CPB Memorandum

Sector	:	Economie en fysieke omgeving
Afdeling/Project	:	Ruimtelijke Economie / Waterveiligheid 21e eeuw
Samensteller(s)	:	Carel Eijgenraam
Nummer	:	195
Datum	:	19 maart 2008

Toetsnorm voor waterveiligheid op basis van kosten-batenanalyse

Doel van de notitie is het formuleren van een algemeen toepasbare toetsnorm voor waterveiligheid op basis van kosten-batenanalyse (KBA).[1] Deze nieuwe norm moet zoveel mogelijk dezelfde strekking hebben als de huidige wettelijke toetsnorm om waterkeringen goed of af te keuren. Zo kan de hoogte van de huidige normen met behulp van dit nieuwe begrip worden vergeleken met uitkomsten op basis van KBA. Deze nieuwe toetsnorm is daarmee een van de bouwstenen voor de keuzes die binnenkort gemaakt gaan worden in het kader van het project Waterveiligheid 21e eeuw (WV21).[2] Doel van het project WV21 is onder andere te komen tot nieuwe wettelijke veiligheidsnormen voor alle dijkringen in Nederland, zowel wat hun vorm als hun getalswaarde betreft. Er zijn op dit moment echter twee verschillende methoden om te komen tot optimale investeringsprogramma's ter verbetering van de veiligheid tegen overstromen. Geen van beide methoden levert direct een maat die qua werking goed vergelijkbaar is met de wettelijke norm. De notitie laat zien dat er toch binnen beide methoden eenzelfde goed toepasbare toetsnorm is te definiëren, namelijk de middenoverstromingskans. De notitie toont aan dat deze norm is af te leiden uit een aan beide methoden ten grondslag liggend KBA-model en dat deze norm voldoet aan de eisen die aan een goede toetsnorm kunnen worden gesteld. Tot slot staan er in dit memorandum cijfers voor de middenkans voor de dijkringen betrokken bij Ruimte voor de Rivier en voor twee VNK voorbeelddijkringen 7 en 36.

[1] Met dank aan J. Kind (RWS, Waterdienst), M. Kok (HKV), collega's op het CPB en de werkgroep ENW Veiligheid voor hun opmerkingen over vorige versies van dit memorandum.

[2] Deze notitie is deel van een drieluik. Vooraf gaat een notitie van M. Kok (HKV): Historie van toets- en ontwerpnormen; HKV memorandum PR 1321.30; jan. 2008. Dit CPB Memorandum heeft een vervolg in een stuk waarin voor diverse, bij het maken van een nieuwe norm te maken keuzes een beslissing wordt voorgesteld, zie: Kind, J. (2008): Keuzes KKBA WV21.

1 Inleiding

1.1 Doel van de notitie

Doel van de notitie is het formuleren van een algemeen toepasbare toetsnorm voor waterveiligheid om waterkeringen goed of af te keuren. We beperken ons daarbij tot een toetsnorm op basis van kosten-batenanalyse (KBA). Deze toetsnorm kan dan worden uitgerekend in de kengetallen KBA (KKBA) waterveiligheid die binnenkort gemaakt gaat worden in het kader van het project Waterveiligheid 21e eeuw (WV21). Doel van het project WV21 is onder andere te komen tot nieuwe wettelijke veiligheidsnormen voor alle dijkringen in Nederland, zowel wat hun vorm als hun getalswaarde betreft. De voorgestelde toetsnorm op basis van KBA moet dus qua strekking goed vergelijkbaar zijn met de huidige wettelijke norm, wil deze nieuwe toetsnorm kunnen helpen bij de beoordeling van de hoogte van de huidige wettelijke normen.

1.2 Algemene filosofie achter veiligheidsnormen voor dijkringen

Omdat absolute veiligheid tegen overstromen in Nederland onmogelijk is te bereiken, kan veiligheid eigenlijk alleen gedefinieerd worden met behulp van zijn tegendeel: Veiligheid is de acceptabel geachte kans op schade. Er is dus altijd restschade. Maar er is ook altijd minder kans op schade mogelijk, zij het tegen steeds hogere kosten. Kiezen is dus nodig en mogelijk. Dit maakt de onderbouwing van de veiligheidsnorm tot een economisch probleem. Beslissen over een veiligheidsnorm is echter een politieke zaak, omdat daarbij vele waarderingen een rol spelen van onzekerheden en van zaken die geen marktprijs hebben, zoals mensenlevens.

Drie manieren om tegen een veiligheidsnorm aan te kijken

Voordat we ingaan op de onderbouwing van de norm op basis van KBA, is het wellicht goed erop te wijzen dat er minstens drie invalshoeken zijn om tegen een norm voor waterveiligheid aan te kijken. Alle drie zienswijzen leggen de nadruk op één facet.

1. De eerste invalshoek is om een norm voor waterveiligheid te zien als een soort ‘los getal’ voor veiligheid, net zoals de norm voor plaatsgebonden risico bij externe veiligheid of groepsrisico. Er is in deze benadering veel aandacht voor het effect (en rechtvaardigheid) en weinig aandacht voor de onderbouwing van de norm, voor de kosten daarvan of voor het restrisico.
2. In de tweede zienswijze is de norm gebaseerd op een KBA met een lange-termijn *over-all* investeringsstrategie die in totaal de laagste maatschappelijke kosten geeft. Daaruit volgt gelijktijdig wat de optimale verhouding tussen investeren en restrisico is. De methode in par. 2

is hiervan de uitwerking en deze zienswijze heeft ook gevolgen voor opvattingen over hoe de restschade het best gedragen kan worden;

3. In de derde zienswijze is er geen expliciete veiligheidsnorm. Het veiligheidsniveau wordt doorlopend van geval tot geval bepaald door te kijken naar de laatste maatregel die in de huidige situatie nog rendabel is. In par. 3 gaan we nader in op een voorbeeld van deze incrementele methode. Het optimale veiligheidsniveau van een dijkring blijkt mede afhankelijk te zijn van min of meer toevallige acties in het verleden. In deze aanpak past het niet om naast de algemene rentabiliteitsnorm nog een specifieke veiligheidsnorm in de wet op te nemen.

Nogmaals, het gaat hier niet echt om drie verschillende normen, maar eerder om drie verschillende manieren waarop je tegen normen kunt aankijken. Met name de laatste twee benaderingen zijn verwant: beide letten op maatschappelijke efficiëntie en zijn dus uiteindelijk terug te voeren op hetzelfde theoretische model.

Deze notitie gaat verder alleen over normen die passen binnen de laatste twee invalshoeken en dus zijn gebaseerd op kosten-batenanalyse (KBA). Normen op basis van andere afwegingen zoals aangeduid in de eerste invalshoek (persoonlijk risico, groepsrisico) zullen op een andere manier in WV21 aan de orde moeten komen.

1.3 Veiligheidsnormen voor dijkringgebieden gebaseerd op KBA en de inhoud van deze notitie

Hoewel er bij de beslissing over veiligheidsnormen veel moeilijk te wegen baten en kosten een rol spelen, gaan we er in kosten-batenanalyse vanuit dat we de schade bij een overstroming kunnen samenvatten in een bedrag aan geld.

De centrale vraag is dan de volgende:
Bij welke omvang van investeren in maatregelen die overstromingskansen beperken, bijvoorbeeld dijkverhoging, gaan de maatschappelijke kosten van de investering de maatschappelijke baten van de daling van de verwachte schade overtreffen? Bij die omvang gaan we niet verder met investeren.
In feite kiezen we dan op basis van minimalisatie van de som van de restschade en de investeringskosten, omdat dit het hoogste restinkomen overlaat voor andere uitgaven.

In het kader van WV21 komt deze kwestie op een iets andere manier geformuleerd aan de orde en wel in de vraag wat een goede wettelijke toetsnorm is voor veiligheid tegen overstromen en hoe hoog die toetsnorm moet zijn.[3]

[3] We gaan in dit stuk niet in op ontwerpnormen, omdat daarvoor naar onze mening geen algemeen geldende getallen te geven zijn; zie voor argumentatie Eijgenraam (2007). Zie voor het verschil tussen beide normen ook Kok (2008).

Een probleem daarbij is dat er op dit moment twee verschillende methoden beschikbaar zijn om te komen tot een soort optimaal investeringsprogramma ter verbetering van de veiligheid tegen overstromen. Geen van beide methoden levert echter direct een goede toetsnorm.

De eerste aanpak gaat ervan uit dat in de uitgangssituatie de dijkring overal ongeveer hetzelfde beschermingsniveau heeft. Er zijn dan gelijktijdig langs de gehele ringdijk verbeteringen nodig om de veiligheid van de dijkring te kunnen verhogen. Dit leidt tot min of meer periodieke, sprongsgewijze en grote aanpassingen van het veiligheidsniveau, zie Eijgenraam (2005) en (2006). Dit model is een verbeterde en uitgebreidere versie van het model dat Van Dantzig indertijd heeft gemaakt voor de Deltacommissie. Het model levert weliswaar duidelijke informatie over een maximale overstromingskans die niet overschreden dient te worden, maar deze grens is om diverse redenen niet erg bruikbaar als wettelijke norm. In paragraaf 2 lichten we dit alles verder toe.

De andere methode gaat er juist vanuit dat een dijkring bestaat uit vele dijkvakken met een verschillend veiligheidsniveau. Het veiligheidsniveau van de dijkring kan dan voortdurend stapje voor stapje worden verhoogd door steeds op afwisselende dijkvakken de overstromingskans te verlagen. Daarmee kan men doorgaan tot de volgende verbetering nu te duur wordt. Maar wat is daarvoor het correcte criterium? Ernstiger is dat het niet zonder meer duidelijk is hoe daaruit een veiligheidsnorm kan worden afgeleid. Dit wordt nader toegelicht in paragraaf 3, waarin ook het correcte rentabiliteitscriterium wordt afgeleid.

Beide methoden verschillen hemelsbreed in de daaruit volgende investeringsstrategie. Ook is het niet zo dat als we beginnen te investeren volgens de incrementele strategie, we na verloop van tijd vanzelf terecht komen bij de eerste strategie. Door de technische heterogeniteit van de dijkvakken (kunstwerken en dijken bijvoorbeeld) met geheel verschillende en verschillend opgebouwde kosten zullen we langs de dijkring – ook in een optimaal investeringspad – een gekarteld veiligheidsniveau blijven houden. Bovendien levert geen van beide methoden direct een toepasbare maat voor een norm. Niettemin wordt in paragraaf 4 een formulering voorgesteld voor de nieuwe toetsnorm welke past bij beide eerder behandelde methoden.

Het begrip toetsnorm betekent hier dat als de toetsnorm wordt overschreden, er actie ter verbetering moet worden ondernomen. De hier voorgestelde toetsnorm mag dus in de periode na afkeuring enige tijd worden overschreden, omdat de norm getalsmatig zo is vastgesteld dat er voor grote projecten nog voldoende tijd beschikbaar is voordat de verbeteractie voltooid moet zijn. Op deze manier werkt deze toetsnorm op dezelfde manier als de huidige norm in de Wet op de waterkering. Ook de huidige norm valt het beste te interpreteren als een afkeurnorm (en daarmee als een streefwaarde voor de overstromingskans) en niet als een maximum of een ontwerpnorm, zie ook par. 2.3.2. Omdat de nieuwe norm dus dezelfde betekenis heeft als de huidige, kunnen de cijfermatige uitkomsten van de KBA dus gebruikt worden om de huidige hoogte van de normen te beoordelen.

In paragraaf 4.4 wordt de voorgestelde norm cijfermatig benaderd voor de dijkringen 7 Noordoostpolder en 36 Land van Heusden / De Maaskant. Daarnaast worden nog enige aanvullende kwesties behandeld zoals de periodieke herziening van de hoogte van de normen. In de afsluitende paragraaf 4.5 wordt behandeld wat er nog mist en wat daaraan op dit moment wordt gedaan.

2 Optimale veiligheid door (algehele) actie per dijk*ring*

2.1 Theorie in vogelvlucht

Het probleem van de optimale dijkhoogte (of het optimale veiligheidsniveau) van een hele dijkring kan worden gezien als een voorraadprobleem. De dijkring heeft zich met de dijk een zekere voorraad bescherming verschaft. Deze voorraad ‘verdampt’ echter in de loop der tijd en wel om twee redenen. Ten eerste neemt zonder actie de overstromingskans toe door bijvoorbeeld bodemdaling, zeespiegelstijging en klimaatverandering, waardoor de piekafvoeren van de rivieren groter worden. De tweede reden is dat er groei optreedt van bevolking en kapitaalgoederen waardoor de schade bij overstromen stijgt. Om beide redenen stijgt de verwachte schade per jaar (kans maal gevolg).[4]

Als we er even van uitgaan dat het veiligheidsniveau langs de ringdijk overal ongeveer even hoog is, dan moeten we dus overal actie ondernemen om de overstromingskans te beperken (bijvoorbeeld de dijk verhogen) willen we de verwachte schade binnen de perken kunnen houden. Het is duidelijk dat bovengenoemde veranderingen in de loop der tijd leiden tot meer dan één beslissing over dijkverhoging. En tevens, dat de huidige beslissing invloed heeft op het tijdstip en de omvang van de volgende beslissing.

Naast de snelheid van de groei van de verwachte schade (β) zijn er twee andere zaken van grote invloed op de beslissing:

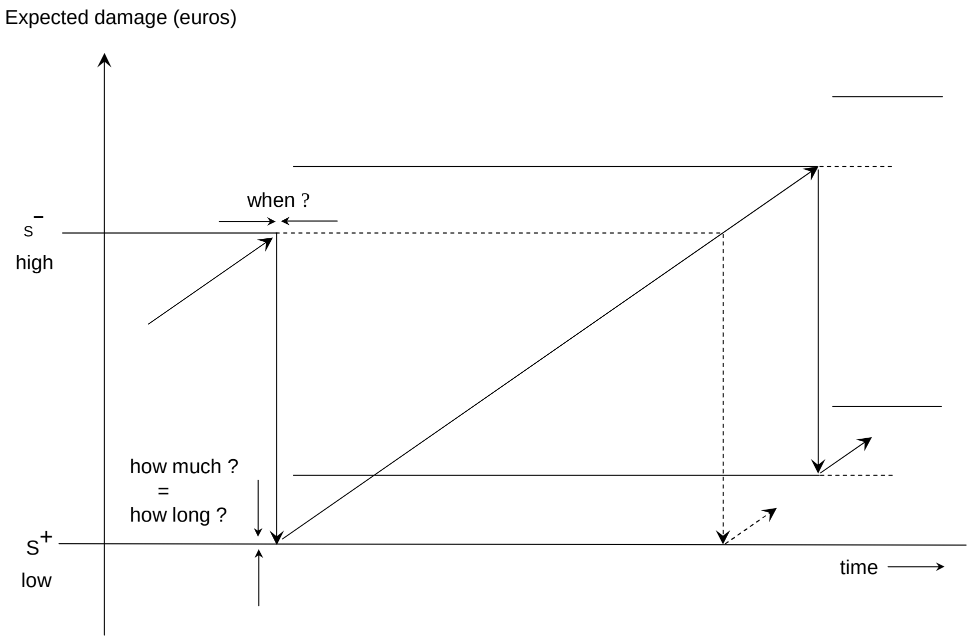
- Disconteringsvoet ($\delta > 0$); deze werkt in de richting van het zoveel mogelijk uitstellen van investeringsuitgaven;
- Vaste investeringskosten, zoals plankosten of kosten aanvoer van materieel; dit werkt in de richting van zo veel mogelijk tegelijk doen.

Wegens de vaste kosten doen we dijkverhogingen in sprongen, met als gevolg dat het beschermingsniveau niet constant is. Het bovenstaande maakt duidelijk dat we concreet twee vragen moeten beantwoorden:

[4] Ook meer ingewikkelde manieren om verwachte schade te berekenen zijn met hetzelfde model op te lossen, zie Eijgenraam, 2006, paragraaf 3.7.

- Wanneer investeren? en
- Hoeveel investeren?

Figuur 2.1 Basic strategy for heightening a dike ring (=diminishing residual damage)



Figuur 2.1 laat zien hoe de oplossing er in essentie uitziet. Op de verticale as staat de verwachte schade. Een hoge verwachte schade behorend bij een laag veiligheidsniveau staat aan de bovenkant van de as en een lage verwachte schade behorend bij een hoog veiligheidsniveau staat beneden. Startend vanuit de huidige situatie stijgt de verwachte schade totdat het plafond s^- wordt geraakt; een hogere verwachte schade is niet meer acceptabel. Op dat moment moet dus een investering voltooid zijn die het veiligheidsniveau weer op een hoog niveau brengt, namelijk het lage niveau van verwachte schade S^+. Maar het is niet de moeite waard om de overstromingskans nog verder te verminderen. Vanuit deze nieuwe situatie S^+ neemt de verwachte schade weer toe tot opnieuw een plafond wordt bereikt en er dus opnieuw een investering wordt gedaan. Het hele proces herhaalt zich dus, maar op een hoger niveau van de dijk. Het is duidelijk dat de formules voor de boven- en ondergrens van het schade-interval de antwoorden geven op de twee vragen wanneer en hoeveel (zie voor de hele afleiding Eijgenraam (2005) of (2006)[5]). Als de kosten van een verhoging niet afhankelijk zijn van de

[5] Het echte verschil met vroegere pogingen om de oplossing van dit probleem te vinden (Van Dantzig, 1956 en 1960) is dat het correcte interval luidt in termen van verwachte schade. Dit wordt al duidelijk uit de centrale vraagstelling. Vroeger werd gedacht dat het interval luidde in termen van vaste overstromingskansen, zodat na iedere investeringsactie de overstromingskans weer gelijk moet zijn aan die direct na de vorige investeringsactie. Zodoende werd alleen gecorrigeerd voor de verslechtering van de overstromingskans, maar is geen rekening gehouden met de stijging van de schade bij overstromen. De Wet op de waterkering zit tegenwoordig tussen deze twee gedachten in. Enerzijds staan er vaste overstromingskansen in de wet, anderzijds moeten die iedere tien jaar worden herzien. Dit schept voldoende mogelijkheden voor een goede strategie, zie paragraaf 4.2. Het eerste jaar voor de herziening is 2008 en vandaar het project WV21.

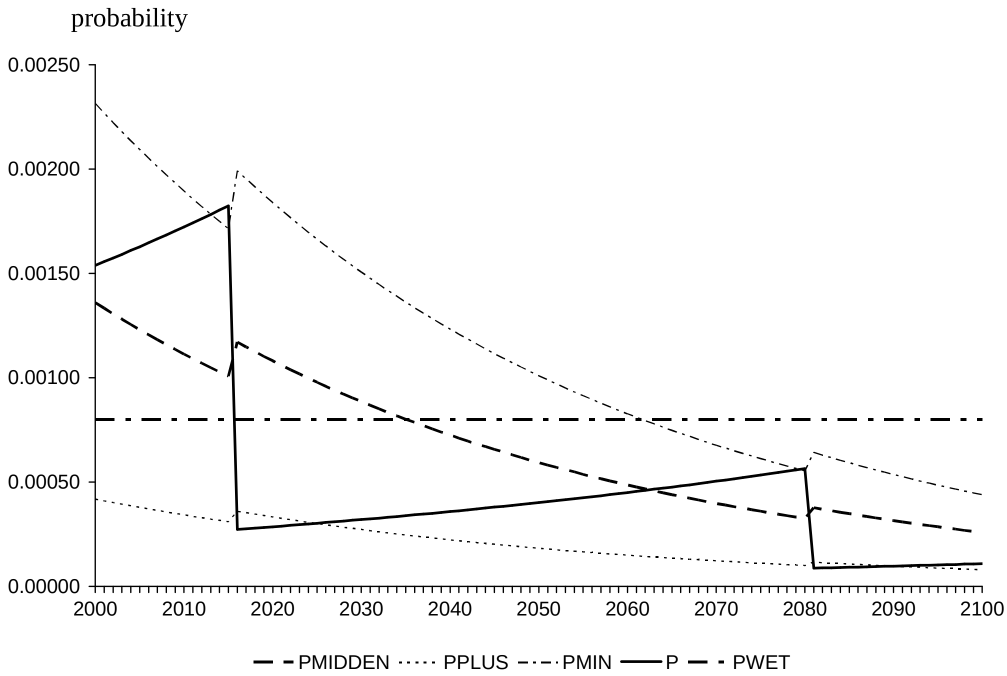
hoogte van de dijk, dan blijft het schade-interval constant in de tijd. De grenzen s- en S+ zijn dan constanten. Maar het is waarschijnlijker dat de kosten van een verhoging duurder worden naarmate de dijk hoger is. In dat geval schuift ook het optimale schadeniveau even hard mee omhoog met de investeringskosten. Dit laatste is getekend in Figuur 2.1 en zit ook in de berekeningen die ten grondslag liggen van Figuur 2.2.

2.2 Een voorbeeld van een echte oplossing

Figuur 2.2 laat de uitkomsten zien van een berekening voor dijkring 43 Betuwe en Tieler- en Culemborgerwaard (CPB, 2005). De berekening gaat een stap verder dan die in Figuur 2.1 omdat de verwachte schade is omgerekend naar overstromingskansen. De lijnen aan de boven- en de onderkant van de grafiek zijn nu de twee grenzen van het interval voor de overstromingskans (Pmin en Pplus). Deze grenzen worden lager door de economische groei. De dikke, doorgetrokken lijn is het optimale verloop van de echte overstromingskans (P). De horizontale lijn in het midden is de huidige wettelijke veiligheidsnorm (Pwet).[6] Bij deze dijkring is die toetsnorm (overschrijdingskans) een kans van 1/1250 per jaar. In 2001 zijn de overstromingskansen opnieuw bepaald, rekening houdend met de hoogwaters in 1993 en 1995. Op basis daarvan bleek de overstromingskans ongeveer twee keer zo hoog als de wettelijke norm. Het project ‘Ruimte voor the Rivier’ is er op gericht om die kansen voor de dijkringen langs de Rijn tegen 2015 weer terug te brengen tot het wettelijke niveau. Toevallig is bij de Betuwe 2015 ook ongeveer het optimale jaar voor een nieuwe grote investering, zoals blijkt uit . Maar dit geldt alleen voor deze dijkring, want bij andere dijkringen is er veelal spraken van een forse achterstand in optimale veiligheid (zie bijv. Eijgenraam (2005)).

[6] De huidige wettelijke norm is hier dus geïnterpreteerd als een overstromingskans per dijkring(deel), terwijl de bij de toetsing geldende huidige interpretatie is: overschrijdingskans per dijkvak. Dit laatste kan veel minder streng zijn dan het eerste. Zie ook par. 3.1.

Figuur 2.2 Probabilities of flooding for dike ring 43 Betuwe



2.3 Wat is het probleem voor toetsen?

2.3.1 Sterke kanten van het model

Het eerste sterke punt is dat het model algemeen is in de zin dat zowel hoeveelheid als tijdstip van de actie vrij zijn te kiezen. Dat is in de praktijk ook zo. Het tweede sterke punt is dat ook de vorm van de actie en de uit de berekening volgende getallen aansluiten bij de praktijk, namelijk relatief grote acties die voor vele decennia moeten voldoen. Ook de begrippen toetsnorm en ontwerpnorm lijken rechtstreeks uit de theorie te volgen. Pmin is immers het optimale veiligheidsmaximum voor de overstromingskans dat nooit overschreden dient te worden. Op het eerste gezicht lijkt dit model daarom precies de informatie te leveren die we nodig hebben voor een toetsnorm. Er zijn echter een aantal redenen waarom Pmin toch niet geschikt is als grondslag voor een wettelijke afkeurnorm. De eerste, in par. 2.3.2, is een algemene; daarna volgt in par. 2.3.3 een aantal specifieke redenen.

2.3.2 Maximale overstromingskans is nooit een geschikte toetsnorm

De huidige wettelijke norm lijkt bedoeld als *bovengrens voor de overstromingskans*, die nooit overschreden mag worden. In de praktijk werkt de norm als een afkeurnorm voor de kering, en dat betekent dat hij niet werkt als een bovengrens voor de overstromingskans. Praktisch blijkt de norm echter vaak of, beter gezegd, wellicht bijna altijd te werken als een streefgetal voor de overstromingskans en zelfs als een *ondergrens voor de overstromingskans*[7]. De reden is dat er in de wet en de bijbehorende procedures over het algemeen geen rekening wordt gehouden met de levertijd, hier op te vatten als de periode die verloopt tussen het optreden van de reden tot actie, gevolgd door afkeuring, en de voltooiing van de verbeteractie.

Uit de feitelijke overstromingskansen in 2001 blijkt dat bij gebruikmaking van de informatie uit 1996 (Randvoorwaardenboek) bij bijna alle dijkringen langs de rivieren de wettelijke norm maar net werd gehaald door de uitvoering van het Deltaplan Grote Rivieren. Er is dus vroeger niet geïnvesteerd om de overschrijdingskans duidelijk onder de wettelijke bovengrens te brengen. Nu en de komende jaren wordt de bovengrens zeker overschreden tot de uitvoering van Ruimte voor de Rivier is voltooid en datzelfde gold voorafgaand aan de uitvoering van het Deltaplan Grote Rivieren. Hetzelfde geldt bijvoorbeeld voor de verbeteringen in het kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma. Er wordt in de meeste gevallen bij keuren dus geen rekening gehouden met een bestel- of levertijd.

Ook als we denken aan de maatschappelijke reactietijden bij andere duidelijke overschrijdingen (denk aan overstroming Zuiderzee in 1916 en sluiting Afsluitdijk in 1932; of Watersnoodramp in 1953 en sluiting Oosterschelde in jaren tachtig) blijkt dat er lange periodes niet aan de normen wordt voldaan. De suggestie van het garanderen van een vast minimaal veiligheidsniveau volgens de wettelijke norm wordt in feite niet waargemaakt.

De wettelijke norm wordt in de praktijk dus meer gehanteerd als een streefgetal dat op (middel)lange termijn gehaald dient te worden, dan als een absolute maximumnorm. Bij de vaststelling van de hoogte van de afkeurwaarde moeten we er rekening mee houden dat het bij een groot project wel 20 jaar kan duren tussen de constatering van een overschrijding van de norm en de complete oplossing van het veiligheidsprobleem.

De afkeurwaarde moet dus flink scherper zijn dan een maximaal toelaatbare overstromingskans, als we tenminste willen voorkomen dat we in de praktijk de echte maximale overstromingskans overschrijden.[8] Deze conclusie geldt ongeacht de manier waarop we de toetsnorm gaan vaststellen.

[7] Tegen het verder gaan met investeren dan de wettelijke norm aangeeft, bijvoorbeeld om kosten te besparen, kan op grond van juridische overwegingen bezwaar worden gemaakt. In dat geval werkt de wettelijke norm dus als een ondergrens voor de overstromingskans en niet als een bovengrens. Ook gaat de betaling door het Rijk niet verder dan tot hetgeen volgens de wet is vereist. De werking als ondergrens blijkt ook uit het feit dat het project Ruimte voor de Rivier erop is gericht om in 2015 te voldoen aan eisen op basis van de informatie voor 2001, zonder bijvoorbeeld rekening te houden met de waterstandontwikkelingen volgens de klimaatscenario's.

[8] Het is denkbaar om in de wettelijke toetssystematiek rekening te houden met een besteltijd. Maar de besteltijd is sterk afhankelijk van de oplossing die voor het probleem wordt gekozen. Bovendien gaat de afkeuring dan berusten op voorspellingen over vrij lange perioden in de toekomst, tot 20 jaar of meer. Daarom lijkt het handiger om de huidige methode te handhaven en de afkeuring louter te baseren op de huidige toestand en de besteltijd te verwerken in de cijfermatige invulling van de toetsnorm.

2.3.3 Is de optimale maximale overstromingskans bij algemene dijkverhoging een handige maatstaf?

Hoewel we in de vorige paragraaf al hebben geconstateerd dat een echte maximale overstromingskans sowieso geen goed uitgangspunt is voor een toetsnorm, noemen we hier nog vier andere redenen die meer specifiek zijn voor het in par. 2.2 toegepaste model.

De grenzen van het interval, en daarmee de omvang van de dijkverhoging en gelijktijdig de lengte van het interval tussen twee investeringen, worden bepaald door de verhouding tussen de totale kosten van een optimale investering en de marginale kosten daarvan. De marginale kosten zijn echter in de praktijk moeilijk vast te stellen. Een kleine verschuiving tussen vaste en variabele kosten kan een aanmerkelijke invloed hebben op de uitkomst. Het is niet wenselijk om de wettelijke norm afhankelijk te maken van een zo onzeker getal in de noemer van een breuk.

In de berekeningen is voor de investeringskosten informatie gebruikt over de kosten van dijkverhoging. In veel situaties is dijkverhoging de financieel goedkoopste manier om meer veiligheid te bereiken, hetgeen leidt tot een hoog gemiddeld veiligheidsniveau. De uitkomsten in het KBA-rapport (Eijgenraam, 2005) geven daarom een goed beeld van gemiddeld na te streven overstromingskansen, ook in geval andere typen maatregelen worden getroffen. Maar de berekende optimale afstand tussen de boven- en ondergrens voor de overstromingskans hangt wel sterk samen met de specifieke kostenverhoudingen bij dijkverhoging. De grenzen van het interval zijn dus niet toepasbaar voor een mix van maatregelen.

De derde reden is dat er in de berekening van wordt uitgegaan dat er overal langs de ringdijk hetzelfde veiligheidsniveau aanwezig is en dat dit langs de gehele dijk in één klap verbeterd moet worden naar een nieuw niveau. In feite verschilt het veiligheidsniveau per dijkvak en in de praktijk worden er dan ook dijkvakken verbeterd en niet hele ringdijken. (In par. 3 gaan we daar nader op in.) Dat leidt ertoe dat zelfs na een groot verbeterproject als Ruimte voor de Rivier alle dijkringen toch dijkvakken hebben die maar net voldoen aan de wettelijke norm. Dit ondanks de grote overhoogte die er op sommige andere dijkvakken wordt geschapen.

De laatste reden is dat ook de verbetering per dijkvak niet overal dezelfde is. Dat wil zeggen: de ontwerpnorm verschilt per soort constructie. Daar echter niet alle dijkvakken (evenveel) worden aangepakt, verbetert het veiligheidsniveau van de dijkring in zijn geheel lang niet zoveel als volgt uit de verbetering van de dijkvakken die wel worden aangepakt. Daardoor geeft dit model nog geen antwoord op de vraag wat het optimale ontwerp per dijkvak is. Zie hierover ook het nieuwe onderzoek in par. 4.5.

3 Optimale veiligheid door (vele) acties per dijk*vak*

3.1 Investeringsstrategie volgens VNK

Het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) benadert de veiligheid van een dijkring juist vanuit de afzonderlijke dijkvakken. De overstromingskans van de dijkring als geheel is dan de combinatie van de verschillende overstromingskansen van de afzonderlijke dijkvakken. Bij het bepalen van die overstromingskansen wordt in VNK rekening gehouden met verscheidene faalmechanismen en beperkt men zich ook niet tot gladde analytische benaderingen van verschijnselen. Praktisch blijken er drie grote verschillen te zijn met de huidige toetsprocedures op basis van de wet, namelijk:

1. Overstromingskans (VNK) in plaats van overschrijdingskans (wet);
2. Som van (min of meer onafhankelijke) dijkvakken (VNK) in plaats van per dijkvak (wet), en
3. Gedeeltelijk meetellen van bescherming door technische veiligheidsmarges bij de constructie

Deze verschillen in aanpak blijken te leiden tot grote verschillen in de hoogte van feitelijke overstromingskansen per dijkring, zie ook Kok (2008). Hier gaan we op die verschillen in resultaten niet verder in.[9]

Wat hier van belang is, is dat het bij de in deze notitie te definiëren toetsnorm altijd gaat om een norm ter voorkoming van een *overstroming van een dijkring*. En dat is waar het alle bewoners van dijkringen ook om gaat.

Daar er in de praktijk grote verschillen in veiligheidsniveau tussen de dijkvakken blijken te bestaan (een factor 100 is geen uitzondering), leidt de VNK benadering ook tot een andere investeringsstrategie dan beschreven in par.2. Door achtereenvolgens de overstromingskans op afzonderlijke dijkvakken te verlagen kan de overstromingskans van de hele dijkring stapsgewijs en min of meer continu worden verminderd. We kunnen daar mee doorgaan zolang uitvoering van zo’n maatregel op een dijkvak een rendabele investering is. In Kuijper e.a. (2006) zijn op deze wijze voor twee dijkringen 7 en 36 berekeningen gemaakt. Die zijn theoretisch echter niet helemaal goed, zodat de resultaten slechts een benadering geven, zie bijlage B. In de volgende paragraaf leggen we daarom eerst uit wat de goede aanpak is.

[9] Dit is overigens wel een zeer belangrijk probleem bij de communicatie van de uitkomsten van de KKBA WV21, waarin beide berekeningsmethoden voorkomen!

3.2 Het investeringscriterium bij incrementele investeringen

Om de vraag te beantwoorden wat in het geval van investeringen per dijkvak het juiste investeringscriterium is, maken we de veronderstelling dat het gaat om een keuze uit relatief kleine acties waarvan de omvang vaststaat. De hieronder te behandelen voorbeelden voor de dijkringen 7 en 36 komt hierbij dicht in de buurt. Omdat de hoeveel-vraag per actie er dus niet is, kunnen we ons beperken tot het antwoord op de wanneer-vraag van iedere actie. Wiskundig is het model verder hetzelfde als eerder besproken en dus is het antwoord op deze vraag hetzelfde als voor het in par. 2 behandelde model, namelijk het hierna in (3.1) vermelde eerstejaarsrendement (FYRR). Als de groeivoet van de verwachte schade positief is, is *'het eerstejaarsrendement nul (of positief)'* bovendien een strenger criterium dan *'de netto contante waarde (NCW) nul (of positief)'*. Daar we voor de komende decennia zonder meer mogen aannemen dat de groeivoet van de verwachte schade positief is, is het dus geen probleem als het NCW criterium soms niet meer over een oneindige tijdshorizon is uit te rekenen.[10]

Het criterium voor het eerstejaarsrendement is:

$$V_0 P_0 - V_0 P_0(x) - \delta I(x) \geq 0$$

$$\frac{V_0 P_0 - V_0 P_0(x)}{I(x)} \geq \delta \qquad (3.1)$$

waarin:
waarin:	V	schade bij overstromen
	P	overstromingskans
	P(x)	overstromingskans na actie x
	I(x)	totale kosten actie x (investeringskosten plus toename onderhoudskosten)
	δ	disconteringsvoet (reëel en risicovrij)

Hoewel er (wiskundig) geen principieel verschil is met de eerdere aanpak, leidt het feit dat de omvang van iedere actie vaststaat, tot grote vereenvoudigingen. Zo blijkt uit (3.1) dat we de waarde van de groeivoet van de verwachte schade in de toekomst (β) niet hoeven te kennen. We hebben alleen informatie nodig over het heden. Ook hebben we alleen informatie nodig over de totale kosten van actie x en niet een splitsing in vaste en variabele kosten van deze maatregel.

[10] Zie bijlage A. Dit is bijna een kopie van par. A.8.2 in Eijgenraam (2005). Daarin al is voor een optimale investering aangetoond dat de netto contante waarde daarvan altijd zeer hoog, zo niet oneindig is, zonder dat daardoor de optimale actie een uitzonderlijke omvang krijgt. Zelfs voor een afzonderlijke optimale investering op het optimale tijdstip is het criterium 'de netto contante waarde is (groter dan) nul' dus geen goed richtsnoer voor het bepalen van een optimale investeringsstrategie, laat staan voor een streefwaarde voor de veiligheid op langere termijn.

De reden voor dit laatste is eveneens dat we voor iedere maatregel slechts de keuze hebben tussen uitvoeren of niet en geen keuze hebben over de omvang.[11]

Verder geeft dit criterium aan hoe in principe de optimale volgorde van de acties bepaald moet worden, namelijk in volgorde van de (grootste) schadevermindering per euro investering. Er hoeft echter niet na iedere gekozen maatregel een complete herberekening van faalkansen plaats te vinden. In bijlage C staat aangegeven hoe dit proces in groepen kan worden uitgevoerd. Uiteindelijk kunnen alle acties worden uitgevoerd die ieder afzonderlijk een baten/kosten verhouding hebben die groter dan wel gelijk is aan de huidige rentabiliteitsnorm van 2,5%. De hier van toepassing zijnde disconteringsvoet (δ) is namelijk de reële, risicovrije disconteringsvoet. In 2006 gold daarvoor nog een waarde van 4%, maar in maart 2007 heeft het kabinet dit getal verlaagd tot 2,5% (MinFin, 2007).

De acties waarvoor in (3.1) echt het groter teken geldt, zijn acties die eigenlijk al uitgevoerd hadden moeten zijn. Het veiligheidsniveau van de dijkring is dus onnodig laag. De acties waarvoor (bijna) het gelijkteken geldt, worden (bijna) op tijd genomen. Acties waarvoor echt het kleiner teken geldt, zijn op dit moment nog niet rendabel. Zij worden dat pas later als de verwachte schade in de toekomst zover is gestegen dat het gelijkteken gaat gelden. Wat we niet mogen doen, is het criterium toepassen op een combinatie van maatregelen waaronder een aantal acties om achterstand in te halen. Dan dragen we in feite het rentabiliteitsoverschot bij deze ‘achterstands’maatregelen over aan een groep maatregelen met een rentabiliteitstekort.

In bijlage E geven we een (gelet op de constructie van de getallen niet geheel geoorloofde) benadering van de uitkomsten voor dijkring 7 op basis van de cijfers in Kuijper e.a. (2006). We komen terug op de cijfermatige resultaten in par. 4.4.

3.3 Hoe zit het in dit geval met de veiligheidsnorm?

Hebben we met het goede criterium (3.1) om te bepalen hoever we nu met investeren moeten gaan, ook afgeleid wat een goede wettelijke norm zou zijn als richtsnoer voor de toekomst? Ja en nee, nog even afgezien van de opmerking over de ontwerpnorm in voetnoot 11.

Uit formule (3.1) blijkt dat de VNK investeringsstrategie het meest aansluit bij de derde zienswijze genoemd in par. 1.2: de rentabiliteitmaatstaf volstaat. Het is bij deze investeringsstrategie inderdaad onduidelijk waarvoor nog een expliciete veiligheidsnorm nodig zou zijn. Alle in Kuijper e.a. (2006) bijlage C genoemde maatregelen zijn klein van omvang (alle (veel) kleiner dan 10 mln euro) en lijken mij relatief eenvoudig uitvoerbaar. De volgende procedure is dan goed voorstelbaar:

[11] Dat is tegelijkertijd ook een bezwaar om ons tot toepassing van (3.1) te beperken. Dit criterium levert namelijk mogelijk onvoldoende informatie over de optimale keuze van de omvang van een maatregel, als die omvang in feite wel vrij gekozen kan worden. Maar dit moet nog nader worden onderzocht, zie ook par. 4.5.

- Controleer iedere 5 jaar de kwaliteit van de ringdijk en de overige relevante informatie;
- Bereken de daarbij behorende faalkans van ieder dijkvak en van de dijkring in zijn geheel;
- Identificeer veelbelovende verbeteringsprojecten per dijkvak;
- Besluit via de in bijlage C geschetste procedure tot uitvoering van die projecten die op dat moment voldoen aan criterium (3.1).

Het is duidelijk dat hierdoor de veiligheid van de dijkring zeer dicht bij het optimale niveau blijft. Verder is het investeringspatroon regelmatig, behalve als er echt nieuwe informatie is. Dat kan bijvoorbeeld een verhoging van de maatgevende waterstanden zijn, zoals in 2001 op grond van de hoogwaters in 1993 en 1995. Maar ook de verandering van de risicovrije disconteringsvoet in maart 2007 geeft aanleiding tot een extra investeringsprogramma. Ook een betere manier om de sterkte van keringen te bepalen kan reden zijn voor een grote aanpassing.

Conclusie is dat we bij dit soort investeringsprogramma's en efficiënt investeren als uitgangspunt in theorie geen aparte veiligheidsnorm nodig hebben. Wel moet nader onderzoek plaatsvinden hoe per dijkvak de ontwerpnorm vastgesteld kan worden, d.w.z. de Pplus in . Zoals al is opgemerkt in par. 2.3.3, vierde punt: omdat de opbouw van de investeringskosten per dijkvak (bijvoorbeeld kunstwerk of onbebouwde grasdijk) sterk uiteen loopt, zal ook de ontwerpnorm per dijkvak sterk uiteen lopen. Het is dus niet zo dat na verloop van tijd vanzelf een situatie bereikt gaat worden die lijkt op die beschreven in par. 2. Zie hierover par. 4.5.

4 Wettelijke toetsnorm in de vorm van een afkeurwaarde

4.1 Een goede toetsnorm op basis van KBA

Stel dat we wel een expliciete veiligheidsnorm willen, bijvoorbeeld om een heldere scheiding aan te brengen tussen de verantwoordelijkheid voor de hoogte van de veiligheidsnorm en de verantwoordelijkheid voor de handhaving van die norm door middel van maatregelen die de overstromingskans verlagen. Zoals gezegd, kunnen bij de keuze van de veiligheidsnorm ook andere dan efficiëntie redenen een rol spelen. Maar dit memorandum beperkt zich tot de vraag: Wat is een goede wettelijke toetsnorm, die binnen beide eerder beschreven optimale investeringsstrategieën past en rekening houdt met alle in par. 2.3 genoemde problemen? De belangrijkste eis is dat de toetsnorm zo afgesteld moet worden dat er bij afkeuring ook voor grote maatregelen nog voldoende levertijd over is voordat echt de maximale overstromingskans wordt overschreden.
In CPB (2005) is al betoogd dat binnen het model uit par. 2 de middenkans een goede indicator zou zijn voor een wettelijke toetsnorm. De middenkans volgt door middel van de definitievergelijking: verwachte schade = kans x gevolg, uit het gemiddelde van de verwachte

schade tussen twee investeringen (zie voor de formules bijlage D). De norm voor de verwachte schade is bovendien zeer eenvoudig. In feite zijn de gelijkluidende formules (D.1) en (D.2) zelfs de makkelijkste formule die theoretisch maar denkbaar is. De normformule moet namelijk op de een of andere manier verwachte schade per jaar relateren aan investeringskosten. Die investeringskosten moeten dus ook uitgedrukt zijn op jaarbasis. De relevante totale investeringskosten zijn de huidige kosten per eenheid investering maal een vaste standaardverbetering en deze totale kosten worden met de risicovrije disconteringsvoet omgerekend tot een jaarbedrag. In woorden luiden de formules (D.1) en (D.3) als volgt:

$$Gemiddelde\ verwachte\ schade = kosten\ van\ een\ standaard\ verbetering\ op\ \ jaarbasis \tag{4.1}$$

De middenkans in jaar t volgt uit de toepassing van de definitievergelijking voor verwachte schade op de norm daarvoor in (4.1):

$$\begin{aligned} Middenkans\ op\, overstromen_t &= \frac{gemiddelde\ verwachte\ schade}{schade\ door\, overstromen_t} \\ &= \frac{kosten\ standaard\ verbetering\ op\ \ jaarbasis}{schade\ door\, overstromen_{\mathrm{t}}} \end{aligned} \tag{4.2}$$

De redenen dat de middenkans een goede toetsnorm is, zijn de volgende:

- De middenkans wordt afgeleid van de gemiddelde verwachte schade tijdens een investeringsinterval, zie (4.2), en heeft dus een duidelijke relatie met de achterliggende risiconorm (4.1). De gemiddelde verwachte schade geeft tijdens de hele periode tussen twee investeringen een goede indicatie van het midden van het optimale schade-interval en kan daarom worden opgevat als de streefwaarde voor de verwachte schade gedurende die periode.[12]
- Ook de uit deze risiconorm afgeleide middenkans komt overeen met het midden van het uit de optimalisering volgende, dalende interval voor de overstromingskans. Daarom kan ook de middenkans worden opgevat als de huidige streefwaarde voor de overstromingskans.
- Dit blijkt ook uit het feit dat het gewogen gemiddelde van de middenkans gelijk te is aan het gewogen gemiddelde van de echte overstromingskans (zie CPB, 2005).
- Verder is de middenkans alleen afhankelijk van de gemiddelde kosten en niet van de splitsing in vaste en variabele kosten.

[12] Deze risiconorm is ook al bij benadering te vinden in het rapport van de Deltacommissie, zie Van Dantzig (1960) formule (3.17) of (4.14). Alleen vergeet Van Dantzig ook hier de vaste kosten mee te nemen. We zullen in de tekst wel de begrippen hanteren zoals Van Dantzig ze al heeft gedefinieerd in zijn par.3.3 punten g: nepereringshoogte, h: nepereringskosten en i: nepereringsrente. Zie de definities in de volgende voetnoot.

- Tenslotte, het meest belangrijk, zal de tijdruimte voor reactie voordat het optimale maximum wordt overschreden, inderdaad in de praktijk rond de 20 jaar liggen, zie Figuur 2.2 en bijlage F.

Tot zover de kwaliteit van de middenkans als toetsnorm binnen de aanpak met grote acties volgens par. 2.

Maar er is nog een andere manier waarop dezelfde formule (4.1) afgeleid kan worden en wel als de limiet van het optimale schade-interval wanneer het aandeel van de vaste kosten naar nul gaat. In dat geval klapt het interval samen tot één lijn, namelijk het midden van het interval, zie (D.2) die gelijk is aan (4.1). Dit is bewezen in Eijgenraam (2006). Zonder vaste kosten wordt er volgens de optimale strategie natuurlijk continu geïnvesteerd. Dit lijkt sterk op het in par. 3 beschreven proces van ongeveer continu investeren op achtereenvolgens verschillende dijkvakken. Daardoor moet de overstromingskans dus ongeveer even hard dalen als de schade bij overstromen stijgt om de restschade per jaar gelijk te houden aan de zogeheten nepereringsrente, het rechterlid van (4.1).[13] Zoals gezegd, het belang van deze invalshoek is dat de investeringsstrategie volgens de VNK-aanpak in par. 3 gezien kan worden als een zeer goede benadering van continu investeren.

Conclusie is dat de middenkans gebruiken als toetsnorm past in beide methoden. In het geval van continu en incrementeel investeren vallen alle begrippen samen en is er maar één optimale overstromingskans. In het geval van discrete investeringssprongen door grote vaste kosten is er bij gebruik van de middenkans nog voldoende tijd om deze grote investering te verrichten. In bijlage F wordt uitgelegd hoeveel tijd er bij deze methode is om dijkversterking op grote schaal dan wel een alternatief daarvoor tot stand te brengen.

4.2 Herziening van de hoogte van de toetsnorm in de toekomst

Als de kosten van verbetering niet sterk afhangen van het bereikte veiligheidsniveau, verandert ook de optimale verwachte schade niet veel in de loop der tijd, zie formule (4.1). De twee grenzen in Figuur 2.1 zijn dan bijna constant. Een echte risiconorm hoeft dus niet vaak herberekend te worden.

Er is echter veel voor te zeggen om de toetsnorm niet uit te drukken in een getal voor de verwachte schade (risico), maar in een getal dat geldt voor de overstromingskans. Dat is zowel duidelijker te begrijpen en te communiceren als beter toetsbaar in de uitvoering, zie bijv. CPB

[13] De nepereringsrente (de rechterkant van (4.1)) is de rente per jaar van de nepereringskosten en de nepereringskosten zijn op hun beurt de kosten om de overstromingskans met een factor e (= grondtal natuurlijke logaritme = 2,718…) te verkleinen. De nepereringshoogte is de daarbij behorende dijkverhoging en is gelijk aan 1/coëfficiënt exponentiele verdeling van waterstanden. De nepereringshoogte is ongeveer gelijk aan de decimeringshoogte gedeeld door 2,3, of anders gezegd, de decimeringshoogte maal 0,1 maal e.

(2005) en Eijgenraam (2007). Het leidt ook tot een duidelijke scheiding van verantwoordelijkheden. Maar de optimale waarde van de toetsnorm in de vorm van een overstromingskans is niet constant in de tijd, maar daalt ongeveer even hard als de economische groei, zie het voorbeeld voor de Betuwe in Figuur 2.2. Dat maakt regelmatige herziening van een toetsnorm in de vorm van een overstromingskans noodzakelijk. Regelmatige herziening is ook nodig om te voorkomen dat er bij herziening zeer veel investeringen tegelijkertijd zouden moeten gebeuren. Het zou dus zeer onwenselijk zijn als bijvoorbeeld eens in de 50 jaar van alle dijkringen de norm tegelijkertijd wordt herzien.

Praktisch lijkt de volgende aanpak goed uitvoerbaar. Bij velen bestaat het idee dat de uit de berekeningen volgende overstromingskansen beleidsmatig afgerond moeten worden op een aantal vaste waarden. Voor de hand ligt om die standaardnormen dan (quasi logaritmisch) te kiezen op een ongeveer vaste factor van elkaar. Bij het periodiek hanteren van tweemaal een factor 2 en een keer een factor 2,5 (samen een factor 10) ontstaat bijvoorbeeld de reeks: 1/1000, 1/2000, 1/4000, 1/10000, 1/20000, 1/40000, enz. Deze indeling sluit goed aan bij de huidige indeling.

Bij een economische groei van iets minder dan 2% per jaar zal de optimale overstromingskans in een periode van 40 jaar halveren. Bij een herijking om de 10 jaar, zoals nu geregeld in de wet, zou dan iedere keer ongeveer een kwart van de dijkringen naar een volgende standaardnorm springen. Herziening om de tien jaar voorkomt dus enerzijds een te grote clustering van investeringen, terwijl er anderzijds per dijkring toch steeds ongeveer 40 jaar rust is in de norm. In de praktijk zal dit aantal jaren nog iets groter zijn omdat de investeringskosten wat toenemen met het veiligheidsniveau. Daardoor daalt de optimale overstromingskans wat minder hard dan de economische groei.

4.3 Verschillende benaderingen vergeleken

4.3.1 Berekening van de middenkans

Hoewel de in par. 2 en par. 3 beschreven investeringsstrategieën sterk verschillen, leveren beide methoden dezelfde formule (4.1) voor de streefwaarde van de verwachte schade en dus dezelfde middenkans. Dat is belangrijk omdat deze waarde dan zowel kan dienen als toetsnorm in het geval een groot project het gevolg is van afkeuring, als voor afkeuring met een klein project als gevolg. Dit komt omdat men alleen dan zal kiezen voor een klein project als de vaste kosten daarvan gering zijn of als de omvang gegeven is. In de praktijk kunnen de cijfermatige uitkomsten van de diverse berekeningen enigszins verschillen, omdat de in de berekening gebruikte investeringskosten en de uitgangsniveaus voor de overstromingskans niet gelijk zullen zijn. Wel kan de ene berekening dus een controle zijn op de andere.

Daarnaast zijn er benaderingen mogelijk, maar de cijfermatige kwaliteit daarvan moet nog nader worden bezien. In bijlage D wordt daar nader op ingegaan. Lastig daarbij is dat de investeringskosten per eenheid verbetering (bijvoorbeeld per cm dijkverhoging) meer dan lineair toenemen bij iedere verbetering, omdat de kosten mede afhankelijk zijn van de hoogte van de dijk, zoals in Eijgenraam (2005) of (2006). Voorbeelden van deze uitkomsten staan in par. 4.4.3. Een ander voorbeeld van meer dan lineair stijgende kosten zijn de voor dijkring 7 opgestelde kosten van acties in bijlage E.

Een tweede vraag die kan rijzen is of de kosten ontleend moeten worden aan een algemene verbetering langs de hele dijkring of aan afzonderlijke kleine investeringsacties. Daarover gaat de volgende subparagraaf.

4.3.2 Wat zijn de relevante investeringen?

Formule (3.1) en formule (4.2) zijn duidelijk niet dezelfde en zullen dus in het algemeen tot verschillende conclusies over investeren leiden. Wat is dan de juiste aanpak?

Het verschil tussen de formules is het makkelijkst te begrijpen via de investeringskosten. In de VNK-aanpak gaat het iedere keer om de kosten van een afzonderlijke kleine actie waarvan de omvang vooraf vastligt. Als zo’n actie voldoet aan criterium (3.1), is het rendabel om die actie uit te voeren; ongeacht wat er uit formule (4.2) komt. Uit bijlage C kan worden afgeleid dat een enkele actie vooral rendabel kan zijn indien de actie een dijkvak betreft met een overstromingskans die veel groter is dan die langs de rest van de dijkring, dus op veel plaatsen veel overhoogte, maar niet overal. Met weinig kosten zijn dan op dat moment veel baten haalbaar. Tijdelijk kan dan door het nemen van een paar simpele maatregelen een heel hoog veiligheidsniveau worden bereikt. In de volgende paragraaf 4.4.1 zal dit worden geïllustreerd aan de hand van de Noordoostpolder. Maar de vraag is dan wel hoe het toekomstige veiligheidsverloop zal zijn wanneer in de loop der tijd op meer plaatsen tegelijkertijd of bij kunstwerken verbeteringen nodig zijn.

Formule (4.2) kijkt daarom niet naar de kosten van de volgende, afzonderlijke verbetering, maar naar de kosten om het veiligheidsniveau van de hele dijkring met een redelijke factor, namelijk 2,72 keer, te verbeteren. Dat is dus nog wat meer dan de sprong van de ene huidige veiligheidsklasse naar de volgende (zie ook par. 4.2). Voor een sprong met een factor e kunnen investeringen nodig zijn die nu nog lang niet rendabel zijn. Formule (4.2) geeft dus een betere indicatie van het veiligheidsniveau dat voorlopig op langere termijn houdbaar is. Maar ook bij verbetering van de overstromingskansen met een factor e hoeft het nog niet zo te zijn dat overal geïnvesteerd moet worden. Uit de VNK-berekeningen komt namelijk naar voren dat de overstromingskansen op verschillende dijkvakken tot wel een factor 100 kunnen verschillen. Ook bij echt zeer grote en omvangrijke verbeteringsacties als Ruimte voor de Rivier, waarin bijna langs de hele Rijn de overstromingskansen ruwweg worden gehalveerd, wordt lang niet op ieder dijkvak de overstromingskans verlaagd. Ook grote maatregelen worden zo gekozen dat zij knelpunten oplossen, zij het door de aard en omvang van de maatregel over een lang traject. Als gevolg daarvan zal er op grote delen van zo'n traject nieuwe overhoogte wordt geschapen. Dit heeft weer tot gevolg dat als opnieuw een gelijksoortige investeringsronde zou moeten plaatsvinden, er op andere punten actie ondernomen zal worden dan nu in Ruimte voor de Rivier. De in de PKB gereserveerde gebieden voor die vervolgacties zijn daar duidelijke voorbeelden van.

Het voorbeeld van Ruimte voor de Rivier kan met vele andere worden aangevuld. Bijvoorbeeld: als de Afsluitdijk niet meer voldoet, gaan we niet een compleet nieuwe dijk aanleggen in een open stroomgat, maar verbeteren we de bestaande dijk. Kortom, *alle veiligheidsverbeteringen die we doen, zijn incrementele verbeteringen van knelpunten*.

Conclusie is dus dat er geen algemeen antwoord is op de vraag aan het begin van deze paragraaf. Criterium (3.1) kijkt naar de actuele rentabiliteit van de eerstvolgende efficiënte investering en controleert of die al voldoet aan het rentabiliteitscriterium. Formule (4.2) geeft de beste indicatie van het veiligheidsniveau dat vooralsnog op langere termijn houdbaar is. Maar dat hoeft geen belemmering te zijn om nu rendabele investeringen uit te voeren.

Maar wanneer als uitgangspunt voor de normberekening wordt gekozen dat de faalkans op alle dijkvakken van de dijkring met een vergelijkbare factor moet verbeteren, inclusief de verhoging van alle kunstwerken, dan kunnen de gemiddelde kosten veel hoger uitpakken en zal er een hogere middenkans voor overstromen uit volgen. Er zullen dan veel rendabele investeringen niet worden uitgevoerd. Economisch gezien is er echter voor deze benadering van de investeringskosten, en daarmee de norm, geen goede onderbouwing te geven. Ook uit praktijkvoorbeelden blijkt dat er altijd incrementeel wordt geïnvesteerd op knelpunten.

Is incrementeel investeren iets tijdelijks?

De enige plausibele reden om toch de kosten van verbetering van alle dijkvakken tegelijkertijd als uitgangspunt te nemen voor de normberekening zou zijn dat iedere optimale investeringsstrategie altijd binnen afzienbare tijd zal leiden tot een situatie dat de overstromingskans op alle dijkvakken van een dijkring dezelfde wordt. Dan is uitsluitend door een aanpassing van alle dijkvakken nog een echte daling van de faalkans bereikbaar. Maar zeer waarschijnlijk zal een echt optimale strategie niet leiden tot gelijkheid, tenzij de investeringskosten per dijkvak sterk op elkaar lijken. Dat laatste is zeker niet het geval. Kosten per kilometer waterkering kunnen tot een factor 200 uit elkaar lopen.[14] In zulke gevallen zal het veiligheidsniveau langs een dijkring altijd een gekarteld verloop blijven behouden. Ook bij de dijkringen 7 en 36 zijn na het bereiken van de nu optimale veiligheidsniveaus de lijsten met

[14] Bijvoorbeeld een sluizencomplex waarvan de kosten per kilometer een factor 200 groter zijn dan die van de dijk aan weerskanten, met bovendien een volstrekt andere verhouding tussen vaste en variabele kosten, zie Eijgenraam (2005) bijlagen A.9.2 en B.

verdergaande maatregelen nog lang niet uitgeput. De huidige rentabiliteit van de laatste maatregelen op deze lijsten is zo slecht dat het nog vele decennia zal duren voordat alle maatregelen zouden zijn uitgevoerd. En ook na uitvoering zal het veiligheidsniveau per dijkvak verre van gelijk zijn.

Tenslotte, we kunnen pas compleet goed inzicht krijgen in de optimale strategie als we de beschikking hebben over een model dat alle drie de keuzes simultaan aan kan, dat wil zeggen: de keuze van het dijkvak, de keuze van het tijdstip en de keuze van de omvang van de actie. Zie daarvoor paragraaf 4.5.

4.4 Cijfermatige invulling

4.4.1 Dijkring 7 Noordoostpolder

In bijlage E wordt een aantal berekeningen toegelicht die zijn gemaakt met cijfers uit Kuijper e.a. (2006) voor dijkring 7 Noordoostpolder. In Kuijper e.a. (2006) wordt uitgerekend dat het nu bij een disconteringsvoet van 4% rendabel is om de faalkans met ongeveer een factor 10 te verkleinen van het huidige niveau van 1/1130 naar 1/11430. Uit tabel E.2 blijkt echter dat er – ook bij 4% – meer rendabele maatregelen mogelijk zijn dan volgens de volgordebepaling die alleen kijkt naar effectiviteit. Bij toepassing van (3.1) resulteert het inhalen van de achterstand en het uitvoeren van de net rendabele maatregelen tot een faalkans van 1/19720 bij een disconteringsvoet van 4% en zelfs van 1/24040 bij de huidige disconteringsvoet van 2,5%.

Bij het toepassen van formule (4.2) is het nodig om de berekening te starten op een redelijk uitgangsniveau. Het blijkt dat als we eerst de overduidelijke achterstanden repareren door de superrendabele investeringen te doen, we voor het vervolg een redelijk niveau van investeringskosten krijgen, wat resulteert in een toetsnorm van 1/21310.

We kunnen de keuze vooraf van een redelijk startniveau vermijden door het uitgangspunt zo te bepalen dat in dat punt het feitelijke veiligheidsniveau en de norm daarvoor samenvallen. Dat doen we door de kosten van investeren te benaderen met een investeringskostenfunctie zonder vaste kosten bij investeren. Er wordt dan in principe continu geïnvesteerd. Optimale en feitelijke faalkans worden dan gelijk bij een waarde van 1/26880. Ook dan wordt slechts geïnvesteerd op een deel van de dijkring. Alle drie de uitkomsten liggen gelet op het discrete karakter dan wel het benaderingskarakter zeer dicht bij elkaar.
Is de huidige faalkans groter dan de evenwichtswaarde en berekenen we de norm met deze lage kosten, dan wordt de berekende waarde van de norm veel strenger dan de evenwichtswaarde. Zou de huidige faalkans al scherper zijn dan dit getal en berekenen we een norm met deze hoge kosten, dan zou de berekende waarde van de norm veel minder scherp uitkomen dan de evenwichtswaarde. De verhouding tussen de huidige faalkans en de van daaruit berekende norm wijst dus wel altijd in de correcte richting: investeren of niet, maar geeft niet automatisch tevens de goede omvang van die investering.

Door het ontbreken van een investeringsfunctie met vaste kosten bij investeren is voor dijkring 7 een berekening volgens paragraaf 2 niet mogelijk. De uitkomsten daarvan zouden natuurlijk grotere uitslagen naar boven en beneden te zien geven dan volgt uit de quasi continue aanpak. Maar gemiddeld genomen moet, op grond van de afleidingen en bewijzen in Eijgenraam (2006), weer gelden dat bij vergelijkbare investeringskosten het gemiddelde niveau van de verwachte schade in een investeringsperiode niet veel afwijkt van het resultaat van de continue berekening.

4.4.2 Dijkring 36 Land van Heusden / De Maaskant

Uit het feit dat de tentatief verbeterde berekeningen voor dijkring 7 leiden tot een stevige aanscherping van de norm, mag niet de conclusie worden getrokken dat voor andere dijkringen de aanpassing van de toetsnorm in dezelfde richting zal gaan. Hoewel de herberekening voor dijkring 36 wegens het grote aantal maatregelen en de onderlinge afhankelijkheid daarvan per dijkvak niet zo uitgebreid is geweest als voor dijkring 7, wijzen de uitkomsten in de richting van een nog minder scherpe norm dan al uit Kuijpers e.a. (2006) komt. In dat rapport staat dat de eerste 94 maatregelen rendabel zijn (bij 4%) en dat uitvoering daarvan leidt tot een faalkans van 1/700 ten opzichte van een huidig niveau van 1/90! Maar een flink deel van deze 94 maatregelen voldoet afzonderlijk niet aan het rendementscriterium (3.1). Bij het bij 4% rendabele deel van de 94 maatregelen zakt de faalkans niet verder dan tot 1/500! Anderzijds voldoet een deel van de andere maatregelen wel aan het 4% criterium, zodat bij simpele herschikking een niveau van 1/570 wordt bereikt. Laten we het rentabiliteitscriterium zakken tot de huidige 2,5%, dan kan de faalkans zakken tot 1/790. Maar zelfs dan voldoet nog een deel van de eerste 94 maatregelen niet aan dit rendementscriterium.

De verbeteringen van de faalkans zijn bij dijkring 36 per maatregel zeer klein, zodat het al moeite kost om nog één redelijke benadering van de nepereringskosten te vinden. Alle maatregelen van nr. 79 tot en met nr. 200 bij elkaar leveren een verbetering met een factor e. We gaan dan van een faalkans van 1/535 naar een faalkans van 1/1458. Dit kost bij elkaar 179 mln euro en de huidige nepereringsrente is dan 4,5 mln euro per jaar. Dit leidt tot een norm voor de overstromingskans van 1/560 per jaar. Dit is een grotere faalkans dan de 1/790 die op dit moment met uitvoering van de nu rendabele investeringen kan worden bereiken. De reden van deze afwijking is natuurlijk dat de investeringskosten relatief gaan stijgen naarmate de dijkring op een hoger veiligheidsniveau komt te zitten.

Ook berekeningen door Kind met behulp van de algemene methode uit par. 2 leiden tot overeenkomstige cijfers. Een efficiënte norm is bij deze dijkring dus veel minder scherp dan toepassing van de huidige wettelijke overschrijdingskans per dijkvak als norm voor de overstromingskans per dijkring. Dat komt natuurlijk door de grote lengte van de dijk (100 km) in combinatie met een relatief klein schadebedrag bij overstromen van 2,5 mld euro. Wel is het de vraag of dit schadebedrag niet te laag is ingeschat. Als dat het geval zou zijn, worden alle hier genoemde getallen evenredig strenger.

4.4.3 Dijkringen betrokken bij Ruimte voor de Rivier

Tijdens het maken van de KBA Ruimte voor de Rivier is het in par. 2 beschreven model ontwikkeld, maar in die publicatie staat nog niet het begrip middenkans. Dit begrip is geïntroduceerd in CPB (2005) en daarin staan voor de dijkringen betrokken bij Ruimte voor de River de bijbehorende cijfers vermeld, uitgerekend bij de toen geldende disconteringsvoet van

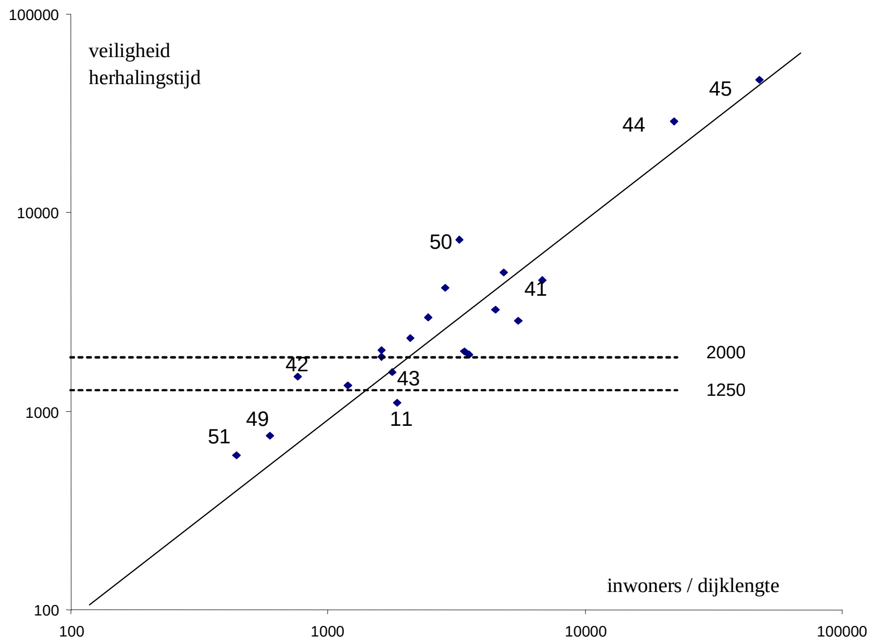
Tabel 4.1 Wettelijke norm en middenkans (bij 2,5%) voor de dijkringen in Ruimte voor de Rivier

Nr.	Naam	norm	middenkans
		herhalingstijd in jaar	
Bovenrivierengebied BOR			
38	Bommelerwaard	1250	2025
41	Land van Maas en Waal	1250	4550
42	Ooij en Millingen	1250	1500
43	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaard	1250	1575
44	Kromme Rijn	1250	28775
45	Gelderse Vallei	1250	46425
47	Arnhemse- en Velperbroek	1250	2850
48	Rijn en IJssel	1250	2000
49	IJsselland	1250	750
50	Zutphen	1250	7300
51	Gorssel	1250	600
52	Oost Veluwe	1250	1875
53	Salland	1250	4975
10	Mastenbroek	2000	2325
11	IJsseldelta	2000	1100
Benedenrivierengebied BER			
15	Lopiker- en Krimpenerwaard	2000	3250
16	Alblasserwaard en Vijfheerenlanden	2000	2950
22	Eiland van Dordrecht	2000	4175
24	Land van Altena	2000	1350
35	Donge	2000	1925

4%. Uit de formules blijkt dat de middenkans praktisch rechtevenredig is met de disconteringsvoet. Door de verlaging van de disconteringsvoet met bijna 40 procent gaan ook de middenkansen met bijna 40% omlaag. Tabel 4.1 geeft de nieuwe uitkomsten bij overigens dezelfde cijfers als gehanteerd in Eijgenraam (2005). Zowel uit deze tabel als de hierna volgende figuur wordt duidelijk dat daardoor bij de meeste dijkringen de middenkans scherper is dan de wettelijke norm, geïnterpreteerd als een overstromingskans per dijkring

Uit de definitie van de middenkans (4.2) blijkt dat de middenkans per jaar het quotiënt is van een jaarlijks kostenbedrag en de schade bij overstromen. Het kostenbedrag is ruwweg evenredig het aantal kilometers dijk en de schade bij overstromen hangt sterk samen met het aantal inwoners. Figuur 4.1 laat zien dat de herhalingstijd van de middenkans ruwweg spoort met het aantal inwoners per kilometer dijk.

Figuur 4.1 Middenkans en het aantal inwoners per kilometer dijk



De grafiek illustreert zodoende nog eens op een andere manier dat de hoogte van de middenkans zowel afhangt van de omvang van de te beschermen waarden als van de kosten, wat bij een toetsnorm op basis van kosten-batenanalyse te verwachten is.

4.5 Wat ontbreekt er nog?

De modellen in paragraaf 2 en 3 zijn beide bijzondere gevallen van een meer algemeen model. In paragraaf 2 zijn er wel vaste kosten bij investeren, zoals ook in de praktijk het geval is. Maar dit model werkt alleen voor de dijkring in zijn geheel. Het model in paragraaf 3 werkt wel per dijkvak, maar de omvang van iedere actie ligt vast. Nodig is dus een model waarin meer dan één dijkvak voorkomt en er per dijkvak zowel de wanneer-vraag als de hoeveel-vraag beantwoord moeten worden. Een dergelijk model is in het algemeen niet meer analytisch oplosbaar.

De Universiteit van Tilburg (Center) is op dit moment in opdracht van RWS Waterdienst bezig dit model te ontwikkelen. In dat model zullen we dus opnieuw moeten onderzoeken wat een geschikte formulering is voor de middenkans.

Bijlage A Netto baten van één optimale investering

Op dezelfde manier als voor de hele investeringsstrategie beschreven in par.2, kunnen we ook de netto contante waarde uitrekenen voor een afzonderlijke optimale investering.
We beginnen met de contante waarde van het verschil in schade door de i^e optimale investering, op het optimale moment van investering:

$$
\begin{aligned}
W_i(\infty) &= \left(S_i^+ - s_i^-\right)\int_o^\infty e^{(\beta-\delta)t}\ dt \\
&= \left(S_i^+ - s_i^-\right)\frac{1}{\delta-\beta} \qquad\qquad als\ \delta > \beta
\end{aligned}
\tag{A.1}
$$

In tegenstelling tot bij de integraal over een eindige periode moet de laatste voorwaarde er nu wel bij staan, want anders wordt de integraal oneindig.

Met gebruikmaking van de noodzakelijke voorwaarde voor het eerstejaarsrendement van een optimale investering, zie (3.1), in plaats van de eerste factor is (A.1) ook te schrijven als:

$$W_i(\infty) = \frac{-\delta}{\delta-\beta} I_i \qquad\qquad als\ \delta > \beta \tag{A.2}$$

De netto contante waarde van de totale kosten van project i met optimale omvang is dus

$$Y_i = I_i - \frac{\delta}{\delta-\beta} I_i = \frac{-\beta}{\delta-\beta} I_i \qquad\qquad als\ \delta > \beta \tag{A.3}$$

Merk op dat in deze berekening de netto contante waarde van het project alleen negatief lijkt omdat het gaat om een kostenbesparing. We zijn immers bezig de totale kosten te minimaliseren en de projecten i dragen daar volgens (A.3) toe bij.

De netto contante waarde van een project is:

- Of oneindig groot (als $\beta \geq \delta$) zoals in BER (zie tabel F.1) met 0,06 < β < 0,075;
- Of weliswaar eindig (als $\beta < \delta$) maar wel veel groter dan de investeringskosten. Stel dat $\beta = 0{,}03\ en\ \delta = 0{,}04$, zoals in 2005 ongeveer in BOR (zie tabel F.1), dan is de netto contante waarde van een optimaal project volgens (A.3) drie keer zo groot als de investeringskosten.

Zelfs voor een investeringsproject van optimale omvang op het juiste moment van investeren kan de netto contante waarde over een lange of oneindige periode dus geen uitsluitsel geven over de investeringsbeslissingen ‘wanneer ?’ en ‘hoeveel ?’. De optimale strategie geeft daar wel een helder antwoord op volgens de criteria (A.21) en (A.35) in Eijgenraam (2005). Bovendien werken die criteria onafhankelijk van het feit of de groei van de schade β al dan niet groter is dan de risicovrije disconteringsvoet δ.

Omdat het kabinet de risicovrije disconteringsvoet in maart 2007 heeft vastgesteld op 2.5% per jaar, is het nu in bijna alle praktijkgevallen zo dat het verschil (δ - β) negatief is, tenzij er een forse risico-opslag (d.w.z. risico-aftrek op de economische groeivoet) wordt gehanteerd. Zie MinFin (2007), MinV&W (2004) en Werkgroep Actualisatie Discontovoet (2007).

Bijlage B De VNK investeringsstrategie volgens Kuijper e.a. (2006)

Het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) benadert de veiligheid van een dijkring als geheel door de combinatie van de verschillende overstromingskansen van afzonderlijke dijkvakken. In Kuijper e.a. (2006) “worden de verbetermaatregelen gekozen in de volgorde van de grootste invloed ervan op de overstromingskans.” Dit is, zoals in het rapport staat, een effectiviteitmaat en we komen er in par. 3.2 op terug of dit de goede volgorde is. Of uitvoering van een maatregel nu gewenst is, wordt in Kuijper e.a. (2006) op de volgende manier bepaald aan de hand van twee criteria.

De baten van een maatregel worden in het eerste jaar gemeten als de direct optredende verbetering van de overstromingskans van de dijkring in zijn geheel maal de schade bij overstromen.[15] Op basis van overstromingsscenario’s wordt voor de twee onderzochte dijkringen geconcludeerd dat het voor dit onderzoek voldoende is om de schade bij overstromen onafhankelijk te beschouwen van de overstromingskans of de dijkhoogte. Iedere overstroming wordt geacht evenveel schade te veroorzaken. De waarde van de verbetering van de verwachte schade groeit in de loop der tijd even hard als de groei van de verwachte schade zelf, dat wil zeggen: zowel door de groei van de schade bij overstromen als door de stijging van de overstromingskans door bijvoorbeeld klimaatverandering.[16] Daarna wordt van deze baten de contante waarde uitgerekend door te disconteren over een oneindige tijdshorizon, net zoals getoond in bijlage A. Dit is alleen mogelijk als de groeivoet van de verwachte schade (inclusief correctie voor macro-economisch risico) kleiner is dan de disconteringsvoet, dus $\beta < \delta$. De hier van toepassing zijnde disconteringsvoet is de reële, risicovrije disconteringsvoet. In 2006 gold daarvoor nog een waarde van 4%, maar in maart 2007 heeft het kabinet dit getal verlaagd tot 2,5% (MinFin, 2007). In de huidige situatie zal het door HKV gebruikte criterium dus in de meeste gevallen niet meer (betrouwbaar) zijn uit te rekenen omdat de groeivoet groter is dan 2,5%. Dit wordt uitgebreider toegelicht in bijlage A.

[15] Er wordt dus geen rekening gehouden met een eventueel in de toekomst optredend voordeel als – na acties op andere dijkvakken – met een grotere omvang van de huidige actie voorkomen had kunnen worden dat dit dijkvak weer het meest kritieke dijkvak wordt.

[16] Deze laatste groeicomponent is in Kuijper e.a. (2006) ten onrechte niet meegenomen.

Maar even aangenomen dat deze berekening nog wel tot een zinnig getal zou leiden, wordt de berekening in Kuijper e.a. (2006) uitgevoerd op combinaties van maatregelen. “De optimale combinatie van verbetermaatregelen d* is de combinatie waarvoor de netto contante waarde minimaal is.” Dit wordt numeriek uitgerekend. Omdat de volgorde van de maatregelen vooraf is bepaald, wordt dit minimum bereikt bij de toevoeging van die maatregel k waarvoor geldt dat de netto contante waarde van alle *kosten* (investeringen en verandering schade) nog net negatief is (dus een kosten*daling*), terwijl die netto contante waarde voor maatregel (k+1) positief is.

Daarna wordt gecontroleerd of de totale beslissing voldoet aan het criterium van het eerstejaarsrendement (FYRR), zie formule (3.1). Daar dit een noodzakelijke voorwaarde is voor het gezochte maximum en er geen onderzoek plaatsvindt naar de optimale hoeveelheid van iedere actie, kan het eerste criterium geschrapt worden. Uit de berekeningen blijkt echter niet dat beide criteria hetzelfde resultaat geven (zie Kuijper e.a. (2006) pag.15 en 19, maar ook in dit memorandum bijvoorbeeld bijlage E of par. 4.4.2). Dat komt vermoedelijk omdat dit tweede criterium is toegepast op de gevonden combinatie van maatregelen en niet op iedere maatregel afzonderlijk. De procedure in Kuijper e.a. (2006) kan dus op een aantal punten worden verbeterd. De juiste aanpak staat in par.3.2. Tentatieve herberekeningen staan in bijlage E en par. . 4.4.2.

Bijlage C Effect van acties per dijkvak op de overstromingskans per dijkring

Bij verschillende overstromingskansen per dijkvak kan de overstromingskans van een dijkring geschreven worden als:

$$P_R = 1 - (1 - P_i)(1 - P_j) \tag{C.1}$$

waarin: P_R overstromingskans dijkring

P_i overstromingskans dijkvak i

P_j overstromingskans dijkring via alle andere dijkvakken dan i: j = {R\i}

Daarbij geldt:

$$\lim_{P_j \downarrow 0} P_R = \max\{P_i\} \tag{C.2}$$

Hierbij sluiten we niet uit dat de kansen onderling afhankelijk zijn, bijvoorbeeld omdat ze dezelfde oorzaak hoge waterstand hebben.

De invloed van een actie x op dijkvak i is dan:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} P_R = \left(1 - P_j\right)\frac{\partial P_i}{\partial x_i} + \left(1 - P_i\right)\frac{\partial P_j}{\partial x_i} \tag{C.3}$$

Uit (C.3) blijkt dat – ook als we bij verbetermaatregelen de laatste term op nul mogen stellen – het effect van de verbetering x_i nog steeds afhankelijk is van het niveau van de overstromingskans via de andere dijkvakken. Als er eerst op andere dijkvakken dan i een verbetering plaatsvindt, dan kan P_j alleen maar gedaald zijn ten opzichte van de situatie zonder die investeringen elders. Daardoor kan het effect van x_i alleen maar stijgen door uitvoering van maatregelen op andere trajecten. De laagste waarde voor het verbeteringseffect van x_i krijgen we dus als we aannemen dat deze actie wordt uitgevoerd los van andere verbeteringen. Dit levert de laagste waarde voor de rentabiliteit van x_i. Als we x_i uitvoeren los van andere maatregelen, dan zullen we x_i ook uitvoeren in combinatie met maatregelen op andere dijkvakken.

We kunnen nu het laatste punt van de aan het einde van par. 3.3 aangeduide investeringsstrategie als volgt uitwerken:

1. Kies alle maatregelen die bij afzonderlijke uitvoering voldoen aan criterium (3.1);
2. Bereken op basis van uitvoering van al deze maatregelen een nieuwe uitgangstoestand;
3. Herhaal nu de stappen 1 en 2 voor de resterende maatregelen, totdat er in stap 1 geen acties over zijn die aan het criterium voldoen;
4. De verzameling tot dan gekozen maatregelen geeft de actuele optimale investeringsstrategie.

Bijlage D De middenkans op overstromen

Zoals vermeld in paragraaf 4.1 kan de vergelijking voor het gemiddelde van de verwachte jaarlijkse schade op twee manieren worden gevonden. De eerste is als het gemiddelde van de optimale verwachte schade tussen twee opeenvolgende investeringen (S^{mean}). Omdat de grenzen van het optimale schade-interval min of meer constant zijn gedurende zo'n periode (zie Figuur 2.1), geeft het gemiddelde een goed idee van de centrale waarde van dit interval gedurende de hele periode. De vergelijking voor het midden van het schade-interval is (zie Eijgenraam, 2006, formule (A.39)):

$$S_{i+1}^{mean} \approx \delta \frac{1}{\theta} \frac{I_i(\hat{u})}{\hat{u}} \tag{D.1}$$

waarin	S	verwachte schade per jaar
	δ	disconteringsvoet (δ > o)

1/θ — nepereringshoogte, d.w.z. de dijkverhoging om de overstromingskans met een factor e te verlagen (= decimeringshoogte / 2,3)

I(u)/u — gemiddelde investeringskosten per meter

ử — optimale investeringsgrootte[17]

i — nummer van de actie

Het gemiddelde van de verwachte schade per jaar is dus alleen afhankelijk van de gemiddelde kosten (I(u)/u) en niet van de marginale kosten van een verbetering. Gemiddelde kosten verschillen veel minder tussen soorten maatregelen dan de verhouding tussen totale en marginale kosten.

Dezelfde centrale waarde kan worden gevonden als de limiet van het schade-interval in het geval het aandeel van de vaste kosten steeds kleiner wordt en tot nul nadert.[18] Deze continue variant van (D.1) luidt als volgt (zie Eijgenraam, 2006, formule (A.47)):

$$S_t^* = \delta \frac{1}{\theta} \frac{J_t(y_t)}{y_t} \qquad \text{(D.2)}$$

waarin J — investeringskosten per tijdseenheid

y — verbetering per tijdseenheid

Voor de definitie van de middenkans ($P^{middle}(t)$) passen we de definitie van de verwachte schade toe op de uitkomst van vergelijking (D.1) of (D.2):

$$P_t^{middle} = \frac{S_{i+1}^{mean}}{V_t} = \frac{S_t^*}{V_t} \qquad \text{(D.3)}$$

waarin P — overstromingskans per jaar

V — (potentiële) schade bij overstromen

Weliswaar representeren beide formules, d.w.z. (D.1) en (D.2), hetzelfde niveau van verwachte schade en dus dezelfde middenkans, maar hun rekenkundige benadering is niet dezelfde. Hieronder wordt een aantal berekeningsmethoden geschetst. Lastig is dat de investeringskosten per eenheid verbetering (bijvoorbeeld per cm dijkverhoging) meer dan lineair toenemen bij een verbetering, omdat de kosten mede afhankelijk zijn van de hoogte van de dijk, zoals in

[17] Zie voor de vergelijking voor ử Eijgenraam (2005) of Eijgenraam (2006). Vaak verschillen de gemiddelde kosten niet veel voor waarden die niet ver van ử af liggen.

[18] ‘Geen vaste kosten’ betekent dat noch de omvang noch het tijdstip van een actie invloed hebben op de gemiddelde kosten per meter van die actie.

Eijgenraam (2005) of (2006).[19] Een ander voorbeeld is de voor dijkring 7 geschatte investeringsvergelijking (E.2).

De eerste mogelijkheid om de middenkans uit te rekenen is via de uitkomsten van het model in par. 2, zie formule (D.1) in bijlage D. Voorbeelden van deze uitkomsten staan in par. 4.4.3. De bijbehorende investeringsfunctie werkt als een stapfunctie, omdat het bij deze aanpak optimaal is om forse verbeteringstappen te nemen.

Als we dit model niet echt uitrekenen, is de tweede mogelijkheid om de gemiddelde kosten bij zo'n grote optimale verbeterstap te benaderen door middel van de kosten van een verbetering met één decimeringshoogte, dus:

$$S_t^* \approx \delta(0{,}1\, e) I_t(x \mid \Delta \log P_t(x) = -1) \tag{D.4}$$

waarin: I(x | *Δlog P(x)* = -1) decimeringskosten, d.w.z. de kosten van de actie x om de overstromingskans met een factor 10 te verlagen

Een goede benadering van het optimale niveau van verwachte schade S*, maar dan lettend op een proces van continu investeren beschreven in par. 3, is de investeringskosten van het volgende kleine stapje te pakken en deze kosten op te schalen naar een verbetering van de overstromingskans met een factor e.

De berekening aan het einde van bijlage E en met name (E.3) is de beste weergave van de norm bij continu investeren.

De vijfde manier is een compromis tussen de tweede en derde methode en wel door de echte kosten te nemen van een verbetering van de overstromingskans met een factor e:

$$S_t^* \approx \delta I_t(x \mid \Delta \ln P_t(x) = -1) \tag{D.5}$$

waarin: I(x | *Δln P(x)* = -1) nepereringskosten, d.w.z. de kosten van de actie x om de overstromingskans met een factor e (= 2,718…) te verlagen

In alle gevallen volgt de middenkans door de verwachte schade S* te delen door de schade bij overstromen (V_t), zoals in (D.3).

[19] Voortman (2003; formule (126) op pag. 186) vindt als resultaat van zijn kostenberekeningen hetzelfde verschijnsel, maar formuleert het iets anders, namelijk dat de kosten van een verbetering van de overstromingskans afhankelijk zijn van de hoogte van de overstromingskans: Hoe lager het uitgangsniveau, hoe duurder een verdere verbetering. Enerzijds is dat algemener geformuleerd dan met dijkhoogte en daardoor ook wijder bruikbaar zoals in de schattingsvergelijking (E.1) in bijlage E. Anderzijds is deze formulering minder duidelijk dan dijkhoogte omdat de overstromingskans geen vast referentieniveau aangeeft door de autonome stijging van de overstromingskans in de loop der tijd.

Bijlage E Cijfermatige uitwerking bij dijkring 7

In Kuijper e.a. (2006) wordt de methode van incrementeel investeren op basis van de zwakke plekken die volgen uit de VNK methode, toegepast op dijkring 7, de Noordoostpolder, en op dijkring 36, Land van Heusden / De Maaskant. Om de verschillen in cijfermatige aanpak te illustreren zijn de cijfers voor dijkring 7 meer geschikt dan die voor dijkring 36, omdat het veel minder maatregelen betreft (20 versus 200), maar toch de verschillen in getallen voor dijkring 7 groter zijn.

Uitgangspunt voor de berekening zijn de getallen in tabel E.1, die gelijk is aan tabel 3.1 in Kuijper e.a. (2006).

Tabel E.1 Overzicht kosten en overstromingskans na treffen van maatregelen bij dijkring 7

nr.	Vaknummer	Verbetermaatregel	Kosten (mln euro)	Cumulatieve kosten (mln euro)	Faalkans	Verandering Faalkans
0			0,00	0,0	8,83E-4	
1	1170005505	Verbeteren stabiliteit	2,00	2,00	3,21E-4	– 5.62E-04
2	1170005512	Verbeteren stabiliteit	2,00	4,00	1,18E-4	– 2.03E-04
3	1170005513	Verbeteren stabiliteit	2,00	6,00	8,57E-5	– 3.05E-05
4	1170005512	Verbeteren kerende hoogte	20,00	26,00	6,31E-5	– 2.44E-05
5	1170005504	Verbeteren stabiliteit	2,00	28,00	3,82E-5	– 2.49E-05
6	1170005011	Dijkhoogte + 0,5 m	0,90	28,90	2,91E-5	– 9.10E-06
7	1170005009	Dijkhoogte + 0,5 m	0,30	29,20	1,72E-5	– 1.19E-05
8	1170005513	Verbeteren kerende hoogte	20,00	49,20	1,19E-5	– 5.30E-06
9	1170005011	Dijkhoogte + 1,0 m	0,90	50,10	1,07E-5	– 1.20E-06
10	1170005010	Dijkhoogte + 0,5 m	2,22	52,32	8,81E-6	– 1.89E-06
11	1170005009	Dijkhoogte + 1,0 m	0,30	52,62	7,52E-6	– 1.29E-06
12	1170005508	Verbeteren stabiliteit	2,00	54,62	5,10E-6	– 2.42E-06
13	1170005008	Dijkhoogte + 0,5 m	1,68	56,30	4,55E-6	– 5.50E-07
14	1170005506	Verbeteren stabiliteit	2,00	58,30	2,74E-6	– 1.81E-06
15	1170005011	Dijkhoogte + 1,5 m	0,90	59,20	2,47E-6	– 2.70E-07
16	1170005001	Dijkhoogte + 0,5 m	2,22	61,42	2,18E-6	– 2.90E-07
17	1170005010	Dijkhoogte + 1,0 m	2,22	63,64	1,72E-6	– 4.60E-07
18	1170005006	Dijkhoogte + 0,5 m	3,54	67,18	1,15E-6	– 5.70E-07
19	1170005009	Dijkhoogte + 1,5 m	0,30	67,48	9,44E-7	– 2.06E-07
20	1170005008	Dijkhoogte + 1,0 m	1,68	69,16	8,46E-7	– 9.80E-08

De maatregelen in deze tabel zijn door herhaalde berekeningen met PC-Ring achtereenvolgens gekozen op basis van de dan grootst mogelijke bijdrage aan de vermindering van de faalkans, zie de laatste kolom in tabel E.1. De resulterende faalkans na uitvoering (voorlaatste kolom) is dus uitgerekend na uitvoering van alle eerder gekozen maatregelen. Zoals in bijlage C is getoond, is de vermindering van de faalkans door een maatregel afhankelijk van het uitgangspunt. We mogen dus eigenlijk niet de volgorde van de maatregelen veranderen zonder de berekening over te doen. Dat laatste is echter bij het veranderen van de volgorde in tabel E.2

niet gebeurd en daarom is het cijfermatig niet helemaal juist wat we daar doen. Voor maatregelen die we in de tabel naar boven schuiven, overschatten we zonder herberekening de bijdrage aan de vermindering van de faalkans (P_j wordt dan namelijk groter) en voor maatregelen die we naar beneden schuiven, onderschatten we de bijdrage aan de vermindering. In werkelijkheid kunnen de verschuivingen dus wat minder groot zijn dan we in de navolgende berekeningen laten zien. Maar de verschillen per dijkvak zijn bij dijkring 7 zo groot dat de verschuivingen die we laten zien, wel een goed idee geven van de verschillen in aanpak.

Berekening in Kuijper e.a. (2006) volgens tabel E.1

In de uitgangssituatie is de overstromingskans 1/1133 per jaar, zodat de dijkring niet voldoet aan de wettelijke norm van 1/4000, tenminste als we die norm interpreteren als de overstromingskans voor de hele dijkring. Maar op bijna alle dijkvakken is overhoogte/-sterkte aanwezig, zodat er met relatief weinig investeringen een hoger veiligheidsniveau kan worden bereikt. In de berekening volgens bijlage B wordt geconcludeerd dat alleen uitvoering van de eerste drie maatregelen in tabel E.1 rendabel is. Dit vergt investeringen van 6 mln euro en resulteert in een faalkans die 10 keer zo klein is als de bestaande, namelijk 1/11430 per jaar. De vierde maatregel, die 20 mln euro kost, is te duur en daarom komt ook uitvoering van andere maatregelen met een kleinere bijdrage aan de vermindering van de faalkans niet meer in aanmerking. Maar figuur 3.3 in Kuijper e.a. (2006) laat al zien dat er na uitvoering van maatregel 4 weer een daling optreedt in de NCW bij uitvoering van verdere maatregelen.

Berekening volgens formule (3.1) op basis van tabel E.2

In paragraaf 3.2 is betoogd dat het rentabiliteitscriterium en de optimale volgorde een andere zijn. Om het criterium te berekenen beginnen we met aan de tabel toe te voegen de vermindering van de faalkans zoals die uit de laatste kolom volgt. Met behulp daarvan en de schade bij overstromen van 3250 mln euro berekenen we de rentabiliteit van de bijbehorende investering volgens formule (3.1). Nu kunnen we de maatregelen rangschikken op hun rentabiliteit, waarbij we de maatregelen met een uiterst geringe rentabiliteit (< 0,4%) hebben weggelaten uit de volgende tabel omdat ze verder geen rol spelen in het betoog.

Tabel E.2 Overzicht kosten en overstromingskans na treffen van maatregelen bij dijkring 7 op volgorde rendement

nr.	Vaknummer	Verbetermaatregel	Kosten (mln euro)	Cumulatieve kosten (mln euro)	Faalkans	Rendement
0			0,00	0,0	8,83E-4	
1	1170005505	Verbeteren stabiliteit	2,00	2,00	3,21E-4	0.9133
2	1170005512	Verbeteren stabiliteit	2,00	4,00	1,18E-4	0.3299
7	1170005009	Dijkhoogte + 0,5 m	0,30	4,30	1,72E-5	0.1289
3	1170005513	Verbeteren stabiliteit	2,00	6,30	8,57E-5	0.0496
5	1170005504	Verbeteren stabiliteit	2,00	8,30	3,82E-5	0.0405
6	1170005011	Dijkhoogte + 0,5 m	0,90	9,20	2,91E-5	0.0329
11	1170005009	Dijkhoogte + 1,0 m	0,30	9,50	7,52E-6	0.0140
9	1170005011	Dijkhoogte + 1,0 m	0,90	10,40	1,07E-5	0.0043
4	1170005512	Verbeteren kerende hoogte	20,00	30,40	6,31E-5	0.0040

In 2006 zouden we dan alle maatregelen uitvoeren met een rentabiliteit boven de 4%. Dat blijken niet alleen de eerste drie maatregelen te zijn, maar ook de maatregelen 7 en 5. De laatste heeft een rentabiliteit van 4,05% en komt dus maar net over de streep.[20] Alle vijf maatregelen samen kosten 8,3 mln euro en de resulterende faalkans halveert bijna nog eens verder tot 1/19720 per jaar. Als we de huidige rentabiliteitsnorm nemen van 2,5%, dan komt daar nog maatregel 6 bij met een rentabiliteit van 3,29%. De kosten stijgen dan tot 9,2 mln euro en de faalkans daalt verder tot 1/24040 per jaar.

Ook in deze berekening blijkt maatregel 4 dus niet rendabel, zelfs niet bij 2,5%, maar dat hoeft uitvoering van maatregelen met een kleinere verbetering van de faalkans niet tegen te houden, als die minder geld kosten en daardoor rendabeler zijn dan maatregel 4.

Berekening norm volgens formule (D.5) met oorspronkelijke cijfers

Wat zou nu de toetsnorm zijn als we eerst de rendabele verbeteringen uitvoeren en daarna formule (D.5) toepassen? Het meest rendabel zijn dan vervolgens de maatregelen 11, 9 en 4 en daarmee komen we aan een verbeteringsfactor van 2,83, dus net iets meer dan een factor e. De kosten daarvan zijn 21,2 mln euro en met 2,5% is de nepereringsrente 0,53 mln euro per jaar. Na deling door de schade bij overstromen resulteert een norm van 1/6130 per jaar. Gelet op het feit dat deze drie investeringen op dit moment niet rendabel zijn, is het niet verwonderlijk dat de norm voor de faalkans hoger uitkomt dan het niveau tot waar nu rendabel investeren mogelijk is. Als we in de toekomst deze norm opnieuw uitrekenen, is te verwachten dat deze steeds scherper wordt. Deels omdat door verslechtering van het watersysteem de faalkansen toenemen en daardoor een verbetering meer effect heeft op de absolute verandering van de verwachte schade. Deels omdat wordt gedeeld door een stijgende schade bij overstromen.

[20] Wanneer de PC-Ring berekeningen echt opnieuw zouden worden gedaan, dan is het mogelijk dat door de omwisseling van de maatregelen 4 en 7 de maatregel 5 net een iets geringer effect zou hebben.

Een andere, en wellicht nu meer relevante manier om de middenkans te berekenen is uit te gaan van de huidige situatie, waarin een grote achterstand in veiligheidsniveau bestaat. Dan zijn we snel klaar, want zowel de eerste, maar ook de tweede maatregel blijken ieder afzonderlijk al een factor e in de faalkans te schelen. De nepereringskosten zijn in de huidige situatie dus 2 mln euro, de nepereringsrente 0,05 mln euro per jaar en de bijbehorende faalkans is 1/65000. We zouden dit niveau in werkelijkheid kunnen bereiken door niet alleen alle nu rendabele maatregelen uit te voeren, maar ook de daarop volgende maatregelen 11, 9 en 4. Maar na uitvoering van maatregel 6 is de norm dan wel al weer gestegen tot de bovenvermelde 1/6130. Het lijkt er dus op dat we in de huidige situatie een duidelijke veiligheidsachterstand hebben en dat we die eerst moeten wegwerken voordat we aan een getal kunnen komen dat een redelijke norm is voor de komende tijd.

Wegwerking van achterstand is in dit model letterlijk alle rendabele investeringen uitvoeren en daarmee zijn we weer terug op de eerst beschreven situatie. Maar als we ‘achterstand wegwerken’ interpreteren als de maatregelen uitvoeren met een uitzonderlijk hoge rentabiliteit, dan zijn dat de maatregelen 1, 2 en 7. De daarop volgende maatregel heeft een eerstejaarsrentabiliteit beneden de 5%. Na uitvoering van de eerste drie is de faalkans dan 1/9450. Als we van daaruit de nepereringskosten berekenen, is maatregel 4 net niet nodig en blijven de kosten beperkt tot 6,1 mln euro en een bijbehorende norm van 1/21310. Op basis van deze norm zouden we nog de maatregelen 3, 5 en wellicht 6 uitvoeren. Dat komt overeen met wat we op grond van criterium (3.1) zouden hebben gedaan. Dus dit zou nu een redelijk getal voor de norm kunnen zijn.

Het probleem waar we bij de bepaling van een norm op basis van (D.5) tegen aanlopen, is natuurlijk dat er grote sprongen zitten in de kosten per eenheid verbetering en dat die sprongen een grote invloed hebben op de getalsmatige benadering van de norm. Maar dat is de werkelijkheid en er is nooit een methode denkbaar die enerzijds aansluit op de echte kostencijfers en anderzijds geen sprongen vertoont.

Berekening norm met continue benadering investeringskosten

Het model in paragraaf 2 is ontworpen voor de toestandsvariabele hoogte van de dijk, maar dat is bij de gegevens die uit VNK komen, niet direct toepasbaar. Maar we kunnen de interpretatie van dat model wijzigen door de toestand gelijk te stellen aan de faalkans (of beter gezegd, de toestand is minus de natuurlijke logaritme van de faalkans).[21] Uit de gegevens van de complete versie van tabel E.2 is een investeringsfunctie te schatten die hoort bij continu investeren zonder vaste kosten[22]:

[21] Let echter wel op de waarschuwing in voetnoot 13, dat het niveau van de overstromingskans geen vast referentiepunt is.

[22] Dit is vergelijking (A.40) in Eijgenraam (2006).

$$\ln\left(\frac{I}{-\Delta P}\right) = -0{,}72 - 1{,}27\ln P \tag{E.1}$$

$$\frac{I}{-\Delta P} = 0{,}486P^{-1,27} \tag{E.2}$$

De investeringskosten (in mln euro) per eenheid verbetering van de faalkans nemen toe naarmate het niveau van de faalkans afneemt.[23] Deze kosten per eenheid zijn in deze specificatie gelijk aan de marginale kosten, zodat er geen 'vaste kosten' zijn.

Berekening formule (D.2)

Het optimale niveau van de verwachte schade S* is dan bij een verbetering van de faalkans P_t met een factor e tot P_t^+ te vinden door (E.2) te substitueren in (D.2):[24]

$$\begin{aligned} S_t^* &= \delta\left(P_t - P_t^+\right)\frac{I}{-\Delta P_t} \\ &= 0{,}025\left(1 - 1/e\right) * 0{,}486P_t^{-0,27} \\ &= 0{,}0077P_t^{-0,27} \end{aligned} \tag{E.3}$$

Bij ieder uitgangsniveau P_t hoort nu een optimale schadenorm en, na deling door de schade bij overstromen (in dit geval 3250 mln euro), een optimaal kansniveau. Het werkelijke en optimale niveaus van de faalkans zijn op dit moment aan elkaar gelijk bij een waarde die volgt uit de volgende vergelijking:

$$\begin{aligned} P_t^* &= \frac{0{,}0077}{3250}P_t^{-0,27} \\ &= 1/26880 \end{aligned} \tag{E.4}$$

[23] Als dit niet het geval is en de geschatte coëfficiënt van lnP dus (bijna) nul zou zijn, werkt deze methode niet. Dit is echter niet mogelijk daar er dan een constant bedrag aan kosten zou zijn bij eenzelfde absolute verbetering van de faalkans. Dit zou weer betekenen dat er tegen relatief geringe kosten absolute veiligheid mogelijk is. Het zou dan evenveel kosten om de faalkans van 1/500 terug te brengen naar 1/1000 als om een faalkans van 1/1000 terug te brengen tot volstrekt nul. In beide gevallen is de absolute verbetering in faalkans dezelfde, namelijk 1/1000. Een kostenfunctie die rechtevenredig is met de verhoging van de dijk en dus niet afhangt van de hoogte van de dijk, resulteert in combinatie met een exponentiële verdeling van waterstanden al in een coëfficiënt van -1 voor lnP. Dit zou betekenen eenzelfde bedrag aan kosten voor eenzelfde relatieve verbetering van de faalkans. Ook dit lijkt al onwaarschijnlijk. Alle echte empirische informatie wijst op het bestaan van een positieve correlatie tussen investeringskosten per eenheid verhoging en het niveau van de dijk (of het niveau van de faalkans). Dat betekent een coëfficiënt die in absolute waarde groter is dan 1.

[24] Dit is vergelijking (A.47) in Eijgenraam (2006).

Omdat het hier om een continue benadering gaat van een in werkelijkheid discreet proces, zal deze uitkomst nooit precies bereikt kunnen worden. Wel spoort deze uitkomst goed met de discrete uitkomst bij toepassing van het rentabiliteitscriterium (3.1): 1/24040. Tevens spoort het getal ook redelijk met het discrete resultaat bij toepassing van formule (D.5), als we eerst de super rendabele investeringen hebben uitgevoerd: 1/21310.

Verder is in formule (E.4) duidelijk dat de optimale kans zal dalen naarmate de schade bij overstromen (de 3250 in de noemer) stijgt. Maar deze daling is minder dan evenredig door de steeds verder stijgende investeringskosten om de faalkans nog verder terug te brengen. Dit laatste effect werkt ook bij een autonome toename van de faalkans in de loop der tijd. Rechtstreeks heeft die toename geen gevolg voor de optimale kans. De autonome toename van de faalkans moet steeds gerepareerd worden door voortgaande investeringen. Maar daardoor komen we wel steeds meer toe aan duurdere investeringen per eenheid verbetering van de faalkans.[25]

Berekening via formule (D.5)

Om het verschil duidelijk te maken tussen de uitkomst van (D.2) en (D.5), volgt hieronder de berekening van (D.5) met behulp van investeringsvergelijking (E.2). Het gaat dan bij de investeringen steeds om de dan geldende investeringskosten, zodat er geïntegreerd moet worden over het traject met een nepereringsverbetering:

$$S_t^* = \delta \int_{P_t}^{P_t^+} \frac{I}{-\Delta P_t} dP$$

$$= 0{,}025 \frac{0{,}486}{0{,}27} \left(\left(1/e \right)^{-0{,}27} - 1 \right) P_t^{-0{,}27} \qquad \text{(E.5)}$$

$$= 0{,}014 P_t^{-0{,}27}$$

De uitkomst van (E.5) is dus bijna tweemaal zo groot als de uitkomst van (E.3), zodat (E.5) in dit geval niet zo'n goede benadering is van de nepereringskosten.

Berekening via formule (D.4)

De berekening van de benadering met (D.4) gaat analoog aan die via (D.5):

[25] Technisch uit zich dat in het feit dat bij opnieuw schatten van de vergelijking nadat er enige investeringen hebben plaatsgevonden om de toename van de faalkans te repareren, de constante in vergelijking (E.1) toeneemt. Dit leidt in vergelijking (E.4) tot een hogere waarde van de optimale faalkans. Het steeds herschatten van (E.1) is nodig wegens de verschijnselen genoemd in de voetnoten 21 en 14.

$$S_t^* = \delta(0{,}1e)\int_{P_t}^{P_t^+} \frac{I}{-\Delta P_t}\,dP$$

$$= 0{,}025(0{,}1e)\frac{0{,}486}{0{,}27}\left((0{,}1)^{-0{,}27} - 1\right)P_t^{-0{,}27} \qquad \text{(E.6)}$$

$$= 0{,}0105P_t^{-0{,}27}$$

De uitkomst van (E.6) komt dichter in de buurt van de uitkomst van (E.3) dan (E.5).

Berekening norm volgens de methode uit paragraaf 2

De berekening in paragraaf 2 hangt op het bestaan van vaste kosten. Zijn die er niet, dan wordt er continu geïnvesteerd en werken de formules uit paragraaf 2 niet omdat daarin dan door nul wordt gedeeld. De juiste benadering is dan die beschreven in par. 3 met investeringsfunctie (E.2) en dat is hiervoor al behandeld.

Bijlage F Berekening van de resterende besteltijd voor grote acties bij gebruik van de middenkans als toetsnorm

Het is mogelijk om uit te rekenen wanneer de werkelijke overstromingskans de middenkans in het (i+1)ste interval snijdt en de voorgestelde toetsnorm dus wordt overschreden. Dit natuurlijk op voorwaarde dat de werkelijkheid zich blijft ontwikkelen zoals we aanvankelijk dachten. Van belang is hoeveel jaar er resteert tot echt de maximaal toelaatbare overstromingskans wordt overschreden. Op dat moment moet de actie in ieder geval voltooid zijn. laat zien dat dit voor de Betuwe iets meer dan 20 jaar zou zijn. Dat is voldoende tijd voor een groot project van dijkversterking, ook als er onverwacht een gebeurtenis optreedt waaruit blijkt dat de werkelijkheid slechter is dan we tot dan toe dachten. Wel is duidelijk dat de besteltijd die we kunnen berekenen, natuurlijk afhangt van de gebruikte investeringskosten. Maar tot op zekere hoogte is dat niet erg. Zijn er namelijk nauwelijks vaste kosten, dan is enerzijds de besteltijd gering, maar is er anderzijds bijna geen rem op voortdurend investeren. Is een actie uit zichzelf altijd groot en kostbaar, dan kan het niet anders dan dat de vaste kosten relatief hoog zijn en is de resterende besteltijd ook groot.

Vertrekpunt voor de berekening is de definitie van de gemiddelde verwachte schade in de periode i+1 met lengte D_{i+1}, die start na de i-de investering en loopt tot de i+1-ste investering (zie Eijgenraam (2005) (A.68) of Eijgenraam (2006) (A.35)):

$$S_{i+1}^{gem} = \frac{1}{D_{i+1}} \int_{o}^{D_{i+1}} S_{T_i}^{+} \; e^{\beta t} \; dt$$

$$= S_{T_i}^{+} \frac{e^{\beta D_{i+1}} - 1}{\beta D_{i+1}} \qquad \text{(F.1)}$$

De middenkans op tijdstip t in dit interval volgt uit deling van het gemiddelde van de verwachte schade door de schade bij overstromen op dat tijdstip:

$$V_t = V_{T_i} \, e^{\gamma(t - T_i)} \qquad \text{(F.2)}$$

$$P_t^{mid} = \frac{S_{i+1}^{gem}}{V_t} = P_{T_i}^{+} \frac{e^{\beta D_{i+1}} - 1}{\beta D_{i+1}} e^{-\gamma(t - T_i)} \qquad \text{(F.3)}$$

De werkelijke overstromingskans is:

$$P_t = P_{T_i}^{+} \, e^{-\alpha\eta(t - T_i)} \qquad \text{(F.4)}$$

Gelijkstelling van beide kansen (F.3) en (F.4) en invulling van de definitie van $\beta = \alpha\eta + \gamma$ geeft de voorwaarde:

$$\frac{e^{\beta D_{i+1}} - 1}{\beta D_{i+1}} = e^{\beta(t - T_i)} = e^{\beta(1 - f) D_{i+1}} \qquad \text{(F.5)}$$

met: $t = T_i + (1\text{-}f)D_{i+1}$

Dit geeft voor f:

$$f = 1 - \frac{1}{\beta D_{i+1}} \ln\left(\frac{e^{\beta D_{i+1}} - 1}{\beta D_{i+1}} \right) \qquad \text{(F.6)}$$

Stel β = 0,04 en D = 50, dan f = 0,42 en de resterende besteltijd fD = 21 jaar.

In de KBA voor Ruimte voor de Rivier (Eijgenraam, 2005) zijn de cijfers te vinden waarmee deze besteltijden zijn uit te rekenen voor 20 dijkringen langs de rivieren (tabellen 3.1; 3.2; 4.3 en 4.4 met γ = 0,02 en δ = 0,04). De resultaten staan in tabel F.1.

Het blijkt dat de besteltijden bij de bovenrivieren meestal vrij ruim zijn. Maar bij de benedenrivieren, waar grote acties wellicht moeilijker zijn te verwezenlijken, bedragen de resterende besteltijden in de slechtste gevallen toch niet meer dan ruim 16 jaar. De resulterende besteltijden zijn voor grote, meerdere dijkringen betreffende acties dus niet overdreven lang. Vergelijk het optreden van hoogwater in 1993 en 1995 en de gewenste voltooiing van Ruimte voor de Rivier in 2015.

Tabel F.1 Resterende besteltijd voor grote actie bij gebruik middenkans als toetsnorm

Nr.	Naam	β = groeivoet verwachte schade	D = periode tussen investeringen	resterende besteltijd
		1/jaar	jaar	jaar
Bovenrivierengebied BOR				
38	Bommelerwaard	0.03025	51	22.3
40	Heerewaarden (Waalkant)	0.03050	62	26.3
41	Land van Maas en Waal	0.03050	63	26.6
42	Ooij en Millingen	0.03170	61	25.7
43	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaard	0.03125	65	27.2
44	Kromme Rijn	0.03024	55	23.8
45	Gelderse Vallei	0.03056	51	22.3
47	Arnhemse- en Velperbroek	0.03044	52	22.6
48	Rijn en IJssel	0.03150	42	18.7
49	IJsselland	0.03050	53	23.0
50	Zutphen	0.03056	59	25.2
51	Gorssel	0.03044	51	22.3
52	Oost Veluwe	0.03080	58	24.8
53	Salland	0.03088	69	28.6
10	Mastenbroek	0.03056	57	24.5
11	IJsseldelta	0.03024	59	25.2
Benedenrivierengebied BER				
15	Lopiker- en Krimpenerwaard	0.05800	52	19.9
16	Alblasserwaard en Vijfheerenlanden	0.06332	54	19.9
22	Eiland van Dordrecht	0.06340	60	21.4
23	Biesbosch (Noordwaard)	0.06240	46	17.8
24	Land van Altena	0.06664	43	16.7
35	Donge	0.05816	42	16.9

Referenties

CPB, 2005, Urgentie van acties omtrent veiligheid tegen overstromen; CPB Notitie, 30 juni 2005.

Dantzig, D. van, 1956, Economic decision problems for flood prevention; *Econometrica* Vol. 24, p 276-287.

Dantzig, D. van, 1960, Het economisch beslissingsprobleem betreffende de veiligheid van Nederland tegen stormvloeden; Rapport van de Delta Commissie, Bijdrage II.2, p 59-110.

Eijgenraam, C.J.J., 2005, Veiligheid tegen overstromen, Kosten-batenanalyse voor Ruimte voor de Rivier deel 1; CPB Document 82, CPB, Den Haag, april 2005.

Eijgenraam, C.J.J., 2006, Optimal safety standards for dike-ring areas; CPB Discussion Paper 62, CPB, Den Haag, maart 2006.

Eijgenraam, C.J.J., 2007, From optimal to practical safety standards for dike-ring areas; CPB Memorandum 2007/5/, CPB, Den Haag, februari 2007.

Kok, M. (2008): Historie van toets- en ontwerpnormen; HKV memorandum PR 1321.30; jan. 2008.

Kind, J. (2008): Keuzes KKBA WV21.

Kuijper, B. en M. Kok, 2006, Verkenning optimale investeringsstrategie op basis van overstromingsrisico's; dijkringgebieden 7 en 36; HKV, September 2006.

Ministerie van Financiën (2007). Actualisatie Discontovoet. *Brief aan de Tweede Kamer* d.d. 05 maart 2007.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2004). *Risicowaardering. Aanvulling op de Leidraad OEI*. Den Haag.

Voortman, Hessel G. (2003), Risk-based design of large-scale flood defence systems; proefschrift Technische Universiteit Delft, jan. 2003. Also published in the series 'Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering', Delft University of Technology, Report no. 02-3.

Werkgroep Actualisatie Discontovoet (2007). Advies Werkgroep Actualisatie Discontovoet *Bijlage bij de brief van het Ministerie van Financiën* (2007). Den Haag.