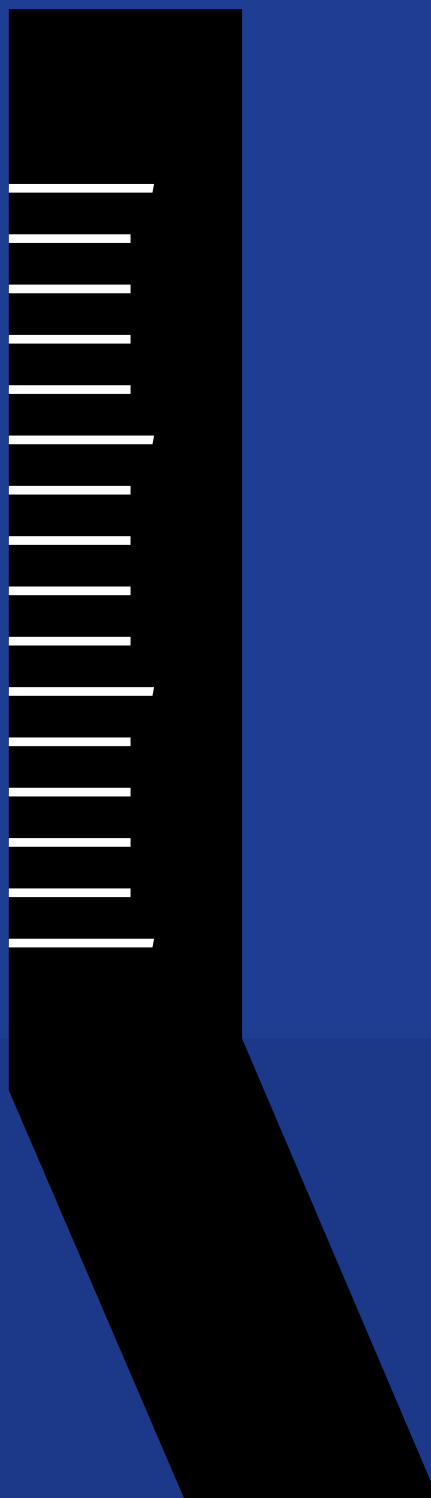


**Grondslagen
voor
hoogwater-
bescherming**



Grondslagen voor hoogwaterbescherming

Grondslagen voor hoogwaterbescherming

November 2017

Tweede herziene druk



enw | expertisenetwerk
| waterveiligheid

Voorwoord

Zeven november was een bijzondere dag in de geschiedenis van onze waterveiligheid. Die dag heb ik in Zeeland de versterking van de laatste zwakke schakel van onze kust afgesloten. Dat betekent dat de hele Nederlandse kust voor de komende decennia superstormproof is.

Daarmee zijn we er niet. De bescherming tegen overstromingen in een delta is nooit af. Onder invloed van het klimaat veranderen de waterstanden van zee en rivieren. Daarom is er een volgende stap nodig. Vanaf januari 2017 gelden voor onze dijken, dammen en duinen nieuwe normen. We kijken niet alleen naar de kans op een overstroming. Maar we kijken ook heel nauwkeurig naar de gevolgen. Uitgangspunt is dat iedereen hetzelfde basisbeschermingsniveau krijgt tegen overstromingen.

In deze Grondslagen voor hoogwaterbescherming beschrijft het Expertisenetwerk Waterveiligheid de normen. Ook krijgt u inzicht in het beoordelen, ontwerpen en beheren van waterkeringen. Het laatste hoofdstuk gaat over crisisbeheersing. Want ook al voldoen de primaire waterkeringen aan strenge eisen, een overstroming is nooit helemaal uit te sluiten.

Al met al geven deze Grondslagen aan experts en belangstellenden een uitstekend overzicht van de wijze waarop we ons land beschermen. Ze vertellen het verhaal achter de normen en technische rapporten. En dat helpt ons allemaal om verder aan de slag te gaan met het beschermen van ons land tegen overstromingen. Ik wens u daarmee veel succes.

De minister van Infrastructuur en Milieu,
Melanie Schultz van Haegen









Algerakering bij Krimpen aan den IJssel.





Indeling

<hr/>	01	<i>Inleiding</i>	01
	1.1	Het belang van hoogwaterbescherming	03
	1.2	Doel van (nieuwe) Grondslagen	04
	1.3	Doelgroep, afbakening en leeswijzer	07
<hr/>	02	<i>De Nederlandse hoogwaterbescherming</i>	09
	2.1	Historie	10
	2.2	Het waterveiligheidsbeleid vanaf 1953	13
	2.2.1	Normen voor primaire waterkeringen	13
	2.2.2	Typen primaire waterkeringen	18
	2.2.3	Hoge gronden	23
	2.2.4	Bestuurlijke verantwoordelijkheden	25
	2.2.5	Wet- en regelgeving	27
<hr/>	03	<i>Onzekerheid, kans en risico</i>	29
	3.1	Onzekerheid	30
	3.2	Kansen	35
	3.2.1	Frequentistische en Bayesiaanse interpretaties	35
	3.2.2	Toepassing in de hoogwaterbescherming	36
	3.3	Risico	38
	3.4	Overstromingsrisico's berekenen	41
<hr/>	04	<i>Van risico naar norm</i>	45
	4.1	Aanvaardbaar risico	46
	4.2	Het afleiden van normen	50
	4.2.1	Overstromingen in de Waterwet	50
	4.2.2	Basisbeschermingsniveau	51
	4.2.3	Kosten-batenanalyse	55
	4.2.4	Groepsrisico	60
	4.3	Normen voorliggende keringen	62
	4.4	De verschillende normen in de Waterwet	64
<hr/>	05	<i>Van normen naar technische eisen</i>	67
	5.1	Basisbegrippen in betrouwbaarheidsanalyses	70
	5.1.1	Grenstoestanden	70
	5.1.2	Falen en bezwijken	71
	5.1.3	Faaldefinitie en reststerkte	71
	5.1.4	Referentieperiode	71

5.2	Belasting en sterkte	72
5.2.1	Belasting	72
5.2.2	Sterkte	73
5.2.3	De relatie tussen belasting en sterkte	74
5.3	Faalmechanismen	74
5.4	Lengte-effect en faalmechanismen per traject	77
5.4.1	Het lengte-effect	77
5.4.2	Faalmechanismen en hun afhankelijkheden	80
5.5	Betrouwbaarheidseisen	81
5.5.1	Faalkanseisen per faalmechanisme op trajectniveau	81
5.5.2	Faalkanseisen per faalmechanisme op doorsnedeniveau	84
5.6	Methoden voor het beoordelen van de betrouwbaarheid	84
5.6.1	Probabilistische methoden	85
5.6.2	Semi-probabilistische methoden	89
5.6.3	Deterministische methoden	90
<hr/>		
06	<i>Ontwerpen</i>	91
6.1	De ontwerpcyclus	92
6.2	Ontwerpverificatie: voldoet het ontwerp aan de gestelde eisen?	95
6.2.1	Wettelijke eisen	95
6.2.2	Overige ontwerpeisen	99
6.3	Het verkleinen van de overstromingskans	99
6.3.1	Verlaging van de hydraulische belasting	99
6.3.2	Vergroting van de sterkte	104
6.4	Inpassing in omgeving	105
6.5	Gevolgbeperkende maatregelen	109
6.6	Procedures voor dijkontwerp	110
6.6.1	Aandachtspunten in de ontwerpprocedure	110
6.6.2	Verplichting tot milieueffectrapportage	111
6.6.3	Projectplan dijkversterking volgens de Waterwet	112
<hr/>		
07	<i>Continue zorg voor hoogwaterbescherming</i>	113
7.1	Beheeractiviteiten	114
7.2	Keur, legger en beheersregister	117
7.3	Inspectie en onderhoud	119
7.4	Periodieke beoordeling op veiligheid	121
<hr/>		
08	<i>Crisisbeheersing</i>	123
8.1	Crisisbeheersing en overstromingsrisico	124
8.2	De organisatie van de crisisbeheersing	127
8.3	Verwachting en alarmering	130
8.4	Informatievoorziening	133
8.5	Schadeafhandeling	134
<hr/>		
	<i>Literatuurlijst</i>	137
	<i>Verantwoording figuren en afbeeldingen</i>	141
	<i>Colofon</i>	143

Overstroming in Tuindorp Oostzaan, januari 1960.



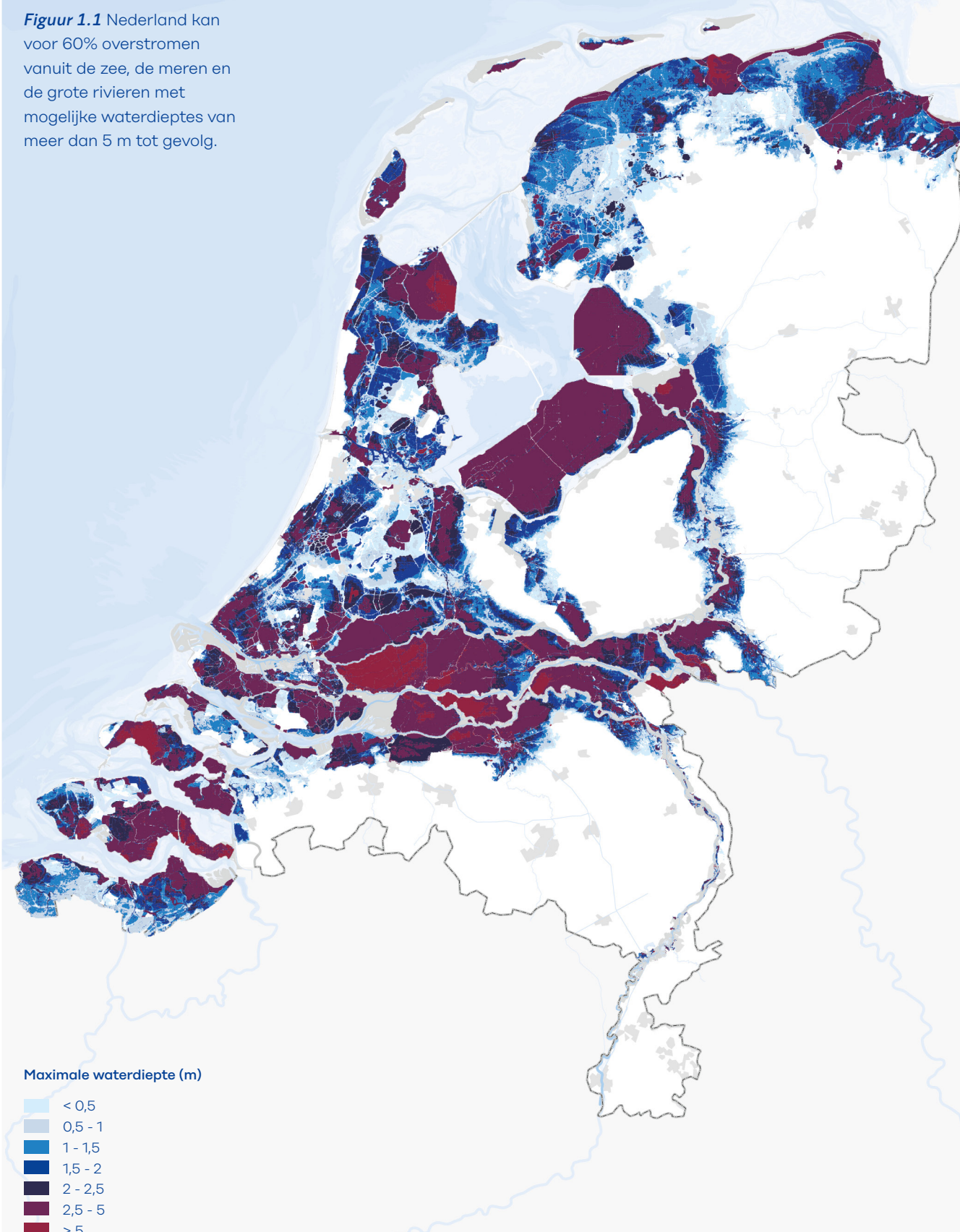
01

Inleiding

p. 01—08

De bescherming tegen overstromingen is essentieel voor de leefbaarheid van Nederland en daarom bij wet geregeld. *Dit hoofdstuk geeft aan waarom bescherming nodig is en wat de reden is om de Grondslagen voor hoogwaterbescherming vast te leggen en te vernieuwen.*

Figuur 1.1 Nederland kan voor 60% overstroomd worden vanuit de zee, de meren en de grote rivieren met mogelijke waterdieptes van meer dan 5 m tot gevolg.



02

03

1.1 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. Figuur 1.1 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.

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 Deltaprogramma¹ 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.

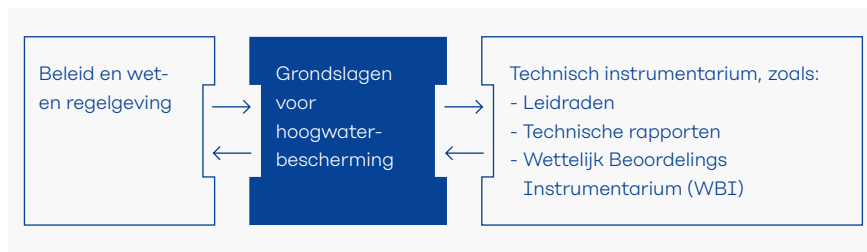
1.2 Doel van (nieuwe) Grondslagen

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 (zie figuur 1.2).

¹ Het Deltaprogramma is een nationaal programma, waarin rijksoverheid, provincies, gemeenten en waterschappen samenwerken, met inbreng van maatschappelijke organisaties en het bedrijfsleven. Het doel is om Nederland ook voor volgende generaties te beschermen tegen hoogwater en te zorgen voor voldoende zoetwater.



Figuur 1.2 Positie van *Grondslagen voor hoogwaterbescherming*.

04

05

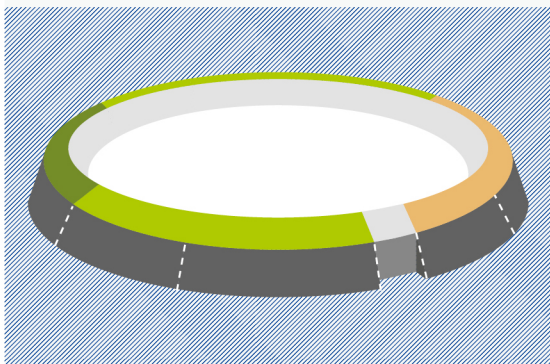
In 1998 is de eerste versie van Grondslagen uitgebracht, met als titel *Grondslagen voor waterkeren*. Er zijn nu goede redenen om een nieuwe versie uit te brengen: het kabinet heeft in 2015 besloten de eisen aan de bescherming tegen grootschalige overstromingen fundamenteel te wijzigen. Het type norm 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

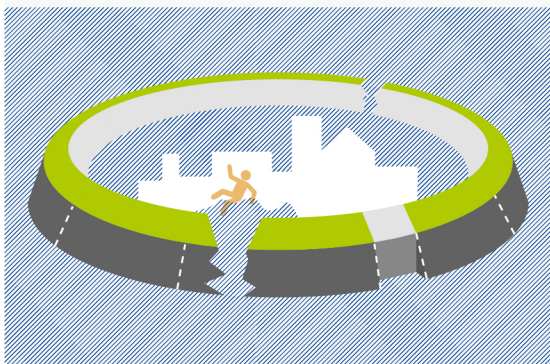
De nieuwe norm voor waterkeringen wordt op andere manier uitgedrukt. Tot 2017 werd de norm uitgedrukt als een waterstand die *veilig* gekeerd moest worden, waarmee de norm zich alleen op de belasting richtte. De sterkte van de waterkering speelde wel een grote rol, maar was niet expliciet opgenomen in 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 overstromings*risico*. 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 getroffen. 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.



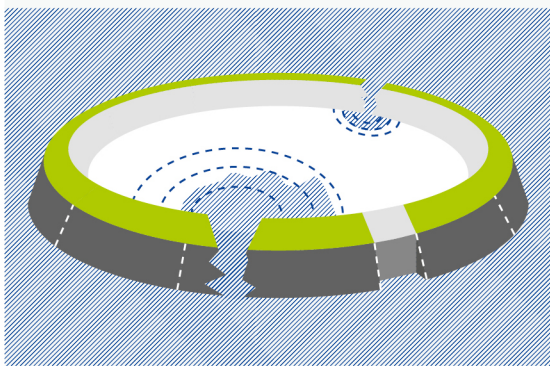
De kans op een overstroming:

Per onderdeel van de dijkkring 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 dijkkring wordt de kans op een overstroming met de daarbij horende gevolgen gecombineerd. Alle combinaties samen vormen het overstromingsrisico.
 $\text{Kans} \times \text{gevolg} = \text{risico}$

Figuur 1.3

Schematische weergave van de risicobenadering.

06

07

1.3 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 systeem-beschrijving 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.



02

De Nederlandse hoogwater- bescherming

p. 09—28

Grofweg twee derde van Nederland kan overstromen, vanuit de zee, de grote meren of de grote rivieren. Deze kwetsbaarheid heeft in de loop der eeuwen geleid tot een gereguleerd systeem van waterkeringen dat de dreiging van de waterstromen waar mogelijk beperkt. *De keuzes hierbij en de instandhouding van dit systeem zijn het onderwerp van dit hoofdstuk.*

2.1 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 dijkkringen. 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

10
11

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.

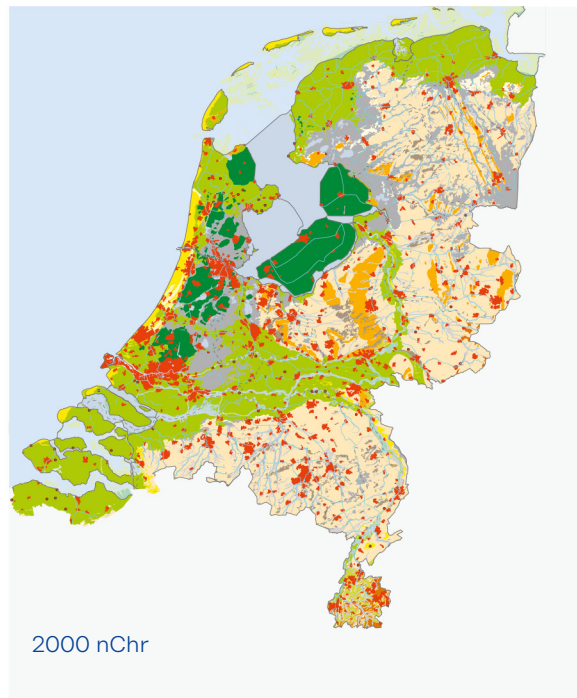
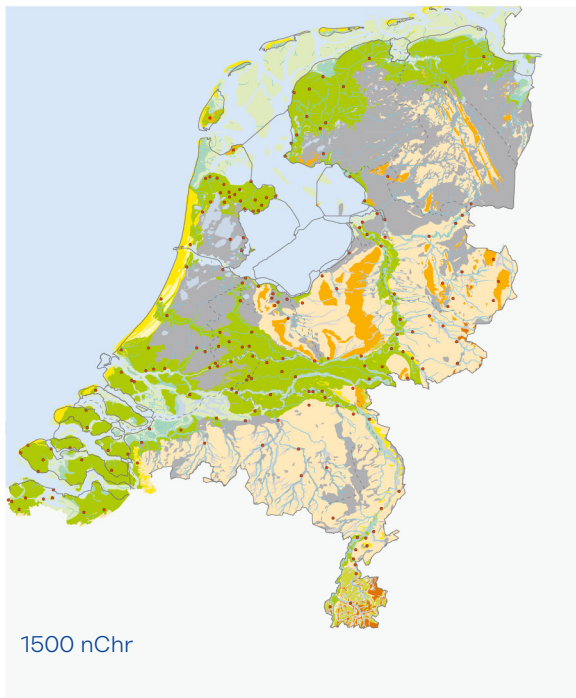
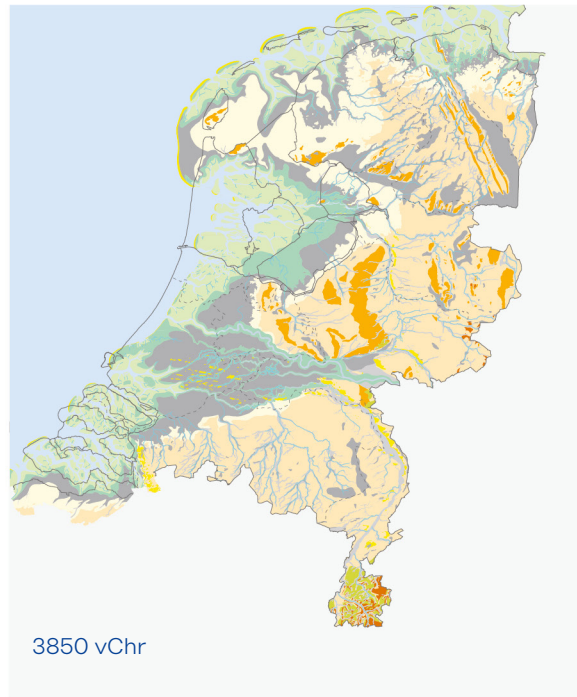
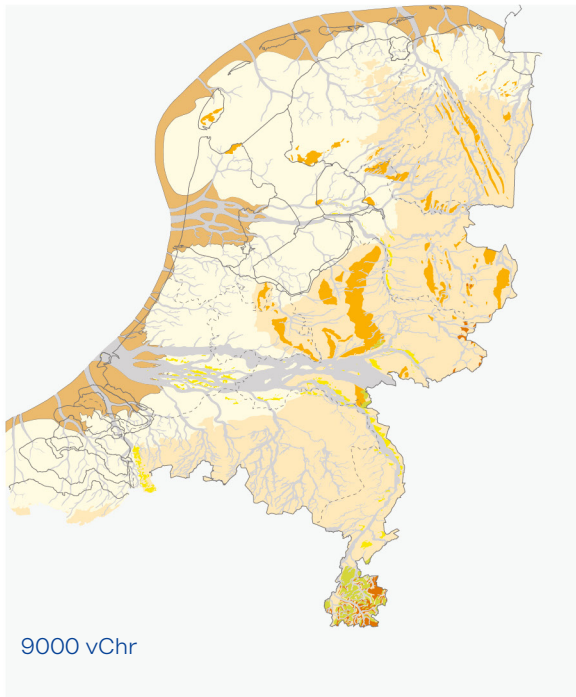
De laatste grote overstroming in het rivierengebied vond plaats in 1926. De rivierafvoer bij Lobith die bij deze overstroming is gemeten, is de hoogste ooit: 12.850 kubieke meter per seconde.

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.



Figuur 2.1 Het veranderende Nederland in de loop der tijden.

12

13

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 gecompenseerd (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-Elizabetsvloed van 1421. De dijkdoorbraken en overstromingen richtten in Zeeland en Holland grote verwoestingen aan en volgens schattingen vonden ongeveer 2.000 mensen de dood.

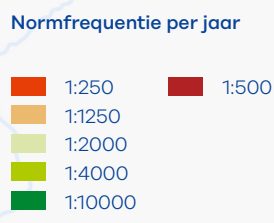
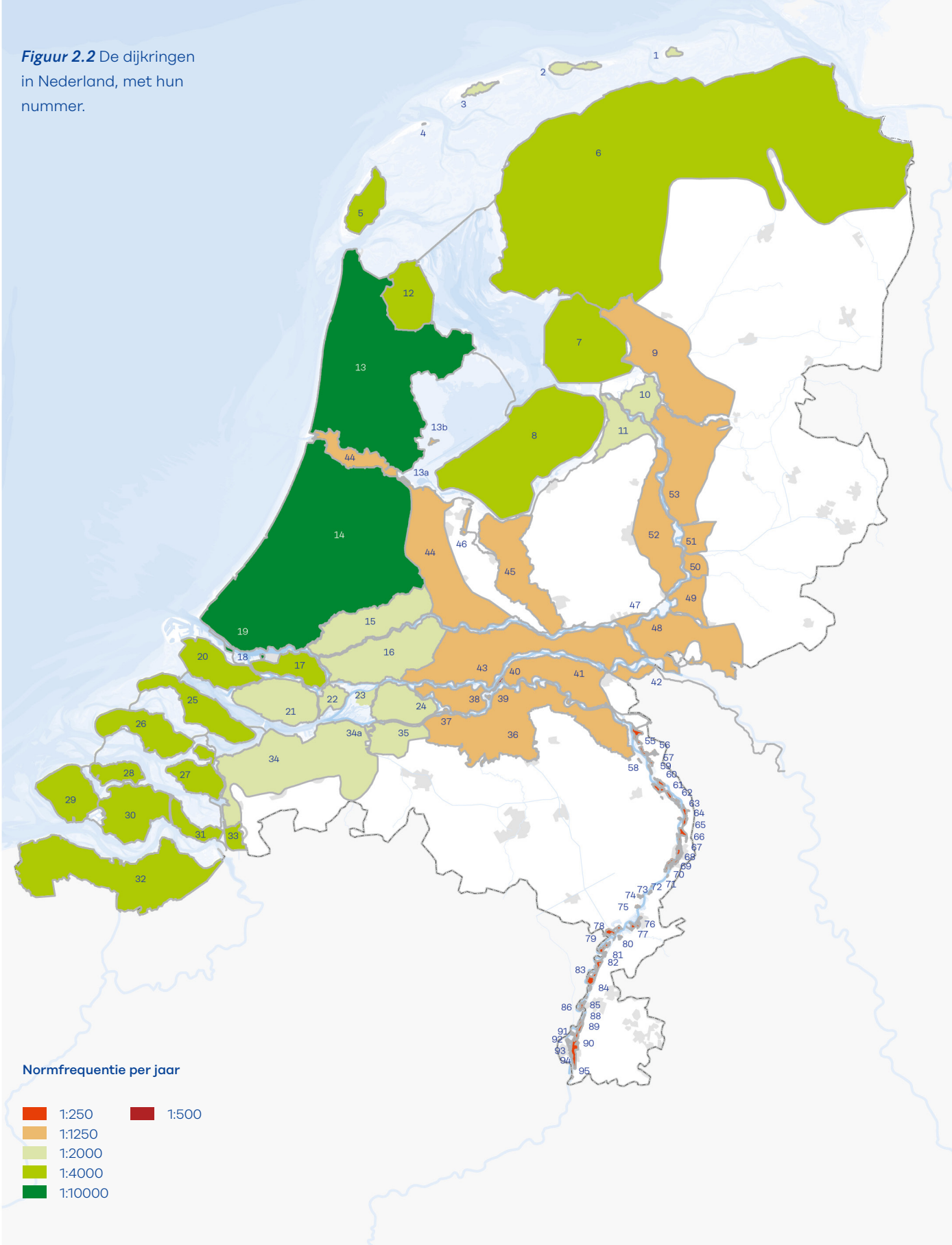
De overstroming die ons huidige beleid heeft bepaald is de Watersnoodramp van 1953. Hierbij vielen 1.836 doden en circa 2.000 vierkante kilometer land overstroomde. Direct na de ramp werd de Deltacommissie geïnstalleerd. Deze commissie moest plannen maken om een dergelijke ramp in de toekomst te voorkomen. De commissie adviseerde een aantal zearmen 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.

2.2 Het waterveiligheidsbeleid vanaf 1953

2.2.1 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

Figuur 2.2 De dijkringen in Nederland, met hun nummer.



14

15

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 genoemd²): 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 dijkkring: een aaneengesloten ring van waterkeringen en hooggelegen gronden. In de Wet op de Waterkeringen en later de Waterwet had iedere dijkkring zijn eigen overschrijdingskansnorm. 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 figuur 2.3.

² 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.

Figuur 2.3

De dijktrajecten
in Nederland.



16 17

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.



De Diefdijk, de enige primaire kering die niet aan water ligt.

2.2.2 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.



De duinen van Rockanje.





Algerakering bij Krimpen aan den IJssel.



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 (Haringvliet-sluisen) 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.

22

23

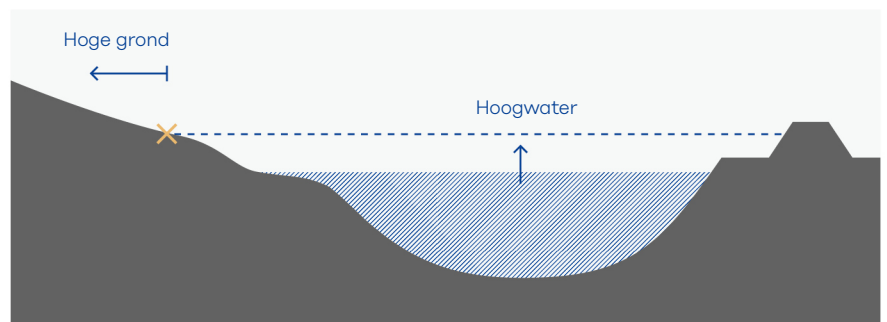
2.2.3 Hoge gronden

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.

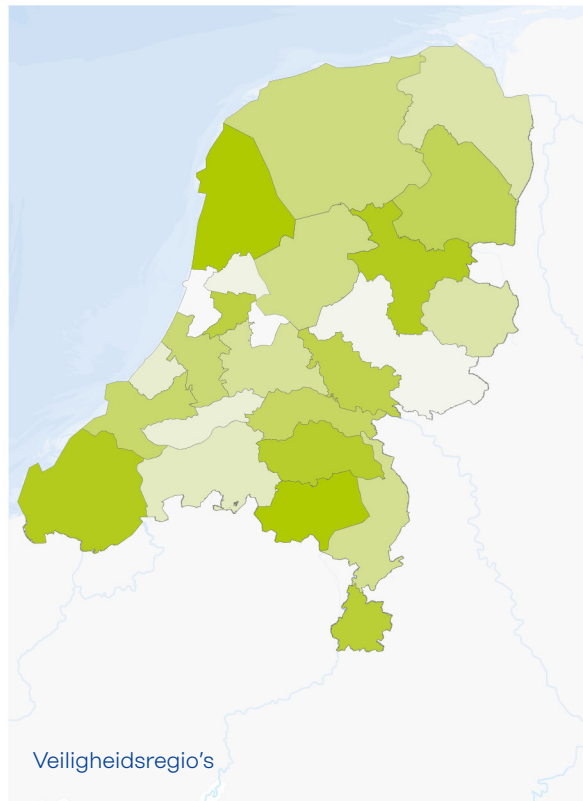
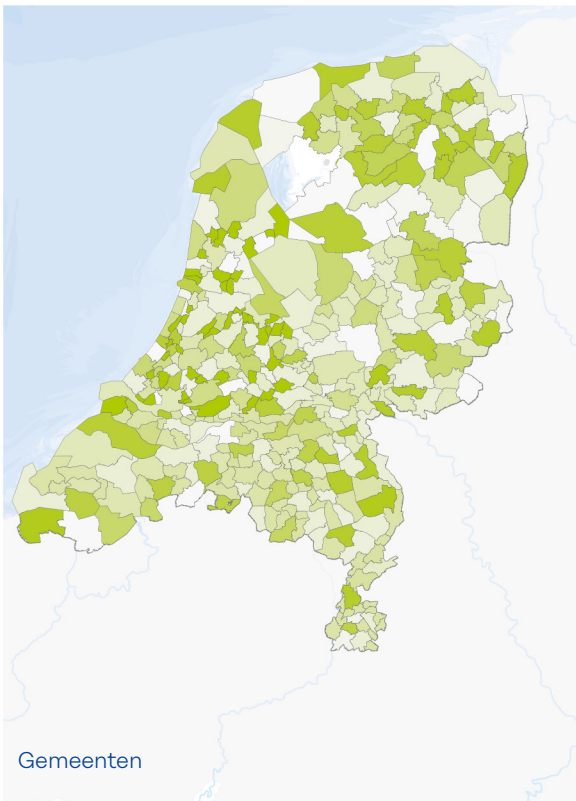
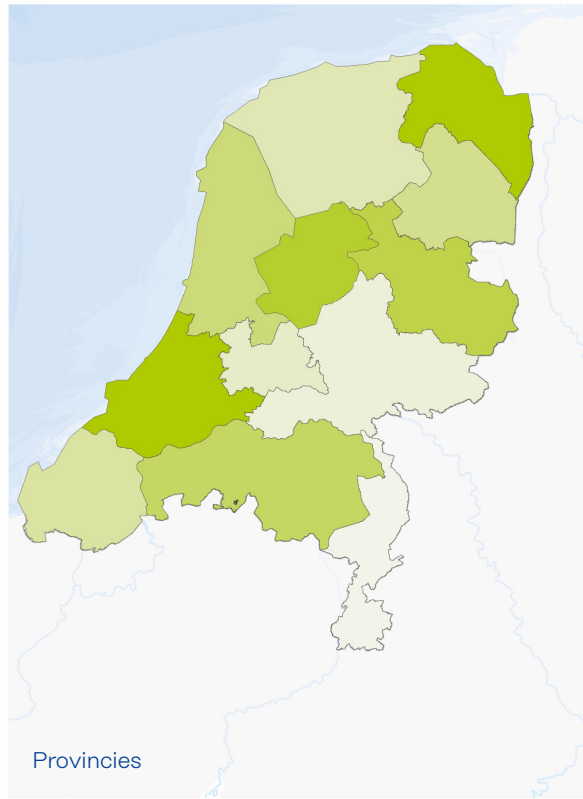
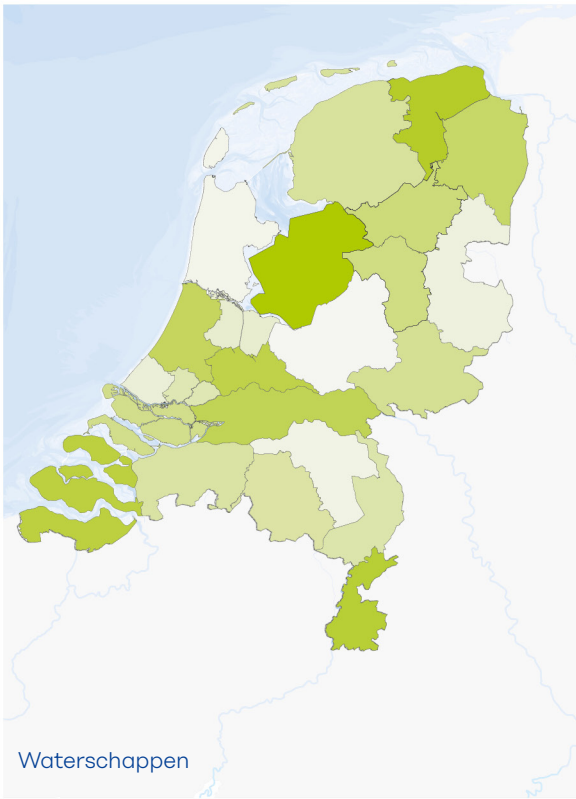
Tot 2017 maakten hoge gronden deel uit van dijkkringen, die de basis vormden voor de normering. Dijkkring 45, die de Gelderse Vallei omringt, bestaat bijvoorbeeld aan de noord- en zuidkant uit de keringen langs de Randmeren en de Rijn en aan de west- en oostkant uit de hoge gronden van de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe. De norm gold voor de gehele dijkkring. 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 2.4 Hoge grond.



24

25

2.2.4 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.

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 verantwoordelijk 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.

Figuur 2.5 De verschillende bestuurslagen in Nederland die een rol hebben in de hoogwaterbescherming.

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.

2.2.5 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.

03

Onzekerheid, kans en risico

p. 29—44

In de overstromingsrisicobenadering spelen de begrippen onzekerheid, kans en risico een centrale rol. Deze begrippen zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Onzekerheden worden vertaald in kansen, zonder onzekerheid is de kans nul of één. Met risico wordt bedoeld op meer dan kansen alleen; dit begrip omvat ook de gevolgen van een overstroming. Dat lijkt eenvoudig, maar toch kan er gemakkelijk verwarring ontstaan. *De wijze waarop met onzekerheden en kansen wordt omgegaan in berekeningen van overstromingsrisico's en -kansen is van grote invloed op de uitkomsten. Daarom gaat dit hoofdstuk nader op deze begrippen in.*

3.1 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 bedoeld 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 bedoeld 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 dobbelsteenworp 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.

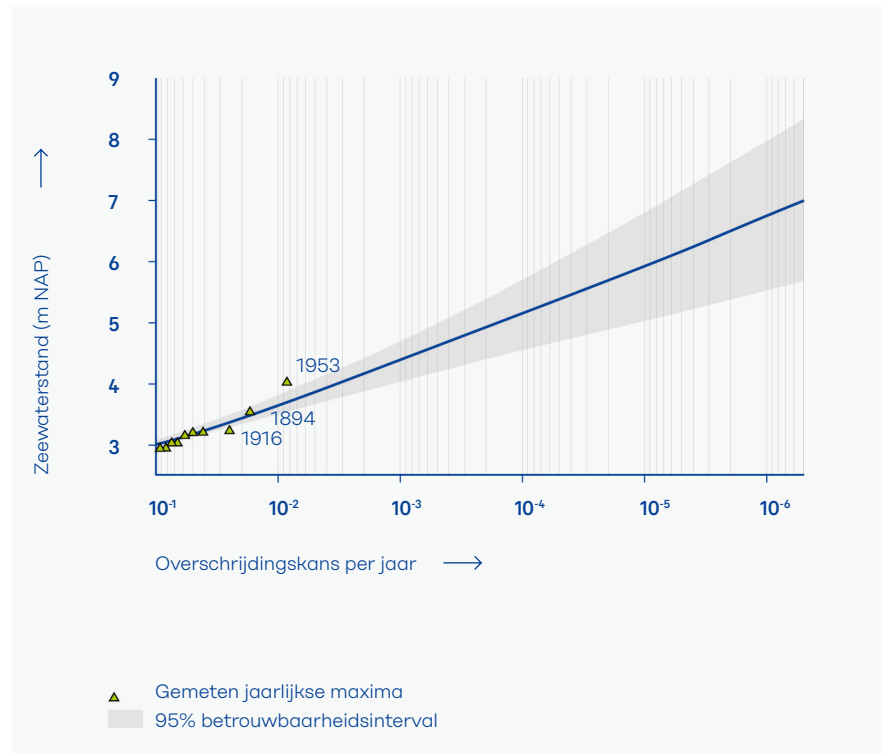
In de praktijk zijn dergelijke filosofische vragen gelukkig minder relevant. Voor beslissingen is het vooral van belang welke onzekerheden er zijn, hoe groot ze zijn en of ze in praktische zin te verkleinen zijn. Met de grootte van onzekerheden wordt hierbij zowel bedoeld op de grootte van de verschillen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

30
31

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 (figuur 3.1). 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.

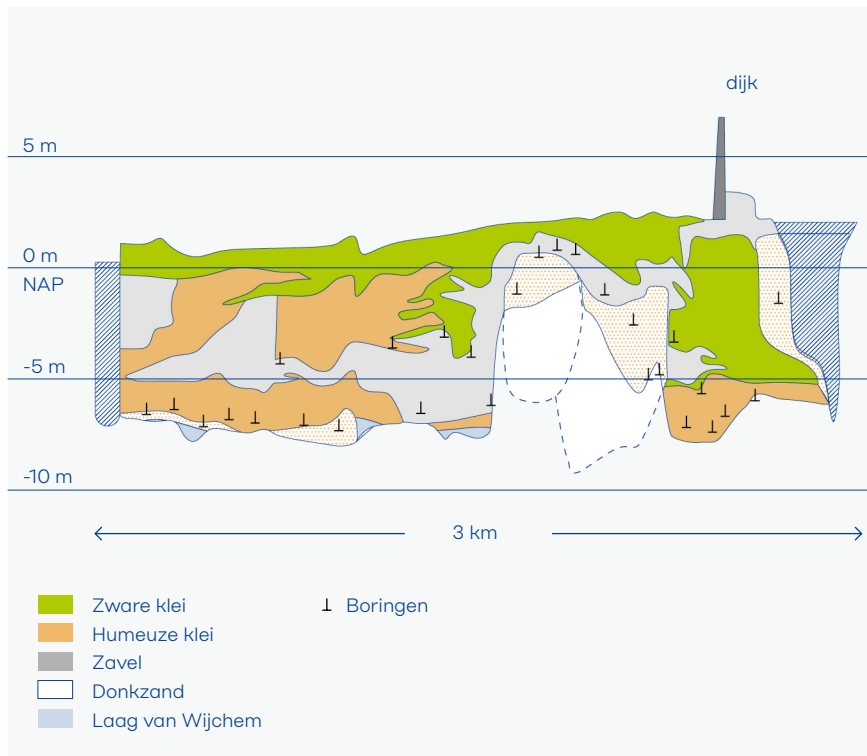


Figuur 3.1 De jaarlijkse kans op overschrijding van een bepaalde waterstand.

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 figuur 3.2 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.



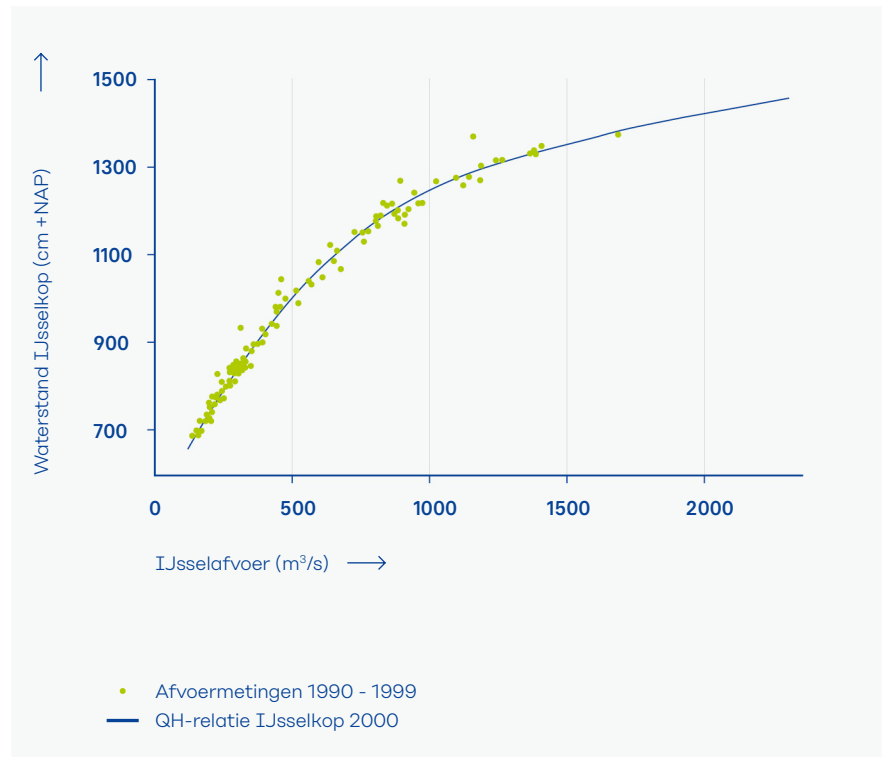
Figuur 3.2 Een overzicht van de laagopbouw volgens boringen en sonderingen. Tussen deze boringen en sonderingen is het onzeker hoe de ondergrond is opgebouwd.

Modelonzekerheid

Modellen zijn altijd vereenvoudigingen van een complexe werkelijkheid. Uitkomsten van modelberekeningen zijn daarom altijd met onzekerheid omgeven. Figuur 3.3 geeft ter illustratie de relatie tussen rivierafvoer en de waterstand. Te zien is dat de berekende waterstand kan afwijken van de gemeten waarde.

32
33

Figuur 3.3 Illustratie van 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.



De Twee Gebroeders in de bres in de Schielandse Zeedijk.

3.2 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.

3.2.1 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*.

3.2.2 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 kader in hoofdstuk 5.5.2).

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-



36
37



Overstroming in het stroomgebied van de Chao Phraya, Thailand 2011.

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.

3.3 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 risicomat 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, rivierverruiming, 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 (zie ook hoofdstuk 4).

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.

38
39

Groeprisico

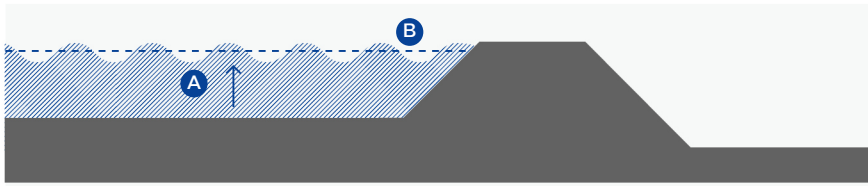
Het groeprisico is een risicomaat die inzicht geeft in de kansen op grote aantallen slachtoffers. Inzicht hierin is van belang omdat rampen waarbij grote aantallen mensen om het leven komen grote onrust en gevoelens van onveiligheid kunnen veroorzaken. Een verkeersongeluk met 20 slachtoffers kan het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

Individueel risico

Het groeprisico 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.

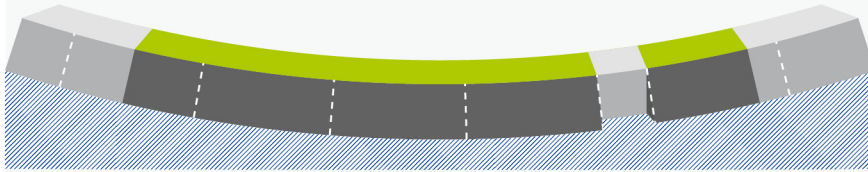
Figuur 3.4 De aantallen slachtoffers op verschillende plekken bij de ramp in 1953.





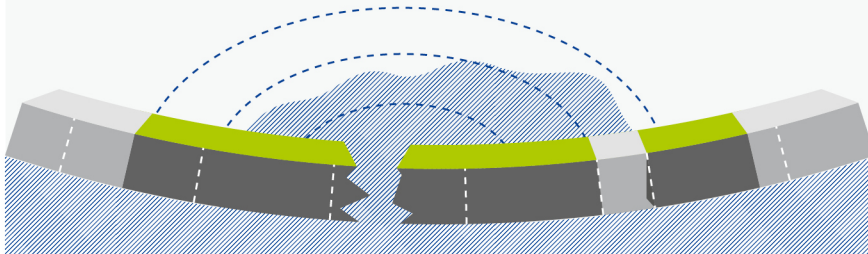
01. Belastingen

- A. Waterstandsbelasting
- B. Golfbelasting



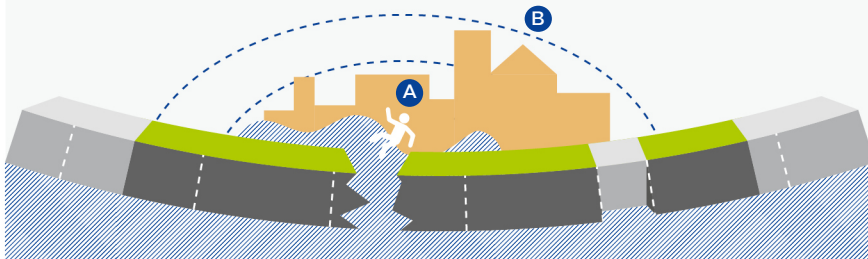
02. Overstromingskans

De faalkans van verschillende onderdelen van een waterkering.



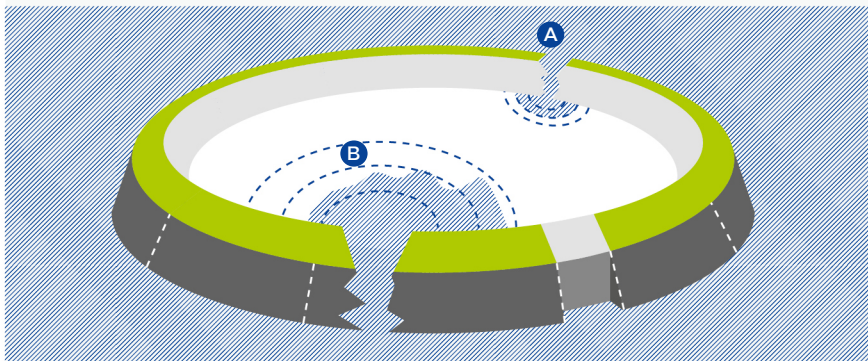
03. Overstromingsscenario

Afhankelijk van het tempo van de bresgroei, de ruwheid van het landschap en de standzekerheid van lijn-vormige elementen zoals wegen en regionale keringen.



04. Gevolgen

- A. Aantal slachtoffers
- B. Economische schade



05. Risico

Kans x gevolg = risico
bijvoorbeeld:

- A. Grote kans, klein gevolg
- B. Kleine kans, groot gevolg

Figuur 3.5 Stappen in het berekenen van het overstromingsrisico.

40
41

3.4 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 getroffen personen 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 figuur 3.5):

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

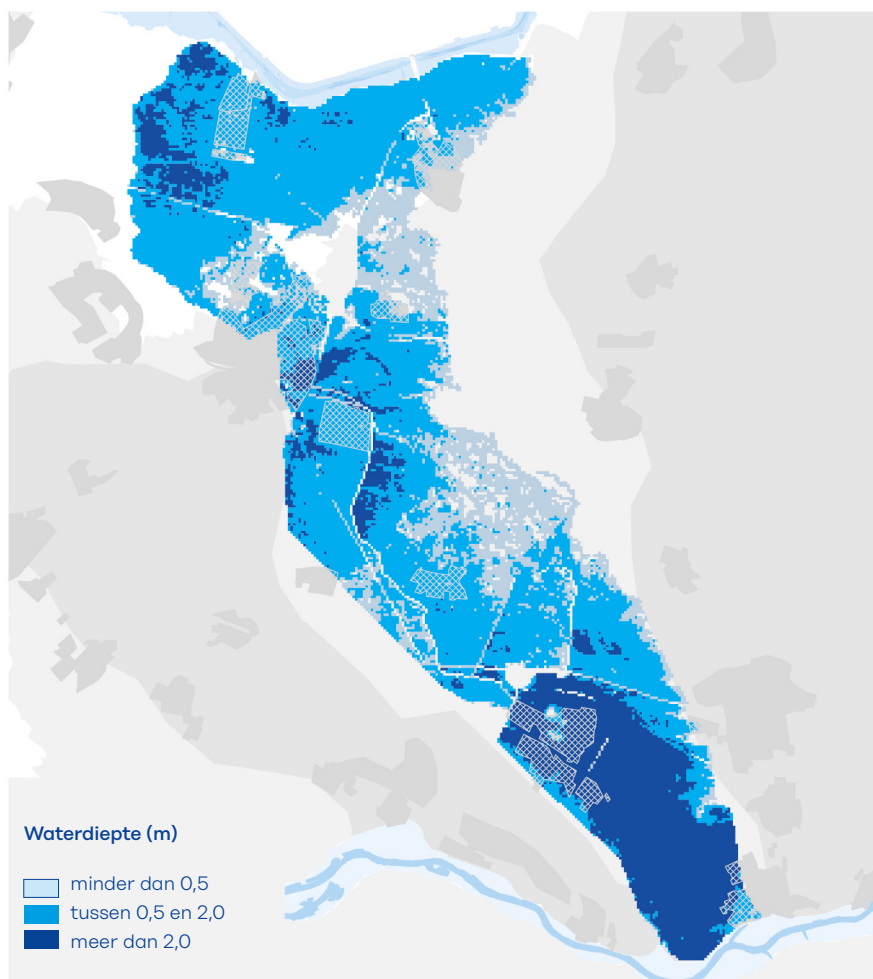
Bepaal voor alle mogelijke belastingen de kans dat de kering op één of meer locaties zijn waterkerend vermogen verliest en een overstroming optreedt. Houd hierbij rekening met afhankelijkheden. Verschillende onderdelen van een waterkering worden immers gelijktijdig aan een hoogwaterbelasting onderworpen. 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 3.6 Voorbeeld van een berekend overstromingspatroon (de Gelderse Vallei vanuit de Lek).

42

43

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).



- A. Terp
- B. Oude dijk
- C. Spoorlijn
- D. Stedelijk gebied
- E. Bedrijfterrein
- F. Agrarisch gebied
- G. Wegen

Figuur 3.7 De verschillende elementen die een rol spelen bij de omvang van het gevolg van een overstroming.