

Technisch-inhoudelijke uitwerking van eisen aan primaire keringen



Bijlagen

Colofon

Uitgegeven door	Deltaprogramma, deelprogramma Veiligheid
Informatie	Ministerie van Infrastructuur en Milieu, DG Ruimte en Water, Directie Algemeen Waterbeleid en Veiligheid
Telefoon	+31 70 - 456 00 00
Tekstredactie	Nadine Slootjes en Herman van der Most (Deltares)
Met bijdragen van	Rijkswaterstaat WWL: Durk Riedstra en Ilka Tanczos (Rijkswaterstaat WWL), Deltares: Rolf van Buren, Dirk Eilander, Karin de Bruijn, Jarl Kind, Wouter Jan Klerk, Kymo Slager, Dennis Wagenaar HKV: Bob Maaskant, Saskia van Vuren, Marit Zethof, Jongejan RMC: Ruben Jongejan
Meer informatie op	www.deltacommissaris.nl en www.helpdeskwater.nl
Datum	28 juni 2016
Status	Definitief

Inhoud

A	Standzekerheid van compartimenteringskeringen	1
B	Overzicht van gehanteerde evacuatiefracties	7
C	Nadere toelichting bij trajectindeling	11
D	Bepaling en beoordeling groepsrisico	17
E	Achtergronden bepaling LIR	25
F	Aanpak afleiden economisch optimale beschermingsniveau	27
G	Achtergronden bij normen voor duinenkust	31
H	Normhoogten in meer detail	45

A Standzekerheid van compartimenteringskeringen

Inleiding

Bij het modelleren van overstromingsverlopen wordt gekeken naar de eigenschappen van het landschap. De hoogte van het maaiveld, de ligging van sloten en vaarten, en verhoogde (lijn) elementen beïnvloeden de weg die het water gaat bij een overstroming, en worden dus meegenomen in de modellering.

Waar sprake is van verhoogde lijnelementen, zoals achterliggende regionale keringen, oude zeedijken, maar ook spoordijken en verhoogde weglichamen, zal het water niet verder stromen en stijgen. Vervolgens kan een element standhouden (en eventueel 'overstromen' wanneer het water hoger komt dan het element) of bezwijken (waarbij er één of meerdere bressen ontstaan). Idealiter wordt in de modellering rekening gehouden met de daadwerkelijke sterkte van een lijnelement, en de reële kans dat het bezwijkt. In de praktijk kennen we die sterkte vaak niet, en daarom wordt er gewerkt met aannamen. Het streven is daarbij om zo verstandig mogelijke aannamen te doen, dwz aannamen waarbij het resultaat t.a.v. de risico's zo realistisch mogelijk is, en de kans op onderschatting zo gering mogelijk. De wijze waarop gerekend wordt bepaald in belangrijke mate de gevoeligheid voor een aanname.

Standaardaanname voor berekeningen tav verhoogde lijnelementen is dat deze 'standzeker' zijn; in het model bezwijken ze niet, lopen ze alleen over wanneer het water voldoende hoog komt. Dit is nadrukkelijk een rekenaanne. In de praktijk kan het zo zijn dat de kering toch bezwijkt, en het overstromingspatroon anders verloopt dan aangenomen. De vraag is vervolgens in hoeverre de aanname robuust is, ofwel de uitkomsten van berekeningen gevoelig zijn voor de aanname.

Door de wijze waarop gerekend wordt blijken de afgeleide normspecificaties over het algemeen ongevoelig voor de aanname ten aanzien van standzekerheid. Daar waar dat wel het geval is ligt in principe de keuze voor of het betreffende element genormeerd moet worden, of dat de voorliggende kering een strengere norm moet krijgen. Binnen het Deltaprogramma is afgesproken dat de voorliggende kering zwaarder genormeerd wordt. In de praktijk blijkt dit in termen van kosten en baten bijna altijd gunstiger, en ingewikkelde discussies t.a.v. extra kosten worden zo voorkomen.

In deze bijlage gaat het alleen over de invloed van onzekerheid over standzekerheid van de aanwezige compartimenteringskeringen. Het gaat dus nadrukkelijk niet over inrichtingsvarianten waarin compartimenteringskeringen worden verwijderd. Bij een inrichtingsvariant gaat het niet over kansen op verschillende uitkomsten maar over de bewuste keuze voor één bepaald resultaat.

In paragraaf A.2 wordt eerst ingegaan op de invloed van het falen van compartimenteringskeringen op de gevolgen van overstromingen. Daarna wordt in paragraaf A.3 en A.4 toegelicht wat de consequenties zijn van het mogelijk falen van compartimenteringskeringen voor de uitkomsten van de MKBA en LIR-berekeningen. Ten slotte worden in paragraaf de trajecten genoemd waar de compartimenteringskeringen van invloed waren op de normhoogte.

Waar in deze bijlage wordt gesproken over compartimenteringskeringen wordt bedoeld op alle verhoogde, lijnvormige elementen die van invloed zijn op de omvang van het overstromd gebied in de uitgevoerde overstromingsberekeningen.

De effecten van standzekerheid op de gevolgen van overstromingen

In theorie zouden de kansen op doorbraken van compartimenteringskeringen (enkel- en meervoudig, op verschillende locaties, bij verschillende belastingniveaus) meegenomen moeten worden in berekeningen van het overstromingsrisico. Dat is echter bijzonder gecompliceerd en tijdrovend. Het is ook de vraag of een dergelijke mate van modelverfijning wel nodig is om normen te kunnen afleiden.

De werkelijkheid zal ergens tussen de volgende extreme modelaannamen in liggen:

1. De keringen worden standzeker verondersteld en kunnen alleen overlopen. Deze modelaannamen heeft de volgende consequenties:
 - a. De stroom- en stijgsnelheden worden overschat in het direct getroffen compartiment.
 - b. De stroom- en stijgsnelheden worden onderschat in de gebieden die door compartimenteringskeringen worden beschermd.
 - c. De omvang van het getroffen gebied wordt mogelijk onderschat.
2. De keringen worden niet standzeker verondersteld en falen direct. Deze modelaannamen heeft de volgende consequenties:
 - a. De stroom- en stijgsnelheden worden onderschat in het direct getroffen compartiment.
 - b. De stroom- en stijgsnelheden worden overschat in de gebieden die door compartimenteringskeringen worden beschermd.
 - c. De omvang van het getroffen gebied wordt niet langer begrensd door compartimenteringskeringen.

Bij welke modelaannamen de werkelijkheid het dichtste zal liggen, wordt in belangrijke mate bepaald door de kansen dat compartimenteringskeringen bezwijken en door de weging van het worst case scenario in de gevolgberoekeningen. In de navolgende hoofdstukken wordt hier nader op ingegaan.

De standzekerheid van compartimenteringskeringen en de MKBA

Volgens de zg. directe methode (zie bijlage H) is de economisch optimale overstromingskans omgekeerd evenredig met de schade. Een twee keer zo grote schade leidt dus tot een twee keer zo kleine economisch optimale overstromingskans.

Bij het bepalen van de schade voor een enkelvoudig doorbraakscenario wordt idealiter rekening gehouden met de onzekerheid ten aanzien van de standzekerheid van compartimenteringskeringen. In werkelijkheid is de faalkans van een compartimenteringskering niet gelijk aan 0 of 1. Wanneer de gevolgschades met en zonder standzekere compartimenteringskeringen met kansen worden gewogen, volgt voor de schade bij een enkelvoudig doorbraakscenario i:

$$S_i = S_{F,i} * P(F_i) + S_{NF,i} * (1 - P(F_i)) \quad (1)$$

waarin $S_{F,i}$ de schade is bij doorbraakscenario i als de compartimenteringskering faalt, $P(F_i)$ de faalkans van de compartimenteringskering is bij doorbraakscenario i en $S_{NF,i}$ de schade is bij een standzekere compartimenteringskering.

Vergelijking (1) veronderstelt feitelijk dat er maar één compartimenteringskering is of dat de compartimenteringskeringen bij een overstroming allemaal zullen falen of geen van allen. Dit zal in de praktijk uiteraard niet het geval zijn. Doorgaans zal de aanname "de compartimenteringskeringen falen allemaal tegelijk of geen van allen" echter voldoende nauwkeurig zijn. Deze aanname vergemakkelijkt analyses van het effect van de standzekerheid van compartimenteringskeringen aanzienlijk. Zo is het dan niet langer nodig om alle combinaties van falende en niet-falende compartimenteringskeringen te beschouwen. In het navolgende wordt hier dan ook van uit gegaan.

Naast de enkelvoudige doorbraakscenario's wordt in de schadeberekeningen voor de MKBA ook steeds een worst case scenario beschouwd. Bij dit worst case scenario wordt er van uitgegaan dat alle doorbraken gelijktijdig optreden bij het toetspeil plus één decimeringhoogte. De gemiddelde schade bij de enkelvoudige doorbraakscenario's (na weging naar lengte) wordt vermenigvuldigd met een factor 0,6 en de schade bij het maximale scenario met een factor 0,4 (De Bruijn en Van der Doef, 2011). Er geldt dus:

$$S = 0,6 * S_{gem} + 0,4 * S_{worstcase} \quad (2)$$

waarin S de gevolgschade is waarmee in de MKBA wordt gerekend, S_{gem} het gemiddelde is van de schades bij de verschillende enkelvoudige doorbraken (gewogen naar lengte) en $S_{worstcase}$ de schade is bij het worst case scenario.

Het overstroomd gebied bij het worst case scenario overlapt vaak sterk met het overstroomd gebied bij enkelvoudige doorbraakscenario's waarbij alle compartimenteringskeringen bezwijken. Dit leidt ertoe dat de aanname van standzekerheid alleen in uitzonderlijke gevallen tot wezenlijke onderschattingen van de schade zal leiden.

Een getallenvoorbeeld is hier illustratief. Stel er zijn een aantal enkelvoudige doorbraakscenario's die allemaal tot 10 miljoen euro schade zouden leiden bij standzekere compartimenteringskeringen en tot 100 miljoen euro schade (10x zo veel) bij niet-standzekere compartimenteringskeringen. En stel verder dat bij het worst case scenario vrijwel het gehele gebied wordt getroffen en dat de schade dan 200 miljoen euro bedraagt. Het resultaat van het invullen van vergelijkingen (1) en (2) is gegeven in Tabel A.1. De berekening waarbij is uitgegaan van volledig standzekere compartimenteringskeringen, zoals in de technisch-inhoudelijke uitwerking, is dik gedrukt.

Tabel A.1 Rekenvoorbeeld van het effect van het meewegen van de faalkansen van de compartimenteringskeringen op de schade.

Faalkans compartimenteringskering in geval van een overstroming	Gemiddelde schade van enkelvoudige doorbraken, rekening houdend met de faalkansen van de compartimenteringskeringen (miljoen EUR)	Schade bij worst case scenario (miljoen EUR)	Schade (miljoen EUR)
P(F _i)	S _{gem}	S _{worstcase}	S
0	10	200	86
1/10	19	200	91
1/4	33	200	100
1/2	55	200	113
1	100	200	140

Zoals getoond in de tweede kolom van Tabel A.1 geeft een berekening met perfect standzekere compartimenteringskeringen een steeds betere schatting van de daadwerkelijke schade naarmate de faalkansen van de compartimenteringskeringen kleiner zijn. Maar zelfs als de faalkansen zeer groot zijn, blijft de fout beperkt door het worst case scenario. Bij een faalkans gelijk aan 1/2 zou de fout in dit rekenvoorbeeld slechts een factor 113/86=1,3 zijn. En zelfs als alle compartimenteringskeringen absoluut zeker zouden falen, dan nog zou de fout slechts een factor

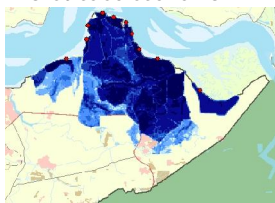
200/86=1,6 bedragen. En daarbij moet dan worden bedacht dat in het voorbeeld is uitgegaan van aanzienlijk grotere schades bij falende compartimenteringskeringen (factor 10 bij elk enkelvoudig doorbraakscenario) en een worst case scenario waarbij de schade slechts twee keer groter is dan bij een enkelvoudig doorbraakscenario met falende compartimenteringskeringen.

De rol van het worst case scenario is vooral van belang voor sterk gecompartmenteerde dijkkringgebieden zoals Zeeuws Vlaanderen (dijkkring 32). Hier is het effect van de compartimenteringskeringen op de overstromingspatronen van de enkelvoudige doorbraakscenario's duidelijk te zien (Figuur A.1). De schades bij de enkelvoudige doorbraakscenario's zullen zeker aanzienlijk groter worden als rekening wordt gehouden met de kansen op het falen van de compartimenteringskeringen. Maar omdat de compartimenteringskeringen in het worst case scenario overlopen/vrijwel alle compartimenten worden getroffen, zal het schadebedrag waarmee in de MKBA wordt gerekend nooit sterk kunnen veranderen, zelfs niet als wordt aangenomen dat de faalkansen van de compartimenteringskeringen zeer groot zijn.

Selectie van enkelvoudige doorbraakscenario's:



Worst case scenario:



Figuur A.1 Overstromingspatronen voor een selectie van enkelvoudige doorbraakscenario's in het oostelijk deel van Zeeuws-Vlaanderen (bij toetspeil) en een uitsnede van het worst case scenario (bij tp+1d).

De standzekerheid van compartimenteringskeringen en het LIR

Als compartimenteringskeringen standzeker zijn, dan wordt het LIR binnen het direct getroffen compartiment overschat. De stijgsnelheden en de maximale waterdieptes zijn in een relatief klein compartiment immers relatief groot. Het LIR in het gebied dat wordt beschermd door compartimenteringskeringen wordt echter juist onderschat wanneer wordt uitgegaan van standzekerere compartimenteringskeringen. Het zal echter zelden zo zijn dat het LIR in een direct getroffen compartiment kleiner is dan het LIR in een aangrenzend compartiment bij falende

compartimenteringskeringen vanwege o.a. de kans dat de compartimenteringskering niet faalt, de remmende werking van de compartimenterings-kering, de bodemruwheid, het veelal kleinere verval en de mogelijkheid van een ontlastend effect doordat de compartimenteringskering rond het indirect getroffen compartiment weer ergens anders doorbreekt.

Het bovenstaande betekent dat de aanname dat compartimenteringskeringen perfect standzeker zijn vrijwel overal zal leiden tot een overschatting van het maximale LIR. Het is echter niet te verwachten dat het over significante overschattingen gaat. In de praktijk zal de faalkans van een compartimenteringskering immers kleiner zijn dan 1. Ook zal het ontlastende effect van een doorbraak van een compartimenteringskering op de maximale stroom- en stijgsnelheden doorgaans beperkt zijn. Voordat een compartimenteringskering bezwijkt, zal er immers een verval over de kering moeten staan.

Trajecten waar compartimenteringskering de norm beïnvloedt

Is samenspraak met de gebiedsgerichte deelprogramma's is nader onderzoek gedaan naar de trajecten waar de het overstromingspatroon aanzienlijk beïnvloed wordt door de aanwezigheid van compartimenteringskeringen. Dit heeft er toe geleid dat voor enkele trajecten de norm is aangescherpt. Meer informatie hierover is beschreven in bijlage D. Het betreft de trajecten:

- 8-3 en 8-4 (Flevoland door Knardijk)
- 22-1 (Eiland van Dordrecht door Wieldrechtste Zeedijk)
- 24-2 (Land van Altena, aanwezigheid regionale kering)
- 35-2 (Donge, aanwezigheid regionale kering)

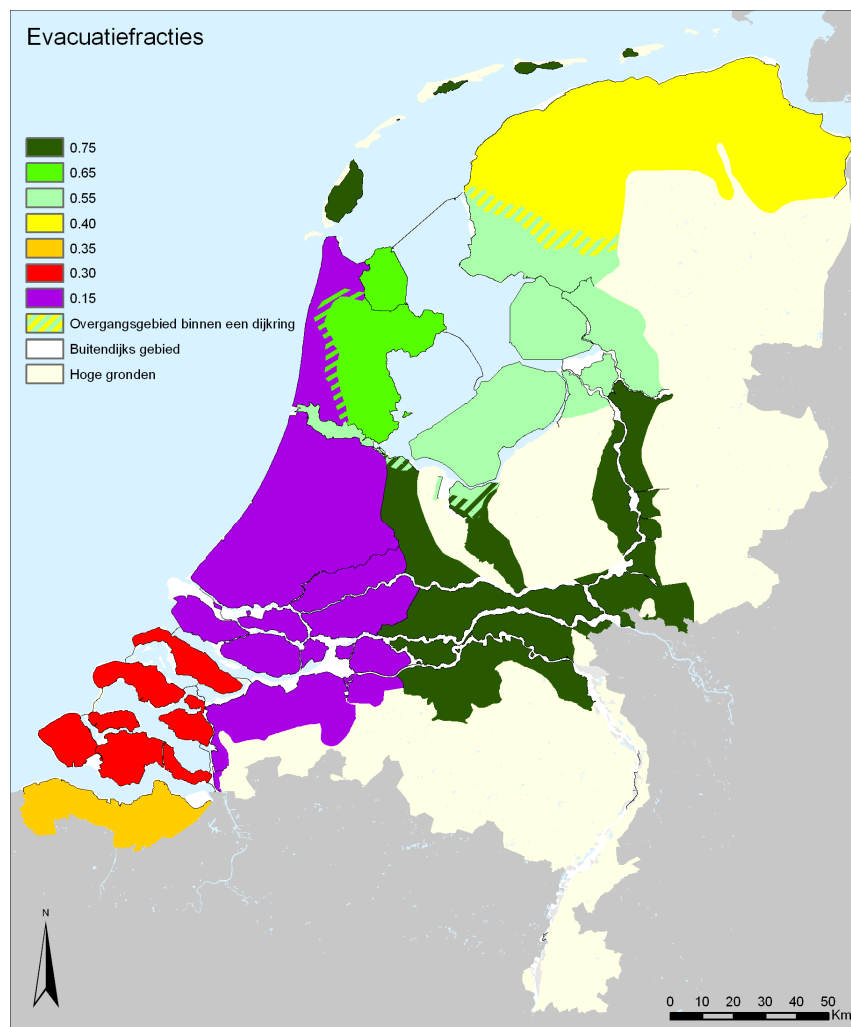
Referentie

De Bruijn, K.M. en M. van der Doef, 2011. *Gevolgen van overstromingen – Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw*. Deltares-rapport 1204144-004-ZWS-0001, 29 maart 2011.

B Overzicht van gehanteerde evacuatiefracties

Eerste schatting van evacuatiefracties (uit 2009)

In 2009 is in het kader van WV21 de studie 'Evacuatieschattingen Nederland' uitgevoerd waarin per dijkkringdeel in Nederland een verwachtingswaarde is bepaald van het percentage van de inwoners van deze gebieden dat voorafgaand aan een dijkdoorbraak het gebied kan verlaten (Zie Figuur B.1). Deze schattingen zijn in 2010 gevalideerd door de veiligheidsregio in een expertsessie¹.



Figuur B.1 Gehanteerde evacuatiefracties bij berekening van het aantal slachtoffers (Maaskant et al., 2009)

Naar aanleiding van afspraken tussen het Deltaprogramma, het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, het Ministerie van Veiligheid en Justitie en het Veiligheidsberaad (namens de veiligheidsregio's) is afgesproken deze schattingen nogmaals te bekijken en vast te stellen of de methode en invulling nog steeds een reëel beeld schetst (Veiligheidsberaad 2013). Een en ander heeft geleid tot een aangepaste set van evacuatiefracties; een addendum bovenop de eerdere studie 'Evacuatieschattingen Nederland'.

¹ Zie 'Verslag Workshop preventieve evacuatie in het kader van de Slachtofferanalyses in het kader van de Nieuwe normering waterveiligheid 9 maart 2010'.

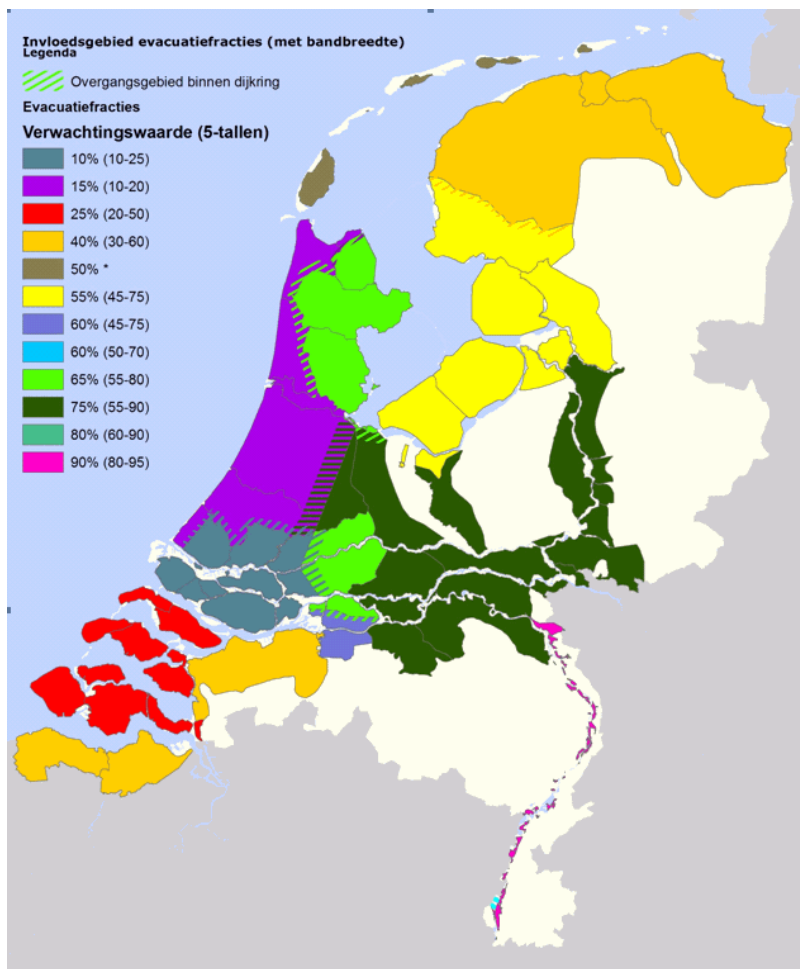
Aangepaste evacuatiefracties met bandbreedte (2013)

Gezien de onzekerheden in besluitvorming en verloop van evacuaties is tijdens de expertbijeenkomst besloten om een bandbreedte op te stellen rondom de verwachtingswaarde van de evacuatiefractie. Deze bandbreedte beoogt te benadrukken dat een evacuatiefractie niet representatief is voor een bepaald evacuatiescenario maar een gemiddelde is. De evacuatiefracties zijn specifiek bedoeld voor de inschatting van overstromingsrisico's in het kader van de normering van de primaire waterkeringen.

De bandbreedte is opgesteld op basis van expertinschattingen en is mede gebaseerd op een aantal generieke uitspraken en enkele gebied specifieke uitspraken. Twee niveaus van bandbreedtes zijn onderscheiden:

- Reële bandbreedte: bandbreedte op basis van schattingen van de experts.
- Maximale bandbreedte: bandbreedte met een extremer onderscheid in worst case en best case uitvoering van de evacuatie.

De evacuatiefracties (met hun bandbreedte) zijn getoond in Figuur B.2. In de kosten-batenanalyse en in de berekening van het LIR is gewerkt met de ondergrens van de maximale bandbreedte.



Figuur B.2 Verwachtingswaarde evacuatiefractie met schematische weergave van het invloedsgebied (Kolen et al., 2013)

Evacuatiefractie binnen de analyse van het groepsrisico

Het succes van een evacuatie is afhankelijk van een groot aantal factoren. De grootte van de evacuatiefractie is daarmee onzeker. Binnen de MKBA en LIR wordt gewerkt met één enkele waarde van de evacuatiefractie. Met de onzekerheid in deze fractie is rekening gehouden door een vrij conservatieve waarde te hanteren voor de evacuatiefractie: de ondergrens van de maximale bandbreedte. Deze ondergrens weerspiegelt een matig tot slecht verlopen evacuatie.

Binnen de analyse van het groepsrisico wordt niet met een enkele evacuatiefractie gerekend, maar wordt rekening gehouden met een hele range van meer en minder geslaagde evacuaties. De onzekerheid in de evacuatiefractie wordt in rekening gebracht door deze te beschouwen als een stochastische grootheid die verschillende waarden kan aannemen. Zo opgevat kan de onzekerheid in de evacuatiefractie worden gerelateerd aan andere onzekerheden in de analyse van het groepsrisico. In de groepsrisicoanalyse worden twee methodes gebruikt: Voor het rivierengebied wordt een gecombineerde probabilistische-deterministische methode gebruikt die rekening houdt met systeemwerking en waarin de afhankelijkheid in belasting meegenomen wordt via een hydrodynamisch model. Voor de kust en het IJsselmeergebied wordt een probabilistische methode gebruikt waarin de afhankelijkheid in sterkte en belasting meegenomen wordt in correlatiefactoren. Hieronder wordt toegelicht hoe beide methodes omgaan met evacuatie.

Evacuatiefractie bij modellering groepsrisico in Rivierengebied

In het rivierengebied wordt een Monte Carlo analyse gebruikt waarin een groot aantal mogelijke gebeurtenissen worden genanalyseerd. Voor iedere gebeurtenis worden uit een verdeling waarden getrokken voor de belasting- en sterkteparameters en voor de evacuatiefracties. Voor de evacuatiefracties wordt een waarde getrokken voor het gehele bovenrivierengebied en één voor het gehele benedenrivierengebied. Voor het overgangsgebied wordt de waarde voor het bovenrivierengebied gebruikt voor gebeurtenissen met een Rijnafvoer > 12.000 m³/s, en voor andere gebeurtenissen de waarde voor het benedenrivierengebied.

De evacuatiefracties worden getrokken uit een evacuatieboom waarin 13 mogelijkheden zijn bekeken: de beslissing tot evacuatie wordt 4, 3, 2 of 1 dag voor de evacuatie genomen en de evacuatie verloopt goed, matig of slecht. Ook is er een kans op een onverwachte overstroming. Samen geeft dit 13 gebeurtenissen ((4 * 3+1 = 13). Ook wordt er rekening gehouden met een percentage mensen dat niet wil evacueren als de overheid daartoe adviseert. Voor alle 13 gebeurtenissen is een kans bepaald en is bepaald welk percentage van de inwoners preventief geëvacueerd kan worden. De kans op de evacuatiescenario's is afhankelijk van de rivierafvoer en het functioneren van de Maeslantkering. Zo wordt de kans op een onverwachte overstroming zeer groot verondersteld als deze ontstaat door een falende Maeslantkering.

In de groepsrisicotool wordt dus gewerkt met een hele range van mogelijke evacuatiescenario's en bijbehorende evacuatiefracties. De kans op deze fractie is gecorreleerd met de rivierafvoer en het functioneren van de Maeslantkering. Deze aanpak gebruikt meer kennis over factoren die het succes van een evacuatie bepalen en past binnen de Monte Carlo analyse van het groepsrisico.

Evacuatiefractie bij modellering groepsrisico bij Kust en IJsselmeergebied

Voor de kust en het IJsselmeergebied is een probabilistische aanpak gebruikt, zoals ontwikkeld in het kader van WV21. In deze aanpak worden de trajectkans, gewogen gemiddelde slachtofferaantallen en gemiddelde evacuatiefracties gebruikt. De methode werkt in eerste instantie met gemiddelde waardes per traject. Voor het succes van een evacuatie kan het verschil maken welke breslocatie van een traject doorbreekt en of er 1 of meerdere bressen ontstaan. Ook zal het aantal slachtoffers horend bij een doorbraak afhangen van de precieze omstandigheden (bresgroei, buitenwaterstandsverloop, dag/nacht, gedrag van mensen etc.). Om rekening te houden met deze

onzekerheden, wordt een spreiding gezet op de punten in de FN curve met behulp van een exponentiele verdeling. Er wordt in de methode dus rekening gehouden met scenario's met slecht of matig verlopen evacuaties door de spreiding te zetten op de met gemiddeldes berekende waarden.

C Nadere toelichting bij trajectindeling

Overwegingen bij onderverdeling van dijkringen in trajecten

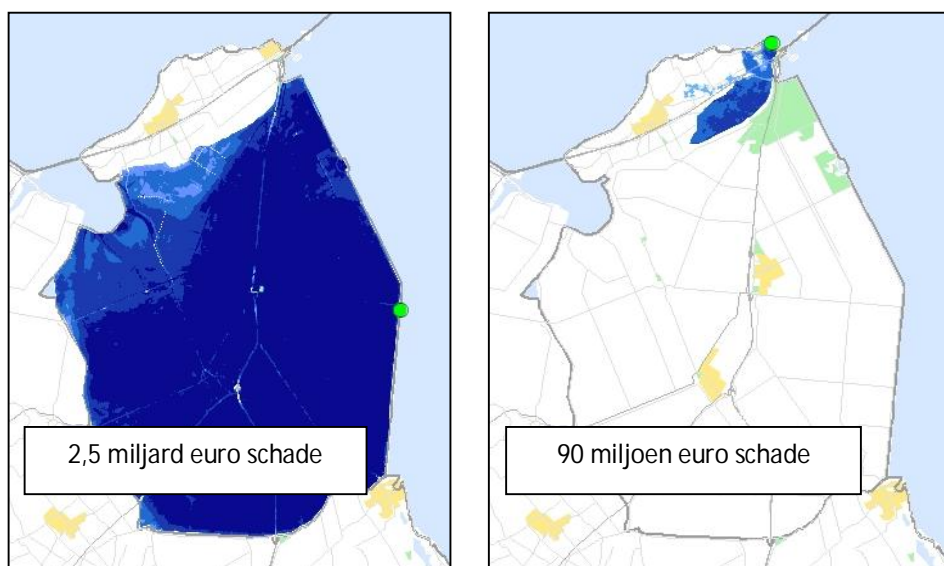
In deze technisch-inhoudelijke uitwerking is gezocht naar een geschikt ruimtelijk schaalniveau om eisen aan waterkeringen te stellen. De indeling in ringdelen zoals gehanteerd in VNK2 vormt daarbij het vertrekpunt. Binnen VNK2 zijn dijkringen onderverdeeld in gemiddeld 10 ringdelen; een aantal dijkringen in nog aanzienlijk meer ringdelen. De trajecten zijn feitelijk afgeleid uit een bundeling van aangrenzende VNK2-ringdelen.

Significante verschillen in gevolgen tussen twee aanliggende ringdelen geven aanleiding een nieuw normtraject te onderscheiden. Een belangrijke overweging bij de onderverdeling in trajecten is om de lengte van trajecten niet te veel uiteen te laten lopen. Vergelijkbare lengten van trajecten dragen bij aan een helder(der) verband tussen het geboden beschermingsniveau en de eisen aan de sterkte van de kering. Daarnaast is een aantal grotere dijkringen nog onderverdeeld in trajecten om ervoor te zorgen dat eisen aan basisveiligheid van het dijkringgebied eenduidig zijn te relateren aan de overstromingskans van keringen.

Bij het ontwikkelen van de trajectindeling is dus naar verschillende aspecten gekeken: verschil in dreiging, verschillen in de omvang van gevolgen, het overstroomd gebied bij een doorbraak en de lengte van het traject en het type kering: hard/zacht. Deze aspecten worden in deze bijlage nader toegelicht.

Verschillen in dreiging

Binnen WV21 is een eerste aanzet gegeven tot het differentiëren in eisen aan waterkeringen binnen een dijkkring. Zo'n 15 dijkringen zijn in WV21 op basis van verschillen in bedreiging, overstroomd gebied onderverdeeld in dijkringdelen. Een verdere onderverdeling van de dijkringen kan nog doelmatiger zijn, maar leek destijds niet opportuun. Zo is dijkkring Wieringen (dijkkring 12) in de MKBA van WV21 nog één dijkkring terwijl de gevolgen van dijkdoorbraken langs het voormalige eiland vele malen kleiner zijn dan langs het ingepolderde gedeelte van de voormalige Zuiderzee (zie Figuur E.1). Een onderverdeling van de dijkkring maakt hier een efficiëntere normstelling mogelijk.



Figuur C.1: Verschillen in schade bij dijkkring Wieringen, afhankelijk van breslocatie

Verschillen in de omvang van de gevolgen bij een doorbraak

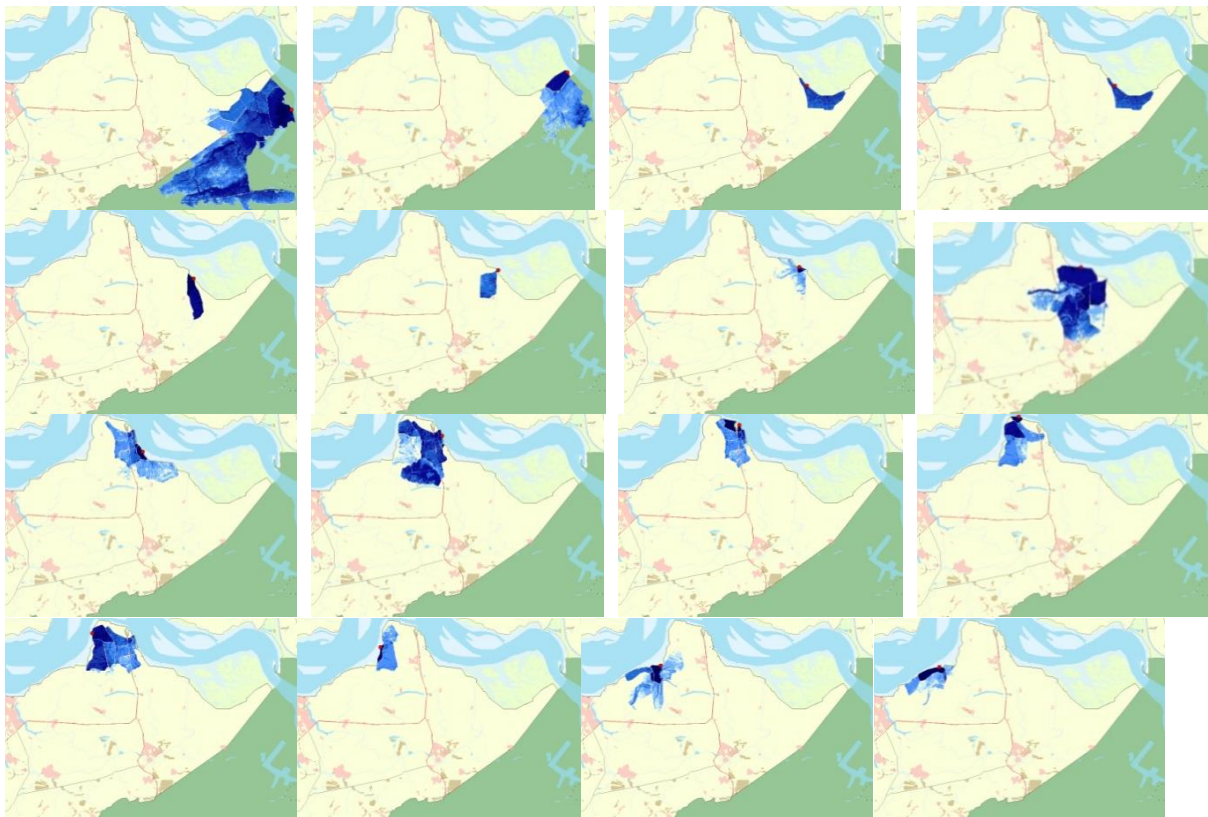
Grote verschillen in schade hebben een grote invloed op het economisch optimale beschermingsniveau zoals dat volgt uit de MKBA (in geval van gelijk veronderstelde versterkingskosten). Bij het ontwikkelen van de trajectindeling is een trajectgrens gedefinieerd wanneer bij twee aanliggende VNK2-ringdelen de economische schade bij een doorbraak meer dan een factor 5 verschilt.

Overstroomd gebied bij een doorbraak

Behalve de omvang van de gevolgen speelt ook de ligging van het getroffen gebied een rol. De relatie tussen het traject en het beschermde gebied is van belang voor een eis aan het LIR. Het LIR is een eigenschap van een locatie binnen een dijkkring. Hoe duidelijker de relatie tussen een traject en het beschermde gebied is, des te gemakkelijker en eenduidiger eisen ten aanzien van het LIR kunnen worden vertaald naar een norm voor de waterkering. Bij grote verschillen in overstroomd gebied zijn verschillende trajecten gedefinieerd.

De lengte van het traject

Om een versnipperd beeld te voorkomen, is afgezien van het onderscheiden van al te korte trajecten. Met name in de zuidwestelijke delta zou het strikt volgen van de vorige twee criteria leiden tot zeer veel kleine trajecten. In dit gebied zijn in de dijkkringgebieden veel (oude) keringen aanwezig (Figuur C.2). Hierdoor verschilt de schade en het getroffen gebied bij een doorbraak sterk langs de dijkkring. Er zijn wel clusters van ringdelen te onderscheiden waarin de gevolgen grosso modo een gelijke omvang hebben. Bij het opstellen van de trajectindeling is naar dergelijke clusters gekeken om een al te grote mate van versnippering te voorkomen.



Figuur C.2: Voorbeelden van verschillen in de getroffen gebieden in het oostelijk deel van Zeeuws Vlaanderen (dijkkring 32); maximale waterdieptes van doorbraken bij toetspeil.

Er zijn overigens ook dijkkringen die naar aanleiding van hun lengte juist zijn gesplitst in verschillende trajecten (bijv. dijkkringen 8, 9, 36, 41 en 43). Dit is gedaan op grond van een aantal praktische overwegingen. Wanneer trajecten sterk in lengte verschillen is er geen eenduidig relatie tussen de hoogte van de norm en de eisen aan de doorsnede van de dijk. Een zelfde overstromingskansnorm vergt bij een lang traject een veel zwaardere doorsnede dan bij een kort traject (het 'lengte-effect'). Wanneer bij een zelfde norm lengtes van trajecten sterk verschillen, dan leidt dat tot sterk verschillende eisen aan de doorsnede van de dijk.

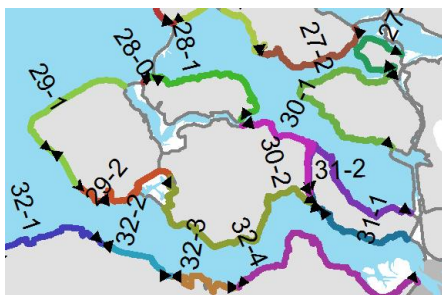
Harde/zachte kering

De zandige kust is afgezonderd in aparte trajecten. Dat is gedaan omdat de aard van deze trajecten sterk afwijkt van de harde keringen. Bovendien is de hoogwaterbeschermings-functie van de zandige kust een onderdeel binnen de kustlijn-zorg. Door voor de zandige kust aparte trajecten te definiëren kan gemakkelijker de relatie met de kustlijn-zorg worden gelegd. Hybride keringen zoals bij Scheveningen worden als een harde kering gezien.

Enkele trajecten met een speciaal karakter

Bij de ontwikkelde trajectindeling is zoals aangegeven rekening gehouden met verschillen in gevolgen. Tegelijkertijd is getracht een al te versnipperd beeld te vermijden. Voor verreweg de meeste trajecten is dit gelukt. Er is echter een beperkt aantal trajecten, waar langs het traject sprake is van een zeer grote variatie in mortaliteit en daarmee in eisen vanuit basisveiligheid. De delen met een lokaal zeer hoge mortaliteit hebben, wanneer deze worden toegerekend aan het gehele traject, een onevenredige invloed op de eisen op trajectniveau. De situatie doet zich voor bij de trajecten Capelle a/d IJssel (14-1), Vlissingen-Oost/Ritthem (29-2), Hansweert (30-2). Voor een groot deel van het traject gelden dan onnodig scherpe eisen. In deze uitwerking is de keuze gemaakt de eisen op trajectniveau te baseren op de globale gevolgen van een doorbraak in het traject. De locaties met heel sterke gevolgen worden niet in de eisen op trajectniveau betrokken. Voor deze locaties moet lokaal worden bekeken welke eisen gesteld moeten worden. Een eis aan de overstromingskans op trajectniveau laat immers aan de waterkeringbeheerder de vrijheid om op *delen* van het traject hogere eisen te stellen. In bijlage E zijn de achtergronden voor deze insteek nader toegelicht en geïllustreerd.

Bovenstaande beschouwing wordt hieronder geïllustreerd voor traject 30-2 langs de Westerschelde. Traject 30-2 loopt van de huidige grens tussen dr 29 en 30 tot aan de sluis in kanaal van Zuid-Beveland die de West- en Oosterschelde van elkaar scheidt. De trajectlengte is ongeveer 40 kilometer (zie Figuur C.3).



Figuur C.3 Ligging van traject 30-2 langs de Westerschelde

Vanwege het gecompartmenteerde karakter in dit gebied is er een grote variatie aan overstromingspatronen binnen dit traject. Deze zijn ten aanzien van economische schade niet onderscheidend. Door woonkernen direct achter delen van de kering kunnen langs het traject wel grote verschillen optreden in aantallen slachtoffers. Dit effect is terug te zien bij traject 30-2. Achter de meest westelijk gelegen 2 kilometer van dit traject ligt het dorp Hansweert waar sprake is van

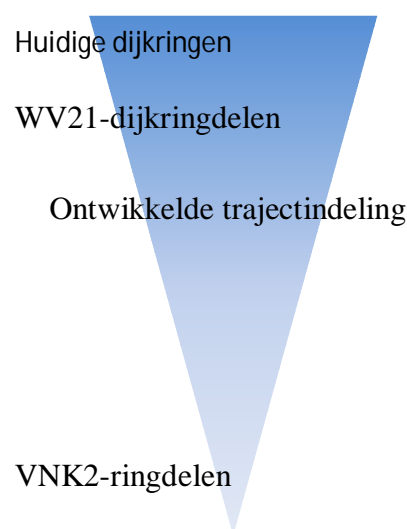
een hoge mortaliteit (diep en snel vollopende polder), waardoor potentieel meer dan 1.000 slachtoffers kunnen vallen. Ter vergelijking, bij de overige breslocaties langs het traject ligt het aantal slachtoffers tussen de 0 en 20.

Toepassing van de methode om de basisveiligheid te garanderen op traject 30-2, leidt er toe dat over het volledige traject een eis aan de kering nodig is van 1/100.000 per jaar (uitgaande van de normklassen 1-3-10). Terwijl een dergelijk strenge eis feitelijk alleen ter plaatse van Hansweert nodig is. Stel dat de eis van 1/100.000 voor het volledige traject geldt, dan wordt door het lengte-effect de eis op vakniveau nog veel strenger. Uitgaande van een gelijke bijdrage per kilometer zou de eis voor het aanleggen van een kering voor de polder bij Hansweert uitkomen op $2/40 * 1/100.000 = 1/2.000.000$ per jaar. Dit is een factor 20 strenger dan noodzakelijk om de basisveiligheid bij Hansweert te garanderen.

Daarnaast moet de rest van het traject ook op dit zeer strenge niveau worden aangelegd terwijl dat daar niet nodig is. Om de doelmatigheid sterk te vergroten kan er bij de toepassing van de methode de keuze worden gemaakt om de polder bij Hansweert buiten beschouwing te laten. De benodigde eis voor het traject 30-2 past dan veel beter bij de optredende overstromingspatronen en gevolgen die bij het overgrote deel van dit traject optreden (orde 1/1.000 tot 1/3.000 per jaar). De kering voor de polder Hansweert krijgt dan een uitzonderingssituatie, deze kering krijgt binnen het traject 30-2 een strengere eis om de basisveiligheid bij Hansweert te garanderen (1/100.000 per jaar). Binnen dit traject ligt ook nog de kerncentrale Borssele. Daar kan op gelijke wijze voor dat deel van het traject lokaal een veel strengere eis gelden (1/1.000.000) zonder dat dat tot inefficiëntie leidt voor de rest van het traject.

Ontwikkelde trajectindeling in perspectief

In Figuur C.3 is schematisch weergegeven hoe de ontwikkelde trajectindeling zich verhoudt tot de huidige dijkringen, de WV21-dijkringdelen en de VNK2-ringdelen. De ontwikkelde trajectindeling ligt in tussen die van VNK2 en WV21.



Figuur C.4 Ruimtelijke schaalniveaus: van grof (dijkkringen) naar fijn (VNK2-ringdelen).

De ontwikkelde trajectindeling doet meer recht aan de verschillen in overstromingsrisico die zich binnen en tussen dijkringen voordoen, en geeft meer uniforme lengtes van trajecten. Ten opzichte van de indeling in WV21-dijkringdelen zijn met name de grotere dijkringen in het rivierengebied verder onderverdeeld. Enkele grote dijkringen als bijv. 36 (Land van Heusden / De Maaskant) en 43

(Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) zijn onderverdeeld in vijf resp. 6 trajecten. Enkele grote kustdijkringen zoals 6, 13 en 14 waren in WV21 al opgedeeld in een aantal dijkkringdelen. Bij de ontwikkelde trajectindeling zijn enkele van die dijkkringdelen nog verder gesplitst.

Voor de kleinere dijkringen alsook de dijkringen langs de Limburgse Maas maakt de indeling in trajecten geen verschil. De ontwikkelde trajectindeling is ruwweg twee maal gedetailleerder dan de indeling in dijkkringdelen van WV21.

D Bepaling en beoordeling groepsrisico

Deze bijlage presenteert enkele achtergronden bij de bepaling en beoordeling van het groepsrisico van overstroming. Voor een uitgebreidere beschouwing wordt verwezen naar De Bruijn *et al.* (2014).

Bepaling van het groepsrisico

Bij slachtofferrisico's wordt gekeken naar het aantal dodelijke slachtoffers als direct gevolg van een overstroming. Vanuit het maatschappelijk perspectief is het van belang om te kijken naar de kans op een groot aantal slachtoffers in één overstroming. In gebieden waar veel mensen wonen of waar een groot gebied in één keer kan onderstromen, kunnen veel slachtoffers vallen. Een overstroming met een groot aantal slachtoffers heeft een grotere impact dan veel kleine(re) incidenten. Dit aspect komt tot uitdrukking in het groepsrisico.

Het groepsrisico hangt af van de overstromingskansen van de trajecten, het verwachte aantal slachtoffers per traject en de afhankelijkheden tussen overstromingskansen van de verschillende dijktrajecten. Niet alleen binnen een dijkkring zijn er meerdere overstromingspatronen met een of meerdere bressen mogelijk, ook kunnen bij een grootschalige overstroming meerdere dijkkringen tegelijkertijd overstromen. Deze kans op het gelijktijdig overstromen van meerdere dijkkringen wordt bepaald om een beeld te krijgen van het totale groepsrisico van Nederland als geheel.

Voor het rivierengebied is een (nieuwe) methode ontwikkeld voor het berekenen van het groepsrisico waarin zowel rekening wordt gehouden met de correlatie in belasting als met systeemwerking. Wanneer bij een bres water uit de rivier door de bres stroomt, zal er benedenstrooms minder water in de rivier over blijven en neemt het gevaar daar enigszins af. In het rivierengebied is systeemwerking belangrijker dan in andere gebieden, omdat de hoeveelheid water in het riviersysteem beperkt is. Het totale aantal bressen in het rivierengebied zal om die reden begrensd zijn.

Aangezien het bij het groepsrisico gaat om hoeveel slachtoffers er kunnen optreden in 1 gebeurtenis, en dit sterk afhangt van het aantal bressen, is het meenemen van systeemwerking in beginsel belangrijk. Het precieze effect van een doorbraak op de veiligheid van benedenstroomse locaties hangt echter af van vele factoren zoals het moment van breken, de bresgroeisnelheid, het bresdebiet. Deze bepalen samen het effect van systeemwerking op groepsrisico's. Dit effect van systeemwerking hangt ook af van de relatieve verschillen in faalkansen tussen trajecten langs de rivieren.

Er zijn analyses uitgevoerd zowel met als zonder systeemwerking. De berekening met systeemwerking geeft in potentie meer realistische resultaten. De analyse met systeemwerking is echter gevoeliger voor onzekerheden in data en methode. De situatie zonder systeemwerking geeft meer conservatieve resultaten welke opgevat kunnen worden als een bovengrens. Het werkelijke groepsrisico ligt naar verwachting tussen beide situaties in. Bij het afleiden van eisen aan keringen vanuit groepsrisico wordt uitgegaan van de situatie zonder systeemwerking; de afgeleide eisen zullen daarmee enigszins zijn overschat.

Het groepsrisico wordt weergegeven met een FN curve, die de kans op meer dan N slachtoffers weergeeft. Zo'n FN curve bundelt in één grafiek informatie over de kans op een gebeurtenis met meer dan 10, 100, 1000 of 10.000 slachtoffers ten gevolge van één overstroming. De oppervlakte onder de curve is gelijk aan het verwachte aantal slachtoffers per jaar.

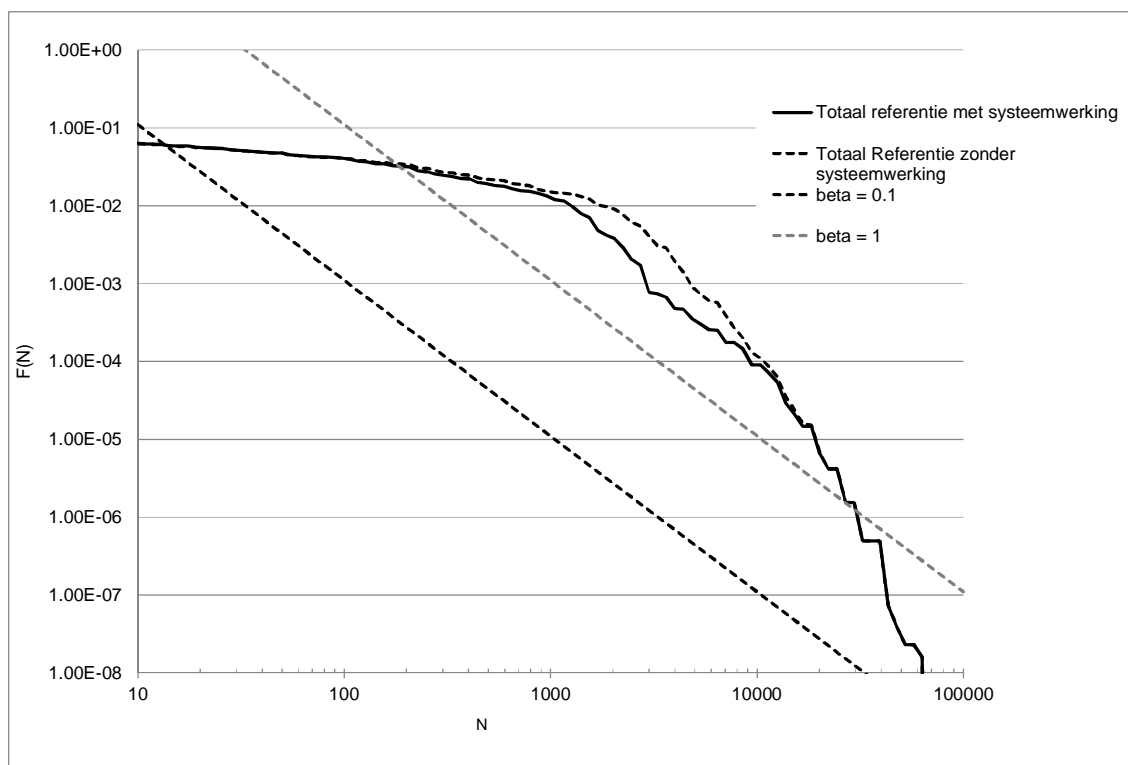
Beoordeling van risico's

De FN curves voor het overstromingsrisico worden vergeleken met mogelijke oriëntatielijnen uit het TAW-beoordelingskader uit de jaren 90. Binnen dit kader wordt een oriëntatielijijn met een kwadratische helling (recht op log-log-schaal) gebruikt. Deze oriëntatielijijn is sterk risico-avers (zie De Bruijn & Diermanse, 2013a) en wordt gehanteerd binnen het terrein van de externe veiligheid. Het is ook mogelijk te kiezen voor een minder risico-averse lijn, zoals in de VS en Australië gehanteerd bij stuwdammen. Verder zijn de indicatoren 'Jaarlijks verwacht aantal slachtoffers', en de kans op gebeurtenissen met meer dan 100, 1000 en 10.000 slachtoffers bepaald.

De hoogte van de oriëntatielijijn wordt in het TAW-beoordelingskader aangegeven met de waarde van β . De keuze voor de β is per risicotipe afhankelijk van de mate van vrijwilligheid en het voordeel dat mensen genieten bij deelname aan de risicodragende activiteit. Een waarde $\beta=1$ komt overeen met 'autorijden', $\beta=0,1$ stemt overeen met de risico's van het 'werken in een fabriek' (en de mate van vrijwilligheid daarvan zoals opgevat in de jaren 90) (De Bruijn & Diermanse, 2013). In deze uitwerking is de lijn $\beta=1$ aangehouden.

Resultaten voor de referentiesituatie

De groepsrisico's behorend bij de overstromingskansen en gevolgen van de referentiesituatie zijn getoond in Figuur D.2. Alleen de situatie zonder systeemwerking in het rivierengebied is gepresenteerd. De figuur laat zien dat de FN curve voor de referentiesituatie ver boven de $\beta = 1$ lijn uit komt. Om te voldoen aan een β -waarde dient de gehele curve onder de lijn met de betreffende waarde te liggen. Dat betekent dat in de referentiesituatie niet aan de ambitie $\beta = 1$ wordt voldaan. Dit komt met name door de relatief grote overstromingskansen van de dijkringen Alblasserwaard & Vijfherenlanden (dijkring 16), de Betuwe & TCW (dijkring 43), Kromme Rijn (dijkring 44), Gelderse Vallei (dijkring 45), en Walcheren (dijkring 29), maar ook andere trajecten dragen in belangrijke mate bij. Figuur D.1 toont een kaart met de ligging van de meest bepalende trajecten.



Figuur D.1 Groepsrisico van overstrooming in de referentiesituatie (met en zonder rekening te houden met systeemwerking) N = aantal slachtoffers, $F(N)$ is kans op een bepaald aantal slachtoffers



Figuur D.2 Indicatie van de ligging van de meest bepalende trajecten voor het groepsrisico in de referentiesituatie (situatie zonder systeemwerking)

Eisen vanuit het landelijk groepsrisico

Vanuit het perspectief van normering is bij het groepsrisico sprake van een 'prestatie-eis' voor het geheel van *alle* primaire keringen. Zo'n landelijke prestatie-eis laat vrijheid op welke manier precies aan de eis wordt voldaan. In beginsel zijn er twee aangrijpingspunten om het groepsrisico te reduceren: het verkleinen van de overstromingskansen of het beperken van de gevolgen. Deze uitwerking is gericht op het normeren van overstromingskansen van trajecten en daarmee op het verkleinen van overstromingskansen. Voor de beoordeling van groepsrisico wordt uitgegaan van het TAW-beoordelingskader met een oriëntatielijn $\beta=1$.

Uit de analyse van het groepsrisico in de referentiesituatie blijkt dat het centrale rivierengebied en de zuidelijke kust regio's het meest bijdragen aan het groepsrisico. In die gebieden zijn de overstromingskansen in de referentiesituatie zeer hoog, zeker in verhouding met het aantal potentiële slachtoffers bij een dijkdoorbraak.

Redeneerlijnen voor invulling van eisen vanuit groepsrisico

In De Bruijn *et al.* (2014) is een aantal potentiële redeneerlijnen verkend om invulling te geven aan eisen aan keringen vanuit het perspectief van het groepsrisico.

- A: Overstromingskansen op basis van slachtofferaantallen, waarbij de relatie tussen kansen en slachtofferaantallen zo gelegd is dat de landelijke groepsrisicocurve onder het maximum te tolereren niveau komt te liggen;
- B: Uitgaande van de referentiesituatie zijn steeds de meest bepalende dijktrajecten versterkt totdat het groepsrisico onder het maximum te tolereren niveau ligt;
- C: Uitgaande van de economisch optimale kansen, zijn steeds de meest bepalende dijktrajecten versterkt totdat het groepsrisico onder het maximum te tolereren niveau ligt.
- D: Uitgaande van de kanseisen gebaseerd op het LIR, is het Groepsrisico berekend. Er is verder niet onderzocht wat de meest bepalende dijktrajecten zijn.
- E: Uitgaande van de strengste van de MKBA en LIR eis, zijn steeds de meest bepalende dijktrajecten versterkt totdat het groepsrisico onder het maximum te tolereren niveau ligt; 'hot spot'-benadering

De meest bepalende trajecten zijn de trajecten die het meest bijdragen aan de overschrijding van de oriëntatielijn $\beta = 1$. Ze worden dus bepaald op basis van hun bijdrage aan het gedeelte van de FN curve dat boven deze lijn ligt.

In deze paragraaf worden de redeneerlijnen A en E kort toegelicht. De toelichting over de overige redeneerlijnen is te lezen in de Bruijn *et al.* (2014).

Redeneerlijn A: gelijke gevolgen, gelijke kansen

De eis aan de overstromingskans van ieder traject is gebaseerd op het potentiële aantal slachtoffers (inclusief evacuatie) bij doorbraak van dat normtraject. Hierbij is geen rekening gehouden met de ligging van het normtraject in Nederland. Deze redeneerlijn is zeer eenvoudig, eenduidig en goed uitlegbaar. Een nadeel van deze redeneerlijn is dat de overstromingskans van een individueel traject niet direct gebaseerd is op de bijdrage van dat normtraject aan het landelijke groepsrisico.

Bij deze optie wordt het eerste deel van de FN-curve (zie Figuur D.2) tot ongeveer 200 slachtoffers bepaald door het rivierengebied en de rest van de curve door de kustgebieden. Voor de meeste trajecten zijn de eisen vanuit MKBA/LIR scherper dan de eisen vanuit beheersing van groepsrisico. Bij trajecten met meer dan 1000 slachtoffers in de referentiesituatie en bij trajecten waar versterking relatief duur is, zijn de eisen vanuit groepsrisico scherper. Het betreft trajecten in het benedenrivierengebied (zie ook Tabel D.1). Het gaat om enkele trajecten van dijkkring 14 (Zuid-Holland) en Rozenburg alle gelegen langs de Nieuwe Waterweg, enkele trajecten langs de Alblasserwaard, een deel van Voorne Putten en het Eiland van Dordrecht.

Tabel D.1 Normtrajecten waarbij de eis vanuit groepsrisico bij redeneerlijn A scherper is dan de MKBA/ LIR-eis

Traject	Naam	Slachtoffers*	1/Overstromingskans (in jaar)		
			Referentie	MKBA	Groepsrisico (licht)
14_1	Zuid-Holland - Nieuwe Waterweg - Oost	2798	30.000	10.000	100.000
14_2	Zuid-Holland - Nieuwe Waterweg - West	489	120.000	3.000	30.000
14_9	Zuid-Holland – Kust 7	512	2.015	10.000	30.000
16_1	Alblasserwaard-Merwede	1946	3000	30.000	100.000
16_2	Alblasserwaard-Merwede/Noord/Lek	1773	1000	10.000	100.000
19_1	Rozenburg	1385	7.000	10.000	100.000
20_3	Voorne-Putten 3	794	200	10.000	30.000
22_2	Eiland van Dordrecht 2	341	350	3.000	30.000
29_2	Walcheren 2	1721	900	10.000	100.000
30_2	Zuid-Beveland West 2 (Hansweert)	337	500	1.000	30.000
31_1	Zuid-Beveland Oost 1	345	1.200	3.000	30.000
31_2	Zuid-Beveland Oost 2	101	300	1.000	3.000

*Slachtoffers op basis van verwachtingswaarde voor de evacuatiefractie

Redeneerlijn E: 'hot spot'-benadering

In redeneerlijn E is uitgegaan van overstromingskansen behorend bij de strengste eisen vanuit MKBA en LIR. Deze situatie levert een groepsrisico op dat net onder de oriëntatielijn van $\beta = 1$ uit komt. Het zuidelijk kustgebied draagt het meest bij aan het groepsrisico, maar ook de bijdrage van het riviereengebied is sterk bepalend.

De eisen vanuit economische doelmatigheid en groepsrisico zullen vaak parallel lopen: het gaat om gebieden waar veel mensen wonen en veelal ook veel schade optreedt. Echter, wanneer de kosten van dijkversterking erg hoog zijn of wanneer wel veel schade optreedt maar nauwelijks slachtoffers vallen, dan kunnen de eisen vanuit economisch doelmatigheid en groepsrisico behoorlijk verschillen. De eisen van uit het LIR zijn alleen afhankelijk van het overstromingspatroon (waterdiepten en stijgsnelheden) en niet van het aantal inwoners. De eisen vanuit het LIR kunnen dan ook sterk afwijken van die van het groepsrisico. Het perspectief van groepsrisico heeft daarom aanvullende inzichten opgeleverd ten aanzien van de eisen vanuit basisveiligheid en/of economische doelmatigheid. De zes trajecten die de grootste bijdrage hebben zijn gekenmerkt als 'hot spot' – gebieden (Tabel D.2).

Tabel D.2 Overzicht van de meest bepalende trajecten voor het groepsrisico wanneer de strengste van LIR/MKBA eis wordt doorgevoerd (4 = meest bepalend, 3 = zeer bepalend, 2 = bepalend, 1 = matig bepalend)

Traject	Naam	Slachtoffers	Strengste MKBA/LIR (jaar)	Bijdrage prox1*	Bijdrage GR tool**	Eindoordeel bijdrage
16-2	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden - Merwede/Noord/Lek	1773	10.000	314	3	4
14-1	Zuid-Holland - Nieuwe Waterweg - Oost	2798	30.000	261	3	4
19-1	Rozenburg	1385	30.000	64	nvt	3
20-3	Voorne-Putten 2	794	10.000	63	2	3
22-2	Eiland van Dordrecht 2	341	3000	39	2	2
29-2	Walcheren 2	1721	100.000	30	nvt	2
14-2	Zuid-Holland - Nieuwe Waterweg - West	489	10.000	24	2	2
15-2	Lopiker-en Krimpenerwaard - West	262	3000	23	2	2
8-3	Flevoland 3	251	3000	21		2
16-3	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden - Lek-West	674	30.000	15	1	1
14-5	Zuid - Holland - Kust 3	609	30.000	12	Nvt	1
14-9	Zuid-Holland - Kust 7	512	30.000	9	Nvt	1
27-2	Tholen en St. Philipsland 2	282	10.000	8	nvt	1
44-1	Kromme Rijn - Rijn	379	30.000	5	1	1
16-1	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden - Merwede	1946	30.000	126	1	1

*Deze bijdrageproxi is berekend als de kans maal het aantal slachtoffers bij doorbraak in kwadraat.

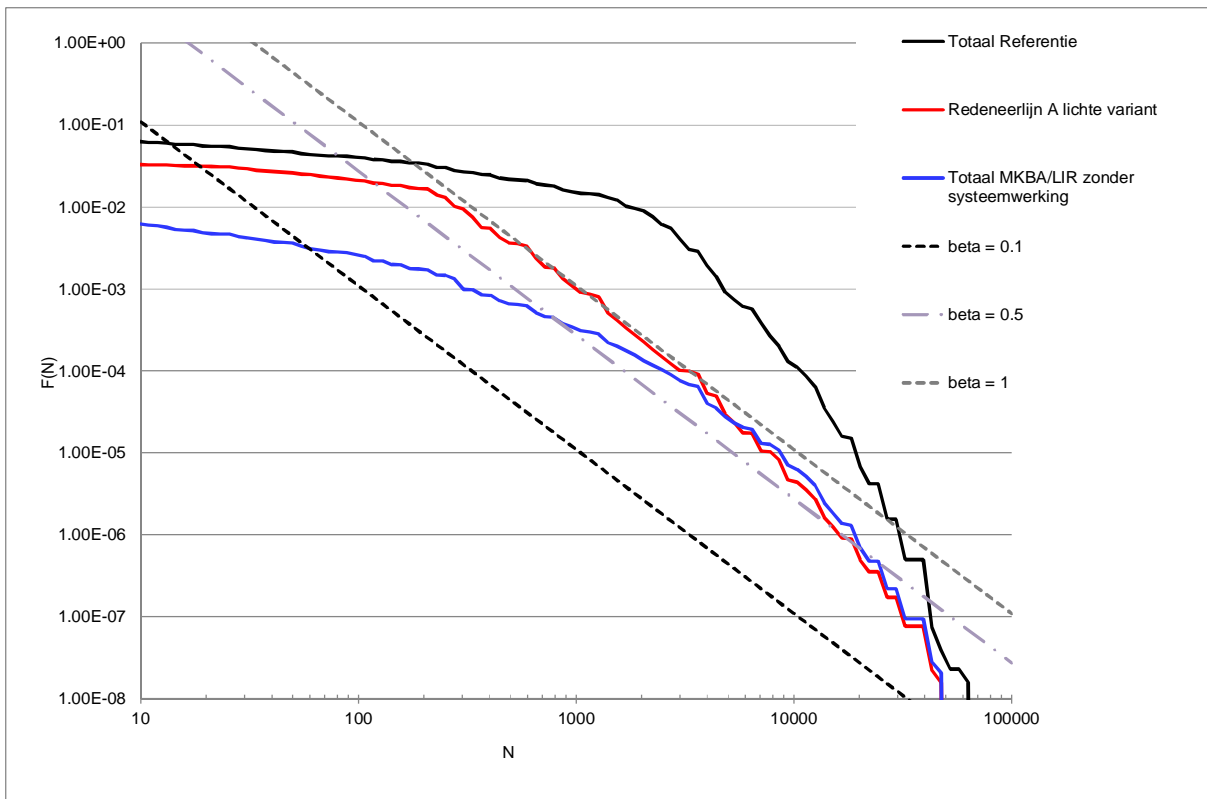
**Voor het rivierengebied is de bijdrage aan het risico ook bepaald op basis van de groepsrisicotool uitkomsten (belangproxi, zie H3), voor de kustgebieden is deze tool niet van toepassing.

FN-curve voor redeneerlijnen A en E

De FN-curves voor de redeneerlijnen A en E zijn beide, tezamen met de curve voor de referentiesituatie, getoond in Figuur D.3. De beide curves hebben alle twee een vergelijkbare C-waarde, maar verschillen toch significant. De kans op gebeurtenissen met meer dan 2000 á 4000 slachtoffers is in beide situaties ongeveer gelijk. Dit is het bepalende traject voor de C-waarde (en de oriëntatielijn met $\beta = 1$). De verschillen tussen de groepsrisicocurve van de beide varianten is het grootst in het traject tot 2000 slachtoffers.

De curve horend bij redeneerlijn A (gelijke slachtofferaantallen, gelijke kansen) ligt het hoogst in dat traject. Het jaarlijks verwacht aantal slachtoffers, welke bepaald wordt door met name het eerste deel van de curve, is voor deze variant dan ook het grootst. De redeneerlijn A stelt relatief soepele eisen aan trajecten met kleine slachtofferaantallen, waardoor overstromingen met kleine aantallen slachtoffers vaker voorkomen dan bij redeneerlijn D.

Redeneerlijn E kent de strengste kanseisen en leidt dan ook tot de laagste FN-curve. Met name de kansen in de regio's noordelijke kust, IJsselmeergebied en het bovenrivierengebied zijn in normoptie E scherper dan in redeneerlijn A.



Figuur D.3 FN-curves voor groepsrisico bij redeneerlijnen A (lichte variant is de variant die toewerkt naar de lijn $\beta = 1$) en E (=MKBA/LIR) en de referentiesituatie; alle curves zonder systeemwerking

E Achtergronden bepaling LIR

Methodische verschillen WV21

In vergelijking met de WV21-methode om LIR-waarde per buurt te berekenen zijn enkele onderdelen in de procedure gewijzigd. De vernieuwde methode is transparanter, beter te verifiëren en robuuster te berekenen. Ook is de methode aan de hand van het doel van de maat beter uit te leggen.

De WV21-methode en de technisch-inhoudelijke uitwerking verschillen op de volgende punten:

WV21	Technisch-inhoudelijke uitwerking DPV 2.2
Bepaling van mediaan per buurt van waterdiepte en stijgsnelheidsgrid	Bepaling van mediaan per buurt van 'gewogen' mortaliteit per normtraject
In de procedure worden hoge resolutie grids (25x25 of 50x50) op een onduidelijke manier naar 100x100 m grids 'geresampled'.	De meeste simulaties zijn in de basis 100x100 m. Resampling is niet nodig. Voor 'oude' simulaties worden hoge resoluties bewaard, waardoor geen artefacten ontstaan.
Bepaling van mediaan per buurt is variabel ten aanzien van het 'meenemen' van het niet overstroomde deel van de buurt. Dit is niet gedocumenteerd in WV21 en daardoor niet eenvoudig reproduceerbaar.	Voor elke buurt wordt alleen voor het overstroomde deel van de buurt een mediane LIR-waarde bepaald.

Methode voor LIR-bepaling voor Technisch-inhoudelijke uitwerking

Vorbereiding

Per dijkkring wordt een buurtenbestand gemaakt. De buurten zijn identiek aan de in WV21 gebruikte dataset (buurtenindeling 2008).

De watercategorieën uit het LGN5-bestand hebben een buffer van 100 m gekregen. Het resultaat is gebruikt om de meren en plassen ('permanent water') dat vaak nog aanwezig is in de nieuwe overstromingssimulaties uit de buurtvlakken te knippen. Dit zorgt ervoor dat waterdiepten en stijgsnelheden in dit permanente water niet ten onrechte worden meegenomen in de mediaanbepaling per buurt.

Stap 1 - berekenen mortaliteitsgrids

Stap 1a: berekenen mortaliteit per pixel

Voor elke simulatie behorende bij een dijkkring en een normtraject wordt de mortaliteit per pixel berekend. Deze wordt als grid opgeslagen. Voor elke pixel met een geldige waarde in het waterdieptebestand wordt een mortaliteit berekend. Een geldige waarde is waterdiepte ≥ 0 . Voor elke geldige waarde in het waterdieptebestand is er ook een waarde in het stijgsnelheidsbestand.

Stap 1b: berekenen maximale mortaliteit per pixel

Voor alle simulaties behorende bij een normtraject wordt op basis van de grids in stap 1 de maximale mortaliteit per pixel berekend. Het resultaat wordt in de volgende stap gebruikt als "omhullend" scenario.

Stap 2 - weging van mortaliteitsgrids

De beschikbare mortaliteitsgrids worden gewogen op pixelniveau. De mortaliteitsgrids behorende bij 'toetspeil' worden eerst vermenigvuldigd met de conditionele kans. De conditionele kans is afhankelijk van de verhouding lengte brestraject (VNK: ringdeel) en normtraject. Deze conditionele kansen sommeren voor een bepaald normtraject tot 1.

Vervolgens wordt de set met mortaliteitsgrids behorende bij 'toetspeil' vermenigvuldigd met 0,6 (of 0,8) en het grid met de maximale mortaliteit per pixel (resultaat stap 1b) vermenigvuldigd met 0,4 (of 0,2). Vervolgens wordt per pixel de waarde gesommeerd.

Aleen voor die pixels die een mortaliteit van 0 of meer hebben wordt deze weging uitgevoerd. De overige pixels (die niet overstroomd) hebben de waarde 'nodata'.

Het resultaat van stap 2 is een waarde per gridcel en kan beschouwd worden als de kaart met ruwe 'gewogen' mortaliteit. Deze kaart geeft inzicht in de plekken waar mogelijk een hoge mortaliteit kan optreden als gevolg van overstroming.

Stap 3: mediaanbepaling per buurt

Stap 3a: bepaling mediaan per buurt per normtraject (kaart)

Om het LIR mee te kunnen nemen in het normvoorstel moet er een relevante waarde van de 'gewogen' mortaliteit per buurt per dijkkring worden bepaald. Het resultaat van stap 2 wordt geconfronteerd met het gecorrigeerde buurtenbestand (zie voorbereiding). Voor elke buurt wordt bepaald wat de mediane waarde van de 'gewogen mortaliteit' is.

Omdat de mediane waarde het middelste getal is van een lijst getallen is het belangrijk om te besluiten of pixels in een buurt waar geen mortaliteit voor is berekend wel of niet meedoen in de mediaanbepaling. Hier is besloten om de pixels in een buurt zonder mortaliteit (mortaliteit = 0 of nodata) uit te sluiten in de mediaanbepaling. De consequentie is dat hier de mediane waarde van de 'gewogen' mortaliteit voor het overstroomde deel van de buurt is bepaald. De uitvoer van deze stap is een grid.

Stap 3b: opslaan mediaan per buurt per dijkkring (tabel)

Voor elke dijkkring wordt uiteindelijk per normtraject de mediane waarde per buurt (zoals bepaald in stap 3a) in een excel-tabel opgeslagen. Deze excel-tabel is invoer voor de tabellen om de normeisen te bepalen.

F Aanpak afleiden economisch optimale beschermingsniveau

Voor het afleiden van eisen aan keringen vanuit het perspectief van economische doelmatigheid is gebruik gemaakt van een directe schattingsmethode om economisch optimale overstromingskansen te berekenen. Deze directe schattingsmethode geeft in de meeste gevallen een goede benadering van de indicator die in de KBA WV21 is gebruikt als voorstel voor een nieuwe toetsnorm, namelijk de middenkans. Het voordeel van de directe schattingsmethode is dat het resultaat snel en eenvoudig is te berekenen met andere data zonder dat opnieuw een complete optimalisatie met het gehele model moet worden uitgevoerd.

Eijgenraam (2009a) geeft de definitie van de middenkans in een bepaald jaar ($P^{\text{midden}}(t)$). In deze definitie wordt het daarvoor meest geschikte niveau van de verwachte overstromings-schade ($S^{\text{midden}}(t)$) gedeeld door de schade bij overstromen in dat jaar ($V(t)$):

$$(1) \quad P_t^{\text{midden}} \equiv \frac{S_t^{\text{midden}}}{V_t}, \quad \text{voor } t \geq 0$$

Deze formule is niets anders dan de bekende formule voor verwachte schade (risico) als kans maal gevolg: $S(t) = P(t) \cdot V(t)$.

S_t^{midden} is gedefinieerd als het logaritmisch gemiddelde van de verwachte schade direct voor en na de eerstvolgende investering na tijdstip t :

$$(2) \quad S_t^{\text{midden}} \equiv \frac{s_k - S_k}{\ln(s_k) - \ln(S_k)}, \quad \text{voor } t \in [t_{k-1}, t_k) \text{ en } k = 1, 2, \dots$$

In (2) is t_k het k -de optimale moment van investeren (met $t_0 \equiv 0$), s_k is de verwachte schade onmiddellijk voorafgaand aan investeren op tijdstip t_k en S_k is de verwachte schade onmiddellijk na investeren op tijdstip t_k .

Formule (2) kan ook anders worden opgeschreven. Op een optimaal moment van investeren moet voldaan zijn aan de voorwaarde voor het eerstejaarsrendement. Dit betekent dat de onmiddellijke verbetering van de jaarlijkse verwachte schade als gevolg van de investering – d.i. de teller van (3) – groter of gelijk moet zijn aan de investeringskosten omgerekend naar een jaarlijks bedrag:

$$(3) \quad S_t^{\text{midden}} \equiv \frac{s_k - S_k}{\ln(s_k) - \ln(S_k)} = \frac{\delta I(u_k)}{\ln(s_k) - \ln(S_k)}$$

Hierbij is δ de disconteringsvoet en $I(u_k)$ zijn de investeringskosten van de optimale versterkingsactie u_k . De noemer geeft de verbetering zelf weer, vermenigvuldigd met twee parameters:

$$(4) \quad S_t^{\text{midden}} \equiv \frac{s_k - S_k}{\ln(s_k) - \ln(S_k)} = \frac{\delta I(u_k)}{(\alpha - \zeta)u_k}$$

α is de parameter van de exponentiële kansverdeling van de waterstand, waarbij ζ gelijk is aan de zogenaamde nepereringshoogte (dijkversterking die de overstromingskans met een factor e doet dalen) en ζ is de toename van de schade door versterking van de waterkering (een hogere dijk kan leiden tot een hogere waterdiepte en dus een grotere schade in het achterliggende gebied). Formule (4) is exact voor een optimale investering voor 1 traject. Als er meer dan 1 traject per dijkkring(deel) is, dan is de u_k in de noemer een gewogen gemiddelde van de u_k 's van alle trajecten.

Formule (4) maakt duidelijk dat de middenkans, afgezien van twee technisch gegeven parameters, alleen afhankelijk is van (i) de schade bij overstromen, (ii) de kosten van een optimale veiligheidsverbetering en (iii) de disconteringsvoet. Naarmate investeringen duurder zijn, wordt het optimale niveau van de verwachte schade (en daarmee de economisch optimale overstromingskans) groter.

Eijgenraam (2009a) geeft meerdere mogelijkheden om de middenkans te benaderen. De directe schattingsmethode gebruikt daarvan de volgende met formule (4) als vertrekpunt. Deze benadering is gebaseerd op de ervaring dat de gemiddelde investeringskosten $I(u)/u$ redelijk constant zijn in de buurt van de optimale waarde u_k . Empirische resultaten voor rivierdijken met globale investeringsfuncties (via Optimalisering) laten zien dat de optimale dijkverhoging daar ongeveer gelijk is aan de decimeringshoogte h_{10} ("dijkverhoging waarmee de overstromingskans een factor 10 kleiner kan worden gemaakt"). Als we verder veronderstellen dat $\zeta \approx 0$ (de waarde van deze parameter is over het algemeen klein), dan kunnen we de middenkans benaderen door:

$$(5) \quad P_t^{midden} \equiv \frac{S_t^{midden}}{V_t} \approx \frac{\delta I(h_{10})}{\alpha h_{10} V_t} = \frac{\delta I(h_{10})}{\ln(10)V_t}, \quad \text{voor } t \geq 0$$

In formule (5) representeert $I(h_{10})$ de investeringskosten van van een decimeringshoogte h_{10} . Benaderingsformule (5) heeft als voordeel dat er, met uitzondering van de door het kabinet vastgestelde disconteringsvoet, geen enkele modelparameter of uitkomst in voorkomt. Voor een discontovoet van 5,5% is $\delta / \ln(10)$ gelijk aan 1/42.

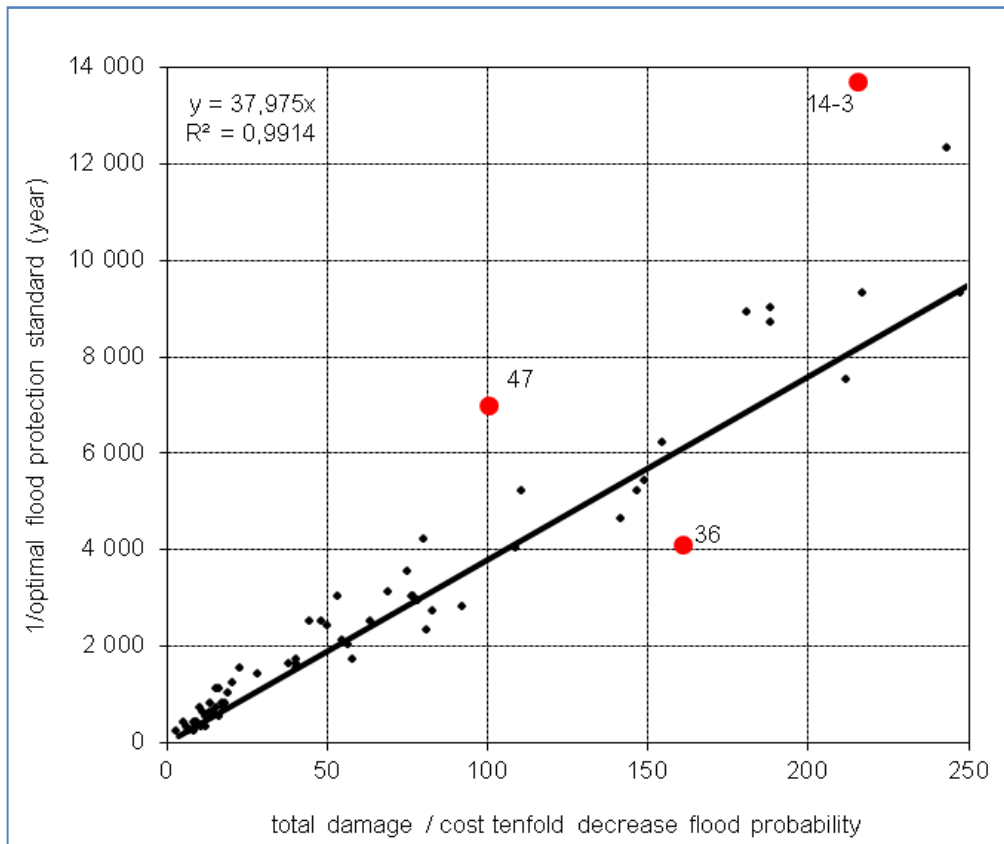
In de directe schattingsmethode wordt wel gebruik gemaakt van de veronderstellingen dat de gemiddelde kosten redelijk constant zijn in de buurt van een optimale verhoging en ook dat die verhoging in de buurt ligt van een decimeringshoogte. De coëfficiënt is echter niet afgeleid zoals in (5) maar empirisch geschat op basis van de uitkomsten uit de MKBA WV21 berekend met het model *OptimaliseRing*. In onderstaande figuur (Kind, 2013) zijn voor een aantal dijkringen de (reciprokes van de) middenkansen voor het jaar 2050 uit de MKBA WV21 afgezet tegen de schade bij overstromen in 2050 gedeeld door de investeringskosten van een decimeringshoogte. Het in de figuur F.1 getekende geschatte verband is:

$$(6) \quad \frac{1}{P_{2050}^{midden}} = a \frac{V_{2050}}{I(h_{10})}, \quad \text{met } a = 38.$$

Dit verband kan ook als volgt worden geschreven:

$$(7) \quad P_{2050}^{midden} = \frac{1}{38} \frac{I(h_{10})}{V_{2050}}.$$

Dat de geschatte coëfficiënt ongeveer 10% hoger uitkomt dan de eerder theoretisch afgeleide $1/42$, spoot goed met het feit dat in de praktijk $\zeta \approx 0,1\alpha$ vaak een veel betere benadering is dan de eerder gebruikte veronderstelling $\zeta \approx 0$.



Figuur F.1 Verband tussen economisch optimaal beschermingsniveau en de verhouding tussen gevolgen en de kosten van 10 maal veiliger (op basis van Kind, 2013)

De figuur maakt duidelijk dat de schattingsmethode voor de meeste dijkringen een goede benadering geeft van de optimale overstromingskans zoals die volgt uit *OptimaliseRing*. Voor enkele dijkringdelen kunnen echter aanzienlijke verschillen bestaan tussen de uitkomst van de directe benadering en die van *OptimaliseRing* (tot bijna een factor 2). De meest in het oog springende verschillen zijn er voor de dijkringdelen 47, 36 en 14-3. Het economisch optimaal beschermingsniveau is in deze technisch-inhoudelijke uitwerking gebaseerd op formule (3), ook voor dijkringen die ten opzichte van de eerdere uitkomsten uit de MKBA WV21 niet opnieuw zijn opgedeeld. Voor deze dijkringen leidt dit tot iets andere uitkomsten dan die uit de MKBA.

G Achtergronden bij normen voor duinenkust

Deze bijlage geeft enige achtergronden bij de huidige eisen aan duinen en hoe deze getoetst worden. Daarnaast worden in de bijlage de stappen toegelicht bij het bepalen van de kosten om de faalkans een factor 10 te verkleinen. Tevens worden enkele gevoeligheidsanalyses besproken die zijn uitgevoerd voor de uitgangspunten bij de kostenschattingen

De bijlage wordt afgesloten met twee overzichten in tabelvorm

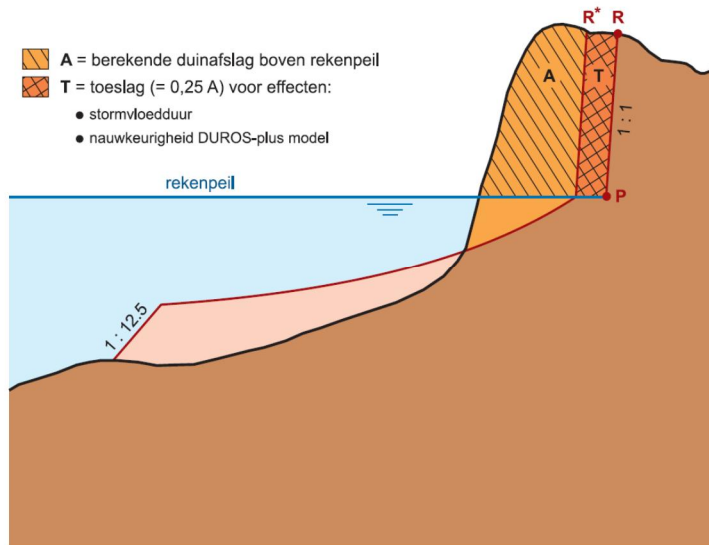
- Bijlage G.1: Overzicht afgeleide normhoogten voor de duinenkust
- Bijlage G.2: Gevoeligheid resultaten economisch optimale overstromingskans

Huidige eisen aan en toetsing van duinen

In de Waterwet (2009) staat beschreven dat een kering de waterstand bij de normfrequentie veilig dient te keren. De waterstand die hoort bij de normfrequentie wordt het ontwerppeil genoemd. Voor dijkkringgebieden langs de Hollandse Kust (dijkring 13 en 14) is het ontwerppeil gelijk aan de waterstand met een gemiddelde overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar. Van de andere dijkkringgebieden die aan zee grenzen en waarbij duinen als waterkering voorkomen, geldt een gemiddelde overschrijdingskans van 1/2.000 of 1/4.000 per jaar.

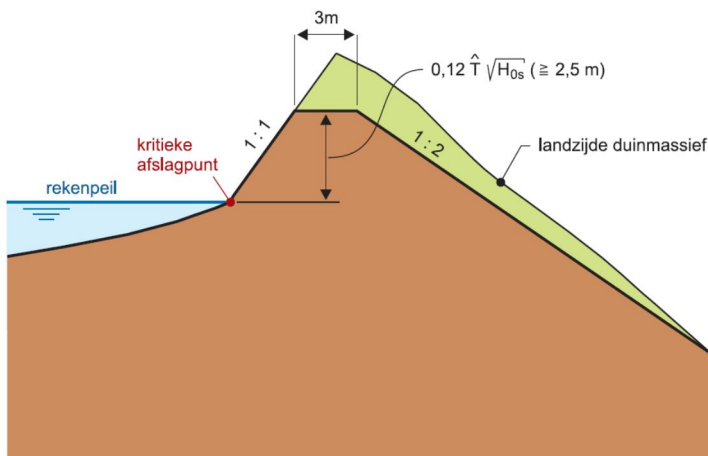
Bij de zes-jaarlijkse toetsing wordt duinafslag berekend onder maatgevende omstandigheden. Dit wordt de maatgevende duinafslag genoemd. Er wordt getoetst of er landwaarts van het maatgevende afslagprofiel, nog een restprofiel in stand blijft dat een feitelijke doorbraak van de kering en daarmee een overstroming van het achterland voorkomt. De kans op deze maatgevende duinslag is ongeveer een factor 10 kleiner dan de gemiddelde jaarlijkse overschrijdingskans van het ontwerppeil en kan worden opgevat als toelaatbare doorbraakkans. Afhankelijk van de dijkkring varieert de toelaatbare doorbraakkans bij de huidige normen van 1/20.000, 1/40.000 tot 1/100.000 per jaar.

De maatgevende omstandigheden waarbij de duinafslag wordt bepaald bestaan uit een aantal hydraulische randvoorwaarden op diep water (-20 m+NAP), namelijk (1) het rekenpeil (waterstand gelijk aan het ontwerppeil + 2/3 keer de decimeringshoogte), (2) de significante golfhoogte (de verwachtingswaarde van de golfhoogte bij het rekenpeil) en (3) de piekgolfperiode (de verwachtingswaarde van de piekperiode bij de significante golfhoogte). Uitgaande van een gemeten kustprofiel en de korreldiameter van het duinzand wordt met deze hydraulische randvoorwaarden de duinafslag berekend met een empirisch duinafslagmodel (Duros+). De berekende duinafslag plus een toeslag van 25% voor de onzekerheid in de stormduur en de onzekerheid in het afslagmodel levert de zogenaamde maatgevende duinafslag, zie Figuur H1.



Figuur G.1 Schematische weergave van het maatgevend duinafslagprofiel in een kustprofiel, met daarin het afslagpunt R^* , toeslag T en het maatgevende afslagpunt R . Bron: WL | Delft Hydraulics et al. (2007).

Een duinprofiel wordt veilig genoemd (en goedgekeurd tijdens de toetsing), indien landwaarts van het maatgevende afslagpunt R (zie Figuur G.2) nog minimaal een bepaald restprofiel blijft staan. Figuur G.2 geeft de afmetingen van het duinprofiel dat boven het rekenpeil tenminste aanwezig moet zijn.



Figuur G.2 Het restprofiel van het duin dat landwaarts van het kritieke afslagprofiel nog aanwezig moet zijn in het duinprofiel. Bron: WL | Delft Hydraulics et al. (2007).

Toelichting op bepaling van kosten om de faalkans met een factor 10 te verkleinen

Bij het bepalen van de investeringskosten om de faalkans van een traject met een factor 10 te verkleinen zijn vier stappen doorlopen.

Stap 1. Keuze voor een duinprofiel in het normtraject

Per normtraject is per VNK2 ringdeel een duinprofiel (een kustraai) geselecteerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van de jaarlijkse kustmetingen (JARKUS) uit 2011. De investeringskosten om het geselecteerde duinprofiel een factor 10 te versterken is als basis gebruikt om de investeringskosten van het normtraject te bepalen. Belangrijk uitgangspunt daarbij is dat het beschouwde duinprofiel representatief is voor het te versterken deel van het normtraject.

Om de gevoeligheid van de norm voor de profielkeuze te verkennen zijn twee duinprofielen geselecteerd, namelijk (1) een gemiddeld duinprofiel, en (2) een relatief zwak profiel. Het relatief zwakke profiel is een profiel met een relatief hoge faalkans. Het gemiddelde duinprofiel is het duinprofiel waarvan de faalkans dicht bij de mediane faalkans van de profielen binnen het ringdeel ligt. Er is hiervoor gebruik gemaakt van faalkansberekeningen voor alle raaien langs de Nederlandse kust (bepaald met het probabilistische model PC-Ring², zie Vuik & Van Balen [2012]).

De economisch optimale overstromingskans is aan de hand van de investeringskosten op basis van beide duinprofielen afgeleid. Wanneer de kosten om de faalkans een factor 10 te verkleinen sterk verschillen tussen een relatief zwak profiel en een gemiddeld profiel, leidt dit tot een groot verschil in de berekende economisch optimale overstromingskans. In dat geval is de economisch optimale norm gebaseerd op de strengste van de twee.

Stap 2. Bepalen van de ingreep om de faalkans van een duinprofiel te verkleinen

Er is een inschatting gemaakt van de benodigde grootte van de ingreep om de faalkans van het geselecteerde duinprofiel met een factor 10 te verkleinen. Er zijn meerdere manieren om een duinprofiel te versterken, onder andere (1) zeewaarts versterken en (2) landwaarts versterken. Daarbinnen zijn verschillende versterkingsvarianten mogelijk. De wijze van versterken beïnvloedt de omvang van de versterkingskosten.

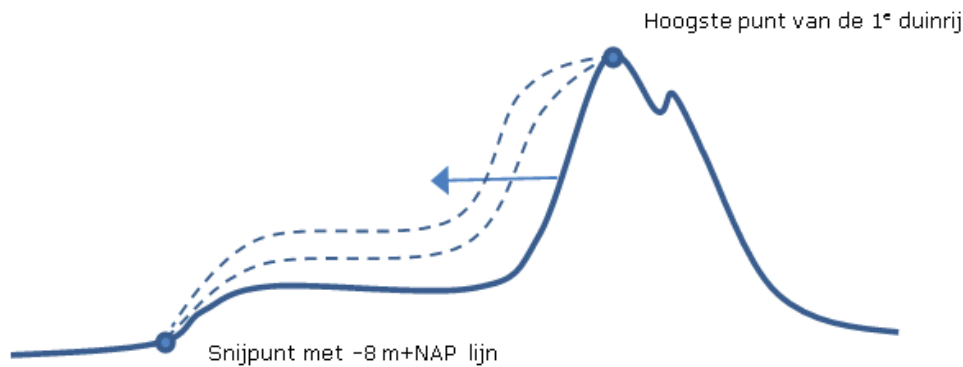
Bij het uitvoeren van het huidige suppletiebeleid, waarbij de kustlijn op zijn plaats wordt gehouden (handhaving van de basiskustlijn), wordt veelal zeewaarts versterkt. Bij het berekenen van de normen voor de duinenkust is daarom ook uitgegaan van zeewaartse versterking. Impliciete aanname daarbij is dat zeewaartse zandsuppleties de meest kosteneffectieve versterkingsmaatregel zijn. De zeewaartse versterking van het kustprofiel vindt plaats op de vooroever, het strand en het duin, waarbij het profiel vanaf de duintop tot de -8 m+ NAP lijn wordt verbreed (zie Figuur G.3).

Bij landwaartse duinversterking door het lokaal verbreden of verhogen van het duin is in de praktijk meer maatwerk mogelijk dan bij zeewaartse versterking het geval is. Landwaartse versterking kan dan over een korter traject plaatsvinden en daardoor kostenefficiënter worden uitgevoerd, maar is bijvoorbeeld door de aanwezigheid van bebouwing niet altijd mogelijk. Daarom is bij het afleiden van de normen vooralsnog uitgegaan van zeewaarts versterken.

De twee duinprofielen (gemiddeld en zwak) uit stap 1 zijn stapsgewijs verbreed. Voor elke verbreding is met PC-Ring het effect van de profielverbreding op de faalkans berekend. Dit geeft inzicht in de relatie tussen de toename van het zandvolume en de faalkansafname in het betreffende kustprofiel. Op basis van deze relatie is het zandvolume afgeleid om het duin een factor 10 veiliger te maken. Gemiddeld langs de Nederlandse kust is 700 m³/m nodig om de faalkans met een factor 10 te verkleinen. Hoge, brede duinen vereisen een relatief groter volume dan lage, smalle duinen.

De berekende relatie tussen zandvolume en faalkans blijkt goed overeen te komen met de resultaten van Vuik *et al.* (2012). In dat rapport is de ontwikkeling van de faalkansen langs de Nederlandse kust over de periode 1965-2010 beschreven, en is onder andere een relatie gelegd tussen de waargenomen trends in de faalkans en de door Rijkswaterstaat uitgevoerde suppleties.

² Bij meervoudige duinenrijen is de faalkans kleiner dan PC-Ring berekent. Er wordt een correctie doorgevoerd op de faalkansen voor kusttraaien met meerdere duinenrijen, zie hiervoor Vuik & Van Balen [2012]



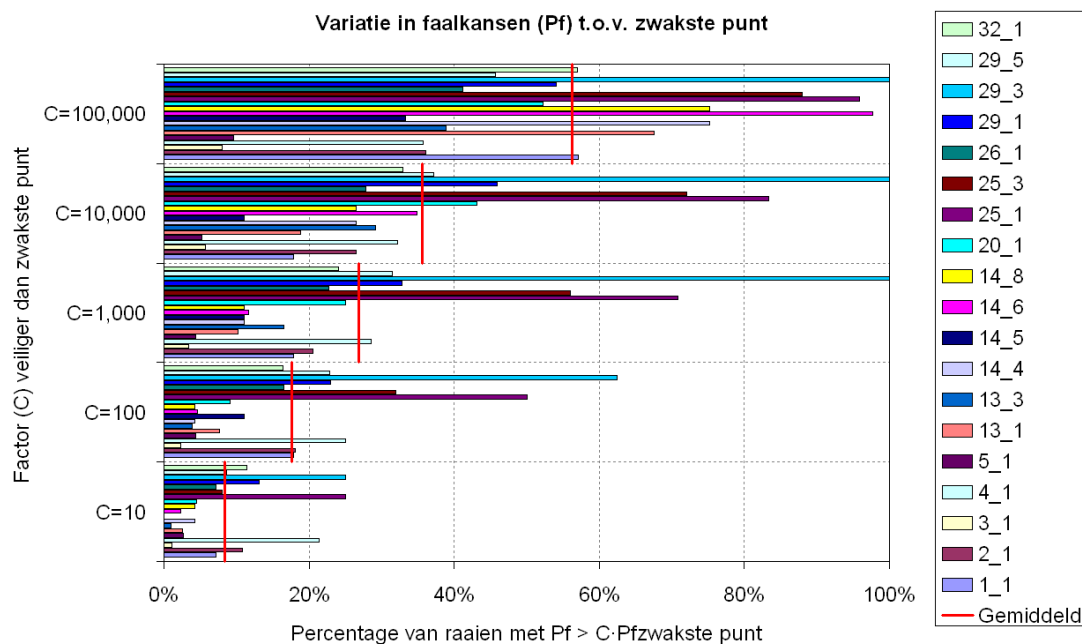
Figuur G.3 Schematische weergave zeewaartse profielversterking en een voorbeeld

Stap 3. Bepalen van de lengte van het te versterken duintraject

Bij het bepalen van de versterkingskosten om de duinenkust van een normtraject een factor 10 veiliger te maken, moet een keuze gemaakt worden voor de lengte van het te versterken traject. Belangrijke overwegingen daarbij zijn of (1) de beschouwde duinprofielen (gemiddeld en zwak) representatief zijn voor het gehele normtraject, of dat (2) er binnen het normtraject sterke variaties zijn, waardoor ook gekeken moet worden naar de variatie in de lokale toestand van de duinen.

Indien de beschouwde duinprofielen (gemiddeld en zwak) representatief zijn voor het gehele normtraject, dan kunnen de totale investeringskosten gelijk genomen worden aan de lokale versterkingskosten van het beschouwde duinprofiel vermenigvuldigd met de lengte van het normtraject. Indien de lokale toestand van de duinen binnen het normtraject sterk varieert (en er duintrajecten zijn die aanzienlijk sterker zijn) dan is het beter om daar bij het bepalen van de kostenfunctie rekening mee te houden (en dus te rekenen met een korter traject dat versterkt moet worden).

Om die reden is de variatie in sterkte binnen een normtraject in kaart gebracht, door de variatie in berekende faalkansen van jaarlijkse kustmetingen uit 2011 uit Vuik et al. (2012) te analyseren. De variatie in faalkans binnen de normtrajecten is in kaart gebracht ten opzichte van het zwakste punt (met de hoogste faalkans) in elk normtraject. Het resultaat is weergegeven in Figuur G.4. Het percentage op de horizontale as is gebaseerd op het aantal raaien binnen een traject dat minder dan een factor 10, 100, 1.000, 10.000 of 100.000 sterker is dan het zwakste punt. De rode strepen geven het gemiddelde percentage over alle trajecten.



Figuur G.4 Schematische weergave zeewaartse profielversterking en een voorbeeld

Uit de percentages blijkt dat gemiddeld 44% (1-56%) van de raaien meer dan 100.000 keer sterker is dan het zwakste punt. Heel veel raaien zullen dus nooit versterkt hoeven te worden vanuit veiligheidsoogpunt. Dit bevestigt de hypothese dat het in rekening brengen van de gehele trajectlengte geen recht doet aan de toestand van de kust in de praktijk.

Bij een factor 10 of 100 is overwegend sprake van maatwerk. Deze percentages zouden daarom niet leidend moeten zijn voor normering. Een factor 1.000 of 10.000 lijkt wel een goede maat. Om die reden is 30% van de trajectlengte aangehouden als lengte waarover versterkingen moeten worden uitgevoerd. Dit percentage is uniform aangehouden voor alle normtrajecten langs de Nederlandse kust.

Om te voorkomen dat een zeewaartse profielverbreding binnen een kort tijdbestek langs de kust zal worden verspreid, wordt een zeewaartse profielverbreding vaak over een minimale lengte uitgevoerd. In de praktijk worden de zandsuppleties vrijwel altijd uitgevoerd over een lengte van minimaal 1 km.

De versterkingslengte is daarom gedefinieerd als 30% van de trajectlengte met een minimum van 1 km. Dit betekent dat de waterkeringen met een 1.000x lagere faalkans dan het zwakste profiel niet versterkt worden.

Stap 4: Bepalen van de versterkingskosten om faalkans een factor 10 te verkleinen

De zeewaartse versterking om het duinprofiel een factor 10 veiliger te maken vindt plaats vanaf de duintop tot de -8 m + NAP lijn. Bij het bepalen van de versterkingskosten maken we onderscheid in het volume op het duin, het strand en de vooroever, en de bijbehorende suppletiekosten.

Het zandvolume dat boven de duinvoet (+3 m NAP lijn) wordt aangebracht is aangemerkt als duinsuppletie. Het zandvolume dat onder de gemiddeld laagwaterlijn (GLW) wordt aangebracht is vooroeversuppletie. Het toegevoegde zandvolume tussen de duinvoet en de GLW-lijn is strandsuppletie. De versterkingskosten van de profielverbreding zijn dus een combinatie van kosten voor een vooroever-, strand- en duinsuppletie.

Om een bepaalde zeewaartse versterking (initieel aangebracht beschermingsniveau) duurzaam te handhaven kan het nodig zijn om periodiek beheer en onderhoud uit te voeren in de vorm van zandig kustbeheer. Het meenemen van beheer en onderhoudskosten beïnvloedt de economisch optimale faalkans. We brengen voor het uitvoeren van periodiek kustbeheer opslagkosten voor beheer en onderhoud in rekening. Op basis van deskundigenkennis is voor deze kosten 20% van investeringskosten aangehouden.

Om de versterkingskosten te bepalen zijn de volgende eenheidskosten gebruikt (Deltares, 2012):

- Kosten voor een vooroeversuppletie ca. € 3-5 /m³ (gemiddeld € 4 /m³);
- Kosten voor een strandsuppletie ca. € 7-9 /m³ (gemiddeld € 8 /m³);
- Kosten voor een duinsuppletie ca. € 15-20 /m³ (gemiddeld € 17,5 /m³).

Om de totale kosten te bepalen is de grootte van de ingreep in m³ vermenigvuldigd met de gemiddelde eenheidsprijzen per m³, de lengte van het normtraject en de opslag van 20% voor beheer en onderhoudskosten. Dit resulteert in de totale investeringskosten om de faalkans van het normtraject met een factor 10 te verkleinen. Dit komt gemiddeld neer op ongeveer 11 mln. euro per kilometer duinversterking.

Gevoeligheidsanalyse voor economisch optimale overstromingskans

De economische optimale overstromingskansen hangen sterk af van de investeringskosten. De berekende investeringskosten per strekkende kilometer zijn gemiddeld 11 mln. euro. De omvang van de investeringskosten wordt beïnvloed door onder andere (1) de wijze van versterken, (2) de kostenkanten van de gekozen kustversterking (inclusief de opslag voor beheer- en onderhoudskosten) en (3) de lengte van het te versterken traject.

De gevoeligheid van de berekende economisch optimale normen voor de berekende investeringskosten om de kust een factor 10 veiliger te maken is onderzocht voor de laatste twee aspecten.

1. Invloed van de eenheidsprijs van duinversterkingskosten (€ per m³).

De afleiding van economisch optimale overstromingskansen is gebaseerd op een zeewaartse versterking van de duinenkust door het toevoegen van zand aan de vooroever, het strand en het duin. De keuze voor zeewaartse versterking en het in rekening brengen van een toeslag van 20% voor beheer en onderhoudskosten zijn mogelijk conservatieve aannamen, waardoor de versterkingskosten te hoog zijn geschat. Een overschatting van de kosten leidt tot een soepeler eis.

Het versterken van het duinprofiel kan mogelijk (kosten)effectiever, bijvoorbeeld door het zand op de vooroever en het strand neer te leggen in plaats van duinversterking (onder het motto: de fysische processen (wind en water) brengen het zand op natuurlijke wijze ook op het duin). Door fysische processen zal in de tijd dan de faalkans afnemen (duinprofiel groeit aan). Wel is het de vraag of dat uiteindelijk in hetzelfde beschermingsniveau resulteert als wanneer het zand direct op het duin was aangebracht. De invloed van een lagere eenheidsprijs, namelijk 6 € per m³, is onderzocht. Dit is het gemiddelde van de eenheidsprijs van een strand- en een vooroeversuppletie.

2. Invloed van het zandvolume dat nodig is om de kust een factor 10 te versterken.

Het zandvolume dat in het normvoorstel is gehanteerd om de faalkans van de kust met een factor 10 te verkleinen is gemiddeld 700 m³/m (dit is afgeleid op basis van PC-Ring berekeningen) Dit zandvolume is mogelijk aan de conservatieve kant.

Op basis van een vuistregel wordt het benodigde zandvolume geschat op 400 m³/m. De decimeringsduinafslaglengte langs de Nederlandse kust is in de orde van 30 meter. Dit betekent dat bij een duinverbreding met circa 30 meter er in de meeste gevallen sprake van een verkleining van

de doorbraakkans van het duin met een factor 10. De standaard regel hiervoor is dat het gehele kustprofiel over de actieve hoogte met een gelijke breedte moet worden verbreed om een stabiele situatie te krijgen in dwarsrichting. Het gehele kustprofiel moet hiervoor over de actieve hoogte van het kustprofiel van orde 10 tot 13 meter (actieve hoogte is het deel van het profiel waar de grootste morfologische processen zich afspelen) met 30 meter zeewaarts uitgebouwd worden. Dit komt neer op 300 tot 400 m³/m. De invloed van een kleiner zandvolume, namelijk 400 m³/m, is onderzocht.

3. Invloed van het te versterken traject.

Bij het bepalen van de versterkingskosten om de kust een factor 10 veiliger te maken, is als uitgangspunt genomen dat de duinen over een lengte van 30% van het gehele normtraject versterkt worden met een minimale lengte van 1 km.

De invloed van versterken van het gehele normtraject in plaats van het versterken van 30% van het normtraject is onderzocht.

Tabel G.2 laat de invloed van deze aangepaste uitgangspunten zien op de economisch optimale overstromingskans. Aanpassingen 1 en 2 resulteren in lagere versterkingskosten en daarmee in strengere eisen aan de overstromingskans. Aanpassing 3 resulteert in hogere versterkingskosten en daarmee in minder strenge eisen aan de overstromingskans.

Bijlage G.1: Overzicht berekende normen voor de duinenkust

Deze tabel toont per normeringstraject (per VNK2-ringdeel):

- Een indicatie voor de actuele overstromingskans per traject (situatie 2011), rekening houdend met de eventuele aanwezigheid van meerdere duinenrijen.
- De economisch optimale norm, gebaseerd op de maximaal benodigde versterking bij vergelijking van een relatief zwak profiel en een gemiddeld profiel.
- De norm voor basisveiligheid, uitgedrukt in een maximum waarde voor het lokaal individueel risico (LIR) op buurniveau. In een aantal gevallen is de basisveiligheidsnorm naar beneden bijgesteld door de buurt met de hoogste mortaliteit niet mee te nemen bij het bepalen van de norm.
- De strengste norm uitgaande van het perspectief dat de scherpste norm van de economisch optimale norm en de basisveiligheidsnorm maatgevend is.
- De strengste norm in een normklasse (in een stramen van 1-3-10), lopend van 1/100 naar 1/30.000 per jaar, waarbij de afgeleide normhoogte is vertaald naar een normklasse

Overstromingskansen per jaar									
Dijkring	Traject	Ringdeel	Actuele overstromingskans	Economisch optimum		Basisveiligheid		Strengste norm	Afgerond
			Situatie 2011	Zwak Profiel	Gem. profiel	LIR-norm	Aangepast		
1	1-1	Noordzee	1/4.700	-	1/500	1/400	-	1/500	1/300
2	2-1	Noordzee	1/13.000	1/800	1/800	1/500	-	1/800	1/1000
3	3-1	Noordzee	<1/100.000.000	1/600	-	1/1000	-	1/1000	1/1000
4	4-1	Noordzee	1/80.000	1/100	-	1/100	1/100	1/100	1/300
5	5-1	Texel-Noord	1/47.000.000	1/200	-	1/300	-	1/300	1/1000
		De Koog		1/200	1/200	1/200	-	1/200	
		Mokbaai		1/400	1/300	1/900	-	1/900	
13	13-1	RD01 KM 37.5	<1/31.000.000	1/2800	1/1300	1/1000	-	1/2800	1/3000
		RD04 KM 11		1/900	1/700	1/1000	-	1/1000	1/3000
	RD05 KM 17	1/31.000	1/1500	1/1500	1/700	-	1/1500		
	RD06 KM 4.2	1/640.000	1/3500	1/3700	1/900	-	1/3700		

Overstromingskansen per jaar									
Dijkring	Traject	Ringdeel	Actuele overstromingskansen	Economisch optimum		Basisveiligheid		Strengste norm	Afgerond
14	14-8	Noordwijk	1/7.000.000	1/6300	1/5600	1/23400	1/5100	1/23400	1/30000
	14-6	Katwijk	1/74.000.000	1/32800	1/22100	1/5500	1/2100	1/32800	1/30000
	14-5	Schev. boulev.	<1/100.000.000	1/41100	1/43000	1/10300	1/1700	1/43000	1/30000
	14-4	Kijkduin	1/7.000.000	1/19100	1/14000	1/1600	-	1/19100	1/30000
		Ter Heijde	1/2.000.000	1/2300	1/2000	1/2000	-	1/2300	
		's Gravenzande	1/21.000.000	1/20600	1/13100	1/2900	-	1/20600	
20	20-1	Rockanje	1/850.000	1/23200	1/11900	1/1200	-	1/23200	1/30000
25	25-1	Ouddorp	1/12.000.000	1/1000	1/600	1/900	-	1/1000	1/3000
		Oostdorp	1/6.700.000	1/4100	1/3000	1/2300	-	1/4100	
		Buitenhaven		1/100	1/100	1/3300	-	1/3300	
26	26-1	Ellemeet	1/360.000	1/1000	1/1600	1/1000	-	1/1600	1/1000
		Renesse	1/700.000	>1/100	>1/100	1/300	-	1/300	
		Nieuw Haamst.	<1/100.000.000	>1/100	>1/100	-	-	1/0	
		Westenschouwe	1/8.000.000	1/300	1/400	1/700	-	1/700	
28	28-0	Banjaard	1/1.000.000	-	1/500	1/200	-	1/500	1/300
29	29-1	Vrouwenpolder	1/960.000	1/600	1/400	1/27100	1/100	1/27100	1/30000
		Oranjezon		1/1100	1/700	1/500	-	1/1100	
		Oostkapelle		1/800	1/500	1/300	-	1/800	
		Domburg		1/1200	1/700	1/200	-	1/1200	

Overstromingskansen per jaar									
Dijkring	Traject	Ringdeel	Actuele overstromingskans	Economisch optimum		Basisveiligheid		Strengste norm	Afgerond
		Noordduin		1/3500	1/2100	1/500	-	1/3500	
	29-3	Boudew'kerke	1/280.000	1/9700	1/4800	1/700	-	1/9700	1/10000
	29-5	Zoutelande	1/80.000	1/10100	1/8000	1/600	-	1/10100	1/30000
		Dishoek		1/41400					
32	32-1	Cadzand-Bad	1/2.800.000	-	1/100	1/100	-	1/100	1/1000
		Tienhonderdp.	<1/100.000.000	-	1/300	1/300	-	1/300	
		Adornispolder	1/11.000.000	-	1/100	1/400	-	1/400	
		's Gravenpolder	<1/100.000.000	-	1/100	1/100	-	1/100	
		Oud-Breskensp.	<1/100.000.000	-	1/200	1/1000	-	1/1000	

Bijlage G.2: Gevoeligheid resultaten economisch optimale norm voor uitgangspunten

Deze bijlage toont de gevoeligheid van de met de directe schattingsmethode berekende economisch optimale norm voor variaties in de uitgangspunten. De uitgangspunten zijn als volgt:

Kolom	Lengte versterking	Volume/factor 10 veiligheid	Kosten/m ³	Evacuatiefractie
Basis	30% trajectlengte, minimaal 1 km	PC-Ring berekeningen voor zwak en gemiddeld profiel	Variabel per zone in het profiel	Set met evacuatiefracties die door de veiligheidsregio's zijn gevalideerd
Lengte versterking	100% trajectlengte	als basis	als basis	als basis
Kosten versterking	als basis	als basis	6 euro/m ³ voor de complete versterking	als basis
Volume	als basis	400 m ³ /m per factor 10 voor alle raaien	6 euro/m ³ voor de complete versterking	als basis
Evacuatiefractie	als basis	als basis	als basis	Set met evacuatiefracties (Maaskant et al., 2009)

Onderstaande tabel geeft de evacuatiefracties Nederland uit Maaskant et al. (2009) weer. Deze zijn recent bijgesteld naar aanleiding van een validatie door de veiligheidsregio's.

Evacuatiefractie per dijkring												
Dijkring	1	2	3	4	5	13	14	20	25	29	32	
Evacuatiefractie	50%	50%	50%	50%	50%	9%	9%	9%	20%	20%	29%	
Evacuatiefractie (Maaskant et al., 2009)	80%	80%	80%	80%	80%	15%	15%	15%	30%	30%	35%	

Berekende economisch optimale norm bij deze sets met uitgangspunten:

Dijkring	Traject	Ringdeel	Basis		Lengte versterking		Kosten versterking		Volume	Evacuatiefractie	
			Zwak prof	Gem. prof	Zwak prof	Gem. prof	Zwak prof	Gem. prof	Geen prof	Zwak prof	Gem. prof
1	1-1	Schiermonnikoog_Noordzee	-	1/500	-	1/200	-	1/1300	1/1300	-	1/500
2	2-1	Ameland_Noordzee	1/800	1/800	1/200	1/200	1/1600	1/1700	1/2300	1/700	1/700
3	3-1	Terschelling_Noordzee	1/600	-	1/200	-	1/1400	-	1/2500	1/500	-
4	4-1	Vlieland_Noordzee	1/100	-	>1/100	-	1/200	-	1/800	1/100	-
5	5-1	Texel Noordzee_Noord	1/200	-	>1/100	-	1/500	-	1/800	1/200	-
5	5-1	Texel De Koog	1/200	1/200	>1/100	>1/100	1/400	1/300	1/600	1/200	1/100
5	5-1	Texel Noordzee_Zuid Mokbaai	1/400	1/300	1/100	>1/100	1/800	1/700	1/1100	1/300	1/300
13	13-1	RD01_Strand_Duin_KM_37.5	1/2800	1/1300	1/800	1/400	1/6600	1/2800	1/8400	1/2800	1/1200
13	13-3	RD04_Strand_Duin_KM_11	1/900	1/700	1/300	1/200	1/1700	1/1500	1/2300	1/900	1/700
13	13-3	RD05_Strand_Duin_KM_17	1/1500	1/1500	1/400	1/400	1/3400	1/3400	1/5000	1/1500	1/1500
13	13-3	RD06_Strand_Duin_KM_4.2	1/3500	1/3700	1/1100	1/1100	1/7500	1/7900	1/11000	1/3500	1/3700
14	14-9	Noordwijk	1/6300	1/5600	1/1900	1/1700	1/15200	1/11500	1/41500	1/6100	1/5500
14	14-6	Katwijk	1/32800	1/22100	1/9800	1/6600	1/74200	1/47700	1/144800	1/32400	1/21800
14	14-5	Scheveningen Boulevard	1/41100	1/43000	1/12300	1/12900	1/85500	1/92900	1/282000	1/40500	1/42300
14	14-4	Kijkduin	1/19100	1/14000	1/5700	1/4200	1/37500	1/28200	1/74000	1/18900	1/13800
14	14-4	Ter Heijde	1/2300	1/2000	1/700	1/600	1/4700	1/3800	1/12300	1/2200	1/2000
14	14-4	s Gravenzande/HoekvanHolland	1/20600	1/13100	1/6200	1/3900	1/42400	1/28100	1/97500	1/20400	1/12900
20	20-1	Bres20-16	1/23200	1/11900	1/7000	1/3600	1/61100	1/31000	1/42600	1/22900	1/11700
25	25-1	Bres25-01	1/1000	1/600	1/300	1/200	1/2500	1/1400	1/2100	1/1000	1/600
25	25-1	Bres25-03	1/4100	1/3000	1/1200	1/900	1/8100	1/7200	1/8300	1/4000	1/2900
25	25-1	Bres25-04	1/100	>1/100	>1/100	>1/100	1/200	1/200	1/200	1/100	>1/100
26	26-1	Ellemeet	1/1000	1/1600	1/300	1/500	1/3200	1/3400	1/3300	1/1000	1/1500

26	26-1	Renesse	>1/100	>1/100	>1/100	>1/100	>1/100	>1/100	>1/100	>1/100	>1/100
26	26-1	Nieuw Haarstede	>1/100	>1/100	>1/100	>1/100	>1/100	>1/100	>1/100	>1/100	>1/100
26	26-1	Westenschouwe	1/300	1/400	>1/100	1/100	1/800	1/800	1/800	1/200	1/400
28	28-0	Banjaard	-	1/500	-	1/300	-	1/1000	1/900	-	1/1000
29	29-1	1_Vrouwenpolder	1/600	1/400	1/200	1/100	1/1200	1/800	1/1000	1/600	1/300
29	29-1	2_Oranjezon	1/1100	1/700	1/300	1/200	1/2200	1/1400	1/1700	1/1100	1/600
29	29-1	3_Oostkapelle	1/800	1/500	1/200	1/100	1/1600	1/1000	1/1300	1/800	1/500
29	29-1	4_Domburg	1/1200	1/700	1/400	1/200	1/2400	1/1500	1/1900	1/1100	1/700
29	29-1	5_Noordduin	1/3500	1/2100	1/1000	1/600	1/7000	1/4400	1/5500	1/3400	1/2000
29	29-3	7_Boudewijnskerke	1/9700	1/4800	1/3400	1/1700	1/19700	1/10300	1/18000	1/9600	1/4800
29	29-5	8_Zoutelande	1/10100	1/8000	1/3000	1/2400	1/21300	1/17700	1/17200	1/10000	1/7900
29	29-5	9_Dishoek	1/41400	1/32800	1/12400	1/9800	1/86800	1/72300	1/70300	1/40600	1/32100
32	32-1	Cadzand_Bad	-	1/100	-	>1/100	-	1/300	1/300	-	1/100
32	32-1	Tienhonderdpolder	-	1/300	-	>1/100	-	1/700	1/700	-	1/300
32	32-1	Adornispolder	-	1/100	-	>1/100	-	1/100	1/100	-	>1/100
32	32-1	s Gravenpolder	-	1/100	-	>1/100	-	1/300	1/300	-	1/100
32	32-1	Oud Breskenspolder	-	1/200	-	>1/100	-	1/500	1/500	-	1/200

H Normhoogten in meer detail

Deze bijlage presenteert voor de regio Noord, Midden, Zuidwest en Limburg kaarten met de

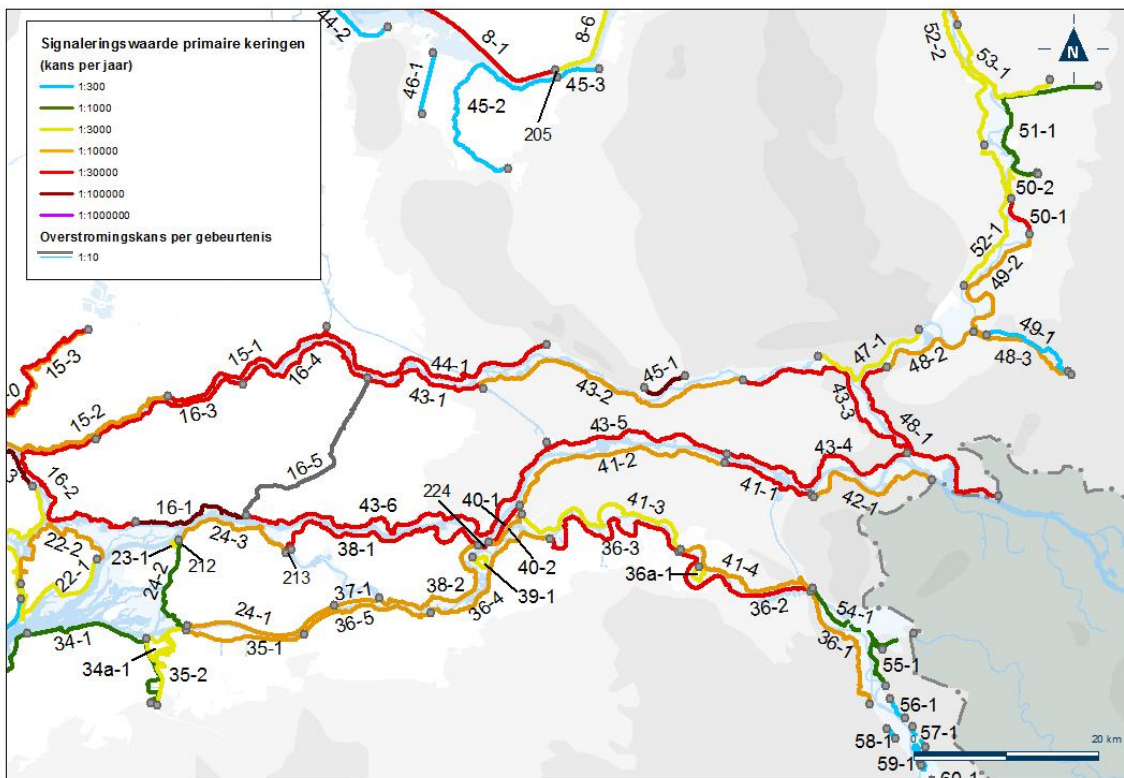
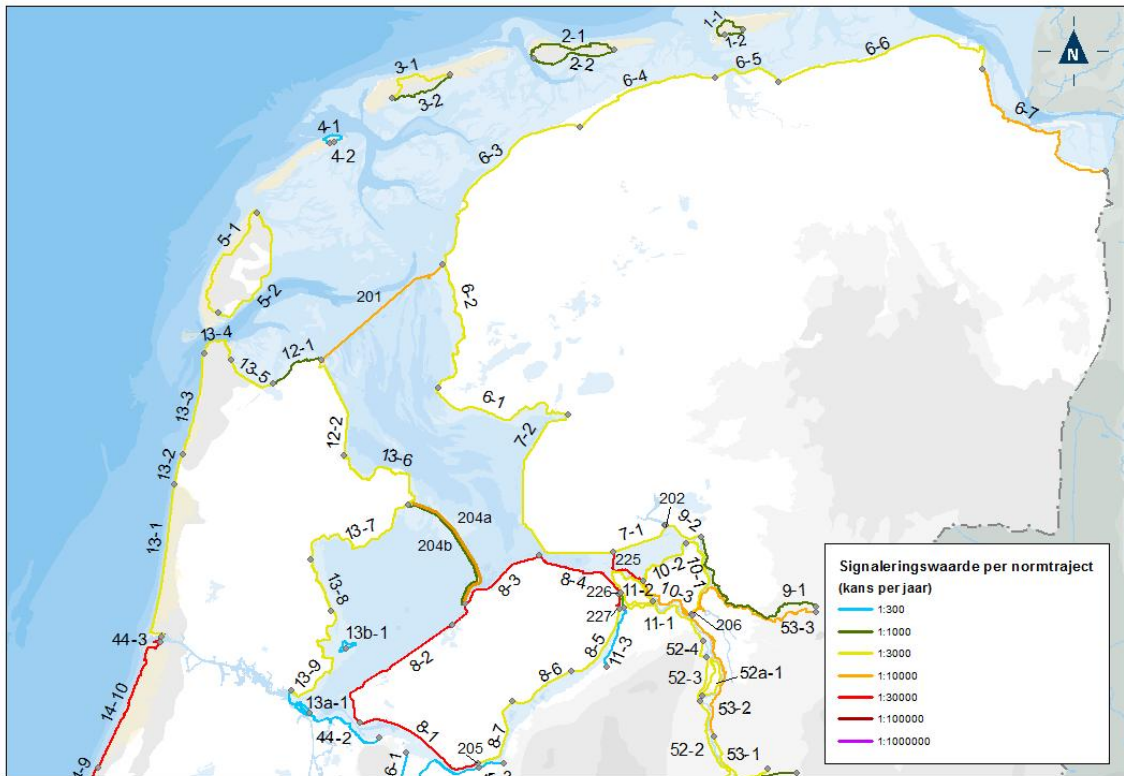
- De indeling in trajecten met bijbehorende trajectcodering
- De overstromingskans van de afgeleide normhoogte per traject

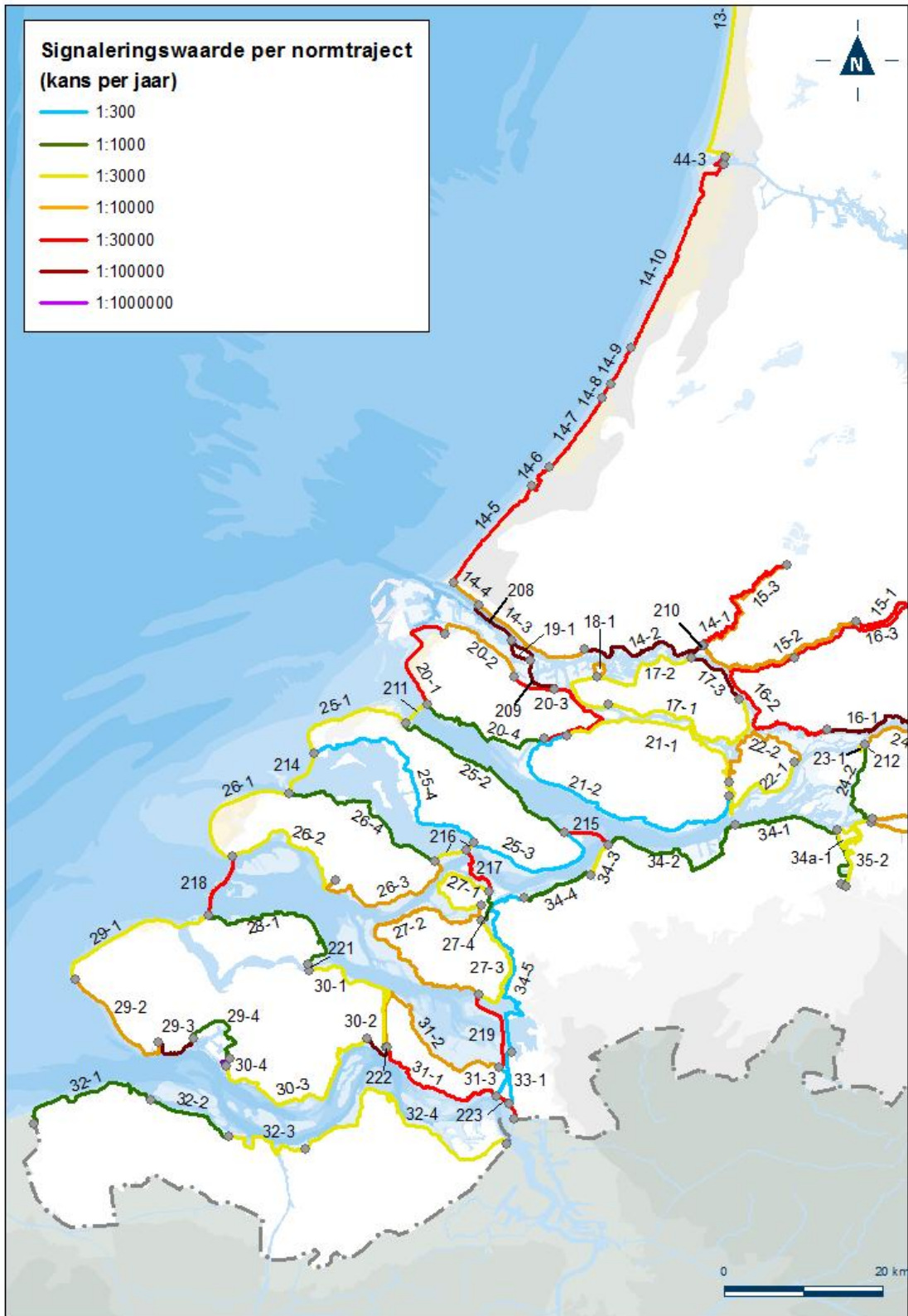
Daarnaast is per regio een tabel opgenomen waarin per traject de volgende informatie is samengevat:

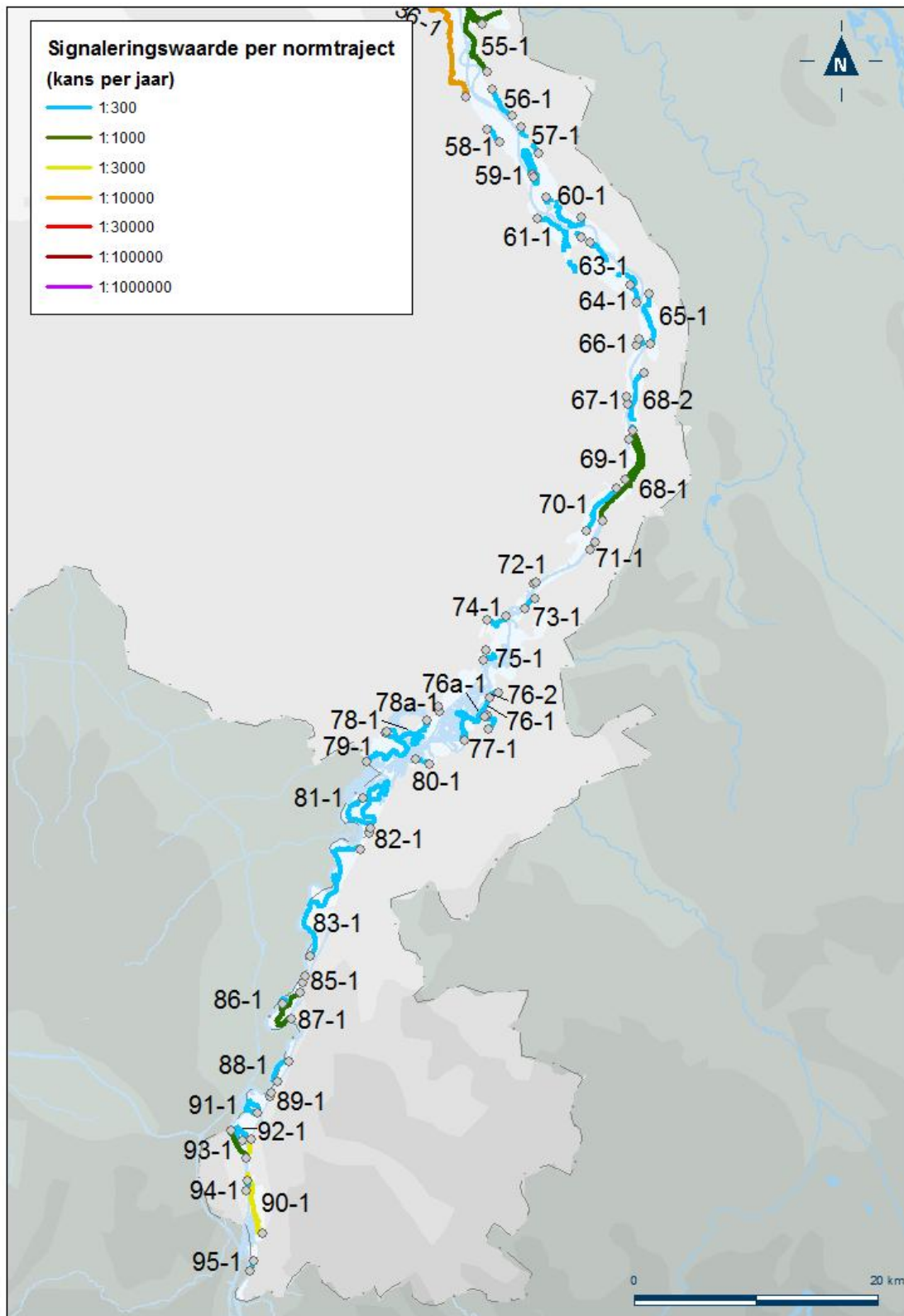
- Trajectnummer (+ trajectnaam)
- Onafgeronde waarden economisch optimale overstromingskans (MKBA)
- Onafgeronde waarden LIR
- De maximumwaarde van eisen vanuit LIR en MKBA (kolom met Strengste erboven)
- Toedeling naar normklasse economisch optimale overstromingskans (kolom met MKBA erboven)
- Toedeling naar normklasse LIR
- De maximumwaarde van eisen vanuit LIR en MKBA (kolom met Strengste erboven)
- Waarden voor de hot spot trajecten één normklasse strenger dan volgt uit de strengste van MKBA en LIR.
- Normhoogte zoals in het wetvoorstel is opgenomen (signaleringswaarde en ondergrens).
- De basis waarop de norm is gebaseerd.

In de kaarten zijn de kansen weergegeven als frequentie per jaar (bijv. 1/3000). In de tabellen zijn de kansen weergegeven als terugkeertijd (dus 3000 in plaats van 1/3000).

De bijlage wordt afgesloten met een toelichting op de afgeleide normhoogten voor de dijkringen langs de Limburgse Maas.







Norm- traject	Signaleringswaarde						Wet			
	MKBA	LIR	Strengste	MKBA	LIR	Strengste	Hotspot- traject	Signalerings- waarde	Onder- grens	Bepaald door:
	Berekende waarde			Toegedeeld naar klasse						
1-1	100	400	400	300	300	300		1000	1000	Aanvullende afweging
1-2	400	1400	1400	300	1000	1000		1000	1000	LIR
2-1	200	1000	1000	300	1000	1000		1000	300	LIR
2-2	400	1600	1600	300	1000	1000		1000	1000	LIR
3-1	100	400	400	300	300	300		3000	3000	Aanvullende afweging
3-2	400	1400	1400	300	1000	1000		1000	1000	LIR
4-1	100	400	400	300	300	300		300	300	MKBA/LIR
4-2	700	200	700	1000	300	1000		1000	300	MKBA
5-1	400	800	800	300	1000	1000		3000	1000	Aanvullende afweging
5-2	500	3900	3900	300	3000	3000		3000	3000	LIR
6-1	1800	700	1800	3000	1000	3000		3000	1000	MKBA
6-2	1000	600	1000	1000	1000	1000		3000	1000	Aanvullende afweging
6-3	1900	2100	2100	3000	3000	3000		3000	1000	MKBA/LIR
6-4	1500	900	1500	1000	1000	1000		3000	1000	Aanvullende afweging
6-5	800	2000	2000	1000	3000	3000		3000	1000	LIR
6-6	500	1900	1900	300	3000	3000		3000	1000	LIR
6-7	9200	2900	9200	10000	3000	10000		10000	3000	MKBA
7-1	4300	300	4300	3000	300	3000		3000	1000	MKBA
7-2	5100	2300	5100	3000	3000	3000		3000	1000	MKBA/LIR
8-1	47800	3200	47800	30000	3000	30000		30000	10000	MKBA
8-2	30900	3400	30900	30000	3000	30000		30000	10000	MKBA
8-3	18600	4100	18600	30000	3000	30000		30000	10000	MKBA
8-4	26700	4200	26700	30000	3000	30000		30000	10000	MKBA
8-5	3100	400	3100	3000	300	3000		3000	1000	MKBA
8-6	3900	400	3900	3000	300	3000		3000	1000	MKBA
8-7	4000	400	4000	3000	300	3000		3000	1000	MKBA
9-1	1400	500	1400	1000	300	1000		1000	300	MKBA
9-2	2700	400	2700	3000	300	3000		3000	1000	MKBA
10-1	2900	2800	2900	3000	3000	3000		3000	1000	MKBA/LIR
10-2	800	1800	1800	1000	3000	3000		3000	1000	LIR
10-3	7800	6000	7800	10000	10000	10000		10000	3000	MKBA/LIR
11-1	2800	2000	2800	3000	3000	3000		3000	1000	MKBA/LIR
11-2	1300	1200	1300	1000	1000	1000		3000	1000	Aanvullende afweging
11-3	100	200	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
12-1	300	800	800	300	1000	1000		1000	1000	LIR
12-2	10500	1400	10500	10000	1000	10000		3000	1000	MKBA
13-1	3700	1900	3700	3000	3000	3000		3000	1000	MKBA/LIR
13-2	500	3900	3900	300	3000	3000		3000	3000	LIR
13-3	4900	1300	4900	3000	1000	3000		3000	1000	MKBA

Norm- traject	Signaleringswaarde						Wet			
	MKBA	LIR	Strengste	MKBA	LIR	Strengste	Hotspot- traject	Signalerings- waarde	Onder- grens	Bepaald door:
	Berekende waarde			Toegedeeld naar klasse						
13-4	2300	1200	2300	3000	1000	3000		3000	1000	MKBA
13-5	2800	700	2800	3000	1000	3000		3000	1000	MKBA
13-6	4500	1000	4500	3000	1000	3000		3000	1000	MKBA
13-7	4000	1300	4000	3000	1000	3000		3000	1000	MKBA
13-8	3600	1200	3600	3000	1000	3000		3000	1000	MKBA
13-9	1000	1400	1400	1000	1000	1000		3000	1000	Aanvullende afweging
13a-1	-	-	-	-	-	-		300	100	Aanvullende afweging
13b-1	400	300	400	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
14-1	27500	2000	27500	30000	3000	30000		30000	10000	MKBA
14-2	10300	30500	30500	10000	30000	30000	100000	100000	30000	Groepsrisico
14-3	4800	11500	11500	3000	10000	10000		10000	10000	LIR
14-4	900	200	900	1000	300	1000		10000	3000	Aanvullende afweging
14-5	32200	3300	32200	30000	3000	30000		30000	10000	MKBA
14-6	17400	3300	17400	30000	3000	30000		30000	10000	MKBA
14-7	20400	16500	20400	30000	10000	30000		30000	10000	MKBA
14-8	28100	15800	28100	30000	10000	30000		30000	10000	MKBA
14-9	18800	30900	30900	30000	30000	30000		30000	30000	MKBA/LIR
14-10	8400	30900	30900	10000	30000	30000		30000	30000	LIR
15-1	19100	9500	19100	30000	10000	30000		30000	10000	MKBA
15-2	12600	5900	12600	10000	10000	10000		10000	3000	MKBA/LIR
15-3	7500	3600	7500	10000	3000	10000		10000	3000	MKBA
16-1	25000	46600	46600	30000	30000	30000	100000	100000	30000	Groepsrisico
16-2	5800	10300	10300	10000	10000	10000	30000	30000	10000	Groepsrisico
16-3	19400	16600	19400	30000	10000	30000		30000	10000	MKBA
16-4	22800	13900	22800	30000	10000	30000		30000	10000	MKBA
16-5	-	-	-	-	-	-		-	10	MKBA
17-1	800	1900	1900	1000	3000	3000		3000	1000	LIR
17-2	2000	500	2000	3000	300	3000		3000	1000	MKBA
17-3	65200	5200	65200	100000	3000	100000		100000	30000	MKBA
18-1	13500	3700	13500	10000	3000	10000		10000	3000	MKBA
19-1	9900	21800	21800	10000	30000	30000	100000	100000	30000	Groepsrisico
20-1	30200	1600	30200	30000	1000	30000		30000	10000	MKBA
20-2	4700	11300	11300	3000	10000	10000		10000	10000	LIR
20-3	10700	12900	12900	10000	10000	10000	30000	30000	10000	Groepsrisico
20-4	1500	800	1500	1000	1000	1000		1000	300	MKBA/LIR
21-1	1600	2700	2700	1000	3000	3000		3000	1000	LIR
21-2	200	200	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
22-1	3900	3300	3900	3000	3000	3000		3000	1000	MKBA/LIR
22-2	3000	4200	4200	3000	3000	3000		10000	3000	Groepsrisico
23-1	200	3000	3000	300	3000	3000		3000	1000	LIR

Norm- traject	Signaleringswaarde						Wet			
	MKBA	LIR	Strengste	MKBA	LIR	Strengste	Hotspot- traject	Signalerings- waarde	Onder- grens	Bepaald door:
	Berekende waarde			Toegedeeld naar klasse						
24-1	9300	1800	9300	10000	3000	10000		10000	3000	MKBA
24-2	1200	700	1200	1000	1000	1000		1000	300	MKBA/LIR
24-3	6100	13200	13200	10000	10000	10000		10000	10000	MKBA/LIR
25-1	1900	3200	3200	3000	3000	3000		3000	1000	MKBA/LIR
25-2	600	500	600	1000	300	1000		1000	300	MKBA
25-3	300	300	300	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
25-4	200	500	500	300	300	300		300	300	MKBA/LIR
26-1	2000	2800	2800	3000	3000	3000		3000	1000	MKBA/LIR
26-2	4100	2500	4100	3000	3000	3000		3000	1000	MKBA/LIR
26-3	4000	7400	7400	3000	10000	10000		10000	3000	LIR
26-4	600	1300	1300	1000	1000	1000		1000	1000	MKBA/LIR
27-1	2100	3900	3900	3000	3000	3000		3000	3000	MKBA/LIR
27-2	4700	16600	16600	3000	10000	10000		10000	10000	LIR
27-3	2000	800	2000	3000	1000	3000		3000	1000	MKBA
27-4	100	600	600	300	1000	1000		1000	300	LIR
28-1	1100	500	1100	1000	300	1000		1000	300	MKBA
29-1	1600	3000	3000	1000	3000	3000		3000	1000	LIR
29-2	4100	9900	9900	3000	10000	10000		10000	3000	LIR
29-3	34900	70200	70200	30000	100000	100000		100000	30000	LIR
29-4	500	1200	1200	300	1000	1000		1000	1000	LIR
30-1	2700	1500	2700	3000	1000	3000		3000	1000	MKBA
30-2	25400	205100	205100	30000	100000	100000		100000	100000	LIR
30-3	1000	2600	2600	1000	3000	3000		3000	1000	LIR
30-4	-	-	-	-	-	-		1000000	1000000	Aanvullende afweging
31-1	1900	22000	22000	3000	30000	30000		30000	10000	LIR
31-2	1800	5700	5700	3000	10000	10000		10000	3000	LIR
31-3	100	300	300	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
32-1	300	1000	1000	300	1000	1000		1000	300	LIR
32-2	100	800	800	300	1000	1000		1000	300	LIR
32-3	2000	700	2000	3000	1000	3000		3000	1000	MKBA
32-4	200	2300	2300	300	3000	3000		3000	1000	LIR
33-1	500	300	500	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
34-1	500	700	700	300	1000	1000		1000	300	LIR
34-2	500	800	800	300	1000	1000		1000	300	LIR
34-3	3100	500	3100	3000	300	3000		3000	1000	MKBA
34-4	1300	200	1300	1000	300	1000		1000	300	MKBA
34-5	200	300	300	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
34a-1	2100	2400	2400	3000	3000	3000		3000	1000	MKBA/LIR
35-1	8400	1100	8400	10000	1000	10000		10000	3000	MKBA
35-2	1800	500	1800	3000	300	3000		3000	1000	MKBA
36-1	15500	3000	15500	10000	3000	10000		10000	3000	MKBA

Norm- traject	Signaleringswaarde						Wet			
	MKBA	LIR	Strengste	MKBA	LIR	Strengste	Hotspot- traject	Signalerings- waarde	Onder- grens	Bepaald door:
	Berekende waarde			Toegedeeld naar klasse						
36-2	49500	3500	49500	30000	3000	30000		30000	10000	MKBA
36-3	49100	3600	49100	30000	3000	30000		30000	10000	MKBA
36-4	11800	3100	11800	10000	3000	10000		10000	3000	MKBA
36-5	6300	2300	6300	10000	3000	10000		10000	3000	MKBA
36a-1	300	1700	1700	300	3000	3000		3000	1000	LIR
37-1	10200	3000	10200	10000	3000	10000		10000	3000	MKBA
38-1	7800	17800	17800	10000	30000	30000		30000	10000	LIR
38-2	5600	1500	5600	10000	1000	10000		10000	3000	MKBA
39-1	500	3600	3600	300	3000	3000		3000	3000	LIR
40-1	32900	49800	49800	30000	30000	30000		30000	30000	MKBA/LIR
40-2	1200	9800	9800	1000	10000	10000		10000	3000	LIR
41-1	31800	5500	31800	30000	10000	30000		30000	10000	MKBA
41-2	13100	5500	13100	10000	10000	10000		10000	3000	MKBA/LIR
41-3	4500	3600	4500	3000	3000	3000		3000	3000	MKBA/LIR
41-4	15300	4000	15300	10000	3000	10000		10000	3000	MKBA
42-1	3900	9900	9900	3000	10000	10000		10000	3000	LIR
43-1	20400	4500	20400	30000	3000	30000		30000	10000	MKBA
43-2	14300	6100	14300	10000	10000	10000		10000	3000	MKBA/LIR
43-3	28500	5900	28500	30000	10000	30000		30000	10000	MKBA
43-4	18500	25200	25200	30000	30000	30000		30000	10000	MKBA/LIR
43-5	9600	26000	26000	10000	30000	30000		30000	10000	LIR
43-6	6100	17700	17700	10000	30000	30000		30000	10000	LIR
44-1	52600	10200	52600	30000	10000	30000		30000	10000	MKBA
44-2	100	100	100	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
45-1	152400	2000	152400	100000	3000	100000		100000	30000	MKBA
45-2	200	100	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
45-3	200	200	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
46-1	200	100	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
47-1	4200	1400	4200	3000	1000	3000		3000	1000	MKBA
48-1	16000	18800	18800	10000	30000	30000		30000	10000	LIR
48-2	10900	1000	10900	10000	1000	10000		10000	3000	MKBA
48-3	7600	2500	7600	10000	3000	10000		10000	3000	MKBA
49-1	20	0	20	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
49-2	9900	600	9900	10000	1000	10000		10000	3000	MKBA
50-1	18000	1500	18000	30000	1000	30000		30000	10000	MKBA
50-2	5300	600	5300	3000	1000	3000		3000	1000	MKBA
51-1	600	600	600	1000	1000	1000		1000	300	MKBA/LIR
52a-1	200	2200	2200	300	3000	3000		3000	1000	LIR
52-1	2900	2000	2900	3000	3000	3000		3000	1000	MKBA/LIR
52-2	1500	2400	2400	1000	3000	3000		3000	1000	LIR
52-3	2600	2800	2800	3000	3000	3000		3000	1000	MKBA/LIR

Norm- traject	Signaleringswaarde						Wet			
	MKBA	LIR	Strengste	MKBA	LIR	Strengste	Hotspot- traject	Signalerings- waarde	Onder- grens	Bepaald door:
	Berekende waarde			Toegedeeld naar klasse						
52-4	2000	300	2000	3000	300	3000		3000	1000	MKBA
53-1	5100	700	5100	3000	1000	3000		3000	1000	MKBA
53-2	11100	6800	11100	10000	10000	10000		10000	3000	MKBA/LIR
53-3	5900	900	5900	10000	1000	10000		10000	3000	MKBA
54-1	1300	200	1300	1000	300	1000		1000	300	MKBA
55-1	1300	100	1300	1000	300	1000		1000	300	MKBA
56-1	600	100	600	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
57-1	300	100	300	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
58-1	50	200	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
59-1	200	200	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
60-1	300	200	300	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
61-1 & 62-1	600	100	600	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
63-1	400	200	400	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
64-1	600	200	600	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
65-1	700	200	700	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
66-1	100	200	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
67-1	500	100	500	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
68-1	900	200	900	1000	300	1000		1000	300	MKBA
68-2	300	200	300	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
69-1	8800	100	8800	3000	300	3000		1000	300	Aanvullende afweging
70-1	700	300	700	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
71-1	100	100	100	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
72-1	100	200	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
73-1	200	200	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
74-1	300	200	300	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
75-1	1100	300	1100	1000	300	1000		300	100	Aanvullende afweging
76-1	700	200	700	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
76-2	300	200	300	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
76a-1	600	100	600	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
77-1	700	300	700	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
78-1	900	200	900	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
78a-1	-	-	-	-	-	-		300	100	Aanvullende afweging
79-1	400	100	400	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
80-1	200	100	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
81-1	300	100	300	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
82-1	100	100	100	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
83-1 & 84-1	700	200	700	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
85-1	700	300	700	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
86-1	400	200	400	300	300	300		300	100	MKBA/LIR

Norm- traject	Signaleringswaarde						Wet			
	MKBA	LIR	Strengste	MKBA	LIR	Strengste	Hotspot- traject	Signalerings- waarde	Onder- grens	Bepaald door:
	Berekende waarde			Toegedeeld naar klasse						
87-1	1000	200	1000	1000	300	1000		1000	300	MKBA
88-1	200	200	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
89-1	100	200	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
90-1	4500	100	4500	3000	300	3000		3000	1000	MKBA
91-1	700	500	700	300	300	300		300	300	MKBA/LIR
92-1	900	300	900	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
93-1	1300	200	1300	1000	300	1000		1000	300	MKBA
94-1	200	100	200	300	300	300		300	100	MKBA/LIR
95-1	50	50	50	300	300	300		300	100	MKBA/LIR

Signalerings- en ondergrenswaarden voorliggende keringen

Traject	Naam kering	Signalerings waarde MKBA	Signalerings waarde LIR	Ondergrens	Maximale faalkanseis niet-sluiten
201	Afsluitdijk	1:10000		1:3000	
202	Kadoelersluis	1:10000	1:1000	1:3000	
204a	Houtribdijk – initiatie falen vanuit IJsselmeer	1:10000		1:3000	
204b	Houtribdijk – initiatie falen vanuit Markermeer	1:1000		1:300	
205	Nijkerkersluis	1:3000		1:1000	
206	Spooldersluis	1:10000		1:3000	
208	Europoort / Maeslantkering	1:100000		1:30000	1:100
209	Europoort / Hartelkering	1:100000		1:30000	1:10
210	Stormvloedkering Hollandsche IJssel	1:100000		1:30000	1:200
211	Haringvlietdam	1:3000		1:1000	
212	Biesboschsluis	1:10000		1:3000	
213	Afsluitdijk Andel en Wilhelminasluis	1:10000	1:3000	1:3000	
214	Brouwersdam	1:3000		1:1000	
215	Hellegatsdam en Volkeraksluizen	1:30000		1:10000	
216	Grevelingendam	1:3000		1:1000	
217	Philipsdam	1:30000		1:10000	
218	Stormvloedkering Oosterschelde	1:30000		1:10000	
219	Oesterdam	1:30000		1:10000	
221	Zandkreekdam	1:10000	< 1:3000	1:3000	
222	Sluizen kanaal door Zuid-Beveland	1:30000		1:10000	
223	Zeedijk Paviljoenpolder	1:30000		1:10000	
224	Heerenwaardensche Afsluitdijk	1:30000		1:10000	
225	Ramspolkering	1:30000		1:10000	1:100
226	Roggebotsluis	1:3000		1:1000	
227	Reevedam	1:3000		1:1000	
44-3	Sluizen IJmuiden	1:30000		1:10000	

Dijkringen langs de Limburgse Maas

Afleiding normhoogten voor dijkringen langs Limburgse Maas

Voor het afleiden van normhoogten voor de Limburgse Maasdijkringen worden resultaten benut uit eerder uitgevoerde analyses binnen het Deelprogramma Rivieren. De resultaten uit de eerdere analyses zijn in het kader van deze uitwerking enigszins aangepast, rekening houdend met het ENW-advies.

Bijstelling van evacuatiefracties

Uit ENW-advies: "Voor de Maaskaden lijken de nu gehanteerde evacuatiefracties (gemiddeld 75%) zeer conservatief, vanwege de geringe omvang van deze gebieden en de nabijheid van hoge gronden. Gegeven het specifieke karakter van dit gebied wordt aanbevolen om voor de Maaskaden en andere vergelijkbare gebieden nadere studie te doen naar de lokale evacuatiemogelijkheden en te hanteren evacuatiefracties. Vanzelfsprekend kan hierbij verder onderscheid gemaakt worden tussen de gebieden

De evacuatiefracties zijn net als bij de analyses van de overige dijkringen bijgesteld. Voor Limburgse Maas wordt bij evacuatie fractie onderscheid gemaakt naar 'gewone' dijkringen, die grenzen aan hoge gronden en zogeheten eiland-dijkringen, dat zijn dijkringen die bij hoogwater volledig zijn omgeven door water, waardoor evacuatie wat lastiger is. De evacuatiepercentages voor beide typen zijn 82 resp. 50 %.

Overschatting van schaden ten gevolge van overstromingen

Uit ENW-advies: "Het ENW adviseert om de berekende schade in de Limburgse dijkringen en de te stellen eisen aan de waterkeringen die daaruit volgen nader te bekijken. Reden hiervoor is dat HIS-SSM (HIS Schade en Slachtoffer Module) de gevolgen van ondiepe overstromingen zoals in de Limburgse Maasvallei overschat. Zo worden bij berekeningen met HIS-SSM de gevolgen van het hoogwater zoals in 1993 fors overschat, ook als rekening wordt gehouden met de maatregelen die sindsdien zijn uitgevoerd".

Naar de veronderstelde overschatting van de schade door overstroming in het Maasdal is nader onderzoek uitgevoerd (Huizinga, Kok, 2013). Dat onderzoek wijst uit dat in de eerdere analyses van het deelprogramma Rivieren de schaden in bedijkte gebieden (gebieden achter de kaden) ten gevolge van overstromingen met ongeveer een factor 3 zijn overschat. Deze bevinding geeft aanleiding tot een bijstelling van de eerder berekende economisch optimale beschermingsniveaus; in de meeste gevallen een afronding naar een lagere, minder scherpe klassengrens.