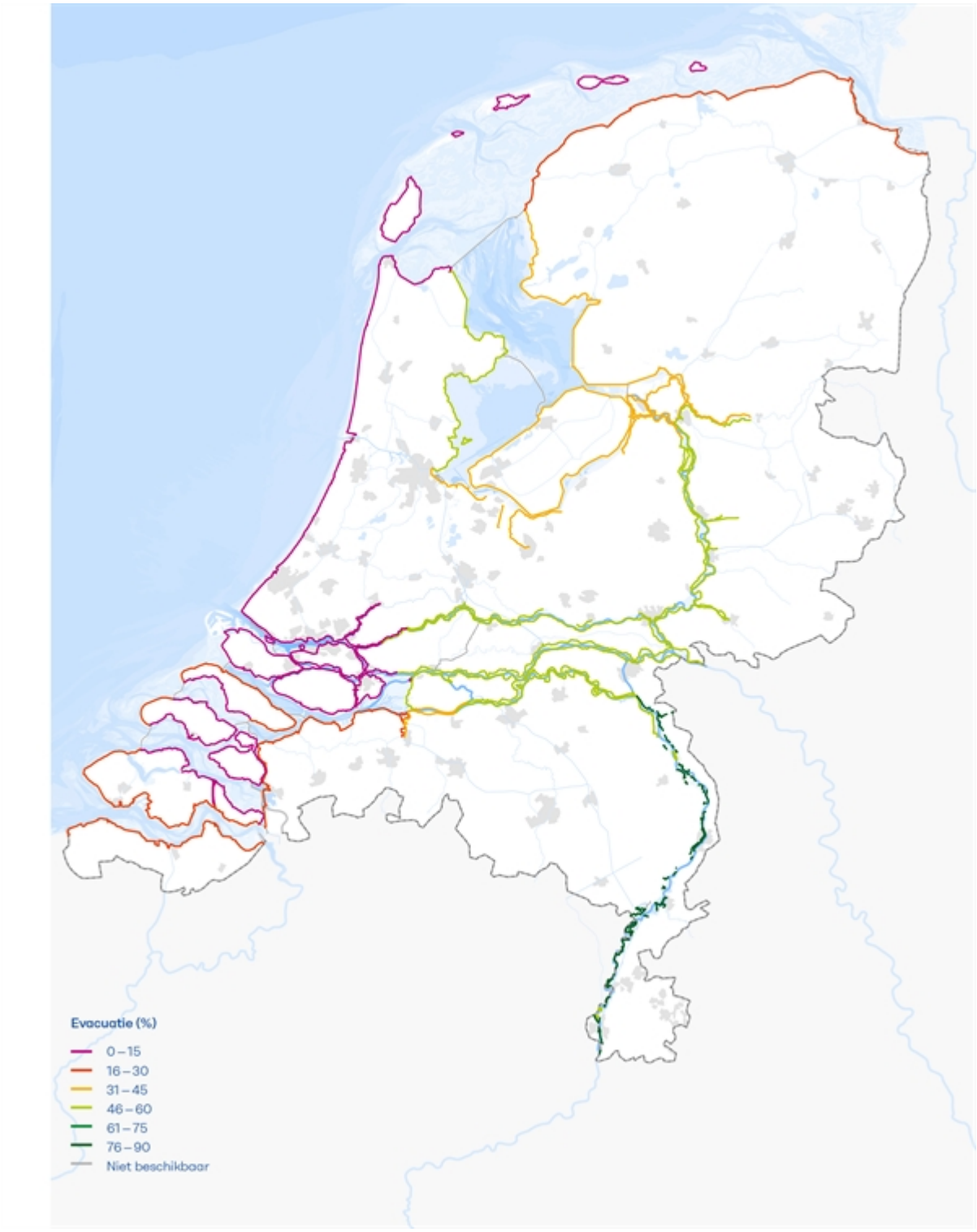
De LIR-eis van 1/100.000 per jaar is te vertalen in een maximaal toelaatbare overstromingskans als de mortaliteit en de evacuatiefractie bekend zijn. Met name de stijgsnelheid en de maximale waterdiepte zijn bepalend voor de mortaliteit. Een evacuatiefractie van 0,35 of 35% betekent bijvoorbeeld dat 35% van de mensen voor de overstroming uit het gebied weg is (ofwel: de kans dat een willekeurig bewoner het bedreigde gebied voorafgaand aan een overstroming heeft verlaten is 0,35).

De mortaliteit varieert van plaats tot plaats in het overstroombare gebied. Voor het bepalen van de vereiste overstromingskans is gekeken naar de gemiddelde mortaliteit op het schaalniveau van buurten: gebieden met gelijke viercijferige postcode (op basis van de wijk- en buurtkaart van het CBS. De meest risicovolle buurt in het overstroomde gebied is vervolgens bepalend voor de trajecteis. Een gebied kan vanuit verschillende trajecten getroffen worden door een overstroming (zie onderstaande figuur). Hier is rekening mee gehouden bij de afleiding van de overstromingskansnormen voor de waterkeringen.



Figuur 2 Als een gebied vanuit verschillende trajecten kan overstromen, is de kans dat het gebied door een overstroming wordt getroffen groter dan de overstromingskans van één van de afzonderlijke trajecten.

Het gebied verlaten wordt ook wel horizontale evacuatie genoemd (in tegenstelling tot verticale evacuatie, waarbij mensen binnen het overstroomde gebied een veilige hogere plek zoeken). Het succes van horizontale evacuatie is afhankelijk van de waarschuwingstijd, de afstand tot veilig gebied en de beschikbare wegcapaciteit. Omdat van tevoren niet valt te zeggen hoe de dreiging en de evacuatie precies zullen verlopen, zijn voor het afleiden van de normen evacuatiefracties bepaald voor meerdere scenario's waarin waarschuwingstijden en mate van succes variëren. Eén van de scenario's is steeds een onverwachte overstroming waarbij geen evacuatie mogelijk is. Uit de zo bepaalde range van evacuatiefracties zijn verwachtingswaardes en bandbreedtes afgeleid die bepalend zijn geweest voor de normen.



Figuur 3 Evacuatiefracties.

Relatie tussen basisbeschermingsniveau en overstromingskans

De kans op overlijden bij een overstroming volgt uit overstromingsberekeningen. Uit ervaringsgegevens blijkt dat deze kans rond de 0,01 ligt, maar kan toenemen tot 0,1 in kleine, diepe polders die zich snel vullen bij een doorbraak. Een succesvolle evacuatie verkleint de kans op overlijden:

LIR = $P_{overstroming}$ * mortaliteit * (1- evacuatiefractie)
Hierin staat $P_{overstroming}$ voor de overstromingskans. Dit betekent dat de toelaatbare kans op een overstroming, passend bij het LIR van 10-5 per jaar, afhankelijk is van de kans op een succesvolle evacuatie en van de mortaliteit:
$P_{overstroming} = 10^{-5}$ / mortaliteit * (1- evacuatiefractie)

In onderstaande tabel staan enkele getalswaarden van P overstromingen bij verschillende waarden van de mortaliteit en evacuatiefractie.

Tabel 1 Mortaliteit en evacuatiefractie.

Mortaliteit	**Evacuatiefractie = 0**	**Evacuatiefractie = 0,90**
0,1 (Kleine diepe polders)	10^{-4}	10^{-3}
0,01 (Grote diepe polders)	10^{-3}	10^{-2}
0,001 (Ondiepe polders)	10^{-2}	10^{-1}

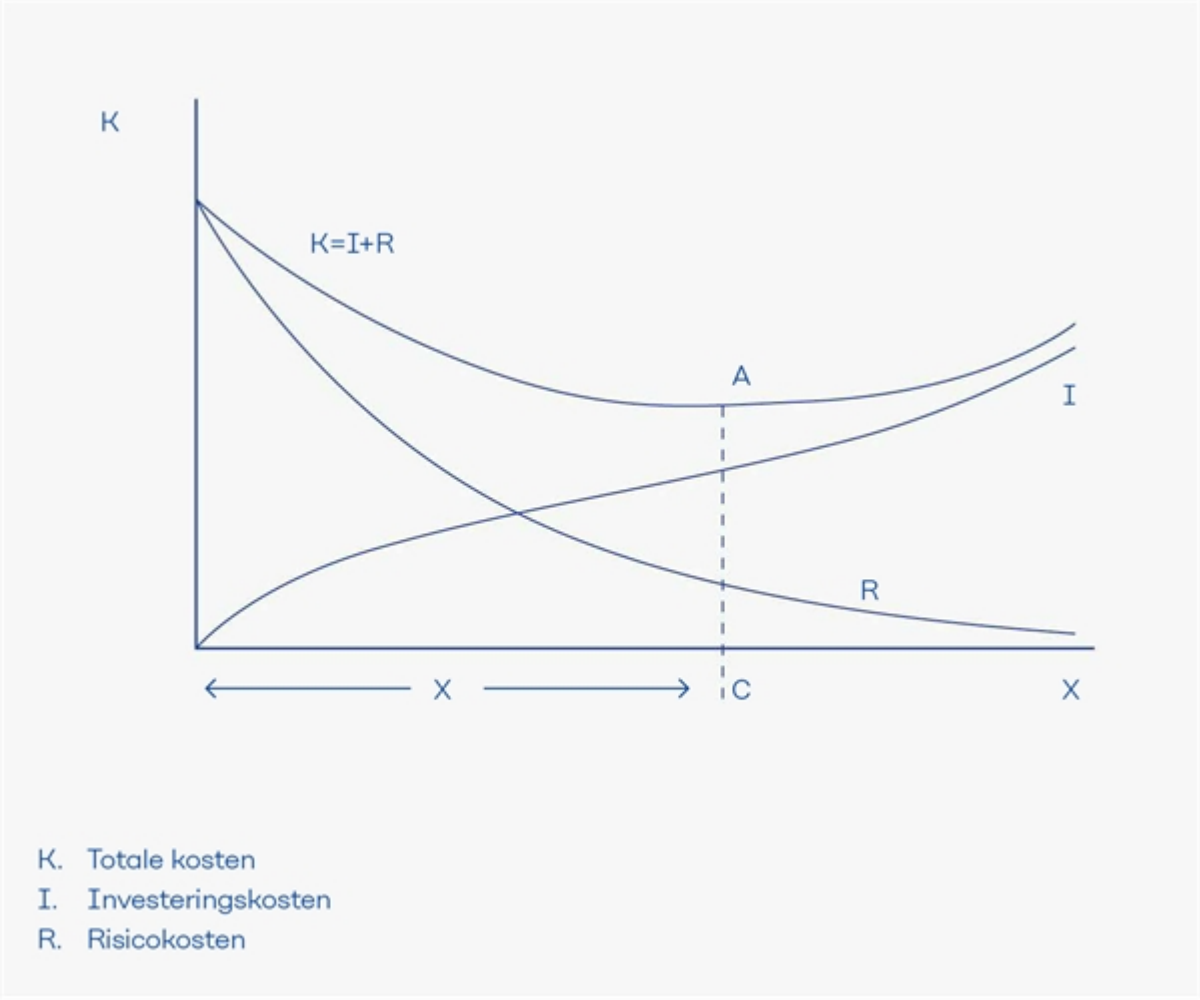
De tabel laat zien dat de maximaal toelaatbare overstromingskansen die volgen uit het basisbeschermingsniveau met name voor diepe polders streng zijn. Voor ongeveer een derde van de dijktrajecten is het basisbeschermingsniveau bepalend voor de norm.

Kosten-batenanalyse

Met een maatschappelijk kosten-batenanalyse (MKBA) zijn de gevolgen van een overstroming afgewogen tegen de kosten om de kans op een overstroming te verkleinen. Zo is bepaald wat vanuit economisch perspectief het optimale moment is om de kering te versterken en wat de optimale omvang is van de versterking. De optimale investeringsstrategie is de strategie waarbij de contante waarde van de investeringskosten plus het economisch risico minimaal is. Bij de berekening zijn allerlei vormen van immateriële schades meegenomen door deze uit te drukken in geld, ook het verlies van mensenlevens.

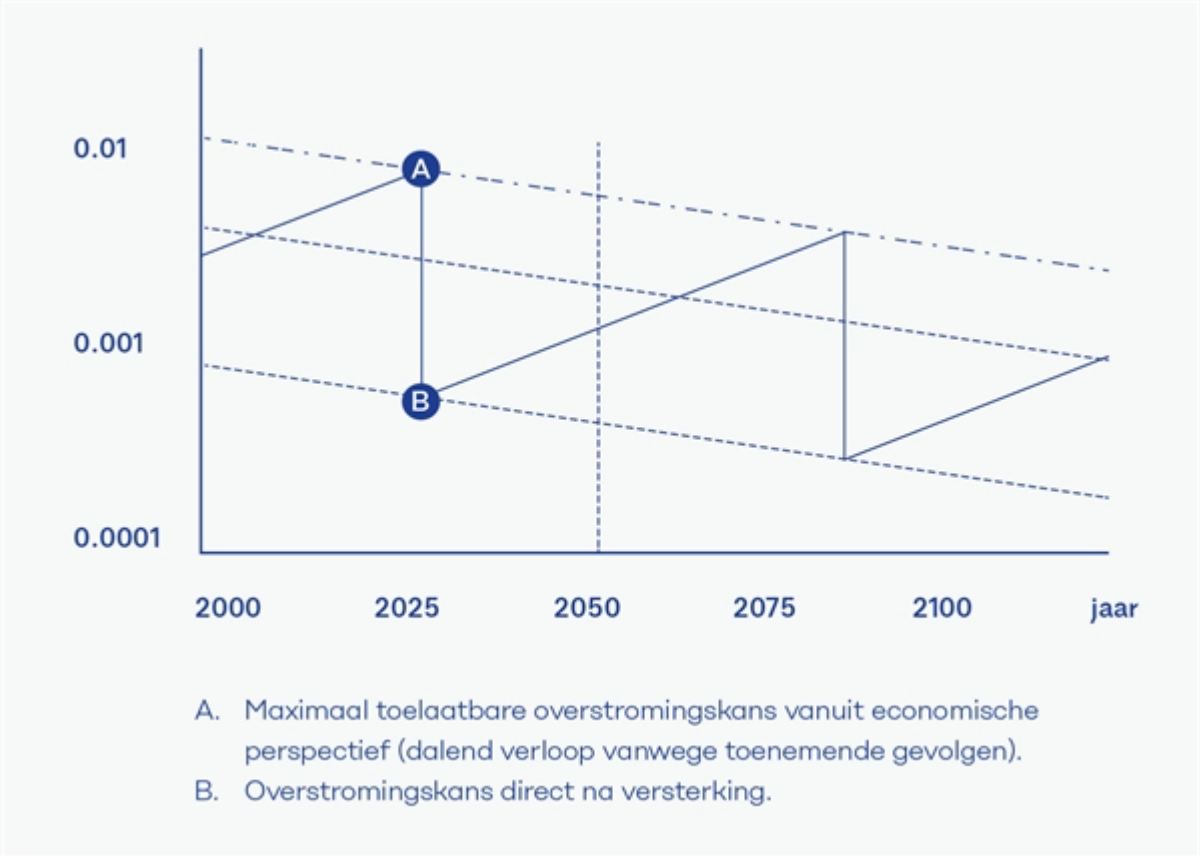
Het principe van een kosten-batenanalyse

Door meer te investeren in de betrouwbaarheid van waterkeringen neemt het overstromingsrisico af. De investeringen en het risico vormen samen de totale maatschappelijke kosten. Door de totale kosten te minimaliseren kan de optimale betrouwbaarheid van de waterkeringen worden bepaald. Dit principe is voor het eerst in de praktijk gebracht door de eerste Deltacommissie en is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.

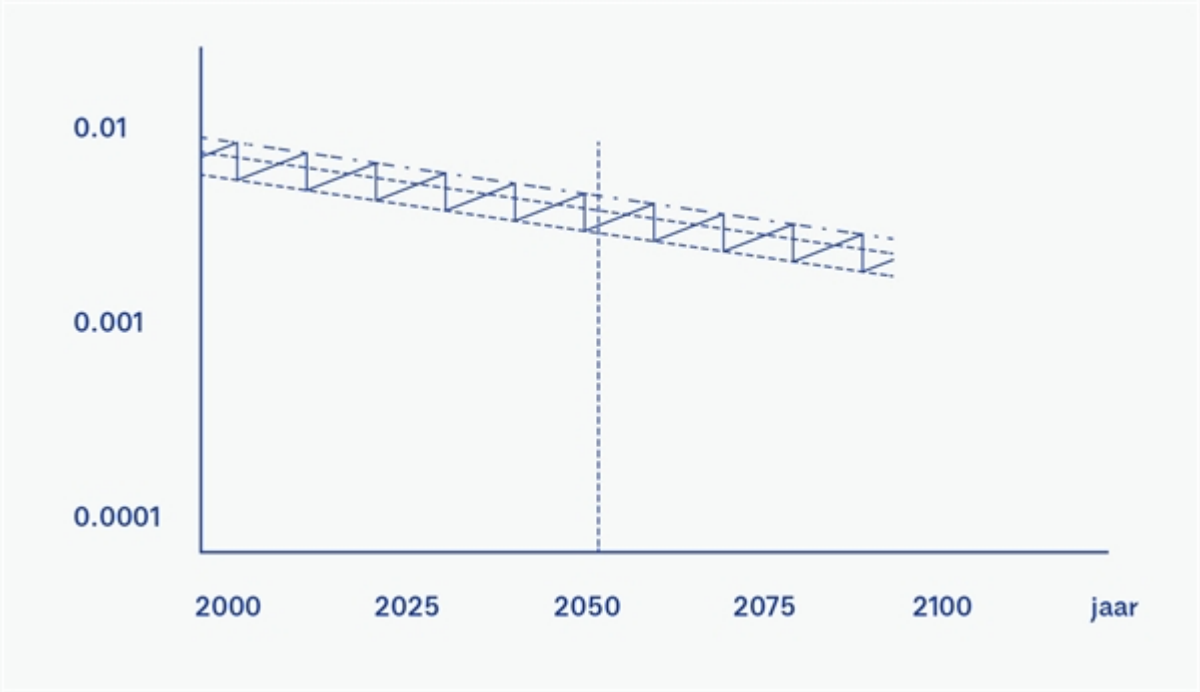


Figuur 4 Het basisprincipe van een economische optimalisatie. De totale kosten (K) zijn gelijk aan de investeringskosten (I) voor vergroting van de betrouwbaarheid (hier: dijkverhoging) plus de contante waarde van het risico (R). Het optimum ligt waar de totale kosten (I+R) minimaal zijn.

Bij de *optimale* investeringsstrategie hoort een bepaald verloop van de overstromingskans in de tijd. Dit verloop heeft de vorm van een zaagtand doordat de overstromingskans bij versterking in één keer snel kleiner wordt, waarna deze weer langzaam toeneemt door bodemdaling, toenemende rivierafvoeren en zeespiegelstijging. De omvang van een versterking (en daarmee de afname de overstromingskans na versterking) en de tijd tot de volgende versterking worden sterk beïnvloed door de verhouding tussen de vaste en de variabele kosten van de ingreep. Als de vaste kosten relatief groot zijn, is het economisch verstandig om een nieuwe ingreep lang uit te stellen. Als de vaste kosten relatief laag zijn, zoals langs de zandige kust, is het economisch beter om vaker een kleine ingreep te doen.



Figuur 5 Verloop van de overstromingskans bij het volgen van de optimale investeringsstrategie.



Figuur 6 Verloop van de overstromingskans bij het volgen van de optimale investeringsstrategie als de vaste kosten relatief laag zijn: de tijd tussen investeringen is relatief kort.

Doordat de gevolgen van overstromingen langzaam groter worden door bevolkingsgroei en economische groei, is het vanuit economisch oogpunt verstandig om het land steeds beter te beschermen. Het zaagtandpatroon vertoont daardoor een dalend verloop. Bij het bepalen van de

economisch optimale overstromingskansen is uitgegaan van de resultaten voor het jaar 2050. Als onderdeel van de kosten-batenanalyse zijn ook zogenaamde middenkansen berekend: na overschrijding van deze waarde is er nog voldoende tijd voor maatregelen zoals dijkversterking voordat de overstromingskans die vanuit economisch perspectief maximaal toelaatbaar is wordt bereikt. De middenkans, welke de basis vormt voor de signaleringswaarde zoals deze in de wet is opgenomen, varieert per traject, net als de maximaal toelaatbare overstromingskans.

In onderstaande tabel staan de uitgangspunten van de uitgevoerde MKBA. Deze waarden veranderen in de tijd, denk bijvoorbeeld aan de discontovoet. Dit betekent niet dat de normen direct moeten veranderen. De uitgangspunten zijn gehanteerd om tot een politiek besluit te komen over de normen en dit besluit is vastgelegd in de Waterwet. Bij de periodieke evaluatie van de normen, die volgens de Waterwet eens in de twaalf jaar plaatsvindt, wordt gekeken of er aanleiding is om de normen aan te passen.

Tabel 2 Gehanteerde uitgangspunten voor MKBA die samen met de waarden voor het basisbeschermingsniveau de basis vormen voor de normen. De normen staan in de wet en veranderen niet bij nieuwe inzichten in de uitgangspunten. Wel vindt periodiek een evaluatie van de norm plaats.

Parameter	**Waarde**
Discontovoet	5,5% per jaar
Dodelijk slachtoffer	6,7 miljoen Euro
Getroffene	12.000 Euro
Jaar	2050
Economische groei	1,9% per jaar

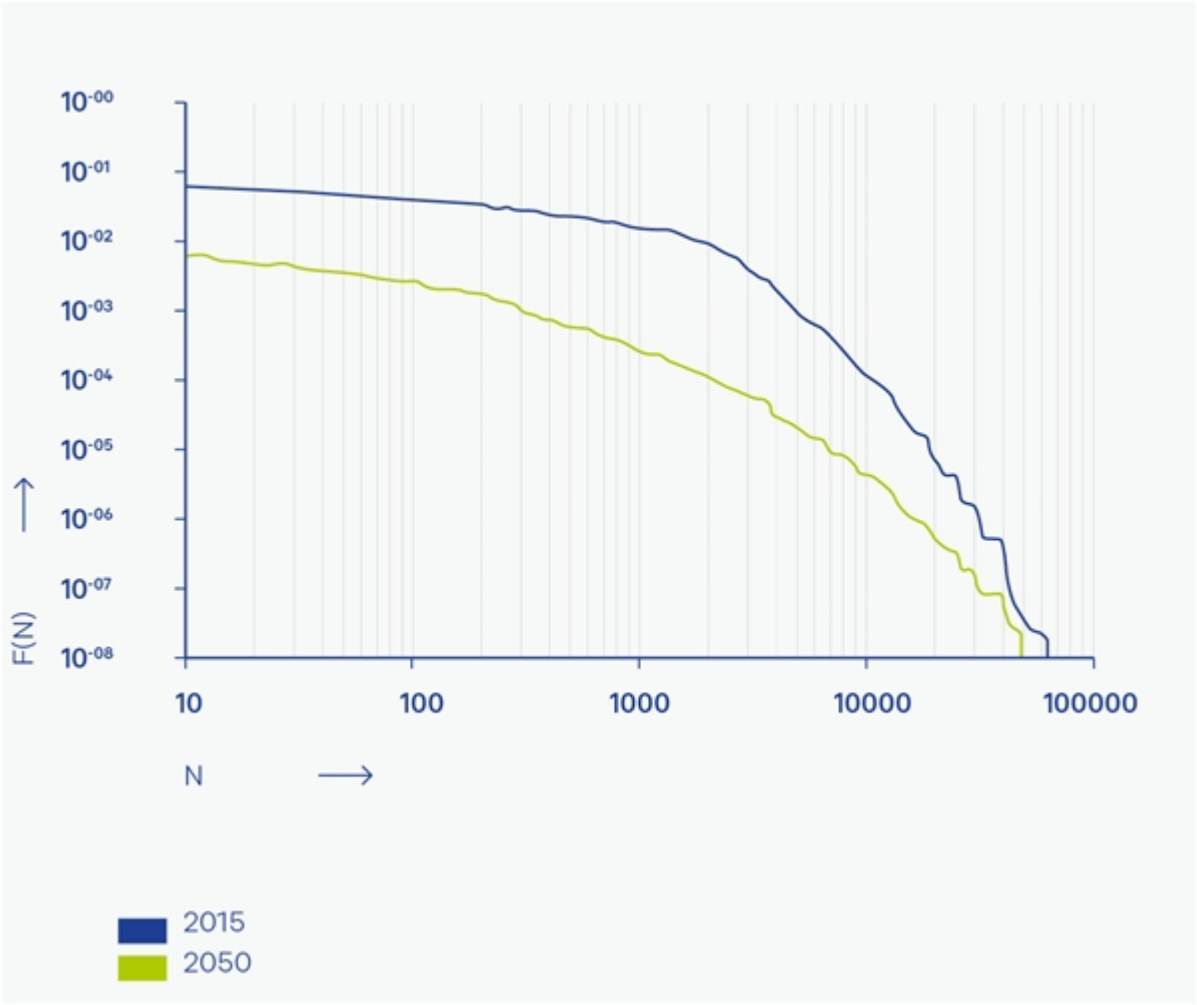
Iedereen die in een gebied woont dat overstroomt, zal daar in één of andere vorm schade van ondervinden en wordt getroffene genoemd. Per getroffene van een overstroming is in de schadeberekening met een gemiddeld bedrag van € 12.000 gerekend. Dit bedrag vertegenwoordigt de immateriële schade aan de bezittingen van de getroffenen (verlies van onvervangbare bezittingen zoals souvenirs) en de persoonlijke kosten van evacuaties (zoals ongemak en inkomensverlies). Het getal voor de persoonlijke kosten van evacuatie is gebaseerd op het enquête-onderzoek naar ‘willingness to pay’ en de aanname dat gemiddeld één van de vijf evacués daadwerkelijk een getroffene is. Doordat evacuaties preventief plaatsvinden, is het aantal evacuaties groter dan het aantal daadwerkelijke overstromingen en het totaal aantal evacués groter dan het aantal daadwerkelijk getroffenen. Aanpassing van de beschermingsnorm leidt daarom niet alleen tot een andere kans om getroffen te worden door een overstroming, maar ook tot een andere kans om – achteraf bezien wellicht onnodig – preventief geëvacueerd te worden.

Als de optimale overstromingskans die volgt uit de MKBA kleiner is dan de kans die volgt uit het basisbeschermingsniveau, dan is de kans die uit de MKBA volgt de basis voor de norm. Anders is dit de kans die volgt uit het basisbeschermingsniveau de basis.

Groepsrisico

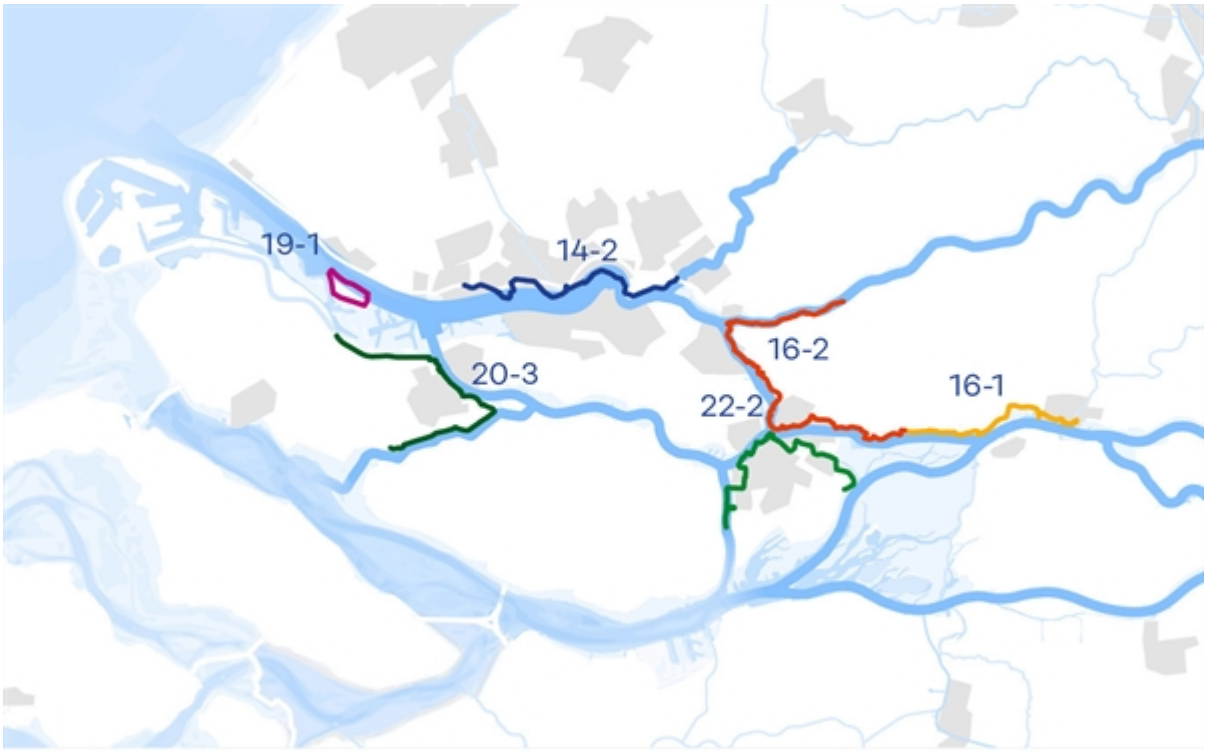
Het derde aspect dat een rol speelt bij de onderbouwing van de norm is het groepsrisico (de kans op veel slachtoffers). Bij beoordelingen van de ernst van het groepsrisico wordt vaak uitgegaan van een risicoavers besliscriterium: grotere aantallen slachtoffers krijgen daarbij een steeds groter gewicht. Een risicoaverse beslisser vindt een risico zwaarder wegen dan men op grond van verwachtingswaardes van de gevolgen zou verwachten.

In eerste instantie is beoordeeld of het groepsrisico van overstromingen op landelijke schaal voldoende wordt beperkt, omdat het totale aantal slachtoffers van een overstroming telt en niet het aantal per dijktraject of locatie. Dit is gedaan met een beoordelingskader dat de voorloper van het ENW, de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, heeft ontwikkeld. Dit kader geeft zogenaamde oriëntatiewaarden die volgen uit de eventuele baten van verschillende risico's (zoals bergbeklimmen, roken of wonen naast een fabriek) en de mate van vrijwilligheid. Zo is bergbeklimmen een vrijwillig risico, waardoor een hoger risico eerder acceptabel is dan een onvrijwillig risico. De berekende kansen op grote aantallen slachtoffers zijn te vergelijken met deze waarden door ze samen weer te geven in een grafiek. Het groepsrisico wordt weergegeven als een zogenaamde FN-curve, met de kans op N of meer slachtoffers. Onderstaande figuur laat zien dat als de waterkeringen voldoen aan de nieuwe normen de kans op 10.000 slachtoffers ongeveer gelijk is aan 1:100.000 per jaar. Een dergelijke curve is ook te maken voor de economisch schade en heet dan FS-curve. De FN-curve ligt binnen de bandbreedte van de oriëntatiewaarden. Dat leidt tot de conclusie dat de normen voor de waterkeringen die volgen uit de MKBA en LIR zorgen voor een landelijk groepsrisico dat voldoende klein is.



Figuur 7 Groepsrisicocurve voor overstromingen voor Nederland. Op de horizontale as staat het aantal slachtoffers en op de verticale as de kans dat dit aantal wordt overschreden. Zo is de kans op ten minste 1000 slachtoffers volgens de FN-curve 2050, 1/5000 per jaar.

Voor zes trajecten is bij de normstelling rekening gehouden met het relatief grote aantal potentiële slachtoffers op deze locaties: de trajecten 16-2 Alblasserwaard-west, 14-2 Zuid-Holland Rotterdam Capelle, 16-1 Alblasserwaard Merwede, 19-1 Rozenburg, 20-3 Voorne Putten Oost en 22-2 Eiland van Dordrecht Noord. Deze trajecten liggen allemaal in het zuidwesten van Nederland, in het overgangsgebied van de grote rivieren naar de zee.



Figuur 8 De zes trajecten in het zuidwesten van Nederland waar bij de normstelling rekening is gehouden met het grote aantal slachtoffers dat hier zou kunnen vallen.

Versie 1.0: 2 juli 2025

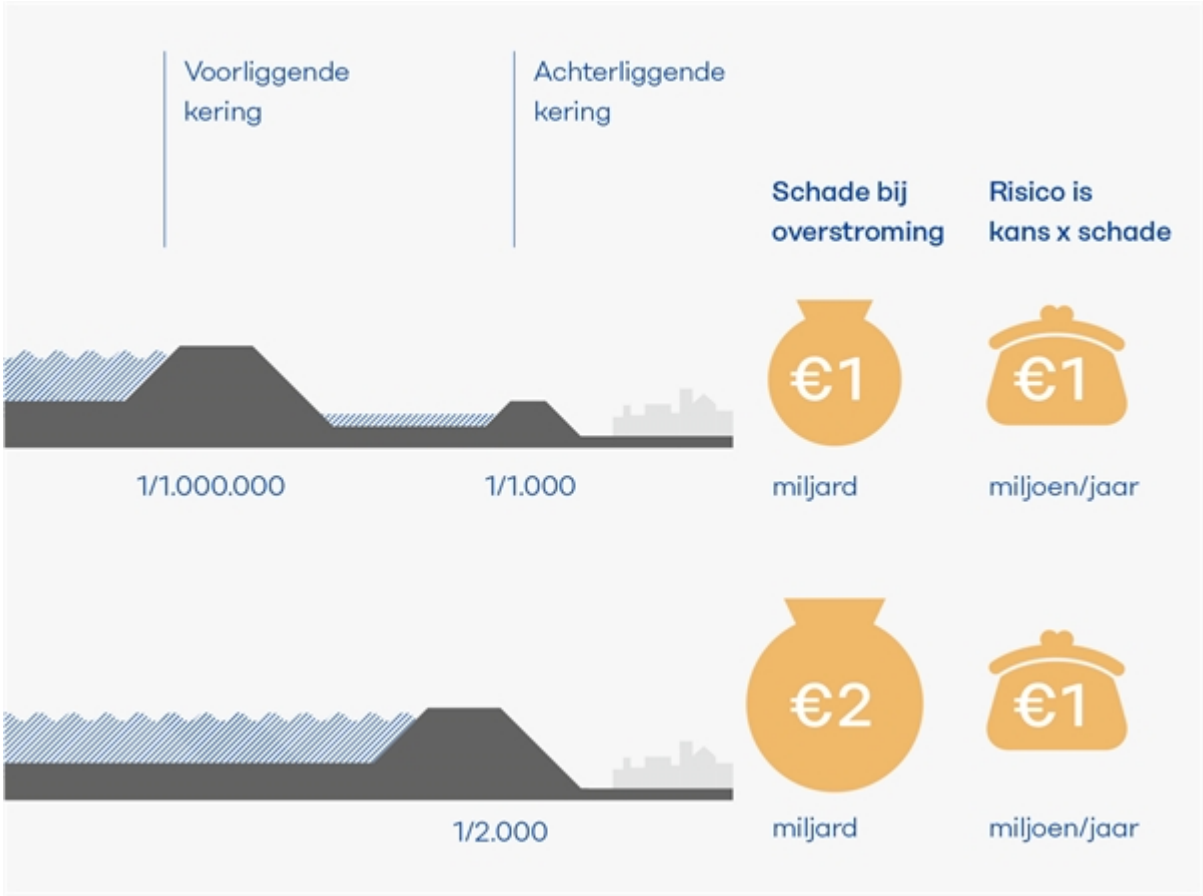
Normen voorliggende keringen

Verschillende delen van Nederland komt de bescherming tegen overstromingen tot stand door een stelsel van voorliggende en achterliggende keringen. Zo krijgt Zuid-Holland bescherming van de Maeslantkering die de Nieuwe Waterweg afsluit bij hoge zeewaterstanden (voorliggende kering) én van de dijken (achterliggende keringen). Voor de gebieden rond het IJsselmeer vormt de Afsluitdijk de voorliggende kering die in combinatie met de achterliggende dijken langs het IJsselmeer de vereiste bescherming biedt.

De betrouwbaarheidseis van een voorliggende kering hangt mede af van de kansen op extreme waterstanden in het achterliggende water. Deze kansen bepalen vervolgens de benodigde inspanning om in het achterland aan een overstromingskansnorm te voldoen. Bij een stelsel van voor- en achterliggende keringen is het overstromingsrisico daarmee op twee manieren te verkleinen: door de voorliggende kering te versterken of door de achterliggende kering te versterken. De normen, op basis van LIR, GR en MKBA, zouden idealiter moeten zijn afgeleid voor het stelsel van voor- en achterliggende keringen. Dit is echter relatief complex, zoals een integrale kosten-batenstudie voor de keringen langs het IJsselmeer illustreert. Daarom is gekozen voor een vereenvoudigde aanpak, waarbij de normen eerst voor de voorliggende kering en daarna voor de achterliggende keringen worden afgeleid.

Bij het afleiden van de overstromingskansnormen voor de achterliggende keringen is uitgegaan van de in 2015 bestaande eisen aan de voorliggende keringen. Op basis daarvan is bijvoorbeeld verondersteld dat de Afsluitdijk zo betrouwbaar is dat de effecten van een bres of het niet-sluiten van keermiddelen te verwaarlozen zijn. Vervolgens is geanalyseerd aan welke eisen de voorliggende kering zou moeten voldoen om ervoor te zorgen dat deze aannamen valide zijn. Daarna is beoordeeld of deze eisen tot een onevenredig grote opgave voor de voorliggende kering leiden. Dit bleek nergens

het geval.
Een doorbraak van een voorliggende kering hoeft niet direct tot een overstroming te leiden. Daarom staan in de Waterwet geen overstromingskansnormen voor voorliggende keringen maar faalkanseisen (zie ook De verschillende normen in de Waterwet). Voor de beweegbare stormvloedkeringen zijn daarnaast aparte eisen voor de kans op niet-sluiten vastgelegd. Deze faalkanseisen per sluitvraag vergemakkelijken de beoordeling van de betrouwbaarheid van het sluitproces van deze keringen. Voor de overige voorliggende keringen moeten de beheerders en ontwerpers zelf de eisen aan de betrouwbaarheid van sluitingen van bijvoorbeeld uitwateringsvoorzieningen en sluizen afleiden van de faalkansnormen uit de Waterwet.



Figuur 1 Twee oplossingen, met en zonder voorliggende kering, die hetzelfde risico opleveren. Zonder voorliggende kering is de schade groter omdat er meer water binnenkomt.

Bijzondere gevallen

De Diefdijk

De Diefdijk is een compartimenterende kering die voorkomt dat het water zich bij een bovenstroomse dijkdoorbraak door de Alblasserwaard kan verspreiden. Omdat de invloed hiervan op het overstromingsrisico aanzienlijk is, is voor de Diefdijk een eis opgenomen in de Waterwet. Deze eis is gedefinieerd als een maximaal toelaatbare overstromingskans in geval van een belasting op deze kering.

Keringen langs het Volkerak-Zoommeer

Het Volkerak-Zoommeer is als onderdeel van Ruimte voor de Rivier inzetbaar als waterbergingsgebied. In dat geval is op het Volkerak-Zoommeer sprake van een hogere waterstand en zijn de gevolgen van een overstroming groter dan in een situatie zonder waterberging. Bij het afleiden van de normen is (conservatief) aangenomen dat er bij een overstroming langs het Volkerak-

Zoommeer altijd sprake is van waterberging. Desondanks leidde dit voor enkele trajecten tot een norm waarbij de kans op een overstroming bij inzet van de waterberging relatief groot zou mogen zijn. Daarom is in de Waterwet de aanvullende eis
gesteld dat de overstromingskans bij inzet van de berging niet groter mag zijn dan 1/10.
Versie 1.0: 2 juli 2025

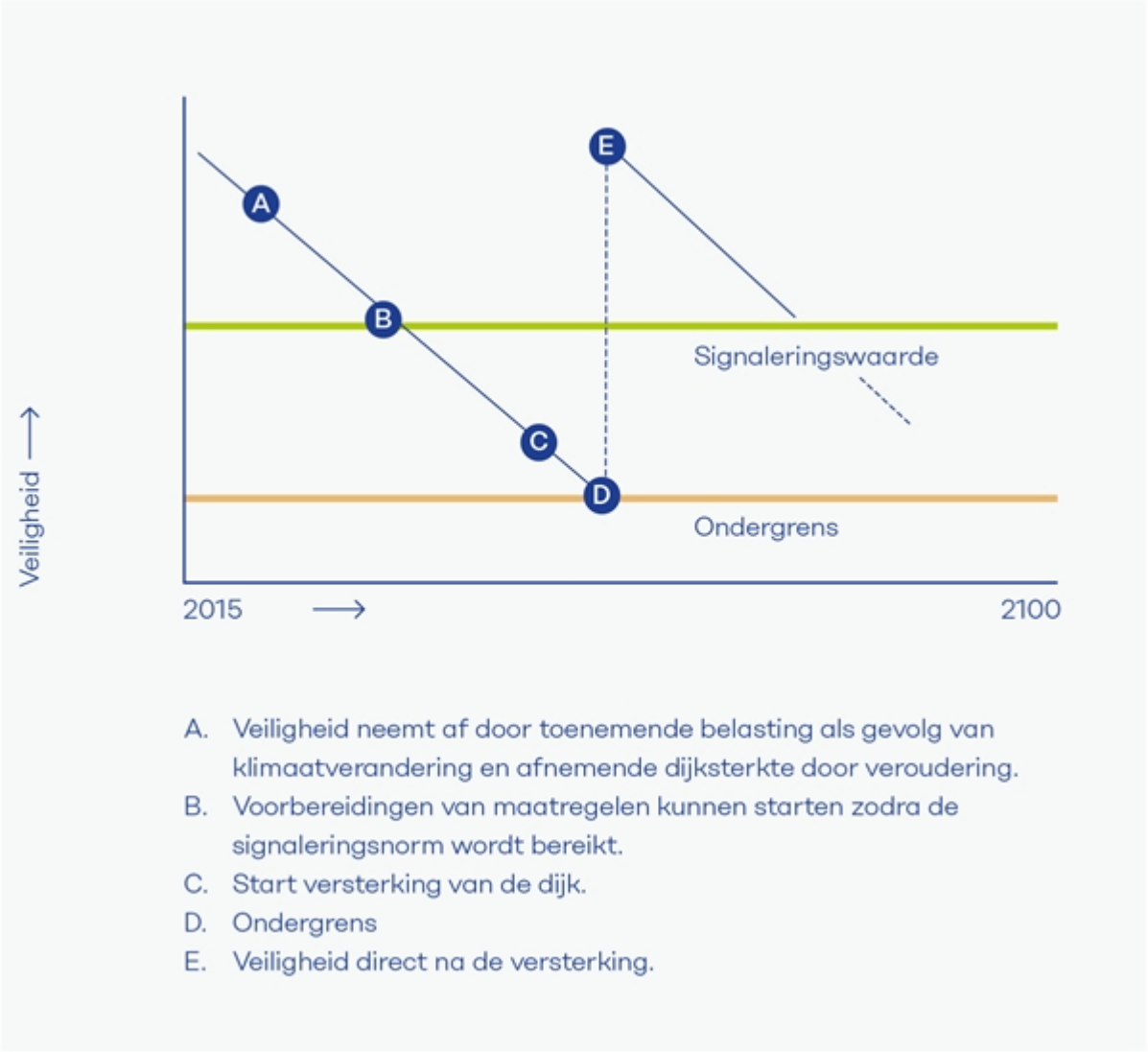
De verschillende normen in de Waterwet

In de Waterwet staan verschillende typen betrouwbaarheidseisen voor waterkeringen:

- Voor de trajecten die direct bescherming tegen een overstroming bieden, zijn de eisen geformuleerd in termen van overstromingskansen. Een overstromingskans is een 'kans op verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject waardoor het door het dijktraject beschermde gebied zodanig overstroomt dat dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade ontstaan'.
- Voor voorliggende keringen zoals de Afsluitdijk zijn de eisen geformuleerd in termen van faalkansen. Een faalkans is in dit verband een 'kans op verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject waardoor de hydraulische belasting op een achterliggend dijktraject substantieel wordt verhoogd'.
- Voor de Ramspolkering, Oosterscheldekering, Hollandsche IJsselkering en de Maeslantkering gelden aanvullende eisen voor de kans op niet-sluiten per sluitvraag.
- Voor de Diefdijk, een compartimenterende kering, zijn de eisen geformuleerd in termen van overstromingskansen gegeven een belasting op de kering.
- Voor de keringen langs het Volkerak-Zoommeer zijn aanvullende eisen gesteld vanwege de mogelijke waterberging. Deze kansen zijn geformuleerd in termen van overstromingskansen gegeven waterberging.

Voor trajecten met een overstromings- of faalkans zijn altijd twee waarden gespecificeerd, elk met een eigen functie:

1. Als de overstromingskans van een traject volgens de periodieke wettelijke beoordeling groter is dan deze waarde, moet dit worden gemeld aan de minister van Infrastructuur en Milieu. Het bereiken van de signaleringswaarde is een van de voorwaarden voor subsidiëring van maatregelen.
2. Dit is de overstromings- of faalkans waarop de waterkering 'minimaal berekend moeten zijn' (art. 2.2, lid 4 en Memorie van Toelichting). De ondergrens is de maximaal toelaatbare waarde van de overstromings- of faalkans. Als hieraan wordt voldaan, is het basisbeschermingsniveau gewaarborgd.



Figuur 1 De functie van de signaleringswaarde en ondergrens.

Een vaak gestelde vraag is: wat is nu de kans dat er in een jaar een grootschalige overstroming optreedt in Nederland? Deze vraag is niet eenvoudig te beantwoorden. De afzonderlijke kansen van de dijktrajecten mogen dan niet zonder meer opgeteld worden om deze kans te bepalen, omdat een zeer extreme natuurgebeurtenis een groot deel van Nederland tegelijk kan belasten. Wel kan gesteld worden dat deze kans groter is dan de grootste overstromingskans van alle dijktrajecten. Stel dat deze grootste jaarlijkse kans 1/100 bedraagt, dan is de kans in een jaar op een overstroming ergens in Nederland groter dan 1/100.

Er bestaan uiteenlopende typen betrouwbaarheidseisen in de Waterwet: overstromingskansen, faalkansen, overstromingskansen gegeven een belasting en overstromingskansen gegeven waterberging. De wijze van beoordeling en ontwerp is voor deze eisen in grote lijnen gelijk. In de volgende hoofdstukken wordt alleen gesproken over overstromingskansnormen om de tekst niet onnodig gecompliceerd te maken. De term faalkans wordt in dit boekwerk gebruikt als algemene aanduiding voor de kans op overschrijding van een uiterste grenstoestand (dit is een ander gebruik van dit begrip dan in de Waterwet).

Oude en nieuwe normen

Een vergelijking tussen de strengheid van de oude overschrijdingkansnormen per dijkring en de

nieuwe overstromingskansnormen voor de dijktrajecten is niet zonder meer mogelijk vanwege het verschil in de betekenis en ruimtelijke eenheid. De nieuwe overstromingskansbenadering gaat uit van de kans op verlies van waterkerend vermogen (met een overstroming tot gevolg) en verschilt van de oude veiligheidsfilosofie waarbij het uitgangspunt is dat de ontwerpwaterstand veilig gekeerd dient te worden.
De ontwerpregels zijn in de oude systematiek dan ook veelal gebaseerd op criteria die verband houden met het begin van falen, zoals schade aan de bekleding.

Voor dijkring 14 Zuid-Holland heeft de Deltacommissie in de jaren zestig van de vorige eeuw een passende overstromingskans afgeleid van 1/125.000 per jaar, die uiteindelijk is vertaald in een jaarlijkse overschrijdingskansnorm van de waterstand van 1/10.000 per jaar. De kering werd zodanig gedimensioneerd dat de overstromingskans kleiner was dan 1/10.000 per jaar, mogelijk zelfs in de buurt van 1/100.000 per jaar. De nieuwe maximaal toelaatbare overstromingskans voor de trajecten in dijkring 14 varieert van 1/3.000 tot 1/30.000 per jaar.

Een vergelijking is lastig, maar het lijkt erop dat voor bijna alle trajecten de eisen op basis van de overstromingskansnormen in de praktijk strenger zijn dan met de oude normen, vooral ook door expliciet rekening te houden met het lengte-effect (zie Lengte-effect en faalmechanismen per traject). In het rivierengebied zijn bovendien de normgetallen veel strenger.

Bij kunstwerken en duinen leek de uitwerking van de systematiek op basis van overschrijdingskansnormen, zoals vastgelegd de [Leidraad Kunstwerken, 2003] en het [Technisch rapport duinafslag, 2007], al sterk op die van de nieuwe systematiek op basis van faalkanseisen. Deze faalkanseisen zijn direct te vergelijken met de faalkanseisen die horen bij de nieuwe normen. Voor duinen en voorliggende keringen die uit kunstwerken bestaan zijn de nieuwe eisen gelijk of iets soepeler.

Versie 1.0: 2 juli 2025

5 Van normen naar technische eisen

Basisbegrippen in betrouwbaarheidsanalyses

Een betrouwbaarheidseis stelt een maximum aan de kans dat een bepaalde grenstoestand in een bepaalde tijdsperiode wordt overschreden. In dit geval gaat het om de eis aan de sterkte van de waterkeringen in een dijktraject. De onzekerheid in de hydraulische belasting is daarbij van groot belang.

Grenstoestanden

Een grenstoestand is de overgang van de gewenste situatie, waarbij de waterkering naar behoren functioneert, naar de toestand waarbij dat niet langer het geval is. De volgende typen grenstoestanden zijn te onderscheiden:

1. Uiterste grenstoestand (UGT). Ten aanzien van de waterkerende functie van primaire keringen is sprake van een overschrijding van de UGT bij ‘verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject waardoor het door het dijktraject beschermde gebied zodanig overstroomt dat dit leidt tot dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade’ (Waterwet, art. 1.1, eerste lid). Een voorbeeld is het optreden van een overstroming door het doorbreken van een duin of dijk bij een hoge buitenwaterstand. Een ander voorbeeld is het optreden van een overstroming bij een relatief lage buitenwaterstand na aantasting van de kering door een aardbeving of een

buitenwaartse afschuiving. Let op: zowel de signaleringnorm als de maximaal toelaatbare overstromingskans hebben betrekking op de uiterste grenstoestand voor de waterkerende functie.

2. Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT). Deze grens is bereikt als sprake is van grote vervormingen of schade waardoor nog niet direct een overstroming optreedt, maar ingrijpen wel geboden is. Voorbeelden zijn de vervorming van een damwand waardoor bebouwing beschadigd raakt of het ontstaan van schade aan de bekleding van een dijk zonder dat hierdoor de kans op overstroming te groot wordt.

Falen en bezwijken

Het overschrijden van een uiterste grenstoestand wordt ook wel aangeduid als falen. Falen en bezwijken zijn niet hetzelfde. Met bezwijken wordt verlies van samenhang of grote geometrieverandering aangeduid. Een waterkering kan falen zonder te bezwijken. Het water kan bijvoorbeeld over de kering stromen en zo een overstroming veroorzaken, zonder dat de kering bezwijkt. Omgekeerd kan een kering bezwijken zonder te falen. Zo hoeft een oppervlakkige afschuiving van het binnentalud van een dijk niet direct te leiden tot een overstroming. Uiteraard is in dat geval wel een reparatie noodzakelijk, omdat de waterkerende functie voor de toekomst is aangetast.

Faaldefinitie en reststerkte

Bij de beoordeling van de betrouwbaarheid van waterkeringen wordt gebruik gemaakt van modellen. Vanwege de stand der techniek beschrijven deze soms slechts een deel van de fysische processen die uiteindelijk tot het falen van de waterkering leiden (= de faaldefinitie). Het gedeelte van de sterkte dat in betrouwbaarheidsanalyses buiten beschouwing wordt gelaten, wordt ook wel de reststerkte genoemd. In geval van reststerkte wordt eigenlijk niet aan de uiterste grenstoestand getoetst maar aan een toestand die daar nog enigszins van verwijderd is.

Referentieperiode

Een kans is niet los te zien van de tijdsperiode waarop deze betrekking heeft. Zo is een kans op falen van 1/10.000 in een periode van 1 jaar niet hetzelfde als een kans op falen van 1/10.000 in een periode van 50 jaar. De tijdsperiode waarop een faalkanseis betrekking heeft, wordt ook wel de referentieperiode genoemd.

Bij de normen uit de Waterwet hoort een referentieperiode van 1 jaar. Dit betekent dat de kans op een overstroming in elk afzonderlijk jaar voldoende klein moet zijn. Middeling van overstromingskansen over periodes langer dan 1 jaar is dus niet aan de orde. Dit is een belangrijk verschil met de betrouwbaarheidseisen uit het Bouwbesluit en de Eurocode NEN-EN1990: deze eisen hebben betrekking op referentieperiodes van bijvoorbeeld 50 of 100 jaar. De faalkansen per jaar mogen in dat geval sterk variëren, zo lang de faalkans voor de gehele referentieperiode maar voldoende klein is.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Belasting en sterkte

Voor een betrouwbaarheidsanalyse vindt eerst een analyse van de belastingen en de sterkte-eigenschappen plaats, inclusief de onzekerheden en vervolgens een vergelijking tussen de belastingen en de sterkte-eigenschappen.

Belasting

De belangrijkste belastingen zijn doorgaans de waterdruk, de krachten die de golven op de kering

uitoefenen en de stroming langs, door of onder de kering. Daarnaast kan de kering worden belast door bijvoorbeeld het verkeer over een weg op de kering, een aanvaring of een aardbeving. De relevante belastingeigenschappen kunnen per faalmechanisme verschillen.
De belastingen die op een waterkering werken, zetten tal van fysische processen binnen de waterkering in gang. Er ontstaan bijvoorbeeld spanningen en er treedt degradatie op. Deze veranderingen worden ook wel belastingeffecten genoemd. Een voorbeeld van een belastingeffect is de invloed van hoogwater op de waterspanningen in een grondconstructie. Een dijk ontleent zijn stabiliteit aan de schuifsterkte die op zijn beurt afhangt van de wrijving tussen de korrels van de grond (de effectieve spanning). Deze effectieve spanning wordt lager naarmate de waterspanning hoger wordt. De dijk wordt daardoor minder stabiel. Een vergelijkbaar verschijnsel treedt op bij kunstwerken: deze ontlenen hun weerstand tegen afschuiven aan wrijving en die wordt kleiner door de opdrijvende kracht van het hoge water.

Het verschil tussen de belasting en het bijbehorende belastingeffect is niet altijd scherp. Soms kan een belastingeffect ook bestaan uit een sterktevermindering, zoals het afnemen van de schuifsterkte van grond onder invloed van een aardbevingsbelasting. Dit geeft wel aan dat ook het onderscheid tussen belasting en sterkte niet altijd scherp te maken is. Het is onzeker hoe groot de belasting op een waterkering in een bepaalde tijdsperiode is. In de praktijk komt deze onzekerheid voor een belangrijk deel voort uit de natuurlijke variabiliteit van zeewaterstanden, rivierafvoeren en windsnelheden. Ze komt echter ook voort uit kennisonzekerheden, zoals de onzekerheden over de ruwheid van rivierbodems en de relatie tussen windsnelheden en golfhoogtes. Al deze onzekerheden zorgen er samen voor dat er in de praktijk alleen in kanstermen kan worden gesproken over de belasting (zie ook paragraaf 3.2). Zo kan bijvoorbeeld de waterstand worden bepaald die (gemiddeld) eens per 100 jaar overschreden wordt.

Sterkte

De sterkte van een waterkering is het vermogen om weerstand te bieden aan de belastingen op de kering. Voorbeelden van sterkte-eigenschappen zijn de hoogte van een waterkering en de hoek van inwendige wrijving van zandig dijkmateriaal. De relevante sterkte-eigenschappen kunnen per faalmechanisme en per belastingsituatie verschillen. In de praktijk is de sterkte van een waterkering zelden of nooit precies bekend. De onzekerheid over de sterkte is te beschrijven door aan de verschillende mogelijke sterktes kansen toe te kennen.

De sterkte van een constructie wordt voor een ontwerp of bij een beoordeling in beginsel bepaald met rekenmodellen. Deze modellen berusten in meer of mindere mate op vereenvoudigingen. Sommige modellen simuleren in detail het gedrag van de constructie bij een opeenvolging van belastingen, zoals een computerprogramma dat de vervorming van een grondlichaam op iedere plaats in de dwarsdoorsnede berekent. Ook zijn er empirische modellen en vuistregels. In die gevallen ontbreekt een helder inzicht in de onderliggende fysische processen. Verder zijn er modellen die de fysica op eenvoudige wijze beschrijven, zoals het Bishop-model voor de afschuiving van een talud. Deze modellen beschrijven de essentie van het fysische proces, terwijl een aantal minder belangrijke zaken buiten beschouwing wordt gelaten.

Welk type model de voorkeur verdient, verschilt van geval tot geval. Zo volstaat over het algemeen in het begin van een ontwerpproces een eenvoudig model en is pas later in het proces een verfijnder model nodig. Empirische en eenvoudige fysische modellen bieden het voordeel van gebruiksgemak en navolgbaarheid van berekeningen, maar de modelonzekerheid is relatief groot. Als deze onzekerheid een knelpunt vormt of de omstandigheden te complex zijn kunnen geavanceerde modellen uitkomst bieden. Deze hebben echter vaak als nadeel dat ze gedetailleerdere invoer vragen. Als die niet voorhanden is, wordt modelonzekerheid slechts vervangen door parameteronzekerheid.

De invoerparameters van modellen berusten op metingen en/of expert judgement. De onzekerheden over de invoer is in kanstermen uit te drukken, door aan elke parameterwaarde een kans toe te kennen die aangeeft hoe waarschijnlijk het is dat deze waarde de werkelijke waarde is. Deze kansen zijn aan te passen op basis van waargenomen gedrag van de kering. Als bijvoorbeeld een kering een extreme belasting heeft gekeerd, kan dat erop duiden dat bepaalde ongunstige sterkte-eigenschappen minder waarschijnlijk zijn dan men vooraf had gedacht.

De relatie tussen belasting en sterkte

De relatie tussen de belasting op en de sterkte van een kering is te beschrijven met een grenstoestandfunctie. Deze functie geeft voor elke mogelijke combinatie van belastingen en sterkte-eigenschappen aan of de kering faalt of niet. Een grenstoestandfunctie wordt vaak een Z-functie genoemd. Deze functie heeft een negatieve waarde als de belasting groter is dan de sterkte en de kering faalt. In een grenstoestandfunctie komen alle afmetingen, variabelen en parameters voor die de sterkte van de kering en de belasting op de kering beschrijven. In veel gevallen is de grenstoestandfunctie voor een bepaald faalmechanisme te schrijven als het verschil van een sterkte en een belasting:

$Z = R - S$

Waarin:

Z = Grenstoestandfunctie

R = Sterkte

S = Belasting

De sterkte en de belasting in de bovenstaande vergelijking kunnen weer functies zijn van verschillende parameters. Grenstoestandfuncties spelen een belangrijke rol in betrouwbaarheidsanalyses.

Versie 1.0: 2 juli 2025

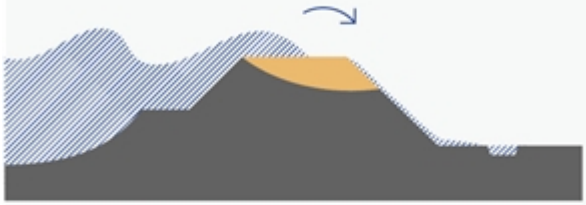
Faalmechanismen

Faalmechanismen bij grondconstructies

Een waterkering kan op verschillende manieren falen. Deze manieren worden faalmechanismen genoemd. Onderstaande figuur geeft een overzicht van faalmechanismen bij grondconstructies. De verschillende faalmechanismen kunnen elkaar beïnvloeden. Zo kan een afschuiving van het binnentalud ook leiden tot aantasting van de erosiebestendigheid van het binnentalud. Met dergelijke interacties zou in betrouwbaarheidsanalyses rekening moeten worden gehouden.

Overlopen
Overstroming door een waterstand hoger dan de kruin, eventueel in combinatie met golfoverslag. De kering kan hierbij door doorgaande erosie bezwijken.

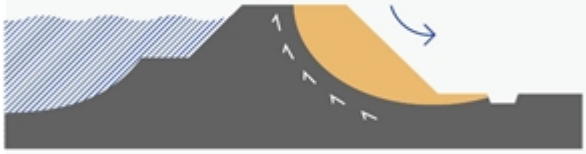
Macro-instabiliteit buitentalud
Afschuiven van het buitentalud bij snelle daling van de buitenwaterstand na hoogwater (macroinstabiliteit buitenwaarts).



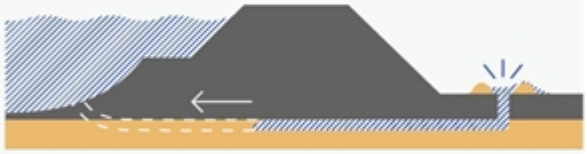
Golfoverslag
Doorgaande erosie van kruin, binnentalud en-/of teen door de kracht van het water bij golfoverslag of overlopen.



Micro-instabiliteit
Instabiliteit van het binnen- (of buiten-) talud door uittredend kwelwater door het grondlichaam.



Macro-instabiliteit binnentalud
Afschuiven van het binnentalud, hetzij door waterdruk tegen de kering en verhoogde waterspanning in de ondergrond, hetzij door infiltratie van het overstromend water bij een combinatie van hoge waterstand en golfoverslag.



Opbarsten en piping
Piping als gevolg van kwelstroming door de ondergrond waarbij grond wordt meegevoerd en dijk wordt ondermijnd.

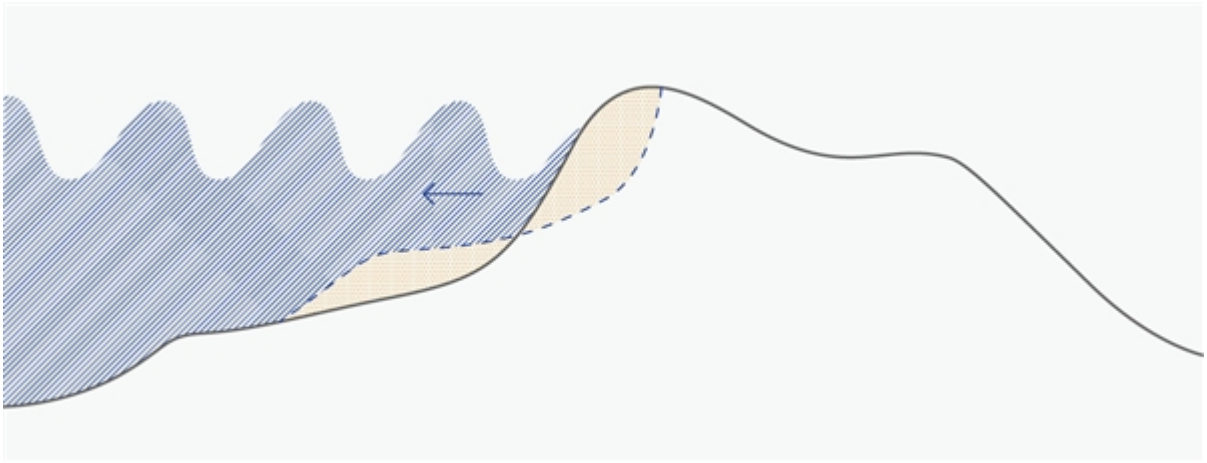


Erosie buitentalud
Erosie van het buitentalud door golven of stroming.

Figuur 1 Faalmechanismen bij grondconstructies

Faalmechanismen bij duinen

Het veruit belangrijkste faalmechanisme weer bij duinen, duinafslag. Golven leiden daarbij tot erosie van het buitentalud waardoor delen van het duin in de zee verdwijnen. Als het duin te ver erodeert, kan het duin het buitenwater niet langer keren en zal een overstroming optreden.



Figuur 2 Deze figuur geeft het faalmechanisme weer bij duinen, duinafslag. Golven leiden daarbij tot erosie van het buitentalud waardoor delen van het duin onder water verdwijnen en op het strand of vooroever worden afgezet. Als het duin te ver erodeert breekt het duin door. Het kan dan het buitenwater niet langer keren met een overstroming van het achterland als onontkoombaar resultaat.

Faalmechanismen bij kunstwerken en bijzondere constructies

Bij kunstwerken en waterkerende constructies zijn naast overlopen en golfoverslag ook de volgende faalmechanismen van belang:

- Falen van waterkerende constructieonderdelen.
- Algeheel stabiliteitsverlies van het kunstwerk.
- Falen van overgangsconstructies, bijvoorbeeld door interne erosie.
- Niet of niet tijdig sluiten van een beweegbare kering.

Het laatste faalmechanisme wijkt sterk af van alle overige genoemde mechanismen: hier is niet alleen het gedrag van materialen aan de orde, maar ook het gedrag van mensen en machines. Het zal duidelijk zijn dat bij het falen van beweegbare keringen heel andere factoren een rol spelen dan bij andere typen waterkeringen.

Faalmechanismen en verzwarende omstandigheden

Objecten in, op of bij een waterkering kunnen de kans op bovengenoemde faalmechanismen vergroten. Zo kan het omwaaien van een boom, waarbij de wortels worden losgetrokken, ertoe leiden dat de weerstand van het binnentalud tegen golfoverslag afneemt. Paaltjes of trappen op een dijk kunnen leiden tot lokaal hogere stroomsnelheden bij golfoverslag, waardoor sneller erosie optreedt. Lekkages of explosies van pijpleidingen kunnen de sterkte en de kerende hoogte van de waterkering aantasten. Bij de beoordeling van de betrouwbaarheid van een waterkering moet worden vastgesteld welke objecten een relevante rol spelen.

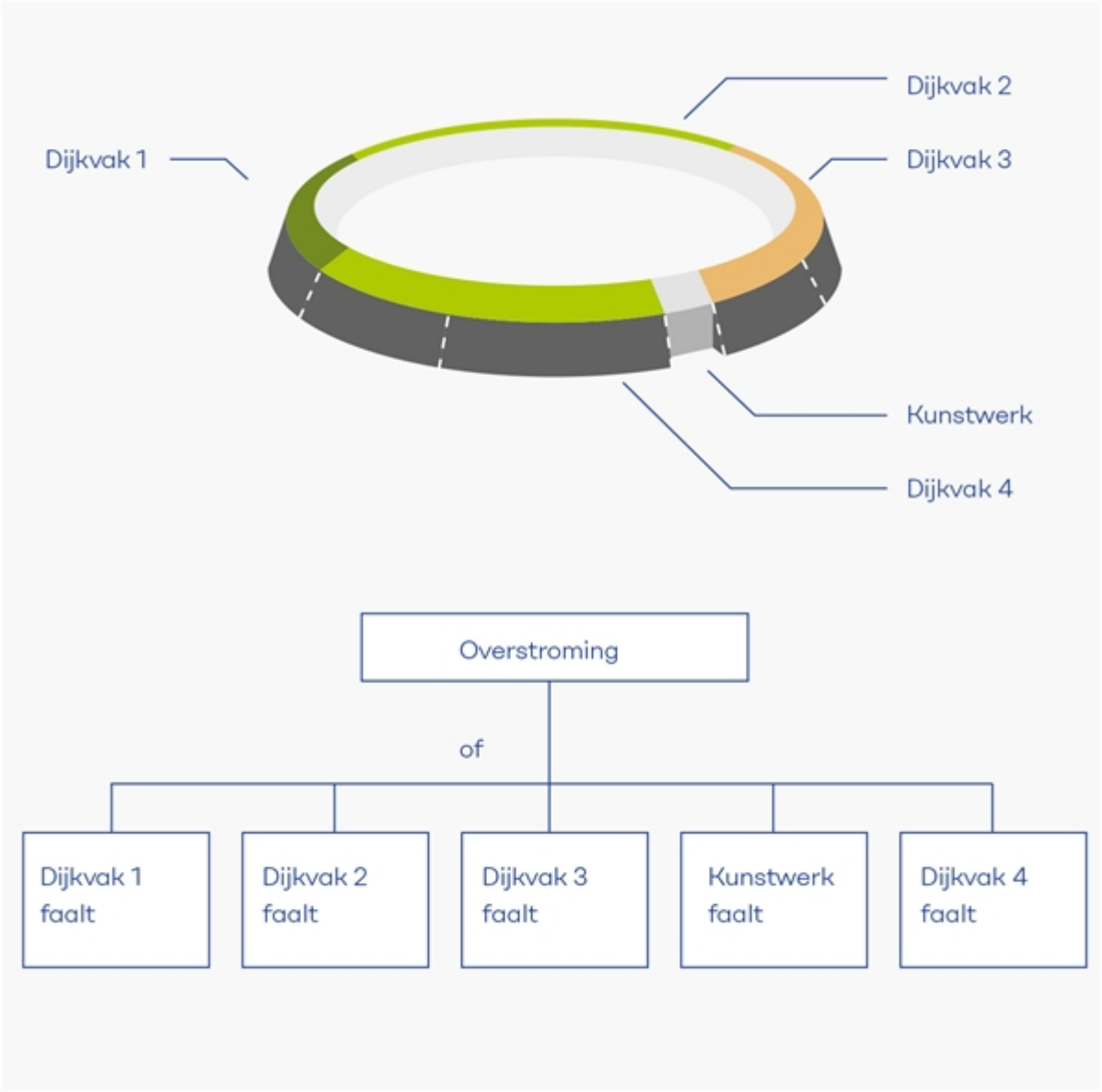
Versie 1.0: 2 juli 2025

Lengte-effect en meerdere afhankelijke faalmechanismen per traject

Bij het bepalen van de faalkans van een traject spelen twee fenomenen een belangrijke rol: het zogenoemde lengte-effect en de onderlinge afhankelijkheid van faalmechanismen.

Het lengte-effect

Elk traject bestaat uit een aaneengesloten reeks waterkeringen, zoals dijkvakken, kunstwerken en duinvakken. Deze waterkeringen vormen de componenten van een seriesysteem, zoals de schakels van een keten. Onderstaande figuur laat met een foutenboom zien hoe verschillende schakels (hier dijkvakken) bijdragen aan het falen van het traject. Een dijk- of duinvak is hierbij een deel van het traject waarbinnen de belasting en de sterkte statistisch homogeen zijn: de kansverdelingen van de belasting en de sterkte zijn binnen het vak overal hetzelfde.

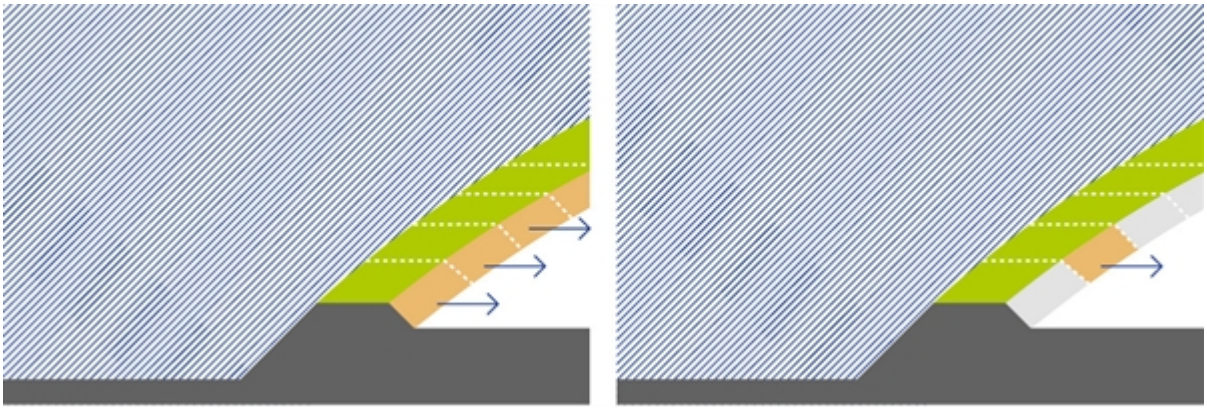


Figuur 1 Foutenboom.

Een keten is zo zwak als de zwakste schakel: als één schakel faalt, faalt het systeem. De overstromingskans van een traject is daarom gelijk aan de kans dat ten minste één schakel faalt. In de praktijk is het onzeker welke schakel de zwakste is. Ook is het onzeker hoe zwak de zwakste schakel is.

Hoe langer een dijk, des te groter de kans is dat zich ergens een relatief zwakke plek bevindt. De kans

dat een lange dijkstrekking ergens faalt, is groter dan de kans dat het traject op één specifieke plek faalt. Dit wordt ook wel het lengte-effect genoemd. Daarom vinden tijdens hoogwater patrouilles plaats langs de dijken om te zien of ergens problemen optreden: hoe groter de afstand die een dijkwachter aflegt, des te groter de kans is dat hij of zij ergens een probleem constateert, ook als de kans op het zien van een probleem bij elke stap hetzelfde is.
Als de waarde van een belangrijke onzekere parameter van punt tot punt sterk kan verschillen, dan is het lengte-effect groot. In de praktijk is het lengte-effect groot bij geotechnische faalmechanismen zoals macrostabiliteit en piping. Bepalend voor deze faalmechanismen zijn de onzekere, ruimtelijk gevarieerde eigenschappen van de ondergrond.



Figuur 2 Illustratie van het lengte-effect: de kans dat het ergens in het dijktraject misgaat, is groter dan de kans dat het op een specifieke plaats misgaat.

Het lengte-effect is juist klein voor faalmechanismen zoals overloop en overslag. Voor deze faalmechanismen is de buitenwaterstand dominant en die is langs gehele traject gelijk. Bij golfoverslag kan wel sprake zijn van enig lengte-effect. De golfbelastingen op de dijken hangen sterk af van de windrichting en de oriëntatie van de dijken binnen een traject. Stel dat een traject op de ene locatie zou kunnen falen bij harde oostenwind en op een andere bij harde westenwind, dan is de faalkans van het gehele traject groter dan de faalkans van het gedeelte met de westelijke oriëntatie of het gedeelte met de oostelijke oriëntatie.

Het lengte-effect is als volgt te verrekenen in de kans dat een bepaald faalmechanisme ergens in een traject tot een overstroming leidt:

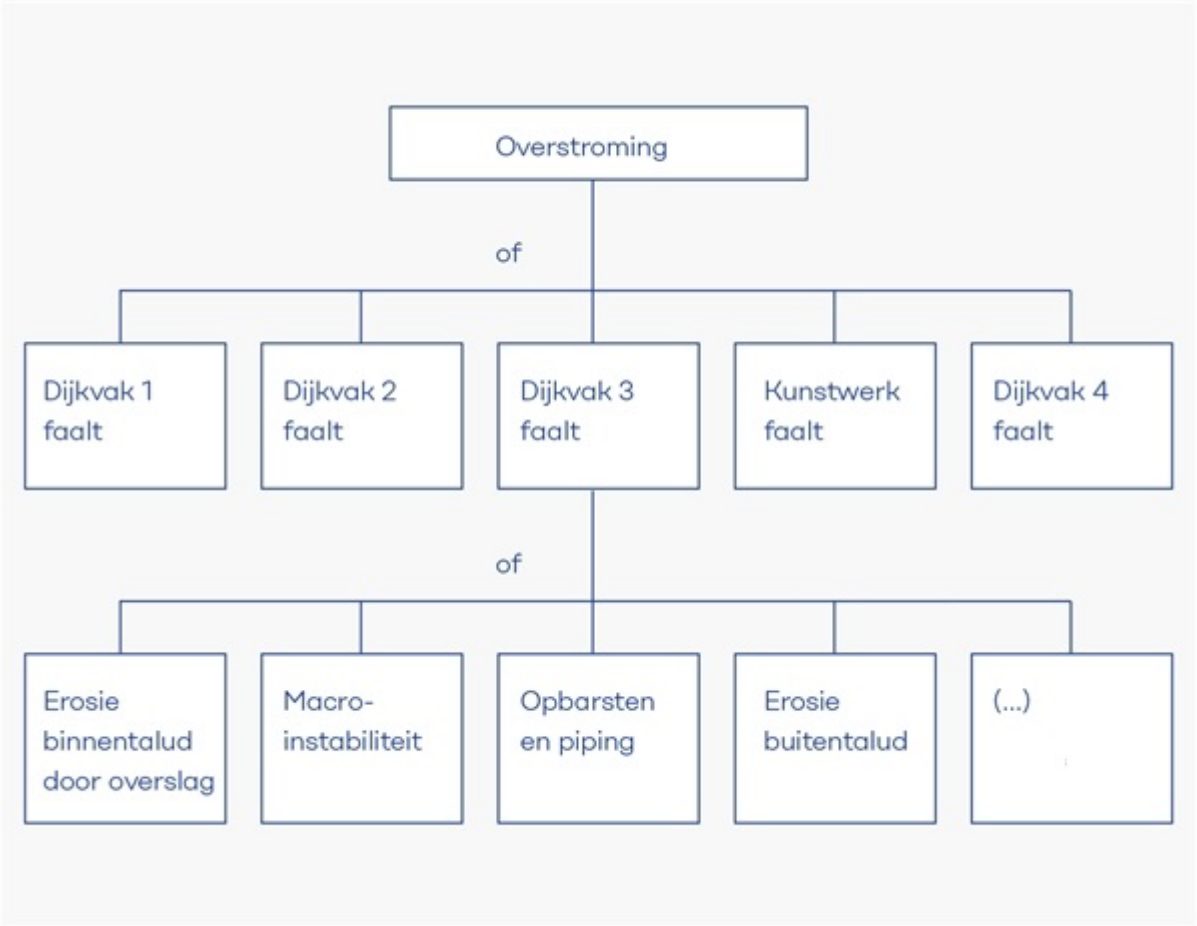
1. Verdeel het traject in vakken met gelijke statistische eigenschappen.
2. Bereken per vak de faalkans op basis van een representatieve doorsnede.
3. Vertaal de faalkans voor de representatieve doorsnede steeds naar een faalkans voor het gehele vak, rekening houdend met het lengte-effect. Het lengte-effect is afhankelijk het relatieve belang van de onzekere grootheden en daarmee per vak verschillend. De verschillende onzekere grootheden zijn namelijk niet allemaal even ruimtelijk variabel. Zo is de buitenwaterstand over grote afstanden hetzelfde, maar kunnen de eigenschappen van de ondergrond over korte afstanden veranderen. Het lengte-effect is groter naarmate het belang van de onzekerheden met grote ruimtelijke variatie groter is.
4. Combineer de faalkansen van de vakken, rekening houdend met de afhankelijkheden (correlaties) tussen de vakken.

Het splitsen van vakken leidt niet tot een andere faalkans op trajectniveau. Het lengte-effect bestaat namelijk ook binnen dijkvakken. Door een lang dijkvak in twee delen te splitsen, ontstaan twee nieuwe vakken die elk een kleinere faalkans hebben dan het oorspronkelijke, langere dijkvak. De gecombineerde faalkans van de twee kleinere vakken is echter weer gelijk aan de faalkans van het

oorspronkelijke dijkvak.

Faalmechanismen en hun afhankelijkheden

Elk dijkvak, kunstwerk of duinvak kan door uiteenlopende faalmechanismen falen. De foutenboom in onderstaande figuur geeft dit weer. De kans op een overstroming is gelijk aan de kans dat ten minste één van de faalmechanismen ergens optreedt. Deze kans is kleiner dan de som van de faalkansen per faalmechanisme. De faalmechanismen zijn namelijk niet geheel onafhankelijk. Zo is de buitenwaterstand voor veel faalmechanismen de drijvende kracht.



Figuur 3 Uitwerking van foutenboom met verschillende faalmechanismen.

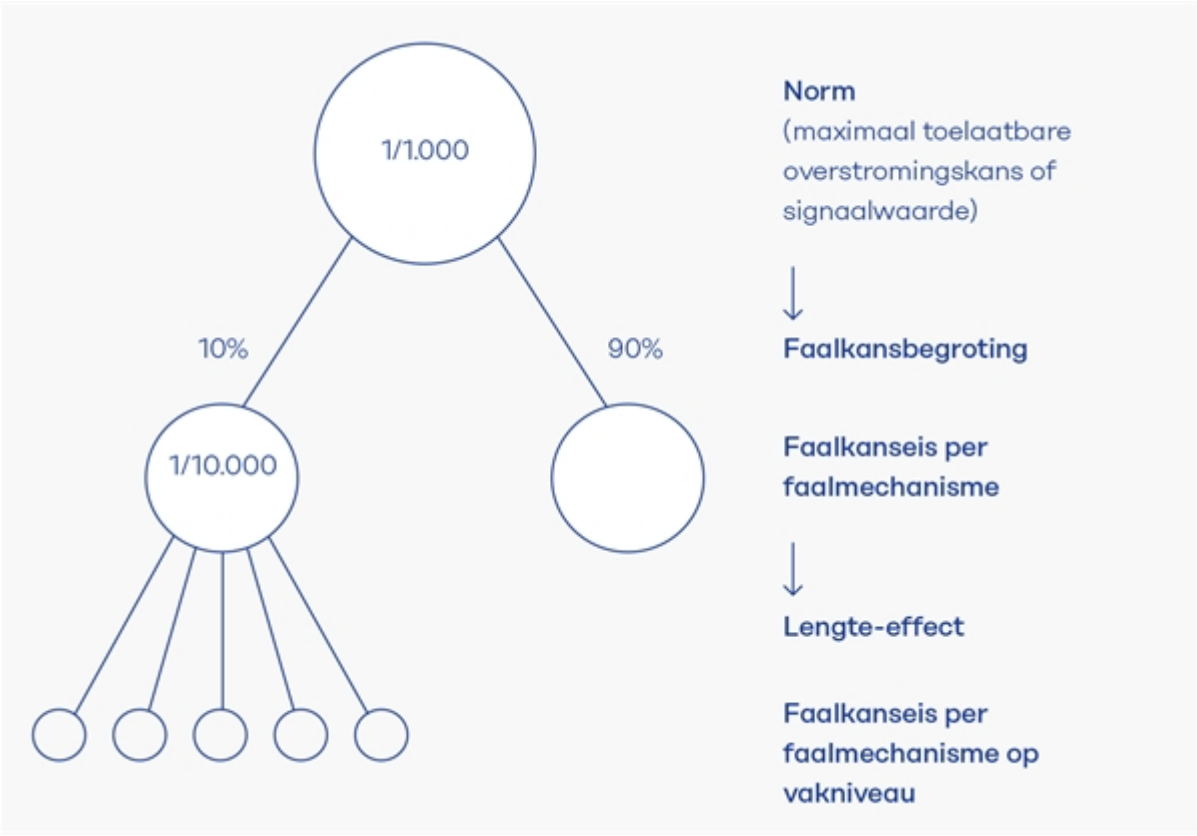
Versie 1.0: 2 juli 2025

Betrouwbaarheidseisen

Een overstromingskansnorm is een norm voor de kans dat een traject ergens, door welke oorzaak dan ook, faalt. Of een traject aan de norm voldoet is in theorie te bepalen door de overstromingskans van het traject te berekenen. Vooralsnog (anno 2016) ontbreekt het echter aan de technische middelen om voor alle faalmechanismen en onderdelen van een traject faalkansen te berekenen en te combineren tot één overstromingskans. Probabilistische modellen zijn slechts voor een beperkt aantal faalmechanismen beschikbaar. Daarom moet vaak worden gewerkt met rekenregels die per faalmechanisme voor een representatieve doorsnede van een vak aangeven of de faalkans kleiner is dan een bepaalde waarde. In dat geval zijn faalkanseisen per faalmechanisme voor de representatieve doorsnede nodig (doorsnedeniveau).

De faalkanseis voor een faalmechanisme op doorsnedeniveau komt via twee stappen tot stand :

1. Bepaal een faalkanseis per faalmechanisme op trajectniveau.
2. Vertaal de faalkanseis op trajectniveau in een faalkanseis voor een representatieve doorsnede.



Figuur 1 Van norm naar faalkanseis per faalmechanisme voor een representatieve doorsnede.

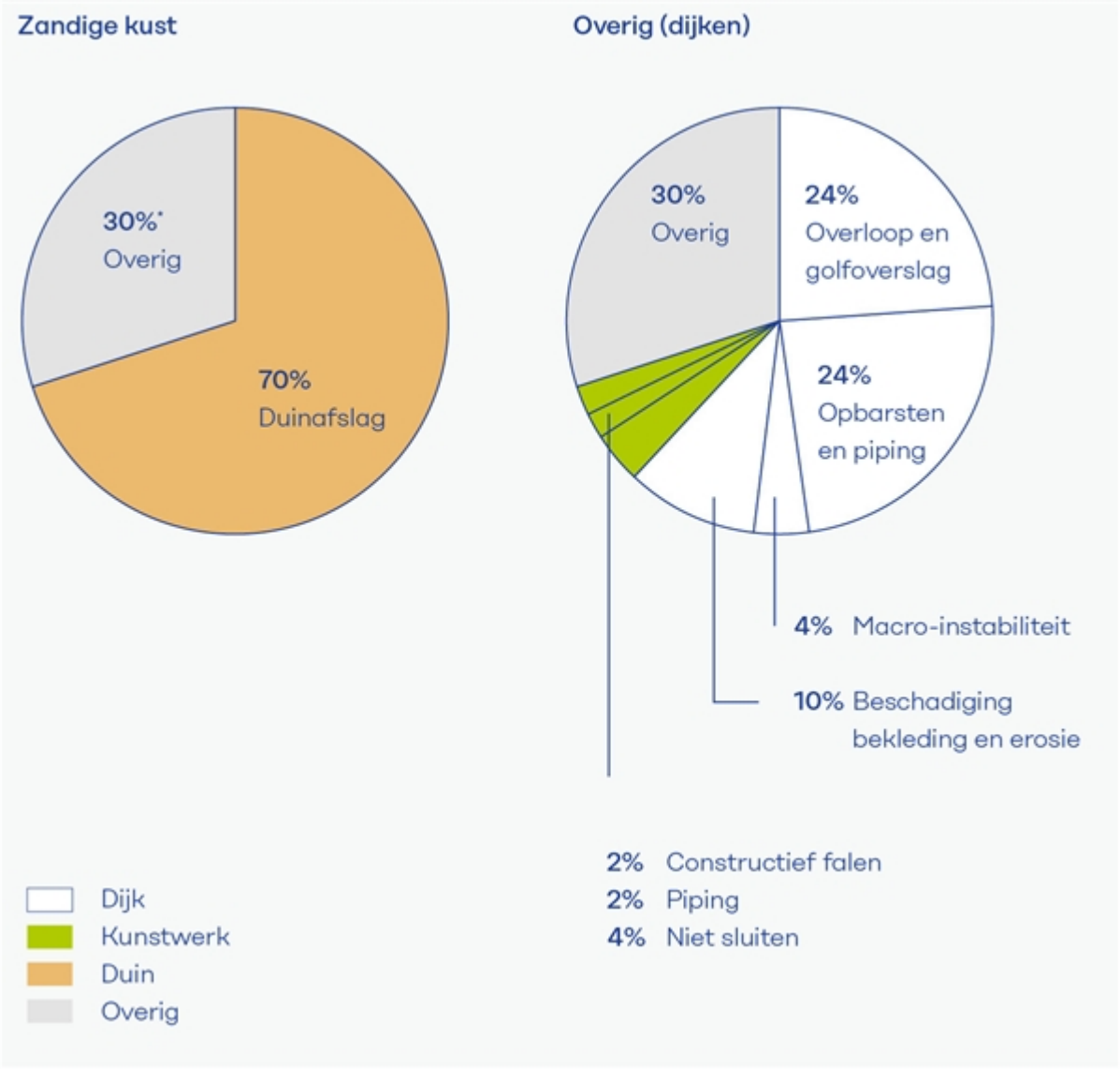
Faalkanseisen per faalmechanisme op trajectniveau

Faalkanseisen voor een faalmechanisme op trajectniveau komen tot stand door een overstromingskansnorm te verdelen over verschillende faalmechanismen. Een dergelijke uitsplitsing wordt ook wel een faalkansbegroting genoemd. Een faalkansbegroting geeft voor elk faalmechanisme aan wat de relatieve bijdrage aan de overstromingskans mag zijn.

De faalkansbegroting is op verschillende manieren in te vullen. Welke faalkansbegroting optimaal is, kan van traject tot traject verschillen. Als het bijvoorbeeld relatief kostbaar is om maatregelen tegen macrostabiliteit te treffen, kan het gunstig zijn dit mechanisme een relatief groot aandeel in de faalkansbegroting te geven. Dit leidt uiteraard tot relatief strenge eisen aan de overige faalmechanismen. De totale faalkans, voor alle faalmechanismen samen, moet tenslotte voldoende klein blijven.

Voor het Wettelijke Beoordelingsinstrumentarium 2017 zijn standaard faalkansbegrotingen opgesteld die in de semi-probabilistische analyse (zie Methoden voor het beoordelen van de betrouwbaarheid) van belang zijn. Een overzicht is weergegeven in onderstaande figuur. Het is altijd mogelijk van deze standaard faalkansbegrotingen af te wijken om onnodig knellende eisen voor bepaalde faalmechanismen te voorkomen. Aandachtspunt daarbij is dat alleen grote verschuivingen binnen de faalkansbegroting van praktische betekenis zijn. 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. Een bijdrage van 24% heeft in de praktijk vrijwel dezelfde betekenis als bijdragen van 10% tot 50%. Aanpassingen dan ook alleen zinvol voor faalmechanismen

waarvoor in de standaard faalkansbegroting relatief kleine bijdragen zijn gereserveerd, zoals voor macrostabiliteit en niet-sluiten (beide 4%).
De percentages uit de faalkansbegroting tellen op tot 100%. De afhankelijkheden tussen twee of meer faalmechanismen worden meegerekend in de kans dat ten minste één van deze faalmechanismen optreedt. Zo dient de kans op het falen van een traject door overslag of door beschadiging van de bekleding volgens de standaard faalkansbegroting kleiner te zijn dan 24%+10%=34%.



Figuur 2 De standaard faalkansbegroting bestaat uit maximaal toelaatbare faalkansen als percentages van de maximaal toelaatbare overstromingskans. Deze begroting is gehanteerd in het WBI2017 bij de gedetailleerde beoordeling. Afwijken van deze standaard faalkansbegroting is mogelijk zo lang het totaal 100% blijft.

Faalkanseisen per faalmechanisme op doorsnedeniveau

Bij de vertaling van een faalkanseis op trajectniveau in een faalkanseis op doorsnedeniveau moet rekening worden gehouden met het zogenaamde lengte-effect (zie ook Lengte-effect en faalmechanismen per traject). Het lengte-effect verschilt per faalmechanisme. Daarom is het niet mogelijk eerst faalkanseisen op doorsnedeniveau af te leiden en deze vervolgens te verdelen over de faalmechanismen per traject. Het is dan onduidelijk welk lengte-effect moet worden aangehouden.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Methoden voor het beoordelen van de betrouwbaarheid

Hoe is te beoordelen of een waterkering voldoet aan een faalkanseis? Hiervoor zijn zowel probabilistische als semi-probabilistische methoden beschikbaar. Deze methoden zijn nauw aan elkaar verwant. Ze hanteren dezelfde faalkanseisen en dezelfde modellen van faalmechanismen of grenstoestandfuncties. Ook houden beide methoden rekening met dezelfde onzekerheden. Het verschil zit in de wijze waarop met onzekerheden wordt omgegaan. Ook deterministische voorschriften zijn nog in gebruik, hoewel deze eigenlijk niet passen bij de overstromingskansbenadering.

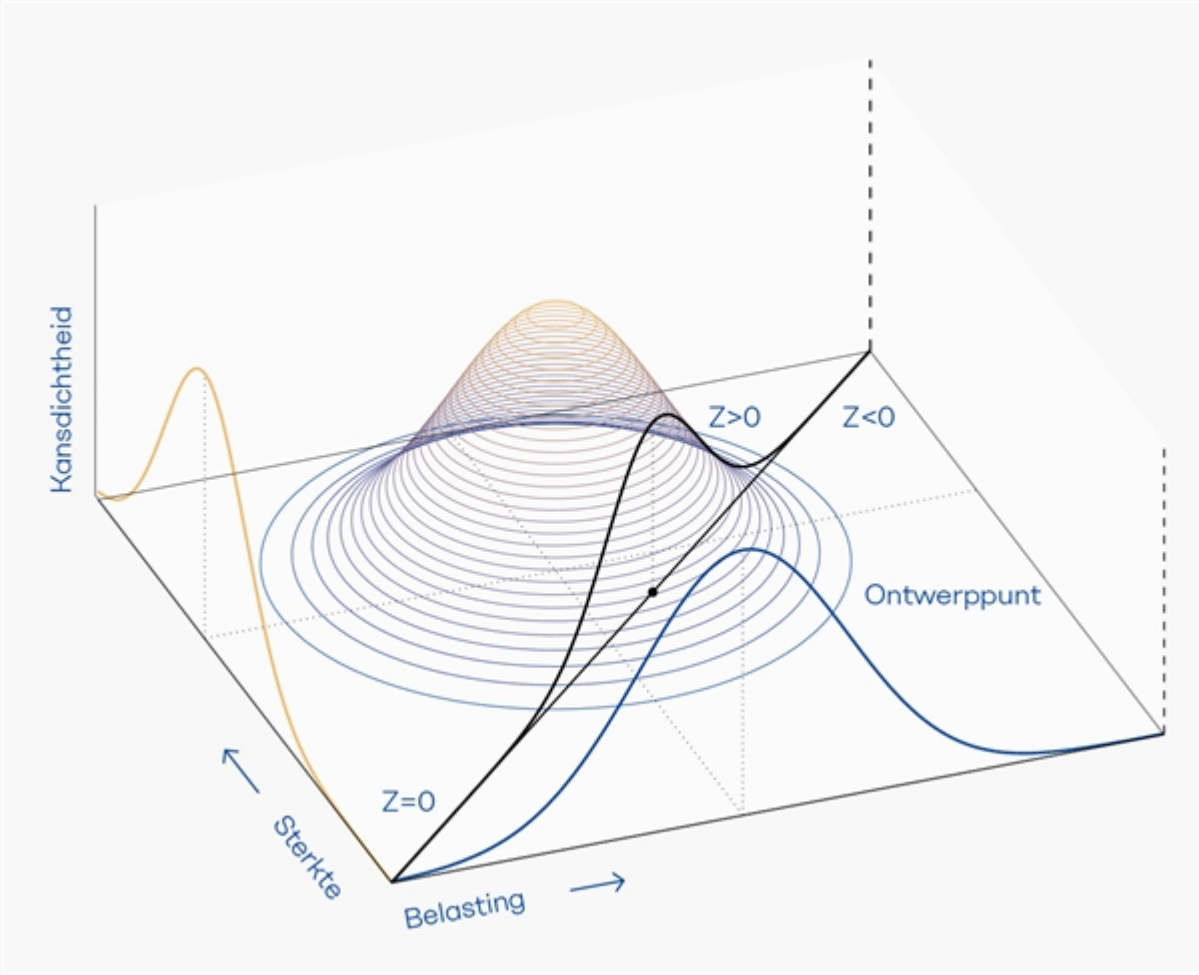
Probabilistische methoden

Met probabilistische beoordelingen worden eerst faalkansen berekend die vervolgens worden vergeleken met faalkanseisen. De belasting op en de sterkte van een waterkering zijn in de praktijk onzeker. Door deze onzekerheid is er een kans dat de waterkering in een bepaalde periode onvoldoende sterk is. De faalkans van een waterkering is de kans dat de onzekere belasting groter is dan de onzekere sterkte.

De faalkans per faalmechanisme en dijkvak, duinvak of kunstwerk is als volgt te bereken:

1. Kansen van voorkomen toekennen aan alle mogelijke combinaties van parameterwaarden in de grenstoestandfunctie of Z-functie (zie Basisbegippen in betrouwheidsanalyses en Faalmechanismen).
2. De kans bepalen van alle combinaties waarbij Z kleiner is dan nul (de belasting groter is dan de sterkte).

Onderstaande figuur geeft deze stappen weer. Hierin zijn de hoogtelijnen van de kansdichtheid van alle mogelijke combinaties van de sterkte en de belasting te zien. Het oppervlakte onder de totale kansberg is gelijk aan 1. De ruimte onder het gearceerde deel van de kansberg is de faalkans.



Figuur 1 De faalkans en de gezamenlijke kansverdeling van de sterkte en de belasting.

Semi-probabilistische methoden

Bij een semi-probabilistische beoordeling wordt een faalmechanismemodel niet gevoed met kansverdelingen maar met rekenwaarden. Een rekenwaarde is een combinatie van een representatieve waarde en een partiële veiligheidsfactor. Een representatieve waarde is een willekeurig gekozen waarde uit de veelheid van mogelijke waarden van een onzekere grootheid. Voorbeelden zijn een 5%-kwantiel of een waarde met een overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar. Er geldt:

$S_d = S_{rep} . \gamma_S$

$R_d = R_{rep} / \gamma_R$

Waarin:

S_d Rekenwaarde van een belastingvariabele

R_d Rekenwaarde van een sterktevariabele

γ_S Partiële veiligheidsfactor voor een belastingvariabele

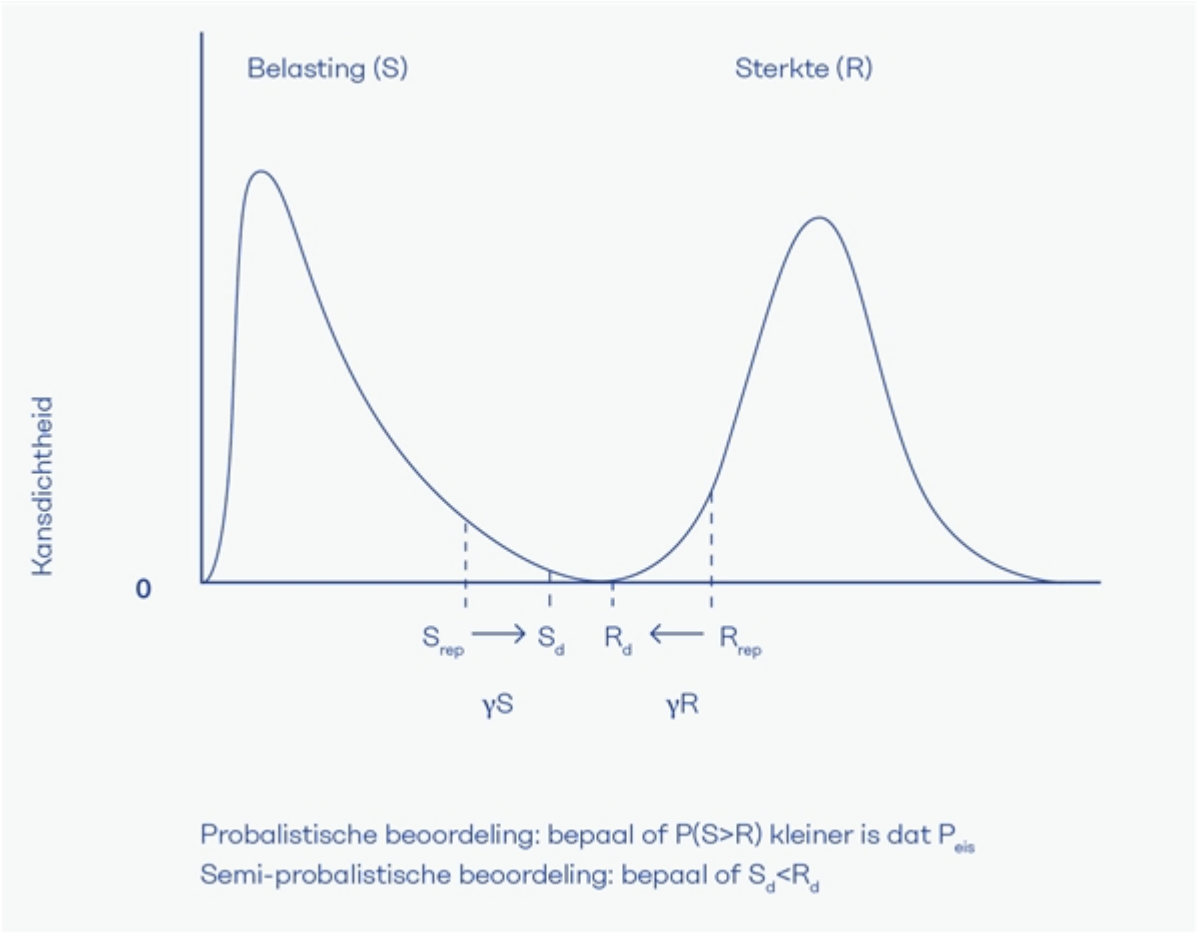
γ_R Partiële veiligheidsfactor voor een sterktevariabele

S_{rep} Representatieve waarde van de belasting

R_{rep} Representatieve waarde van de sterkte

De partiële veiligheidsfactoren worden zodanig gekozen dat de faalkans voldoende klein is als de kering volgens de semi-probabilistische beoordeling voldoet ($S_d < R_d$). Feitelijk is een semi-probabilistisch voorschrift weinig anders dan een vereenvoudigd recept om te beoordelen of een faalkans voldoende klein is.

Onderstaande figuur laat het verschil tussen probabilistische en semi-probabilistische betrouwbaarheidsanalyses zien. De figuur toont een simpel geval met één onzekere belastingvariabele (*S*) en één onzekere sterktevariabele (*R*). De faalkans P(S>R) moet kleiner zijn dan een bepaalde faalkanseis P_{eis}. De rekenwaarden van de belasting en de sterkte, S_d en R_d, moeten zodanig zijn dat met voldoende zekerheid wordt voldaan aan P_{eis} als $R_d \geq S_d$.



Figuur 2 Schematische weergave van het verschil tussen een probabilistische en een semi-probabilistische beoordeling.

Een semi-probabilistisch voorschrift is vaak makkelijker in het gebruik dan een probabilistische rekenmethode. Daar staat tegenover dat een semi-probabilistische beoordeling vaak minder nauwkeurig is dan een probabilistische beoordeling. Partiële veiligheidsfactoren die breed toepasbaar moeten zijn, zijn soms relatief streng.

Deterministische methoden

Tot slot zijn er nog de klassieke, deterministische methoden. Deze lijken op het eerste gezicht op de semi-probabilistische methoden. Ook deze methoden voeden een grenstoestandfunctie met enkele waarden van de belastingen en de sterkte-eigenschappen. Vaak wordt daarbij ook een veiligheidsfactor gebruikt. Een essentieel verschil tussen deterministische en semi-probabilistische

methoden is dat een expliciete relatie met faalkanseisen bij de deterministische methoden ontbreekt. Deterministische regels zijn ervaringsregels of regels die berusten op de subjectieve oordelen van experts. Een voorbeeld van een deterministische regel is de regel van Bligh die in Nederland lange tijd is gebruikt voor pipingbeoordelingen. De regel van Bligh vereist een minimale verhouding tussen kwelweglengte en verval. De regel stamt uit 1910 en berust op interpretatie van faalgevallen van op staal gefundeerde gemetselde dammen in India. Hoewel een semi-probabilistisch voorschrift een gelijke vorm kan hebben, zou de minimale verhouding in dat geval te relateren moeten zijn aan faalkanseisen.

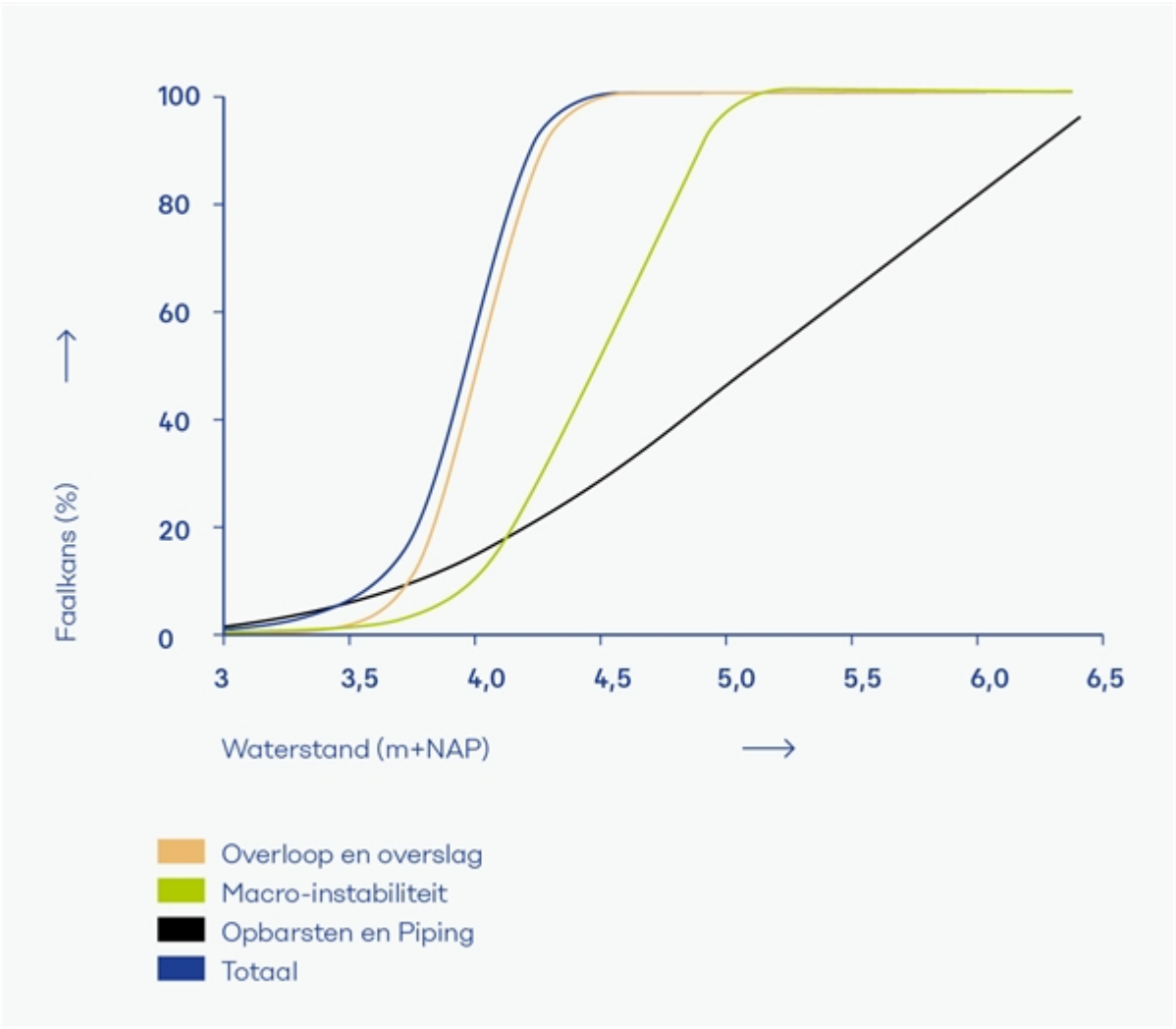
De klassieke, deterministische toets- en ontwerpregels zullen gaandeweg worden vervangen door probabilistische instrumenten en semi-probabilistische voorschriften. De ontwikkeling hiervan kost tijd en daarom zullen de oude, deterministische regels voor enkele faalmechanismen nog enige tijd in gebruik blijven.

Fragility curves

Een fragility curve geeft het verloop van de faalkans van een dijkstrekking als functie van een belastingparameter zoals de waterstand. De fragility curve verschilt per faalmechanisme en hangt af van de sterkte-eigenschappen van de dijk. Hoe groter de onzekerheid over de sterkte, des te flauwer de fragility curve verloopt: de gevoeligheid of fragility is dan klein. Daarom verlopen de fragility curves voor geotechnische faalmechanismen vaak relatief flauw. Voor een faalmechanisme als overloop of golfoverslag verloopt de fragility curve doorgaans steil op nabij de ontwerpwaterstand.

Door de fragility curves van alle faalmechanismen te combineren, ontstaat de fragility curve voor de betreffende dijkstrekking. Deze geeft bij elke waterstand de kans dat de kering faalt door welk faalmechanisme dan ook.

Fragility curves zijn nuttig om de faalkans bij een bepaalde waterstand te visualiseren, om daarmee het inzicht in de sterkte van de waterkering bij een bepaalde belasting te vergroten. Ook kunnen deze fragility curves gebruikt worden om, samen met de kansverdeling van de waterstand, een benadering te maken van de faalkans van de waterkering.



Figuur 3 Voorbeeld van een fragility curve.

Versie 1.0: 2 juli 2025

6 Ontwerpen

De ontwerpcyclus

Startpunt voor de ontwerpcyclus is een veiligheidsopgave, bijvoorbeeld als de periodieke beoordeling van een dijktraject laat zien dat het traject niet aan de gestelde eisen voldoet (zie hoofdstuk 5). Maatregelen om het overstromingsrisico te verkleinen zijn op veel verschillende schaalniveaus mogelijk. Allereerst is een keuze van de oplossingsrichting nodig, bijvoorbeeld:

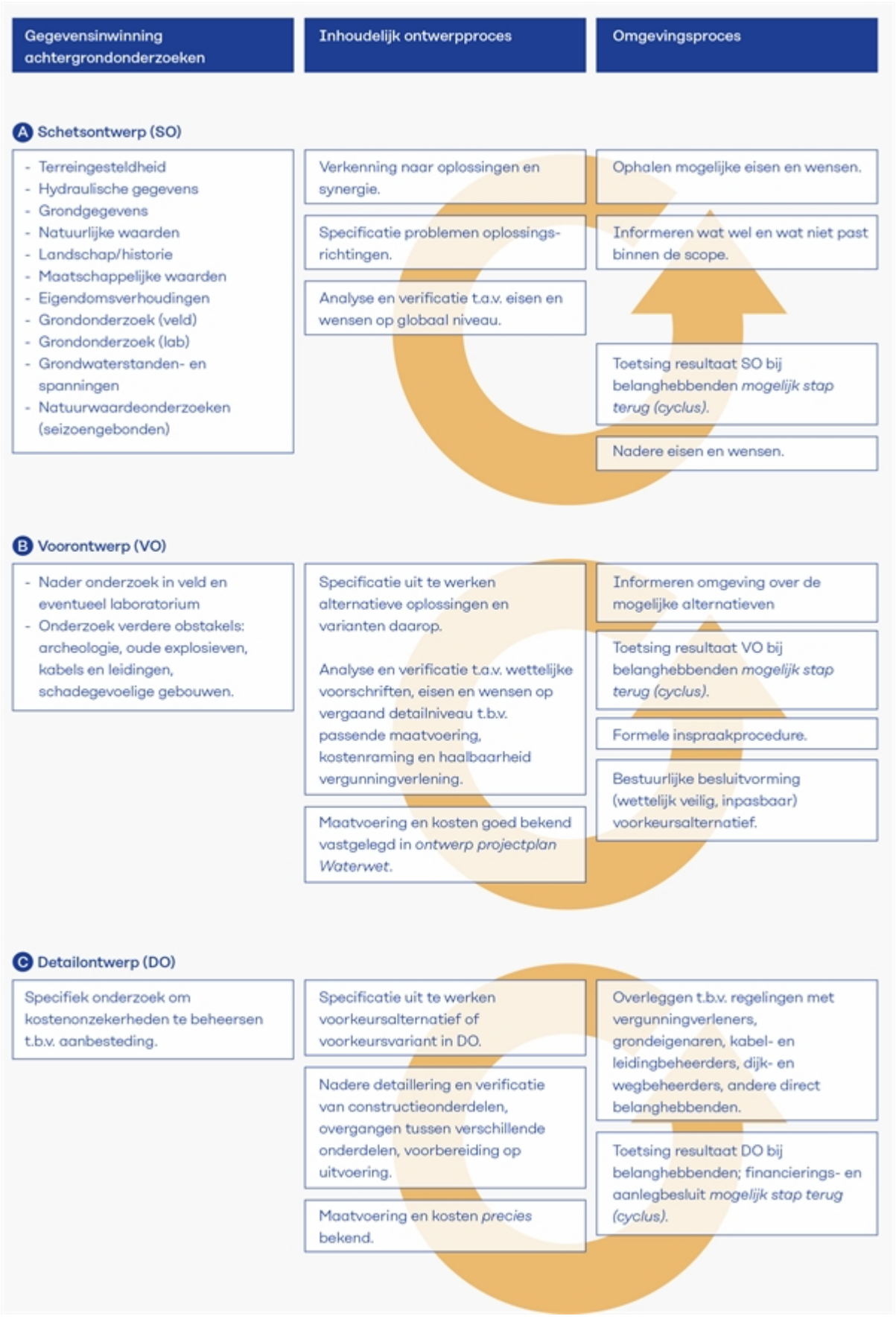
- Verlaging van de hydraulische belasting door bijvoorbeeld rivierverruiming.
- Vergroting van de sterkte door dijkverbetering.
- Gevolgbeperkende maatregelen, bijvoorbeeld door de evacuatiefractie onderbouwd te verhogen.

Het ontwikkelen van een pakket maatregelen om weer te voldoen aan de gestelde veiligheidseisen wordt hier ontwerpen genoemd. Het ontwerp moet niet alleen een oplossing zijn voor de veiligheidsopgave volgend uit de Waterwet, maar ook voldoen aan andere wet- en regelgeving. Denk daarbij aan wetten en regels met betrekking tot natuur, cultuurhistorie, archeologie en landschap,

maar ook aan inpassing van bestaande infrastructuur en bebouwing. Daarnaast moet een ontwerp voldoen aan allerlei maatschappelijke criteria, zoals bijvoorbeeld minimale kosten en minimale omgevingshinder tijdens de uitvoering. Onder ontwerpen wordt zowel het creatieve proces voor het genereren van passende oplossingen (design) als de technische uitwerking van deze oplossingen (engineering) verstaan.
Er bestaan grote overeenkomsten tussen de beoordeling en het ontwerp van waterkeringen voor het aspect waterveiligheid. Ontwerpen volgt grotendeels dezelfde systematiek als beoordelen. Verschil is dat bij ontwerpen rekening wordt gehouden met (mogelijke) ontwikkelingen tijdens de beoogde levensduur, terwijl het bij beoordelen gaat om het veel beter bekende hier en nu. Zo kunnen hydraulische belastingen toenemen door klimaatveranderingen, en kan bodemdaling een rol spelen. Bij het ontwerp spelen daarnaast gebruikers- en omgevingseisen een belangrijke rol.

Het ontwerp komt tot stand door cyclisch van grof naar fijn te werken: van een schetsontwerp (SO) dat vooral dient om de oplossingsrichting te bepalen naar een voorontwerp (VO) dat duidelijkheid geeft over de hoofdafmetingen en de inpassing en voldoende inzicht in de kosten om een voorkeur te kunnen bepalen. Daarna volgt een definitief ontwerp of detailontwerp (DO) dat nauwkeurig aangeeft wat precies gebouwd wordt. Een uitvoeringsontwerp (UO) beschrijft vervolgens hoe de stappen van aanleg verlopen. Het ontwerp van maatregelen voor verbetering van een waterkering behelst een breed scala aan activiteiten: eisen en wensen inventariseren, gegevens verzamelen en analyseren, alternatieven en varianten ontwikkelen en afwegen, communiceren over de voor- en nadelen met de belanghebbende partijen, een voorkeursalternatief uitwerken, (constructie)onderdelen dimensioneren, vergunningen voor de aanleg aanvragen en besluiten over financiering en aanleg. Zoals is te zien in onderstaande figuur van het cyclisch ontwerpproces komen de woorden specificatie, analyse en verificatie steeds terug. Dit gebeurt in iedere ontwerpstap op een bijpassend abstractieniveau. Uiteindelijk resulteert dit in de eindoplossing waarbij steeds weer geverifieerd wordt of de onderdelen van de oplossing voldoen aan de wettelijke eisen, technische eisen en de eisen en wensen van de gebruiker.

Onderstaande figuur geeft schematisch het ontwerpproces weer dat kenmerkend is voor verbetering van waterkeringen. In de praktijk zijn er mogelijkheden om het ontwerpproces zo in te richten dat het past bij het specifieke traject, de omvang van het waterkeringsprobleem, de verschillende belanghebbenden en de potentiële projecten die meegekoppeld kunnen worden.



Figuur 1 Schematische weergave van het ontwerpproces.

De eisen en wensen voor een ontwerp zijn in de praktijk heel divers. Zo moet een ontwerp niet alleen voldoen aan de eisen uit de Waterwet, maar ook aan omgevingseisen, zoals voor een weg op de kering en bebouwingen op en nabij de kering. Door de opgave voor de waterveiligheid te

Combineren met andere gewenste ontwikkelingen in het gebied is vaak meerwaarde te creëren. Ook beheer en onderhoud stellen eisen aan het ontwerp. Daarvoor is het van belang de gehele levenscyclus van de maatregel in beschouwing te nemen.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Ontwerpverificatie: voldoet het ontwerp aan de gestelde eisen?

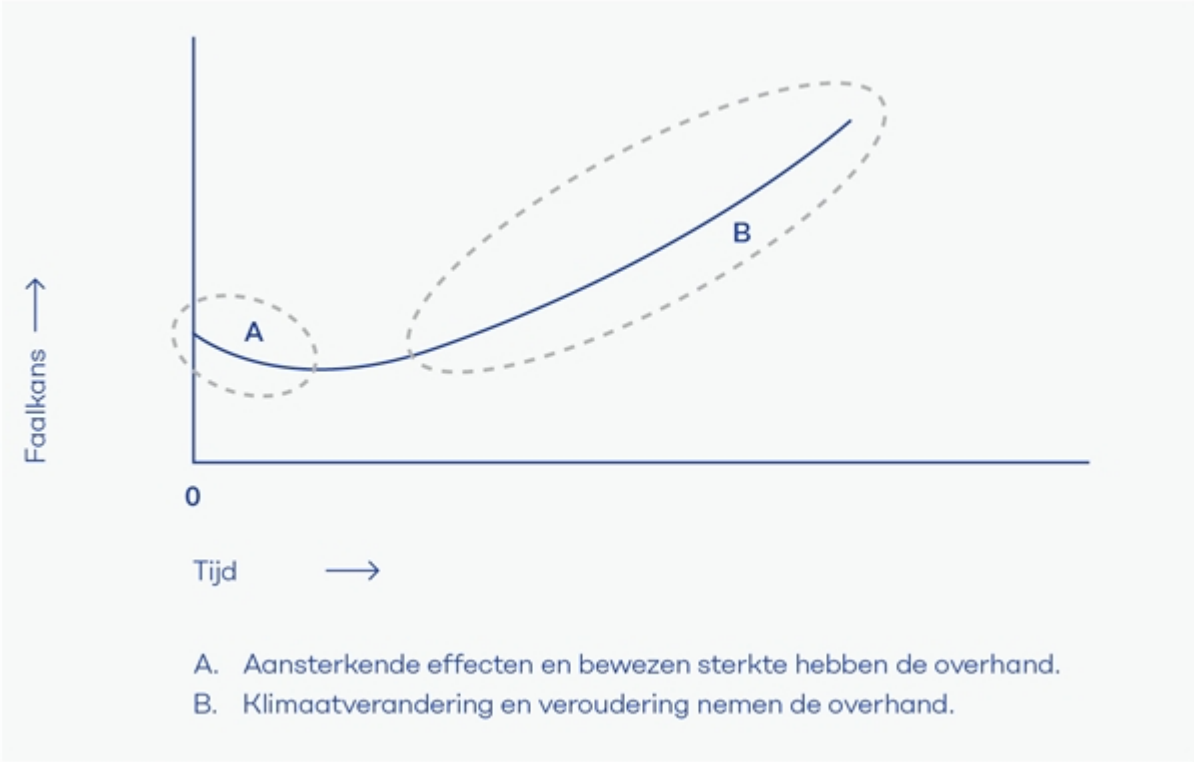
Ontwerpverificatie is de beoordeling van het beoogde oplossing aan de gestelde eisen. Hieronder komt eerst de beoordeling aan de normen uit de Waterwet en het Bouwbesluit aan bod en daarna de beoordeling aan overige maatschappelijke eisen.

Wettelijke eisen

De normen uit de Waterwet vormen de basis voor zowel de beoordeling van bestaande waterkeringen als het ontwerp van nieuwe waterkeringen en andere oplossingen. De overstromingskans van een traject dient elk jaar kleiner dan of gelijk aan de maximaal toelaatbare overstromingskans uit de Waterwet te zijn (de ondergrens). Zoals in hoofdstuk 5 is aangegeven zijn de normen afgeleid voor het jaar 2050, maar bij het ontwerpen van de oplossing is dit jaartal niet meer relevant. Bij het ontwerp met een beoogde levensduur van 10 jaar of 100 jaar is dezelfde norm van toepassing.

De optimale ontwerplevensduur is de levensduur met minimale kosten, gegeven de norm uit de Waterwet en rekening houdend met overige eisen en belangen. Deze levensduur is mede afhankelijk van de verhouding tussen de vaste en de variabele kosten van een toekomstige versterking of vervanging. Deze verhouding is weer afhankelijk van de flexibiliteit of uitbreidbaarheid van de maatregel. Als de vaste kosten relatief hoog zijn, zoals bij grootschalige dijkversterkingen in stedelijk gebied, is het economisch verstandig om te ontwerpen voor een lange levensduur. Regelmatig versterken van waterkeringen is dan niet doelmatig. Dat is anders als de vaste kosten relatief laag zijn, zoals bij zandsuppleties of partiële versterking van een waterkering (bijvoorbeeld versterking van een klein deel van de bekleding): dan is het juist wel verstandig frequenter kleinere versterkingen uit te voeren. De optimale levensduur hoeft ook niet voor alle onderdelen van een traject of constructie gelijk te zijn. Zo zal de optimale levensduur van een bewegingswerk vaak korter zijn dan die van een paalfundering. In het verleden is voor dijkverbeteringen vaak een ontwerplevensduur van 50 jaar aangehouden en voor complexere constructies zoals kunstwerken 100 tot 200 jaar.

Wanneer de belasting op een waterkering toeneemt, bijvoorbeeld door relatieve zeespiegelstijging, of de sterkte afneemt door bijvoorbeeld veroudering en zettingen, zal de faalkans van de waterkering in de loop van de tijd geleidelijk toenemen. De faalkans van een nieuwe of versterkte waterkering kan in de eerste periode na versterking ook kleiner worden, bijvoorbeeld doordat fysische processen optreden die de kering sterker maken, zoals de dissipatie van water(over)spanningen en het sterker worden van een grasmat. Ook kan de onzekerheid over de sterkte afnemen als de waargenomen prestaties van de nieuwe kering aangeven dat bepaalde sterkte-eigenschappen minder ongunstig zijn dan eerder was aangenomen, bijvoorbeeld omdat de kering een bepaalde belasting daadwerkelijk heeft gekeerd. Ook dit leidt tot een afname van de faalkans. Het resultaat van deze opwaartse en neerwaartse invloeden op de faalkans is een verloop van de faalkans in de tijd dat ook wel bekend staat als de badkuipkromme .



Figuur 1 Illustratie van de badkuipkromme: in de eerste levensjaren daalt de overstromingskans, daarna neemt deze toe door klimaatverandering. In werkelijkheid is het verloop grilliger omdat de belastingen in bijvoorbeeld zomer en winter verschillend zijn.

Dit betekent dat het enige tijd kan duren voordat een kering ‘op sterkte’ is. Dit tijdelijke sterktetekort is deels op te vangen met een goede timing van werkzaamheden, door bijvoorbeeld ervoor te zorgen dat consolidatie plaatsvindt buiten het hoogwaterseizoen en tijdelijke beheersmaatregelen. Het kan echter zeer kostbaar zijn om te eisen dat een afgekeurde waterkering tijdens of direct na versterking aan de normen uit de Waterwet moet voldoen. Het hanteren van deze eis gaat dan ten koste van de middelen die voor overige versterkingsmaatregelen beschikbaar zijn. Daarom acht het Expertise Netwerk Waterveiligheid een grotere overstromingskans gedurende een periode van maximaal 4 jaar acceptabel als hiermee hoge kosten te voorkomen zijn. De overstromingskans mag in deze periode echter in geen enkel jaar groter zijn dan de overstromingskans direct voorafgaand aan de versterking.

In de Waterwet staan geen specifieke betrouwbaarheidseisen voor het ontwerp. Wel is aangegeven aan welke eis een traject ten minste moet voldoen, en elk traject moet periodiek beoordeeld worden op grond van deze eis. Om te voorkomen dat een versterkte kering de eis direct weer overschrijdt, moet bij het ontwerp rekening worden gehouden met de veranderingen die in de loop van de tijd zullen optreden, zoals veroudering en relatieve zeespiegelstijging. De praktijk leert dat ook kennisontwikkeling en de introductie van nieuwe modellen kunnen leiden tot een bijstelling van het beeld van de betrouwbaarheid van een waterkering. Al deze veranderingen zijn met onzekerheid omgegeven. Hierdoor bestaat ook onzekerheid over het moment waarop een versterkte waterkering opnieuw versterkt of vervangen moet worden. Als de ontwerper relatief optimistisch is ten aanzien van de onzekerheden over de toekomstige situatie, dan is de kans groot dat de kering het einde van de beoogde ontwerplevensduur niet haalt door vroegtijdige afkeuring. Is de ontwerper relatief pessimistisch ten aanzien van deze onzekerheden, dan is de kans groot dat kering langer meegaat dan de beoogde levensduur. De crux ligt hier dus in het zoeken naar een juiste balans, voor onderdelen of de gehele kering. Een beschouwing en onderbouwing van de meegenomen onzekerheden in relatie tot de ontwerplevensduur in het ontwerp is dan ook essentieel.

De belasting op een waterkering kan zwaarder zijn dan in het ontwerp aangenomen en de waterkering kan ook minder sterk blijken te zijn dan vooraf gedacht. De ontwerper en waterkeringbeheerder doet er dan ook verstandig aan om hierop te anticiperen, bijvoorbeeld door een aanpassing van het ontwerp of met noodmaatregelen. Maken deze noodmaatregelen onderdeel uit van het maatregelenpakket om aan de norm te voldoen, dan moeten ze zijn geborgd. Voldoet de kering ook zonder noodmaatregelen aan de norm, dan zijn de noodmaatregelen extra en niet nodig om aan de norm te voldoen.

Het bovenstaande verklaart ook voor een deel waarom de waakhoogte, die in het verleden werd aangehouden bij de overschrijdingskansbenadering, is komen te vervallen bij de overstromingskansbenadering. Een waakhoogte bovenop de benodigde kruinhoogte zou de overstromingskans immers ook kleiner maken dan de wet vereist. Daarnaast geldt ook nog dat in de waakhoogte rekening gehouden werd met de aanwezigheid van golven. In de overstromingskansbenadering worden de golven expliciet meegenomen bij het mechanisme golfoploop en golfoverslag, zodat een aparte waakhoogte niet meer nodig is.

Overige ontwerpeisen

Een waterkering moet naast een hoogwaterkerende functie vaak ook nog andere functies vervullen. Zo bevindt zich op veel waterkeringen een verkeersweg of moet een schutsluis de passage van schepen mogelijk maken. Voor elk van deze functies zijn eisen te formuleren. Het kan daarbij gaan om zowel gebruikseisen als betrouwbaarheidseisen. Zo moet een sluiskolk een minimale breedte hebben (gebruikseis) en voldoen aan eisen voor de constructieve veiligheid (betrouwbaarheidseis).

Betrouwbaarheidseisen kunnen betrekking hebben op zowel uiterste grenstoestanden als bruikbaarheidsgrenstoestanden. Zo kan een weg op een dijk onherstelbaar beschadigd raken door een afschuiving (de overschrijding van een uiterste grenstoestand) of tijdelijk niet-begaanbaar zijn door golfoverslag (de overschrijding van een bruikbaarheidsgrenstoestand).

Eisen aan overige functies en bruikbaarheidsgrenstoestanden zijn niet terug te voeren op de normen uit de Waterwet. Deze eisen mogen dan ook afwijken van de eisen uit de Waterwet. De Waterwet stelt immers alleen eisen aan ‘de kans op het verlies van waterkerend vermogen van de waterkering, met substantiële economische schade of slachtoffers als gevolg’. Veelal volgen uit andere wet- en regelgeving eisen aan overige functies en bruikbaarheidsgrenstoestanden, zoals uit het Bouwbesluit en de Machinerichtlijn.

Benadrukt wordt dat de kans op bijvoorbeeld de niet-begaanbaarheid van een dijk veel groter mag zijn dan de kans op een dijkdoorbraak. Voor 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.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Het verkleinen van de overstromingskans van het ontwerp

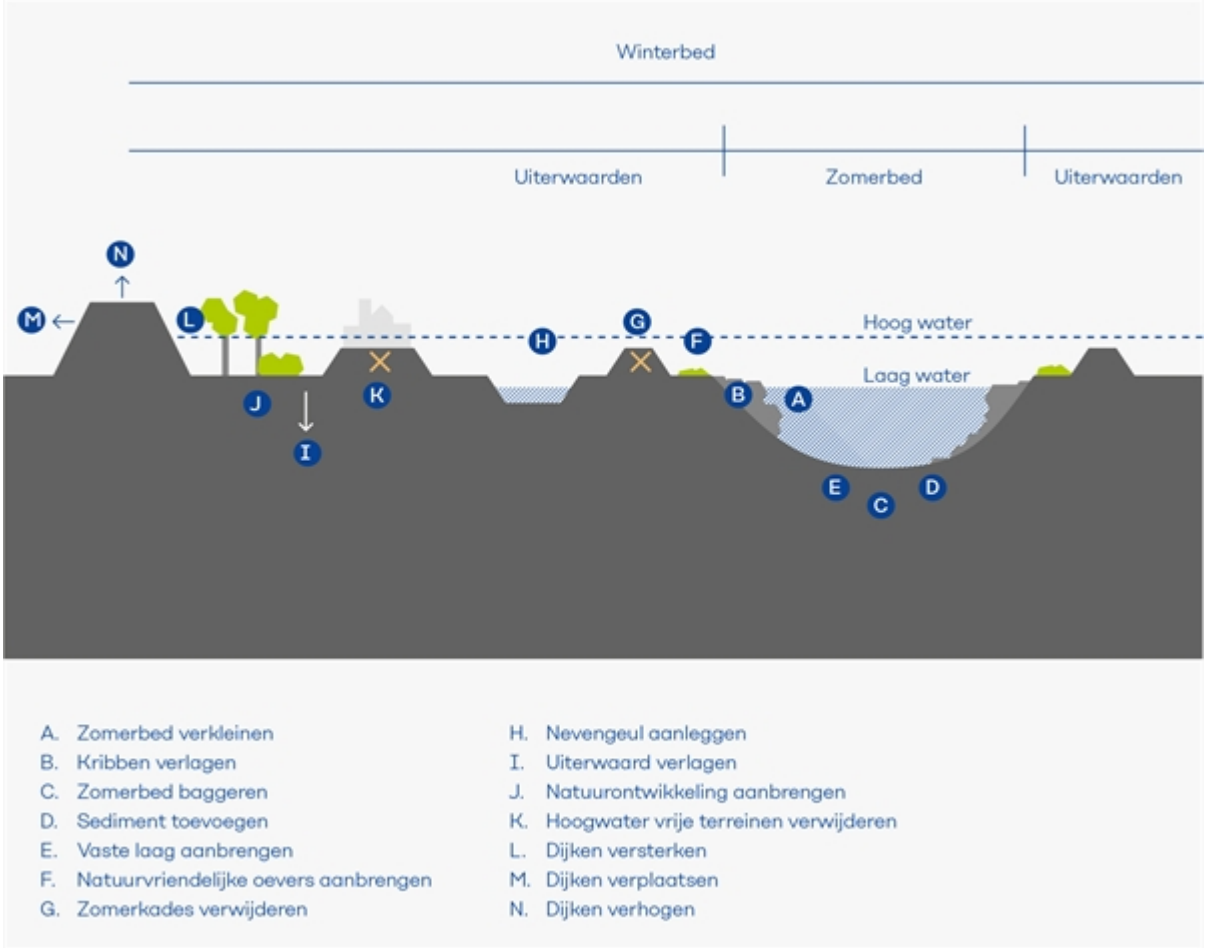
De overstromingskans is te verkleinen door ofwel de hydraulische belasting te verlagen ofwel de sterkte te vergroten ofwel een combinatie van beide toe te passen.

Verlaging van de hydraulische belasting

De hydraulische belasting op waterkeringen is op verschillende manieren te verlagen. Deze paragraaf belicht drie voorbeelden: rivierverruiming, de aanleg van golfbrekers en de inzet van gemalen.

Rivierverruiming

Maatregelen in deze categorie zijn erop gericht de afvoercapaciteit of berging van de rivier te vergroten, zodat de waterkeringen door lagere waterstanden worden belast. Kenmerkende maatregelen zijn het afgraven of verlagen van uiterwaarden, dijkteruglegging, aanleg van nevengeulen en hoogwatergeulen en verdiepen van het zomerbed. Naast deze maatregelen kunnen ook vele andere maatregelen worden genomen om de vele functies van het rivierensysteem te verbeteren, denk bijvoorbeeld aan het aanbrengen van natuurontwikkeling of het toevoegen van sediment, en deze maatregelen verminderen veelal de afvoercapaciteit van de rivier. Een overzicht van mogelijke maatregelen in het dwarsprofiel van de rivier is weergeven in onderstaande figuur.



Figuur 1 Mogelijke maatregelen in het dwarsprofiel van de rivier.

Waterstandsverlaging door rivierverruiming vergt veel meer grondverzet dan een dijkversterking. Het karakter van het grondverzet is ook anders en de maatregel als geheel omvat vaak meer ruimtelijke ingrepen. Deze maatregelen kunnen in veel gevallen andere ontwikkelingsdoelen in of nabij het gebied van de rivierverruiming dienen, zoals versterking van de recreatiemogelijkheden door het gebied natuurlijker en dynamischer te maken. Dat vraagt bij het ontwerp van rivierverruimende maatregelen aandacht voor noodzakelijke beheer- en onderhoudsmaatregelen tijdens de ontwerplevensduur, bijvoorbeeld om te voorkomen dat stroomremmende begroeiing de beoogde waterstandsverlaging teniet doet. Bij de keuze voor een nevengeul moet rekening gehouden worden met de kosten en de ecologische impact van onderhoudsbaggerwerkzaamheden die nodig zijn om de beoogde afvoerfunctie in stand te houden.

Buitenwaarts versterken

Een algemeen beleidsuitgangspunt in Nederland is dat de afvoercapaciteit van de rivieren niet mag

worden verkleind. De ervaring leert dat op grond van een strikte interpretatie van dit uitgangspunt vaak wordt afgezien van buitenwaartse versterking van waterkeringen. Een buitenwaartse dijkversterking heeft echter nauwelijks invloed op de afvoercapaciteit. Het Expertise Netwerk Waterveiligheid is dan ook van oordeel dat dergelijke maatregelen een volwaardige plaats verdienen in de afweging van alternatieven en niet bij voorbaat moeten worden verworpen.

Golfbrekers

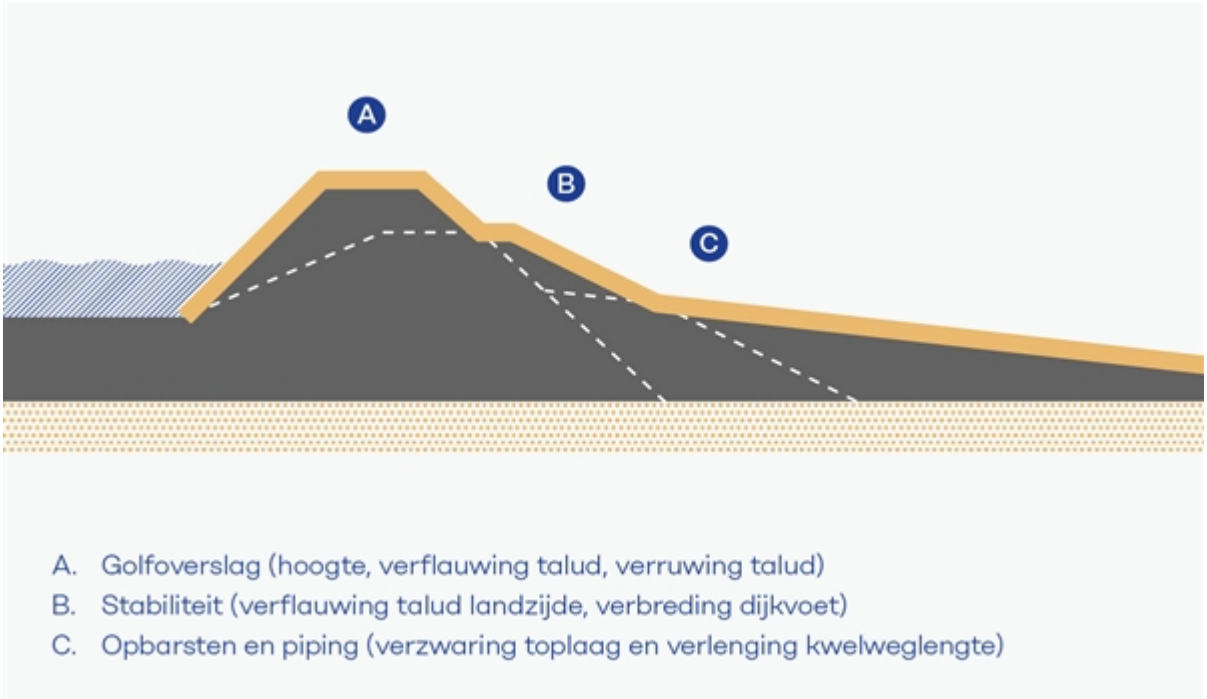
Om de golfbelasting op waterkeringen te beperken kunnen golfbrekers effectief zijn. Deze kunnen uit stenen bestaan, maar ook aanbrengen van vegetatie of het verhogen van voorland kan een effectief middel zijn. In alle gevallen is aandacht voor het beheer nodig. Of toepassing van golfbrekers ook doelmatig is, hangt ook af van de mogelijke functie voor andere gebruikersdoeleinden.

Peilbeheer met spuisluizen en gemalen

Spuisluizen kunnen van belang zijn voor de beheersing van de waterstand in een groot gebied. Zo bepalen de spuisluizen in de Afsluitdijk in belangrijke mate de waterstand in het IJsselmeergebied. Daarnaast kunnen gemalen de kans op extreme waterstanden verkleinen, als de gemaalcapaciteit groot genoeg is in vergelijking met het volume buitenwater dat de waterkering bedreigt. Zo draagt het gemaal bij IJmuiden bij aan de veiligheid rond Amsterdam. Als lozing onder vrij verval lastiger wordt door bijvoorbeeld klimaatverandering, kunnen pompen in beeld komen om de gemaalcapaciteit te vergroten.

Vergroting van de sterkte

De manier waarop de sterkte van een waterkering vergroot kan worden, is sterk afhankelijk van het type kering: duin, grondconstructie, kunstwerk of bijzondere waterkerende constructies. Het meest voorkomende type is de waterkerende dijk als grondconstructie. Dergelijke keringen zijn relatief goedkoop, gemaakt van natuurlijke materialen, duurzaam en gemakkelijk uitbreidbaar. De samenstelling van de (onder)grond, afmetingen (onder andere hoogte, taludhelling) en de bekleding van een dijk bepalen samen de weerstand tegen falen. Onderstaande figuur geeft een voorbeeld van een dijkprofiel.



Figuur 2 Voorbeeld van het ontwerp van een dijkprofiel op basis van drie faalmechanismen. De dikke

oranje lijn is de omhullende van de oplossingen voor de drie faalmechanismen en geeft het ontwerpprofiel weer.
De vereiste kerende hoogte van een waterkering wordt bepaald door een aantal factoren. Overloop en overslag zorgt voor beschadiging van de bekleding en erosie van de onderliggende kleilaag met mogelijk een bres tot gevolg. Ook is er een negatief effect op afschuiving van de toplaag en de macro-stabiliteit (zie bovenstaande figuur).



Figuur 3 Het kritieke overslagdebiet is de schakel tussen belasting (waterstand en golven) en sterkte (erosie en stabiliteit). De vereiste hoogte wordt bepaald door de lokale waterstand (bepaald door rivierafvoer, zeewaterstand, meerpeil, bui-oscillaties, seiches, windopzet, faalkans, stormvloedkering) en golfoploop (bepaald door golfhoogte, golfperiode, dijkprofiel).

Er is niet altijd voldoende ruimte om dijkprofielen volledig in grond uit te voeren. Dat is bijvoorbeeld het geval bij bebouwing, watergangen of andere obstakels die om allerlei redenen niet of alleen tegen hoge kosten kunnen worden verplaatst. In dergelijke situaties zoekt men voor de versterking van de waterkering naar sterke ruimtebesparende materialen, zoals stalen damwanden of betonwanden, of specifieke grondversterkings- of verankeringstechnieken. Drainagesystemen kunnen de grondwaterdrukken in de kering verlagen, waardoor de grond meer sterkte behoudt.

Voorland en legger

Uitgangspunt van de overstromingskansbenadering is dat rekening wordt gehouden met het aanwezige voorland bij de berekening van de belasting. Als verwacht wordt dat het voorland onder de extreme omstandigheden aanwezig blijft kan daar dus rekening mee worden gehouden ('beoordelen wat er daadwerkelijk aanwezig is').

Als het voorland van belang is voor het beperken van de overstromingskans, is in het operationeel beheer (of zorgplicht) aandacht nodig voor de monitoring en instandhouding ervan. De beheerder kan het waterkeringsbelang van het voorland in de legger borgen, maar dit is niet noodzakelijk. Is het

voorland in beheer bij een andere beheerder, dan is het verstandig afspraken te maken over de instandhouding.
Versie 1.0: 2 juli 2025

Inpassing van het ontwerp in de omgeving

In de omgeving van een maatregel zijn vaak al vele functies aanwezig of nieuwe functies gewenst. Fysieke maatregelen die de overstromingskans verkleinen kunnen ook andere functies dienen. Tegenwoordig bestaat de wens om waterveiligheid te koppelen aan andere functies. In feite is dit niet nieuw: in het verleden aangelegde keringen vervullen meestal meerdere functies. Zo zijn veel rivierdijken ook wegverbindingen, grasland voor schapen of de dorpsstraat.

Bij multifunctionele waterkeringen vraagt de betrouwbaarheid extra aandacht, omdat de andere functies soms conflicteren met de functie voor hoogwaterbescherming. Speciale aandacht verdient het beheer. Bij een multifunctionele waterkering zijn immers verschillende belanghebbenden betrokken die ook andere doelen dan veiligheid tegen overstroming nastreven.

De wensen en eisen voor andere functies leiden tot extra ontwerpcriteria in aanvulling op die voor de waterveiligheid. In het ontwerp dienen deze ontwerpcriteria te worden verenigd, waarbij aan wettelijke vereisten (zoals de vereisten uit de Waterwet en het Bouwbesluit) geen concessies kunnen worden gedaan.

Multifunctionaliteit kan van invloed zijn op de kosten van toekomstige ingrepen en daarmee op de ontwerplevensduur. Voorbeelden van multifunctionele oplossingen zijn de Rotterdamse weg Boompjes, de boulevard van Scheveningen, de hoogwaterkering in Kampen, de parkeergarage in de waterkering bij Katwijk en de Voorstraat in Dordrecht.

Bij elk ontwerp speelt ook de landschappelijke of stedenbouwkundige inpassing een belangrijke rol, gericht op het behoud en de ontwikkeling van het landschap, de natuur en het cultureel erfgoed. Zo wordt vrijwel altijd aan het duinlandschap grote waarde toegekend en worden rivierdijken in toenemende mate gewaardeerd als sterk landschapsbepalende, architectonische elementen die positief te benutten zijn voor de omgevingskwaliteit. Een voor de hand liggend sleutelbegrip bij de vormgeving van deze langgerekte structuren is continuïteit. Het intact houden van die continuïteit vergt specifieke oplossingen voor lokale voorzieningen voor bijvoorbeeld verkeer, ondernemingen en recreatie. Variatie in bebouwing daarentegen wordt zelden ervaren als een aantasting van de continuïteit van de dijk. Daaruit blijkt dat de schaal van de elementen op en aan de dijk van belang is. Voor het behoud van landschappelijke waarden zijn bijzondere constructies te ontwerpen.

De inpassing in de omgeving kan bijvoorbeeld leiden tot wensen voor de steilheid van taludhellingen, bochten of juist rechte strekkingen in de dijk of behoud van karakteristieke punten. Ook kan er vanwege de gewenste inpassing een voorkeur bestaan voor verbreding van een bestaande waterkering aan de landzijde of juist aan de waterzijde.

Rol van de dijk in het rivierenlandschap

De landschappelijke inpassing van dijken in het rivierenlandschap heeft de afgelopen decennia grote veranderingen ondergaan. Onderstaande tabel geeft daar een beeld van (afkomstig uit H+N+S, 2015). In de laatste kolom staan de ambities voor de komende dijkverbeteringen, zoals verwoord in de Handreiking Ruimtelijke Kwaliteit van Waterschap Rivierenland. Met name de ambities voor continuïteit van de dijk in de langsrichting en medegebruik dichter bij de dijk zijn belangrijke verschuivingen ten opzichte van het verleden. Uit de ambities zijn drie hoofdprincipes afgeleid:

1. Het huidige dijktracé vormt de basis (lengteprofiel),
2. De dijk oogt compact en het afwisselende landschap van de dijkzone raakt de dijk

(dwarsprofiel) en

3. bijzondere aandacht voor een aantal maatwerklocaties.

Bij het ontwerpen van dijken is het noodzakelijk de technische overwegingen in te passen in de landschappelijke ambities.

	Voor 1970	Versterking jaren '80	Versterking jaren '90	Ambitie dijkverbetering
Positie dijk in het landschap	De dijk als onderdeel van het oeverwallenlandschap. Landschapselementen liggen dicht op de dijk (kwelkades, sloten, wielen etc.).	De dijk als autonoom element, een loper in het landschap.	De dijk als zelfstandig element met steeds wisselende profielen en relatie met het naastgelegen landschap.	De dijk blijft een zelfstandig element, maar met meer aandacht voor continuïteit en leesbaarheid van de dijk als geheel.
Gebruik	Gebruik dicht op de dijk, vaak tot aan de kruin.	De dijk als zelfstandig element. Landschap en gebruik op afstand. Relatief veel bebouwing gesloopt.	Gebruik iets dichter op de dijk, door zo compact mogelijk dijkprofiel. Veel ruimte voor maatwerkoplossingen.	Gebruik weer dichter op de dijk. Beheer ook deels naar gebruikers.
Tijdgeest verbetering		Robuust en rechtlijnig waar het kan, omdijking waar geen ruimte is, daar verliest oude dijk haar functie. Buitenwaartse verlegging mogelijk. Vooral bebouwing opgekocht en gesloopt.	Uitgekiend ontwerpen. Inpassing grote variatie vermeende kwaliteiten leidt tot grote bandbreedte aan locatiespecifieke oplossingen. Geen buitenwaartse dijkverlegging of i.c.m. aanleg nevengeul	Sober en doelmatig Goed ingepaste, heldere en leesbare dijk 'zonder fratsen'. Aandacht voor een aantal bijzondere ensembles en plekken zoals de overlaten, Fort Vuren etc. Geen buitenwaartse dijkverlegging of i.c.m. aanleg nevengeul.
Profiel		Taluds 1:3 hoogte gem. >9m NAP Kruinbreedte 6m	Getailleerde taluds Hoogte gem. <8m NAP Kruinbreedte 6m Hoge steunbermen.	Compact profiel, aanhelen maaiveld.

Gevolgbeperkende maatregelen in het ontwerp

Overstromingsrisico's zijn te beperken door de kans op een overstroming te verkleinen (sterkere waterkering), maar ook door de mogelijke gevolgen van een overstroming te beperken. Bepalend voor de gevolgen zijn de overstromingspatronen na een dijkdoorbraak, die één-op-één samenhangen met de ruimtelijke inrichting. Ook het succes van crisisbeheersing bepaalt de gevolgen: dit bepaalt het percentage succesvol geëvacueerden bij dreigende overstroming (de evacuatiefractie). Bij het afleiden van de normen uit de Waterwet voor dijktrajecten is hier rekening mee gehouden.

Gevolgbeperkende maatregelen passen niet zomaar bij de eisen uit de Waterwet. Deze eisen zijn immers geformuleerd in termen van overstromingskansen. Wel bestaat de mogelijkheid de overstromingskansnormen te versoepelen door gevolgbeperkende maatregelen te treffen. Een

dergelijk omwisselbesluit moet altijd door de Minister worden bekrachtigd.
Om te beoordelen of een slimme combinatie van preventie en gevolgbeperkende maatregelen (cf. artikel 7.24) hetzelfde beschermingsniveau (cf. art. 7.24 lid 6) biedt als de overstromingskansnorm, moeten dezelfde uitgangspunten als de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de norm worden gehanteerd. Dat is nodig om een zuivere vergelijking van het risico te kunnen maken. Door bijvoorbeeld een ander slachtoffermodel of een andere discontovoet te hanteren, kan de eis voor het beschermingsniveau strenger of minder streng uitvallen zonder dat gevolgbeperkende maatregelen zijn genomen.

Of een slimme combinatie besparingen oplevert, kan worden beoordeeld door voor dijkversterkingen, belastingverlagende maatregelen en de slimme combinatie de investeringskosten te bepalen om in een bepaalde periode aan het beoogde beschermingsniveau te voldoen. Voor de vergelijkbaarheid dienen de berekeningen voor alle opties van dezelfde tijdsperiode uit te gaan, of moeten jaarlijkse kosten worden berekend.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Procedures voor dijkontwerp

Aandachtspunten in de ontwerpprocedure

1. Het ontwerp leidt tot een projectplan Waterwet:
   1.1. Voor een veilige waterkering,
   1.2. die past in zijn omgeving,
   1.3. waarin milieueffecten zijn meegewogen.
2. Belanghebbenden zijn geïnformeerd en gelegenheid hebben gehad zienswijzen en eventueel formeel bezwaar in te dienen.
3. Voor de realisatie van de waterkering (en eventueel gecombineerde projecten) is financiële dekking.
4. Een finaal besluit voor aanleg is juridisch geborgd.
5. Aanlegvergunningen en bestemmingsplanwijzigingen kunnen verleend worden.

Een waterkering ontwerpen is niet alleen een technische activiteit. Het belang van de waterkering om een gebied te vrijwaren van overstroming – of althans de kans daarop voldoende klein te maken – raakt veel belanghebbenden, zoals de beschermde bevolking en haar gebied, de overheden die hen vertegenwoordigen, de direct belanghebbenden in de nabijheid van de waterkeringsconstructie, de waterkeringbeheerder, de financiers van de aanpassing van de waterkering, de verantwoordelijken voor calamiteiten, belangengroepen voor omgevingswaarden en de toezichthoudende overheden.

Deze belanghebbenden kunnen of moeten op enig moment betrokken worden in het ontwerpproces. Dat is nodig om een waterkering te kunnen ontwerpen die aan de Waterwet voldoet, de waterkering in zijn omgeving in te kunnen passen, rekening houdend met andere belangen in de omgeving, zeker te stellen dat de versterking gefinancierd wordt en zeker te stellen dat de waterkering voor een zekere periode ook voldoende onderhouden wordt.

De belangrijkste stappen in de procedures zijn:

1. Vaststelling dat een gebied beter beschermd moet worden (veelal volgend uit toetsing).
2. Het opnemen in een programma voor verbetering van de waterkering (organisatorisch en financieel kader).
3. Bekendmaking van het initiatief aan de omgeving en verkenning van mogelijke combinaties met andere opgaven.
4. Vaststelling van te onderzoeken oplossingsrichtingen (wat doen we wel, wat niet).

5. Beoordeling van de te onderzoeken milieueffecten.
6. Ontwikkeling van alternatieve oplossingen (binnen ruimtelijke en financiële kaders).
7. Keuze van het voorkeursalternatief door de waterkeringbeheerder (inclusief afweging milieueffecten en kosten).
8. Besluit van de toezichthouder en financier(s).
9. Uiterste beroepsmogelijkheid (Raad van State).
10. Definitieve vaststelling en verlening van vergunningen en noodzakelijke wijzigingen bestemmingsplan.
11. Aanleg.

In al deze stappen zitten consultatie- of informatiemomenten voor bestuurders, ambtenaren en burgers. Elk van deze stakeholders kan zich laten bijstaan door deskundige adviseurs.

Verplichting tot milieueffectrapportage

Het Besluit milieueffectrapportage in de Wet milieubeheer regelt dat bij versterking van een waterkering een verplichting voor het opstellen van een milieueffectrapport (MER) kan bestaan.

De initiatiefnemer voor de versterking moet zijn voorgenomen versterkingsplannen tijdig bekend maken bij het Bevoegd Gezag, voor een waterkering veelal de provincie waarin de kering ligt. Bij deze bekendmaking hoort een beoordeling van de milieueffecten die door de aanleg of versterking ontstaan: zijn deze significant? Als dit het geval is, beschrijft de initiatiefnemer in een nota de voorgenomen activiteit, de reikwijdte van de ingreep en de milieueffecten en het detailniveau waarop deze effecten in de planvorming in beeld gebracht worden.

Het Bevoegd Gezag brengt vervolgens Richtlijnen uit die ook aanvullende eisen voor de studie kunnen bevatten. Normaal gesproken vraagt het Bevoegd Gezag hiervoor advies aan de Commissie voor de milieueffectrapportage.

De initiatiefnemer stelt een milieueffectrapport op (veelal een ontwerpnota/ MER of projectnota/MER) over het waterkeringsontwerp, de maatregelen om milieueffecten te mitigeren en eventuele voorstellen voor maatregelen om negatieve milieueffecten te compenseren. Het Bevoegd Gezag moet akkoord gaan met deze nota, na consultatie van de Commissie voor de milieueffectrapportage. De milieueffectrapportage kent een bekendmakings-, informatie- en inspraakprocedure, die op verschillende manieren te vervlechten is met de procedure die voor de Waterwet geldt. Een MER-procedure is altijd verplicht als de ingreep deels plaatsvindt in een (natuur)gebied waar een zogenaamde Passende Beoordeling nodig is. De initiatiefnemer kan ook vrijwillig een MER-procedure volgen om inzichtelijk te maken hoe de milieueffecten zijn betrokken in het ontwerp, de uiteindelijke keuze en het besluit voor de waterkering.

Projectplan dijkversterking volgens de Waterwet

Het projectplan Waterwet staat centraal in de planvorming voor aanleg of verbetering van een waterkering. Op basis van dit plan besluiten de betrokken overheden over de goedkeuring voor het deel waar zij verantwoordelijk voor zijn. Het plan vat de informatie daarvoor samen en verwijst naar onder- en achterliggende studies.

Uitgaande van het nut en de noodzaak geeft het plan een beschrijving van de bestaande situatie en de veranderingen die door de ingreep ontstaan. Daarbij bevat het plan de meest relevante informatie voor de betrokken besluitvormers en partijen die voordeel of schade ondervinden en de manier waarop deze wordt verrekend (belangrijk onderwerp is de grondverwerving).

Daarnaast geeft het plan een beschrijving van de positieve en negatieve (milieu)effecten en

maatregelen om deze te mitigeren of waar nodig te compenseren.
Verder geeft het plan een vooruitblik naar de wijze en de planning van de uitvoering en de verantwoordelijkheden in de operationele beheerfase. Daarbij hoort ook de formele vastlegging van de ligging en de vorm van de constructie met de bestemming waterkering in de legger van de waterkeringbeheerder.

De initiatiefnemer geeft in het projectplan Waterwet aan hoe en met welke verantwoordelijkheidsverdeling hij wil samenwerken met andere betrokken organisaties, in de uitvoeringsfase en de operationele fase.

Versie 1.0: 2 juli 2025

7 Continue zorg voor hoogwaterbescherming

Continue zorg voor hoogwaterbescherming

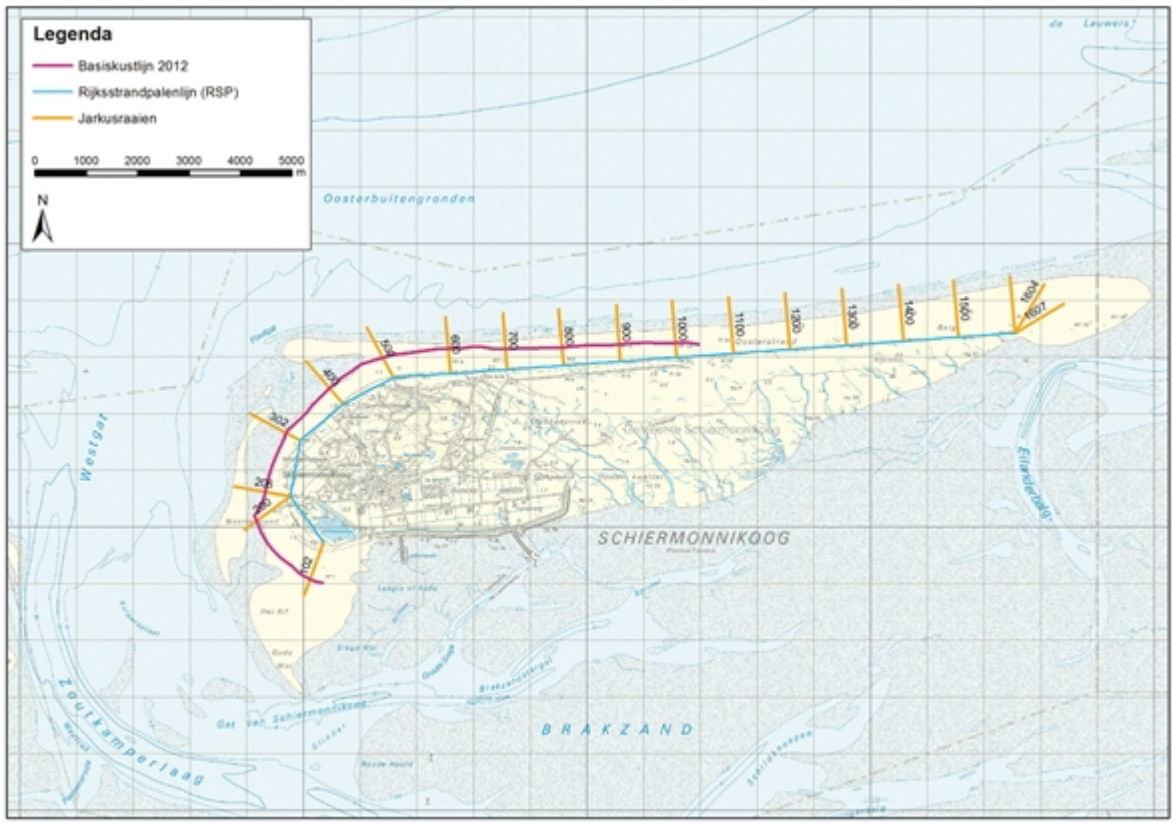
Beheeractiviteiten

Het beheer van de waterkering betreft de overheidszorg voor waterkeringen gericht op het tegengaan van overstromingen. Dit omvat het geheel van activiteiten die noodzakelijk zijn om te waarborgen dat de functies van de waterkering blijven voldoen aan de daarvoor vastgestelde eisen. Daarnaast is er een maatschappelijke wens om rekening te houden met omgevingsaspecten.

Ook de grote rivieren worden actief beheerd, voor de scheepvaart en de waterveiligheid. Rijkswaterstaat onderhoudt en bedient de verdeelwerken en stuwen zodanig dat de afvoer van water, ijs en sediment is geborgd. Daarnaast zorgt Rijkswaterstaat voor het op orde houden van het winterbed, het onderhoud van nevengeulen en het vegetatiebeheer en het toetsen van de gebruiksfuncties, onder meer op opstuwing van het water. In de grote meren beheert Rijkswaterstaat het meerpeil met spuien en gemalen.

Kustlijnzorg

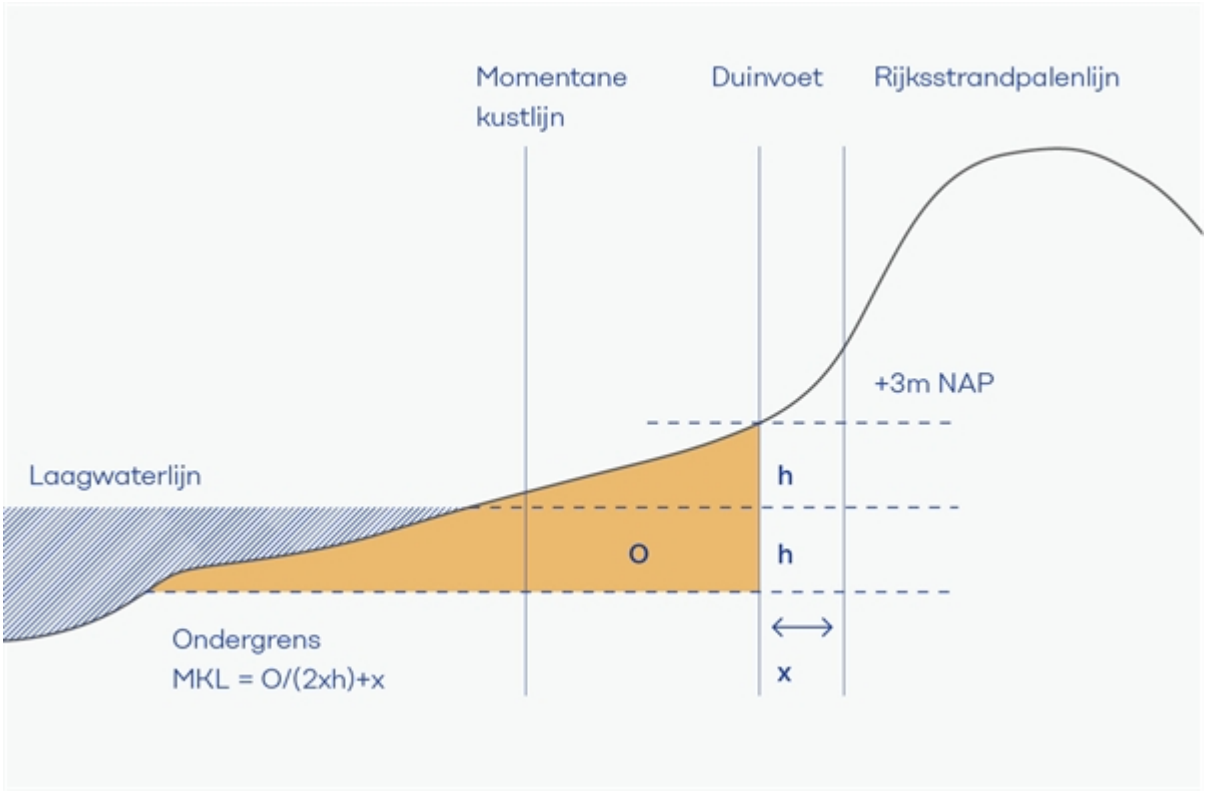
Nederland heeft van nature een morfologisch wisselende kust. Eroderende en aanzandende delen komen beide voor. In 1990 is gekozen voor het dynamisch handhaven van de kustlijn: bestrijding van de structurele kustachteruitgang langs de gehele Nederlandse kust (op de uiteinden van enkele Waddeneilanden na) door middel van zandsuppleties. De bestrijding van de structurele kustachteruitgang valt onder het programma kustlijnzorg. De ligging van de basiskustlijn (BKL) is de norm voor de te handhaven kustlijn. De kustlijn wordt jaarlijks aan deze norm getoetst. De ligging van de BKL is in 1990 vastgesteld en in 2001 en 2012 lokaal aangepast.



Figuur 1 De basiskustlijn op Schiermonnikoog (in rood)

Ieder jaar wordt voor elke raai de positie van de momentane kustlijn (MKL) berekend uit de ligging van het strand en het bovenste gedeelte van de vooroever. De daarbij gebruikte rekenregel richt zich op het zandvolume rond de gemiddelde laagwaterlijn. De beschouwde strook wordt aan de bovenzijde begrensd door de duinvoet. De ondergrens ligt op dezelfde afstand onder de gemiddelde laagwaterlijn als de duinvoet hierboven ligt.

De te toetsen kustlijn (TKL) wordt afgeleid uit de trend van de MKL's in verschillende jaren en uitgedrukt in meters ten opzichte van de rijksstrandpalenlijn. Hierbij wordt rekening gehouden met uitgevoerde suppleties. De vergelijking tussen de TKL en BKL bepaalt of aan de norm wordt voldaan. Naast het handhaven van de ligging van de kustlijn is het laten meestijgen van het zogenaamde kustfundament met de verwachte zeespiegelrijzing ook een onderdeel van kustlijnzorg. Voor beide doelen samen vinden jaarlijks zandsuppleties plaats van gemiddeld circa 12 miljoen kubieke meter zand.



Figuur 2 Rekenregel Momentane Kustlijn (MKL)

Beheer van keringen

Het beheer van de keringen is gericht op het blijven waarborgen van de veiligheid, nu en in de toekomst en zowel onder dagelijkse omstandigheden als bij calamiteiten. Er zijn drie beheers activiteiten te onderscheiden:

1. Ten eerste wordt iedere twaalf jaar beoordeeld of een dijktraject voldoet aan de norm uit de Waterwet. Voldoet een waterkering niet, dan zijn maatregelen nodig, zoals versterking.
2. Ten tweede vinden regelmatig inspecties van de waterkering plaats. Waar nodig worden onderhoudsmaatregelen uitgevoerd. Ook muskusrattenbestrijding behoort tot inspectie en onderhoud.
3. Ten derde wordt met vergunningverlening en handhaving geborgd dat medegebruik van de waterkering niet leidt tot een ongewenste situatie.

Daarbij staat de veiligheid van de waterkering voorop. Voorbeelden van medegebruik zijn de aanwezigheid van kabels, leidingen en woningen.

In bijzondere situaties, bijvoorbeeld tijdens een hoogwater, vindt er ook inspectie plaats (dijkwacht), en waar nodig worden noodmaatregelen uitgevoerd.

In de praktijk kunnen verschillende vormen van beheer samenvallen. Dat is met name bij kunstwerken vaak het geval, waar in het dagelijks gebruik de spui- en/of scheepvaartfunctie veelal dominant zijn. Vaak is de overheid die hier verantwoordelijk voor is, ook verantwoordelijk voor het beheer van de waterkeringsfunctie, maar deze verantwoordelijkheden kunnen ook bij verschillende overheden berusten. In het laatste geval is afstemming nodig tussen de waterkeringbeheerder en de waterbeheerder en/of de vaarwegbeheerder over het noodzakelijke dagelijks onderhoud en de bediening (testen van hoogwatersluiting).

'Beheer van' en 'zorg voor'

De Waterwet maakt onderscheid tussen 'het beheer' van het watersysteem door een waterschap of het Rijk en 'de zorg' voor overige taken, zoals zuivering van afvalwater of muskusrattenbestrijding door een waterschap of inzameling van hemelwater door een gemeente (hoofdstuk 3, paragraaf 1 van de Waterwet).

De Waterwet definieert beheer als: de overheidszorg met betrekking tot één of meer afzonderlijke watersystemen of onderdelen daarvan, gericht op voorkoming en waar nodig beperking van overstromingen, wateroverlast en waterschaarste.

De toedeling van het beheer aan het Rijk (Rijkswaterstaat) berust op artikel 3.1 'beheer van oppervlaktewateren' en artikel 3.2 'beheer van waterkeringen' van het bij de Waterwet behorende Waterbesluit. De toedeling van het beheer aan een waterschap geschiedt bij provinciale verordening, veelal aangeduid als 'het reglement van bestuur' van het betreffende waterschap.

Beheer is daarmee een overheidstaak. De hieruit voortvloeiende bevoegdheden staan los van eigendomssituaties. Een beheerder kan delen van het watersysteem in eigendom hebben, maar dat is niet noodzakelijk.

Zorgplicht en wettelijke beoordeling

De beheerder heeft de wettelijke taak om de veiligheid tegen overstromingen te borgen door de primaire keringen aan de veiligheidseisen te laten voldoen en voert daarvoor het noodzakelijke beheer en onderhoud uit (instandhouding). Dit wordt de zorgplicht genoemd. Vergunningverlening en handhaving vormen onderdeel van de zorgplicht. Het toezicht op de zorgplicht voor de primaire waterkeringen wordt, namens de minister van Infrastructuur en Milieu, uitgeoefend door de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT). Daarvoor is het Kader Zorgplicht Primaire Waterkeringen van toepassing. Dit kader bestaat uit proceseisen.

Het is mogelijk dat een slecht onderhouden dijk toch voldoet aan de norm en dat een uitstekend onderhouden dijk juist niet voldoet, bijvoorbeeld doordat de hydraulische belastingen in de loop van de tijd zijn toegenomen. Het blijft daarom belangrijk om periodiek te beoordelen of de waterkeringen nog voldoen aan de normen. De Waterwet schrijft voor dat dit eens in de twaalf jaar gebeurt.

Keur, legger en beheerregister

De Keur, de legger en het beheerregister zijn belangrijke instrumenten voor het beheer van de waterkeringen. De Keur is de naam die waterschappen doorgaans geven aan een verordening voor de bescherming van waterkeringen, watergangen en bijbehorende kunstwerken. Volgens de Waterwet draagt de waterkeringbeheerder zorg voor het vaststellen van een legger en het opstellen van een technisch beheerregister.

De Keur bestaat in essentie uit verboden en geboden. De verboden zijn bedoeld om te voorkomen dat het waterkerend vermogen van de waterkeringen door activiteiten van derden in gevaar komt. Voor een deel van de verboden activiteiten uit de Keur kan onder voorwaarden vergunning worden verleend: met een keurontheffing of watervergunning op grond van de Waterwet. Vergunningaanvragen worden daarbij getoetst aan beleidsregels van het waterschap. De vergunningverlener licht toe op grond van welke overwegingen en criteria een vergunning al dan niet is verleend. De geboden hebben veelal betrekking op onderhoudsverplichtingen van derden die vaak verbonden zijn aan de eigendomssituatie. Onder bepaalde voorwaarden is ontheffing van de geboden mogelijk.

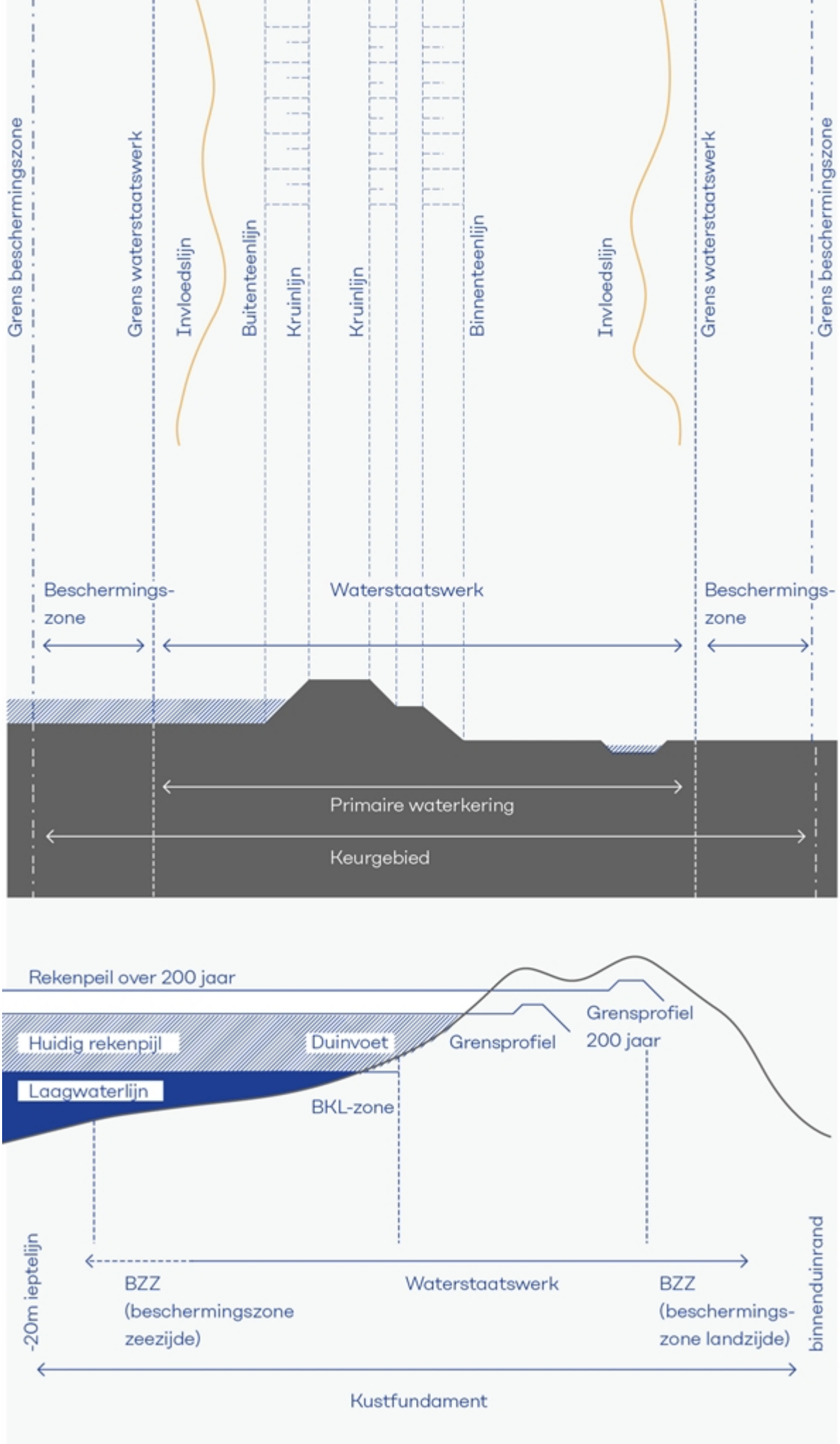
In de legger staan eigenschappen waar de waterkeringen aan moeten voldoen, zoals ligging, vorm, afmeting en constructie. De legger geeft in ieder geval de kenmerken van de waterkering die nodig zijn om aan de wettelijke norm te voldoen. Met name de dimensies, waaronder de hoogte, zijn

daarvoor van belang. Onderdeel van een legger is een overzichtskaart met de ligging van waterkeringen en daaraan grenzende beschermingszones.
In een legger is sprake van twee profielen: het beheerprofiel of onderhoudsprofiel en het profiel van vrije ruimte dat een reservering voor de komende 50-100 jaar omvat. De precieze invulling verschilt per beheerder.

Het waterschap beschrijft in een technisch beheerregister de gegevens van de constructie die kenmerkend voor het onderhoud van het waterkerend vermogen zijn en de feitelijke toestand daarvan. Anders dan de legger omvat dit register de actuele gegevens van de waterkering.

Beschermingszones zijn stroken grond die de grenzen aan de waterkering en nodig zijn om aantasting door bijzondere belastingen zoals delfstofwinning, seismisch onderzoek en explosies van leidingen te voorkomen. De waterkering en de beschermingszones vormen samen het gebied waarop de Keur van toepassing is. In de legger krijgen de verschillende verbods- en gebodsregimes van de Keur een ruimtelijke vertaling. De legger die is vereist volgens de Waterwet wordt veelal gecombineerd met de legger die het waterschap op grond van de Waterschapswet moet maken met informatie over de onderhoudsplichtigen en onderhoudsverplichtingen (artikel 78, lid 2). Ook de onderhoudsverplichtingen krijgen daarmee een ruimtelijke vertaling.

In de praktijk gebruiken waterkeringbeheerders afwijkende benamingen voor de verschillende zones binnen het keurgebied.


Grens beschermingszone
Grens waterstaatswerk
Invloedslijn
Buitenteenlijn
Kruinlijn
Kruinlijn
Binnenteenlijn
Invloedslijn
Grens waterstaatswerk
Grens beschermingszone
Beschermings-
zone
Waterstaatswerk
Beschermings-
zone
Primaire waterkering
Keurgebied
Rekenpeil over 200 jaar
Huidig rekenpijl
Duinvoet
Grensprofiel
Grensprofiel
200 jaar
Laagwaterlijn
BKL-zone
-20m ieptelijn
BZZ
(beschermingszone
zeezijde)
Waterstaatswerk
BZZ
(beschermings-
zone landzijde)
binnenduinrand
Kustfundament

Figuur 3 Voorbeelden van keurzones van waterschappen.

Inspectie en onderhoud

Een belangrijk onderdeel van het beheer is het inspecteren van de waterkeringen om hun conditie in beeld te brengen. Hierbij zijn de volgende vier stappen van belang:

1. Waarneming: het inwinnen en vastleggen van informatie over de staat van de kering, zoals het vastleggen van schades aan de grasmat.
2. Diagnose: het toekennen van waarde aan de ingewonnen informatie, zoals het beoordelen of beschadigingen een probleem voor de veiligheid vormen.
3. Prognose: het inschatten van de ontwikkeling van de toestand van de waterkering. Kan een geconstateerd tekort uitgroeien tot een veiligheidsprobleem?
4. Operatie: het bepalen van de maatregelen, fysiek en/of administratief, op basis van de voorgaande stappen.

Dagelijks of correctief onderhoud vindt plaats als niet-voorspelbare schade aan de waterkering optreedt. Daarom is dagelijks onderhoud niet in te plannen. Voorbeelden van dagelijks onderhoud zijn het vullen van gaten en scheuren, het repareren van steenbekledingen, het inzaaien van kale plekken in een grasmat, het aanbrengen van een kleikist, het dichten van wellen, het verwijderen van omgewaaide bomen, het herstellen van dierlijke graverij en het repareren van afrasteringen.

Regulier of preventief onderhoud bestaat uit jaarlijks terugkerende, geplande activiteiten. De veiligheid staat bovenaan, maar beheerders betrekken bij het uitvoeren van het regulier onderhoud ook natuuraspecten en recreatief gebruik. Voorbeelden zijn: het maaien van de grasmat, het verwijderen van opschot en distels, het snoeien van bomen, het verzamelen van zwerfvuil en het doorspuiten van drainages.

Groot onderhoud betreft het aanpassen van de waterkering binnen het bestaande leggerprofiel. Dat is periodiek nodig, omdat verouderingsprocessen zoals zetting en klink ertoe leiden dat de kwaliteit van de dijk in de loop van de tijd afneemt. Omdat deze verouderingsprocessen voorspelbaar zijn, is groot onderhoud in te plannen. Voorbeelden zijn het vervangen van een gehele beschoeiing, het opnieuw zetten van steenbekledingen, het herprofileren van taluds en de aanleg van een nieuwe grasbekledingen.

Dijkversterking betreft het aanpassen van de waterkering tot buiten het bestaande leggerprofiel. Dit wordt niet als onderhoud beschouwd. De noodzaak voor dijkversterking komt veelal naar voren bij de periodieke wettelijke beoordeling van de waterkering.

Periodieke beoordeling op veiligheid

Iedere twaalf jaar brengt de waterkeringbeheerder verslag uit aan de minister van Infrastructuur en Milieu over de algemene waterstaatkundige toestand van de primaire waterkering (artikel 2.12, lid 1 van de Waterwet). Ook de beheerder van de grote rivieren brengt elke twaalf jaar verslag uit aan de minister over de mate waarin deze rivieren voldoen aan de legger die daarvoor is opgesteld. Op deze wijze is de politiek-bestuurlijke aandacht voor de hoogwaterbescherming geborgd.

De beoordeling van de veiligheid gebeurt aan de hand van signaleringswaarden en maximaal toelaatbare overstromingskansen (artikel 2.2 van de Waterwet), de hydraulische belastingen (artikel 2.3 van de Waterwet) en de technische leidraden (artikel 2.6 van de Waterwet). Bij ministeriële regeling worden nadere regels gesteld voor het bepalen van de hydraulische belasting en de sterkte en voor de wijze van beoordelen. De nadere regels zijn onderdeel van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI).

De Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) houdt namens de minister van Infrastructuur en Milieu het toezicht op de primaire keringen. Het beoordelingsinstrumentarium en de procedure stelt het ministerie van Infrastructuur en Milieu samen met de waterschappen op. De eindverantwoordelijkheid ligt bij de minister van Infrastructuur en Milieu.

Bij de wettelijke beoordeling gaat het om de verwachte conditie van de waterkering op een vastgestelde peildatum en niet om de waterkering zoals die is vastgelegd in de legger. De peildatum is normaal gesproken het laatste jaar van de beoordelingsperiode. Dit betekent dat bij de beoordeling wordt uitgegaan van:

1. Het verwachte dijkprofiel op de peildatum.
   Het actuele dijkprofiel moet worden gecorrigeerd voor de zetting en klink die tot de peildatum te verwachten zijn.
2. De verwachte toestand (van onderdelen) van de kering op peildatum.
3. Het medegebruik.
   Bij de beoordeling moet rekening worden gehouden met de invloed van niet-waterkerende objecten en andere vormen van medegebruik.

De situatie die in het veld is aangetroffen, is het vertrekpunt voor deze drie onderdelen. Door op de peildatum een controlemeting uit te voeren, is de geschatte 'verwachte situatie' op de peildatum te controleren en zo nodig bij te stellen.

De maatregelen die voortvloeien uit de wettelijke beoordeling komen in principe voor rekening van de betreffende waterkeringbeheerder. Uitzondering zijn versterkingsmaatregelen die voortkomen uit een wijziging van de norm, een wijziging van de hydraulische belastingen of een wijziging van het wettelijk beoordelingsinstrumentarium. Deze maatregelen komen in aanmerking voor subsidie en worden opgenomen in het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP).

Het HWBP heeft een voortrollend karakter. Dat betekent dat waterkeringbeheerders jaarlijks projecten kunnen aanmelden als bij de beoordeling is gebleken dat de signaleringswaarde is overschreden. Het HWBP werkt met een meerjarige programmering, omdat niet alle projecten gelijktijdig uitgevoerd kunnen worden. Het programma wordt jaarlijks geactualiseerd. Het streven is dat alle primaire waterkeringen in 2050 aan de nieuwe normen voldoen.

De verwachte situatie op peildatum

Bij de wettelijke beoordeling vindt een inschatting plaats van de conditie van de waterkering op de peildatum. Hierbij wordt er ook rekening mee gehouden dat de kering ten tijde van een hoge belasting in een slechtere conditie verkeert dan verwacht. Zo zal de faalkans van een asfaltbekleding sterk toenemen als tijdens een hoogwater sprake is van een lagere sterkte door niet-gedetecteerde of niet-gerepareerde scheuren. De kans daarop kan worden meegenomen in een faalkansberekening.

Door frequent te inspecteren en snel in te grijpen is de kans dat een kering tijdens een hoogwaterbelasting in een slechtere conditie verkeert dan verwacht te verkleinen. Mogelijk is de faalkansbijdrage van het scenario waarin de kering beschadigd raakt, niet tijdig wordt hersteld en vervolgens faalt verwaarloosbaar klein te maken door maatregelen te treffen in de sfeer van beheer en onderhoud. Als deze faalkansbijdrage nooit voldoende klein te maken is, bijvoorbeeld omdat dit vrijwel continue inspecties zou vergen of ingrepen onder extreme omstandigheden, zijn structurele maatregelen zoals dijkversterking nodig.

Versie 1.0: 2 juli 2025

8 Crisisbeheersing

Crisisbeheersing

Crisisbeheersing en overstromingsrisico

In de Grondslagen definiëren we crisisbeheersing als het geheel aan maatregelen en afspraken dat erop gericht is om overstroming tijdens calamiteuze omstandigheden te voorkomen èn om de (mogelijke) gevolgen van een overstroming zo klein mogelijk te houden. Dit omvat het afgeven van hoogwatervoorspellingen, inspectie tijdens hoogwater, uitvoeren van noodmaatregelen, het uitgeven van waarschuwingen, crisiscommunicatie en het organiseren van evacuatie-maatregelen. In het geval van een overstroming als gevolg van een doorbraak van primaire waterkeringen zijn de omvang en impact zo groot en de kansen daarop zo klein, dat hulpdiensten en crisisteams hier niet op zijn (en worden) uitgerust en bemenst.

Met de beschikbare hulpverleningsmiddelen en informatievoorziening kunnen crisisbeheersingsorganisaties echter wel bijdragen aan de reductie van met name het aantal slachtoffers, door tijdige waarschuwing, vergroting van de zelfredzaamheid en evacuatie. Ook is wellicht enige economische schade te voorkomen. Omdat een overstroming niet of slechts kort van tevoren te voorspellen is, moet de crisisbeheersing bij een dreigend hoogwater uitgaan van de actuele inrichting van infrastructuur, gebouwen en organisaties en de bestaande kennis en vaardigheden van de mensen.

Het effect van crisismaatregelen is onzeker en sterk afhankelijk van de actuele situatie. Op voorhand is alleen in kanstermen te spreken over acties en hun effectiviteit. Zo zijn hoogwatervoorspellingen onzeker en is het bij een dreiging onzeker of, waar en hoe een kering zal bezwijken. Menselijk handelen kan soms onbedoeld leiden tot grotere gevolgen, bijvoorbeeld als mensen bij een mislukte evacuatie of vluchtpoging op een risicovollere locatie vast komen te zitten. Ook zal een evacuatie op zichzelf al kunnen leiden tot grote economische schade.

Crisisbeheersing kan het risico niet tot nul reduceren, maar wel verkleinen. Hier is rekening mee gehouden bij de normering van de primaire waterkeringen. Zo is de verwachte invloed van preventieve evacuatie op het slachtofferrisico meegenomen bij de bepaling van het lokaal individueel risico en het groepsrisico. Ook is rekening gehouden met de economische schade van onnodige evacuaties bij het afleiden van economisch optimale normen voor de waterkeringen: hoe zwakker de keringen zijn, des te groter de kans is dat een evacuatie moet plaatsvinden. De Waterwet stelt geen eisen aan de hulpverleningscapaciteit of andere gevolgbeperkende maatregelen. Crisisbeheersing vraagt echter wel continue aandacht.

Bij de voorbereiding op overstromingen worden dikwijls scenarioanalyses uitgevoerd, waarbij één specifiek scenario in detail wordt beschouwd. Dergelijke analyses geven inzicht in het effect van beheersmaatregelen op het verloop van de ramp, gegeven het gekozen scenario. De inzichten zijn van belang voor de voorbereiding op een ramp, waarbij in acht genomen moet worden dat ook andere overstromingsscenario's mogelijk zijn en dat de beschikbare tijd tussen een waarschuwing en een daadwerkelijke doorbraak van groot belang is voor de crisisbeheersing. Scenarioanalyses zijn echter niet direct geschikt voor het beoordelen van de (kosten-)effectiviteit van maatregelen voor crisisbeheersing, omdat ook de kans op een ramp daarop van invloed is. In Nederland is het opzetten en op peil houden van een grote crisisbeheersorganisatie voor overstromingen niet snel kosteneffectief vanwege de kleine kans op een overstromingsramp. Dit verklaart ook waarom in de praktijk een zo effectief mogelijke inzet van de bestaande capaciteit van hulpdiensten centraal staat.

De organisatie van de crisisbeheersing

Crisisbeheersing bij overstromingen is een samenspel van meerdere organisaties die elk een eigen

verantwoordelijkheid hebben. Op hoofdlijnen is onderscheid te maken tussen de functionele en bestuurlijke kolom. De functionele kolom bestaat uit organisaties die met water te maken hebben, zoals het ministerie van Infrastructuur en Milieu en de waterschappen. De bestuurlijke kolom bestaat uit organisaties die met het algemene bestuur te maken hebben, zoals het ministerie van Veiligheid en Justitie en de veiligheidsregio's.



Figuur 1 Crisisbeheersing bij (dreigende) overstromingen is een samenspel tussen de waterkolom en het algemeen bestuur.

De volgende organisaties en teams zijn betrokken:

- NCC: Nationaal Crisiscentrum. De nationale coördinatie bij crises en rampen is in handen van het NCC. Het Landelijke Overleg Crisiscoördinatie (LOCC) vertaalt het beleid in operationele acties. Bij een crisis komen de verantwoordelijke ministeries en andere crisispartners samen in het NCC om de ministers te ondersteunen bij hun beslissingen. Het NCC zorgt voor de informatievoorziening aan overheden tijdens crisissituaties en is 24/7 bemenst.

- DCC: Departementaal Coördinatiecentrum Crisesbeheersing. Elk ministerie neemt maatregelen op het eigen beleidsterrein om rampen en crises aan te pakken. Daarvoor heeft elk ministerie een departementaal coördinatiecentrum. Het DCC van het ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft grootschalige overstromingen onder haar verantwoordelijkheid. Wanneer tijdens een crisis verschillende ministeries zijn betrokken bij de aanpak, treedt de nationale crisisstructuur in werking.

- LCO: Landelijke Coördinatiecommissie Overstromingsdreiging. De LCO is verantwoordelijk voor de juiste informatie bij het vroegtijdig waarschuwen van Nederland voor verhoogde overstromingskansen en het informeren over de bedreigde gebieden. Binnen de LCO werken Rijkswaterstaat, KNMI, de waterschappen en het DCC van het Infrastructuur en Milieu samen.

- WMCN: Watermanagementcentrum Nederland. Het WMCN informeert en adviseert de landelijke en regionale waterbeheerders bij extreme situaties zoals watertekorten, waterverontreiniging en overstromingsdreiging over de verwachte toestand van het water. Het Watermanagementcentrum Nederland werkt nauw samen met het KNMI, Rijkswaterstaat, waterschappen, veiligheidsregio's en het DCC van het ministerie van Infrastructuur en Milieu. Zij stemmen het landelijke waterbeheer en de crisisbestrijding met elkaar af.

- Rijkswaterstaat, regionale diensten. Deze regionale organisaties vertalen de verwachtingen van het WMCN in acties voor de infrastructuur, zoals het sluiten van de stormvloedkeringen.

- Veiligheidsregio's. De veiligheidsregio's zijn samen met de gemeenten verantwoordelijk voor keuzes die de openbare orde en veiligheid raken, onder andere bij maatregelen die invloed hebben op het maatschappelijk leven. Verder geeft de veiligheidsregio bij overstromingsdreiging aan diverse betrokkenen informatie, zoals in de landbouw, energievoorziening en zorg. Een (dreigende) overstroming zal vaak zo groot zijn dat deze de gemeentegrenzen overstijgt. Veelal zal het bedreigde of getroffen gebied zelfs meerdere veiligheidsregio's beslaan.

- Waterschappen: een belangrijke taak van de waterschappen bij hoogwater is het verschaffen van informatie over de sterkte van de kering, door de kering zo lang mogelijk te inspecteren, en het treffen van noodmaatregelen aan de kering, zoals het opkisten van wellen. Om de kering zo lang mogelijk in stand te houden heeft de dijkgraaf van het waterschap speciale bevoegdheden om bij een dreiging maatregelen uit te voeren die de waterkering versterken.

Meerlaagsveiligheid en de waterketen

In de werelden van de crisisbeheersing en de waterveiligheid worden soms verschillende termen gebruikt voor vergelijkbare concepten. Zo wordt bij waterveiligheid gesproken over meerlaagsveiligheid om tot een doelmatige mix van maatregelen te komen. Dit concept wordt in de wereld van de crisisbeheersing ook wel aangeduid als de veiligheidsketen.

Het begrip veiligheidsketen kan gemakkelijk tot misvattingen leiden, omdat de keten voor waterveiligheid niet zo zwak is als de zwakste schakel. Het belang van crisisbeheersing is immers sterk afhankelijk van de kans op een overstroming. Bij een relatief kleine kans op een overstroming zijn investeringen in crisisbeheersing minder rendabel dan bij een relatief grote overstromingskans. Preventieve maatregelen hebben daarmee grote invloed op de kosteneffectiviteit van maatregelen op het gebied van ruimtelijke inrichting en crisisbeheersing. Dit verklaart waarom men in het waterveiligheidsbeleid bewust spreekt van meerlaagsveiligheid.

Dijkwacht en dijkleger

Om tijdens een hoogwater een actueel beeld van de keringen te verkrijgen, beschikt elke beheerder van primaire waterkeringen over een dijkwacht (professionals) of een dijkleger (vrijwilligers die getraind zijn). Zo'n team inspecteert de kering en geeft de waarnemingen door aan actieteams, die vervolgens afhankelijk van de ernst doorgaan naar operationele en beleidsteams. Afhankelijk van de waargenomen problemen worden maatregelen genomen. De crisisteams zetten de uit te voeren

beheer- en noodmaatregelen uit en coördineren de uitvoering. Voor de uitvoering kan het waterschap zelf aan de lat staan; soms zijn er waakvlamcontracten met aannemers en andere partijen zoals Defensie (via een bijstandsaanvraag). Het is van belang rekening te houden met langdurige inzet van mensen en tijdige aflossing en voldoende eten en drinken te organiseren. Ook moet rekening worden gehouden met vermoeidheid.

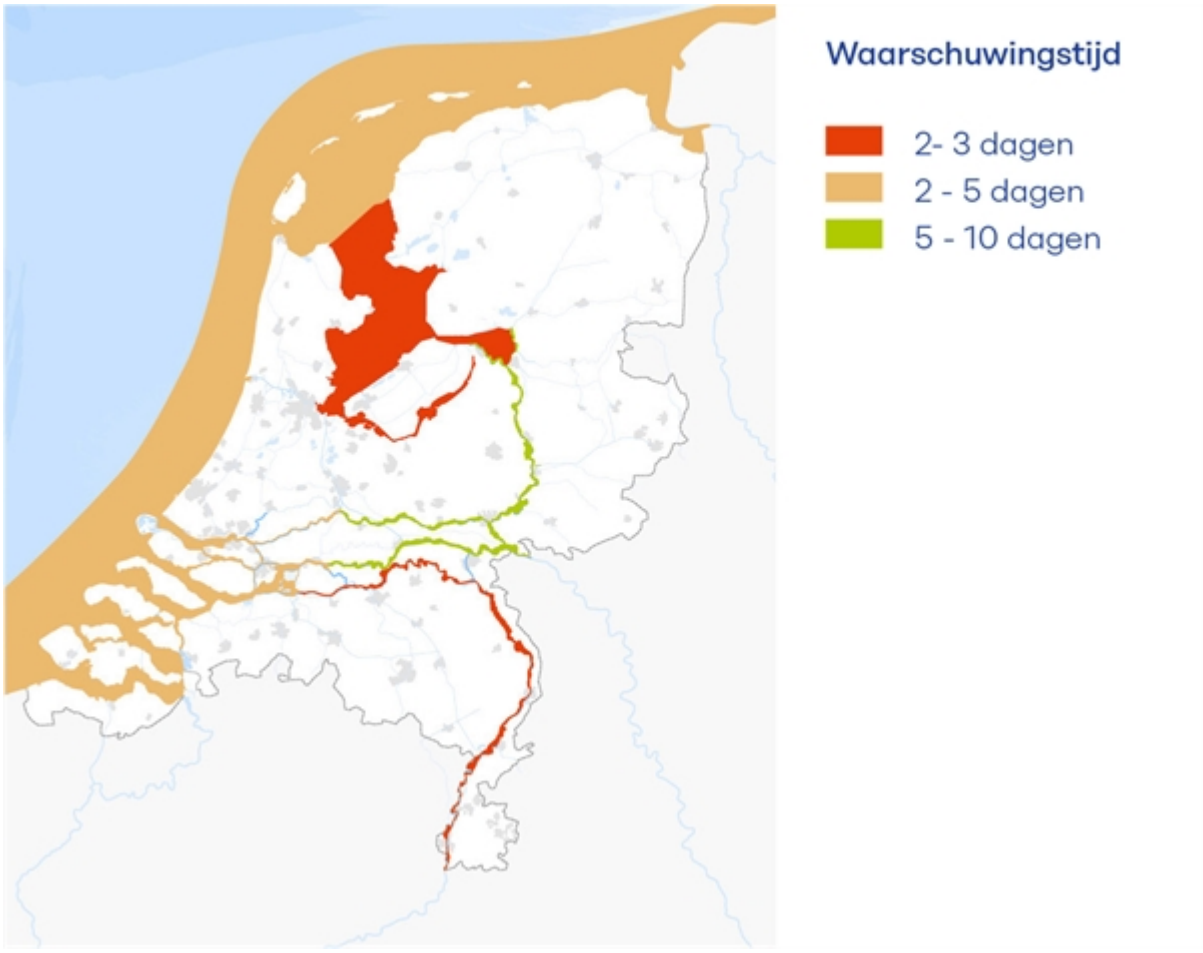
Verwachting en alarmering

Hoogwaterverwachtingen (of voorspellingen) zijn essentieel om de samenleving tijdig te informeren over een hoogwaterdreiging en tijdig noodmaatregelen te treffen. Deze verwachtingen worden door Rijkswaterstaat uitgegeven en openbaar gemaakt, bijvoorbeeld via de website van Rijkswaterstaat en hoogwaterberichten.

Een hoogwaterverwachting is geen voorspelling van een overstroming. De sterkte van de dijk is daarvoor immers ook van belang. Het is onzeker onder welke condities een overstroming zal plaatsvinden. De Waterwet legt geen eisen meer op aan de waterstand die veilig gekeerd moet kunnen worden. Naarmate de waterstand hoger wordt, neemt de kans toe dat een waterkering daadwerkelijk faalt. Dit is inzichtelijk te maken met zogenaamde fragility curves. Bij gebruik van fragility curves in de crisisbeheersing moet de onzekerheid van de hoogwaterverwachting niet worden vergeten. De uiteindelijke waterstand kan immers afwijken van de hoogwaterverwachting.

De onzekerheid over hoogwaterverwachtingen neemt toe naarmate de voorspeltijd groter is. De voorspelonzekerheid is afhankelijk van zowel het watersysteem als de locatie. Deze onzekerheid is deels inherent aan het systeem maar hangt ook af van de beschikbaarheid van meetgegevens en de kwaliteit van de modellen. In grote lijnen zijn verwachtingen van extreme waterstanden langs de kust en de meren met meer onzekerheid omgeven dan extreme waterstanden op de rivieren. Een hoogwater op de Maas is bovendien lastiger te voorspellen dan een hoogwater op de Rijn.

Onderstaande figuur laat zien aan hoe lang van tevoren een waarschuwing is af te geven voor een overstromingsdreiging. Op hoofdlijnen is te stellen dat de hoogwaterwaarschuwing tegenwoordig een dag eerder te geven is dan tien jaar geleden, doordat onderzoek meer kennis heeft opgeleverd.



Figuur 2 Waarschuwingstijd hoogwater voor kust, rivieren en meren.

Bij een overstromingsdreiging geeft het Watermanagement Centrum Nederland (WMCN) een waarschuwing of een alarm af. Dit gebeurt bij de verwachte overschrijding van een vooraf bepaald criterium, zoals de waterstand of de afvoer. Om de dreiging voor de betrokkenen inzichtelijk te maken, werkt het WMCN met kleurcodes. Deze staan in onderstaande tabel, met als voorbeeld de gehanteerde peilen voor enkele kustlocaties.



	Vlissingen	Hoek van Holland	Den Helder
	Waterstanden in m t.o.v. NAP		
Kleurcode groen Er is sprake van regulier dagelijks waterbeheer. De voorwaarschuwingsfase (VW)	3,10	2,00	1,70
Kleurcode geel - Hier en daar zijn (verwachte) waterstanden verhoogd. - Waterbeheerders nemen standaardmaatregelen. Gebruiksfuncties op en aan het water, zoals scheepvaart en activiteiten in uiterwaarden of in andere buitendijkse gebieden, worden mogelijk beperkt.	3,30 Frequentie: 1,3 x per jaar	2,20 Frequentie: 3,5 x per jaar	1,90 Frequentie: 2 x per jaar
Kleurcode oranje - De dreiging van het hoogwater neemt (naar verwachting) toe. - Waterbeheerders nemen verdergaande maatregelen. Indien nodig worden grootschalige maatregelen voorbereid. Gebruiksfuncties op en aan het water worden beperkt. Lichte schade aan waterkeringen kan optreden.	3,70 Frequentie: 1/5 per jaar	2,80 Frequentie: 1/5 per jaar	2,60 Frequentie: 1/6 per jaar
Kleurcode rood - Ernstige en uitzonderlijke situatie in het watersysteem (verwacht). - Grootschalige noodmaatregelen worden mogelijk getroffen. Schade kan optreden. Nationale veiligheid kan in het geding zijn.	4,10 Frequentie: 1/25 per jaar	3,65 Frequentie: 1/100 per jaar	3,45 Frequentie: 1/100 per jaar
Extreme hoogwaterstand	5,30 Frequentie: 1/4.000 per jaar	5,10 Frequentie: 1/10.000 per jaar	4,50 Frequentie: 1/10.000 per jaar

Figuur 3 Het gebruik van kleurcodes in de communicatie om de verschillende dreigingsniveaus aan te geven.

De minister van Infrastructuur en Milieu stelt iedere zes jaar de alarmpeilen vast voor de primaire waterkeringen. De verwachte overschrijding van de alarmpeilen is voor de waterkeringbeheerder aanleiding om het calamiteitenplan en de benodigde calamiteitenbestrijdingsplannen n werking te zetten. Het is van belang dat de opschalingscriteria zijn afgestemd op de werkelijke sterkte van de waterkeringen, rekening houdend met de voorspelbaarheid van verschillende faalmechanismen.

Ook in de draaiboeken van de veiligheidsregio's staan opschalingscriteria. Deze zijn gekoppeld aan de verschillende fasen van de Gecoördineerde Regionale Incidentenbestrijdingsprocedure (GRIP). De GRIP-fasering beschrijft de betrokkenheid van strategische en tactische teams voor het algemeen bestuur. De mate van opschaling is ook afhankelijk van de impact van de dreiging. Op basis van hoogwaterberichten en informatie en adviezen van het waterschap kan de veiligheidskolom ook de bevolking alarmeren.

Beheer en noodmaatregelen

Maatregelen zoals het plaatsen van zandzakken. Hierbij is onderscheid te maken tussen beheermaatregelen en noodmaatregelen. Een beheermaatregel is onderdeel van het hoogwaterkerend systeem, gericht op het behalen van de vereiste overstromingskans. Beheermaatregelen moeten aantoonbaar zijn geborgd, bijvoorbeeld via periodieke oefeningen. Een risicoanalyse kan in beeld brengen welke bijdrage beheermaatregelen kunnen geven aan het

reduceren van het risico, waarbij onder andere de alarmering, mobilisatie en uitvoering van belang zijn. Als maatregelen niet geborgd zijn, is sprake van noodmaatregelen.
Met deze maatregelen wordt geen rekening gehouden bij de periodieke wettelijk beoordeling van de waterkeringen.

Informatievoorziening

De informatievoorziening aan het publiek bestaat uit risico- en crisiscommunicatie. Risicocommunicatie is gericht op het waterbewustzijn en het informeren over handelingsperspectieven. Crisiscommunicatie vindt plaats in geval van een dreigende of een daadwerkelijke overstroming. Communicatie verloopt dan via verschillende media en middelen. De overheid streeft ernaar bij een dreiging eenduidige en uniforme boodschappen uit te zenden.

Gemeenten informeren burgers en bedrijven over risico's in hun omgeving. Informatie over de plaatsgebonden risico's is te vinden op risicokaarten. In het Waterbesluit is op basis van de Europese Richtlijn Overstromingsrisico's (ROR) opgenomen dat ook overstromingsrisico's op kaarten staan. Het Waterbesluit vereist ook dat de risicokaarten minstens eens in de zes jaar geactualiseerd worden. Het ministerie van Infrastructuur en Milieu en de waterschappen werken aan het waterbewustzijn door informatie over het handelingsperspectief aan te reiken. Het Landelijk Informatiesysteem Water en Overstromingen (LIWO) biedt informatie over de voorbereiding op de gevolgen van een overstroming voor professionele gebruikers.

In geval van een overstromingsdreiging of een daadwerkelijke overstroming heeft de overheid de taak om informatie over de actuele situatie te verstrekken. De veiligheidsregio's informeren over mogelijke handelingsperspectieven en hebben daarvoor afspraken gemaakt over het gebruik van radiozenders als rampenzender. Verder wordt via speciale websites zoals www.crisis.nl en kanalen als NL-alert informatie verstrekt. De overheid heeft echter niet het alleenrecht op het verschaffen van informatie; ook de media en social media zullen informatie en beelden delen.

Schadeafhandeling

Na een overstroming komt altijd de vraag op wie de kosten van de overstroming betaalt. In Nederland is na een overstroming de Wet tegemoetkoming schade bij rampen en zware ongevallen (WTS) van toepassing als de rijksoverheid de gebeurtenis aanwijst als een nationale ramp. De WTS is in 1998 ingevoerd en regelt dat de rijksoverheid een groot deel van de schade kan vergoeden aan de getroffenen. Sinds 1998 is de WTS vijf keer van toepassing verklaard bij wateroverlast na extreme neerslag en bij kadedoorbraken in Wilnis en Limburg.

In bijna alle landen neemt de overheid de kosten van een overstroming voor haar rekening, al dan niet gesteund door een rampenfonds en vaak ook met verzekeraars als tussenpersoon. De schade als gevolg van overstromingen is in Nederland niet standaard verzekerd, vooral vanwege de cumulatie van schade bij grootschalige overstromingen.

Versie 1.0: 2 juli 2025

Literatuurverwijzingen

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

Leidraad kunstwerken. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) en Rijkswaterstaat (RWS DWW), rapport DWW-2003-059, mei 2003.

Technisch rapport duinafslag : Beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering ten behoeve van Voorschrift Toetsing op Veiligheid 2006. WL|Delft Hydraulics, rapport H4357, mei 2007.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

_____

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.

Tekst letterlijk overgenomen uit:

Kok, M., R.B. Jongejan, M.W.C. Nieuwjaar en I.C. Tánczos. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming ; Tweede herziene druk*. Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), november 2017.
