

Overstromingsrisico's: Een onderzoek naar de toepasbaarheid van risicomaten

Hoofdrapport

Februari 2001

Naam: S.N. Jonkman
Adres: Oranje Plantage 77
2611 TM Delft
Telefoon: 06-24997922
e-mail: snjonkman@yahoo.com
studienummer: (9)412158

Afstudeercommissie:
Prof.drs.ir. J.K. Vrijling
Prof.ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder
dr.ir. P.H.A.J.M. van Gelder
ir. R.E. Jorissen (RWS-RIKZ)
mevr. ir. M. Jak (RWS-DWW)
ir. J.M.J. Spijkers

Foto omslag afkomstig van Rijkswaterstaat, Meetkundige Dienst, Multimedia

Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-generaal Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde



Voorwoord

Dit rapport is het verslag van het afstudeeronderzoek getiteld "Overstromingsrisico's: een onderzoek naar de toepasbaarheid van risicomaten". Het afstudeerwerk vormt de afsluiting van mijn studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft en is uitgevoerd bij de afdeling Waterkeren van de Dienst- Weg en Waterbouwkunde, Rijkswaterstaat, in Delft. Graag wil ik de leden van mijn afstudeercommissie, Prof. Vrijling, Prof. Vrouwenfelder, de heren Jorissen en van Gelder en mevrouw Jak, bedanken voor hun begeleiding.

Bas Jonkman
Februari 2001

Samenvatting

Inleiding

Grote delen van Nederland liggen onder de zeespiegel of lager dan de grote rivieren en zouden zonder beschermende maatregelen onder water staan. De strijd van de Nederlanders tegen het water kent dan ook een lange historie. De laatste grote overstroming was de Watersnoodramp in 1953. Naar aanleiding van deze ramp zijn de huidige veiligheidseisen voor waterkeringen vastgesteld. De afgelopen tientallen jaren zijn de economische waarde en het aantal inwoners binnen de Nederlandse dijkringen echter sterk gestegen zonder dat de veiligheidseisen zijn aangepast. Daarnaast is in de maatschappij een toenemende bewustwording en verminderde acceptatie van risico's te herkennen. Deze is mede veroorzaakt door de hoogwaters in 1993 en 1995 en recente ongevallen als de Bijlmerramp, de vuurwerkramp in Enschede en de cafébrand in Volendam. Tenslotte kunnen toekomstige ontwikkelingen als zeespiegelstijging, bodemdaling en toename van de neerslag leiden tot een toename van de overstromingsgevaaren in ons land. Al deze ontwikkelingen dragen ertoe bij dat in de (nabije) toekomst een maatschappelijk debat over de beveiliging van Nederland tegen overstromingen gevoerd zal worden.

Deze studie heeft tot doel vanuit technisch perspectief een bijdrage te leveren aan dit debat en concentreert zich op drie velden die hierbij van belang zijn. Allereerst is onderzocht met welke uitdrukkingen overstromingsrisico's kunnen worden bepaald en weergegeven. Ook is de bruikbaarheid van deze uitdrukkingen in een bestuurlijke afweging beschouwd. Daarnaast is een vergelijking gemaakt met de risico's in andere sectoren in Nederland, met name met het externe veiligheidsbeleid.

Deze doelstellingen zijn als volgt ingevuld. Allereerst is een overzicht van kwantitatieve risicomaten gegeven. Vervolgens is met enkele van deze risicomaten het overstromingsrisico berekend voor een bestaande dijkkring. Tenslotte zijn deze resultaten geanalyseerd door ze te vergelijken met de risico's in andere sectoren.

Overzicht van risicomaten

Risico's worden uitgedrukt met risicomaten. Een risicomaat geeft een kwantitatieve uitdrukking voor risico, waarin kans en gevolg zijn verbonden. In de studie is een overzicht van kwantitatieve risicomaten tot stand gekomen door een literatuurstudie. Per risicomaat is een overzicht gegeven van de opbouw van de risicomaat, de mathematische uitdrukking, het toepassingsgebied en de daarin gehanteerde normering. De bestuurlijke bruikbaarheid van de risicomaten is beoordeeld aan de hand van enkele aspecten.

Op basis van verschillende criteria zijn risicomaten geselecteerd om verder uit te werken. Deze maten zijn in de volgende vier groepen in te delen, met daarachter de voor nader onderzoek geselecteerde maten vermeld.

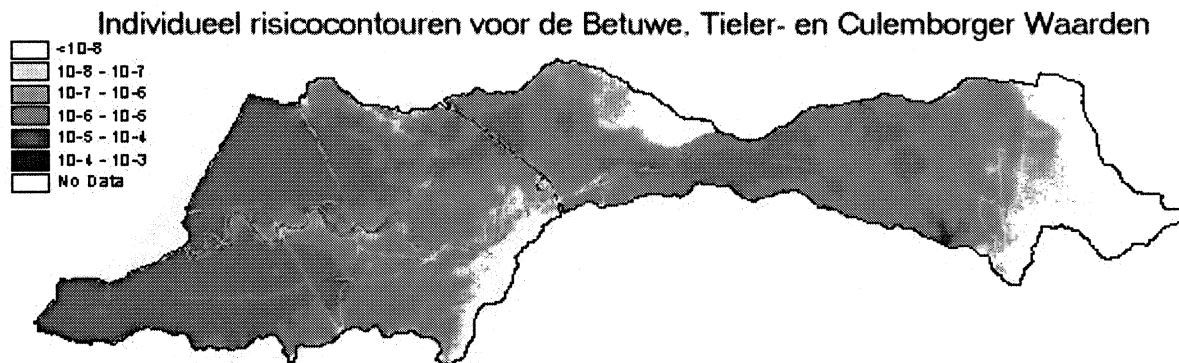
- **Individueel risico:** individueel risico volgens VROM, individueel risico volgens TAW
- **Maatschappelijk risico:** gesommeerd gewogen risico, verwachtingswaarde uit individueel risico contouren, FN curve (= groepsrisico), verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers, risk integral, totaal risico
- **Economisch risico:** FG curve, verwachtingswaarde van de economische schade, economische optimalisatie
- **Potentiële schade:** people at risk, maximale ongevalsgrootte in slachtoffers, potentiële economische schade

Berekening overstromingsrisico voor Betuwe dijkkring

Met de geselecteerde maten is het overstromingsrisico berekend voor een bestaande dijkkring, de Betuwe, Tieler- en Culemborger Waarden (de Betuwe dijkkring).

Allereerst is het **individueel risico** (IR) bepaald voor de Betuwe dijkkring. Dit geeft de kans op overlijden per jaar op een bepaalde plaats en is op een kaart weer te geven met risicocontouren. Dit zijn lijnen die plaatsen met gelijk IR verbinden.





Figuur 1: Individueel risicocontouren voor de Betuwe, Tieler- en Culemborger Waarden

Maten op het gebied van **maatschappelijk risico** leggen een verband tussen de kans op een ongeval en het aantal slachtoffers bij dit ongeval. Basis voor de berekening van het maatschappelijk risico vormt de kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers. Het blijkt dat het al dan niet meenemen van evacuatie in de berekening van het aantal slachtoffers bij een overstroming een zeer grote invloed heeft op de omvang van de individuele en maatschappelijke risico's.

De **economische risicomaten** leggen het verband tussen de kans op een ongeval en de daarbij optredende economische schade.

Met de **economische optimalisatie** is het mogelijk om de effecten van investeringen in dijkverbeteringen weer te geven op de overstromingskans en het economisch risico. Uit een case study komt naar voren dat het effect van investeringen in maatregelen op het economisch risico sterk afhankelijk is van de gekozen methode van dijkverbeteren.

De maten op het gebied van **potentiële schade** beperken zich tot het bepalen van de mogelijke gevolgen van een overstroming. Hierbij is de overstromingskans niet van belang.

Conclusies

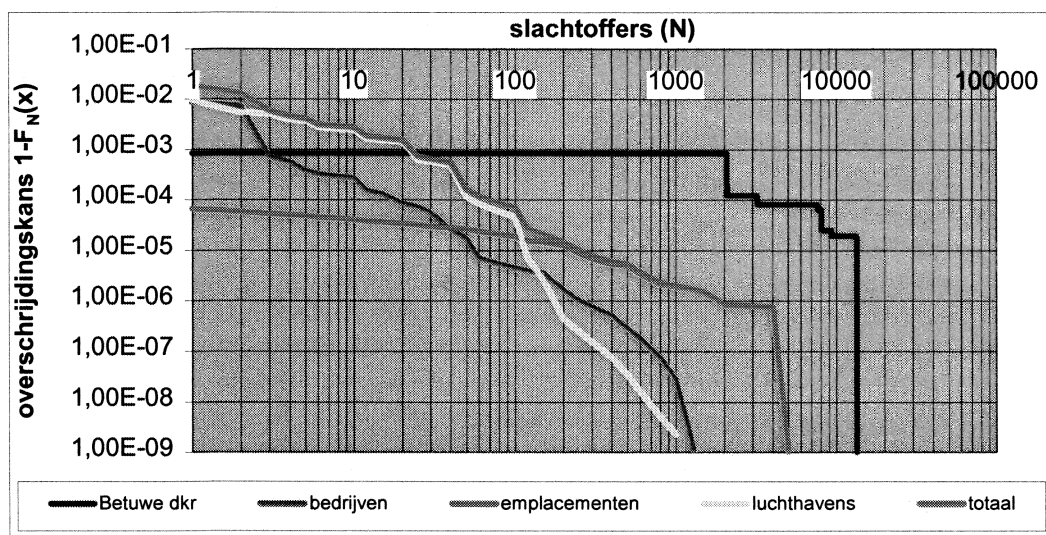
Met deze risicoberekeningen is aangetoond dat het mogelijk is de overstromingsrisico's voor een bestaande dijkkring te bepalen en weer te geven met de geselecteerde risicomaten. Naar verwachting zijn de overstromingsrisico's van de andere dijkkringen in Nederland met deze risicomaten op dezelfde wijze te bepalen.

Het blijkt dat de geselecteerde risicomaten zijn te berekenen op basis van drie elementen:

- de kansen op de overstromingsscenario's¹
- het overstromingsverloop per scenario
- gebiedsgegevens met betrekking tot economische waarde of de aanwezigheid van personen in het gebied.

Uit een vergelijking met het externe veiligheidsbeleid komt naar voren dat de risico's van een overstroming van de Betuwe dijkkring hoog zijn ten opzichte van de risico's in het externe veiligheidsbeleid. In onderstaande figuur is het groepsrisico van de Betuwe dijkkring vergeleken met de groepsrisico's van enkele andere activiteiten in Nederland.

¹ Overstromingsscenario: overstroming waarbij de dijkkring op een bepaalde plaats doorbreekt



Figuur II: groepsrisico van de Betuwe dijkring vergeleken met de groepsrisico's van enkele andere activiteiten in Nederland

Daarnaast voldoen de overstromingsrisico's niet aan de binnen het externe veiligheidsbeleid gehanteerde normen voor individueel- en groepsrisico.

Vervolgens is de bruikbaarheid van de risicomaten in de besluitvorming over het overstromingsgevaar onderzocht. Per risicomaat is onder meer het effect van verschillende maatregelen beschouwd. Naar aanleiding van deze analyse is geconcludeerd dat drie risicomaten geschikt zijn voor de weergave van overstromingsrisico's en de besluitvorming hierover. Het betreft het individueel risico, het groepsrisico en de economische optimalisatie.

Het **individueel risico** (IR) is per locatie te bepalen en is zeer geschikt om "gevaarlijke" plaatsen binnen de dijkring aan te geven. Het IR is toepasbaar als instrument in ruimtelijke ordeningsbeleid: namelijk in afwegingen met betrekking tot nieuw in te richten, nog onbewoonde locaties en voor het vaststellen van zoneringen. Met een normering kan voor iedere burger een bepaalde "basisveiligheid" worden vastgesteld.

Met het **groepsrisico** of de **FN curve** is de overschrijdingskans van het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming van een dijkring in een grafiek weer te geven. Deze maat is zeer geschikt voor het weergeven van het effect van maatregelen en het maken van een vergelijking met andere risico's.

De **economische optimalisatie** is een zeer geschikte methode bij het vaststellen van een economisch optimale strategie voor het uitvoeren van verschillende risico reducerende maatregelen.

Met deze drie risicomaten wordt het overstromingsrisico op drie niveaus beoordeeld, namelijk het individueel, lokaal (of dijkring) en nationaal niveau. Daarnaast worden met deze maten de belangrijkste schadetypen beoordeeld, namelijk slachtoffers en economische schade. Ook geven deze maten inzicht in het effect van maatregelen en bijbehorende economische kosten en baten.

Naar aanleiding van de studie is aanbevolen onderzoek te doen op het gebied van slachtofferbepaling en de modellering van evacuatie. Daarnaast is het van belang inzicht te verkrijgen in de overstromingsrisico's van de andere dijkringen en de maatschappelijke aanvaardbaarheid van overstromingsgevaaren.



Inhoudsopgave

Lijst van symbolen	VII
1 Inleiding	1-1
1.1 De beveiliging van Nederland tegen overstromingen	1-1
1.2 Probleemanalyse	1-2
1.2.1 Probleemschets	1-2
1.2.2 Probleem	1-3
1.3 Doel	1-4
1.4 Werkwijze	1-4
1.5 Opbouw van het onderzoek	1-5
2 Overzicht risicomaten	2-1
2.1 Inventarisatie risicomaten	2-1
2.2 Evaluatie risicomaten	2-4
2.3 Beoordeling bestuurlijke bruikbaarheid	2-5
2.4 Keuze risicomaten voor verdere uitwerking	2-6
3 Uitwerking geselecteerde risicomaten	3-1
3.1 Individueel risico	3-1
3.1.1 Individueel risico volgens VROM	3-1
3.1.2 Individueel risico volgens TAW	3-2
3.2 Maatschappelijk risico	3-3
3.2.1 Gesommeerd gewogen risico	3-3
3.2.2 Verwachtingswaarde slachtoffers uit individueel risicocontouren	3-3
3.2.3 FN curve (groepsrisico)	3-4
3.2.4 Verwachtingswaarde slachtoffers uit kansdichtheidsfunctie	3-5
3.2.5 Risk integral	3-6
3.2.6 Totaal risico	3-6
3.3 Economisch risico	3-7
3.3.1 FG curve	3-7
3.3.2 Verwachtingswaarde van de economische schade	3-7
3.3.3 Economische optimalisatie	3-7
3.4 Potentiële schade	3-9
4 Keuze dijkkring en berekening overstromingsrisico	4-1
4.1 Keuze dijkkring	4-1
4.1.1 Dijkkringen in Nederland	4-1
4.1.2 Pilot Case Overstromingsrisico	4-1
4.1.3 Bestudeerde dijkkring: Betuwe, Tieler- en Culemborger Waarden	4-2
4.2 Elementen in de berekening van het overstromingsrisico	4-2
4.2.1 Overstromingskansen	4-2
4.2.2 Gevolgen van een overstroming	4-5
4.2.3 Overstromingsrisico	4-6
5 Individueel risico	5-1
5.1 Inleiding	5-1
5.2 Model voor de bepaling van het individueel risico voor dijkkringen	5-2
5.2.1 Individueel risico en scenario kansen	5-2
5.2.2 Kans op overlijden gegeven een overstroming	5-3
5.3 Evacuatie	5-6
5.4 Toepassing model op de Betuwe dijkkring	5-7
5.4.1 Werkwijze	5-7
5.4.2 Resultaten doorbraak bij brug bij Ewijk bij permanente aanwezigheid	5-7
5.4.3 Resultaten scenario 8 met evacuatie	5-9
5.4.4 Individueel risico voor de Betuwe dijkkring	5-11
6 Maatschappelijk risico	6-1
6.1 Gesommeerd gewogen risico	6-1
6.2 Verwachtingswaarde aantal slachtoffers uit individueel risico contouren	6-1
6.3 Kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers	6-2
6.3.1 Inleiding	6-2
6.3.2 Berekening van het aantal slachtoffers	6-3
6.3.3 Kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers	6-4



6.4	FN curve	6-6
6.5	Verwachtingswaarde en standaardafwijking van het aantal slachtoffers	6-7
6.6	Totaal risico en risk integral	6-8
7	Economisch risico	7-1
7.1	Kansdichtheidsfunctie van de economische schade	7-1
7.2	FG curve	7-1
7.3	Verwachtingswaarde van de jaarlijkse economische schade	7-2
8	Economische optimalisatie	8-1
8.1	Inleiding economische optimalisatie	8-1
8.1.1	Aanpassingen bij economische optimalisatie Deltacommissie	8-1
8.1.2	Twee wijzen van dijkverbetering	8-2
8.2	Economische optimalisatie vereenvoudigd geschematiseerde dijkkring	8-3
8.2.1	Gegevens geschematiseerde dijkkring	8-3
8.2.2	Kans optimalisatie	8-5
8.2.3	Risico optimalisatie	8-9
8.3	Economische optimalisatie Betuwe dijkkring	8-11
8.3.1	Gegevens Betuwe dijkkring	8-11
8.3.2	Kans optimalisatie	8-12
8.3.3	Risico optimalisatie	8-16
8.4	Conclusies	8-16
9	Potentiële schade	9-1
9.1	Slachtoffers	9-1
9.2	Economische schade	9-1
10	Analyse risicoberekeningen	10-1
10.1	Elementen in berekening overstromingsrisico	10-1
10.1.1	Individueel en maatschappelijk risico	10-1
10.1.2	Economisch risico	10-2
10.1.3	Potentiële schade	10-2
10.1.4	Overzicht elementen risicoberekening	10-3
10.2	Vergelijking risico's andere sectoren	10-4
10.2.1	Individueel risico	10-4
10.2.2	Gesommeerd gewogen risico: vergelijking met Schiphol	10-5
10.2.3	Vergelijking met groepsrisico's externe veiligheid	10-5
10.2.4	Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers	10-6
10.3	Vergelijking met normen in andere sectoren	10-6
10.3.1	Individueel risico	10-6
10.3.2	Groepsrisico	10-8
10.3.3	Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers	10-8
10.3.4	Totaal risico	10-8
11	Bestuurlijke analyse risicomaten	11-1
11.1	Weergave effecten van maatregelen	11-1
11.1.1	Individueel risico	11-1
11.1.2	Maatschappelijke risico	11-2
11.1.3	Economisch risico	11-3
11.1.4	Potentiële schade	11-4
11.2	Beoordeling bestuurlijke toepasbaarheid maten	11-4
11.2.1	Beoordeling aan de hand van bestuurlijke aspecten	11-4
11.2.2	Individueel risico	11-4
11.2.3	Maatschappelijke risico	11-5
11.2.4	Economisch risico	11-6
11.2.5	Potentiële schade	11-6
11.3	Keuze risicomaten	11-6
11.3.1	Keuze risicomaten	11-7
11.3.2	Voorstel normering	11-8
12	Conclusies	12-1
12.1	Conclusies	12-1
12.2	Aanbevelingen	12-4

Literatuur

Verklarende woordenlijst

Lijst van symbolen

Indien een symbool meerdere betekenissen heeft is de risicomaat waarbij het symbool toegepast wordt tussen haakjes vermeld

A	grenzen van het gebied waarover een integraal berekend wordt (GGR, E(N), PAR)
A,B	parameters van de exponentiele verdeling (economische optimalisatie)
C	constante die de hoogte ligging van de normering in de FN curve bepaalt
C_i	de gevolgen van scenario i
C_{tot}	totale kosten
d	de waarde van een mensenleven uitgedrukt in geld
e	index gebaseerd op de levensverwachting
$E(C_{tot})$	verwachtingswaarde van de totale kosten
$E(G)$	verwachtingswaarde van de jaarlijkse economische schade
$E(G+N.d)$	verwachtingswaarde van: de economische schade en de waarde van het aantal slachtoffers
$E(N)$	verwachtingswaarde van het jaarlijks aantal slachtoffers
EPP	aan het ecosysteem verbonden hoeveelheid energie
$f_G(x)$	kansdichtheidsfunctie van de economische schade
$F_G(x)$	kansverdelingsverdelingsfunctie van de economische schade
$1 - F_G(x)$	overschrijdingskans van de economische schade
$f_N(x)$	kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers (x)
$F_N(x)$	kansverdelingsverdelingsfunctie van het aantal slachtoffers
$1 - F_N(x)$	overschrijdingskans van het aantal slachtoffers
$f_T(x)$	kansdichtheidsfunctie van de herstellingstijd
$F_T(x)$	kansverdelingsverdelingsfunctie van de herstellingstijd
g	index gebaseerd op het inkomen per hoofd van de bevolking afgeleid uit het bruto binnenlands product (BBP)
GGR	Gesommeerd gewogen risico
G_i	de economische schade bij overstromingsscenario i
G_{max}	maximale schade bij overstroming van een dijkkring
GPP_{lost}	effect op ecosysteem en mensen in Joule
GPP'	hoeveelheid energie benodigd gedurende periode T voor herstel van beschadigde organismen en energie verbonden aan verlies van mens en dier
h	overstromingsdiepte
h	Nieuwe dijkhoogte (economische optimalisatie)
h_0	huidige dijkhoogte
h_{opt}	optimale dijkhoogte bij economische optimalisatie
$h(x,y)$	het aantal huizen op plaats (x,y) (GGR)
$h(x,y)$	overstromingsdiepte op plaats (x,y) (in rest van het rapport)
I	investeringen
I_{tot}	totale investeringen in dijkverhoging
I_0	initiële kosten bij dijkverhoging
I'	variabele kosten per meter dijkverhoging
IR	individueel risico
$IR(x,y)$	individueel risico op plaats (x,y)
$IR_{24uur}(x,y)$	individueel risico op plaats (x,y) bij permanente aanwezigheid
$IR_{evac}(x,y)$	individueel risico op plaats (x,y) bij evacuatie
k	risico aversie factor, $k=3$
LQI	Life quality index
min	staat voor minimaliseer
$m(x,y)$	bevolkingsdichtheid op plaats (x,y)
N	het aantal slachtoffers
n	het aantal mogelijke overstromingsscenario's
N_A	het aantal installaties
N_i	het aantal slachtoffers bij overstromingsscenario i
P	algemeen symbool voor kans
P	bevolkingsfactor (SRI)
PAR	people at risk, het aantal bedreigde personen
P_b	overstromingskans van de gehele dijkkring

$P_{b,opt}$	optimale overstromingskans die volgt uit economische optimalisatie
$P_{d f}$	de kans op overlijden gegeven ongeval f
$P_{d i,24uur}(x,y)$	de kans op overlijden op plaats (x,y) gegeven overstromingsscenario i bij permanente aanwezigheid
$P_{d i,evac}(x,y)$	de kans op overlijden gegeven het optreden van een overstroming gegeven overstromingsscenario i op plaats (x,y) als evacuatie optreedt
$P_{d i}(h)$	kans op overlijden ten gevolge van overstromingsdiepte gegeven overstromingsscenario i
$P_{d i}(u)$	kans op overlijden ten gevolge van stroomsnelheid gegeven overstromingsscenario i
$P_{e i}(t)$	de kans dat een persoon op plaats geëvacueerd wordt als functie van de vluchttijd gegeven overstromingsscenario i
P_f	de kans op een ongeval f
$P(h>h_{cr i})$	de kans dat de overstromingsdiepte gegeven overstromingsscenario i groter is dan een kritische waarde voor de overstromingsdiepte (h_{cr}), waarbij personen verdrinken
P_i	kans van optreden van scenario i
$p_N(x)$	kansdichtheid van het aantal slachtoffers N
$P(t>t_{cr i})$	de kans dat de vluchttijd groter is dan een kritische vluchttijd (t_{cr}) gegeven overstromingsscenario i
$P(u>u_{cr i})$	de kans dat de stroomsnelheid gegeven overstromingsscenario i groter is dan een kritische waarde voor de stroomsnelheid (h_{cr}), waarbij personen verdrinken
r'	gereduceerde rentevoet (=rente + economische groei – inflatie, $r'=1.5\%$)
R_m	monetary collective risk
R_p	perceived collective risk
SRI	scaled risk integral
T	deel van de dag (24 uur) dat n personen in het gebied aanwezig zijn (SRI)
T	herstellingstijd (herstellingstijd volgens NORSOK)
t	vluchttijd: $t=t_{1m}+t_w$
t_{1m}	het tijdstip vanaf het begin van de doorbraak waarop de waterstand in het gebied een waarde van 1m bereikt
t_w	de waarschuwingstijd
TR	totaal risico
w	deel van het leven besteed aan economische activiteit
u	de stroomsnelheid, ook wel $u(x,y)$
Z_i	grenstoestandfunctie van dijkdeel i
α	steilheid van de normering in de FN curve
β	beleidsfactor, afhankelijk van vrijwilligheid en nut activiteit (TR, IR volgens TAW)
β	betrouwbaarheidsindex (rest van het rapport)
$\varphi(C_i)$	risico aversie als functie van de gevolgen van scenario i
$\varphi(x)$	risico aversie als functie van het gevolg
Φ_N	normale verdeling
ω_i	de willingness to pay voor maatregelen ter voorkoming van scenario i
$\sigma(C_{tot})$	standaardafwijking van de totale kosten
$\sigma(N)$	standaardafwijking van het jaarlijks aantal slachtoffers

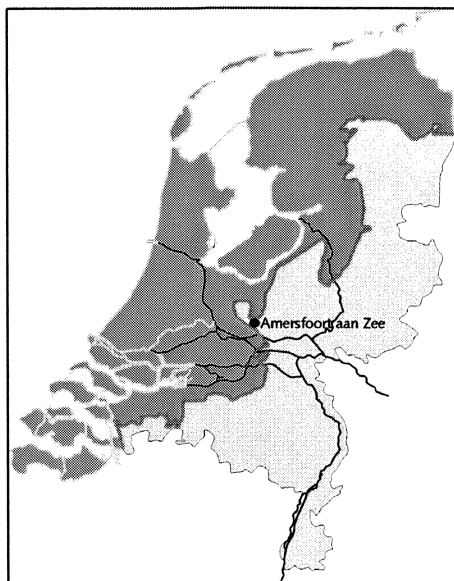
1 Inleiding

In dit eerste hoofdstuk wordt de achtergrond geschetst van de beveiliging van Nederland tegen overstromingen (1.1). Hieruit zijn voor deze studie probleem (1.2), doel (1.3), werkwijze (1.4) en opbouw van het onderzoek (1.5) afgeleid.

1.1 De beveiliging van Nederland tegen overstromingen

Geschiedenis

Grote delen van Nederland liggen onder de zeespiegel of lager dan de grote rivieren en zouden zonder beschermende maatregelen onder water staan.



Figuur 1-1: Nederland zonder beschermende maatregelen [TAW, 2000]

De strijd van de Nederlanders tegen het water kent een lange historie. Tot de Middeleeuwen paste de mens zich aan aan de natuur en woonde men in hoge gebieden of op terpen. In de 13^e eeuw begon men met het winnen van land en de aanleg van de eerste waterkeringen. In de loop van de tijd werden de projecten grootschaliger: vanaf de 18^e eeuw werden rivieren vastgelegd en omgevormd tot gecontroleerde vaarwegen. De drooglegging van de meren vond plaats in de 19^e eeuw. De 20^e eeuw stond in het teken van grote werken als de Afsluitdijk en de Deltawerken.

De strijd tegen het water ging echter met tegenslagen gepaard. De eerste gedocumenteerde overstroming vond plaats in 1287 en overstroomde grote delen van het Noorden en Zuidwesten van Nederland. Zo'n 50.000 mensen verloren tijdens deze overstroming het leven. In de loop der eeuwen eisten volgende overstromingen vele slachtoffers en veroorzaakten ze grote schade.

De laatste grote overstroming was de watersnood in 1953, die grote delen van het Zuidwesten van Nederland overspoelde. Ongeveer 1800 personen lieten bij deze ramp het leven. Daarnaast waren de economische schade en maatschappelijke ontwrichting enorm. Meer recentelijk, in 1993, veroorzaakte het hoog water in de Maas in Limburg grote overlast en schade. In 1995 moesten honderdduizenden mensen hun huis verlaten, omdat men een grootschalige evacuatie in de Betuwe noodzakelijk vond.

Veiligheidsbenadering van waterkeringen

In de loop van de tijd zijn ook de inzichten en de kennis met betrekking tot de veiligheidsbenadering van waterkeringen veranderd. Vóór 1953 werden de dijken ontworpen op basis van de 'hoogst bekende waterstand', eventueel met een zeker veiligheidsmarge. Naar aanleiding van de Watersnood van 1953 is door de Deltacommissie de basis gelegd



voor de huidige veiligheidsbenadering. In een econometrische berekening is een optimale overstromingskans van eens per 125.000 jaar voor Centraal Holland vastgesteld. Het was in die tijd echter onmogelijk om de werkelijke overstromingskans te berekenen, omdat men de kans op een dijkdoorbraak onvoldoende nauwkeurig kon bepalen. De kennis op het gebied van statistiek en de verschillende faalwijzen van een dijk, de zogenaamde “faalmechanismen”, ontbrak. Bovendien beschikte de Deltacommissie niet over alle benodigde gegevens en de rekenkracht van computers. De optimale dijk kon dus nog niet ontworpen en aangelegd worden.

Om deze reden heeft de Deltacommissie gekozen voor een andere, meer pragmatische benadering. Daarin is de overschrijdingsfrequentie van een maatgevende hoogwaterstand gelimiteerd. De beschouwingen van de Deltacommissie en de uitwerkingen daarvan zijn sindsdien de kern van de veiligheidseisen voor waterkeringen.

Huidige situatie

In 1996 is in de Wet de op de Waterkering voor elk dijkkringgebied¹ de veiligheidsnorm vastgelegd als een gemiddelde overschrijdingskans van een maatgevende hoogwaterstand². Ook de naleving van de norm is ingevuld in deze wet via een verplichte vijfjaarlijkse toetsing van waterkeringen.

In 1992 is de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) gestart met onderzoeksprogramma “overstromingsrisico’s: een studie naar kansen en gevolgen”. Als resultaat van dit onderzoek is de kennis van faalmechanismen van waterkeringen toegenomen en is een methode ontwikkeld om overstromingskansen van dijkkringgebieden te berekenen. In het onderzoek van TAW [2000] zijn voor vier dijkkringgebieden de overstromingskansen berekend. Naar aanleiding van de resultaten is door de staatssecretaris opdracht gegeven de komende jaren de overstromingskansen van alle 53 dijkkringen in Nederland te bepalen.

1.2 Probleemanalyse

In deze paragraaf wordt allereerst een brede probleemschets gegeven. Hieruit is de probleemstelling van deze studie afgeleid.

1.2.1 Probleemschets

Uit de studie van TAW zijn nieuwe inzichten voor bepaling van de overstromingskansen beschikbaar gekomen. Door het bepalen van de overstromingskansen van alle dijkkringen zal de komende jaren een eerste beeld ontstaan van de daadwerkelijke beveiliging van Nederland tegen overstromingen.

Op dit gebied spelen ook de volgende ontwikkelingen een rol. Ten eerste zijn de afgelopen tientallen jaren de economische waarde en het aantal inwoners binnen de Nederlandse dijkkringen sterk gestegen zonder dat de veiligheidseisen zijn aangepast. Daarnaast is in de maatschappij een toenemende bewustwording en een afnemende acceptatie van risico’s te herkennen. Deze is mede veroorzaakt door de hoogwaters in 1993 en 1995 en recente ongevallen als de Bijlmerramp, de vuurwerkramp in Enschede en de cafébrand in Volendam. Tenslotte kunnen toekomstige ontwikkelingen als zeespiegelstijging, bodemdaling en toename van de neerslag leiden tot een toename van de overstromingsgevaaren in ons land.

Al deze ontwikkelingen dragen ertoe bij dat in de (nabije) toekomst een maatschappelijk debat over de beveiliging van Nederland tegen overstromingen gevoerd zal worden. In een dergelijke discussie spelen vele verschillende aspecten een rol, zowel op sociaal-maatschappelijk, economisch als technisch gebied.

¹ Dijkkring: een gebied dat is beveiligd tegen overstroming door een stelsel van (primaire) waterkeringen

² De veiligheidsnormen per dijkkring zijn weergegeven in bijlage 4.A

Vanuit technisch perspectief is een bijdrage te leveren aan dit debat door inzicht te geven in overstromingsrisico's. Voor een goede afweging van het overstromingsgevaar is het namelijk van belang kansen en gevolgen in samenhang te beschouwen en is inzicht in risico's gewenst. Risico is in dit kader te definiëren als "een functie van kansen en gevolgen". Reeds door de Deltacommissie is in 1960 de wenselijkheid van een risicobenadering van het overstromingsgevaar aangegeven. Meer recentelijk hebben de TAW en Commissie Waterbeheer 21^e eeuw dit standpunt herhaald. Een duidelijk beeld van de overstromingsrisico's kan ter ondersteuning dienen van het politiek maatschappelijk debat over de beveiliging van Nederland tegen hoog water.

1.2.2 Probleem

Deze studie concentreert zich op drie probleemvelden die van belang zijn in dit maatschappelijk debat:

1. In de eerste plaats is het de vraag met welke uitdrukkingen overstromingsrisico's kunnen worden bepaald en weergegeven.
2. Daarnaast is de bruikbaarheid van deze uitdrukkingen in een bestuurlijke afweging van belang.
3. Ten derde is het gewenst een vergelijking te maken met de omgang met risico's in andere sectoren in Nederland.

Bepaling en weergave van overstromingsrisico's

In de eerste plaats is het de vraag met welke uitdrukkingen overstromingsrisico's kunnen worden bepaald en weergegeven. Op dit gebied ontbreekt het inzicht in de verschillende risicomaten. Een **risicomaat** geeft een kwantitatieve uitdrukking voor risico, waarin kans en gevolg zijn verbonden. Over het algemeen beschouwt een risicomaat één gevolg. Het kan bijvoorbeeld gaan om dodelijke slachtoffers, economische schade of schade aan het milieu. Ook is het in een risicomaat mogelijk aan het gevolg van een ongewenste gebeurtenis gewicht toe te kennen, dat afhankelijk is van de ernst van het gevolg, bijvoorbeeld door het zwaarder meewegen van grote gevolgen.

Onbekend is hoe het overstromingsrisico met verschillende risicomaten is te berekenen en weer te geven. Het vaststellen van risicomaten en het berekenen van risico's gebeurt over het algemeen vanuit een technisch perspectief.

Bruikbaarheid van risicomaten in een bestuurlijke afweging

Vanuit een bestuurlijke perspectief is het de vraag in hoeverre de verschillende risicomaten bruikbaar zijn in de besluitvorming over overstromingsrisico's. Een doel in de besluitvorming kan het vaststellen van een risiconorm zijn. Een **risiconorm** dient om de aanvaardbaarheid van het risico te toetsen en verbindt een limiterende waarde aan het risico bepaald met een risicomaat. Als het risico niet voldoet aan gestelde normen kan besloten worden maatregelen te nemen om het risico te verlagen. In een (bestuurlijke) afweging van overstromingsrisico's is het dus van groot belang inzicht te hebben in de effecten van maatregelen.

Beoordeling van risico's omvat een analyse van kansen, gevolgen en risico's. Daarnaast is er de besluitvorming over het risico, waarin eventueel besloten kan worden maatregelen te nemen om het risico te verlagen. Deze elementen worden in een risico analyse doorlopen. Een schema voor risico analyse is weergegeven in bijlage 1.A.

Vergelijking met omgang met risico's in andere sectoren

Bij de beoordeling van overstromingsrisico's is ook de vergelijking met de omgang met risico's in andere sectoren in Nederland te maken. In dit kader spelen de volgende vragen: In hoeverre zijn maten en normen die binnen andere beleidsterreinen in Nederland worden gehanteerd voor dijkringen toepasbaar? Hoe verhoudt de omvang van de overstromingsrisico's zich tot de risico's en normen in deze sectoren?

In bijlage 1.B is een vergelijking gemaakt tussen het overstromingsrisico en de omgang met risico's in verschillende sectoren in Nederland. Hieruit komt naar voren dat met name de



vergelijking met het externe veiligheidsbeleid relevant is. Dit beleid richt zich op de bescherming van personen en milieu tegen de risico's van installaties, luchthavens en het vervoer van gevaarlijke stoffen en maakt daarbij gebruik van de risicomaten individueel risico en groepsrisico.

In dit verband is in de conclusies van het rapport "van overschrijdingskans naar overstromingskans" vermeld dat: *"onderzocht zal worden of de kansen en gevolgen van een overstroming uitgedrukt kunnen worden in maten die in andere velden van risicobeleid gebruikelijk zijn. Het gaat hierbij om het individueel risico, het groepsrisico en het economisch risico"* [TAW, 2000].

Samenvattend leidt dit tot de volgende probleemstelling:

Probleemstelling

In het debat over de beveiliging van Nederland tegen overstromingen spelen onder meer de volgende problemen:

- Het overzicht van kwantitatieve risicomaten is onvoldoende.

Daarnaast ontbreekt inzicht op de volgende gebieden:

- de toepasbaarheid van risicomaten voor bepaling en weergave van het overstromingsrisico
- bruikbaarheid van risicomaten voor besluitvorming over en normering van het overstromingsrisico
- de toepasbaarheid van risicomaten uit andere sectoren, met name uit het externe veiligheidsbeleid en de omvang van overstromingsrisico's in vergelijking met risico's en normen uit deze sectoren

1.3 Doelstelling

Met deze studie wordt beoogd vanuit een technisch perspectief kennis aan te leveren die een bijdrage levert aan het debat over de beveiliging van Nederland tegen overstromingen.

Allereerst wordt een overzicht gegeven van kwantitatieve risicomaten.

Vervolgens is de toepasbaarheid van de risicomaten voor bepaling en weergave van overstromingsrisico's voor dijkringen onderzocht.

Daarnaast wordt de toepasbaarheid van de maten voor besluitvorming over en normering van het overstromingsgevaar onderzocht.

Een volgend doel is het maken van een vergelijking met de omgang met risico's in andere sectoren in Nederland, met name met het externe veiligheidsbeleid. In dit kader wordt onderzocht of overstromingsrisico's uitgedrukt kunnen worden in de risicomaten die binnen het externe veiligheidsbeleid gebruikelijk zijn. Daarnaast wordt de omvang van overstromingsrisico's vergeleken met risico's en normen in andere sectoren in Nederland. Uiteindelijk doel is een voorstel te doen voor één of meerdere bruikbare risicomaten met eventueel een bijbehorende normering.

1.4 Werkwijze

Allereerst is een overzicht van kwantitatieve risicomaten tot stand gekomen door een inventarisatie van in literatuur beschikbare informatie. Een overzicht is gegeven van de belangrijkste technische en bestuurlijke aspecten van de risicomaten.

Vervolgens zijn op basis van verschillende criteria enkele risicomaten geselecteerd om uit te werken op een bestaande dijkkring.

Per risicomaat is onderzocht hoe het overstromingsrisico voor de bestaande dijkkring kan worden bepaald en weergegeven. Hierbij zijn ook de risicomaten gebruikt in het externe veiligheidsbeleid meegenomen, namelijk het individueel en groepsrisico.

De resultaten van de risicoberekeningen zijn vergeleken met de risico's en normen uit andere sectoren. Deze vergelijking richt zich met name op het externe veiligheidsbeleid. In een bestuurlijke analyse is de weergave van het effect van maatregelen en de bestuurlijke bruikbaarheid van de risicomaten onderzocht.

Uiteindelijk is een voorstel gedaan voor risicomaten die toepasbaar zijn voor het overstromingsrisico. Indien mogelijk is een bijbehorende normering voorgesteld.

1.5 Opbouw van het onderzoek

In het eerste hoofdstuk is de achtergrond van de beveiliging van Nederland tegen overstromingen geschetst. Hieruit zijn voor deze studie probleem, doel en aanpak afgeleid. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de geïnterviewde kwantitatieve risicomaten en hun belangrijkste kenmerken. Een uitgebreide uitwerking van de maten is te vinden in bijlage 2. Enkele risicomaten zijn geselecteerd om toe te passen op een bestaande dijkkring. Hoofdstuk 3 bevat een uitwerking van deze risicomaten.

Vervolgens is in hoofdstuk 4 een bestaande dijkkring gekozen. Ook is in dit hoofdstuk een eerste inleiding gegeven met betrekking tot het bepalen van overstromingskansen, gevolgen en risico's voor een dijkkring.

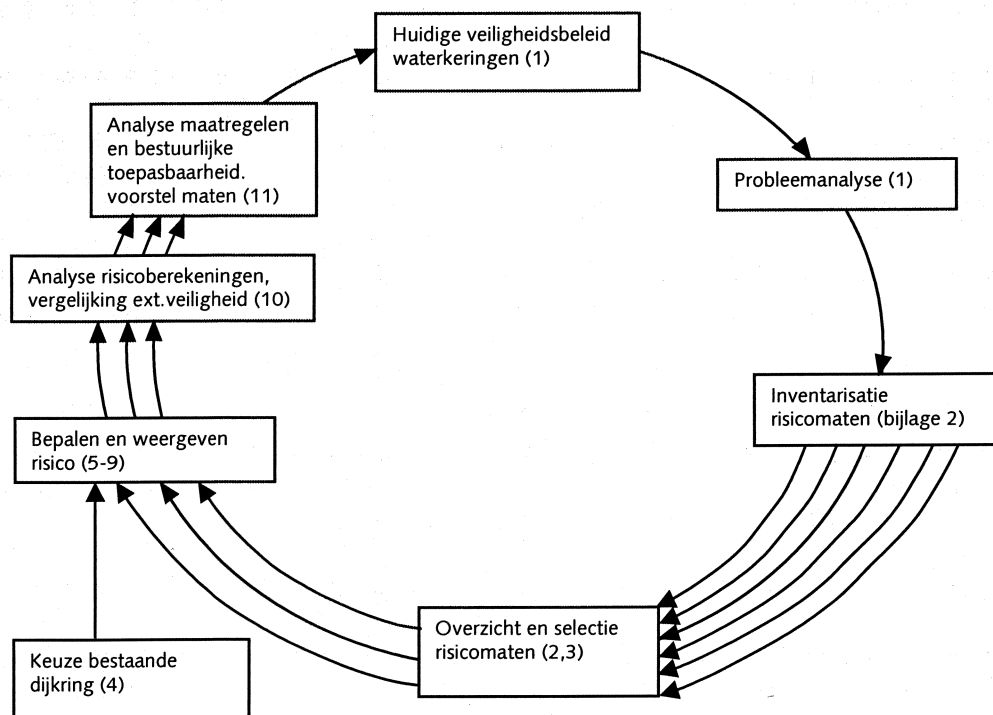
In de hoofdstukken 5 tot en met 9 zijn met de verschillende risicomaten voor de geselecteerde dijkkring risicoberekeningen uitgevoerd.

In hoofdstuk 10 is geanalyseerd hoe het overstromingsrisico met de verschillende risicomaten is bepaald. Vervolgens zijn de resultaten van de risicoberekeningen vergeleken met de risico's en normen in het externe veiligheidsbeleid.

In hoofdstuk 11 is de bruikbaarheid van de risicomaten in besluitvorming over het overstromingsrisico onderzocht. Hierbij zijn mogelijkheden voor de weergave van de effecten onderzocht en is de bestuurlijke bruikbaarheid beoordeeld. Vervolgens is een voorstel gedaan voor enkele toepasbare risicomaten voor het overstromingsrisico. Indien mogelijk is een bijbehorende normering voorgesteld.

Hoofdstuk 12 tenslotte, bevat de conclusies en aanbevelingen van deze studie.

Dit leidt tot de volgende invulling van de studie die in onderstaande figuur schematisch is weergegeven. De hoofdstuknummers in deze studie tussen haken genoemd.



Figuur 1-3: Opzet van de studie, in de figuur zijn de hoofdstuknummers weergegeven



2 Overzicht risicomaten

Dit hoofdstuk bevat allereerst een beknopt overzicht van de geïnventariseerde risicomaten (2.1). Vervolgens zijn enkele belangrijke kenmerken geëvalueerd (2.2) en is de bestuurlijke bruikbaarheid van de maten beoordeeld aan de hand van aspecten (2.3). Daarna is een aantal maten geselecteerd voor het bepalen van het overstromingsrisico voor een bestaande dijkkring (2.4).

2.1 Inventarisatie risicomaten

Het eerste doel van deze studie is het geven van een overzicht van kwantitatieve risicomaten. In een literatuurstudie is een inventarisatie van risicomaten uitgevoerd. Het onderzoek heeft zich grotendeels beperkt tot Europese en Amerikaanse literatuur op dit gebied. Een volledig overzicht van de inventarisatie van risicomaten is gegeven in de bijlagen 2.A tot en met 2.H. Deze paragraaf bevat een overzicht van de geïnventariseerde kwantitatieve risicomaten in een tabel. De risicomaten zijn in het overzicht in dit hoofdstuk en de bijlagen geordend naar de gevolgen die ze beschouwen:

- Slachtoffers
 - Individueel risico: individuele kans op overlijden (Bijlage 2.A)
 - Maatschappelijk risico: kans op meerdere slachtoffers tegelijk (Bijlage 2.B)
- Economie (Bijlage 2.C)
- Economische waardering van slachtoffers (Bijlage 2.D)
- Geïntegreerde risicomaten: deze combineren meerdere soorten gevolgen, bijvoorbeeld slachtoffers, milieu en economie (Bijlage 2.E)
- Milieu (Bijlage 2.F)
- Potentiële schade (Bijlage 2.G)
- Kwalitatieve risicomaten (Bijlage 2.H)

Omdat het in deze studie gaat om kwantitatieve risicomaten zijn de geïnventariseerde kwalitatieve risicomaten niet opgenomen in het overzicht op de volgende pagina's. Ook de methoden voor economische waardering van het mensenleven zijn niet in het schema meegenomen, omdat deze geen verband leggen tussen kans en gevolg, en daarom geen risicomaten zijn.

Bij de inventarisatie zijn de volgende onderdelen van de maten onderzocht. Deze richten zich met name op de technische eigenschappen van de risicomaten.

- **Opbouw van de risicomaat:** Een risicomaat legt een verband tussen kans en gevolg. Hierbij is het de vraag welke elementen nodig zijn om het risico volgens de maat te berekenen, welke begrippen zijn gebruikt voor kans en gevolg en hoe deze zijn verbonden in een mathematische uitdrukking.
- **Het toepassingsgebied:** Dit geeft aan op welke gebieden het de maat wordt toegepast om risico's weer te geven en eventueel te normeren
- **Normering:** De normerende waarde geeft aan welke risico's binnen het toepassingsgebied als aanvaardbaar worden gezien.

In een tabel is een overzicht gegeven van de risicomaten en hun belangrijkste kenmerken. De kolommen basiselementen, kans, gevolg en mathematische uitdrukking geven een indruk van de opbouw van de maat. Voor de betekenis van de symbolen in de kolom "mathematische uitdrukking" wordt verwezen naar de betreffende bijlage of de lijst van symbolen aan het begin van dit rapport. De volgende twee kolommen betreffen het toepassingsgebied en eventueel bijbehorende normering. De laatste kolom bevat een verwijzing naar relevante literatuur. Een meer uitgebreid overzicht van geraadpleegde literatuur is gegeven in de bijlagen.



Risicomaat	Basis	Kans	Gevolg	Mathematische uitdrukking	Toepassing	Norm	Life-ratuur
<i>Individueel Risico (IR)</i>							
Individueel Risico (IR) – VROM	kans op overlijden bij permanente aanwezigheid	1/jaar	Overlijden individu	$IR = P_f \cdot P_{dlf}$	VROM: normering externe veiligheid	$<10^{-9}$	VROM, 1989
IR – TAW	kans op overlijden bij werkelijke aanwezigheid	1/jaar	Overlijden individu	$IR = P_f \cdot P_{dlf}$	Studies Overstromingen	$<\beta \cdot 10^{-4}$	Vrijling, 1993
IR – Bohnenblust	kans op overlijden bij werkelijke aanwezigheid	1/jaar	Overlijden individu	$IR = P_f \cdot P_{dlf}$	studies spoorwegen (Dui, Oos, Zwi)	zie figuur in bijlage 2.A.3	Bohnenblust 1998
<i>Maatschappelijk risico</i>							
Gesommeerd gewogen risico (GGR)	aantal woningen binnen IR contour	1/jaar	Overlijden personen	$GGR = \iint_A IR(x, y) \cdot h(x, y) \cdot dx \cdot dy$	Schiphol	stand still (geen toename GGR)	Piers, 1998
Verwachtingswaarde slachtoffers Uit IR contouren	Verwachtingswaarde uit IR contouren en bevolkingsdichtheid	1/jaar	Overlijden personen	$E(N) = \iint_A IR(x, y) \cdot m(x, y) \cdot dx \cdot dy$	-	-	Ale, 1996
Scaled risk integral	IR, bebouwing, opp van een gebied aanwezigheid van personen	1/miljoen jaar	Overlijden personen	$SRI = \frac{P \cdot IR \cdot T}{A}$	Engeland: HSE	-	Carter, 1998
FN curve (groepsrisico)	Kansdichtheidsfunctie aantal Slachtoffers	1/jaar	Overlijden personen	$1 - F_N(x) = 1 - \int_0^x f_N(x) \cdot dx$	Internationaal met name installaties	$1 - F_N(x) < C/x^4$	o.a. Stallen, 1996
Verwachtingswaarde aantal Slachtoffers E(N)	Kansdichtheidsfunctie aantal Slachtoffers	1/jaar	Overlijden personen	$E(N) = \int_0^\infty x \cdot f_N(x) \cdot dx$	Stuwdammen (VS)	10^{-2} USBR 10^{-3} BC Hydro	Vrijling, 1997
Risk integral	Kansdichtheidsfunctie aantal Slachtoffers	1/jaar	Overlijden personen	$RI = \int_0^\infty x \cdot (1 - F_N(x)) \cdot dx = \frac{1}{2} (E^2(N) + \sigma^2(N))$	HSE: installaties	-	Vrijling, 1997 Carter, 1998
Smets	Kansdichtheidsfunctie aantal Slachtoffers	1/jaar	Overlijden personen	$\int_1^{1000} x^2 \cdot f_N(x) \cdot dx$	-	$< 10^{-2}$	Vrijling, 1997
Totaal risico	Kansdichtheidsfunctie aantal Slachtoffers	1/jaar	Overlijden personen	$TR = E(N) + k \cdot \sigma(N)$	studies o.a. externe veiligheid	$<\beta$ 100	o.a. Vrijling, 1993
Bohnenblust	Kansdichtheidsfunctie aantal Slachtoffers	1/jaar	Overlijden personen	$R_p = \int_0^\infty x \cdot \varphi(x) \cdot f_N(x) \cdot dx$	studies spoorwegen (Dui, Oos, Zwi)	-	Bohnenblust 1998
<i>Economisch risico</i>							
FG curve	Kansdichtheidsfunctie Economische schade	1/jaar	Economische schade	$1 - F_G(x) = 1 - \int_0^x f_G(x) \cdot dx$	weergave diverse economische risico's	Jansen, 1988 Bijlage 2.C.1	Yelokhin, 1997
Verwachtingswaarde economische schade E(G)	Kansdichtheidsfunctie Economische schade	1/jaar	Economische schade	$E(G) = \int_0^\infty x \cdot f_G(x) \cdot dx$	Eng: kosten baten analyse overstromingen	-	Parker, 1987

Opmerking: De vetgedrukte maten zijn in het vervolg van deze studie toegepast voor het maken van risicoberekeningen voor een dijkkring

H2 Overzicht risicomaten

Risicomaat	Basis	Kans	Gevolg	Mathematische uitdrukking	Toepassing	Norm	Lite-ratuur
Economische optimalisatie	Minimaliseer som investeringen en risico	1/jaar	Economische schade	$\min(C_{tot}) = \min(I + E(G))$	NL: waterkeren	economisch optimum	Delta-commissie, 1980
Economische optimalisatie met onzekerheid	Minimaliseer som investeringen en risico met daarin onzekerheid	1/jaar	Economische schade	$\min(\mu(C_{tot}) + k \cdot \sigma(C_{tot}))$	-	economisch optimum	Slijkhuis, 1996
Economische waardering slachtoffers							
Economische optimalisatie met waardering mensenleven	Minimaliseer som investeringen en risico	1/jaar	Economische schade en Slachtoffers	$\min(C_{tot}) = \min(I + E(G + N \cdot d))$	-	economisch optimum	TAW, 1988
Life Quality Index	afweging maatregelen ahv effecten voor mens en economie	-	Involbed op levensverwachting en economie	$LQI = g^w e^{(1-w)}$	-	-	Nathwani, 1997
Geïntegreerde risicomaten							
Bohnenblust	Monetiseren van risico's voor mens, economie en evt. milieu	1/jaar	Slachtoffers, economische schade, evt. milieu	$R_m = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_i \cdot \phi(C_i) \cdot \omega_i$	studies spoorwegen (Dui, Oos, Zwi)	economisch optimum	Bohnenblust 1998
TAW	Combinatie van: Individueel risico volgens TAW, Totaal risico en economische optimalisatie met waardering van mensenlevens				Door TAW voorgesteld voor overstromingsrisico	Zie IR- TAW totaal risico en econ. Optimum	TAW, 1988
Indexering	Aanvaardbaar risico voor Schadetypes bepaald met standaard functie	1/jaar	o.a. slachtoffers, gewonden, milieu, economie	-	Kanton Solothurn (zwi)	Zie bijlage 2.E.3	Merz, 1995
Categorisering	weergave van ongevallen gecategoriseerd naar schadetype	-	Verschillende schadetypes	-	-	-	Hirschberg, 1997
Milieu							
Energetic impact index	beschouwing hoeveelheid verloren energie in ecosysteem	Indirect	Effect op ecosysteem in Joules	$GPP_{lost} = EPP + GPP' \cdot T$	-	-	Barlettani, 1997
Herstellingstijd	Kansdichtheidsfunctie herstellingstijd T	1/jaar	Ecologische schade (herstellingstijd T)	$1 - F_T(x) = 1 - \int_0^x f_T(x) \cdot dx$	NORSOK (Noorse off shore)	0.05/T	NORSOK
Potentiële schade							
People at risk (PAR)	aantal bedreigde personen in gebied	-	Bedreigde personen	$P_{ADR} = \iint_A m(x, y) \cdot dx \cdot dy$	Algemeen	-	-
Maximale ongevalsgrootte	Maximaal aantal slachtoffers	-	Aantal slachtoffers	-	Algemeen	-	-
Potentiele economische schade	economische waarde in gebied	-	Economische schade	-	Overstromingen in NL	-	-
F PAR curve	Aantal bedreigde personen in gebied bij bepaald ongeval	1/jaar	Bedreigde personen	-	-	-	Stoop, 2000

2.2 Evaluatie risicomaten

Deze paragraaf bevat een evaluatie van de belangrijkste eigenschappen van de geïnventariseerde risicomaten aan de hand van de gegevens uit de overzichtstabel.

Gevolgen

Uit de inventarisatie komt naar voren dat de risicomaten in literatuur zich grotendeels beperken tot de gevolgen op de gebieden slachtoffers en economische schade. Dit is in overeenstemming met het feit dat deze schadetypen bij rampen veelal als belangrijkste worden gezien¹. Daarnaast zijn deze schadetypen eenduidig en objectief uit te drukken, in aantal slachtoffers respectievelijk guldens. Dit lijkt grond aan te nemen dat dit bij een kwantitatieve afweging van risico's de belangrijkste schadetypen zullen zijn. Dit betekent niet dat risico's alleen beoordeeld moeten worden op slachtoffers en economische schade, wel dat deze grootheden het meest gangbaar en geschikt zullen zijn in een kwantitatieve afweging.

Het is mogelijk een koppeling tussen beide schadetypen te maken en het mensenleven in economische zin te waarderen. Uit bijlage 2.D, waarin verschillende benaderingen voor economische waardering van het menselijk leven zijn beschreven, blijkt echter dat met de verschillende methoden geen eenduidige waardering voor het mensenleven wordt gevonden.

Opvallend is het ontbreken van risicomaten voor het aantal gewonden. Voor schadetypen als milieu en sociale ontwrichting zijn geen eenduidige risicomaten vastgesteld. Voor deze soorten gevolgen kan weergave van de potentiële schade of een kwalitatieve beschouwing meer geschikt zijn. Tenslotte zijn enige geïntegreerde methoden te onderscheiden waarmee meerdere schadetypen in één maat of een stelsel van maten zijn meegenomen.

Risico: kans en gevolg

Bij het bepalen van risico's spelen zowel kans als gevolg een rol. Veel van de geïnventariseerde risicomaten leggen met een mathematische uitdrukking een verband tussen de kans van optreden van een ramp en de bijbehorende gevolgen. Hierbij kan het gaan om de gevolgen voor de mens (meerdere slachtoffers of overlijden van het individu), economie (economische schade), of milieu (uitgedrukt in de benodigde herstellingstijd). Dergelijke verbanden zijn wiskundig te beschrijven met een kansdichtheidsfunctie. Uit de kansdichtheidsfunctie volgt de kans op het optreden van een bepaalde gebeurtenis met een bepaald gevolg.

Uit de kansdichtheidsfunctie zijn gemiddelde en standaardafwijking te bepalen. Bij nadere analyse blijkt dat bijna alle maten voor maatschappelijk risico zijn opgebouwd met gemiddelde en/ of standaardafwijking en dus zijn af te leiden uit de kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers. In bijlage 2.B.10 zijn met enkele maten op het gebied van maatschappelijk risico voorbeeldberekeningen gemaakt. Ook de economische risicomaten FG curve en verwachtingswaarde van de economische schade zijn af te leiden uit de kansdichtheidsfunctie van de economische schade.

Risico aversie

In de maatschappelijke beleving van ongevallen is risico aversie tegen grote aantallen slachtoffers te herkennen, ook al is de kans op dergelijke ongevallen relatief klein. Door risico aversie te betrekken in de maat is het mogelijk om grotere gevolgen zwaarder mee te wegen. In de maten voor maatschappelijk risico gebeurt dit door het meenemen van de standaardafwijking (totaal risico), het kwadratisch wegen van gevolgen (risk integral) of het bepalen van een risico aversie factor (Bohnenblust). Daarnaast is het mogelijk risico aversie mee te nemen in de methode van economische optimalisatie [Slijkhuis, 1996].

¹ Deze schadetypen zijn ook door experts als belangrijkste beoordeeld voor het overstromingsrisico in [WL, 1999].

Maten die niet gebruik maken van dergelijke elementen en rechtstreeks uit de kansdichtheidsfunctie af te leiden zijn worden risico neutraal genoemd. Bij het maatschappelijk risico zijn de maten FN curve en de verwachtingswaarde van het jaarlijks aantal slachtoffers risico neutraal.

Risico aversie tegen grote ongevallen is ook vast te leggen in de norm. Dit gebeurt bijvoorbeeld in de VROM normering voor installaties in de FN curve, waarin een ongeval met 10 maal zoveel slachtoffers met een 100 maal zo kleine kans wordt geaccepteerd. Ook is het mogelijk de hoogte van de norm af te laten hangen van het nut en de vrijwilligheid van een activiteit. Dit gebeurt bij normering van het totaal risico of het individueel risico volgens TAW.

Toepassing en normering

Bij de inventarisatie is een overzicht gegeven van de toepassingen van maten en normen. Uit de literatuur komt naar voren dat enkele maten wereldwijd gebruikt worden voor het weergegeven van risico's. Vooral de FN curve en verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers zijn wat dit betreft gangbare maten. Andere maten zijn daarentegen niet meer dan een theoretisch concept dat nooit in de praktijk is toegepast, bijvoorbeeld de uitdrukking van Smets.

Bij inventarisatie is onderscheid gemaakt tussen maat en norm. Een risicomat geeft een kwantitatieve uitdrukking voor risico. Een risiconorm verbindt hieraan een limiterende waarde. Uit inventarisatie komt naar voren dat niet aan alle risicomaten normerende waarden verbonden zijn. Het vaststellen en handhaven van een norm is meestal een overheidstaak. In Nederland worden de normen door het ministerie van VROM vastgesteld met het individueel en groepsrisico, in Engeland door de Health and Safety Executive (HSE) met een FN curve. Daarnaast kan normering worden vastgesteld door bedrijven. Een voorbeeld is de door het elektriciteitsbedrijf British Columbia Hydro vastgestelde norm voor stuwdammen met de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers.

Naast met getalsnormen kan de beoordeling van de aanvaardbaarheid ook gebeuren met het stand still principe, waarbij een toename van het risico niet geoorloofd is. Dit is toegepast bij normering van de risico's rondom Schiphol met het gesommeerd gewogen risico. Een andere mogelijkheid is het bepalen van een economisch optimale situatie, waarin de som van investeringen in maatregelen en (economisch) risico minimaal is. Dit principe is toegepast in de economische optimalisatie van de Deltacommissie en de geïntegreerde methode van Bohnenblust.

2.3 Beoordeling bestuurlijke bruikbaarheid

In de vorige paragraaf is ingegaan op eigenschappen van de risicomaten vanuit een technisch perspectief. Daarnaast is de bruikbaarheid van de maten in de besluitvorming over overstromingsrisico's van belang. Een belangrijk onderdeel van de risicomaten ligt in aandragen van informatie voor en het ondersteunen van een politiek-bestuurlijke afweging over de aanvaardbaarheid van overstromingsrisico's. Daarnaast kunnen risicomaten een rol spelen bij handhaving van de normen en bij het beheer van de waterkeringen. De volgende bestuurlijke aspecten spelen hierbij een rol:

- **Niveau van beschouwing:** Bij de risicomaten zijn drie niveaus van beschouwing te onderscheiden: individueel, lokaal (of installatie) en nationaal niveau. In de toekomst kan ook de beoordeling van risico's op Europees (supra nationaal) niveau gewenst zijn. Belangrijk is de interactie tussen de schaalniveaus. Bij het voldoen aan individuele of lokale normen kunnen de risico's op nationale schaal te hoog worden. Omgekeerd kunnen lokale knelpunten lokale normen overschrijden zonder dat de risico's op nationale schaal onaanvaardbaar hoog worden.
- **Vergelijking met andere risico's:** In hoeverre biedt de uitdrukking de mogelijkheid de risico's van verschillende activiteiten uit te drukken en te vergelijken. In Nederland gaat het dan specifiek om de vergelijking met risico's in het externe veiligheidsbeleid die worden uitgedrukt met de maten individueel en groepsrisico.



- **Implementatie en naleving risicomaat of norm:** Dit wordt bepaald door het aantal betrokken partijen en de bestuurlijke complexiteit. Bij het invoeren van normen en het uitvoeren van maatregelen moet draagvlak gezocht worden bij verschillende partijen. Des te groter het aantal betrokken partijen, des te lastiger de implementatie en naleving van de maat of norm.
- **Compleetheid:** Een maat is completer naarmate meer relevante schadetypen van het risico meegenomen zijn. De meeste risicomaten beperken zich tot één soort gevolg. Dodelijke slachtoffers en in mindere mate economische schade worden als belangrijkste schadetypen gezien.
- **Weergave effecten van maatregelen:** Afhankelijk van het type veiligheidsbenadering wordt het palet van mogelijke maatregelen om een beoogde veiligheid te bereiken groter. De mogelijkheden om de effecten van die maatregelen weer te geven en te kwantificeren zijn afhankelijk van de risicomaat.
- **Uit te leggen en duidelijk:** Een te gebruiken risicomaat en bijbehorende normering moet aan veel belanghebbenden en groeperingen worden uitgelegd. Naarmate deze eenvoudiger en duidelijker is, zal communicatie met deze partijen beter verlopen.
- **Rechtvaardigheid:** Gelijke behandeling van eenieder is een ethisch uitgangspunt, dat tot op zekere hoogte verankerd is in ons rechtssysteem. Een politieke afweging biedt echter de ruimte om verschillen in risiconiveaus toe te laten. Deze verschillen kunnen samenhangen met maatschappelijke kosten en baten van een activiteit. Binnen de samenleving worden rampen steeds minder geaccepteerd en leeft steeds meer het gevoel dat iedere burger recht heeft op een zekere basisveiligheid.
- **Mogelijkheid toekomstige ontwikkelingen mee te nemen:** In hoeverre is de groei van het aantal installaties, bewoners of economische waarde op te vangen of weer te geven binnen maat en norm. Dit vraagt een zekere flexibiliteit.

De risicomaten uit het overzicht zijn in bijlage 2.1 beoordeeld aan de hand van de genoemde aspecten. Deze beoordeling is niet volgens een objectieve maatstaf te maken, het belang van de criteria en de toegekende scores zullen afhangen van het gezichtspunt van waaruit de beoordeling is uitgevoerd. Het toekennen van verschillende belangen aan de aspecten vereist een nadere bestuurlijke analyse.

In de bijlage zijn in een multi criteria analyse op elk aspect scores toegekend met plussen en minnen. De totaalscore is tot stand gekomen door de scores op elk criterium zonder weging op te tellen. Deze totaalscore geeft een indruk van de bestuurlijke bruikbaarheid van de maten.

De volgende maten scoren goed bij bestuurlijke beoordeling, de totaalscores zijn tussen haakjes vermeld: de FN curve (8), people at risk en maximale ongevalsgrootte, het individueel risico volgens VROM (allen 5), de potentiële economische schade (4), verwachtingswaarde uit individueel risico contouren(3).

2.4 Keuze risicomaten voor verdere uitwerking

In deze paragraaf is een aantal maten geselecteerd om het overstromingsrisico voor een bestaande dijkkring mee te bepalen. De keuze is gemaakt aan de hand van een aantal criteria.

Allereerst is gekozen enkele risicomaten die veel gebruikt zijn in literatuur toe te passen. Deze vormen blijkbaar een gestandaardiseerde manier van het weergeven van risico's. Het betreft de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers en de FN curve

Daarnaast spelen bij de beoordeling de economische risico's een belangrijke rol. Twee maten op dit gebied zijn de FG curve en de verwachtingswaarde van de economische schade.

Ook is het gewenst een vergelijking te kunnen maken met de risico's in andere sectoren, vooral met die in het externe veiligheidsbeleid. De maten individueel risico (IR), gesommeerd gewogen risico (GGR) en het groepsrisico (of de FN curve) zijn hiervoor geschikt.

Bij het bepalen van maatschappelijk is de risico aversie tegen grote ongevallen een belangrijk aspect. Om dit voor het overstromingsrisico mee te nemen zijn totaal risico en risk integral bepaald.

Bij het beoordelen van de veiligheid van waterkeringen speelt ook de historische achtergrond een rol. De beschouwingen van de Deltacommissie vormen de basis voor de huidige veiligheidsbenadering. Door de Deltacommissie is een methode ontwikkeld die een belangrijke rol heeft gespeeld bij het vaststellen van de huidige normen voor waterkeringen: de economische optimalisatie.

Tenslotte zijn ook enkele risicomaten uitgewerkt die goed scoren bij de beoordeling op bestuurlijke aspecten. Naast enkele reeds genoemde maten gaat het om de verwachtingswaarde uit de individueel risico contouren en maten op het gebied van potentiële schade: people at risk, maximale ongevalsgrootte in slachtoffers, potentiële economische schade.

Hieronder is een overzicht gegeven van de uit te werken maten:

Individueel risico

- Individueel risico (volgens VROM en TAW)

Maatschappelijk risico

- Gesommeerd gewogen risico
- Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers uit IR contouren
- FN curve of groepsrisico
- Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers (uit kansdichtheidsfunctie)
- Risk integral
- Totaal risico

Economisch risico

- FG curve
- Verwachtingswaarde van de economische schade
- Economische optimalisatie

Potentiële schade

- People at risk
- Maximale ongevalsgrootte in slachtoffers
- Potentiële economische schade

De geselecteerde risicomaten zijn in de overzichtstabel vet weergegeven en in het volgende hoofdstuk kort uitgewerkt.



3 Uitwerking geselecteerde risicomaten

Dit hoofdstuk bevat een uitwerking van de risicomaten die in het vorige hoofdstuk zijn geselecteerd voor het berekenen van het overstromingsrisico voor een bestaande dijkkring. De maten liggen op het gebied van individueel risico (3.1), maatschappelijk risico (3.2), economisch risico (3.3) en potentiële schade (3.4). In de onderstaande paragrafen zijn ze kort uitgewerkt. Voor een meer uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar de betreffende bijlagen.

3.1 Individueel risico

3.1.1 Individueel risico volgens VROM

Individueel risico (IR) is als volgt gedefinieerd:

“Het individueel risico geeft de kans op overlijden op een bepaalde plaats ten opzichte van een beschouwde activiteit, ongeacht de aanwezigheid van personen”

Het individueel risico wordt berekend voor een individu dat zich permanent en onbeschermd op een bepaalde plaats buiten de risicobron zou bevinden.

$$IR = P_f \cdot P_{d|f}$$

Waarin:

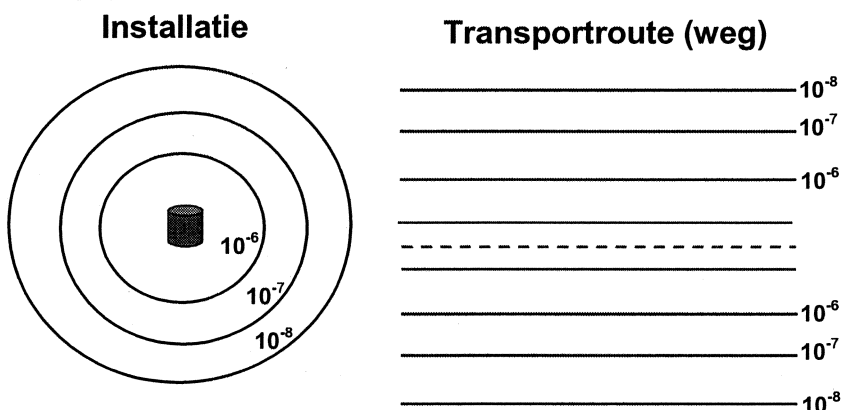
P_f de kans op een ongeval f

$P_{d|f}$ de kans op overlijden van een individu, gegeven dat ongeval f plaatsvindt en aannemende dat de persoon zich permanent, gedurende 24 uur per dag, en onbeschermd op die plaats bevindt.

Plaatsen met gelijk individueel risico kunnen op een kaart met elkaar worden verbonden (zoals hoogtelijnen) waardoor zogenaamde risicocontouren ontstaan.

Toepassing: Externe veiligheidsbeleid

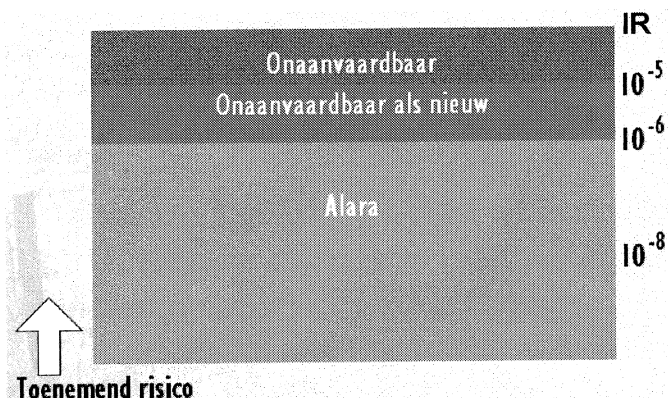
Het IR wordt binnen het externe veiligheidsbeleid naast het groepsrisico (zie 3.2.3) toegepast om risico's te bepalen en te normeren. Het externe veiligheidsbeleid richt zich op de bescherming van personen en milieu tegen de gevolgen van ongevallen met industriële installaties, het transport van gevaarlijke stoffen en het luchtverkeer. In onderstaande figuur zijn karakteristieke individueel risicocontouren voor een installatie en een transportroute weergegeven.



Figuur 3-1: Risicocontouren voor een installatie en transportroute (weg)

Normering

Voor stationaire installaties en voor het transport van gevaarlijke stoffen zijn door VROM normen in de vorm van het individueel risico vastgelegd, zoals weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 3-2: VROM normering voor het individueel risico voor installaties en transportroutes in Nederland [presentatie Ale, TAW dag, 6 april 2000]

Voor bestaande situaties is geen bewoning toegestaan binnen de IR-contour van 10^{-5} per jaar, voor nieuwe situaties niet binnen de IR-contour van 10^{-6} per jaar. Voor lagere risico's geldt het ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principe, wat inhoudt dat risico's zo veel als redelijkerwijs mogelijk is beperkt dienen te worden. De norm is ontwikkeld voor toepassing op het gebied van de ruimtelijke ordening, bijvoorbeeld door het vaststellen van een zonering rond een installatie of weg aan de hand van de risicocontouren. Gezien de toepassing is het gewenst voor alle plaatsen rondom de risicobron het IR te bepalen. Daarom geldt het IR als een eigenschap van een plaats en wordt het berekend uitgaande van permanente aanwezigheid van personen.

Voor Schiphol gelden, mede gezien het economische belang van de luchthaven, afwijkende normen: een grens van 10^{-5} voor onaanvaardbaar als nieuw en $5 \cdot 10^{-5}$ als absoluut onaanvaardbaar.

3.1.2 Individueel risico volgens TAW

Een verschil tussen benaderingen van VROM en TAW ligt in het feit dat binnen het TAW criterium wel de daadwerkelijke blootstelling van personen aan het gevaar en dus de aanwezigheid van personen in rekening moet worden gebracht [Vrouwenvelder, 1995]. Bij de aanvaarding van risico's speelt de vrijwilligheid van de ondernomen activiteit een belangrijke rol. De risico's van bergbeklimmen (vrijwillig) zijn bijvoorbeeld hoger dan die van het wonen naast een kerncentrale (onvrijwillig). Daarnaast is het maatschappelijk nut van een activiteit van belang bij de acceptatie van risico's. Dit is meegenomen in de normering van het individueel risico, in de beleidsfactor β .

$$IR < \beta \cdot 10^{-4}$$

De waarde van de beleidsfactor (β) is afhankelijk gesteld van het nut en de vrijwilligheid van de beoordeelde activiteit. Een voorstel voor de keuze van de beleidsfactor is in de tabel weergegeven.

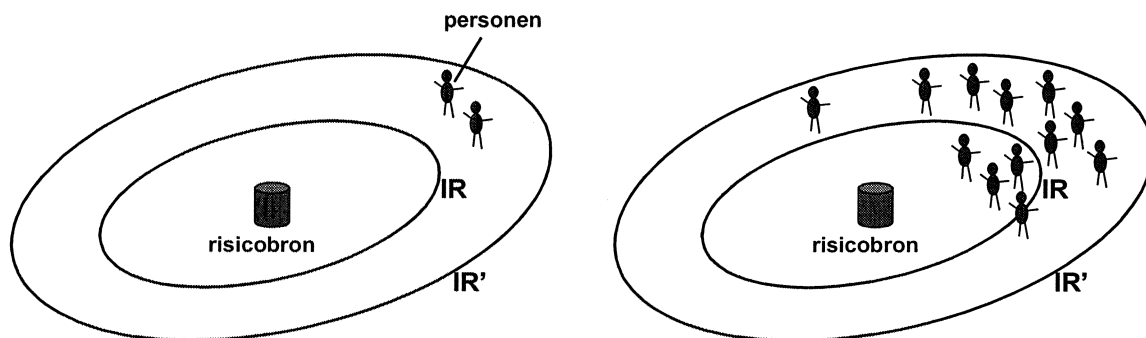
Tabel: Beleidsfactor, vrijwilligheid en nut [Vrouwenvelder, 1995], voor onderbouwing zie bijlage 2.A.2

β	Vrijwilligheid	Direct nut	Voorbeeld
100	Geheel vrijwillig	Direct nut	Bergbeklimmen
10	Vrijwillig	Direct nut	Motorrijden
1	Neutraal	Redelijk direct nut	Autorijden
0.1	Onvrijwillig	Indirect nut	Werken in een fabriek
0.01	Onvrijwillig	Weinig of indirect nut	Wonen nabij een fabriek

3.2 Maatschappelijk risico

Maatschappelijk risico legt het verband tussen de kans op een ongeval en het aantal slachtoffers dat ongeval.

Waar individueel risico de kans op overlijden voor een bepaalde plaats geeft, geldt het maatschappelijk risico voor een bepaald gebied, ongeacht waar in dat gebied de gevolgen op zullen treden. De grootte van het maatschappelijk risico is afhankelijk van de aanwezigheid van personen binnen dat gebied, de grootte van het IR niet. Het verschil tussen individueel en maatschappelijk risico is weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 3-3: individueel risico, weergegeven met de contouren IR en IR', en maatschappelijk risico [naar: Stallen, 1996]. Beide situaties hebben een gelijk IR verloop, maar verschillen in maatschappelijk risico. De rechter situatie heeft vanwege de grotere aanwezigheid van personen een groter maatschappelijk risico

3.2.1 Gesommeerd gewogen risico

Het gesommeerd gewogen risico (GGR) vermenigvuldigt het aantal huizen binnen een risicocontour met hun IR waarde. Het GGR legt zo een verband tussen het individueel risico en de werkelijke bewoning van een gebied. Hoge individuele risiconiveaus zijn immers pas een probleem bij de aanwezigheid van personen.

$$GGR = \iint_A IR(x, y) \cdot h(x, y) \cdot dx dy$$

Waarin:

IR(x,y) het individueel risico op plaats (x,y)

h(x,y) het aantal woningen op plaats (x,y)

A het oppervlakte van het gebied waarvoor het GGR wordt berekend

Toepassing en normering: Schiphol

Het gesommeerd gewogen risico wordt gebruikt in de besluitvorming over de risico's van Schiphol. Bij normering geldt het stand still principe: het GGR binnen de 10^{-6} contour mag vanaf 2003 niet hoger zijn dan in 1990.

3.2.2 Verwachtingswaarde slachtoffers uit individueel risicocontouren

Door de individueel risico niveaus over een bepaald gebied te vermenigvuldigen met de bevolkingsdichtheid is de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers te bepalen. [Ale, 1996]

$$E(N) = \iint_A IR(x, y) \cdot m(x, y) \cdot dx dy$$

Waarin:

E(N) verwachtingswaarde van het jaarlijks aantal slachtoffers

m(x,y) bevolkingsdichtheid op plaats (x,y)

A het oppervlakte van het gebied waarvoor E(N) wordt berekend

De verwachtingswaarde bepaald uit IR contouren ken geen concrete toepassing of normering.

3.2.3 FN curve (groepsrisico)

Maatschappelijk risico wordt vaak grafisch weergegeven in een FN curve. In een FN curve is de cumulatieve overschrijdingskans van een ongeval met N of meer slachtoffers op de y-as uitgezet tegen het aantal slachtoffers N op de x-as. De FN curve biedt de mogelijkheid risico's van verschillende activiteiten in een grafiek te vergelijken en geeft inzicht in de grootte van kansen en gevolgen. Een FN curve kan bepaald worden voor een gebied: rondom een installatie, voor een dijkkring of op nationaal niveau.

Basis voor de bepaling van de FN curve vormt de kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers. Hieruit is de kansverdelingsfunctie af te leiden, waaruit de overschrijdingskans van het aantal slachtoffers is te bepalen:

$$F_N(x) = P(N \leq x) = \int_0^x f_N(x).dx$$

$$1 - F_N(x) = P(N > x)$$

Waarin:

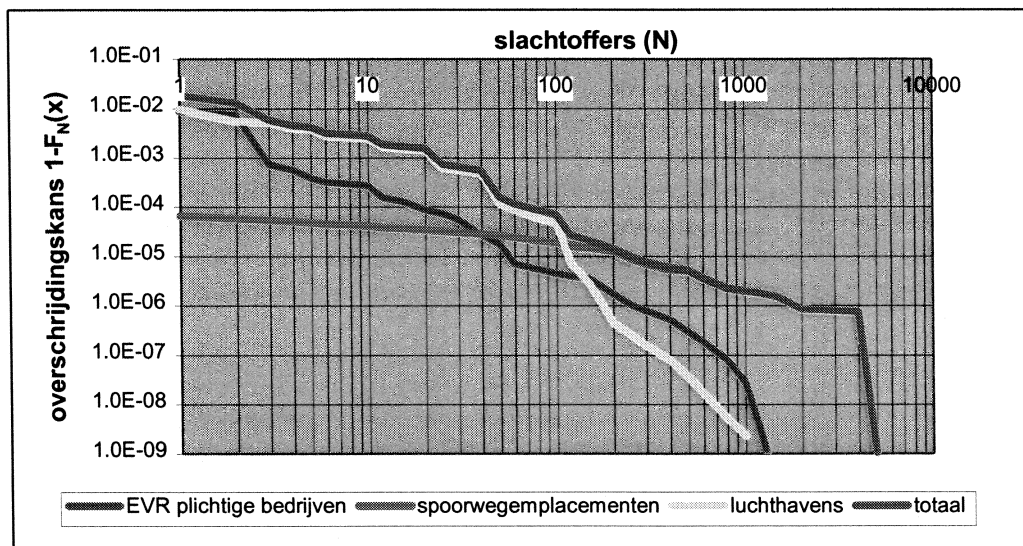
$f_N(x)$ kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers (x)

$F_N(x)$ kansverdelingsfunctie van het aantal slachtoffers

De overschrijdingskans ($1 - F_N(x)$) geeft uitgezet tegen het aantal slachtoffers (N) op dubbel logaritmische schaal de FN curve.

Toepassing en normering: Externe veiligheidsbeleid

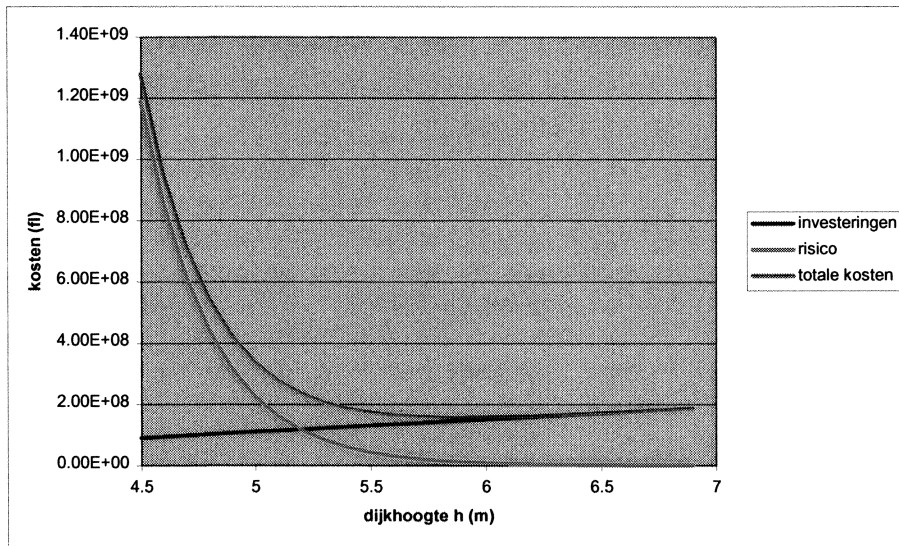
Binnen het Nederlandse externe veiligheidsbeleid wordt naast het individueel risico het groepsrisico bepaald. Het groepsrisico geeft de overschrijdingskans van een bepaald aantal slachtoffers en is dus weer te geven in een FN curve. De totale groepsrisico's van verschillende activiteiten voor heel Nederland zijn weer te geven in een FN curve.



Figuur 3-4: FN curve voor enkele externe risico's (1999) [bron: Ale, RIVM]

In het externe veiligheidsbeleid worden de groepsrisico's rond EVR¹ plichtige bedrijven, zoals chemische installaties genormeerd aan de hand van de VROM norm. Per installatie geldt de volgende norm:

¹ EVR: Externe veiligheidsrapportage



Figuur 3-3: Investerings, risico en totale kosten uitgezet tegen de dijkhoogte voor de economische optimalisatie van Centraal Holland volgens de Deltacommissie [1960]

In [Slijkhuys, 1996] is getoond hoe het mogelijk om onzekerheden en risico aversie mee te nemen in de economische optimalisatie, zie bijlage 2.C.4.

3.4 Potentiële schade

Maten op het gebied van potentiële schade geven de mogelijke gevolgen van een ramp weer. Bij de bepaling van onderstaande maten is de kans op een ongeval niet van belang.

People at risk (PAR)

Deze maat geeft een indruk van de schaalgrootte van een mogelijke ramp. De PAR geeft het aantal personen aanwezig in het gebied waarin de effecten van de ramp merkbaar zijn:

$$PAR = \iint_A m(x, y) \cdot dx \cdot dy$$

Het aantal bedreigde personen geeft een indruk van de maatschappelijke ontwrichting. De uitdrukking wordt toegepast in risico analyses op verschillende gebieden, bijvoorbeeld voor stuwdammen.

Maximale ongevalsgrootte

Met deze uitdrukking wordt, rekening houden met de mogelijke effecten van een ramp, een inschatting gemaakt van het maximaal aantal slachtoffers dat bij een ongeval zal overlijden.

Potentiële economische schade

De potentiële economische schade bij een ramp is gelijk aan de totale economische waarde van het gebied waarin de effecten kunnen optreden. De potentiële economische schade is weer te geven in een maximale schade kaart die de verdeling van de economische waarde over het gebied toont.



4 Keuze dijkring en berekening overstromingsrisico

Dit hoofdstuk vormt de inleiding tot de risicoberekeningen met de geselecteerde risicomaten in de volgende hoofdstukken. Allereerst is een bestaande dijkring gekozen waarvoor de risicoberekeningen worden uitgevoerd (4.1). Vervolgens is ingegaan op de benodigde elementen voor berekening van het overstromingsrisico (4.2).

4.1 Keuze dijkring

Deze paragraaf geeft allereerst een beschrijving van een dijkring (4.1.1). Bij de keuze van een dijkring is aansluiting gekozen bij de Pilot Case Overstromingsrisico (4.1.2), waarin net als in deze studie de dijkring Betuwe, Tieler- en Culemborger Waarden wordt bestudeerd (4.1.3).

4.1.1 Dijkringen in Nederland

Een dijkringgebied, Wet op de waterkering, artikel 1, 1996:

“Een gebied dat door een stelsel van waterkeringen beveiligd moet zijn tegen overstroming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoog oppervlaktewater van één van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of bij een combinatie daarvan”.

Een dijkringgebied wordt beschermd door een aaneengesloten stelsel van primaire waterkeringen, eventueel in combinatie met hoge gronden. Langs de grote rivieren, de Waddenkust, de Zeeuwse wateren en het IJsselmeer bestaan deze voornamelijk uit dijken. Aan de Noordzeekust wordt het water grotendeels gekeerd door duinen. Daarnaast omvat het stelsel van primaire waterkeringen een aantal grote dammen en bijzondere constructies, zoals de Stormvloedkeringen in de Oosterschelde en de Nieuwe Waterweg, en diverse sluizen en inlaatwerken. Nederland is ingedeeld in 53 dijkringgebieden, die zijn weergegeven op de kaart in bijlage 4.A.

In deze studie wordt toepasbaarheid van de risicomaten voor het bepalen van het overstromingsrisico voor dijkringen onderzocht door ze uit te werken voor één van deze dijkringen. Bij keuze van de dijkring is aansluiting gekozen bij een lopend project, de Pilot Case Overstromingsrisico.

4.1.2 Pilot Case Overstromingsrisico

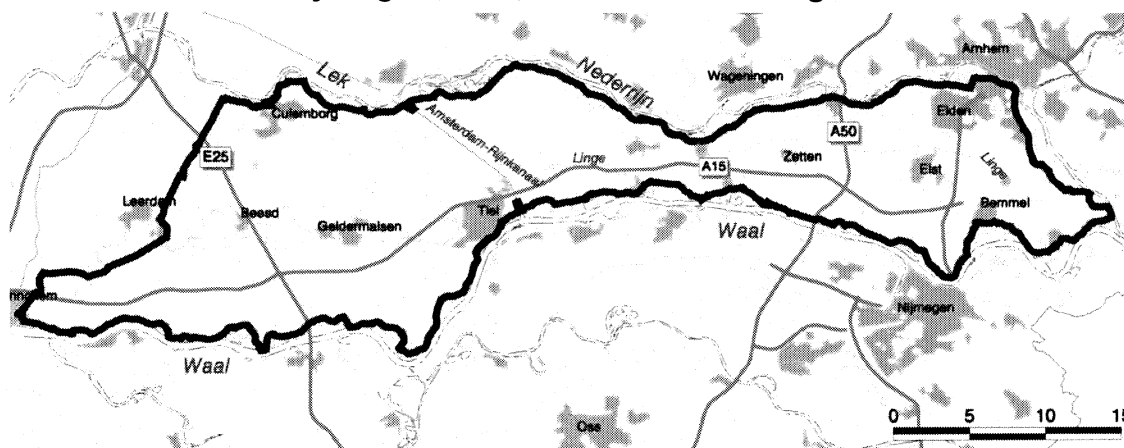
In 1992 is de TAW gestart met het onderzoeksprogramma “Overstromingsrisico's: een studie naar kansen en gevolgen”. Inmiddels is een methode ontwikkeld voor het bepalen van overstromingskansen. De volgende stap in het onderzoekstraject is het bepalen van overstromingsrisico's. Een eerste aanzet hiertoe is de uitvoering van de Pilot Case Overstromingsrisico (PICASO) door Dienst- Weg en Waterbouwkunde en Bouwdienst, specialistische diensten van Rijkswaterstaat.

Het belangrijkste doel van het uitvoeren van de case is het doorlopen van het hele traject van berekening van het overstromingsrisico van een dijkring. Zo kan ervaring worden opgedaan met de verschillende modellen, de 'aansluitbaarheid' van de modellen verkend worden en eventuele 'gaten' tussen de verschillende modellen ontdekt worden. Daarnaast zal het project een soort handleiding, een receptuur, opleveren waarin beschreven staat hoe een dergelijke berekening kan verlopen. Tenslotte geven de uitkomsten van het project een indruk van de omvang van de overstromingsrisico's.

Om deze studie bij PICASO te laten aansluiten is dezelfde dijkring gekozen als object van studie: de Betuwe, Tieler- en Culemborger Waarden. Voor een deel is gebruik gemaakt van de resultaten van PICASO.



4.1.3 Bestudeerde dijkkring: Betuwe, Tieler- en Culemborger Waarden



Figuur 4-1: de Betuwe dijkkring

De Betuwe, Tieler- en Culemborger Waarden (voortaan: de Betuwe dijkkring) liggen grotendeels in het rivierengebied en worden omgeven door de Lek en Nederrijn in het Noorden, het Pannerdensch Kanaal in het Oosten en de Waal in het Zuiden. Verder wordt het gebied begrensd door een compartimenteringsdijk in het Westen. Deze Diefdijk loopt van Leerdam tot Goilberdingen. De waterkeringen rond de dijkkring bestaan dan ook alleen uit (rivier)dijken en kunstwerken. In het recente verleden zijn in het kader van het Deltaplan Grote Rivieren de dijken verbeterd.

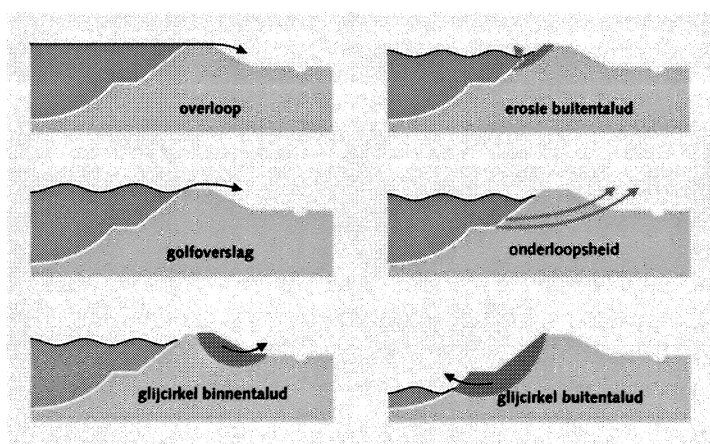
Het geïnvesteerd vermogen in het dijkkringgebied bedraagt circa 90 miljard gulden, het aantal inwoners circa 360.000.

4.2 Elementen in berekening overstromingsrisico

Om het overstromingsrisico voor de dijkkring te berekenen met de verschillende maten moeten zowel de overstromingskansen als de gevolgen bekend zijn. In deze paragraaf is beschreven hoe de overstromingskansen (4.2.1), de gevolgen (4.2.2) en risico's (4.2.3) zijn bepaald.

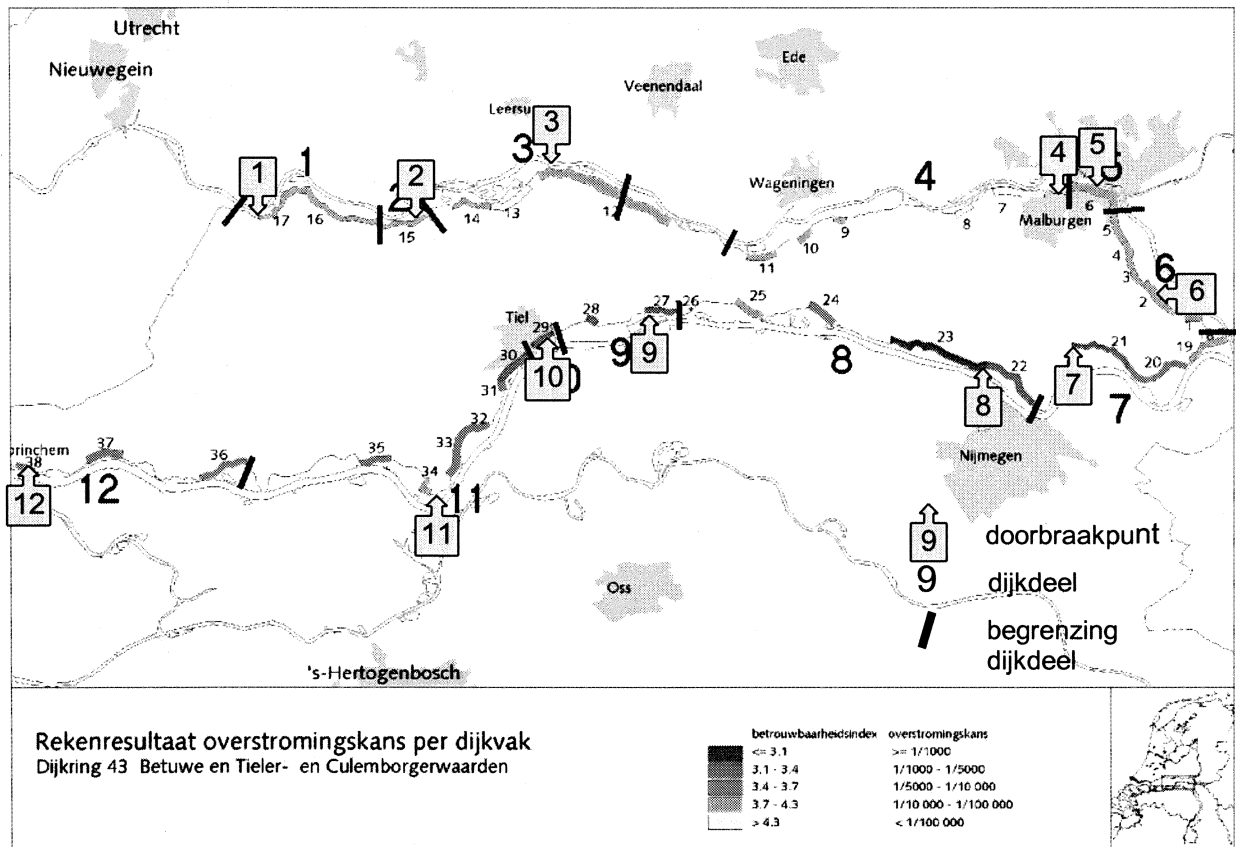
4.2.1 Overstromingskansen

De kans op een overstroming van een dijkkring is gelijk aan de kans op het falen van de primaire waterkering, of het niet sluiten van kunstwerken. Een dijk kan op verschillende wijzen falen, via zogenaamde "faalmechanismen" zoals weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 4-2: Faalmechanismen van een dijk [TAW, 2000]

De berekening van de kans op een overstroming gaat als volgt. De waterkering rondom een dijkkringgebied kan worden opgedeeld in zogenaamde "dijkvakken", waarvoor belasting en



Figuur 4-3: Betuwe dijkkring met dijkvakken (1 t/m 38) en hun sterkte. Daarnaast zijn de dijkdelen (1 t/m 12) weergegeven en de doorbraakpunten (gele pijlen 1 t/m 12)

Vervolgens worden de doorbraakscenario's gedefinieerd. Allereerst zijn er de enkele doorbraken, waarbij de doorbraak in één dijkdeel plaatsvindt. Het ontstaan van de bres zal aan dezelfde rivier leiden tot verlaging van de waterstanden en derhalve tot een verlaging van de belastingen. Er is dus geen scenario mogelijk met twee bressen aan dezelfde zijde van de dijkkring. Wel zijn dubbele doorbraken aan Noord en Zuid zijde van de dijkkring mogelijk.

Voor de Betuwe dijkkring zijn nu 48 overstromingsscenario's te definiëren, die de basis vormen voor de risicoberekeningen in de volgende hoofdstukken. In "kansen op inundatiescenario's" [Vrouwenvelder, 2000] is beschreven hoe de kansen voor deze scenario's zijn te berekenen. Een uitwerking van deze methode is gegeven in bijlage 4.F, een overzicht van de kansen van de overstromingsscenario's voor de Betuwe dijkkring in bijlage 4.G. De scenario kansen zijn te berekenen met een bij PC-Ring ontwikkelde scenario module.

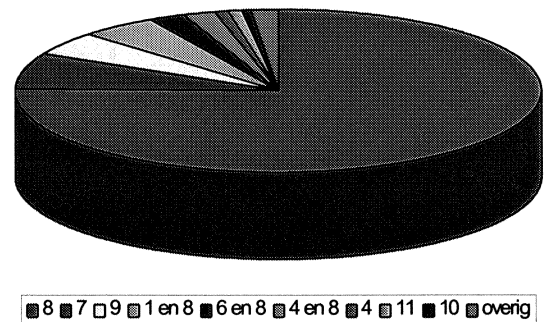
Voor de risico berekening zullen met name de scenario's met grootste kansen en gevolgen van belang zijn. Omdat de gevolgen nog niet bekend zijn beperkt deze studie zich tot beschouwing van 8 scenario's met hoogste kans van optreden. Er geldt dat de som van de kansen van alle n (in dit geval 48) overstromingsscenario's (met ieder kans P_i) bij benadering gelijk is aan de overstromingskans van de ring (P_b).

$$\sum_{i=1}^n P_i \approx P_b$$

Tabel: kans van optreden van acht maatgevende overstromingsscenario's

Dijkkringdeel	Beta	Kans	% ringkans
8	3,22	6,41E-04	75,2%
7	3,84	6,16E-05	7,2%
9	3,94	4,07E-05	4,8%
1 en 8	3,95	3,88E-05	4,6%
6 en 8	4,12	1,89E-05	2,2%
4 en 8	4,14	1,73E-05	2,0%
4	4,32	7,67E-06	0,9%
11	4,38	5,88E-06	0,7%
Overige scenario's		2.00.E-05	2.3%
Totaal 8 scenario's		8.32.10 ⁻⁴	97.7%
Totaal alle scenario's		8.52.10 ⁻⁴	100%

Bijdrage scenario's aan overstromingskans



Figuur 4-4: Bijdrage scenario's aan ringkans

Opmerking: het verschil tussen de som van de scenario kansen ($8.52 \cdot 10^{-4}$) en de ringkans ($8.56 \cdot 10^{-4}$) is in β verwaarloosbaar klein, namelijk 3.137 tegenover 3.136.

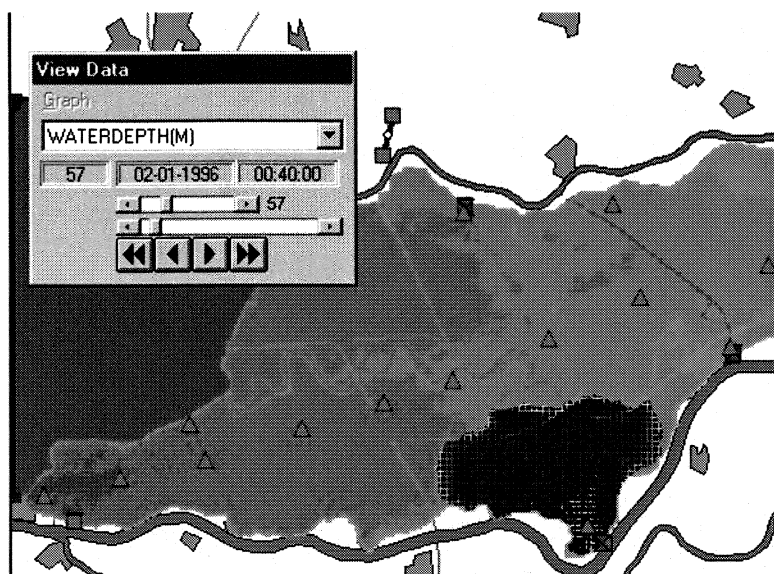
Uit de tabel blijkt dat de overstromingskans van de dijkkring grotendeels door de 8 scenario's met hoogste kans wordt bepaald. De invloed van de overige scenario's blijft in deze studie dan ook buiten beschouwing.

4.2.2 Gevolgen van een overstroming

Nu de kansen van de verschillende doorbraken bekend zijn is de volgende stap het bepalen van de gevolgen. De omvang van de gevolgen is afhankelijk van het overstromingsverloop en de hoeveelheid binnen het gebied aanwezige waarden, bijvoorbeeld op het gebied van economie en milieu, en personen. In [WL, 1999] is een model gegeven waarin een verband wordt gelegd tussen het overstromingsverloop, de gebiedsgegevens en de omvang van de schade. Dit model is opgenomen in bijlage 4.H.

Overstromingsverloop

Voor elk overstromingsscenario is een doorbraakpunt gekozen. Voor dit punt zijn randvoorwaarden als debieten door de bres en waterstanden op de rivier te bepalen. Met een hydraulische berekening is voor de verschillende overstromingsscenario's het overstromingsverloop te simuleren. Hierin zijn parameters als overstromingsdiepte en stroomsnelheid binnen de dijkkring te bepalen. De overstromingsberekeningen in deze studie zijn uitgevoerd met het programma Delft 1D2D. Een beeld uit één van de berekeningen is weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 4-5: voorbeeld Delft 1D2D berekening. Doorbraak in dijkdeel 11 in het westelijk deel van de dijkkring, het blauwe deel geeft het verloop van het water weer

Gebiedsgegevens en gevolgen

Bij kwantificering van de gevolgen is de volgende indeling gebruikelijk [WL, 1999]. Hierin is een onderscheid gemaakt tussen monetair waardeerbare en niet monetair waardeerbare schade. Daarnaast is een onderscheid gemaakt in primaire schade, die in de overstromde gebieden optreedt, en secundaire schade, die in de niet overstromde gebieden optreedt. Daaraan is nog een derde schadetype, "geïnduceerde schade", toegevoegd voor de schade die weliswaar door de overstroming wordt veroorzaakt, maar die niet direct aan een bepaald gebied kan worden toegewezen. Bovendien is de scheiding tussen directe en indirecte schade gemaakt.

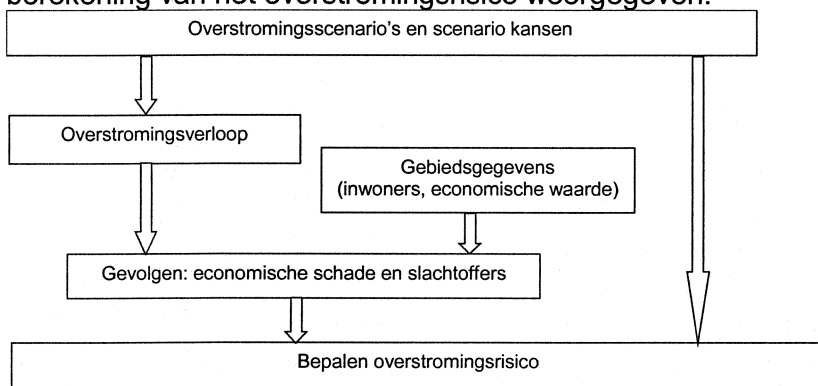
Tabel: Schadecategorieën voor een overstroming [WL, 1999], een uitgebreide versie van de tabel is opgenomen in bijlage 4.1

Type schade	Monetair waardeerbaar	Niet monetair waardeerbaar
Primair: direct	Kapitaalgoederen Onroerende goederen Roerende goederen	Slachtoffers Dood vee Gewonden Ecosystemen Historische en culturele schade
Primair: indirect	Verstoring productieproces Schoonmaakkosten	Welzijn, sociale ontwrichting Schade tgv schade aan installaties
Secundair	Verstoring productieproces	Schade voor overheid
Geïnduceerd	Reddingsoperaties en Evacuatie	Ontwrichting door evacuatie

In deze studie blijft de beschouwde schade beperkt tot de vetgedrukte schadetypen in de tabel, het aantal slachtoffers en economische schade. De economische schade betreft schade aan kapitaalgoederen, roerende en onroerende goederen, productieverliezen en inkomstenderving (in de tabel primaire schade). Deze is bepaald met de standaardmethode schade- en slachtofferbepaling [HKV, 2000]. Deze standaardmethode is geïmplementeerd in het computerprogramma met de naam HIS Schade en Slachtoffermodule (HISSTM). Het aantal slachtoffers is berekend met een zelf ontwikkeld model. De resultaten zijn vergeleken met die van de HISSTM.

4.2.3 Overstromingsrisico

In de vorige paragrafen zijn de elementen voor berekening van het overstromingsrisico besproken. Hiervoor zijn de overstromingsscenario's en de bijbehorende scenario kansen geschikt. De gevolgen van een overstroming zijn te bepalen uit het overstromingsverloop en de binnen het gebied aanwezige waarden, de gebiedsgegevens. Met de kennis over kansen gevolgen is het overstromingsrisico te bepalen. In onderstaand schema zijn de stappen voor berekening van het overstromingsrisico weergegeven.



Figuur 4-6: schematische weergave bepaling overstromingsrisico, ontleend aan [HKV, 2000].

In de volgende hoofdstukken wordt per risicomat onderzocht welke elementen nodig zijn voor berekening van het overstromingsrisico. De exacte invulling van het schema zal afhankelijk zijn van de kenmerken van de risicomat.

5 Individueel risico

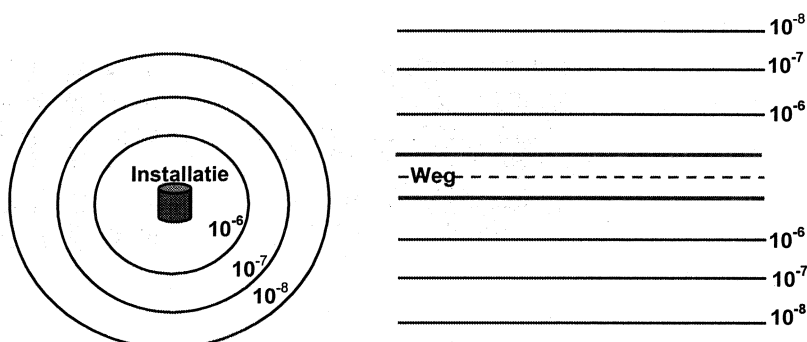
In dit hoofdstuk is een model ontwikkeld voor de bepaling van het individueel risico voor overstromingen van dijkeringen. Na een eerste inleiding op het gebied van de toepassing van individueel risico in andere sectoren (paragraaf 5.1), is een model uitgewerkt voor het berekenen van het individueel risico voor overstromingen (5.2). In paragraaf 5.3 is hierin ook de mogelijkheid tot evacuatie gemodelleerd. Tot slot is het model toegepast op de Betuwe dijkkring (5.4).

5.1 Inleiding

In paragraaf 3.1.1 is beschreven hoe het individueel risico (IR) binnen het Nederlandse externe veiligheidsbeleid wordt berekend uitgaande van de volgende definitie:

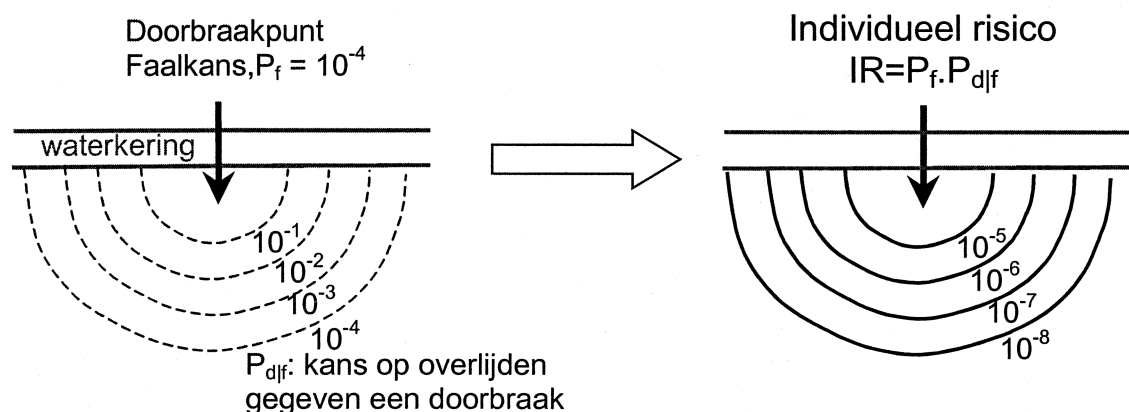
“Het individueel risico geeft de kans op overlijden per jaar op een bepaalde plaats ten opzichte van een beschouwde activiteit, ongeacht de aanwezigheid van personen”

Het individueel risico (IR) is weer te geven met risicocontouren die punten met gelijk IR verbinden. Het is zodoende een eigenschap een plaats en wordt binnen het externe veiligheidsbeleid toegepast om zoneringsafstanden tot een installatie of transportroute vast te stellen. De vorm van de risicocontouren is afhankelijk van de vorm van het beschouwde object en de eigenschappen van het risico. Als voorbeeld zijn de karakteristieke risicocontouren rondom een gevaarlijke installatie en een transportroute (weg) weergegeven.



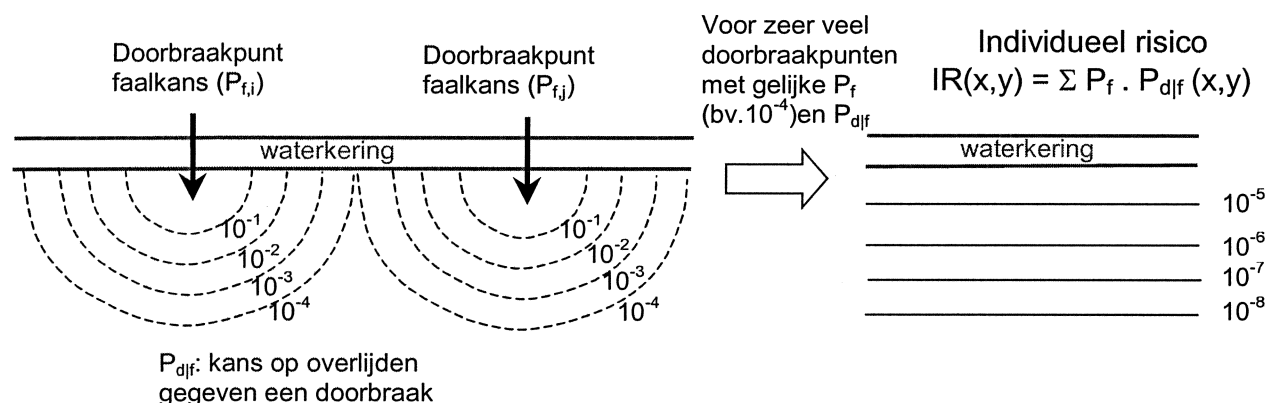
Figuur 5-1: Individueel risicocontour voor een gevaarlijke installatie en een weg

Eerst zijn individueel risicocontouren van een overstroming bepaald voor één doorbraakpunt, door de kans op de doorbraak (P_f) te vermenigvuldigen met de kans op overlijden gegeven de doorbraak (P_{dlf}). Hierbij is voorlopig aangenomen dat deze laatste grootte afhankelijk is van de afstand tot het doorbraakpunt. De risicocontouren zijn vergelijkbaar met die van een installatie.



Figuur 5-2: Individueel risicocontouren voor een dijkkring voor één doorbraakpunt

Een dijkkring bevat, in tegenstelling tot een installatie, niet één risicobron, maar bestaat uit een continue risicobron, namelijk het systeem van waterkering en rivier (of zee). Het individueel risico is nu te bepalen door voor ieder punt van de waterkering de doorbraakkans en voor het gebied achter de waterkering de kans op overlijden gegeven een bepaalde doorbraak te bepalen. In onderstaande figuur is dit gedaan voor de waterkering uit figuur 5-2, maar dan met zeer veel doorbraakpunten. Door sommatie over al deze doorbraakscenario's zijn de risicocontouren te bepalen. (vergelijk deze situatie met een golfpatroon waarin zeer veel bronnen golven uitzenden).



Figuur 5-3: Risico contouren achter een waterkering met voor ieder punt een gelijke doorbraakkans (P_f) en gelijke kans op overlijden gegeven een doorbraak (P_{dlf})

In een meer realistische situatie heeft de waterkering rond een dijkkring echter niet overal dezelfde faalkans. Daarnaast kan het overstromingsbeeld en daarmee de kans op overlijden bij een doorbraak sterk variëren met de plaats van doorbraak.

5.2 Model voor de bepaling van het individueel risico voor dijkringen

Deze paragraaf bevat de uitwerking van een model voor de bepaling van het individueel risico voor dijkringen.

5.2.1 Individueel risico en scenario kansen

Bij bepaling van het individueel risico is het gewenst de verschillen in faalkans voor verschillende delen van de waterkering mee te nemen. Daarnaast is het van belang de verschillen in overstromingsverloop tussen verschillende doorbraken in de berekening te betrekken. Vanuit dit oogpunt zijn de overstromingsscenario's (zie paragraaf 4.2.1) zeer geschikt. Per scenario is immers de kans van optreden bekend en is met een hydraulische berekening het overstromingsverloop te bepalen. Hieruit is op elke locatie in de dijkkring de kans op overlijden gegeven het optreden van een bepaald doorbraakscenario te bepalen. Door vermenigvuldiging met de scenario kans is nu per scenario per locatie het individueel risico te berekenen. Aangezien geldt dat de som van de kansen van alle scenario's (bij benadering) gelijk is aan de totale overstromingskans van de dijkkring, is het IR voor de gehele dijkkring te bepalen door de IR waarden over alle scenario's te sommeren.

$$\sum_{i=1}^n P_i \approx P_b$$

$$IR(x, y) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot P_{dli}(x, y)$$

Waarin:

- P_i de kans op optreden van scenario i
- P_b de overstromingskans van de gehele dijkkring
- $IR(x, y)$ het individueel risico op plaats (x, y)
- n het aantal mogelijke overstromingsscenario's

$P_{d|i}(x,y)$ de kans op overlijden op plaats (x,y) gegeven het optreden van scenario i

Voor de methode van berekening van de scenario kansen wordt verwezen naar [Vrouwenvelder, 2000] en bijlage 4.F.

5.2.2 Kans op overlijden gegeven een overstroming

Deze paragraaf bevat de beschrijving van de methode om de kans op overlijden gegeven een bepaalde overstroming te berekenen. Het aantal slachtoffers bij een overstroming wordt bepaald door een groot aantal factoren, die in twee groepen op te delen zijn [Waarts, 1992]:

- Factoren die het **overstromingsverloop** beschrijven: overstromingsdiepte, stijghoogte, stijgsnelheid van het water, stroomsnelheid, windrichting en kracht, temperatuur en overstromingsduur.
- Factoren die betrekking op de structuur van het gebied, **gebiedsgegevens** als: bevolking, bebouwing, waarschuwing- en reddingsmogelijkheden

Probleem bij een adequate modellering van de kans op verdrinking bij een overstroming is het gebrek aan gegevens, en de correlatie tussen de verschillende factoren. Zo zal de stijgsnelheid van het water gecorreleerd zijn met de stroomsnelheid en de overstromingsdiepte.

Omdat de standaardmethode [HKV, 2000] in de huidige vorm niet geschikt is voor bepaling van het individueel risico is besloten een eigen model te ontwikkelen. De kans op overlijden bij een overstroming is hierin afhankelijk gesteld van twee parameters die het **overstromingsverloop** beschrijven: overstromingsdiepte en stroomsnelheid. De invloed van overige parameters zoals windrichting, windkracht, temperatuur en overstromingsduur blijft in dit model buiten beschouwing. Ook de invloed van gebiedsgegevens, zoals de aanwezigheid van personen, is niet meegenomen bij de bepaling van het individueel risico. Dit betekent dat de berekening van het individueel risico, in navolging van het IR berekend binnen het externe veiligheidsbeleid, gebeurt voor personen die permanent aanwezig zouden zijn binnen de dijkkring.

Een uitgebreide uitwerking van het eigen model voor de bepaling van de kans op overlijden gegeven een overstroming is gegeven in bijlage 5.A. Deze paragraaf bevat een beknopte beschrijving.

Kans op overlijden door overstromingsdiepte

De gehanteerde functie is ontleend aan [Waarts, 1992]. De kans op overlijden ten gevolge van overstromingsdiepte gegeven het optreden van een overstromingsscenario is:

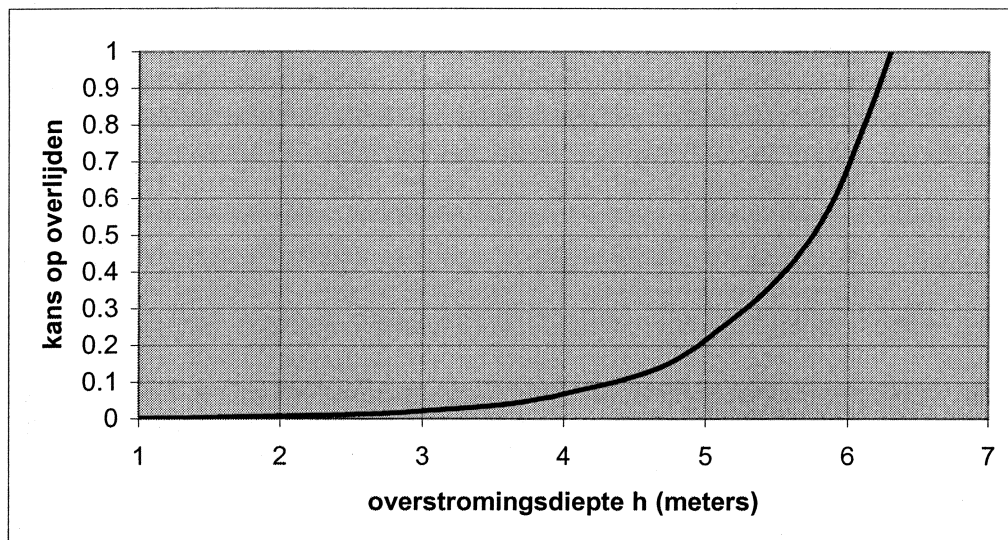
$$P_{d|i}(h) = P(h > h_{cr} | i) = 0.665 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1.16 \cdot h} \quad \text{voor } h \leq 6.30 \text{ m}$$

$$P_{d|i}(h) = 1 \quad \text{voor } h > 6.30 \text{ m}$$

waarin:

h de overstromingsdiepte [m]
 $P_{d|i}(h)$ de kans op overlijden gegeven een overstroming volgens scenario i als functie van de overstromingsdiepte
 $P(h > h_{cr} | i)$ de kans dat de overstromingsdiepte groter is dan een kritische waarde van de overstromingsdiepte (h_{cr}), waarbij personen verdrinken gegeven scenario i





Figuur 5-4: Kans op overlijden gegeven een overstroming als functie van de overstromingsdiepte

In de standaardmethode [HKV, 2000] is de kans op verdrinking bij een overstroming afhankelijk van de overstromingsdiepte en stijgsnelheid. In bijlage 5.B is het eigen model vergeleken met de standaardmethode en is getoond dat het hier gehanteerde verband globaal overeen komt met dat uit de standaardmethode voor een stijgsnelheid van 2 meter per uur.

Kans op overlijden door stroomsnelheid

Daarnaast zullen personen bij een overstroming overlijden bij hoge stroomsnelheden. Hierbij kunnen personen zich niet meer staande houden en storten gebouwen in. Nabij de bres treden de grootste stroomsnelheden op. Uit waarnemingen is gebleken dat binnen een afstand van tweemaal de bresbreedte alle personen verdrinken door hoge stroomsnelheden [Waarts, 1992].

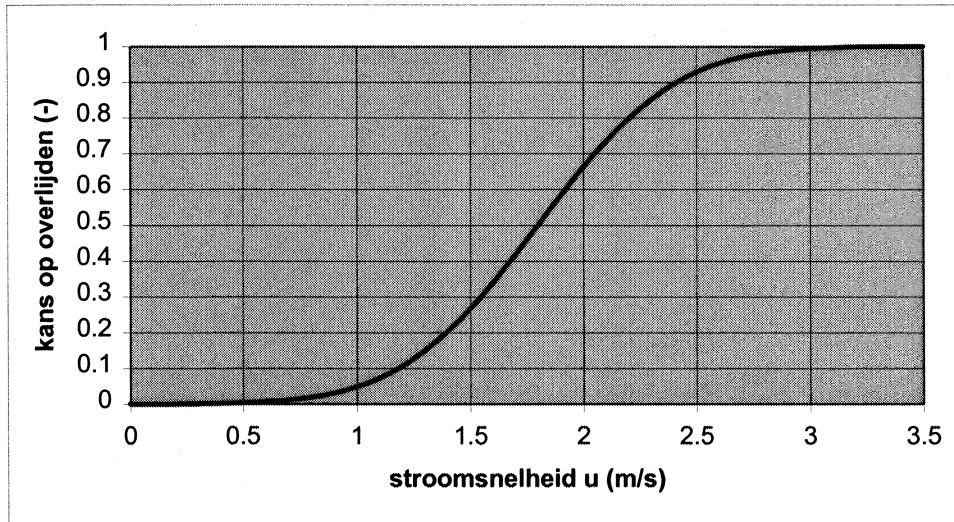
Met gegevens uit onderzoek naar stabiliteit van personen in stromend water [Abt, 1989] en de stroomsnelheden waarbij bebouwing instort [Waarts, 1992] is de kans op overlijden ten gevolge van stroomsnelheid gegeven een overstromingsscenario gemodelleerd als:

$$P_{d|i}(u) = P(u > u_{cr} | i) = \Phi_N\left(\frac{u - \mu}{\sigma}\right)$$

Met $\mu = 1.8 \text{ m/s}$ en $\sigma = 0.48 \text{ m/s}$

Waarin:

u	de stroomsnelheid [m/s]
$P_{d i}(u)$	de kans op overlijden als functie van de stroomsnelheid gegeven een overstroming volgens scenario i
$P(u > u_{cr} i)$	de kans dat de stroomsnelheid groter is dan een kritische waarde van de stroomsnelheid (u_{cr}), waarbij personen verdrinken gegeven scenario i
$\Phi_N(x)$	normale verdeling van parameter x



Figuur 5-5: Kans op overlijden gegeven een overstroming als functie van de stroomsnelheid

Totale kans op overlijden gegeven een overstroming

De kans op overlijden gegeven een overstroming is gelijk aan de som van de conditionele kansen op overlijden ten gevolge van overstromingsdiepte en stroomsnelheid. Omdat de berekening geldt bij permanente aanwezigheid van personen wordt in de index de term 24 uur toegevoegd. Aangezien overstromingsdiepte en stroomsnelheid ruimtelijk verdeelde grootheden zijn wordt in de notatie (x,y) toegevoegd. Nu is aangenomen dat overlijden t.g.v. stroomsnelheid en overstromingsdiepte disjuncte gebeurtenissen zijn:

$$P_{d|i,24uur}(x, y) = P_{d|i}(h(x, y)) + P_{d|i}(u(x, y))$$

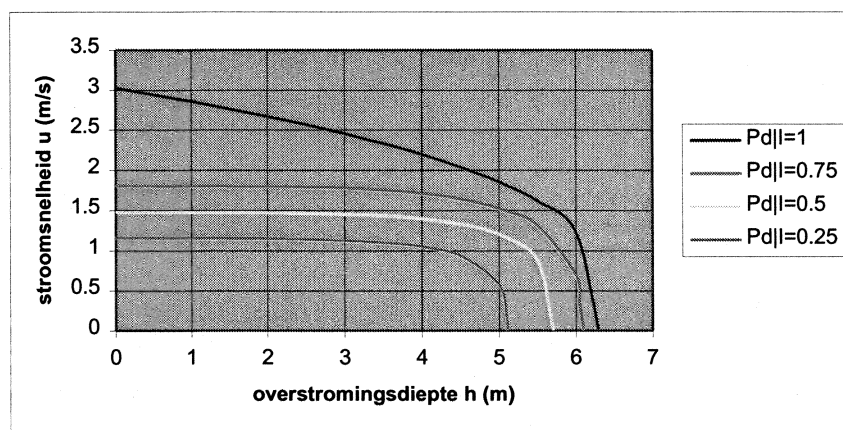
waarin:

$P_{d|i,24uur}(x, y)$ de kans op overlijden op plaats (x,y) bij permanente aanwezigheid gegeven het optreden van overstromingsscenario i

Aangezien de kans op overlijden bij een overstroming op een bepaalde plaats niet groter dan 1 kan zijn geldt dat:

$$P_{d|i,24uur}(x, y) \leq 1$$

In onderstaande figuur is de kans op overlijden gegeven een overstromingsscenario i voor verschillende combinaties van overstromingsdiepte en stroomsnelheid weergegeven.



Figuur 5-6: kans op overlijden gegeven een scenario als functie van overstromingsdiepte en stroomsnelheid. De lijnen in de figuur verbinden punten met gelijke kans op overlijden



Individueel risico

Met behulp van scenario kansen en de kans op overlijden gegeven een overstromingsscenario is door sommatie over alle scenario's het individueel risico op plaats (x,y) bij permanente aanwezigheid te berekenen ($IR(x,y)_{24uur}$):

$$IR(x,y)_{24uur} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot P_{d|i,24uur}(x,y)$$

5.3 Evacuatie

Bij een (dreigende) overstroming zal een groot deel van bewoners vluchten of geëvacueerd worden. De aanname van permanente aanwezigheid is dan niet realistisch en kan tot een sterke overschatting van het individueel risico leiden.

Enkele belangrijke invloedsfactoren bij een evacuatie zijn: voorbereiding, organisatie en communicatie, voorspellingen, waarschuwingstijd, de mate van dreiging, de fasering en omvang van de evacuatie en het optreden van paniek. Daarnaast is de inrichting van de polder van belang. Hierbij spelen de volgende factoren een rol: de aanwezigheid van voldoende ontsnappingsroutes, de capaciteit van de wegen/ routes, aanwezigheid van veilige gebieden in een polder, locaties van woongebieden en het aantal inwoners.

[Uittenbroek, 1999]

Op basis van een beperkt aantal schattingen van experts is een verband afgeleid tussen de kans op een geslaagde evacuatie en de tijd die men heeft om te vluchten of geëvacueerd te worden, de zogenaamde **vluchttijd**. Hierbij is aangenomen dat als het water in het overstroomde gebied tot een peil van 1 meter is gestegen, geen evacuatie meer mogelijk is¹. Daarnaast speelt de waarschuwingstijd² een belangrijke rol bij de evacuatie, er geldt:

$$t = t_{1m} + t_w$$

Waarin:

t	de vluchttijd, de tijd die men heeft om te vluchten of geëvacueerd te worden
t _{1m}	het tijdstip vanaf het begin van de doorbraak waarop de waterstand in het gebied een waarde van 1m bereikt
t _w	de waarschuwingstijd ten opzichte van het begin van de doorbraak. In het geval van voorwaarschuwing is deze waarde positief. In het geval men na het begin van de overstroming begint met evacueren is t _w negatief

De kans dat een persoon gegeven een overstromingsscenario geëvacueerd zal worden of vluchten is gemodelleerd als functie van de vluchttijd:

$$P_{elij}(t) = P(t > t_{cr} | i) = 1 - e^{-\frac{t}{20}}$$

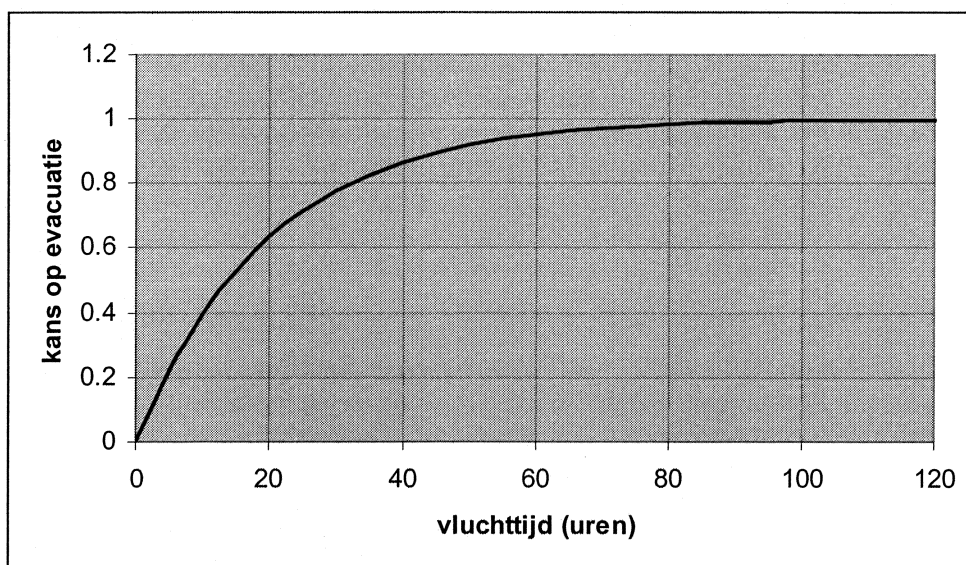
Waarin:

t	de vluchttijd [uren]
20	constante [uren]
P _{elij} (t)	de kans dat een persoon geëvacueerd wordt als functie van de vluchttijd gegeven overstromingsscenario i
P(t>t _{cr} b)	de kans dat de vluchttijd groter is dan een kritische vluchttijd (t _{cr}) gegeven een overstromingsscenario i

Opmerking: deze functie is een eerste schatting van het verband tussen vluchttijd en de kans op evacuatie op basis van een beperkt aantal expertmeningen.

¹ De gevoeligheid voor de waarde van de drempel is onderzocht in paragraaf 5.4.3

² De invloed van de waarde van de waarschuwingstijd op de evacuatie is in paragraaf 5.4.3 onderzocht.



Figuur 5-7: kans op evacuatie als functie van de vluchttijd

De vluchttijd is afhankelijk van de plaats van doorbraak en de positie in de dijkkring en is dus ruimtelijk verdeeld. De kans op overlijden als wel evacuatie plaatsvindt gegeven een overstromingsscenario i is nu als volgt te berekenen:

$$P_{d|i, \text{evac}}(x, y) = (1 - P_{el}(t(x, y))) \cdot (P_{d|i, 24 \text{uur}}(x, y)) \quad P_{d|i, \text{evac}}(x, y) \leq 1$$

$$= e^{-0.05 \cdot t(x, y)} \cdot P_{d|i, 24 \text{uur}}(x, y)$$

Waarin:

$P_{d|i, \text{evac}}(x, y)$ de kans op overlijden op plaats (x, y) bij evacuatie gegeven overstromingsscenario i

Het individueel risico met evacuatie wordt dan als volgt bepaald:

$$IR(x, y)_{\text{evac}} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot P_{d|i, \text{evac}}(x, y)$$

Het meenemen van evacuatie introduceert (meer) onzekerheid in de berekening van het IR. Onbekend is immers hoe een evacuatie in de praktijk zal plaatsvinden en hoe groot de waarschuwingstijd zal zijn.

In deze berekening is aangenomen dat een evacuatie de kans op overlijden en het aantal slachtoffers bij een overstroming zal doen afnemen. Een mislukte of foutief uitgevoerde evacuatie zal het aantal slachtoffers echter sterk doen toenemen

5.4 Toepassing model op de Betuwe dijkkring

In deze paragraaf is met de hiervoor beschreven methode het individueel risico voor de Betuwe dijkkring bepaald. Allereerst is de werkwijze beschreven (5.4.1) en zijn de resultaten voor één scenario weergegeven (5.4.2). Vervolgens is evacuatie meegenomen in de bepaling van het IR (5.4.3). Tenslotte is een overzicht gegeven van de resultaten voor de gehele dijkkring (5.4.4).

5.4.1 Werkwijze

Het individueel risico voor de Betuwe dijkkring is berekend voor de acht overstromingsscenario's met hoogste kans. Aangezien deze voor zo'n 98% de overstromingskans van de dijkkring bepalen hebben de andere scenario's naar verwachting geen significante invloed op het IR voor de dijkkring.

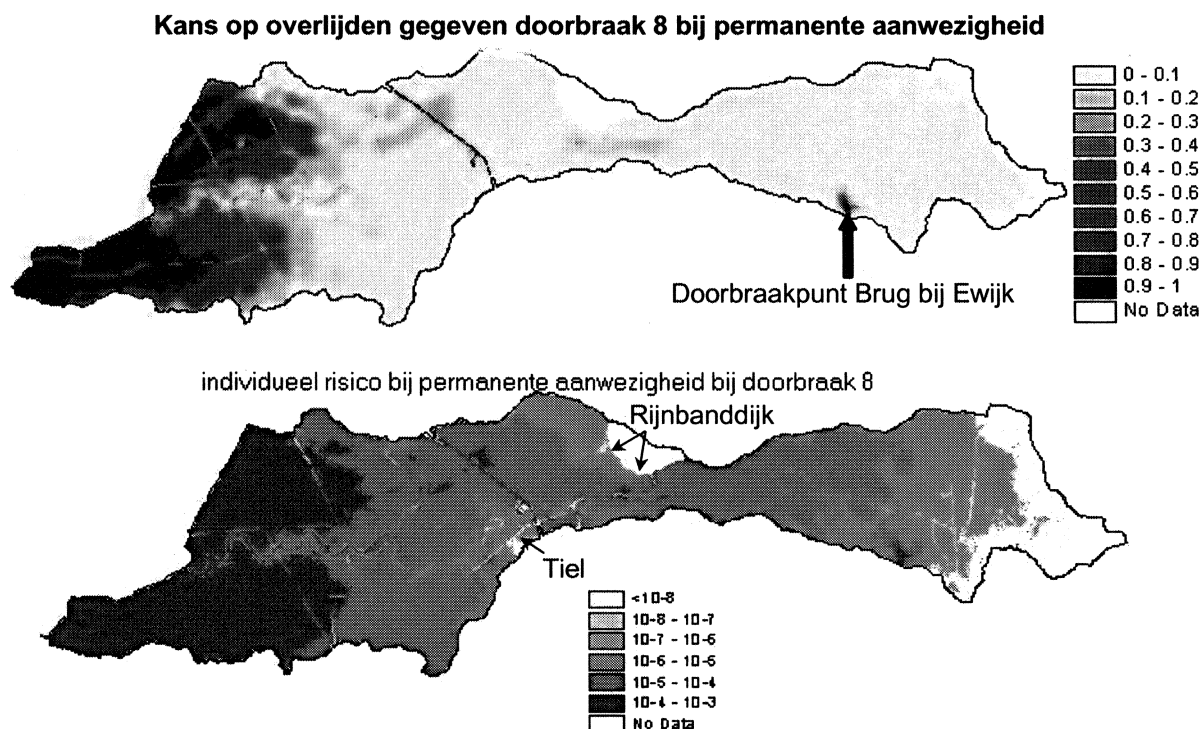


De kans op overlijden gegeven een overstromingsscenario is bepaald met uitvoer van de overstromingsberekeningen. Voor elk scenario zijn met behulp van het programma Delft 1D2D overstromingsberekeningen gemaakt, waarbij de dijkkring is opgedeeld in een rooster (grid) van 100 bij 100 meter. De uitvoer bevat onder meer de maximaal opgetreden stroomsnelheid en overstromingsdiepte per gridcel. Deze uitvoer is gebruikt voor het berekenen van de kans op overlijden per locatie per scenario en de individueel risico waarden. Met deze resultaten en de overstromingskansen zijn de individueel risico waarden bepaald. De berekeningen zijn gemaakt in de programmeertaal Pascal en de resultaten zijn weergegeven met behulp van een Geografisch Informatie systeem (GIS).

5.4.2 Resultaten doorbraak bij brug bij Ewijk bij permanente aanwezigheid

In deze paragraaf zijn allereerst de stappen van de IR berekening voor één scenario, de doorbraak bij Brug bij Ewijk (scenario 8), uitgewerkt. De kans op een doorbraak bij Brug bij Ewijk (scenario nummer 8) bedraagt $6.41 \cdot 10^{-4}$. Het scenario bepaalt voor circa 75% de totale overstromingskansen.

De verdeling van de maximaal opgetreden overstromingsdiepte en de maximaal opgetreden stroomsnelheid voor dit scenario, zoals berekend met Delft 1D2D, zijn weergegeven in bijlage 5.C. Hieruit is de kans op overlijden gegeven deze doorbraak te berekenen. Door vermenigvuldiging met de overstromingskansen is het individueel risico te bepalen.

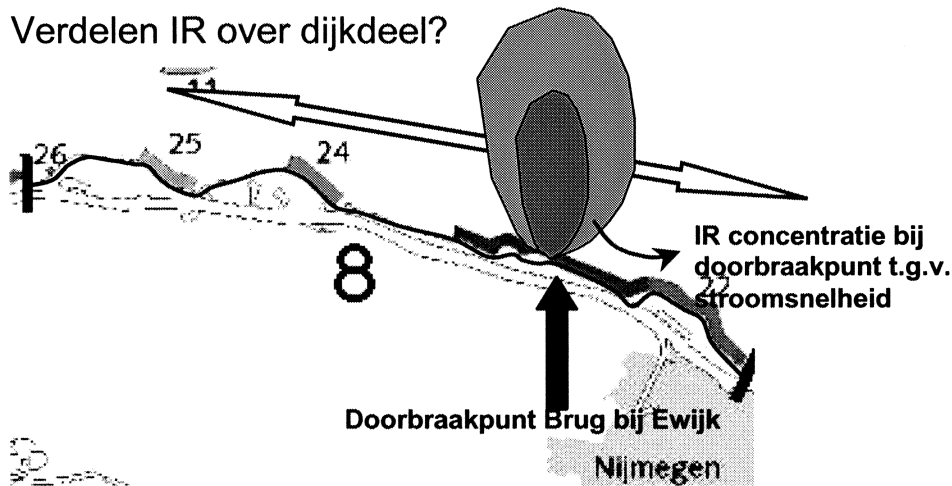


Figuur 5-8: Kans op overlijden gegeven de doorbraak bij Brug bij Ewijk (8) ($P_{d|8}$) en individueel risico bij permanente aanwezigheid

In het westelijk deel van de dijkkring worden de hoge kansen en IR waarden veroorzaakt door grote overstromingsdieptes die daar optreden. De hoge kans op overlijden bij het doorbraakpunt wordt veroorzaakt door hoge stroomsnelheden.

Aangezien het doorbraakpunt het hele dijkdeel vertegenwoordigt moet de concentratie van IR ten gevolge van de hoge stroomsnelheden eigenlijk verdeeld worden over het dijkdeel. De vraag is hoe hierbij rekening moet worden gehouden met de verschillende sterktes van de dijkvakken binnen het dijkdeel.

Verdelen IR over dijkdeel?



Figuur 5-9: concentratie van IR bij doorbraakpunt ten gevolge van hoge stroomsnelheden.

Het hier geschetste probleem is te herleiden tot het feit dat voor een IR berekening zoveel mogelijk doorbraakpunten moeten worden gekozen.

Effect Secundaire waterkering

In figuur 5-8 is het effect van secundaire waterkeringen (keringen binnen de dijkkring) te herkennen. In het midden van de dijkkring blijft het gebied begrensd door de Rijnbanddijk droog, zodat het IR daar nul is. Ook het gebied bij Tiel wordt door de ligging van de snelweg de A15 enigszins afgeschermd in het verloop van de overstroming waardoor hier lagere IR waarden worden gevonden.

Op dezelfde wijze is het individueel risico bij permanente aanwezigheid voor de andere 7 maatgevende scenario's bepaald. De resultaten hiervan zijn grafisch weergegeven in bijlage 5.D.

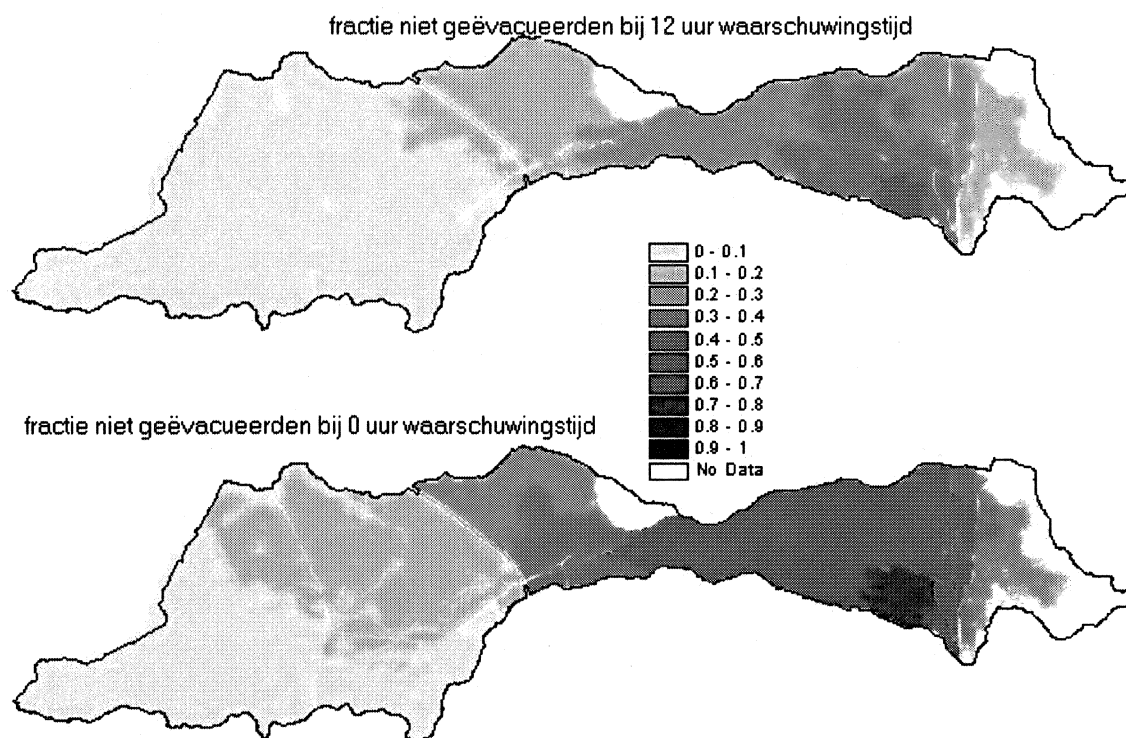
5.4.3 Resultaten scenario 8 met evacuatie

In deze paragraaf is het effect van evacuatie bepaald op de kans op overlijden en het individueel risico voor de doorbraak bij Brug bij Ewijk.

Uit de uitvoer van de overstromingsberekeningen volgt op welk tijdstip na het begin van de bresontwikkeling een bepaalde waterstandsgrens wordt overschreden. In bijlage 5.E is weergegeven na hoeveel tijd een waterstand van 1 meter in de dijkkring wordt bereikt bij doorbraak 8.

In de modellering van evacuatie is aangenomen dat geen evacuatie meer mogelijk is als de waterdiepte boven de 1m komt. Ter controle zijn de berekeningsresultaten voor verschillende waarden voor de waterdiepte van deze drempel geanalyseerd. Voor een tiental punten is het effect op de kans op evacuatie beschouwd voor een drempel van 1m, 2m en 3m. De gekozen waarde van de drempel blijkt nauwelijks invloed te hebben op de evacuatie. Samen met een (aangenomen) waarschuwingstijd is nu de vluchttijd en zodoende de kans op evacuatie te bepalen. Om het effect van de waarschuwingstijd op de evacuatie te tonen is voor de doorbraak bij Brug bij Ewijk voor twee waarschuwingstijden (12 uur en 0 uur) de ruimtelijke verdeling van de evacuatiefactor bepaald.

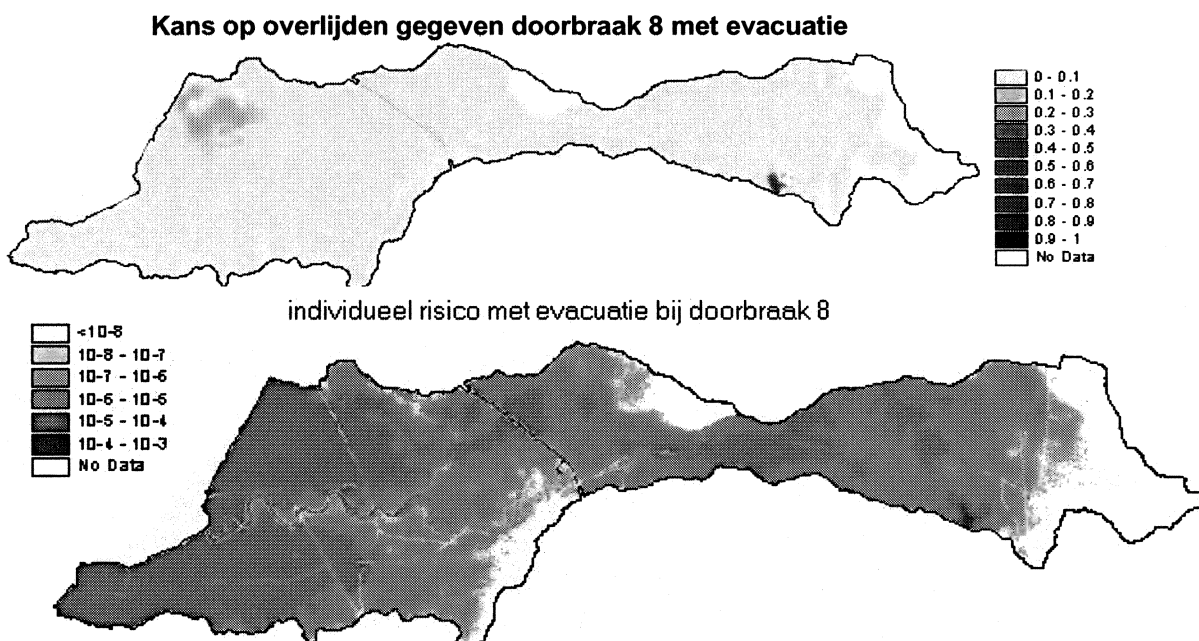




Figuur 5-10: Percentage niet geëvacueerden bij 12 uur en 0 uur waarschuwingstijd

Met name in het deel van de dijkkring dat in de buurt van de bres ligt is de invloed van de waarschuwingstijd zeer groot. Daarnaast blijkt uit de figuren dat het rendement van evacuatie bij de aangenomen functie zeer groot is. In het westelijk deel van de dijkkring blijft is zo'n 90% van de personen te evacueren.

Het percentage geëvacueerden is mee te nemen in de berekening van het individueel risico met evacuatie. Bij verdere berekeningen is (ook voor de andere scenario's) een waarschuwingstijd van 0 uur aangehouden. Zodoende zijn de kans op overlijden gegeven scenario 8 en het IR voor scenario 8 beiden met evacuatie te bepalen.

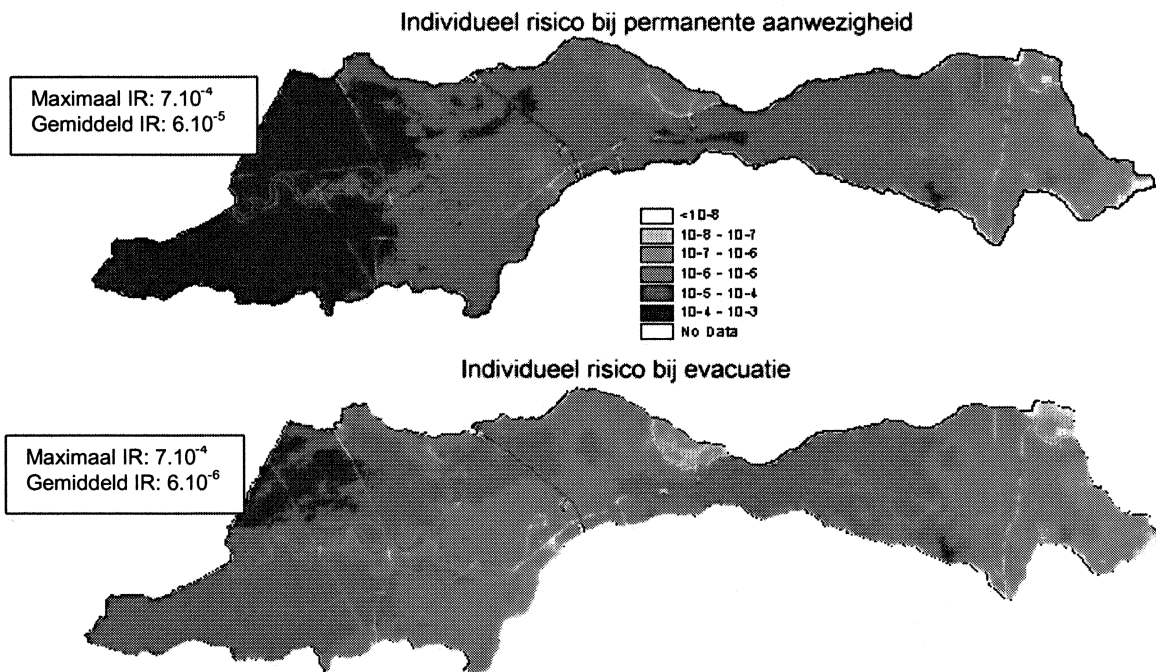


Figuur 5-11: kans op overlijden en individueel risico voor scenario 8 met meeneming van mogelijkheden tot evacuatie

De individueel risico beelden bepaald met evacuatie zijn voor de overige scenario's weergegeven in bijlage 5.F.

5.4.4 Individueel risico voor de Betuwe dijkkring

Op dezelfde wijze is voor de andere maatgevende doorbraak scenario's het IR te bepalen (zie ook bijlagen 5.D en 5.F). Het individueel risico voor de hele Betuwe dijkkring is te bepalen door sommatie de IR beelden over alle scenario's. De som van de scenario kansen is immers (bij benadering) gelijk aan de totale ringkans. Hierbij is aangenomen dat alleen de 8 scenario's met hoogste kans van belang zijn in de bepaling van het IR, aangezien de kansen van de overige scenario's verwaarloosbaar klein zijn. Dit leidt tot de volgende beelden voor het IR.



Figuur 5-12: Individueel risico voor de eerste 8 scenario's bij permanente aanwezigheid en met meeneming van evacuatie

Uit de figuur blijkt dat het meenemen van evacuatie veel invloed op de IR waarden heeft. De waarden van het individueel risico met evacuatie zijn echter sterk afhankelijk van de gekozen waarschuwingstijd. In deze berekeningen is een waarschuwingstijd van 0 uur aangehouden.

De maximale IR waarden zijn bij permanente aanwezigheid en met evacuatie gelijk. Nabij de doorbraakpunten vluchttijd zeer laag en is de kans op evacuatie praktisch nul. Voor het IR berekend bij permanente aanwezigheid en het IR berekend met evacuatie worden daar dezelfde uitkomsten gevonden. Gemiddeld is het verschil tussen het IR berekend bij permanente aanwezigheid en het IR berekend met evacuatie aanzienlijk³, namelijk $6 \cdot 10^{-5}$ tegenover $6 \cdot 10^{-6}$.

³ De gevoeligheid voor het meenemen van evacuatie komt ook naar voren in de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers (zie voor berekeningswijze paragraaf 6.2). Deze bedraagt 2.4 slachtoffers per jaar met evacuatie en circa 20 bij permanente aanwezigheid. In bijlage 6.B zijn berekeningen met maten op het gebied van maatschappelijk risico weergegeven met evacuatie en bij permanente aanwezigheid.



6 Maatschappelijk risico

In dit hoofdstuk is met enkele risicomaten het maatschappelijk risico bepaald voor de Betuwe dijkkring. Allereerst is een berekening gemaakt met twee maten die gebaseerd zijn op de individueel risico contouren. Het betreft het gesommeerd gewogen risico (6.1) en de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers uit individueel risicocontouren (6.2). Vervolgens is de kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers bepaald (6.3), waaruit FN curve (6.4), verwachtingswaarde en standaardafwijking van het aantal slachtoffers (6.5) en de maten totaal risico en risk integral (6.6) zijn te bepalen.

Bij de berekeningen is gebruik gemaakt van het slachtoffermodel uit het vorige hoofdstuk (5). Hierin is de kans op overlijden zowel bij permanente aanwezigheid als met evacuatie te berekenen. Bij het bepalen van het maatschappelijk gaat het erom het “werkelijk” aantal slachtoffers zo goed mogelijk te benaderen. De aanname van permanente aanwezigheid zal leiden tot te hoge slachtoffer aantallen. Daarom is bij de bepaling van het maatschappelijk risico in dit hoofdstuk evacuatie meegenomen in de berekening. De maatschappelijk risico's zijn, tenzij anders vermeld, berekend aan de hand van de resultaten voor de 8 scenario's met hoogste kans.

6.1 Gesommeerd gewogen risico

Het gesommeerd gewogen risico (GGR) wordt berekend aan de hand van de individueel risicocontouren en het aantal huizen binnen de contouren (zie paragraaf 3.2.1). Hier is alleen het GGR op basis van de individueel risico contouren voor scenario 8 berekend met evacuatie (deze IR contour is weergegeven in figuur 5-10). Dit scenario is maatgevend voor het IR beeld en bepaalt voor circa 75% de overstromingskans.

$$GGR = \iint_A IR_{evac}(x, y) \cdot h(x, y) \cdot dx dy$$

Waarin:

$IR_{evac}(x, y)$ individueel risico op plaats (x,y), aannemende dat evacuatie zal optreden (in dit geval alleen voor scenario 8)

Om de vergelijking met Schiphol mogelijk te maken¹, waarbij het GGR binnen de 10^{-5} en 10^{-6} IR contour wordt berekend, is het GGR voor de Betuwe dijkkring ook binnen deze contouren berekend. Daarnaast is het aantal woningen binnen de genoemde contouren bepaald.

Tabel: Woningen en GGR waarden voor de Betuwe dijkkring binnen de 10^{-5} en 10^{-6} contour, voor overstromingsscenario 8 bepaald met evacuatie

	Betuwe dijkkring
GGR binnen 10^{-5} contour	0.29
GGR binnen 10^{-6} contour	0.49
Woningen in 10^{-5} contour	14.500
Woningen in 10^{-6} contour	67.800

6.2 Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers uit individueel risicocontouren

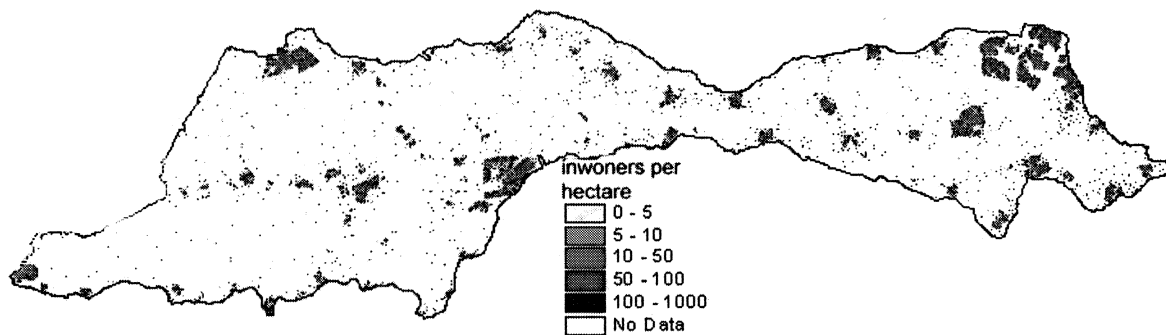
De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is te bepalen uit de individueel risicocontouren en de bevolkingsdichtheid. Er geldt:

$$E(N) = \iint_A IR(x, y)_{evac} \cdot m(x, y) \cdot dx dy$$

De bevolkingsdichtheid is weergegeven in een figuur:

¹ De vergelijking met de GGR waarden van Schiphol is gemaakt in paragraaf 10.2.2





Figuur 6-1: bevolkingsdichtheid voor de Betuwe dijkkring [gegevens uit HISSSM]

Door integratie over de IR contouren voor de eerste 8 scenario's volgt voor de verwachtingswaarde van het jaarlijks aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming van de Betuwe dijkkring:

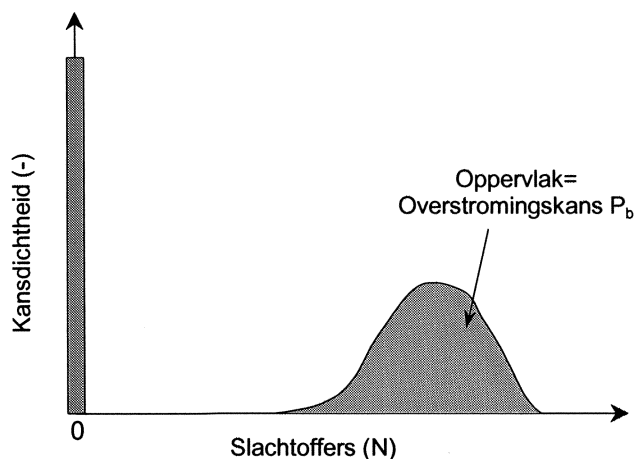
$$E(N) = 2.4$$

6.3 Kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers

6.3.1 Inleiding

Basis voor de weergave van maatschappelijk risico vormt de kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers. Hieruit zijn verwachtingswaarde en standaardafwijking te bepalen en risicomaten als de FN curve, het totaal risico en de risk integral.

In het ideale geval zijn voor elke mogelijke overstroming de kans van optreden, alle relevante parameters van het overstromingsverloop (stroomsnelheid, waterdiepte, stijgsnelheid, etc.), en gegevens met betrekking tot de aanwezigheid van personen binnen de dijkkring bekend. Met behulp van deze gegevens zijn slachtofferberekeningen te maken en is de kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers te berekenen. Deze kan dan een dergelijke vorm hebben als in onderstaande figuur.



Figuur 6-2: schematisch voorbeeld van een kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers voor een overstroming

De gebeurtenis met 0 slachtoffers zal de grootste kans hebben. Het oppervlak onder de rechter piek is gelijk aan de overstromingskans. De totale oppervlakte onder de kansdichtheidsfunctie is gelijk aan 1. Voor een volledige bepaling van de kansdichtheidsfunctie van een overstroming ontbreekt echter nog de benodigde kennis.

Voor de Betuwe dijkkring wordt de kansdichtheidsfunctie bepaald aan de hand van de gedefinieerde overstromingsscenario's. Het aantal slachtoffers als gevolg van een overstroming wordt gemodelleerd als een discrete stochastische variabele. De kansdichtheid voor elk aantal slachtoffers is gelijk aan de kans van optreden van het overstromingsscenario i met dat aantal slachtoffers.

$$p_N(x) = P_i(N = x)$$

6.3.2 Berekening van het aantal slachtoffers

Het aantal slachtoffers is berekend met twee methoden: de standaardmethode en het eigen model. Beide methoden bepalen het aantal slachtoffers aan de hand van het overstromingsverloop (met parameters zoals de waterdiepte) en de gebiedsgegevens (de bevolkingsdichtheid).

Standaardmethode schade en slachtoffer bepaling [HKV, 2000]

Het aantal slachtoffers is hierin afhankelijk van de overstromingsdiepte, de stijgsnelheid, het optreden van storm, golven en de stroomsnelheid. Met behulp van het computerprogramma HIS Schade en Slachtoffer Module (HISSTM) is het aantal slachtoffers te berekenen. Dit programma berekent alleen het aantal slachtoffers als functie van de overstromingsdiepte en stijgsnelheid, de overige parameters zijn (nog) niet in de HISSTM meegenomen. De ruimtelijke verdeling van de overstromingsdiepte volgt uit een overstromingsberekening, voor de stijgsnelheid is een constante waarde van 2 meter per uur aangenomen. In bijlage 6.A is aangetoond dat het aantal slachtoffers berekend met de standaardmethode erg gevoelig is voor de gekozen stijgsnelheid. In de berekeningresultaten is het effect van evacuatie niet meegenomen. Dit is te doen door een vast percentage geëvacueerden aan te nemen.

Model individueel risico uit hoofdstuk 5

Met behulp van het in hoofdstuk 5 weergegeven model is de kans op overlijden gegeven een overstroming te bepalen. In dit model wordt, naast de overstromingsdiepte ook de stroomsnelheid als invoer in de berekening meegenomen. Daarnaast is aan de hand van de vluchtijd evacuatie gemodelleerd. Het aantal slachtoffers bij een doorbraakscenario is te berekenen met de kans op overlijden gegeven dat scenario en de bevolkingsdichtheid. Als evacuatie meegenomen wordt geldt:

$$N_i = \iint_A P_{d|i, \text{evac}}(x, y) \cdot m(x, y) \cdot dx dy$$

Waarin:

N_i	het aantal slachtoffers bij scenario i
$P_{d i, \text{evac}}(x, y)$	de kans op overlijden op plaats (x, y) gegeven een overstroming volgens scenario i als evacuatie optreedt

Op dezelfde wijze is het aantal slachtoffers bij permanente aanwezigheid te bepalen (door in plaats van $P_{d|i, \text{evac}}$ $P_{d|i, 24u}$ te gebruiken).

Resultaten slachtofferberekeningen

In deze studie is voor acht doorbraakscenario's met hoogste kans op deze wijze het aantal slachtoffers berekend. De resultaten van de berekeningen zijn voor beide methoden gegeven in een tabel.



Tabel: aantal slachtoffers berekend voor het eigen model en HISSM

Scenario	Kans (dichtheid)	Eigen model		Standaardmethode (HISSM)
		Slachtoffers bij permanente Aanwezigheid	Slachtoffers bij evacuatie	Slachtoffers (Stijgsnelh = 2 m/u)
8	6.41E-04	23.682	2074	22.479
7	6.16E-05	22.669	2097	20.591
9	4.07E-05	22.569	3209	22.301
1 en 8	3.88E-05	30.685	8066	29.224
6 en 8	1.89E-05	40.758	13.405	40.372
4 en 8	1.73E-05	32.527	7658	30.719
4	7.67E-06	1348	405	57
11	5.88E-06	24.887	9334	24.662

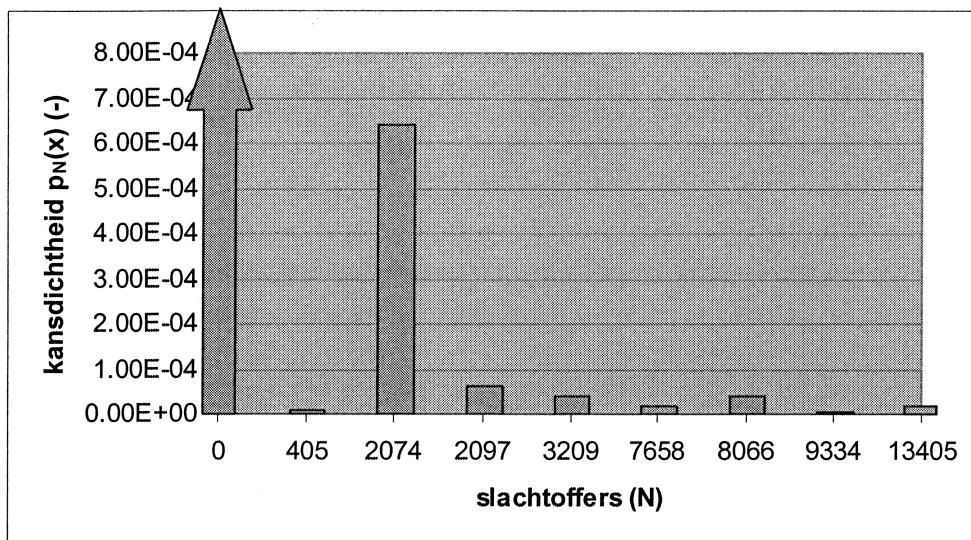
Het aantal slachtoffers berekend bij permanente aanwezigheid en met de standaardmethode blijkt zeer goed overeen te komen. Dit valt te verklaren uit het feit dat het verband tussen overstromingsdiepte en verdrinkingsfactor (bij een stijgsnelheid van 2 meter per uur in de standaardmethode) voor standaardmethode en het eigen model overeen komt (zie ook bijlage 5.B). Het eigen model geeft iets hogere waarden omdat het ook verdrinking ten gevolge van stroomsnelheid meeneemt. Een vergelijking tussen beiden modellen is gemaakt in bijlage 6.B. In deze studie is gebruik gemaakt van het zelf ontwikkelde model om de volgende redenen (zie ook bijlage 6.B):

- In het eigen model is het mogelijk evacuatie mee te nemen in de berekening van het aantal slachtoffers. Hierbij is evacuatie gedefinieerd als functie van de plaats, terwijl in de standaardmethode een vast percentage moet worden aangenomen
- Met het eigen model zijn de verkregen maatschappelijk en individueel risico waarden te herleiden tot dezelfde gegevens
- Het eigen model bevat een slachtofferfunctie voor stroomsnelheden, terwijl in de HISSM geen slachtoffers door stroomsnelheid vallen

Zoals gesteld in de inleiding van het hoofdstuk worden de maatschappelijk risico berekeningen voor het eigen model met evacuatie gemaakt. In bijlage 6.B zijn de berekeningen uit de volgende paragrafen gemaakt voor het eigen model met permanente aanwezigheid en de standaardmethode. Bijlage 6.C bevat een overzicht van de tussenresultaten van de berekeningen uit de volgende paragrafen.

6.3.3 Kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers voor de Betuwe dijkkring

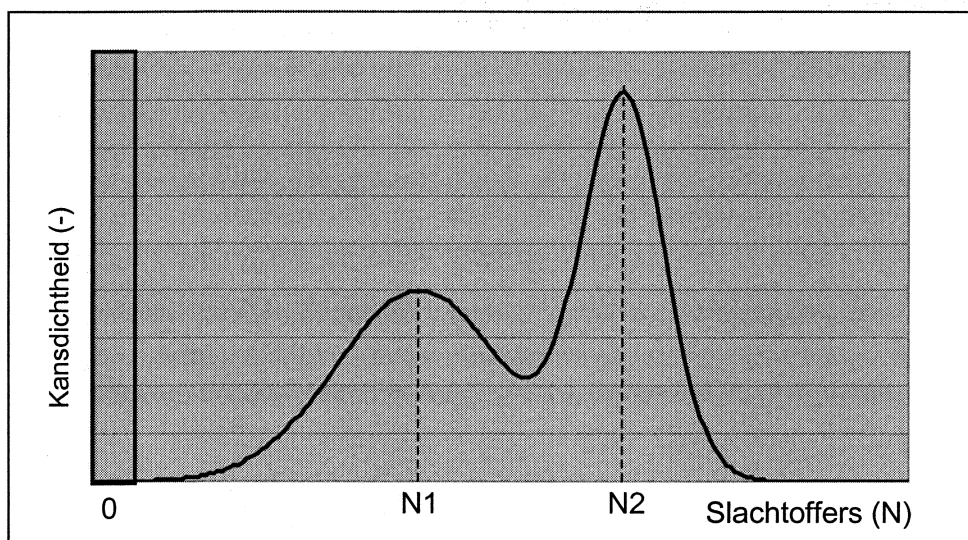
Met deze gegevens is de kansdichtheidsfunctie voor het aantal slachtoffers berekend volgens het eigen model met evacuatie, grafisch weer te geven.



Figuur 6-3: kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers voor de resultaten van het eigen model met evacuatie, x-as niet op schaal. De kansdichtheid van 0 slachtoffers is niet volledig weergegeven, deze bedraagt 0.99916

De gebeurtenis waarbij geen doorbraak optreedt en geen slachtoffers vallen heeft de grootste kansdichtheid. De som van de kansdichtheden van de 8 scenario's is gelijk aan de overstromingskans, deze bedraagt $8.32 \cdot 10^{-4}$.

Bij de bepaling van de kansdichtheidsfunctie is aangenomen dat het aantal slachtoffers bij elk overstromingsscenario exact bekend is. Het aantal slachtoffers dat werkelijk zal vallen is echter niet eenduidig te voorspellen. Het is mogelijk deze onzekerheid mee te nemen in de kansdichtheidsfunctie door bijvoorbeeld het aantal slachtoffers van een scenario als normaal verdeeld aan te nemen. De kansdichtheidsfunctie voor twee scenario's kan er dan zo uitzien:



Figuur 6-4: kansdichtheidsfunctie voor twee overstromingsscenario's als het aantal slachtoffers voor elk scenario als normaal verdeeld wordt geschematiseerd

Uiteindelijk doel is het vaststellen van een continue kansdichtheidsfunctie zoals figuur 6-1 waarin alle mogelijke overstromingen en hun aantallen slachtoffers verwerkt zitten.

In de volgende paragrafen zijn aan de hand van de kansdichtheidsfunctie met verschillende risicomaten de maatschappelijk risico's bepaald.

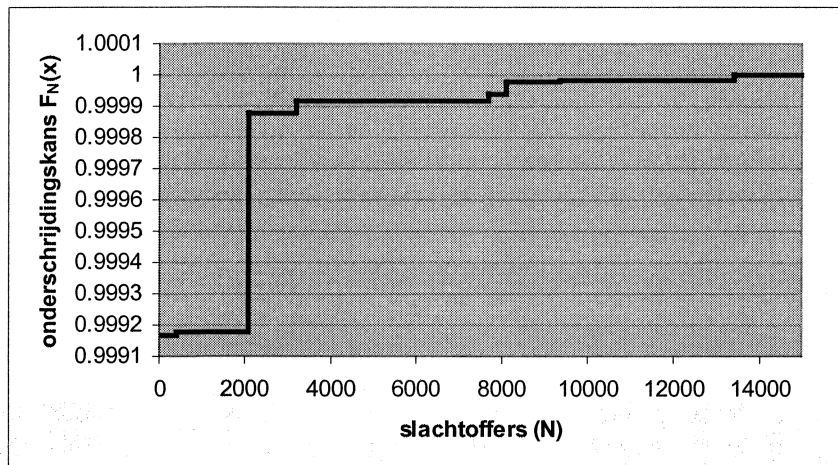
6.4 FN curve

Uit de kansdichtheidsfunctie ($f_N(x)$) is de kansverdelingsfunctie ($F_N(x)$) te bepalen, die de onderschrijdingskans van het aantal slachtoffers geeft.

$$F_N(x) = P(N \leq x) = \int_0^x f_N(x).dx$$

De verdelingsfunctie van een discrete stochastische variabele volgt door sommatie van de kansdichtheden:

$$F_N(x) = \sum_{\text{alle } x_i \leq x} p_N(x)$$

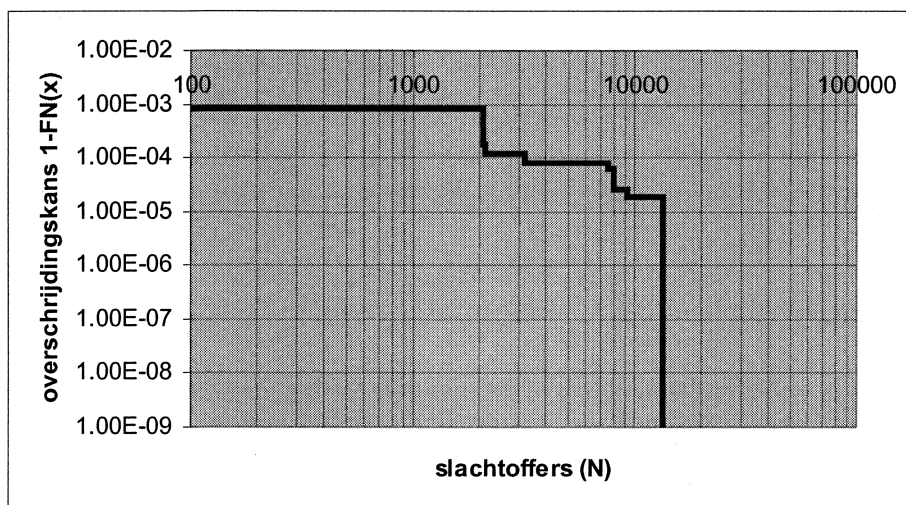


Figuur 6-5: kansverdelingsfunctie aantal slachtoffers: onderschrijdingskans van het aantal slachtoffers

Nu is de overschrijdingskans van het aantal slachtoffers te bepalen:

$$1 - F_N(x) = P(N > x)$$

Grafisch weergegeven op dubbel logaritmische schaal vormt dit de FN curve voor de Betuwe dijkkring:



Figuur 6-6: Overschrijdingskans van het aantal slachtoffers, een FN curve, op dubbel logaritmische schaal

6.5 Verwachtingswaarde en standaardafwijking van het aantal slachtoffers

Verwachtingswaarde

Uit de kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers is de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers te bepalen.

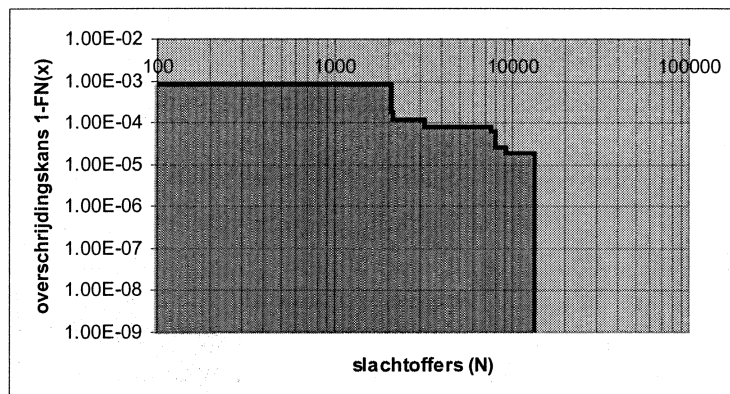
$$E(N) = \int_0^{\infty} x \cdot f_N(x) \cdot dx$$

Voor de discrete kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers voor de Betuwe dijkkring geldt:

$$E(N) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot N_i$$

De verwachtingswaarde is ook gelijk aan het oppervlak onder de FN curve (bewijs bijlage 2.B):

$$E(N) = \int_0^{\infty} (1 - F_N(x)) \cdot dx$$



Figuur 6-7: Verwachtingswaarde = oppervlak onder de FN curve (ook het oppervlak onder het niet in de grafiek weergegeven deel)

De verwachtingswaarde van het jaarlijks aantal slachtoffers voor de Betuwe dijkkring is:

$$E(N) = 2.4$$

Het is in te zien dat de verwachtingswaarde bepaald uit de kansdichtheidsfunctie bij het gebruiken van deze methode dezelfde uitkomst geeft als die bepaald uit de individueel risicocontouren voor alle scenario's. De afleiding is gegeven in bijlage 6.D. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is dus op drie wijzen te berekenen: rechtstreeks uit de kansdichtheidsfunctie, door integratie van de FN curve (indirect uit de kansdichtheidsfunctie) en door combinatie van de individueel risico contouren en de bevolkingsdichtheid.

Standaardafwijking

De standaardafwijking van het jaarlijks aantal slachtoffers is als volgt te bepalen:

$$(\sigma(N))^2 = \text{var}(N) = E(N^2) - (E(N))^2$$

$$\sigma(N) = 104.4$$

Opvallend is de relatief lage waarde van de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers ten opzichte van de standaardafwijking. Ongevallen met kleine kans en grote gevolgen (veel slachtoffers) zijn mathematisch te herkennen aan een relatief lage verwachtingswaarde en

een hoge standaardafwijking. Door de standaardafwijking te betrekken in de risicomaat ontstaat een uitdrukking die de risico aversie tegen grote ongevallen weergeeft.

6.6 Totaal risico en risk integral

Twee maten die de risico aversie tegen ongevallen met veel slachtoffers meenemen zijn het totaal risico en de risk integral.

Uit verwachtingswaarde en standaardafwijking van het aantal slachtoffers is het totaal risico (TR) bepaald.

$$TR = E(N) + k \cdot \sigma(N) = 2.4 + 3 \cdot 104.4 = 315.6$$

In hoofdstuk 4 is afgeleid dat de risk integral (RI) is opgebouwd uit verwachtingswaarde en standaardafwijking van het aantal slachtoffers:

$$RI = \frac{1}{2}(E^2(N) + \sigma^2(N)) = \frac{1}{2}(2.4^2 + 104.4^2) = 5452$$

De risk integral geeft dus een risico averse uitdrukking door het kwadratisch meenemen van gemiddelde en standaardafwijking.

7 Economisch risico

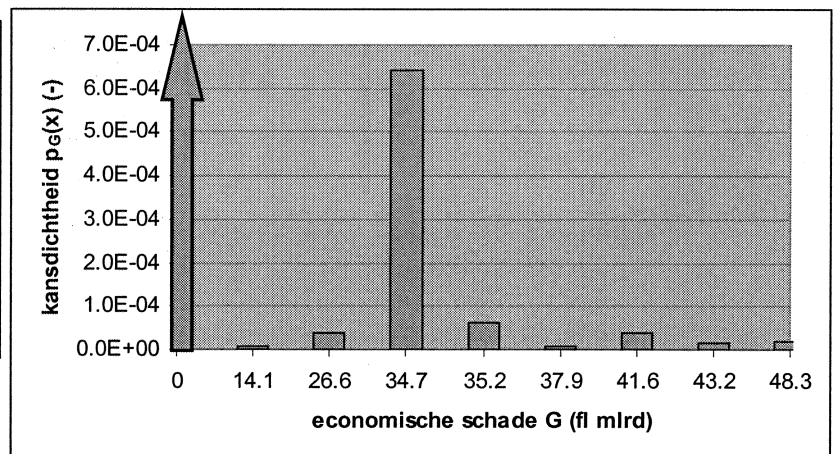
Bij elke ramp speelt, naast het aantal slachtoffers, ook de economische schade een belangrijke rol. In dit hoofdstuk is op basis van de kansdichtheidsfunctie van de economische schade bij overstroming van de Betuwe dijkkring (7.1), met twee risicomaten het overstromingsrisico bepaald. Het betreft de FG curve (7.2) en de verwachtingswaarde van de economische schade (7.3).

7.1 Kansdichtheidsfunctie van de economische schade

Basis voor de weergave van economische risico's vormt de kansdichtheidsfunctie van de economische schade. Net als bij berekening van het maatschappelijk risico geldt dat bij voorkeur de volledige kansdichtheidsfunctie van de economische schade bekend moet zijn. Voor elke mogelijke overstroming zijn de kans van optreden, het overstromingsverloop (met parameters als diepte en stroomsnelheid) en de (economische) gebiedsgegevens bekend. Voor een volledige bepaling van de kansdichtheidsfunctie van een overstroming ontbreekt echter nog de benodigde kennis.

In een meer vereenvoudigde benadering is (net als in de kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers in paragraaf 6.3) de economische schade gemodelleerd als een discrete stochastische variabele. De economische schade is per scenario berekend met de HIS Schade en slachtoffer module. Een voorbeeld van een schadeberekening voor één scenario is gegeven in bijlage 7.A. Voor de acht scenario's met hoogste kans zijn de economische schade bedragen vastgesteld en is de kansdichtheidsfunctie grafisch weergegeven.

Scenario	Kans (dichtheid)	Economische schade (fl mlrd)
8	6.41E-04	34.7
7	6.16E-05	35.2
9	4.07E-05	26.6
1 en 8	3.88E-05	41.6
6 en 8	1.89E-05	48.3
4 en 8	1.73E-05	43.2
4	7.67E-06	14.1
11	5.88E-06	37.9



Figuur 7-1: kansdichtheidsfunctie voor de economische schade voor de Betuwe dijkkring, x-as niet op schaal. De kansdichtheid van 0 slachtoffers is niet volledig weergegeven, deze bedraagt 0.99916

De onzekerheid in bepaling van de economische schade is te modelleren door de schade bij elk scenario in plaats van deterministisch bijvoorbeeld als normaal verdeeld aan te nemen (zie figuur 6-4).

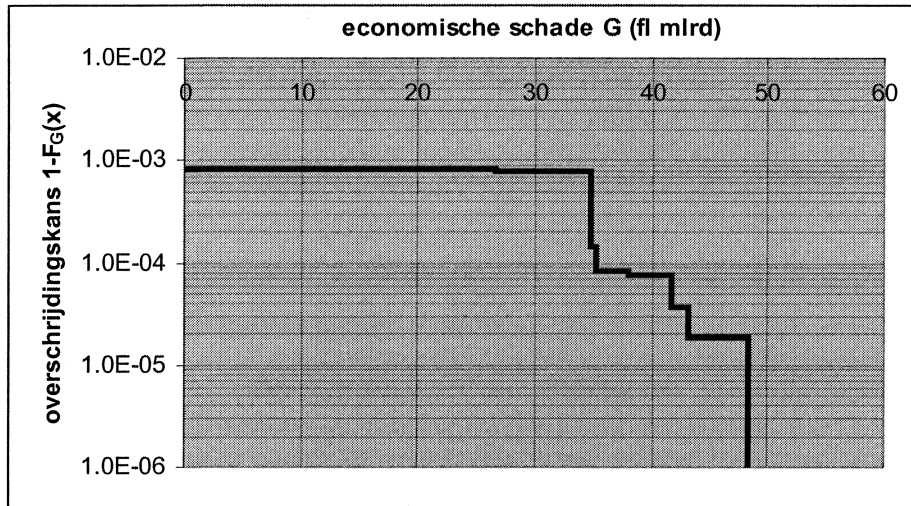
7.2 FG curve

Uit de kansdichtheidsfunctie een overschrijdingslijn van de economische schade te bepalen, een FG curve.

$$F_G(x) = P(G \leq x) = \int_0^x f_G(x) \cdot dx$$

$$1 - F_G(x) = P(G > x)$$





Figuur 7-2: FG curve voor de economische schade voor de Betuwe dijkkring (x-as niet logaritmisch)

7.3 Verwachtingswaarde van de jaarlijkse economische schade

Uit de kansdichtheidsfunctie van de economische schade ($f_G(x)$) is de verwachtingswaarde van de economische schade te bepalen.

$$E(G) = \int_0^{\infty} x \cdot f_G(x) \cdot dx$$

Ook is de verwachtingswaarde te bepalen door het oppervlak onder de FG curve te bepalen.

$$E(G) = \int_0^{\infty} (1 - F_G(x)) \cdot dx$$

In dit geval geldt dat het product van scenario kans en bijbehorende economische schade (G_i) gesommeerd kan worden over alle n scenario's:

$$E(G) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot G_i$$

Voor de Betuwe dijkkring is de contante waarde van de economische schade bepaald aan de hand van de gereduceerde rentevoet (r'), in miljarden guldens:

$$E(G) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot G_i}{r'} = 1.94 \text{ Miljard gulden}$$

Waarin:

r' gereduceerde rentevoet (=rente + economische groei – inflatie, $r'=1.5\%$)

Investerings in dijkverbeteringen zullen leiden tot een afname van de verwachtingswaarde van de economische schade. Op deze wijze is een economisch optimale situatie af te leiden waarin de som van investeringen en de verwachtingswaarde van de schade minimaal is. Dit vormt de basis voor de methode van economische optimalisatie die in het volgende hoofdstuk voor de Betuwe dijkkring is uitgevoerd.

8 Economische optimalisatie

In dit hoofdstuk is de economische optimalisatie uitgevoerd voor de Betuwe dijkkring. Hierin is onderzocht hoe het effect van investeringen in dijkverbeteringen op het economisch risico kan worden weergegeven en hoe de huidige kennis voor het bepalen van overstromingskansen en gevolgen hierbij toe te passen is.

Uitgangspunt in dit hoofdstuk vormt de economische optimalisatie zoals uitgevoerd door de Deltacommissie [1960] en beschreven in hoofdstuk 3.3.3 en bijlage 2.C.3.

In paragraaf 8.1 zijn bij deze methode enige aanpassingen gedaan en zijn twee wijzen van het uitvoeren van dijkverbeteringen onderscheiden (kans en risico optimalisatie). Vervolgens is in paragraaf 8.2 de optimalisatie uitgevoerd voor een vereenvoudigde geschematiseerde dijkkring. In paragraaf 8.3 is de methode op een (meer gedetailleerde) modellering van de Betuwe dijkkring toegepast. Per schematisatie is steeds een overzicht gegeven van relevante gegevens en zijn achter elkaar de twee wijzen van het uitvoeren van dijkverbeteringen (kans en risico optimalisatie) onderzocht.

8.1 Inleiding economische optimalisatie

In deze paragraaf zijn bij de economische optimalisatie, zoals uitgevoerd door de Deltacommissie [1960], allereerst enige aanpassingen voorgesteld die voortvloeien uit de huidige kennis (8.1.1). Vervolgens zijn twee wijzen van dijkverbeteringen onderscheiden. (8.1.2)

8.1.1 Aanpassingen bij economische optimalisatie Deltacommissie

De aanpassingen betreffen de berekening van overstromingskansen, gevolgen en risico's.

Berekening overstromingskansen

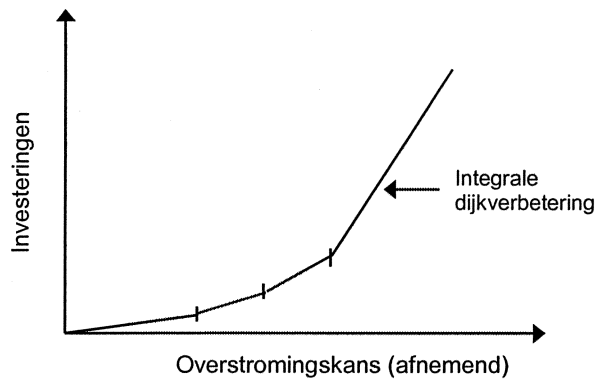
Door de Deltacommissie is aangenomen dat een overstroming alleen kan optreden bij het overschrijden van de dijkhoogte door de waterstand. Dit komt overeen met het optreden van het faalmechanisme overloop. Een dijk kan echter op andere manieren falen, met zogenaamde andere "faalmechanismen", bijvoorbeeld door het afschuiven van het talud of het optreden van piping (zie ook de figuur 4-2: faalmechanismen). In de huidige methode van berekening van de overstromingskans is het mogelijk meerdere faalmechanismen in de berekening te betrekken.

Investeringen

Door de Deltacommissie is aangenomen dat de investeringen in dijkverbetering lineair afhankelijk zijn van de dijkverhoging. Bij het meenemen van verschillende faalmechanismen zijn de investeringen in dijkverbeteringen niet alleen afhankelijk van de dijkhoogte, maar een functie van de overstromingskansen.

De overstromingskans van een dijkkring wordt grotendeels bepaald door het zwakste dijkvak. Dit betekent dat de overstromingskans met een relatief kleine investering in dit dijkvak kan afnemen. Na een aantal verbeteringen van de zwakste dijkvakken zijn de zwakste schakels van de dijkkring verbeterd. Voor een verdere reductie van de overstromingskansen zijn verbeteringen op meerdere plekken tegelijk noodzakelijk. Op een gegeven moment is bijna integrale dijkverbetering nodig om nog een reductie van de overstromingskansen van dijkkring te bewerkstelligen. Het verband tussen investeringen en overstromingskansen zal dan een steeds meer stijgend verloop hebben, bijvoorbeeld als in onderstaande figuur.





Figuur 8 - 1: verband tussen investeringen en overstromingskans voor een dijkkring

Risico

Door de Deltacommissie wordt het risico bepaald door de overstromingskans van de dijkkring (P_b) te vermenigvuldigen met de maximale schade ($G_{\max}$).

$$Risico = P_b \cdot G_{\max}$$

De economische schade bij een overstroming van een dijkkring is echter niet maximaal maar afhankelijk van de plaats van doorbreken en het bijbehorend overstromingsbeeld. Dit effect is mee te nemen in de berekening van het risico met behulp van de overstromingsscenario's. Voor ieder doorbraakscenario is de kans van optreden (P_i) en de economische schade (G_i) te bepalen. Het risico, oftewel de verwachtingswaarde van de economische schade, volgt door sommatie van de risico's over alle n scenario's:

$$Risico = \sum_{i=1}^n P_i \cdot G_i$$

8.1.2 Twee wijzen van dijkverbetering

Bij het uitvoeren van dijkverbeteringen zijn twee benaderingen mogelijk: kans optimalisatie en risico optimalisatie. De methoden onderscheiden zich in de keuze van de optimale verbetering.

Kans optimalisatie

De eerste wijze van dijkverbeteringen is gericht op verlaging van de overstromingskans. Uitgangspunt is het feit dat de overstromingskans van de dijkkring grotendeels wordt bepaald door de zwakste dijkvakken. Door stapsgewijze verbetering van deze "zwakste schakels" daalt de totale overstromingskans. Bij iedere verbetering wordt het dijkvak met de grootste faalkans verbeterd.

Risico optimalisatie

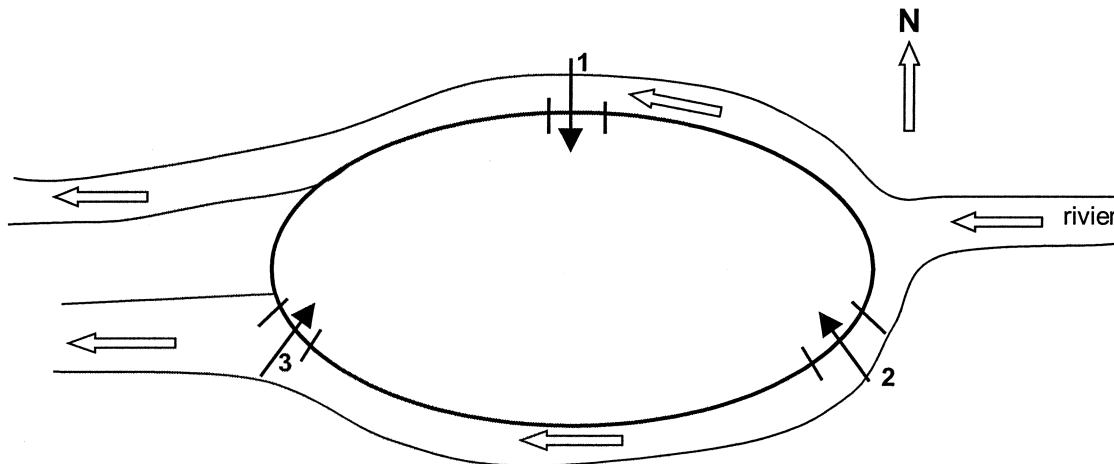
In een risicobenadering zijn naast de overstromingskans ook de gevolgen van een dijkdoorbraak van belang. Deze zijn onder meer afhankelijk van de plaats van doorbreken in de dijkkring. Aan de hand van de kansen en gevolgen van de verschillende overstromingsscenario's kan men het risico bepalen, oftewel de verwachtingswaarde van de economische schade. Bij risico optimalisatie gaat het erom het risico (product van kans en gevolg) door dijkverbeteringen zoveel mogelijk te verlagen. Bij iedere verbetering wordt het vak met de grootste bijdrage aan het risico verbeterd.

In dit hoofdstuk zijn in twee case studies beide wijzen van dijkverbeteren en de twee manieren van het berekenen van risico's beschouwd. Hierbij is alleen het effect van maatregelen die tot een reductie van de overstromingskans (kansreductie) leiden beschouwd.

8.2 Economische optimalisatie vereenvoudigd geschematiseerde dijkkring

8.2.1 Gegevens geschematiseerde dijkkring

De geschematiseerde dijkkring bevat drie dijkvakken, één aan de noordkant, dijkvak 1, en twee aan de zuidkant, dijkvakken 2 en 3. De rest van de dijkkring wordt als oneindig sterk gemodelleerd, de faalkans voor deze delen is 0. De dijkkring wordt aan de noord- en zuidzijde begrensd door een rivier.



Figuur 8 - 2 gemodelleerde dijkkring met dijkvakken (1 t/m 3)

Kansen

De kansberekening in dit voorbeeld beperkt zicht tot 2 mechanismen: overslag en piping. Met behulp van PC Ring zijn de faalkansen per mechanisme en de gecombineerde kansen te berekenen, zowel per dijkvak als voor de hele ring.

Tabel 1: dijkvakken en hun betrouwbaarheidsindices (dijkvakken komen qua β 's overeen met bestaande dijkvakken (nummers 10, 26 en 23) van de Betuwe dijkkring uit [TAW, 2000])

Dijkvak vb.	Kans Piping (β)	Kans overslag (β)	Gecombineerde Kans (β)
1	4.28	4.74	4.25
2	5.13	3.57	3.56
3		3.14	3.14
Dijkkring	4.27	3.13	3.13

In deze schematisatie is geen onderscheid gemaakt tussen dijkvakken en dijkdelen. Ieder dijkdeel bestaat uit één dijkvak en de faalkans van het dijkdeel gelijk aan de faalkans van het dijkvak.

Scenario's

Voor de berekening van het economisch risico uit scenario's moeten de scenario kansen bekend zijn. Er wordt aangenomen dat twee dijkvakken gelegen aan dezelfde rivier niet tegelijk kunnen falen. Het ontstaan van een bres in het ene dijkvak leidt immers tot verlaging van de waterstand in de omgeving en zo tot een vermindering van de belasting op de andere vakken. Aangenomen is dat als twee dijkvakken aan dezelfde zijde belast worden de zwakste van beiden het eerst bezwijkt. Daarnaast is aangenomen dat het ontstaan van een bres aan de ene zijde van de dijkkring geen effect heeft op de waterstanden aan de andere zijde van de dijkkring. Voor een verdere achtergrond wordt verwezen naar de notitie "Kansen op inundatiescenario's" van Vrouwenvelder en Steenbergen [2000] en bijlage 4.E.

In totaal zijn dan 5 scenario's mogelijk. Het betreft 3 enkele doorbraken bij 1, 2 en 3 en twee dubbele doorbraken bij (1 en 2) en (1 en 3).

De kans op het falen van een dijkvak wordt genoteerd met behulp van de grenstoestandfunctie¹ Z . Het falen van dijkvak 1 wordt genoteerd als $Z_1 < 0$. Bij een enkele doorbraak aan de noordzijde moet het noordelijke dijkvak 1 falen en mogen de zuidelijke dijkvakken 2 en 3 niet falen. Genoteerd met de Z -functies geeft dit

Noordelijke doorbraak bij 1: $Z_1 < 0$ en $Z_2 > 0$ en $Z_3 > 0$

De kans op de noordelijke doorbraak volgt nu uit de kans op het optreden van deze criteria:
 $P(Z_1 < 0 \text{ en } Z_2 > 0 \text{ en } Z_3 > 0)$

De kans op het optreden van de andere doorbraakscenario's volgt nu uit de onderstaande criteria:

Zuidelijke doorbraak bij 2: $Z_2 < 0$ en $Z_2 < Z_3$ en $Z_1 > 0$

Zuidelijke doorbraak bij 3: $Z_3 < 0$ en $Z_3 < Z_2$ en $Z_1 > 0$

Dubbele doorbraak bij 1 en 2: $Z_1 < 0$ en $Z_2 < 0$ en $Z_2 < Z_3$

Dubbele doorbraak bij 1 en 3: $Z_1 < 0$ en $Z_3 < 0$ en $Z_3 < Z_2$

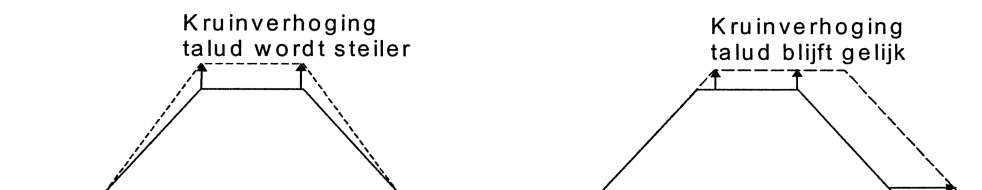
Aan de hand van deze criteria zijn de scenario kansen te berekenen. Er geldt dat de som van de kansen van alle mogelijke (n) scenario's bij benadering gelijk is aan de totale ringkans, P_b :

$$\sum_{i=1}^n P_i \approx P_b$$

Dijkverbetering

In deze case zijn twee maatregelen beschouwd, die beiden zijn gericht op het verlagen van de overstromingskans: dijkverhoging (tegen overloop en overslag) en het verdikken van de afsluitende laag (tegen opbarsten en piping).

Bij dijkverhoging wordt het zwakste dijkvak per verbeteringsronde 0.5 meter opgehoogd. Het effect van twee soorten dijkverhoging is onderzocht, één waarbij de kruin wordt verhoogd en één waarbij de kruinhoogte wordt verhoogd en ook de taludhelling gelijk blijft.



Figuur 8 - 3: twee typen dijkverhogingen

In deze studie is dijkverhoging waarbij het talud steiler wordt toegepast. Op basis van een gevoeligheidsanalyse is gebleken dat de taludhelling nauwelijks invloed op de faalkans van het dijkvak heeft. Dit valt te verklaren uit het feit dat golfoploop bij een rivier nauwelijks een rol speelt.

De maatregelen tegen piping en opbarsten bestaan uit het dikker maken van afsluitende laag. Dit gebeurt in stappen van 1m.

Kosten dijkverbeteringen

Voor de kosten van dijkverbeteringen zijn op basis van de kosten van recente dijkversterkingen in de Betuwe de volgende eenheidsprijzen aangenomen.

¹ Zie bijlage 8.A voor een korte uitleg m.b.t. de grenstoestandfunctie

Tabel 2: verbeteringskosten per dijkvak (in miljoenen guldens):

	Dijkvak 1	Dijkvak 2	Dijkvak 3
Ophoging (0,5m)	40	30	20
Verdikken afsl. Laag (1m)	50	40	Nvt

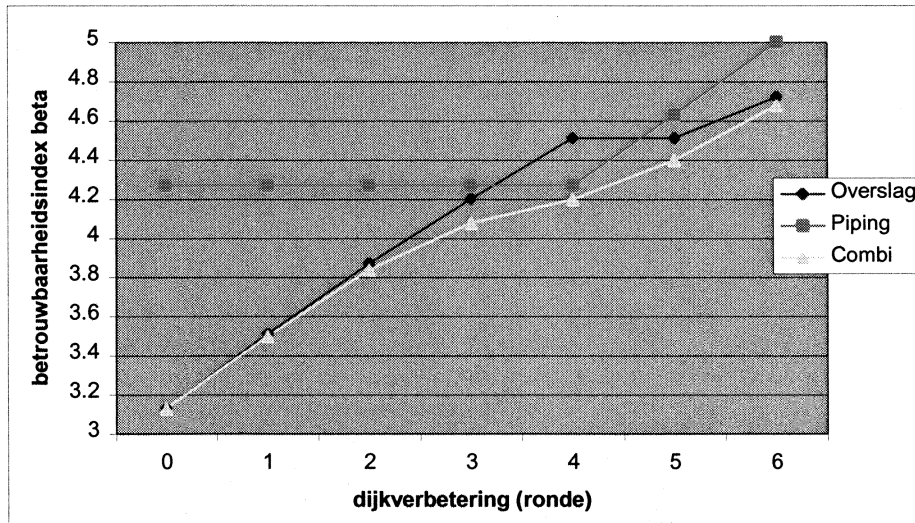
8.2.2 Kans optimalisatie

Het waterschap besluit nu over te gaan tot dijkversterking en vindt het wenselijk de overstromingskansen van de dijkkring zoveel mogelijk te reduceren. Per verbeteringsronde wordt het zwakste dijkvak verbeterd. Dit draagt immers het meeste bij aan de overstromingskansen. Als de dijkvakken een bijna gelijke β hebben zijn ze tegelijk verbeterd. De maatregelen en hun effect op de overstromingskansen zijn zowel voor de mechanismen overslag en piping apart als voor de gecombineerde overstromingskansen in een tabel weergegeven.

Tabel 3: opeenvolgende dijkverbeteringen: O tegen overslag, P tegen piping, kansen berekend met PC_Ring

Ronde	Dijkvak	β ring overslag	β ring piping	β ring combi	Kosten (fl 10 ⁶)	Kosten Cumul.
0		3.13	4.27	3.13	0	0
1	3 (O)	3.51	4.27	3.5	20	20
2	2 en 3 (O)	3.87	4.27	3.84	50	70
3	2 en 3 (O)	4.2	4.27	4.08	50	120
4	2 en 3 (O)	4.51	4.27	4.2	50	170
5	1 (P)	4.51	4.63	4.4	50	220
6	1 (P), 2 en 3 (O)	4.72	5	4.68	100	320

Het effect van de dijkverbeteringen op de overstromingskansen is per mechanisme en voor de combinatie van mechanismen grafisch weergegeven.



Figuur 8 - 4: Effect van dijkverbetering op de overstromingskansen van de dijkkring per mechanisme en voor de combinatie van mechanismen

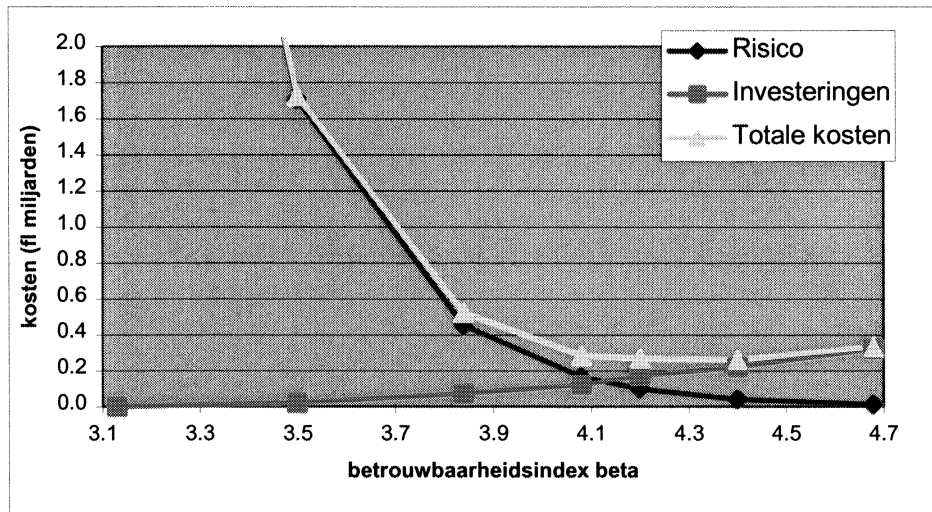
Vervolgens is het effect van de dijkverbeteringen op het risico beschouwd. Eerst met het risico berekend bij maximale schade. Vervolgens voor het risico berekend uit de kansen en gevolgen van de scenario's.

Risico bij maximale schade

Het risico wordt nu bepaald volgens de benadering van de Deltacommissie, waarin de overstromingskansen met de maximale schade wordt vermenigvuldigd. Aangezien de ringkansen bij benadering gelijk is aan de som van alle n scenario kansen geldt:

$$Risiko = P_b \cdot G_{\max} \approx \sum_{i=1}^n P_i \cdot G_{\max}$$

Aangenomen is dat maximale economische schade bij overstrooming van deze dijkkring 110 miljard gulden bedraagt. De contante waarde van het risico is uitgezet tegen de overstroomingskans in de vorm van de betrouwbaarheidsindex β . Ook zijn in deze grafiek de investeringen en de totale kosten uitgezet.



Figuur 8-5: Investerings, Risiko uit maximale schade en totale kosten = investeringen + risico uitgezet tegen de betrouwbaarheidsindex β

Vervolgens is de economisch optimale overstroomingskans bepaald waarin de som van investeringen en risico minimaal is. Het economisch optimum ligt bij een β van 4.4, een overstroomingskans van $5.41 \cdot 10^{-6}$, (ongeveer eens per 185.000 jaar).

Risico uit de kansen en gevolgen van de scenario's

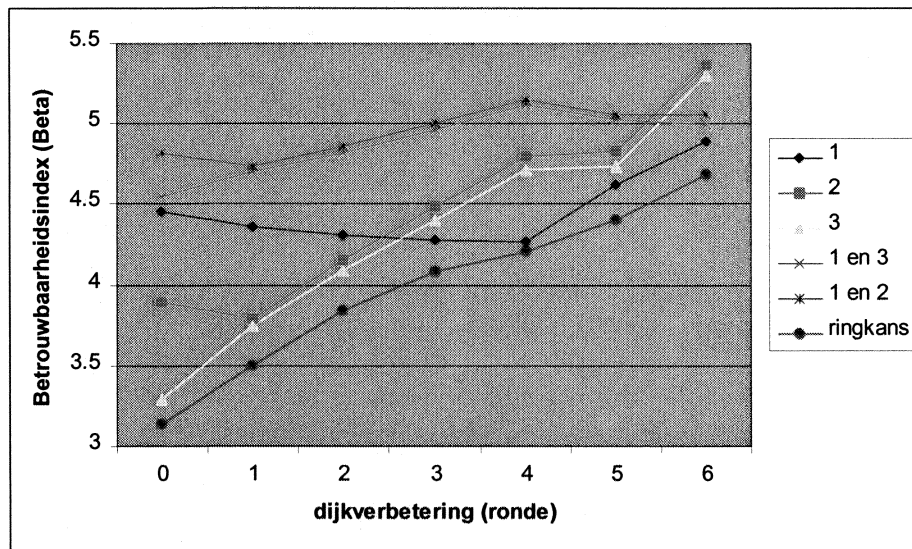
De omvang van de schade bij een overstrooming is afhankelijk van de plaats van doorbreken. Ten opzichte van de risicoberekening bij maximale schade is het risico nauwkeuriger te bepalen aan de hand van de kansen en gevolgen van de overstroomingsscenario's. De verwachtingswaarde van de economische schade volgt uit het product van de kans op een scenario (P_i) en de bijbehorende schade bij dat scenario (G_i). Het totale risico volgt door sommatie over alle (n) scenario's:

$$Risiko = E(G) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot G_i \quad (i: \text{scenario nummer})$$

Voordat het risico kan worden bepaald is eerst inzicht noodzakelijk in het effect van de verbeteringen uit tabel 3 op de scenario kansen. Daarnaast moet de omvang van de gevolgen van de doorbraakscenario's bekend zijn. Op basis van deze gegevens is het risico bepaald.

Scenariokansen

De kansen op de 5 scenario's en de ringkansen voor de combinatie van mechanismen zijn berekend met de scenario module bij PC_Ring. Per verbeteringsronde zijn de kansen grafisch weergegeven.



Figuur 8-6: Effect van dijkverbeteringen op de kansen van de overstromingsscenario's en de totale ringkans

In de grafiek is te zien dat de kans op een scenario in het verbeterde dijkdeel afneemt (en dat de betrouwbaarheidsindex β toeneemt), net als de totale overstromingskans. De eerste verbetering betreft dijkdeel 3, de kansen op scenario's 3 en de dubbele doorbraak 1 en 3 nemen af. De kans op een ander scenario neemt echter toe (β neemt af), dit geldt voor scenario's 1 en 2 bij de eerste verbetering.

Dit valt te verklaren uit het feit dat de kans op een doorbraakscenario niet alleen afhankelijk is van het bezwijken van het dijkdeel zelf, maar ook bepaald wordt door de verhoudingen van de grenstoestandsfuncties van de dijkvakken. Als voorbeeld wordt het doorbraakscenario bij 2 beschouwd. De criteria voor het optreden van dit scenario zijn als volgt met grenstoestandsfuncties te beschrijven:

Zuidelijke doorbraak bij 2: $Z_2 < 0$ en $Z_2 < Z_3$ en $Z_1 > 0$

De dijkversterking in de eerste ronde betreft dijkvak 3. Hierdoor wordt het waarschijnlijker dat $Z_2 < Z_3$ en neemt de kans op een doorbraak bij 2 toe. In de grafiek is te zien dat de betrouwbaarheidsindex van scenario 2 in de eerste ronde inderdaad daalt (en dat de kans toeneemt).

Op dezelfde wijze valt te verklaren dat bij een dijkkring met twee rivier bedreigingen (één aan de noord en één aan de zuidkant) versterking van de zuidelijke dijken kan leiden tot een toename van de kans op een noordelijke doorbraak. De kans op een noordelijk doorbraakscenario wordt namelijk deels bepaald door de kans dat geen zuidelijke doorbraak zal optreden (in notatie $Z_2 > 0$ en $Z_3 > 0$).

Noordelijke doorbraak bij 1: $Z_1 < 0$ en $Z_2 > 0$ en $Z_3 > 0$

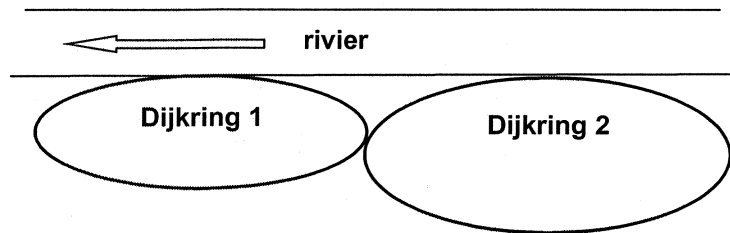
Door verbeteringen aan de zuidelijke vakken 2 en 3 wordt het waarschijnlijker dat $Z_2 > 0$ en $Z_3 > 0$. De kans op een noordelijke doorbraak neemt dan toe. Dit effect is in de case study te herkennen, waarbij de eerste 4 dijkversterkingen allen aan de zuidkant gebeuren. Hierbij neemt de kans op een noordelijke doorbraak bij 1 in de eerste vier rondes steeds toe.

In een vereenvoudigd gekwantificeerd voorbeeld in bijlage 8.B is dit effect nader uitgewerkt en verklaard.



Intermezzo: effect versterkingen op overstromingskans dijkringen

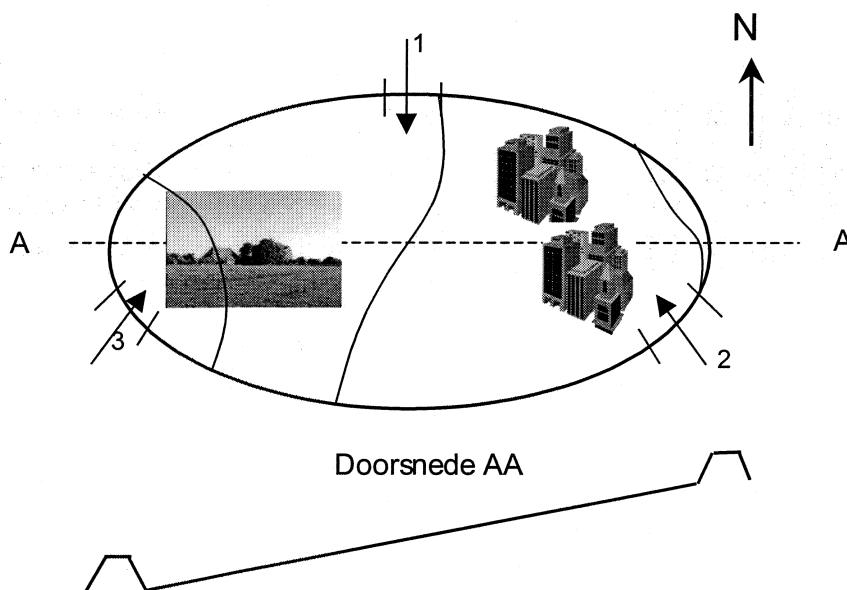
Een dergelijk effect speelt ook op een hoger niveau, namelijk voor dijkringen. Stel hierbij 2 dijkringen gelegen aan dezelfde rivier.



Bij (voldoende) versterking van dijkkring 2 zal bij hoog water dijkkring 1 als eerste overstromen. Het omgekeerde geldt als dijkkring 2 als calamiteiten polder aangewezen wordt. Hierbij neemt de overstromingskans van dijkkring 1 af.

Gevolgen van scenario's

De economische schade bij een overstroming wordt bepaald aan de hand van de economische waarde van het overstroomde gebied. De economische waarde binnen de bestudeerde dijkkring is vooral in het oostelijk deel van de polder gelegen, terwijl het westelijk deel agrarisch gebied is. De hoogteligging in de polder neemt in westelijke richting af. In de figuur is het geïnundeerd gebied voor de drie enkele scenario's weergegeven, in de tabel de schadebedragen voor alle doorbraken.



Figuur 8-7: Verdeling van economische waarde over dijkkring. De lijnen geven de oostelijke grenzen van het geïnundeerd gebied voor de drie doorbraken aan.

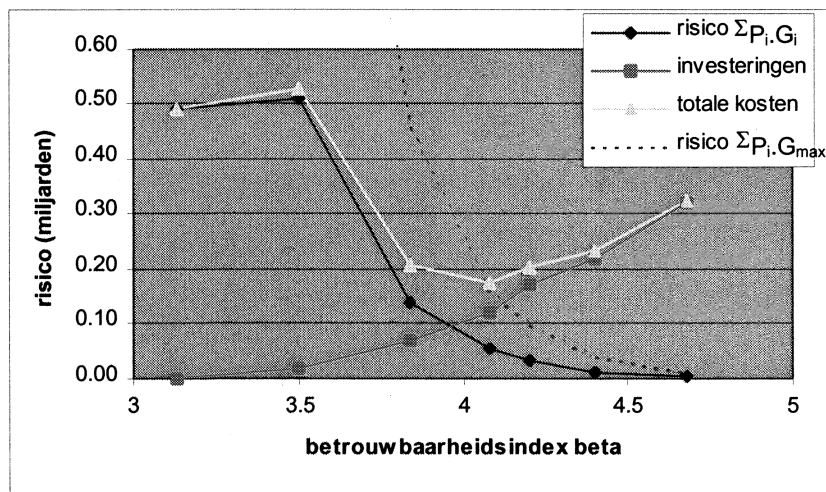
Scenario	Schade (fl miljarden)
1	40
2	90
3	5
1 en 2	100
1 en 3	55

Risico

Nu de gevolgen bekend zijn en het effect van dijkverbeteringen op de scenario kansen is bepaald is het risico te berekenen.

$$Risico = E(G) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot G_i$$

Het risico is uitgezet tegen de overstromingskans, samen met de investeringen en de totale kosten. Daarnaast is het risico berekend bij maximale schade gestippeld weergegeven.



Figuur 8-8: Verloop investeringen, risico en totale kosten bij kansoptimalisatie, risico berekend uit maximale schade is gestippeld

Het bij deze investeringen gevonden economisch optimum ligt bij een β van 4.08, een overstromingskans van $2.25 \cdot 10^{-5}$, ongeveer eens in de 44.000 jaar.

Het risico, berekend uit de schadebedragen van de scenario's (de lijn $\Sigma P_i \cdot G_i$), is vooral in het linker deel van de grafiek substantieel lager dan het risico bij maximale schade (de lijn $\Sigma P_i \cdot G_{max}$). Ook is te zien dat bij de eerste verbetering het risico toeneemt, terwijl de overstromingskans van de ring afneemt. Dit valt te verklaren uit het feit dat een verbetering op de ene plaats kan leiden tot een toename van de kans op een ander scenario met grote gevolgen. In deze case study leidt de eerste verbetering van dijkdeel 3, tot een toename op de kans op doorbraak scenario 2. Aangezien scenario 2 veel grotere gevolgen heeft dan scenario 3 (fl 90 miljard tegenover fl 5 miljard) neemt het risico bij deze verbetering toe.

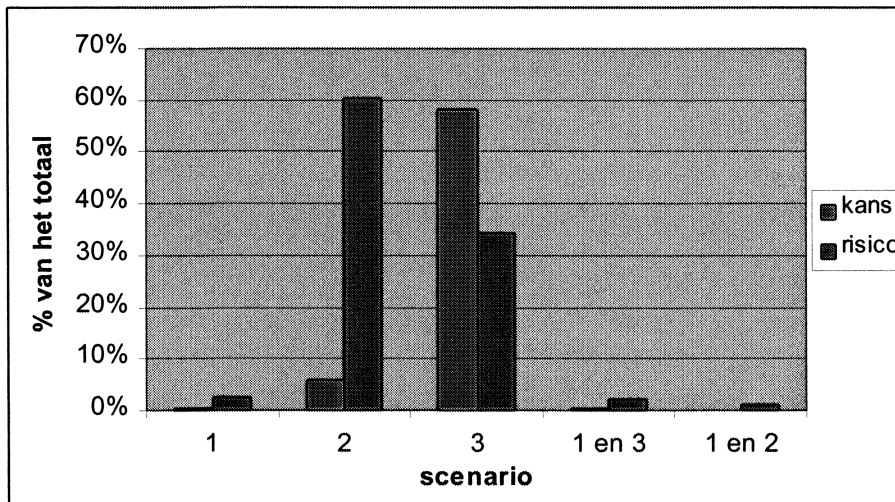
8.2.3 Risico optimalisatie

De hierboven beschreven wijze van dijkverbeteringen, kans optimalisatie is gericht op verlaging van de overstromingskans. In de vorige paragraaf is aangetoond dat deze wijze van verbeteringen weliswaar tot verlaging van de overstromingskans van de dijkring leidt, maar ook een toename van het risico tot gevolg kan hebben. Om dit te voorkomen kan in plaats van naar overstromingskans op basis van risico worden geoptimaliseerd. Hierbij zijn zowel de scenario kansen als de gevolgen per scenario van belang. In dit geval is bij elke dijkverbetering reductie van het totale risico gewenst. Iedere verbetering betreft nu het scenario met de grootste bijdrage aan het risico.

	Kans optimalisatie	Risico optimalisatie
Eerste verbetering	Zwakste dijkvak	Scenario met grootste risico ($P_i \cdot G_i$)
Doel per verbetering	Verlaging overstromingskans	Verlaging risico



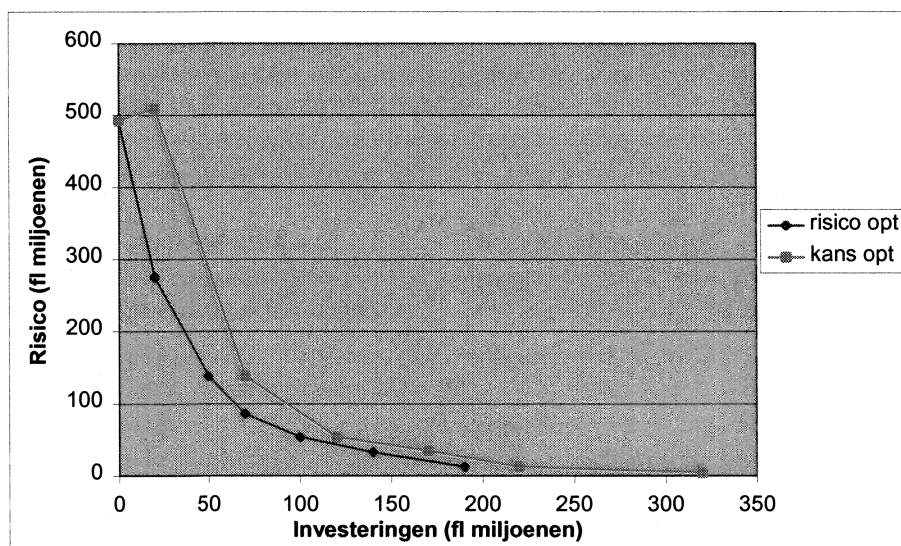
Voor de case study is de bijdrage van de scenario's aan de overstromingskans respectievelijk het risico weergegeven.



Figuur 8-9: Relatieve bijdrage van scenario's aan overstromingskans en risico

Bij kans optimalisatie komt dijkdeel 3 als eerste voor verbetering in aanmerking, vanwege de relatief grote bijdrage aan de overstromingskans. Dijkdeel 2 levert, door de grote gevolgen (fl 90 miljard schade) de grootste bijdrage aan het risico en zal bij risico optimalisatie als eerste verbeterd worden. Op dezelfde wijze kan per keer het scenario met het grootste risico worden verbeterd. Voor de geschematiseerde dijkkring is nu de risico optimalisatie uitgevoerd. Hierbij zijn de eenheidsprijzen uit paragraaf 8.2.1 gebruikt. Een overzicht van de dijkverbeteringen en bijbehorende investeringen bij risico optimalisatie is gegeven in bijlage 8.C.

Omdat het bij risico optimalisatie juist gaat om de grootte van kansen én gevolgen geeft het risico bepaald uit maximale schade geen inzicht in het effect van deze methode. Daarom is het risico bepaald aan de hand van scenario kansen en gevolgen ($Risico = \sum P_i \cdot G_i$). In bijlage 8.D zijn de investeringen en het risico uitgezet tegen de overstromingskans. Hieruit komt naar voren dat enkele investeringen wel tot een daling van het risico leiden, maar geen invloed hebben op de overstromingskans. Het is meer inzichtelijk om in een grafiek het effect van investeringen rechtstreeks uit te zetten tegen het risico. Voor beide optimalisaties, naar kans en naar risico, is het contant gemaakte risico tegen de investeringen uitgezet.



Figuur 8-10: Verband tussen investeringen en risico voor risico en kans optimalisatie

Het verband tussen risico en investeringen is dus afhankelijk is van de wijze van dijkverbetering. De investeringen bij het optimaliseren naar overstromingskans leiden niet tot een optimale reductie van het risico. De zogenaamde “optimale risico reductie curve” wordt gevormd door de risico optimalisatie lijn. Risico optimalisatie geeft bij dezelfde investering een grotere reductie van het risico dan kans optimalisatie.

In bijlage 8.E zijn in een dergelijke figuur de totale kosten (investeringen+risico) tegen de investeringen uitgezet. De economisch optimale situatie is voor beide situaties bepaald door de som van investeringen en risico te minimaliseren. In bijlage 8.F is afgeleid dat het economisch optimum wordt gevonden als de steilheid in figuur 8-10, de afgeleide van het risico naar investeringen ($d(\text{Risico})/dI$) gelijk is aan -1.

	Investeringen	Risico	Overstromingskans in optimum (β)
Kans optimalisatie	120	50	4.08
Risico optimalisatie	100	50	3.85

Bij risico optimalisatie is de overstromingskans weliswaar hoger (of de β lager), maar ook geldt dat met minder investeringen eenzelfde reductie van het risico wordt bereikt. De relatief hoge overstromingskans in het optimum bij risico optimalisatie wordt grotendeels bepaald door de hoge overstromingskans van dijkvak 3. Omdat de gevolgen van een overstroming bij 3 relatief klein zijn, is de bijdrage aan het totale risico gering.

In bijlage 8.G is het effect van beide wijze van dijkverbeteren weergegeven op de totale overstromingskans. Het logische resultaat is dat kans optimalisatie bij dezelfde investering de laagste overstromingskans (hogere β) geeft.

Tot nu toe is alleen het effect van maatregelen ter verlaging van de overstromingskans beschouwd. Ook maatregelen ter verlaging van de gevolgen hebben invloed op het risico. Om dit effect te tonen is in bijlage 8.H een vereenvoudigd voorbeeld uitgewerkt. Hierin is het effect van dit type maatregelen vergeleken met de maatregelen bij kans en risico optimalisatie.

8.3 Economische optimalisatie Betuwe dijkkring

In deze paragraaf is nogmaals het effect van de dijkverbeteringen onderzocht. Hierbij is een meer nauwkeurige schematisatie voor de Betuwe dijkkring gebruikt, zoals is gebruikt in PICASO en gerapporteerd in “van overschrijdingskans naar overstromingskans” [TAW, 2000].

8.3.1 Gegevens Betuwe dijkkring

De dijkkring is opgedeeld in 38 dijkvakken en 12 dijkdelen, zoals is weergegeven in figuur 4-3. Ieder dijkdeel bestaat weer uit één of meerdere dijkvakken.

Kansen en scenario's

Een overzicht van de betrouwbaarheidsindices van de dijkvakken is gegeven in bijlage 4.C. Op dezelfde wijze als voor de geschematiseerde dijkkring zijn scenario's en hun kansen te bepalen. Voor de Betuwe dijkkring zijn 12 enkele en 36 dubbele doorbraakscenario's mogelijk. Een overzicht van de kansen van de scenario's is gegeven in bijlage 4.F.

Kosten dijkverbetering

De dijkverbeteringen beperken zich in dit voorbeeld tot dijkverhoging tegen het mechanisme overslag. Per verbetering wordt het zwakste dijkvak 0,5 meter opgehoogd. Indien meerdere dijkvakken maatgevend zijn voor de overstromingskans zijn deze tegelijk opgehoogd. Hierbij



zijn de betrouwbaarheidsindices afgerond op één decimaal en zijn de zwakste dijkvakken met gelijke β opgehoogd.

Voor de kosten van ophoging is een bedrag fl 4 miljoen per meter ophoging per kilometer dijkvak aangenomen². De 38 dijkvakken beslaan maar een deel van de totale lengte van de dijkkring. Aangenomen is dat de sterkte van gebieden waar geen gegevens van bekend zijn overeenkomt met de sterkte van naastgelegen dijkvakken. De lengtes van de dijkvakken zijn daarom zodanig geëxtrapoleerd dat de som van de lengtes overeen komt met totale omtrek van de ring. Een overzicht van de geëxtrapoleerde dijkvaklengtes is gegeven in bijlage 8.I.

8.3.2 Kans optimalisatie

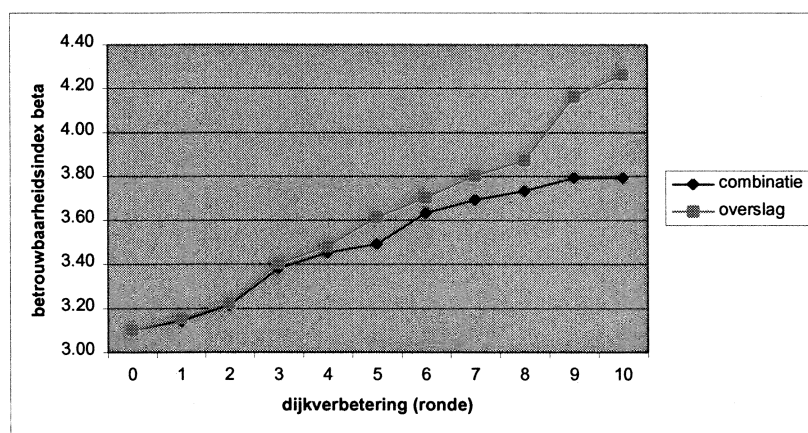
Vervolgens is het effect van dijkverhogingen bepaald. Hierbij is uitgegaan van de reductie van de overstromingskans en zijn in iedere ronde de zwakste dijkvakken verbeterd.

Tabel: Overzicht investeringen in dijkverhoging en invloed op de overstromingskans

Nr. dijk-verhoging	Opgehoogde dijkvakken	β ring overslag	β ring combinatie	Investering per ronde (fl 10 ⁶)	Cumulatieve I (fl 10 ⁶)
0	Originele situatie	3.10	3.10	0	0
1	23	3.15	3.14	22,4	22,4
2	21,22	3.22	3.21	26,6	49,0
3	27 – 30	3.4	3.38	23,4	72,4
4	23, 31-33, 35	3.48	3.45	51,4	123,8
5	20, 26, 36	3.61	3.49	38,0	161,8
6	21, 22, 24, 27 – 30, 37, 38	3.70	3.63	95,1	256,9
7	16, 19, 33 – 35	3.80	3.69	35,2	292,1
8	2, 18, 22, 23, 26, 31, 32	3.87	3.73	57,2	349,3
9	Ophoging Zuid- en Oostkant	4.16	3.79	228,3	577,6
10	Ophoging Noordkant	4.26	3.79	105,4	683,0

Na de 8^e dijkverbeteringsronde wordt besloten tot integrale ophoging van de dijkkring omdat de onderlinge verschillen in faalkansen tussen de vakken erg klein worden. Eerst worden de zuid- (Dalem tot Gendt) en oostkant (Malburgsedam tot Hulhuizen) van de dijkkring verbeterd, vervolgens de noordkant (Millingen tot Elden). Deze verdeling is grafisch weergegeven in bijlage 8.J.

Het effect van de ophoging op de overstromingskans van de dijkkring is beschouwd voor alleen het mechanisme overslag en voor een combinatie van mechanismen. In onderstaande figuur is het verband tussen faalkans (β) van de dijkkring en de verbeteringsronde weergegeven.



Figuur 8-11 Effect van dijkverbeteringen op de overstromingskans van de dijkkring voor overslag en voor een combinatie van alle mechanismen

² Voor stedelijke gebieden kan een bedrag van fl 10 miljoen per meter ophoging per kilometer dijkvak, voor landelijk onbebouwde gebieden fl 2 miljoen. Aangezien het merendeel van het gebied langs de dijken onbebouwd is, is hier fl 4 miljoen aangehouden [Bron: W. van de Burgh, DWW]

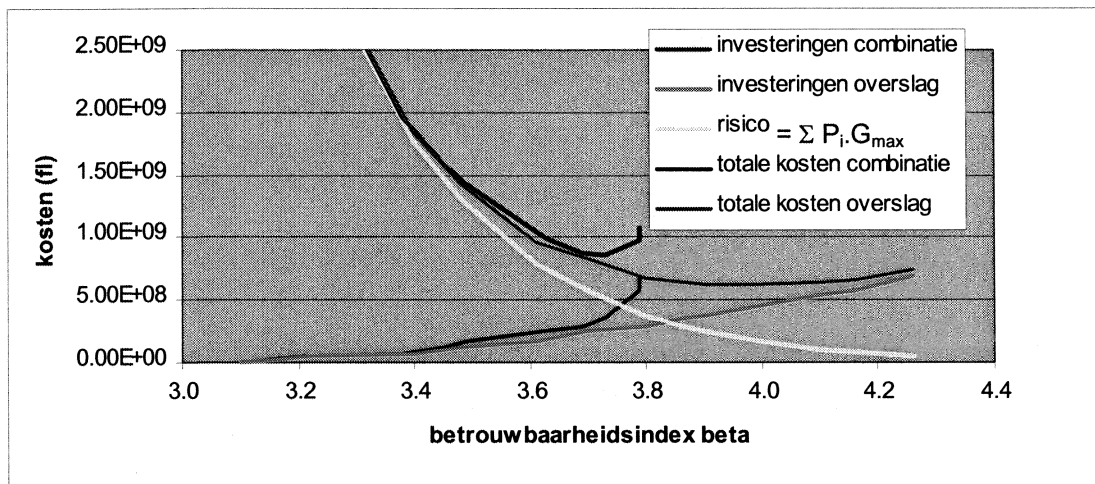
Uit de grafiek blijkt dat dijkverhoging vanaf een bepaald moment nauwelijks meer effect op de gecombineerde ringkans heeft, omdat deze dan wordt bepaald door andere mechanismen zoals piping of afschuiving.

Risico uit maximale schade

Het risico wordt bepaald door de overstromingskans te vermenigvuldigen met de maximale economische schade, voor de Betuwe dijkkring fl 78.2 miljard (bepaald volgens de standaardmethode, zie hoofdstuk 9).

$$Risiko = P_b \cdot G_{\max} \approx \sum_{i=1}^n P_i \cdot G_{\max}$$

In een grafiek zijn de investeringen als functie van de overstromingskans (betrouwbaarheidsindex β) uitgezet. Dit is gedaan als alleen het mechanisme overslag wordt meegenomen in de berekening van de ringkans (de lijn "investeringen overslag") en voor het geval de overstromingskans is berekend voor alle mechanismen (de lijn "investeringen combinatie"). Daarnaast zijn het risico bij maximale schade en de totale kosten voor beide situaties (alleen overslag en combinatie van mechanismen) weergegeven.



Figuur 8-12: Investerings, voor alleen het mechanisme overslag en een combinatie van mechanismen, risico bij maximale schade, en totale kosten

Voor beide situaties is het economisch optimum bepaald:

	Optimum β (kans)	Herhalingsjijd
Overslag	4 ($3.16 \cdot 10^{-5}$)	32.000 jaar
Combinatie mechanismen	3.73 ($9.6 \cdot 10^{-5}$)	10.000 jaar

De lijn "investeringen overslag" geeft het verband tussen investeringen en betrouwbaarheidsindex β voor het geval alleen het mechanisme overslag wordt meegenomen in berekening van ringkans (uitgedrukt in β). In de praktijk hebben ook andere mechanismen als piping en afschuiving invloed op de overstromingskans. In dit geval zal de overstromingskans bij een zelfde investering dus hoger zijn (en β dus lager zijn). Het werkelijke verband tussen investeringen en β zal naar verwachting dus linksboven de lijn "investeringen overslag" liggen.

Het verloop van de lijn "investeringen combinatie" laat zien dat op een gegeven moment dijkverhoging geen effect meer op de overstromingskans heeft, als verschillende mechanismen worden meegenomen in berekening van de faalkans. Dit betekent dat eenzelfde overstromingskans bereikt kan worden met lagere investeringen in ook andere mechanismen. Het werkelijk verband tussen I en β zal onder de lijn "investeringen combinatie" liggen.



Dit heeft tot gevolg dat het economisch optimum als investeringen in verschillende mechanismen worden beschouwd naar verwachting tussen de beide hier bepaalde optima in zal liggen.

Risico uit de kansen en gevolgen van de scenario's

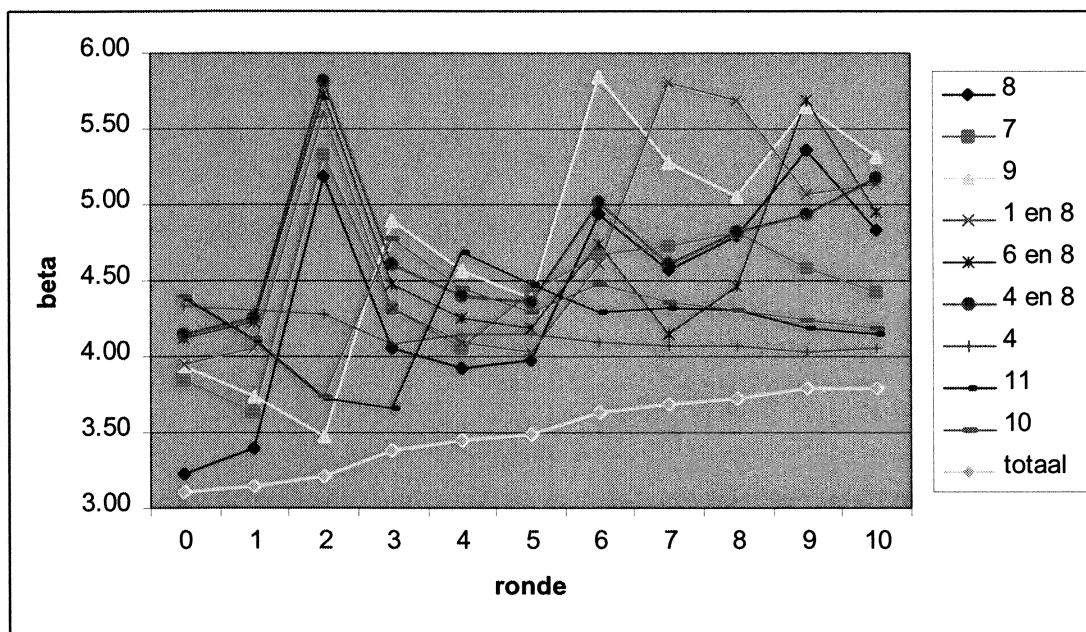
De verwachtingswaarde van het risico is nauwkeuriger te berekenen uit de kansen en gevolgen van de scenario's:

$$Risico = E(G) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot G_i$$

Voordat het risico kan worden bepaald is eerst inzicht nodig in de kansen en gevolgen van de scenario's. Daarna is het risico berekend.

Scenario kansen

Vervolgens wordt het effect van de dijkverbeteringen op de scenario kansen onderzocht. In de uitgangssituatie wordt de overstromingskans voor 98% door de 8 scenario's met de hoogste kans bepaald. In onderstaande figuur is het effect van de verbeteringen op deze eerste 8 scenario's en op de totale ringkans weergegeven.



Figuur 8 - 13: Effect van dijkverbeteringen op de kansen van overstromingsscenario's (berekend als alle faalmechanismen zijn meegenomen)

Het "fluctueren van de scenario kansen" dat bij de geschematiseerde dijkkring in paragraaf 8.2 voorkomt, blijkt hier sterker te op te treden. Er geldt wederom: de kans op een doorbraak in het versterkte dijkdeel neemt af, net als de totale ringkans (de β neemt toe). Tegelijkertijd neemt de kans op een ander scenario toe.

Een voorbeeld: in de eerste dijkverbetering (van ronde 0 naar 1) wordt een dijkvak in dijkdeel 8 verbeterd. In dit geval neemt de kans op een doorbraak in dijkdeel 8 of een dubbele doorbraak bij onder meer dijkdeel 8 (1 en 8, 6 en 8, 4 en 8) af en stijgt de β . De kans op een doorbraak aan dezelfde rivier neemt toe. Voor de scenario's 7, 9, 10 en 11 neemt de kans toe en daalt de β .

Het optreden van dit effect heeft tot resultaat niet alleen de eerste 8 scenario's van belang zijn. Na een aantal verbeteringen hebben ook de andere scenario's invloed op de overstromingskans. Voor een compleet beeld zouden eigenlijk alle 48 scenario's in

beschouwing moeten worden genomen. De conclusie blijft echter dezelfde: dijkversterking op de ene plaats kan de kans op een doorbraak elders doen toenemen.

Gevolgen

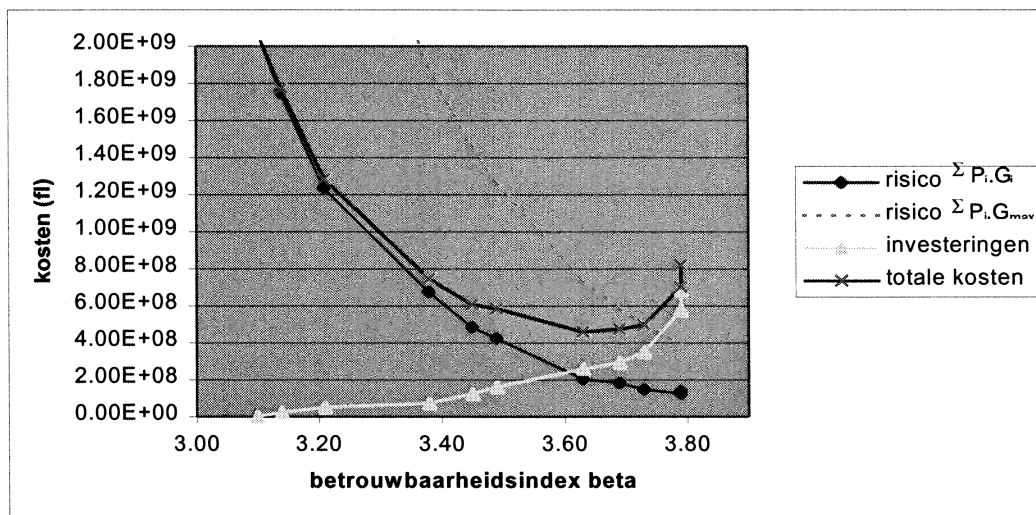
In hoofdstuk 7 zijn voor de eerste 8 scenario's met de standaardmethode schadeberekeningen gemaakt. Om toch een indicatie van verloop van het risico en de ligging van het optimum te geven is voor de overige 40 scenario's een gemiddeld schadebedrag van fl 20 miljard aangehouden.

Tabel: Economische schade bij de 8 maatgevende doorbraakscenario's, [HISSTM]

Scenario	Schade (fl miljarden)	Scenario	Schade (fl miljarden)
8	34.7	4 en 8	43.2
7	35.2	4	14.1
9	26.6	11	37.9
1 en 8	41.6		
6 en 8	48.3	Overig	20

Risico

De investeringen, het risico en de totale kosten zijn bepaald, en uitgezet tegen de overstromingskans. De overstromingskans is berekend voor een combinatie van mechanismen.



Figuur 8 - 14: Verloop investeringen, risico en totale kosten bij optimalisatie naar overstromingskans. Risico berekend uit maximale schade is gestippeld. Bij berekening van kansen zijn alle mechanismen meegenomen in de berekening

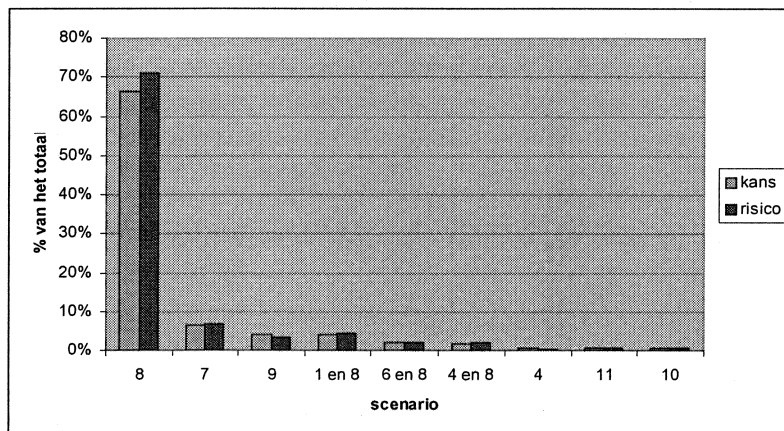
Voor deze situatie is te zien dat het risico bij iedere verbetering afneemt. In dit geval zijn de schadebedragen voor elk scenario redelijk evenwichtig verdeeld. Het fluctueren van de scenario kansen heeft nu geen significante invloed op het risico. Wel is te zien dat de schadeverwachting een stuk lager is dan het risico uit maximale schade. Bij deze investeringen ligt het economisch optimum bij een β van 3.63, een overstromingskans van eens in de 7000 jaar.

Voor een goede bepaling van het risico dient eigenlijk voor alle scenario's de economische schade bepaald te worden. Daarnaast zal de lijn van de werkelijke investeringen naar verwachting rechts van de getekende lijn liggen. Bij deze investeringswijze is niet optimaal geïnvesteerd (namelijk alleen in dijkverhoging). Het optimum ligt in dat geval bij een kleinere kans, dus hogere β liggen.



8.3.3 Risico optimalisatie

De hier beschreven dijkverbeteringen zijn gebaseerd op kans optimalisatie. In de case study is aangetoond dat optimalisatie naar risico tot een betere benutting van de investeringen leidt. Voor de Ausgangssituatie zijn de bijdragen van de eerste 8 scenario's aan overstromingskans en risico weergegeven.



Figuur 8 - 15: Relatieve bijdrage van scenario's aan overstromingskans en risico

In deze situatie geven risico en kans optimalisatie in eerste instantie hetzelfde resultaat: scenario 8 is dominant voor kans en risico en de eerste verbeteringen moeten plaatsvinden in dijkdeel 8. Doordat bij dijkverbeteringen de scenariokansen gaan fluctueren kunnen scenario's die nu nog niet maatgevend zijn door verbeteringen aan andere dijkdelen maatgevend voor het risico worden. Voor het uitvoeren van een risico optimalisatie moeten dus de gevolgen voor alle 48 scenario's bekend zijn. Een verdere uitwerking van de risico optimalisatie is in deze studie niet gemaakt.

8.4 Conclusies

In dit hoofdstuk is de economische optimalisatie uitgevoerd voor de Betuwe dijkkring. Hierin is onderzocht hoe het effect van investeringen in dijkverbeteringen op het economisch risico kan worden weergegeven en hoe de huidige kennis voor het bepalen van overstromingskansen, gevolgen en risico's hierbij toe te passen is.

Bij het berekenen van het (economisch) risico zijn twee benaderingen mogelijk:

Risico bij maximale schade

Door de Deltacommissie is het risico bepaald door de overstromingskans van de dijkkring (P_b) te vermenigvuldigen met de maximale schade ($G_{\max}$). Aangezien de overstromingskansen van de dijkkring bij benadering gelijk is aan de som van de kansen van alle n overstromingsscenario's, geldt:

$$Risico = P_b \cdot G_{\max} \approx \sum_{i=1}^n P_i \cdot G_{\max}$$

Risico uit kansen en gevolgen scenario's

De economische schade bij een overstroming van een dijkkring is echter niet maximaal maar afhankelijk van de plaats van doorbreken en het bijbehorend overstromingsbeeld. Dit effect is mee te nemen in de berekening van het risico met behulp van de overstromingsscenario's. Voor ieder doorbraakscenario is de kans van optreden (P_i) en de economische schade (G_i) te bepalen. Het risico volgt door sommatie over alle n scenario's:

$$Risiko = \sum_{i=1}^n P_i \cdot G_i$$

Bij het bepalen van investeringen zijn twee benaderingen mogelijk, die zich onderscheiden in de keuze van de optimale maatregel: kans en risico optimalisatie.

Kans optimalisatie

In deze benadering is het doel van dijkversterking de daling van de overstromingskans van de dijkkring. Bij iedere verbetering wordt het dijkvak met de grootste faalkans verbeterd, deze draagt het meeste bij aan de overstromingskans van de gehele dijkkring. Bij deze methode is het verschil tussen de economische schades van de verschillende doorbraken niet van belang, het gaat immers om verlaging van de overstromingskans. Het risico wordt daarom berekend uit maximale schade.

Risico optimalisatie

Bij risico optimalisatie is het doel verlaging van het risico. De eerste verbeteringen gebeuren aan het dijkdeel met de grootste bijdrage aan het risico. Hierbij is zowel de grootte van kans en gevolg van belang. In dit geval dient het risico berekend te worden uit kansen en de gevolgen van de scenario's.

In een tabel zijn de belangrijkste aspecten van beide typen optimalisatie weergegeven

	Kans optimalisatie	Risico optimalisatie
Doel van maatregelen	Stapsgewijs verkleinen overstromingskans	Stapsgewijs verkleinen Risico
Eerste verbetering	Dijkvak met grootste faalkans	Dijkvak met grootste bijdrage aan risico (grootste $P_i \cdot G_i$)
Risico =	$P_b \cdot G_{\max} = \sum P_i \cdot G_{\max}$	$\sum P_i \cdot G_i$
Effect verbetering	Overstromingskans ring daalt, risico kan stijgen	Risico daalt, overstromingskans hoeft niet te dalen
Grafische weergave	Totale kosten uitgezet tegen overstromingskans dijkkring	Risico (evt. totale kosten) uitgezet tegen investeringen
Ingrediënten	Dijkvakkansen (PC Ring), maximale schade	Per scenario: kans (PC Ring, scenario module) en schade (HISSEM)

De twee typen optimalisaties zijn in een case study onderzocht. Kans optimalisatie leidt tot een optimale reductie van de overstromingskans.

De aanname van maximale schade leidt tot een zware overschatting van de grootte van het risico en heeft zo invloed op de ligging van het economisch optimum.

In de case study is ook aangetoond dat het uitvoeren van kans optimalisatie kan leiden tot een toename van het risico. Door een verbetering op de ene plaats kan de kans op een ander scenario toenemen. Als hieraan grote gevolgen zijn verbonden kan het risico voor de dijkkring toenemen.

Het toepassen van de methode van risico optimalisatie leidt tot een optimale reductie van het overstromingsrisico.

Vervolgens is kansoptimalisatie uitgevoerd voor de in het rapport "overschrijdingskans naar overstromingskans" [TAW, 2000] gebruikte schematisatie van de Betuwe dijkkring. Hierbij zijn alleen de investeringen in dijkverhoging beschouwd. Het blijkt dat op een gegeven moment dijkverhogingen nauwelijks meer tot een reductie van de overstromingskans van de dijkkring leiden. Vanaf een bepaald punt hebben immers ook andere faalmechanismen invloed op overstromingskans.



Het berekende economisch optimum ligt ongeveer bij een β van 3.63 (een overstromingskans van eens in de 7000 jaar). De huidige overstromingskans bedraagt eens in de 1000 jaar, bij een β van 3.1.

De risico optimalisatie is voor deze schematisatie niet uitgevoerd, hiervoor is meer inzicht nodig in de gevolgen van alle overstromingsscenario's.

Toepasbaarheid

In de economische optimalisatie is de huidige kennis met betrekking tot het berekenen van overstromingskansen, scenariokansen en gevolgen mee te nemen. Met de methode is het mogelijk om de effecten van investeringen in dijkverbeteringen weer te geven op de overstromingskans en het economisch risico. De aanpak kan zo een belangrijke rol spelen in de afweging van dijkverbeteringsmaatregelen.

De case studies in dit hoofdstuk hebben zich beperkt tot maatregelen ter verlaging van de overstromingskans. Het is ook mogelijk het (risico reducerende) effect van andere maatregelen te beschouwen. Hierbij kan het bijvoorbeeld gaan om investeringen in overlaatgebieden of maatregelen die de gevolgen beperken.

De uiteindelijke conclusie is dat de economische optimalisatie zeer geschikt is bij het vaststellen van een economisch optimale strategie voor het uitvoeren van verschillende risico reducerende maatregelen.

9 Potentiële schade

In dit hoofdstuk zijn enkele maten op het gebeid van potentiële schade bepaald voor de Betuwe dijkkring.

De dreiging voor personen komt tot uiting in twee maten in paragraaf 9.1, people at risk en de maximale ongevalsgrootte. De potentiële economische schade is in paragraaf 9.2 bepaald.

9.1 Slachtoffers

People at risk - PAR

Een maat die een indruk geeft van de schaalgrootte van een mogelijke ramp is people at risk of population at risk (PAR). De PAR geeft het aantal personen aanwezig binnen het gebied waarin de effecten van het ongeval merkbaar zijn:

$$PAR = \iint_A m(x, y).dx.dy$$

Deze uitdrukking geeft het aantal bedreigde personen en daarmee een indruk van de maatschappelijke ontwrichting bij een ramp.

Voor elk overstromingsscenario is het aantal bedreigde personen gelijk aan het aantal inwoners van het overstroomd gebied. Op deze wijze ontstaat een overzicht van de mogelijke omvang van de scenario's.

Tabel: Aantal bedreigde personen (PAR) per overstromingsscenario

Scenario	PAR
7, 8, 1 en 8, 6 en 8, 4 en 8	360.000
4	140.000
11	132.900
9	164.600

Voor scenario's met doorbraken in het oostelijk deel van de dijkkring geldt dat de gehele dijkkring onder water zal komen te staan terwijl bij een doorbraak westelijke doorbraak slechts een deel van de dijkkring overstroomd wordt.

Stoop [2000] stelt dat het weergeven van een F-PAR curve een indruk van de maatschappelijke dreiging van een ongeval geeft. In bijlage 9.A is een dergelijke curve voor de Betuwe dijkkring getekend.

Maximale ongevalsgrootte

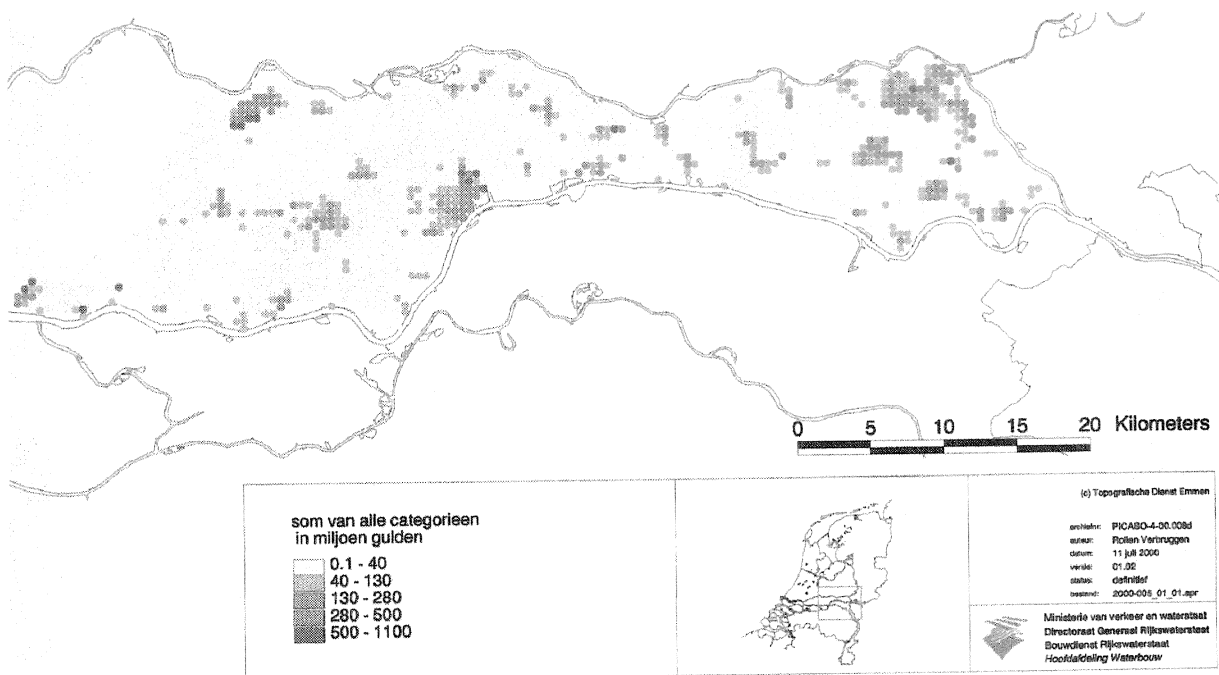
De maximale ongevalsgrootte is gelijk aan het maximaal aantal slachtoffers dat realistisch gezien kan vallen. Bij een overstroming van de Betuwe dijkkring overlijden immers niet alle (360.000) bedreigde personen. De gevolgen van een overstroming zijn maximaal wanneer geen evacuatie zal plaatsvinden. Dit is denkbaar als een overstroming 's nachts zonder enige waarschuwing optreedt. De maximale ongevalsgrootte wordt gelijk gesteld aan het aantal slachtoffers van het scenario met de grootste gevolgen, berekend bij permanente aanwezigheid. Uit de tabel in paragraaf 6.3.2 is af te lezen dat in dit geval een dubbele doorbraak bij 6 en 8 met 40.750 slachtoffers als maximale ongevalsgrootte geldt.

9.2 Economische schade

De maximaal mogelijke economische schade bij overstroming van de dijkkring is te berekenen door de economische schade te bepalen als de hele dijkkring vol water staat. Voor de Betuwe dijkkring is aangenomen dat de schade maximaal is als de overstromingsdiepte in de gehele dijkkring 9 meter bedraagt. De maximale economische schade, berekend met de HISSM bedraagt dan 72.9 miljard gulden. Hierbij gaat het om de schade aan kapitaalgoederen,



productieverlies en inkomstenderving. De ruimtelijke verdeling van de economische schade is weer te geven met behulp van de maximale schade kaart:



Figuur 9-1: Maximale schade kaart Betuwe dijkkring bij overstromingsdiepte 9 meter

De maximale schade kaart geeft een indruk van de verdeling van de economische waarde over de dijkkring.

10 Analyse risicoberekeningen

In dit hoofdstuk zijn de risicoberekeningen uit de vorige hoofdstukken geanalyseerd. Allereerst is bestudeerd welke elementen benodigd zijn om het overstromingsrisico met verschillende risicomaten te berekenen (10.1). Vervolgens zijn de uitkomsten van de berekeningen vergeleken met de risico's in andere sectoren (10.2) en daarin gehanteerde normen (10.3).

10.1 Elementen in berekening overstromingsrisico

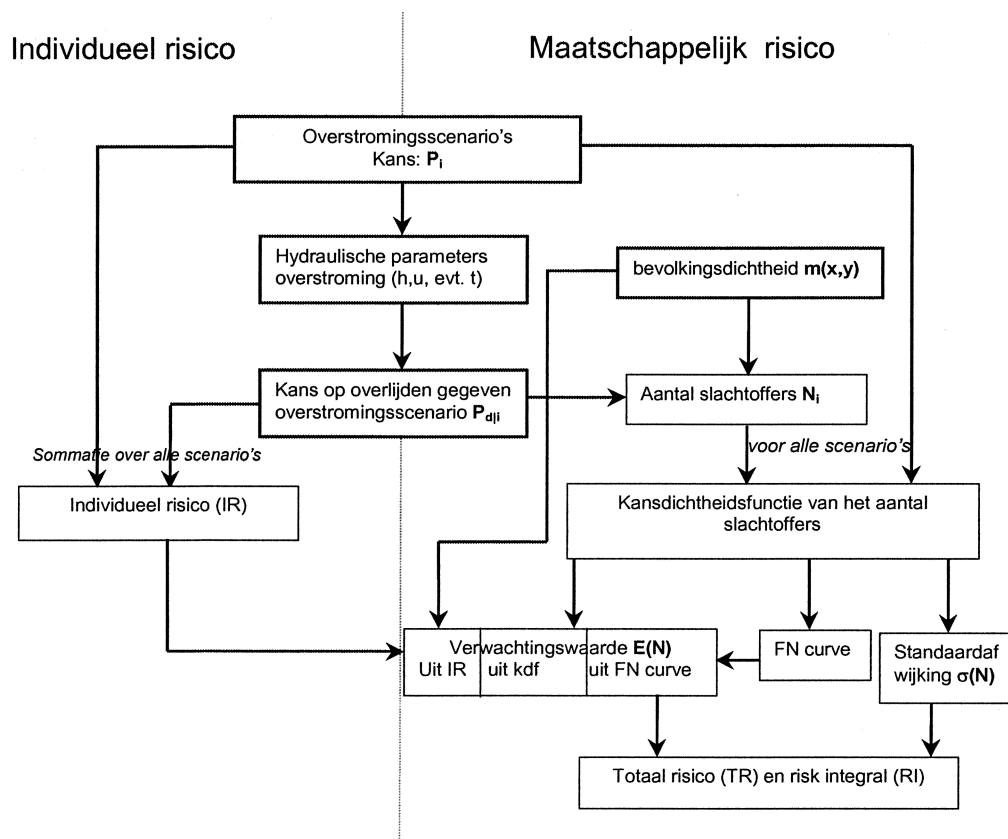
In de vorige hoofdstukken is onderzocht hoe met verschillende maten het overstromingsrisico te bepalen is. In onderstaande paragrafen is per groep risicomaten schematisch weergegeven welke elementen daarbij gebruikt worden.

10.1.1 Individueel en maatschappelijk risico

Allereerst blijkt het mogelijk om de maten voor individueel en maatschappelijk risico uit dezelfde gegevens te berekenen. Het individueel risico wordt bepaald op basis van de scenario kansen en de kans op overlijden gegeven een overstroming.

Voor berekening van het maatschappelijk risico is daarnaast de bevolkingsdichtheid van belang. Op deze wijze is de kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers vast te stellen, die de basis voor de bepaling van de maatschappelijk risicomaten. De maten gesommeerd gewogen risico en verwachtingswaarde uit IR contouren worden berekend op basis van de IR contouren en gebiedsgegevens.

In onderstaand schema zijn de relaties tussen deze elementen en de wijze van bepaling van risicomaten weergegeven¹.



Figuur 10-1: schematische weergave berekening risicomaten individueel en maatschappelijk risico voor een overstroming

¹ De maat gesommeerd gewogen risico is niet opgenomen in de figuur. Het GGR wordt bepaald uit de IR contouren en de aanwezigheid van woningen hierin.



Een belangrijk verschil tussen beiden typen maten ligt in het volgende. Het individueel risico is voor elke plaats in de dijkkring te bepalen en weer te geven op een kaart met risicocontouren. De maten voor maatschappelijk risico geven één resultaat voor de gehele dijkkring.

Evacuatie bij berekening van het individueel en maatschappelijk risico

In de bepaling van kans op overlijden gegeven overstromingsscenario is evacuatie te modelleren met behulp van een parameter van het overstromingsverloop, de vluchttijd. Dit betekent dat zowel individuele als maatschappelijke risico's bij permanente aanwezigheid en met evacuatie bepaald kunnen worden.

Gezien het karakter van beide typen risicomaten is wat betreft het meenemen van evacuatie in de berekening de volgende keuze gemaakt, die ook bij een verdere toepassing wenselijk lijkt.

Het individueel risico is vooral geschikt om gevaarlijke plaatsen aan te wijzen binnen de dijkkring. In de toepassing binnen het externe veiligheidsbeleid is het IR een eigenschap van de plaats, ongeacht aanwezigheid van personen. Het IR is zodoende toepasbaar in afwegingen met betrekking tot nieuw in te richten, nog onbewoonde, locaties en voor het vaststellen van zoneringen. Vanuit deze filosofie is berekening van het IR voor overstromingen bij permanente aanwezigheid gewenst.

Bij het maatschappelijk risico gaat het erom een zo realistisch mogelijk beeld te geven van de risico's en wil men het werkelijk aantal slachtoffers zo goed mogelijk benaderen.

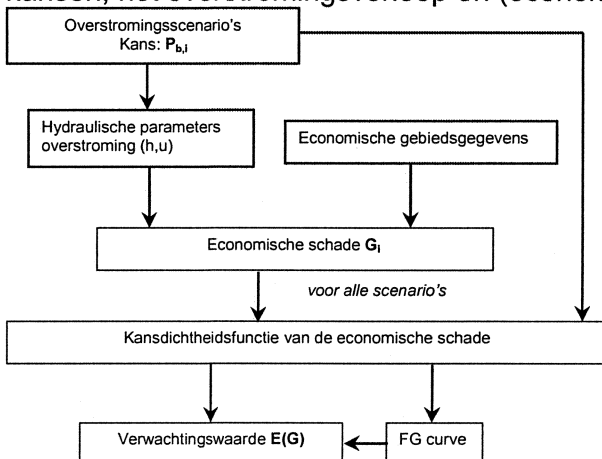
Berekening van het maatschappelijk risico uitgaande van permanente aanwezigheid geeft naar verwachting een overschatting van de werkelijke risico's. Daarom wordt evacuatie meegenomen in de berekening van het maatschappelijk risico.

Het blijkt dat de kans op overlijden, het aantal slachtoffers en de omvang van maatschappelijke risico's zeer gevoelig zijn voor de modellering van evacuatie in de berekening. In de eerste plaats is het de vraag of evacuatie optreedt. Daarnaast is het de vraag hoe groot de waarschuwingstijd is en welke parameters bepalend zijn voor het verloop van de evacuatie. In deze studie is op basis van expert meningen een verband tussen evacuatie en vluchttijd aangenomen.

Om de gevoeligheid van de berekende risico's voor evacuatie te laten zien kunnen de maatschappelijke risico's worden bepaald voor verschillende gevallen: bijvoorbeeld het optreden van een plotselinge overstroming (geen vluchttijd) en verschillende voorwaarschuwingstijden, bijvoorbeeld 24 en 48 uur.

10.1.2 Economisch risico

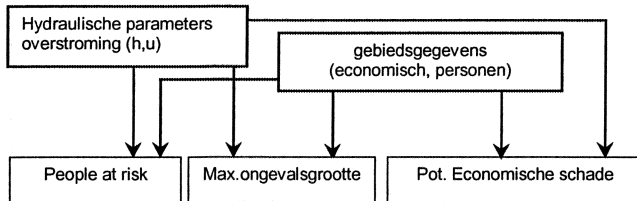
Ook de economische risicomaten zijn op soortgelijke wijze te bepalen aan de hand scenario kansen, het overstromingsverloop en (economische) gebiedsgegevens.



Figuur 10-2: Schematische weergave berekening economisch risico voor een overstroming

10.1.3 Potentiële schade

De maten op het gebied van potentiële schade beperken zich tot het gebruik van parameters van het overstromingsverloop en gebiedsgegevens.



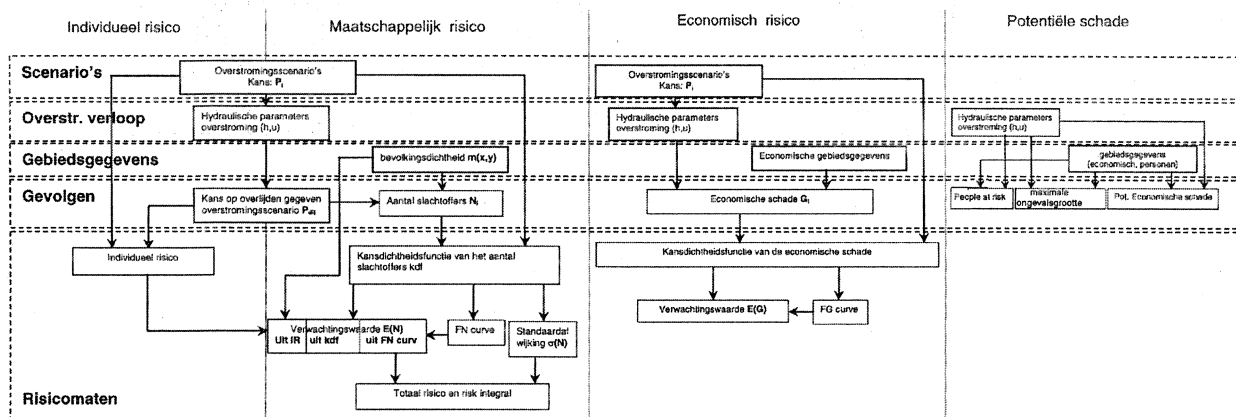
Figuur 10-3: Schematische weergave bepaling potentiële schade voor overstroming.

10.1.4 Overzicht elementen risicoberekening

Uit de drie schema's komt naar voren dat alle in deze studie uitgewerkte risicomaten bepaald kunnen worden aan de hand van drie elementen:

- De overstromingsscenario's en bijbehorende scenario kansen
- Het overstromingsverloop en daarbij behorende parameters als overstromingsdiepte en stroomsnelheid, eventueel vluchttijd
- De gebiedsgegevens, afhankelijk van de risicomaat met betrekking tot bewoning of economische waarde

In één figuur is de plaats van deze elementen weergegeven in de bepaling van het individueel, maatschappelijk en economisch risico en de potentiële schade.



Figuur 10-4: overzicht van benodigde elementen voor bepaling van het overstromingsrisico met verschillende risicomaten, in bijlage 10.A is deze figuur groter weergegeven

De gevolgen van een overstroming zijn te bepalen uit het overstromingsverloop en de gebiedsgegevens. Met de scenariokansen en bijbehorende gevolgen zijn de risico's te bepalen. In een tabel zijn de benodigde elementen voor een risicoberekening met de verschillende groepen risicomaten weergegeven.

Tabel: Overzicht elementen voor berekening overstromingsrisico

	Individueel risico	Maatschappelijk risico	Economisch Risico	Potentiële schade
Scenario kansen	Ja	Ja	Ja	-
Overstromings-verloop	Ja	Ja	Ja	Ja
Gebiedsgegevens	-	Ja (bevolking)	Ja (economisch)	Ja

Opvallend is dat bij bepaling van het individueel risico gebiedsgegevens geen rol spelen. Dit komt voort uit het karakter van het individueel risico. Dit is immers gedefinieerd als de kans op overlijden op een bepaalde plaats, ongeacht de aanwezigheid van personen. In tegenstelling tot het individueel, maatschappelijk en economisch risico zijn bij bepaling van potentiële schade de scenario kansen niet van belang. Potentiële schade geeft alleen de mogelijke gevolgen weer.

10.2 Vergelijking risico's andere sectoren

Bij de beoordeling van overstromingsrisico's speelt ook de vergelijking met de omgang met risico's in andere sectoren in Nederland een rol. Deze vergelijking richt zich voornamelijk op het externe veiligheidsbeleid.

In de afgelopen hoofdstukken is aangetoond dat het mogelijk is het overstromingsrisico uit te drukken de risicomaten uit het externe veiligheidsbeleid, het individueel en groepsrisico (of de FN curve).

De volgende vraag is hoe de omvang van het overstromingsrisico voor de Betuwe dijkkring zich verhoudt tot risico's en normen in andere sectoren. De vergelijking met de normen is in paragraaf 10.3 gemaakt. In deze paragraaf zijn de berekende risico's voor de Betuwe dijkkring vergeleken met de risico's van enkele andere activiteiten in Nederland. Dit gedaan met de maten waarvoor gegevens beschikbaar waren: het individueel risico (10.2.1), het gesommeerd gewogen risico (10.2.2), groepsrisico (10.2.3) en verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers (10.2.4).

10.2.1 Individueel risico

In hoofdstuk 5 is de ruimtelijke verdeling van het individueel risico voor de Betuwe dijkkring bepaald. In een tabel zijn hiervan de maximale en gemiddelde waarden gegeven.

Tabel: maximaal en gemiddeld IR voor de Betuwe dijkkring, afgeleid uit berekening H5

	Maximaal IR	Gemiddeld IR
Permanente aanwezigheid	$7 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$
Evacuatie	$7 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-6}$

In een tabel is de kans op overlijden ten gevolge van een aantal andere activiteiten in Nederland weergegeven:

Tabel: Kans op overlijden per jaar voor enige activiteiten

	Kans op overlijden per jaar
Roken	$5 \cdot 10^{-3}$
Drinken	$1 \cdot 10^{-4}$
Verkeer	$8 \cdot 10^{-5}$
Bliksem	$5 \cdot 10^{-7}$
Bijensteek	$2 \cdot 10^{-7}$
Schiphol	$6 \cdot 10^{-9}$
Chemie	$2 \cdot 10^{-9}$

De gemiddelde kans op overlijden ten gevolge van een overstroming van de dijkkring bedraagt $6 \cdot 10^{-6}$ berekend met evacuatie. Ten opzichte van "natuurlijke" risico's als het

overlijden door bliksem of bijensteek is dit hoog. Ook ten opzichte van externe veiligheidsrisico's voor Schiphol en chemische installaties is het IR voor de Betuwe dijkkring hoog.

10.2.2 Gesommeerd gewogen risico: vergelijking met Schiphol

In deze paragraaf worden de berekende gesommeerd gewogen risico (GGR) waarden van de Betuwe dijkkring vergeleken met die van Schiphol. Voor beide situaties is het GGR binnen de 10^{-5} en 10^{-6} individueel risicocontour berekend, en daarnaast het aantal huizen binnen deze contouren. Voor de Betuwe is de berekening gemaakt voor alleen scenario 8 waarbij evacuatie is meegenomen. Een berekening voor alle scenario's bij permanente aanwezigheid zal leiden tot nog hogere GGR waarden voor de Betuwe dijkkring.

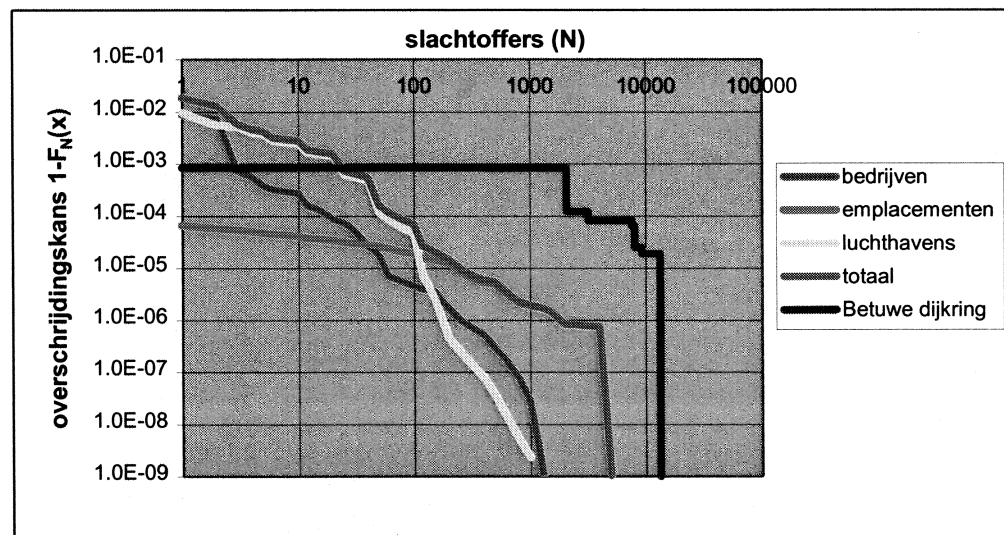
Tabel: GGR waarden Schiphol [Milieubalans 1998] en de Betuwe dijkkring

	Schiphol (1990)	Schiphol (1997)	Betuwe (2000)
GGR > 10^{-5}	$1,27 \cdot 10^{-3}$	$3,20 \cdot 10^{-3}$	0,29
GGR > 10^{-6}	$0,78 \cdot 10^{-2}$	$1,40 \cdot 10^{-2}$	0,49
Woningen in 10^{-5} contour	47	141	14500
Woningen in 10^{-6} contour	2510	3701	67800

De GGR waarden voor de Betuwe dijkkring zijn veel hoger en dus ongunstiger dan die voor Schiphol. Dit wordt veroorzaakt doordat het grootste deel van de dijkkring binnen de individueel risico contouren met waarden 10^{-5} en 10^{-6} ligt (zie ook de figuur in 10.3.1)

10.2.3 Vergelijking met groepsrisico's externe veiligheid

In onderstaande FN curve is het overstromingsrisico van de Betuwe dijkkring vergeleken met de risico's in Nederland van spoorwegemplacements, EVR²-plichtige bedrijven, luchthavens en het totaal van deze risico's.



Figuur 10-5: FN curve voor enkele externe risico's (1999) [Ale, RIVM] en de Betuwe dijkkring

De FN curve van de Betuwe dijkkring (berekend met evacuatie) overschrijdt het totaal van de externe veiligheidsrisico's ruimschoots. Weliswaar is er veel onzekerheid bij berekening van het aantal slachtoffers, bijvoorbeeld in de modellering van evacuatie, toch lijkt het weergegeven risico voor de Betuwe dijkkring ten opzichte van de externe veiligheidsrisico's erg groot. Het betreft hier slechts de curve voor één dijkkring, terwijl er in Nederland nog 52 andere dijkringen zijn. Het totale overstromingsrisico zal dus nog groter zijn.

² Externe veiligheidsrapportage



Uit de curve komt het verschil in “rampen potentieel” tussen het overstromingsrisico en de andere activiteiten. Als een overstroming optreedt zullen daarbij naar verwachting vele slachtoffers (honderden, duizenden) vallen, terwijl bij de andere activiteiten ook kleinere ongelukken (1 – 100 slachtoffers) kunnen voorkomen.

10.2.4 Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers

In deze paragraaf is de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers bij overstroming van de Betuwe dijkkring vergeleken met de verwachtingswaarden van enkele andere activiteiten in Nederland. In een tabel zijn deze waarden voor enkele risico's in Nederland weergegeven.

Tabel: Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers naar doodsoorzaak [CBS, linker kolom], externe veiligheidsrisico's in rechter kolom, [bepaald uit FN curve in figuur 10-5]

Oorzaak	Jaarlijks aantal Slachtoffers	Oorzaak	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers
Verkeersongevallen	1150	Bedrijven	0.032
Accidentele val	1550	Spoorweg-emplacementen	0.012
Accidentele vergiftiging	80	Luchthavens	0.092
Accidentele verdrinking	85	Totaal externe veiligheid	0.136
Moord	200		

De verwachtingswaarde van het jaarlijks aantal slachtoffers voor de Betuwe dijkkring bedraagt 2.4 doden per jaar. Deze verwachtingswaarde is laag ten opzichte van die in de linker kolom, waarin “alledaagse” ongevallen staan weergegeven, maar relatief hoog ten opzichte van de risico's in het externe veiligheidsbeleid. De waarden in de tabel gelden echter voor heel Nederland terwijl onbekend is hoe groot de overstromingsrisico's van de andere 52 dijkringen zijn.

Beide kolommen verwachtingswaarden uit de tabel zijn echter niet zonder meer vergelijkbaar. De hoge verwachtingswaarden in het linker deel komen tot stand door veel ongelukken met weinig (meestal 1) slachtoffer. Bij de externe veiligheidsrisico's en ook bij een overstroming gaat het om een ramp waarbij in één keer vele (tientallen, honderden tot duizenden) slachtoffers vallen. In de maatschappij worden grote rampen als ernstiger ervaren, vergelijk maar eens de aandacht voor de vuurwerkramp (20 slachtoffers) met die voor het jaarlijks aantal verkeersslachtoffers (1150). Vanuit dit oogpunt is de verwachtingswaarde geen geschikte maat om verschillende maatschappelijk risico's te vergelijken.

10.3 Vergelijking met normen in andere sectoren

In deze paragraaf zijn de berekeningsresultaten van de afgelopen hoofdstukken vergeleken met enkele bestaande normen uit andere sectoren. Binnen het externe veiligheidsbeleid zijn normen vastgesteld voor het individueel (10.3.1) en groepsrisico of FN curve (10.3.2). In literatuur zijn bovendien nog normen voor het de verwachtingswaarde van het jaarlijks aantal slachtoffers (10.3.3) en het totaal risico (10.3.4) gevonden. Voor de overige maten zijn geen normen bekend.

10.3.1 Individueel risico

Het individueel risico dat is berekend voor de Betuwe dijkkring is beoordeeld aan de hand van twee bestaande normen. De eerste norm is door VROM opgesteld en wordt toegepast binnen het externe veiligheidsbeleid. De tweede norm is een voorstel van TAW [1988]. Beide normen zijn meer uitgebreid beschreven in de paragrafen 3.1.1 respectievelijk 3.1.2.

VROM

Binnen het externe veiligheidsbeleid geldt voor installaties en transportroutes de VROM norm. De individuele risico's worden gelimiteerd aan de hand van twee grenzen. Bij een IR hoger dan 10^{-5} is de situatie absoluut onaanvaardbaar, een IR tussen de 10^{-5} en 10^{-6} is onaanvaardbaar voor nieuwe bebouwing (zie ook figuur 3-2).

TAW

Door TAW wordt het IR gelimiteerd aan de hand van de beleidsfactor β :

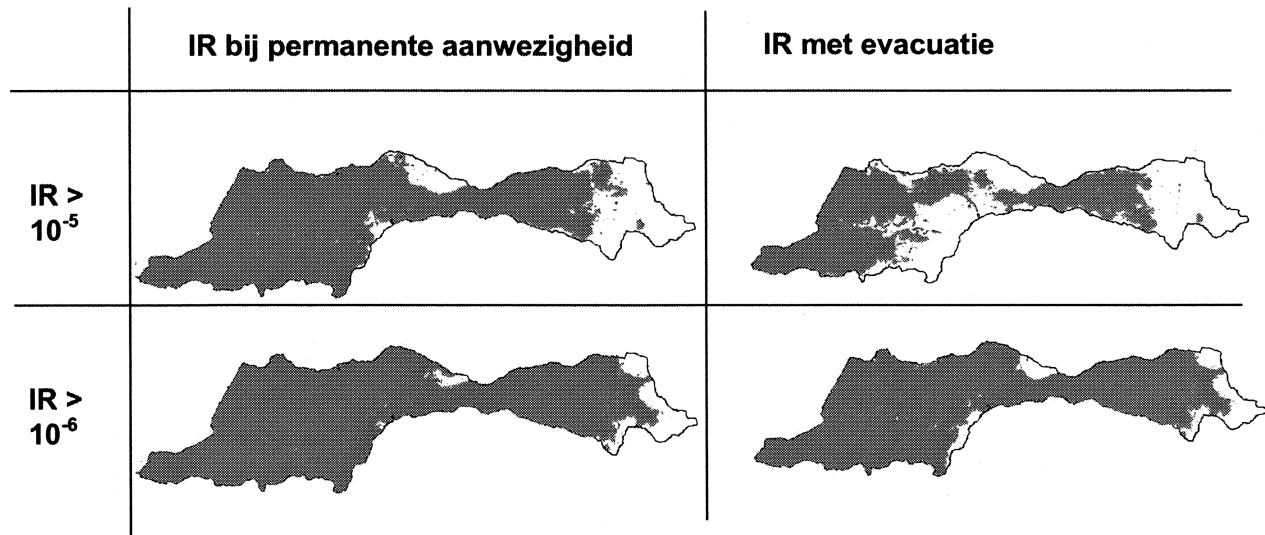
$$IR < \beta \cdot 10^{-4}$$

Voor het overstromingsrisico lijkt een beleidsfactor tussen de 0.01, voor een onvrijwillige activiteit met weinig nut, en de 0.1, een onvrijwillige activiteit met indirect nut, het beste van toepassing. Voor deze waarden van de beleidsfactor komen de grenzen van de TAW norm overeen met de beide grenzen van de VROM norm. In onderstaande tabel zijn de overeenkomsten tussen VROM en TAW norm weergegeven.

Tabel: Normering van individueel risico door VROM en TAW

		IR > 10^{-5}	IR > 10^{-6}
VROM		Onaanvaardbaar	Onaanvaardbaar voor nieuwe situaties (tussen 10^{-6} en 10^{-5}), Onaanvaardbaar ($>10^{-5}$)
TAW	Beleidsfactor β	0.1	0.01
	Vrijwilligheid activiteit	Onvrijwillig	Onvrijwillig
	Nut activiteit	Indirect	Weinig

Om een indruk te geven van de overschrijding van de normen zijn voor beide grenzen van het IR de gebieden waarvoor de waarden de norm overschrijden rood gearceerd. Dit is gedaan voor het IR berekend bij permanente aanwezigheid en met evacuatie.



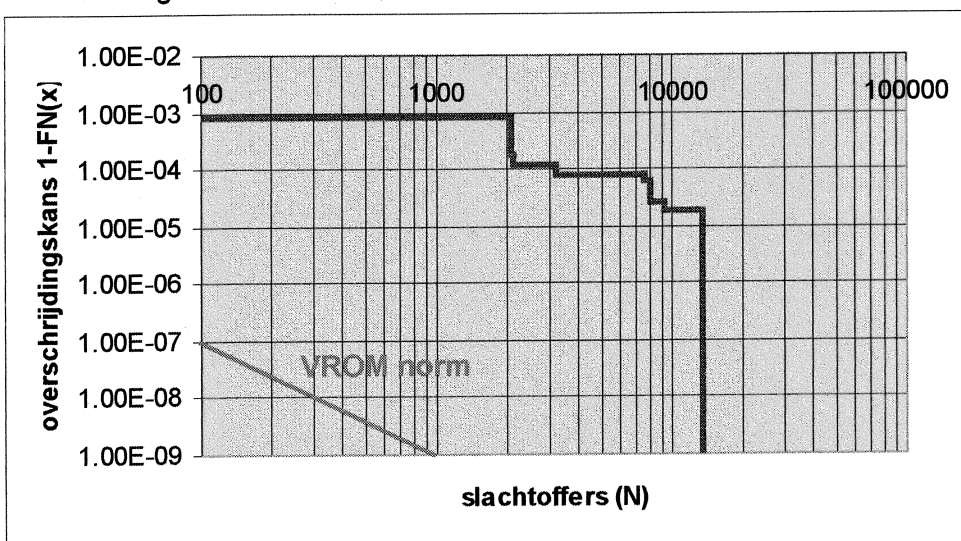
Figuur 10-6: Gebieden met IR waarden hoger dan 10^{-5} respectievelijk 10^{-6} , IR berekend bij permanente aanwezigheid en met evacuatie

Duidelijk is dat de berekende individueel risico's voor de Betuwe dijkkring volgens de huidige VROM norm en TAW norm met beleidsfactoren 0.1 en 0.01 voor een zeer groot deel van de dijkkring onaanvaardbaar zijn.



10.3.2 Groepsrisico

In het Nederlandse externe veiligheidsbeleid is de VROM norm voor groepsrisico van toepassing voor chemische installaties. In een figuur is de ligging van de FN curve voor de Betuwe vergeleken met deze VROM norm.



Figuur 10-7: VROM norm in vergelijking met de FN curve voor de Betuwe dijkkring

De FN curve voor de Betuwe dijkkring overschrijdt VROM norm ruimschoots. De vraag is echter in hoeverre de VROM norm van toepassing kan zijn voor dijkringen. In de eerste plaats is de VROM van toepassing voor circa 1000 installaties, terwijl er in Nederland 53 dijkringen zijn. Als alle dijkringen en installaties aan de VROM norm voldoen zullen de risico's op nationaal niveau voor de installaties veel groter zijn. Daarnaast is het zo dat een ongeluk met een chemische installatie een technische oorzaak heeft, terwijl een overstroming deels natuurlijk is. De aanvaardbaarheid van risico's hangt ook samen met de oorsprong van een activiteit, waarbij een natuurlijke ramp als minder ernstig wordt ervaren. Om deze redenen lijkt de VROM norm voor dijkringen te streng.

In bijlage 10.B is op basis van de hoogte van de externe veiligheidsrisico's een norm in de FN curve voorgesteld.

10.3.3 Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers

In de Verenigde Staten worden de risico's van doorbraak van stuwdammen gelimiteerd aan de hand van de verwachtingswaarde van het jaarlijks aantal slachtoffers (zie ook paragraaf 3.2.4). USBR en BC Hydro hanteren normen van 10^{-2} respectievelijk 10^{-3} slachtoffers per stuwdam per jaar. Deze normen zijn echter niet direct toepasbaar voor dijkringen in Nederland. In de eerste plaats zijn in de VS veel meer stuwdammen (400) dan dijkringen in Nederland (53). Daar staat tegenover dat in de VS slechts klein deel van de inwoners in de buurt van stuwdammen woont, terwijl het grootste deel van de bevolking in Nederland in dijkringen leeft.

10.3.4 Totaal risico

Uit gemiddelde en standaardafwijking is het totaal risico (TR) bepaald, $TR = 315.6$. Het is te normeren met behulp van de beleidsfactor β , er geldt:

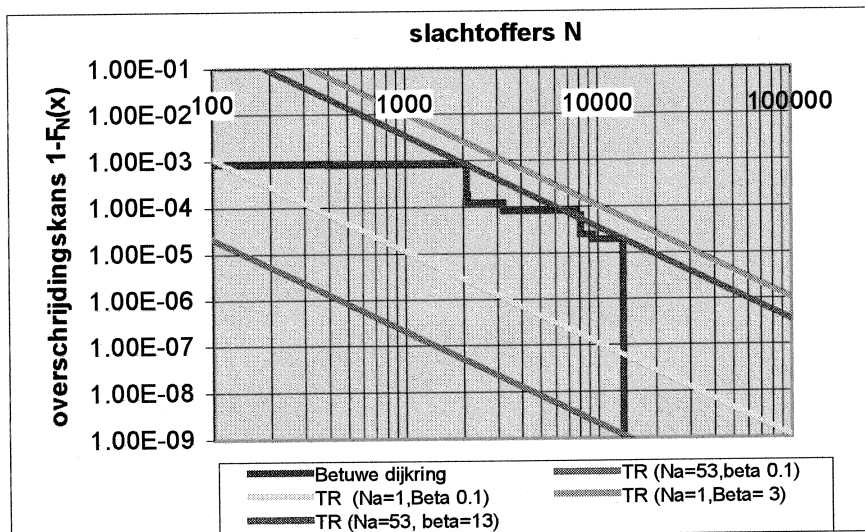
$$TR < \beta \cdot 100$$

Voor het overstromingsrisico is een beleidsfactor in de orde 0.01-0.1 van. Bij gebruik van $\beta = 0.1$, geeft dit een limiterende waarde van 10 voor het overstromingsrisico.

Bij toepassing van de TR norm zijn twee benaderingen mogelijk. Het is mogelijk de norm rechtstreeks toe te passen op een installatie, in dit geval een dijkkring. Het aantal beschouwde installaties (N_A) bedraagt 1. Het totaal risico voldoet in dit geval niet aan de norm voor een waarde van $\beta=0.1$, maar pas bij $\beta=3$.

Het TR dient eigenlijk toegepast te worden op nationale schaal. In dit geval moeten alle installaties in Nederland worden beschouwd. In dit geval gaat het om 53 dijkringen ($N_A=53$). Hierbij is aangenomen dat de dijkringen onafhankelijk zijn en ieder dezelfde verwachtingswaarde en standaardafwijking als de Betuwe dijkkring hebben. De risico's zijn onaanvaardbaar bij een beleidsfactor $\beta=0.1$. Pas bij een beleidsfactor $\beta=13$ zijn de risico's toelaatbaar.

Uit de TR norm is aan de hand van het aantal installaties en de gekozen beleidsfactor een norm per installatie af te leiden (zie paragraaf 3.2.5). Dit is in bijlage 10.C gedaan voor de genoemde combinaties van beleidsfactor β en aantal installaties. In bijlage 10.D zijn de uit het TR afgeleide normen vergeleken met de in bijlage 10.B afgeleide norm uit de externe veiligheidsrisico's. In de grafiek is de norm per installatie weergegeven en de FN curve van de Betuwe dijkkring.



Figuur 10-8: norm, geldend per installatie, afgeleid uit de totaal risico norm afhankelijk van het aantal beschouwde installaties N_A en de beleidsfactor β

Als alleen de Betuwe dijkkring wordt beschouwd ($N_A=1$) is de situatie voor een waarde van de beleidsfactor $\beta=3$ aanvaardbaar. Dit staat voor een redelijk vrijwillige activiteit met enig nut. Als 53 gelijke dijkringen worden meegenomen is de situatie aanvaardbaar bij een β van 13. Dit staat voor een vrijwillige activiteit met direct nut. Voor het overstromingsrisico is een β tussen de 0.01 en 0.1 gewenst. Geconcludeerd kan dus worden dat de huidige overstromingsrisico's voor de Betuwe dijkkring volgens de totaal risico norm onaanvaardbaar hoog zijn.

11 Bestuurlijke analyse risicomaten

In dit hoofdstuk is de bruikbaarheid van de risicomaten in besluitvorming over het overstromingsrisico onderzocht. Allereerst zijn de mogelijkheden voor de weergave van de effecten van maatregelen onderzocht (11.1). In paragraaf 11.2 is de bestuurlijke bruikbaarheid beoordeeld. Naar aanleiding van deze analyse is een voorstel gedaan voor enkele bruikbare risicomaten voor het overstromingsrisico (11.3). Indien mogelijk is een bijbehorende normerende waarde voorgesteld.

11.1 Weergave effecten van maatregelen

Een belangrijk onderdeel bij de bruikbaarheid van een risicomaat is de mogelijkheid die de uitdrukking biedt om het effect van maatregelen weer te geven. In een afweging van overstromingsrisico's is het immers van belang inzicht te hebben in de effecten van (toekomstige) maatregelen.

In paragraaf 10.1 is aangetoond dat de risicomaten zijn te berekenen met drie elementen. Naar aanleiding van deze analyse zijn drie typen maatregelen onderscheiden, verdeeld in twee hoofdgroepen:

- **Maatregelen ter verlaging van de overstromingskansen:** Dit type maatregelen is erop gericht de overstromingskansen (van de scenario's) te verlagen. Het betreft dijkversterking, indirecte dijkversterking door het gebruiken van calamiteiten polders of het aanpassen van het hydraulisch verloop van de rivier.
- **Maatregelen ter verlaging van de gevolgen:** de gevolgen van een overstroming zijn afhankelijk van het verloop van de overstroming en de in het gebied aanwezige waarden. Dit betekent dat twee typen maatregelen zijn te onderscheiden:
 - Maatregelen die invloed hebben op het overstromingsverloop: secundaire keringen
 - Maatregelen die de gebiedsgegevens beïnvloeden: ruimtelijke ordening¹, bouwvoorschriften, evacuatie: plannen, voorbereidingen, waarschuwingssysteem, verbeteren vluchtmogelijkheden

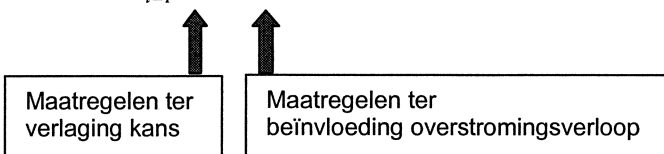
Tijdelijke maatregelen zoals het aanbrengen van zandzakken en caissons zijn buiten beschouwing gebleven.

In de volgende paragrafen is per groep risicomaten onderzocht welke maatregelen invloed op het risico hebben. Daarnaast is onderzocht hoe het effect van maatregelen met de risicomaat is weer te geven.

11.1.1 Individueel risico

Het individueel risico wordt berekend aan de hand van twee elementen: de scenario kansen en de uit het overstromingsverloop afgeleide kans op overlijden op een bepaalde plaats. Dit betekent dat de volgende maatregelen effectief zijn:

$$IR(x, y) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot P_{d|i}(x, y)$$



¹ Maatregelen op het gebied van de ruimtelijke ordening hebben via de hydraulische ruwheid ook een beperkte invloed op het overstromingsverloop.



De maatregelen ter verlaging van kans richten zich op reductie van de (scenario) kans(en). Hierbij gaat het om dijkversterking, het instellen van calamiteiten polders of het aanpassen van het verloop van de rivier.

De kans op overlijden bij een overstroming is afhankelijk van het verloop van de overstroming, en bijbehorende parameters overstromingsdiepte en stroomsnelheid. Een maatregel die het overstromingsverloop kan beïnvloeden is de aanleg van secundaire keringen.

Maatregelen op het gebied van ruimtelijke ordening hebben geen effect op de waarde van het individueel risico. Wel is het IR bij bestuurlijke toepassing zeer geschikt om te verbinden aan het ruimtelijke orderingsbeleid (zie ook paragraaf 11.2.3).

In eerste instantie is bij beperking van het IR voornamelijk dijkversterking effectief. Uit gegevens uit hoofdstuk 8 blijkt dat verbetering van de drie zwakste dijkvakken leidt tot een reductie van de overstromingskans van circa 25%. Naar verwachting leidt dit tot een evenredige afname van het individueel risico. Maatregelen binnen de dijkring (de aanleg van secundaire keringen) zijn naar verwachting minder (kosten) effectief en zullen meer maatschappelijke weerstand oproepen.

11.1.2 Maatschappelijke risico

De berekening van de maatschappelijk risicomaten is gebaseerd op drie elementen: de scenario kansen, gegevens over het overstromingsverloop (diepte, stroomsnelheid, vluchttijd) en gebiedsgegevens (bevolkingsdichtheid).

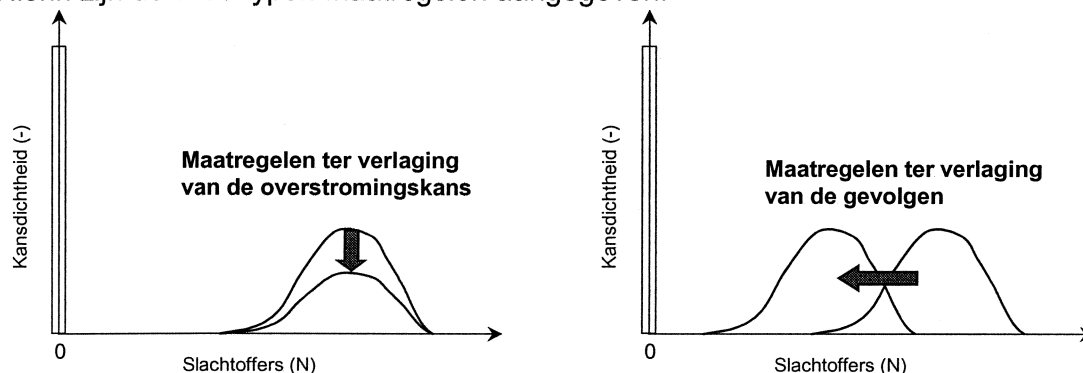
Net als bij het individueel risico zijn maatregelen ter verlaging van de (scenario)kansen effectief. Daarnaast kunnen secundaire keringen invloed uitoefenen op het overstromingsverloop en de bijbehorende hydraulische parameters. Bij het maatschappelijk risico hebben ook maatregelen die gebiedsgegevens beïnvloeden effect, in dit geval met betrekking tot de aanwezigheid van personen.

Met behulp van instrumenten op het gebied van ruimtelijke ordening is het mogelijk het aantal slachtoffers bij een overstroming te beperken. Dit kan gebeuren door bebouwing te verbieden op plaatsen nabij waarschijnlijke doorbraakpunten, en plaatsen met hoge overstromingsdieptes.

Ook een evacuatie kan het aantal slachtoffers bij een overstroming sterk beperken. De mogelijkheden voor een evacuatie kunnen worden verbeterd door het opstellen van waarschuwingsplannen of het optimaliseren van vluchtmogelijkheden door aanleg van infrastructuur. Een evacuatie vermindert weliswaar de maatschappelijke risico's. Daar staat tegenover dat een evacuatie grote kosten met zich mee brengt en door de bevolking als zeer schokkend wordt ervaren.

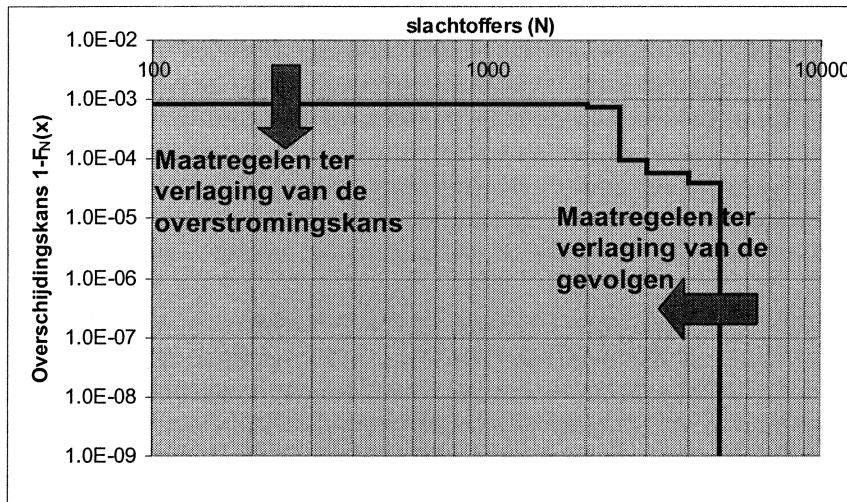
Voor een aantal maatschappelijk risicomaten is het effect van de twee typen maatregelen bekeken (maatregelen ter verlaging overstromingskans respectievelijk gevolgen).

Basis voor de berekening van maatschappelijke risico's vormt de kansdichtheidsfunctie. Hierin zijn de twee typen maatregelen aangegeven.



Figuur 11-1: effect van maatregelen weergegeven in de kansdichtheidsfunctie

Het effect van beide typen maatregelen komt in het bijzonder duidelijk naar voren in de FN curve



Figuur 11-2: Effect maatregelen in de FN curve

Door maatregelen zullen ook verwachtingswaarde en standaardafwijking van het aantal slachtoffers dalen. Voor een deterministisch aantal slachtoffers N met kans p geldt:

$$E(N) = p \cdot N$$

$$\sigma(N) \approx \sqrt{p \cdot N}$$

Maatregelen ter verlaging van de gevolgen (in dit geval het aantal slachtoffers) leiden tot een relatief grotere daling van de standaardafwijking dan maatregelen ter verlaging van de overstromingskans. Dit betekent dat maatregelen ter verlaging van het aantal slachtoffers een relatief grotere daling van totaal risico en risk integral tot gevolg zullen hebben. Een nadere uitwerking met behulp van een vereenvoudigd voorbeeld is gegeven in bijlage 11.B.

11.1.3 Economisch risico

Het economisch risico is te bepalen aan de hand van de scenario kansen, het overstromingsverloop en (economische) gebiedsgegevens. Dit betekent dat maatregelen ter verlaging van de overstromingskans effect hebben, daarnaast is met secundaire keringen het overstromingsverloop aan te passen. Ook maatregelen die de economische gebiedsgegevens beïnvloeden hebben effect.

Met behulp van het ruimtelijke orderingsbeleid kan men proberen de economische waarde op gevaarlijke plaatsen binnen de dijkkring zoveel mogelijk te beperken. Dit kan betekenen dat gebieden met grote economische waarde ontwikkeld worden op plaatsen met geringe overstromingskans. Een mogelijkheid is nieuwe industriële gebieden zo veel mogelijk op hoge gronden te vestigen.

Ook bouwvoorschriften kunnen een rol spelen bij beperking van de gevolgen bij een overstroming. Door gebouwen te bouwen die beter bestand zijn tegen een overstroming zal het aantal instortingen beperkt blijven en daarmee de economische schade².

Het effect van de twee typen maatregelen is op dezelfde wijze als bij maatschappelijke risico's weer te geven in de kansdichtheidsfunctie en de FG curve.

Economische optimalisatie

Een methode die zeer geschikt is voor het weergeven van effecten van maatregelen is de economische optimalisatie. Met deze methode is het mogelijk de investeringen in maatregelen te relateren aan de daling van de overstromingskans of van de verwachtingswaarde van het economisch risico. In de cases in hoofdstuk 8 is alleen het effect van maatregelen ter verlaging van de overstromingskans beschouwd. In de methode is

² Hiermee zal ook het aantal slachtoffers dat valt t.g.v. instorten van gebouwen worden beperkt



het ook mogelijk de invloed van de andere typen maatregelen weer te geven, bijvoorbeeld maatregelen die invloed hebben op het overstromingsverloop en de gebiedsgegevens. Als voorbeeld is in bijlage 8.H het effect van investeringen in bouwvoorschriften onderzocht. Op gelijke wijze zijn investeringen in andere maatregelen te relateren aan de daling van het risico. De economische optimalisatie is daarmee een zeer bruikbare methode voor de afweging van investeringen in maatregelen en de keuze van de optimale maatregel.

11.1.4 Potentiële schade

Berekening van de potentiële schade gebeurt aan de hand van het overstromingsverloop en gebiedsgegevens. Dit betekent dat maatregelen op deze gebieden effect hebben op de potentiële schade.

Secundaire keringen kunnen het verloop van de overstroming en zodoende de omvang van het overstroomd gebied beïnvloeden. Maatregelen op het gebied van ruimtelijke ordening hebben effect op het aantal aanwezige personen binnen het gebied of de economische waarde van het gebied.

11.2 Beoordeling bestuurlijke toepasbaarheid maten

In deze paragraaf is de toepasbaarheid van de risicomaten in de besluitvorming over overstromingsrisico's onderzocht. Allereerst zijn de maten nogmaals aan de hand van bestuurlijke aspecten uit paragraaf 2.3 beoordeeld. Vervolgens zijn per risicomaat nog relevante bestuurlijke kenmerken besproken.

11.2.1 Beoordeling aan de hand van bestuurlijke aspecten

In paragraaf 2.3 is een aantal aspecten genoemd dat van belang is voor de bestuurlijke bruikbaarheid van risicomaten. In bijlage 11.C is deze voor de uitgewerkte risicomaten in een multi criteria analyse beoordeeld. In onderstaande tabel is alleen de totaalscore gegeven, waarbij de score's op de aspecten zonder weging zijn opgeteld.

Tabel: beoordeling risicomaten op bestuurlijke aspecten

Risicomaat	Score
Individueel risico	5
Gesommeerd gewogen risico	1
Verwachtingswaarde uit IR contouren	3
FN curve	8
Verwachtingswaarde slachtoffers	-1
Risk integral	-3
Totaal risico	0
FG curve	2
Verwachtingswaarde economische schade	2
Economische optimalisatie	2
People at risk	5
Maximale ongevalsgrootte	5
Potentiële economische schade	4

*Beoordeelde bestuurlijke aspecten:
(voor uitwerking zie par. 2.3)*

- *niveau van beschouwing*
- *vergelijking met andere risico's*
- *implementatie en naleving van maat of norm*
- *completeheid*
- *weergave effecten van maatregelen*
- *uit te leggen en duidelijk, rechtvaardigheid*
- *de mogelijkheid toekomstige ontwikkelingen mee te nemen*

In de volgende paragrafen zijn per risicomaat nog enkele relevante bestuurlijke kenmerken besproken.

11.2.2 Individueel risico

Met behulp van de in hoofdstuk 5 uitgewerkte methode is het individueel risico per locatie binnen de dijkkring te bepalen. Op deze wijze is het mogelijk om gevaarlijke plaatsen binnen de dijkkring aan te wijzen.

Hoewel maatregelen op het gebied van ruimtelijke ordening (in deze methode) geen effect hebben op de waarde van het IR, lijkt een koppeling tussen beiden gewenst.

In de toepassing binnen het externe veiligheidsbeleid is het IR een eigenschap van de plaats, ongeacht aanwezigheid van personen. Het IR is zodoende toepasbaar in afwegingen met betrekking tot nieuw in te richten, nog onbewoonde, locaties en voor het vaststellen van zoneringen. Hierbij wordt IR bij permanente aanwezigheid berekend en beoordeeld aan de door VROM opgestelde norm.

Het individueel risico is op eenzelfde wijze toepasbaar voor het overstromingsgevaar, dus ook op het gebied van ruimtelijke ordening. Bijvoorbeeld door geen (nieuwe) bebouwing toe te staan op plaatsen binnen een dijkkring met hoge IR waarden ten gevolge van het overstromingsrisico³. Bij het toestaan van verschillende typen grondgebruik is het van belang rekening te houden met de eigenschappen van de bebouwing. Het IR wordt berekend bij permanente aanwezigheid. De aanwezigheid van personen verschilt voor verschillende soorten grondgebruik, van 80% voor woonbebouwing tot 10% voor recreatiegebieden. De toelaatbaarheid van een bepaald type grondgebruik in gebieden met relatief hoog IR is dus te koppelen aan de eigenschappen van een activiteit. Dan is het bijvoorbeeld mogelijk in een gebied met hoog IR geen woonbebouwing toe te staan, maar wel recreatie.

Een andere mogelijkheid is samenspel tussen ruimtelijke ordening en maatregelen op het gebied van evacuatie: nieuwe bebouwing op plaatsen met hoog IR is niet toegestaan tenzij is aangetoond dat goede evacuatieplannen of -maatregelen beschikbaar zijn.

11.2.3 Maatschappelijk risico

Berekening van het **gesommeerd gewogen risico** maakt vergelijking met de risico's rondom Schiphol mogelijk.

De **kansdichtheidsfunctie** van het aantal slachtoffers vormt de basis voor de berekening van andere maten voor maatschappelijk risico. Daarnaast is de kansdichtheidsfunctie zeer geschikt voor de weergave van maatregelen.

De **FN curve (groepsrisico)** is rechtstreeks afgeleid uit de kansdichtheidsfunctie en geeft zo een "objectieve" weergave van risico's zonder dat bepaalde gebeurtenissen zwaarder worden meegenomen. De curve geeft goed inzicht in grootte van kansen en gevolgen en vormt internationaal een standaardwijze van weergave en normering van risico's. De FN curve is zeer geschikt voor de vergelijking van verschillende risico's, bijvoorbeeld voor de vergelijking van het overstromingsrisico met de risico's in het externe veiligheidsbeleid. De daar geldende, door VROM opgestelde, normeringen lijken echter niet toepasbaar voor overstromingen. Tenslotte komt het effect van maatregelen zeer duidelijk naar voren in de FN curve.

De **verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers** geeft net als de FN curve een objectieve weergave van het risico. Een nadeel is dat de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers zeer sterk verschilt voor "alledaagse" ongelukken en ongevallen met kleine kansen grote gevolgen. Er vallen jaarlijks 1200 verkeersdoden [CBS], terwijl de verwachtingswaarde van het jaarlijks aantal slachtoffers ten gevolge van het neerstorten van een vliegtuig 0.09 bedraagt [bron: FN curve RIVM]. Dit grote verschil tussen beide typen ongevallen maakt het lastig de verwachtingswaarde als instrument bij besluitvorming te hanteren of hier een normering aan te verbinden. Bovendien geldt dat het effect van maatregelen nauwelijks tot uiting zal komen voor gebeurtenissen met een lage verwachtingswaarde. De verwachtingswaarde is dus niet geschikt om het effect van maatregelen weer te geven voor het overstromingsrisico of de risico's in het externe veiligheidsbeleid.

³ Een dergelijke locatietoets sluit aan bij de gedachtengang van de Commissie waterbeheer 21^e eeuw. Deze stelt in haar rapport voor nieuwe bouwlocaties te toetsen aan een watertoets, die onder meer de effecten op het watersysteem bekijkt. Een toetsing van het IR zou hier deel van uit kunnen maken.



Het **totaal risico** (TR) is een risico averse maat, die grote ongevallen zwaarder meeweegt. Bij normering wordt met behulp van de beleidsfactor rekening gehouden met de eigenschappen van de beoordeelde activiteit. Zodoende kan de vrijwilligheid van deelname, en het (maatschappelijk) nut van de activiteit in de normering worden betrokken. Het TR heeft een bepaalde flexibiliteit bij het vaststellen van de norm en laat zo ruimte aan een (politieke) discussie over de aanvaardbaarheid van risico's.

Een belangrijk uitgangspunt in de normering van het TR is dat het een afweging van risico's op nationale schaal betreft. De achterliggende gedachte is als volgt. Indien normen per installatie worden vastgesteld kunnen, bij sterke groei van het aantal installaties (die allen aan de norm op installatie niveau voldoen) de risico's op nationale schaal onaanvaardbaar hoog worden. Daarom wordt in het TR eerst de aanvaardbaarheid op nationale schaal beoordeeld. Vervolgens kan hieruit een norm per installatie worden afgeleid, die is weer te geven in een FN curve.

De **risk integral** is net als het totaal risico een risico averse maat. Een nadeel is de moeilijk te communiceren eenheid van de risk integral (doden²/jaar).

Een interessant aspect in de RI ligt in het feit dat in de uitdrukking zowel verwachtingswaarde als standaardafwijking kwadratisch meegenomen zijn ($RI = E^2 + \sigma^2$). Dit betekent dat zowel veel voorkomende ongevallen (verkeersongelukken met hoge $E(N)$) als weinig voorkomende ongevallen met kleine kans maar grote gevolgen (dus hoge $\sigma(N)$) zwaar gewogen worden. Een dergelijk concept kan bruikbaar zijn in het vaststellen van één uniforme risicomaat waarin beide typen ongevallen samen worden afgewogen en genormeerd.

11.2.4 Economisch risico

De **kansdichtheidsfunctie** van de economische schade vormt de basis voor de bepaling van de economische risicomaten, verwachtingswaarde en FG curve.

Een **FG curve** is geschikt voor de weergave van het effect van maatregelen. Daarnaast zijn in een FG curve de economische risico's van verschillende activiteiten of dijkringen te vergelijken.

De **verwachtingswaarde van de economische schade** geeft een indruk van de omvang economische schade. De maat is bruikbaar om investeringen in maatregelen af te wegen tegen de daling van de verwachtingswaarde van de economische schade. Dit gebeurt in de **economische optimalisatie**. Deze methode is zeer geschikt is voor het weergeven van effecten van maatregelen. Het betreft het effect van investeringen in maatregelen op het economisch risico en/ of de overstromingskans. Zodoende zijn de kosten van maatregelen (de investeringen) te relateren aan hun (maatschappelijke) baten, namelijk de daling van het risico. De kosten en baten van maatregelen spelen een belangrijke rol in de (politieke) besluitvorming over risico's.

11.2.5 Potentiële schade

De maten voor potentiële schade geven geen inzicht in risico's, maar in de mogelijke gevolgen van een ramp. Deze mogelijke omvang is in een maatschappelijke of politieke discussie vaak een belangrijk argument. Maten voor potentiële schade kunnen bruikbaar zijn als onvoldoende inzicht bestaat in de werkelijke gevolgen.

Vooraf vanuit de hoek van rampenbestrijding en hulpverlening is het van belang te weten hoe groot de gevolgen kunnen zijn en waar ze kunnen optreden. Het aantal bedreigde personen (**people at risk**) kan bruikbaar zijn bij het ontwerpen van maatregelen op het gebied van evacuatie.

De **potentiële economische schade** geeft een indruk van de economische waarde van de dijkkring. De Deltacommissie was nog niet in staat de economische schade bij een overstroming te bepalen en nam daarom de maximale economische schade aan. Bij het

vaststellen van de huidige veiligheidsnormen voor dijkringen is rekening gehouden met het verschil in economische waarden tussen de dijkringen.

11.3 Keuze risicomaten

In deze paragraaf wordt een voorstel gedaan voor enkele maten die geschikt zijn voor weergave van overstromingsrisico's en de besluitvorming hierover.

11.3.1 Keuze risicomaten

De keuze voor geschikte risicomaten is gemaakt op basis van de volgende overwegingen. Allereerst is het gewenst dat de risicomaten inzicht geven in het effect van maatregelen en bijbehorende kosten en baten. Bij de keuze zijn ook de beoordeling op bestuurlijke aspecten en de in de vorige paragraaf besproken bestuurlijke kenmerken betrokken.

Tenslotte is het gewenst het overstromingsrisico op verschillende schaalniveaus te beoordelen en hierbij verschillende schadetypen te betrekken. Dit betekent dat "differentiatie in de beoordeling is gewenst", zowel qua schaalniveau als beschouwde gevolgen. In onderstaande tekst is deze laatstgenoemde gedachtegang toegelicht.

Differentiatie in beoordeling gewenst

Bij inventarisatie van risicomaten zijn drie schaalniveaus onderscheiden: nationaal, lokaal (of installatie) en individueel niveau. Wat betreft de maatschappelijke acceptatie van risico's ligt het voor de hand deze op nationale schaal te beoordelen. Indien normen direct per installatie worden vastgesteld, kunnen bij sterke groei van het aantal installaties (die allen aan de norm op installatie niveau voldoen), de risico's op nationale schaal onaanvaardbaar hoog worden (zie ook [CUR, 1997]). Daarom lijkt het gewenst uit de normstelling op nationaal niveau het acceptabele risico op lokaal niveau vast te stellen.

Omgekeerd kunnen lokale knelpunten lokale normen overschrijden zonder dat de risico's op nationale schaal onaanvaardbaar hoog worden. Ook bij het voldoen aan de norm per installatie kunnen individuele risico's voor bepaalde personen, bijvoorbeeld omwonenden, onaanvaardbaar hoog worden. Door het vaststellen van een norm voor individueel risico is het mogelijk om iedere burger een bepaalde "basisveiligheid" te bieden.

Daarnaast is het gewenst om in een kwantitatieve beoordeling zowel het aantal slachtoffers als de economische schade te betrekken. Deze schadetypen worden bij een ramp als belangrijkste gezien en zijn het meest geschikt voor een goede afweging. Dit komt ook naar voren uit het feit dat de meeste risicomaten in literatuur zich beperken tot deze schadetypen.

Keuze maten

Op basis van de genoemde overwegingen zijn de volgende maten gekozen die geschikt zijn voor het bepalen van het overstromingsrisico en de besluitvorming hierover. Het betreft het individueel risico, de FN curve en de economische optimalisatie.

Met het **individueel risico** is een ruimtelijk beeld van de risico's binnen de dijkkring te geven en zijn "gevaarlijke" plaatsen aan te wijzen. Het is zodoende een zeer geschikt instrument om een koppeling te maken met het ruimtelijke ordeningsbeleid. Het risico wordt beoordeeld om individueel niveau, zodat het mogelijk is via een normering een bepaalde "basisveiligheid" vast te stellen.

De **FN curve** of het **groepsrisico** geeft een duidelijke weergave van kansen en gevolgen is zodoende zeer geschikt voor het maken van een vergelijking met andere sectoren en het weergeven het effect van maatregelen.

De **economische optimalisatie** is zeer geschikt voor de weergave van het effect van verschillende maatregelen op het economisch risico. Op deze wijze zijn de kosten van de maatregelen (investeringen) af te wegen tegen de baten, de daling van het risico. De



methode is zeer geschikt om de economisch optimale strategie voor het uitvoeren van verschillende risico reducerende maatregelen vast te stellen.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de aspecten die van belang bij de keuze van deze risicomaten.

Tabel: Overzicht belangrijkste aspecten geselecteerde risicomaten

	Weergave effect maatregelen	Bestuurlijke Beoordeling	Niveau	Overige aspecten
Individueel risico	Effecten op lokaal niveau	Goed	Individueel	Geschikt voor koppeling met ruimtelijke ordening, basisveiligheid
FN curve Groepsrisico	Effecten voor gehele dijkkring mbt slachtoffers	Zeer goed	Uit nationale afweging lokale norm bepalen	Geschikt voor vergelijking risico's
Economische optimalisatie	Effect investeringen maatregelen (kosten) op daling economisch risico (baten)	Redelijk	Lokaal (dijkkring)	Weergeven en afwegen verschillende verbeteringsmaatregelen

11.3.2 Voorstel normering

Tot slot van het hoofdstuk is bij de gekozen risicomaten een voorstel voor normering gedaan

Individueel risico

In paragraaf 10.1.1 is aangegeven dat het individueel risico bij permanente aanwezigheid berekend dient te worden. Bij het vaststellen van een normering voor overstromingen is de VROM norm ($IR < 10^{-6}$) als uitgangspunt gekozen. De VROM norm is van toepassing voor ongevallen met chemische installaties. Vergeleken met een chemische ramp is een overstroming een meer natuurlijke ramp. Een natuurlijke ramp heeft ten opzichte van een industriële ramp een meer "onvermijdelijk" karakter en wordt daardoor eerder geaccepteerd. Daarom wordt voorgesteld een meer soepele normering dan de VROM norm te kiezen en het overstromingsrisico te normeren met:

$$IR < 10^{-5}$$

Deze norm wordt voorgesteld voor woonbebouwing. In paragraaf 11.2.2 is aangegeven dat het mogelijk is de norm te differentiëren voor verschillende typen grondgebruik. Bijvoorbeeld voor recreatiegebieden, waar maar een klein deel van de tijd personen aanwezig zijn, kan een hoger IR aanvaardbaar zijn.

FN curve

Zoals gesteld in paragraaf 11.3.1 dient het vaststellen van norm te gebeuren op nationale schaal. Op basis van slechts de FN curve van de Betuwe dijkkring is nog onvoldoende inzicht in de risico's op nationale schaal en kan nog geen norm worden voorgesteld. Meer inzicht is nodig in de risico's van andere dijkringen. Het vraagt een zeer grote inzet van middelen om de risico's van alle dijkringen te bepalen. In eerste instantie kan worden volstaan met een analyse van de risico's van de grootste dijkringen zoals Centraal Holland.

Economische optimalisatie

Met deze methode is een economisch optimum te bepalen waarin de som van investeringen in veiligheidsmaatregelen en economisch risico minimaal is. De vraag is of dit economisch optimum als harde norm gehanteerd moet worden. Dit hangt af van de benodigde investeringen in de verschillende dijkkringgebieden, ook in relatie tot andere maatschappelijke uitgaven.

In eerste instantie is de economische optimalisatie vooral geschikt voor de afweging van maatregelen en zijn de normen vast te stellen aan de hand van het individueel risico en de FN curve.

Tot slot

De gekozen aanpak komt gedeeltelijk overeen met de door TAW gekozen methode in [TAW, 1988]. Hierin is voorgesteld de risico's te normeren met het individueel risico, totaal risico en de economische optimalisatie. Een verdere vergelijking is gegeven in bijlage 11.D.

De keuze voor de gewenste beveiliging van Nederland tegen overstromingen dient uiteindelijk in een politiek-maatschappelijk debat gemaakt te worden. Vanuit een technisch perspectief is hieraan een bijdrage te leveren door inzicht te geven in de overstromingsrisico's.



12 Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk bevat de conclusies (12.1) en aanbevelingen (12.2) die volgen uit deze studie.

In de studie is een overzicht van kwantitatieve risicomaten tot stand gekomen door een literatuurstudie. Per risicomaat is een overzicht gegeven van de opbouw van de risicomaat, de mathematische uitdrukking, het toepassingsgebied en de daarin gehanteerde normering. Op basis van verschillende criteria zijn enkele risicomaten geselecteerd om verder uit te werken. De geselecteerde maten zijn in de volgende vier groepen in te delen, met daarachter de voor nader onderzoek geselecteerde maten vermeld.

Individueel risico: individueel risico (IR) volgens VROM, IR volgens TAW

Maatschappelijk risico: gesommeerd gewogen risico, verwachtingswaarde uit individueel risico contouren, FN curve (= groepsrisico), verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers, risk integral, totaal risico

Economisch risico: FG curve, verwachtingswaarde van de economische schade, economische optimalisatie

Potentiële schade: people at risk, maximale ongevalsgrootte in slachtoffers, potentiële economische schade

Met deze maten is het overstromingsrisico berekend voor een bestaande dijkkring, de Betuwe, Tieler- en Culemborger Waarden (de Betuwe dijkkring).

12.1 Conclusies

Naar aanleiding van dit onderzoek zijn op drie gebieden conclusies te trekken. Het betreft: de bepaling en weergave van overstromingsrisico's, vergelijking met de omgang met risico's in andere sectoren en de bruikbaarheid van risicomaten in een bestuurlijke afweging.

Bepaling en weergave van overstromingsrisico's

1. In deze studie is aangetoond dat het mogelijk is de overstromingsrisico's voor een bestaande dijkkring te bepalen en weer te geven met de geselecteerde risicomaten. Naar verwachting zijn de overstromingsrisico's van de andere dijkkringen in Nederland met deze risicomaten op dezelfde wijze te bepalen.
2. Alle uitgewerkte risicomaten zijn te berekenen op basis van drie elementen:
 - de kansen op de overstromingsscenario's
 - het overstromingsverloop per scenario
 - gebiedsgegevens met betrekking tot economische waarde of de aanwezigheid van personen in het gebied
3. Het al dan niet meenemen van evacuatie in de berekening van de kans op overlijden bij een overstroming heeft een zeer grote invloed op de omvang van de individuele en maatschappelijke risico's.

Vergelijking met de omgang met risico's in andere sectoren

Deze vergelijking heeft zich grotendeels beperkt tot het Nederlandse externe veiligheidsbeleid. Uit conclusie 1 volgt dat het mogelijk is overstromingsrisico's uit te drukken met de binnen het externe veiligheidsbeleid gebruikte risicomaten, het individueel- en groepsrisico.

4. Uit de berekeningen volgt dat de risico's van een overstroming van de Betuwe dijkkring:
 - hoog zijn ten opzichte van de risico's in het externe veiligheidsbeleid.
 - de binnen het externe veiligheidsbeleid gehanteerde normen voor individueel- en groepsrisico overschrijden.



Bruikbaarheid risicomaten in bestuurlijke afweging

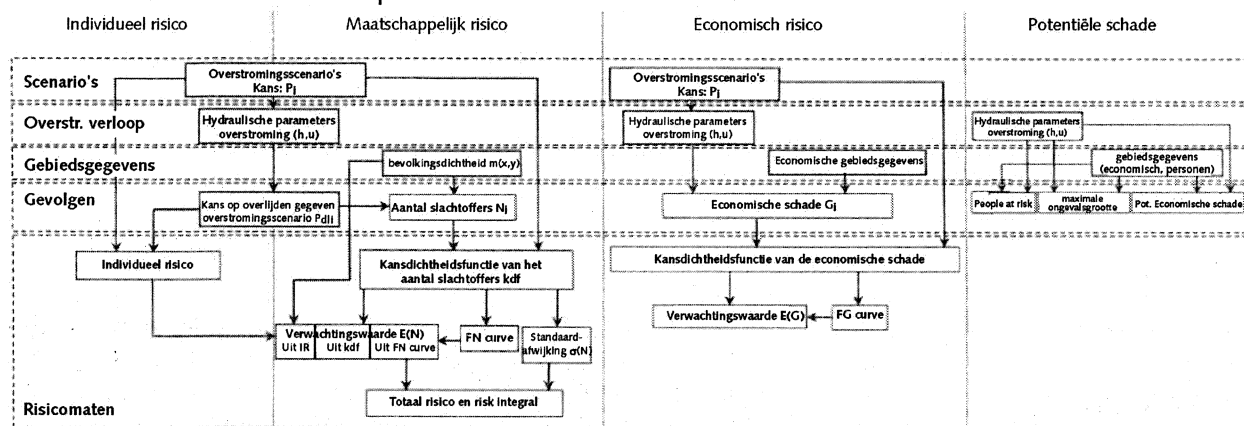
5. Geconcludeerd is dat drie maten geschikt zijn voor de weergave van overstromingsrisico's en de besluitvorming hierover. Het betreft het individueel risico, het groepsrisico en de economische optimalisatie.

In onderstaande tekst zijn de conclusies gemotiveerd en, waar nodig, verder uitgewerkt:

Conclusie 1 volgt uit het feit dat het mogelijk is gebleken met alle geselecteerde risicomaten het overstromingsrisico voor de Betuwe dijkkring te berekenen. De hierbij gebruikte methoden voor kans-, gevolg- en risicoberekening zijn ook toepasbaar voor andere dijkkringen. Daarom mag verwacht worden dat de overstromingsrisico's voor andere dijkkringen met deze risicomaten op dezelfde wijze te bepalen zijn.

Conclusie 2:

In onderstaande figuur is aangegeven hoe de risico's van een overstroming met de verschillende risicomaten bepaald kunnen worden



Figuur 12-1: overzicht van wijze van berekening van het overstromingsrisico met de uitgewerkte risicomaten (deze figuur is groter opgenomen in bijlage 10.A)

Uit deze figuur blijkt dat de risicomaten zijn te berekenen op basis van de scenariokansen, het overstromingsverloop en de gebiedsgegevens.

Conclusie 3:

Het individueel en maatschappelijk risico zijn te bepalen op basis van hetzelfde slachtoffermodel. Het betreft het in hoofdstuk 5 ontwikkelde model, waarin de kans op overlijden bij een overstroming is te berekenen bij permanente aanwezigheid en met evacuatie. Het al dan niet meenemen van evacuatie in de berekening van de kans op overlijden bij een overstroming heeft een zeer grote invloed op de omvang van de individuele en maatschappelijke risico's.

Bij berekening van beide typen maten is in deze studie de volgende keuze gemaakt:

- Het individueel risico wordt in navolging van het IR in het externe veiligheidsbeleid berekend uitgaande van permanente aanwezigheid van personen.
- Bij het maatschappelijk risico is de daadwerkelijke aanwezigheid van personen van belang en is evacuatie meegenomen in de berekening

Conclusie 4

Het externe veiligheidsbeleid richt zich op de bescherming van personen en milieu tegen de risico's van installaties, luchthavens en het vervoer van gevaarlijke stoffen.

Uit een vergelijking blijkt dat de berekende risico's voor een overstroming van de Betuwe dijkkring hoog zijn ten opzichte van de risico's in het externe veiligheidsbeleid, uitgedrukt in de maten: individueel risico, gesommeerd gewogen risico, groepsrisico en verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers.

Daarnaast overschrijden de berekende risico's voor een overstroming van de Betuwe dijkkring de binnen het externe veiligheidsbeleid gehanteerde normen voor individueel- en groepsrisico.

Bij deze conclusies moet worden opgemerkt dat het al dan niet meenemen van evacuatie grote invloed op de omvang van de berekende risico's heeft. Ook als deze onzekerheid in acht wordt genomen zijn de risico's van de Betuwe dijkkring hoog ten opzichte van de risico's in het externe veiligheidsbeleid en voldoen ze niet aan de binnen het externe veiligheidsbeleid gehanteerde normen voor individueel en groepsrisico.

De vraag is echter in hoeverre overstromingsrisico's vergelijkbaar zijn met de risico's in het externe veiligheidsbeleid en of de daarin gehanteerde normen van toepassing kunnen zijn voor het overstromingsrisico. De acceptatie van risico's is afhankelijk van verschillende factoren. In dit kader worden bijvoorbeeld natuurlijke risico's, zoals het overstromingsgevaar, eerder geaccepteerd dan industriële risico's, zoals die in het externe veiligheidsbeleid [V&W, 2000].

Conclusie 5:

De maten individueel risico, groepsrisico en economische optimalisatie zijn om de volgende redenen als meest geschikt gekozen:

Met deze maten wordt het overstromingsrisico op drie niveaus beoordeeld, namelijk het individueel, lokaal (of dijkkring) en nationaal niveau. Met deze maten worden de belangrijkste schadetypen beoordeeld, namelijk slachtoffers en economische schade. Deze maten geven inzicht in het effecten van maatregelen en bijbehorende economische kosten en baten.

Hieronder volgt een beschrijving van de belangrijkste kenmerken van de drie maten:

Het **individueel risico** (IR) geeft de kans op overlijden op een bepaalde plaats en wordt berekend bij permanente aanwezigheid. Het IR is per locatie binnen de dijkkring te bepalen en is zeer geschikt om "gevaarlijke" plaatsen binnen de dijkkring aan te geven. Het IR is toepasbaar als instrument in ruimtelijke ordeningsbeleid: namelijk in afwegingen met betrekking tot nieuw in te richten, nog onbewoonde locaties en voor het vaststellen van zoneringen.

Met de norm wordt voor iedere burger een bepaalde "basisveiligheid" vastgesteld. Het is mogelijk de hoogte van de norm te verbinden aan het type grondgebruik.

Met de **FN curve** of het **groepsrisico** is de overschrijdingskans van het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming van een dijkkring in een grafiek weer te geven. Deze maat is zeer geschikt voor het weergeven van het effect van maatregelen en het maken van een vergelijking met andere risico's.

In een FN curve kan de aanvaardbaarheid van het totale overstromingsrisico voor alle dijkkringen op nationaal niveau worden afgewogen. Hieruit is het toelaatbare risico per dijkkring af te leiden.

In de **economische optimalisatie** zijn de effecten van investeringen in dijkverbeteringen weer te geven op de overstromingskans en het economisch risico. Hierin is de huidige kennis met betrekking tot het bepalen van overstromingskansen, gevolgen en risico's toe te passen. De economische optimalisatie is zeer geschikt bij het vaststellen van een economisch optimale strategie voor het uitvoeren van verschillende risico reducerende maatregelen.



12.2 Aanbevelingen

Naar aanleiding van dit onderzoek zijn enkele aanbevelingen gedaan.

- Het toepassen van het individueel- en groepsrisico voor het weergeven van overstromingsrisico's van dijkeringen. Geconcludeerd is dat deze maten geschikt zijn voor weergave van overstromingsrisico's en de besluitvorming hierover. In de toekomst kan mogelijk het overstromingsgevaar worden genormeerd met deze maten.
- Het toepassen van de economische optimalisatie bij de afweging van dijkverbeteringen. In een case study is namelijk aangetoond dat het effect van maatregelen op het risico en de overstromingskans sterk afhankelijk is van de gekozen wijze van investeren. De economische optimalisatie is een zeer geschikte methode om deze effecten weer te geven en geeft inzicht in de effectiviteit van dijkverbeteringsmaatregelen. In deze methode is de huidige kennis voor het bepalen overstromingskansen, -gevolgen en -risico's toe te passen.
- Het bepalen van de overstromingsrisico's voor andere dijkeringen. Onbekend is immers of de overstromingsrisico's van de Betuwe dijkkring relatief hoog of laag zijn. Uiteindelijk doel is inzicht verkrijgen in de overstromingsrisico's op landelijke schaal. De komende jaren zullen de overstromingskansen van alle dijkeringen in Nederland worden bepaald. Een eerste indruk van de omvang van de risico's per dijkkring is te verkrijgen door de overstromingskans te relateren aan de potentiële economische schade of het aantal bedreigde personen.
- Onderzoek doen naar de berekening van de scenario kansen. Berekening van de overstromingsrisico's is onder meer gebaseerd op de kansen op overstromingsscenario's. Op dit gebied is inzicht nodig in de volgende aspecten:
 - Systeemwerking van dijkeringen aan een rivier. Welke dijkkring faalt als eerste en wat heeft dit voor ontlastend effect op de andere dijkeringen
 - Invloed van kunstwerken op de overstromingskansen. Deze invloed is in de huidige berekening niet meegenomen. Het meenemen van kunstwerken zal invloed hebben op de wijze van berekening van scenario kansen.
- Inzicht verkrijgen in maatschappelijke risicobeleving en aanvaarding van overstromingen door (psychologisch) onderzoek. Dit is van belang voor bepalen van een aanvaardbaar risico niveau en een bijbehorende normering.

Aanbevelingen op het gebied van slachtofferberekening:

De methode van slachtofferberekening vormt de basis voor de bepaling van de individuele en maatschappelijke risico's.

Op het gebied van slachtofferberekening zijn de volgende aanbevelingen gedaan:

- Onderzoek doen naar de juistheid van de in de standaardmethode en in deze studie gebruikte verbanden tussen overstromingsparameters (overstromingsdiepte en stroomsnelheid) en de kans op overlijden. De huidige methoden voor slachtofferberekening zijn grotendeels gebaseerd op gegevens van de Watersnoodramp van 1953. Meer inzicht in deze verbanden is bijvoorbeeld te verkrijgen door gegevens van (recente) overstromingen in het buitenland te analyseren.
- Onderzoek doen naar de invloed van stijgsnelheid op het aantal slachtoffers. De resultaten van de slachtofferberekeningen met de standaardmethode zijn zeer gevoelig voor de waarde van de stijgsnelheid (zie ook bijlage 6.A).
- Het aantal slachtoffers wat door stroomsnelheid valt meenemen in de standaardmethode.
- De HIS Schade en Slachtoffer Module uitbreiden zodat het individueel risico berekend en weergegeven kan worden.

Het al dan niet optreden van evacuatie en de modellering hiervan heeft grote invloed op het aantal slachtoffers en de berekende risico's. In deze studie is een vereenvoudigd verband

tussen evacuatie en vluchttijd aangenomen. Voor een nauwkeuriger modellering van evacuatie wordt onderzoek op de volgende gebieden aanbevolen:

- Het vaststellen van de significante factoren die van invloed zijn op het verloop van een evacuatie, bijvoorbeeld waarschuwingstijd, de aanwezigheid van hoge gronden en infrastructuur.
- Het kwantificeren van een verband tussen deze factoren en het verloop van de evacuatie. Hierin kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van bestaande overstromings- en verkeersmodellen.
- Onderzoeken of gegevens uit de POLDEVAC studie zijn te gebruiken voor twee bovenstaande punten. Deze studie wordt op het moment uitgevoerd door Rijkswaterstaat.

Daarnaast wordt aanbevolen:

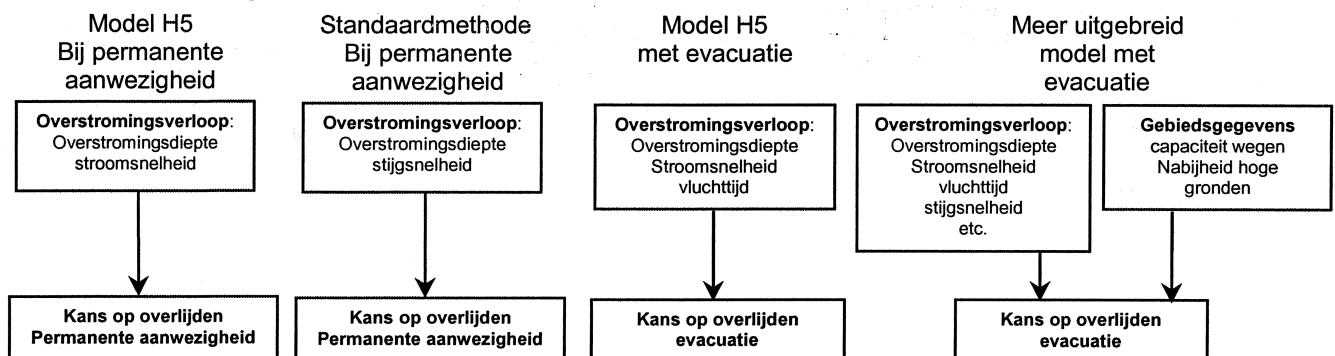
- Bij het kwantificeren van evacuatie met verschillende scenario's werken om gevoeligheden en onzekerheden aan te tonen. Hierbij kan een aantal evacuatie-scenario's met bijbehorend aantal slachtoffers worden opgesteld, bijvoorbeeld voor verschillende waarschuwingstijden.

Uiteindelijk doel is tot één geïntegreerde modellering te komen om de kans op overlijden en het aantal slachtoffers te bepalen.

In het in deze studie gebruikte model is de kans op overlijden te berekenen aan de hand van een beperkt aantal parameters van het overstromingsverloop (overstromingsdiepte, stroomsnelheid, eventueel vluchttijd). De kans op overlijden is te berekenen bij permanente aanwezigheid en met evacuatie.

In de standaardmethode wordt de kans op overlijden bij permanente aanwezigheid berekend met de parameters overstromingsdiepte en stijgsnelheid.

In een meer uitgebreid model zijn meerdere parameters mee te nemen. Dit is weergegeven in onderstaande figuur:



- *Figuur 2: Modellen voor berekening van de kans op overlijden en het aantal slachtoffers bij een overstroming. De twee linker schema's zijn de modellen gebruikt in deze studie. Het rechter schema is een voorstel voor een meer uitgebreid model*

Literatuur

Achter de literatuur staat het onderwerp cursief vermeld

Abt, S.R.; Wittler, R.J.; Taylor, A.; Predicting human instability in flood flows
Uit: Hydraulic Engineering – proceedings of the 1989 National Conference on Hydraulic Engineering;
Ports, M.A. (ed.); 1989 American society of civil engineers
Overlijden Stroomsnelheid

Ale, B.J.M.; Laheij, G.M.H.; Uijt de Haag, P.A.M.; Handrekenmethode voor het groepsrisico bij Externe
Veiligheid; RIVM (rap. Nr. 610066004); jan. 1996
Potential loss of life: PLLI en PLLF

Ale, B.J.M.; Laheij, G.M.H.; Uijt de Haag, P.A.M.; Zoning instruments for major accident prevention;
uit: Probabilistic safety assesment and management '96; ESREL 96 - PSAM-III, p.1911
Potential loss of life: PLLI en PLLF

Barlettani, M.; Fruttuoso, G.; Lombardi, P.; An ecological approach for risk and impact ranking;
Proceedings New risk frontiers; Society of risk analysis; Drottz Sjoberg, B.M. (editor); Stockholm 1997
Energetic impact index

Boer, E. de; Sanders, F.M.; Collegedictaat CTip1070 "Infrastructuurplanning", deel 2;
TU Delft, augustus 1999
Multi Criteria Analyse

Bohnenblust, H.; Risk-based decision making in the transportation sector;
In: Jorissen, R.E. et al; Quantified societal risk and policy making;
Kluwer academic publishers ,1998

Bouwdienst, afdeling risicoanalyse; Inventarisatie kennisleemten overstromingsrisico;
RWS 1999

Bowles, D.S.; Anderson, L.R.; Evelyn, J.B.; Glover, T.F.; Dorpe, D.M.van; Alamo dam demonstration
risk assesment; 1999 ASDSO meeting,
<http://www.engineering.usu.edu/uwrl/www/faculty/DSB/alamo.html>
Risicomaten stuwdammen

Carter, J.; Riley, N.; The role of societal risk in land use planning near hazardous installations and in
assessing the safety of the transport of hazardous materials at the national and local level;
In: Jorissen, R.E. et al; Quantified societal risk and policy making;
Kluwer academic publishers ,1998
Risk integral

Cassidy, K.; UK risk criteria for the siting of hazardous installations and development in their vicinity
In: Probabilistic safety assessment and management; ESREL Cacciabue, C.(ed.), p.2203

CUR onderzoekscommissie "risico analyse" (E 10); Kansen in de civiele techniek
CUR; maart 1997
Risico analyse, totaal risico, afweging risico's op nationale schaal

Chicken, John.C.; The risk ranking technique in decision making;
Pergamon Press; 1989
Risk ranking technique

Dantzig, D. van; Kriens, J.; Het economisch beslissingsprobleem inzake de beveiliging van Nederland
tegen stormvloeden; Rapport Delta Commissie, Deel III; Staatsdrukkerij 's Gravenhage; 1960
economische optimalisatie

Directoraat Generaal Goederenvervoer (DGG), Ministerie Verkeer en Waterstaat; Externe veiligheid
vervoer gevaarlijke stoffen, 1997
Groepsrisico, individueel risico

- Floyd, P.J.; Ball, D.J.; Societal risk criteria – possible futures
In: Foresight and precaution; Cottam, Harvey, Pape & Tait (eds); Balkema Rotterdam, 2000
FN curves en normen
- Fullwood, Ralph R.; Probabilistic safety assesment in the chemical and nuclear industries;
Butterworth -Heinemann; okt 98
- Gelder, P.H.A.J.M. van, 2000. Statistical Methods for the Risk-Based Design of Civil Structures , PhD-thesis (249 pp), Delft University of Technology, ISBN 90-9013452-3.
utiliteit
- Gezondheidsraad, Commissie Risicomaten en risicobeoordeling; Niet alle risico's zijn gelijk;
Den Haag; 1995 (publ.nr 1995/06)
risico algemeen
- Gezondheidsraad, Commissie Risicomaten en risicobeoordeling; Risico, meer dan een getal;
Den Haag; 1996 (publ.nr 1996/03)
risico algemeen
- Habbema, J.D.F.; kosten en effecten van bevolkingsonderzoek op baarmoederhalskanker;
mei 1988;
CSX, QALY
- Hansson, S.O.; Incomparable risks;
Proceedings New risk frontiers; Society of risk analysis; Drottz Sjöberg, B.M. (editor); Stockholm 1997,
p.594
- Hesse, M. van; Veiligheidsberekeningne voor de luchthaven Schiphol in het kader van de milieubalans
1997; National Aerospace Laboratory, NLR; NLR CR 97313 L; 1997
veiligheid luchthavens
- Hirschberg, S.; Spiekerman G.; Dones R.; Comparative assesment of severe accident risks in the
energy sector; Proceedings New risk frontiers; Society of risk analysis; Drottz Sjöberg, B.M. (editor);
Stockholm 1997, p.824
Categorisering risico's
- HKV lijn in water; N. Vrisou van Eck; M.Kok; A.C.W.M.Vrouwenvelder
Standaardmethode schade en slachtoffers als gevolg van overstromingen, okt 2000
Standaardmethode schade en slachtofferberekening
- Jager, F.G.J. de; Beschermen tegen overstromen;
afstudeerraport Civiele Technologie en Management aan de Universiteit Twente
- Jansen, H.M.A.; Financieel economische risicolimiet;
Ministerie van VROM, directie stralenbescherming; november 1988
Financieel economische risicolimiet
- Jorissen, R.E.; Stallen, P.J.M.; Quantified societal risk and policy making;
Kluwer Academic Publishers; 1998
diverse maten maatschappelijk risico
- Koning, H.J. de; e.a.; de kosten en effecten van bevolkingsonderzoek naar borstkanker;
Rotterdam; april 1990
CSX
- Lind, N.; Hartford, D.; Probability of human instability in a flooding: A hydrodynamic model
Proceedings Applications of statistics and probability; Melchers, R.E.; Stewart, M.G. (editors);
Balkema, Rotterdam, 2000, p1151
Stabiliteit in stroomsnelheid
- Lystsov, V.N.; Murzin, N.V.; Quantification of risk for ecosystem survival



Proceedings Risk Analysis, Facing the new millenium; Society of risk analysis; Goossens, L.H.J. (editor); Rotterdam 1999, p.879
index voor ecosystemen

Manen, S.E. van; Vrijling, J.K.; The problem of the valuation of a human life;
ESREL 1996 – PSAM III, Kreta juni 1996
CSX, waarde mensenleven

Merz, H.A.; Schneider, T.; Bohnenblust, H.; Bewertung von technischen Risiken;
VDF Hochschulverlag, ETH Zurich; 1995;
perceived collective risk

Nathwani, J.S.; Lind, N.C.; Pandey, M.D.; Affordable safety by choice: the life quality method;
Institute for risk research, university of Waterloo, Canada; 1997
Life Quality Index

Parker, Dennis J.; Green, Collin.H.; Thompson, Paul M.; Urban flood protection benefits;
Gower Technical Press; 1987
Kosten baten analyse overstromingen

Peerbolte, E.B.; Sea-level Rise and Safety;
Universiteit Twente; 1993

Penning-Rowsell, Edmund.C.; e.a.; The economics of coastal management;
Belhaven Press; 1992
Kosten baten analyse overstromingen

Pidgeon, N.; Hopkins, L.; "Value of life" and insensitivity to quantity in contingent valuation judgements;
artikel uit Foresight and Precaution; 2000
Contingent valuation, Value of Statistical life

Piers, M.; methods and models for the assessment of third party risk due tot aircraft accidents in the vicinity of airports and their implications for societal risk; In: Jorissen, R.E. et al; Quantified societal risk and policy making; Kluwer academic publishers ,1998
Luchthavens (Schiphol): Gesommeerd gewogen risico, FN curves

Projectgroep Integraal veiligheidsbeleid HSL-Zuid; Sturen op veiligheid - eindrapport fase 1 - Integraal veiligheidsplan HSL-Zuid;
risico algemeen

projectgroep "Risicobeleid - V&W"; Grondslagen voor V&W veiligheidsbeleid;
jan. 1995
risico algemeen

Rowe, W.D.; An anatomy of risk;
John Wiley; 1977
waardering mensenleven, risico algemeen

Slijkhuis, K.A.H.; De invloed van statistische onzekerheid op de bepaling van dijkhoogtes; TUDelft (afstudeerwerk), oktober 1996
onzekerheid in economische optimalisatie

Stallen, P.J.M.; Geerts, R.; Vrijling, H.K.; Three conceptions of quantified societal risk;
Paper uit Risk Analysis, Vol.16 No.5 1996
IR, GR

Stoop, J.A.; Integrating probabilistic and deterministic modelling, towards a "causal" model?
Paper, TU Delft, 2000
F PAR curve

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; Grondslagen voor waterkeren;

A.A.Balkema Uitgevers BV; jan 1998
waterkeren algemeen

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; Normen voor waterkeringen (concept nota)
waterkeren algemeen, risiconorm en maat

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; van overschrijdingskans naar
overstromingskans (ook achtergrondrapport)
Juni 2000
waterkeren algemeen, overstromingskansen Betuwe

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; Some considerations of an acceptable level of
risk in the Netherlands; (9.5-30), 1988
risiconormen, IR, TR, economische optimalisatie

Tengs, T.O., et al.; Five-hundred live saving interventions and their cost-effectiveness;
In Risk analysis, vol 15, no.3, 1995, p.369
CSX, CSXY

Uittenbroek, M.; Op de vlucht voor het water, de invloed van een Hoogwater Informatie Systeem op
evacuatie; Hogeschool Rotterdam, juni 1999
Evacuatie

Union of concerned Scientists (UCS); H.W.Kendall; The risk of nuclear power reactors;
Cambridge; aug 1977
nucleaire risico's

USBR: U.S.Department of interior Bureau of Reclamation; Guidelines for achieving public protection in
dam safety decision making; 1997
Stuwdammen normen

Verkeer en Waterstaat, Ministerie van; Informatiebundel risicoperceptie en risicocommunicatie
Den Haag, 2000
Risico beleving en acceptatie

Vlek, C.A.J.;Stallen, P.J.M; Persoonlijke beoordeling van risico's
Instituut voor experimentele psychologie, RU Groningen; 1979
risico algemeen, individueel risico

Voortman, H.G.; Een risico-gebaseerde optimalisatiemethode voor dijkringen
TU Delft, januari 2000
Economische optimalisatie.

Voortman, H.G.; Risk analysis in flood prone areas – a case study;
Concept paper
FN curve voor dijkkring

Vos, P. de; Jorissen, R., Struik, P. (TAW); Denken over risico en veiligheid;
TAW; juni 1991
risico algemeen, CSX

Vrijling, J.K.; Wessels, J.F.M.; Hengel, W. van; Houben, R.J.; What is acceptable risk;
Delft, augustus 1993
IR, TR

Vrijling, J.K.; Hengel, W. van; Houben, R.J.; A framework for risk evaluation.
Journal of hazardous materials 43, p.245-261, 1995

Vrijling, J.K; Probabilistisch ontwerpen in de waterbouwkunde, collegedictaat WA5310;
TUDelft nov. 1996
economische optimalisatie



Vrijling, J.K., van Gelder, P.H.A.J.M van, Societal risk and the concept of risk aversion
In: Advances in Safety and Reliability, Vol. 1, pp. 45-52, 1997
Maten maatschappelijk risico, risico aversie

Vrijling, J.K.; Hengel, W. van; Houben, R.J; Acceptable risk as a basis for design
Reliability engineering and system safety, p.141-150, 1998

Vrijling, J.K.; Gelder, P.H.A.J.M. van, An Analysis of the Valuation of a Human Life
In: ESREL 2000 AND SRA - EUROPE ANNUAL CONFERENCE, "FORESIGHT AND PRECAUTION",
Volume 1, pp.197-200, Eds. M.P. Cottam, D.W. Harvey, R.P. Pape, & J.Tait, May 14-17 2000
Edinburgh, Scotland, UK.

VROM (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieubeheer); Nationaal
milieubeleidsplan hierin: Nota omgaan met risico's; SDU uitgeverij, 1989

Vrouwenvelder, A.C.W.M.; Vrijling, J.K.; Normstelling acceptabel risiconiveau
TNO, juni 1995
IR, TR, gevoeligheid, verdelingen, voorbeelden

Vrouwenvelder, A.C.W.M.; Steenbergen, H.; Kansen op inundatiescenario's (notitie PICASO)
TNO, Augustus 2000

Waarts, P.H.; Methode voor de bepaling van het aantal doden als gevolg van inundatie
TNO, september 1992
Slachtofferbepaling IR

WL|Delft Hydraulics en TNO-bouw ism RWS bouwdienst afd. risicoanalyse; Standaardmethode voor
Schade Slachtofferbepaling, definitiestudie; maart 1999
overstroming

Yelokhin, A.N., et al.; complex risk analysis for Novgorodsky region's population;
In: New Risk Frontiers, SRA, 1997

Zeckhauser, R.; Principles for saving and valuing lives; in Rici, P.F.; Sagan, L.A., Whipple, C.G. (ed);
Proceedings of the Nato Study Institute on Technological Risk Assessment; Martinus Nijhoff Publicaties;
1984 p.133-168
waardering mensenleven

Gebruikte Software

Arcview
Sobek: delft 1D2D
HIS Schade en slachtoffer module
PC Ring
PC Ring, scenario module
Pascal

Websites:

RIVM site: http://www.milieubalans.rivm.nl/themas/ind_4_8_vt_8000e.html
NORSOK: http://www.nts.no/norsok/z/z01301/z01301_1.htm
<http://www.engineering.usu.edu/uwrl/www/faculty/DSB/alamo.html>

Andere bronnen:

Sheets Presentatie B. Ale (RIVM), TAW dag 6-4-2000

Verklarende woordenlijst

Betrouwbaarheidsindex

Maat voor de betrouwbaarheid van een dijkvak, dijkkring of overstromingsscenario. Om te rekenen naar een faalkans (zie bijlage 4.B).

Dijkkring

Een gebied dat is beveiligd tegen overstroming door een stelsel van (primaire) waterkeringen.

Dijkvak

Deel van een dijkkring waarvoor belasting en sterkte eigenschappen vergelijkbaar zijn.

Economische optimalisatie

Methode waarin de totale kosten in een systeem worden geminimaliseerd. Deze bestaan uit het gekapitaliseerd risico en de investeringen in maatregelen om het systeem veiliger te maken.

Evacuatie

Ontruiming door de bevolking van het door overstroming bedreigde gebied.

Externe veiligheidsbeleid

Dit richt zich op de bescherming van personen en milieu tegen de risico's van installaties, luchthaven en het vervoer van gevaarlijke stoffen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de risicomaten individueel- en groepsrisico.

FN curve

Grafiek waarin de overschrijdingskans van een bepaald aantal slachtoffers op de y-as is uitgezet tegen het aantal slachtoffers op de x-as.

Groepsrisico

Kans op een bepaald aantal slachtoffers, weer te geven in een FN curve.

HIS Schade en Slachtoffermodule (HISSTM)

Computerprogramma voor de berekening van de economische schade en het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming. Het programma maakt gebruik van de standaardmethode [HKV, 2000].

Individueel risico

De kans op overlijden per jaar op een bepaalde plaats ten opzichte van een beschouwde activiteit. Te berekenen bij permanente aanwezigheid en met evacuatie.

Kans optimalisatie

Methode voor het uitvoeren van dijkverbeteringen gericht op verlaging van de overstromingskans van de dijkkring.

Permanente aanwezigheid

Uitgangspunt bij berekening van het aantal slachtoffers van een overstroming. Hierbij is aangenomen dat personen permanent binnen de dijkkring aanwezig zijn.

People at risk

Het aantal bedreigde personen. Het aantal personen in het gebied waarin de mogelijke effecten van een ramp merkbaar (kunnen) zijn.



PICASO

Pilot Case Overstromingsrisico. Hierin wordt het hele traject voor berekening van het overstromingsrisico doorlopen voor een bestaande dijkkring, namelijk voor de Betuwe, Tieler- en Culemborger Waarden.

(individueel) risicocontouren

Lijnen die plaatsen met gelijk individueel risico op een kaart verbinden.

Risico aversie

Risicomaten die gebeurtenissen met grote gevolgen relatief zwaarder meewegen worden risico avers genoemd.

Risicomaat

Een kwantitatieve uitdrukking voor risico, waarin kans en gevolg zijn verbonden.

Risico neutraal

Risicomaten die alle gebeurtenissen even zwaar meewegen worden risico neutraal genoemd.

Risiconorm

Verbindt een limiterende waarde aan een risicomaat. Deze norm is veelal een uitkomst van een (politiek) besluitvormingsproces.

Risico

In de context van deze (technische) studie is risico gedefinieerd als: een functie van kansen en gevolgen.

Risico optimalisatie

Methode voor het uitvoeren van dijkverbeteringen gericht op verlaging van het overstromingsrisico van de dijkkring.

Standaardmethode schade- en slachtofferbepaling

Methode voor berekening van de economische schade en het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming. Beschreven in [HKV, 2000].

Vluchttijd

De tijd die men bij een overstroming heeft om te vluchten of geëvacueerd te worden. Wordt onder meer bepaald door de waarschuwingstijd en de plaats in de dijkkring.

Overstromingsrisico's: Een onderzoek naar de toepasbaarheid van risicomaten

Bijlagenrapport

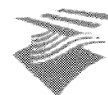


Bas Jonkman

Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-generaal Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde

 **TU Delft**



Overstromingsrisico's: Een onderzoek naar de toepasbaarheid van risicomaten

Bijlagenrapport

Februari 2001

Naam: S.N. Jonkman
Adres: Oranje Plantage 77
2611 TM Delft
Telefoon: 06-24997922
e-mail: snjonkman@yahoo.com
studienummer: (9)412158

Afstudeercommissie:
Prof.drs.ir. J.K. Vrijling
Prof.ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder
dr.ir. P.H.A.J.M. van Gelder
ir. R.E. Jorissen (RWS-RIKZ)
mevr. ir. M. Jak (RWS-DWW)
ir. J.M.J. Spijkers

Foto omslag afkomstig van Rijkswaterstaat, Meetkundige Dienst, Multimedia

Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-generaal Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde



Inhoudsopgave Bijlagen

Bijlagen Hoofdstuk 1 'Inleiding'	1
Bijlagen Hoofdstuk 2 'Overzicht risicomaten'	6
Bijlagen Hoofdstuk 4 'Keuze dijkkring en berekening overstromingsrisico'	83
Bijlagen Hoofdstuk 5 'Individueel risico'	98
Bijlagen Hoofdstuk 6 'Maatschappelijk risico'	111
Bijlagen Hoofdstuk 7 'Economisch risico'	118
Bijlagen Hoofdstuk 8 'Economische optimalisatie'	122
Bijlagen Hoofdstuk 9 'Potentiële schade'	135
Bijlagen Hoofdstuk 10 'Analyse risicoberekeningen'	137
Bijlagen Hoofdstuk 11 'Bestuurlijke analyse risicomaten'	144



Bijlagen Hoofdstuk 1 'Inleiding'

Bijlage 1.A Risico analyse	2
Bijlage 1.B vergelijking risico's in verschillende sectoren	4



Bijlage 1.A Risico analyse

Een risico analyse kan voor veel doeleinden gebruikt worden. Bijvoorbeeld voor het toetsen van de veiligheid aan een norm of het economisch optimaliseren van processen en objecten. Een algemeen doel van de risicoanalyse is het leveren van een basis voor het rationeel nemen van beslissingen.

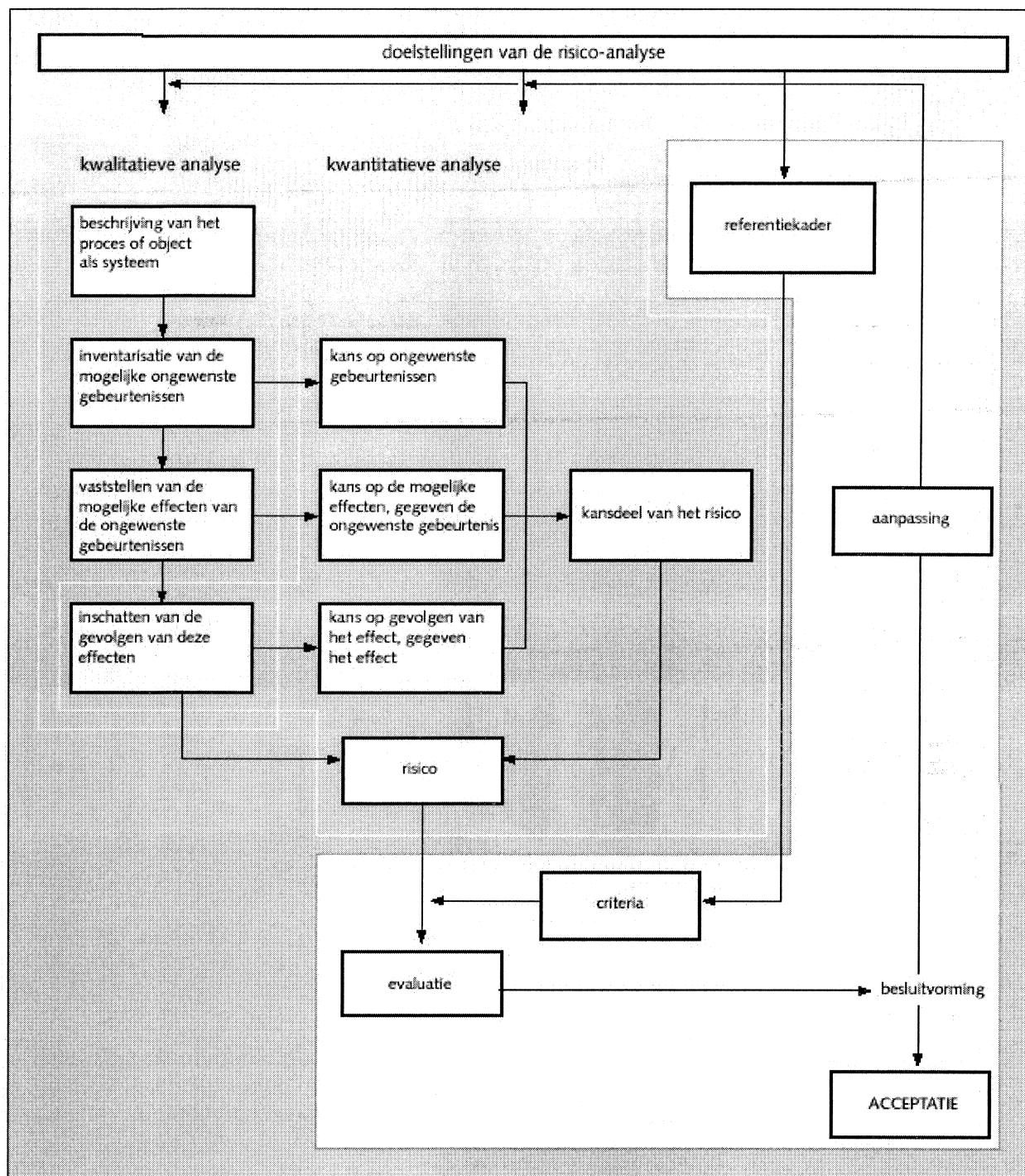
Aangezien risico een functie is van kansen en gevolgen bestaat een risico analyse uit een analyse van kansen en gevolgen. Een risico analyse kan het vaststellen en berekenen van het risico volgens een risicomaat inhouden. Dit gebeurt doorgaans vanuit een technische invalshoek.

Daarnaast kan het vaststellen van criteria en risiconormen, waaraan het risico moet voldoen, onderdeel uitmaken van de analyse. Als het risico niet voldoet aan gestelde normen kan besloten worden maatregelen te nemen om het risico te verlagen. Dit deel van de risico analyse ligt meer op bestuurlijk terrein.

In een risico analyse weergegeven zijn nu drie delen te onderscheiden:

1. een kwalitatieve analyse, bestaande uit de analyse van de functies en onderdelen van het systeem, de inventarisatie van bedreigingen, faalmechanismen, gevolgen en het vastleggen van de onderlinge samenhang
2. een kwantitatieve analyse, bestaande uit berekening van de faalkans, kwantificering van gevolgen. Uiteindelijk resultaat is de weergave van het risico volgens een bepaalde risicomaat.
3. besluitvorming en toetsing van het risico: onderdeel van deze fase kan het vaststellen van risiconormen weer

Op de volgende bladzijde zijn de onderdelen uit een risico analyse schematisch weergegeven. De figuur is afkomstig uit "Kansen in de Civiele Techniek" [CUR, 1997]:



Figuur 1: Elementen in een risico analyse [CUR, 1997]

Bijlage 1.B vergelijking risico's in verschillende sectoren

Bij de beoordeling van overstromingsrisico's is ook de vergelijking met de omgang met risico's in andere sectoren in Nederland te maken. De besluitvorming over risico's vindt binnen de Nederlandse overheid op verschillende terreinen plaats.

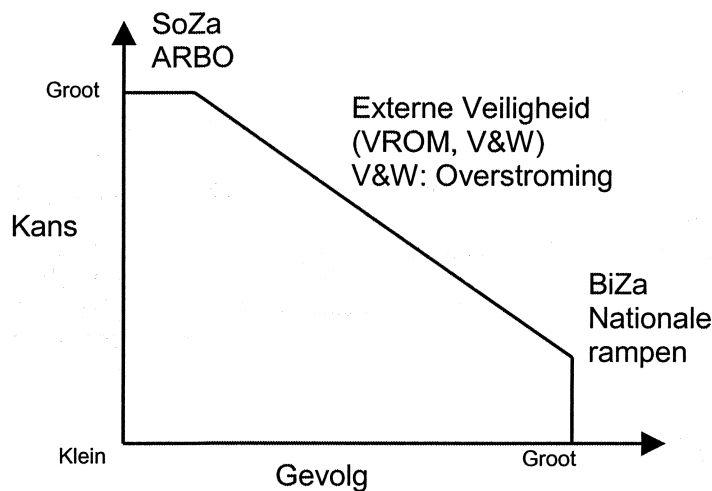
Allereerst richt de ARBO wetgeving, vanuit het ministerie van Sociale Zaken, zich op de bescherming van individuele werknemers. De risico's betreffen relatief veel voorkomende ongelukken met weinig slachtoffers.

Het ministerie van Binnenlandse Zaken richt zich op de organisatie van de rampenbestrijding, met name bij zeer grote rampen op nationaal niveau.

Het externe veiligheidsbeleid richt zich op de bescherming van personen en milieu tegen de risico's van installaties, luchthavens en het vervoer van gevaarlijke stoffen.

Ook de bescherming tegen overstromingen, die onder verantwoordelijkheid van het ministerie van Verkeer en Waterstaat valt, is als veiligheidsbeleid te zien.

In onderstaande figuur zijn de terreinen waarop de verschillende overheden actief zijn grafisch weergegeven. Hierin is de omvang van de ongevallen uitgezet tegen de kans van optreden.



Figuur 1: Risico's op verschillende terreinen binnen de Nederlandse overheid

In het ARBO beleid gaat het om omgevallen die relatief vaak voorkomen, maar die weinig schade en slachtoffers eisen. Het andere uiterste wordt gevormd door nationale rampen. De risico's uit het externe veiligheidsbeleid en het overstromingsrisico liggen qua kans van optreden en omvang hiertussen.

In deze studie zal met name een vergelijking worden gemaakt met de risico's binnen het externe veiligheidsbeleid: in de industrie, transport en in de luchtvaart. In dit kader is in het rapport van de TAW "van overschrijdingskans naar overstromingskans" ook vermeld dat "onderzocht zal worden of de kansen en gevolgen van een overstroming uitgedrukt kunnen worden in maten die in andere velden van risicobeleid gebruikelijk zijn. Het gaat daarbij om het individueel risico, het groepsrisico en het economisch risico." In het externe veiligheidsbeleid worden risico's uitgedrukt en genormeerd aan de hand van de maten individueel en groepsrisico.

In een breder kader zijn de risico's voor enkele activiteiten uitgezet naar omvang van kans en gevolg.



Figuur 2: verschillende risico's naar grootte van kans en gevolg [presentatie Ale, TAW dag 6-4-2000]

Ook hieruit blijkt dat met name de risico's binnen de luchtvaart en industrie ter vergelijking in aanmerking komen. De mogelijke omvang van de gevolgen van zulke ongelukken ligt in de orde van tientallen, honderden of zelfs duizenden doden, terwijl de kans op een ramp klein is. Ook overige gevolgen zoals economische schade en maatschappelijke ontwrichting zullen groot zijn. Het gaat hierbij om risico's met kleine kans van optreden en grote gevolgen.

Bij een vergelijking van risico's speelt niet alleen de omvang van kansen en gevolgen een rol. De beoordeling en acceptatie van risico's blijken in belangrijke mate afhankelijk te zijn van de factoren zoals de bekendheid met het risico, de beheersbaarheid, de eigen invloed en de vrijwilligheid [V&W, 2000]. De risico's met een technologische oorsprong, zoals nucleaire risico's, worden als ernstiger beoordeeld dan natuurlijke risico's, zoals aardbevingen.

Bijlagen Hoofdstuk 2 'Overzicht risicomaten'

In deze bijlagen is een overzicht gegeven van de literatuurstudie naar kwantitatieve risicomaten. Per risicomaat is de opbouw van de maat uitgewerkt en is een overzicht gegeven van toepassing en normering. Tenslotte is een verwijzing genoemd naar de literatuur, die betrekking heeft op de risicomaat. De bijlagen zijn als volgt ingedeeld:

Bijlage 2.A	Individueel risico	7
Bijlage 2.A.1	Individueel risico volgens VROM	7
Bijlage 2.A.2	Individueel risico volgens TAW	11
Bijlage 2.A.3	Normering van het individueel risico volgens Bohnenblust	13
Bijlage 2.A.4	Overige individuele risicomaten	14
Bijlage 2.B	Maatschappelijk risico	15
Bijlage 2.B.1	Gesommeerd gewogen risico	16
Bijlage 2.B.2	Verwachtingswaarde uit individueel risicocontouren	17
Bijlage 2.B.3	Scaled Risk integral	18
Bijlage 2.B.4	FN curve	19
Bijlage 2.B.5	Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers	25
Bijlage 2.B.6	Risk integral	28
Bijlage 2.B.7	Smets	30
Bijlage 2.B.8	Totaal risico	31
Bijlage 2.B.9	Bohnenblust	36
Bijlage 2.B.10	Voorbeeld berekening maatschappelijk risicomaten	37
Bijlage 2.B.11	Overzicht risicomaten maatschappelijk risico	41
Bijlage 2.C	Economisch risico	42
Bijlage 2.C.1	FG curve	42
Bijlage 2.C.2	Verwachtingswaarde van de jaarlijkse economische schade	45
Bijlage 2.C.3	Economische optimalisatie	47
Bijlage 2.C.4	Onzekerheid in de economische optimalisatie	50
Bijlage 2.D	Economische waardering van mensenlevens	52
Bijlage 2.D.1	Macro economische waardering	53
Bijlage 2.D.2	Vergelijkende aanpak	56
Bijlage 2.D.3	Utiliteit	58
Bijlage 2.D.4	Contingent valuation	61
Bijlage 2.D.5	Voor- en nadelen van de vier methoden	62
Bijlage 2.E	Geïntegreerde risicomaten	63
Bijlage 2.E.1	Bohnenblust	63
Bijlage 2.E.2	Beoordeling risico volgens TAW	65
Bijlage 2.E.3	Indexering van risico's	67
Bijlage 2.E.4	Categorisering van risico's	69
Bijlage 2.F	Risicomaten op het gebied van milieu	70
Bijlage 2.F.1	Energetic impact index	70
Bijlage 2.F.2	Herstelingstijd	71
Bijlage 2.G	Potentiële schade	72
Bijlage 2.G.1	Slachtoffers	72
Bijlage 2.G.2	Economische schade	74
Bijlage 2.H	Kwalitatieve methoden	76
Bijlage 2.H.1	Risk ranking technique	76
Bijlage 2.H.2	Multi criteria Analyse	78
Bijlage 2.I	Beoordeling risicomaten op bestuurlijke aspecten	79



Bijlage 2.A Individueel risico

Bijlage 2.A.1 Individueel risico volgens VROM

Een definitie van individueel risico is geformuleerd in het nationaal milieubeleidsplan "Omgaan met risico's" uit 1989 en luidt:

"de kans dat een persoon een bepaald nadelig effect ondervindt als gevolg van blootstelling aan een agens (uitgedrukt in kanseenheden per jaar of gerelateerd aan een gemiddelde concentratie per jaar)".

Deze definitie laat ook ruimte voor een bepaalde (niet per sé dodelijke) blootstelling aan bijvoorbeeld straling. Het individueel risico, zoals beschouwd in deze studie, beperkt zich tot de kans op overlijden.

"Het individueel risico geeft de kans op overlijden op een bepaalde plaats ten opzichte van een beschouwde activiteit, ongeacht de aanwezigheid van personen"

Bij toepassing van deze definitie wordt het individueel risico berekend voor een individu dat zich permanent en onbeschermd op een bepaalde plaats buiten de risicobron zou bevinden. Er wordt dus geen rekening gehouden met het feit dat personen in sommige situaties (kantoren en scholen) maar een beperkt deel van de tijd aanwezig zijn. Het individueel risico op een plaats is te berekenen aan de hand van de kans op een ongeluk en de kans op overlijden gegeven dit ongeluk.

$$IR = P_f \cdot P_{d|f}$$

Waarin:

P_f de kans op een ongeval f

$P_{d|f}$ de kans op overlijden van een individu, gegeven dat ongeval f plaatsvindt en aannemende dat de persoon zich permanent, gedurende 24 uur per dag, en onbeschermd op die plaats bevindt.

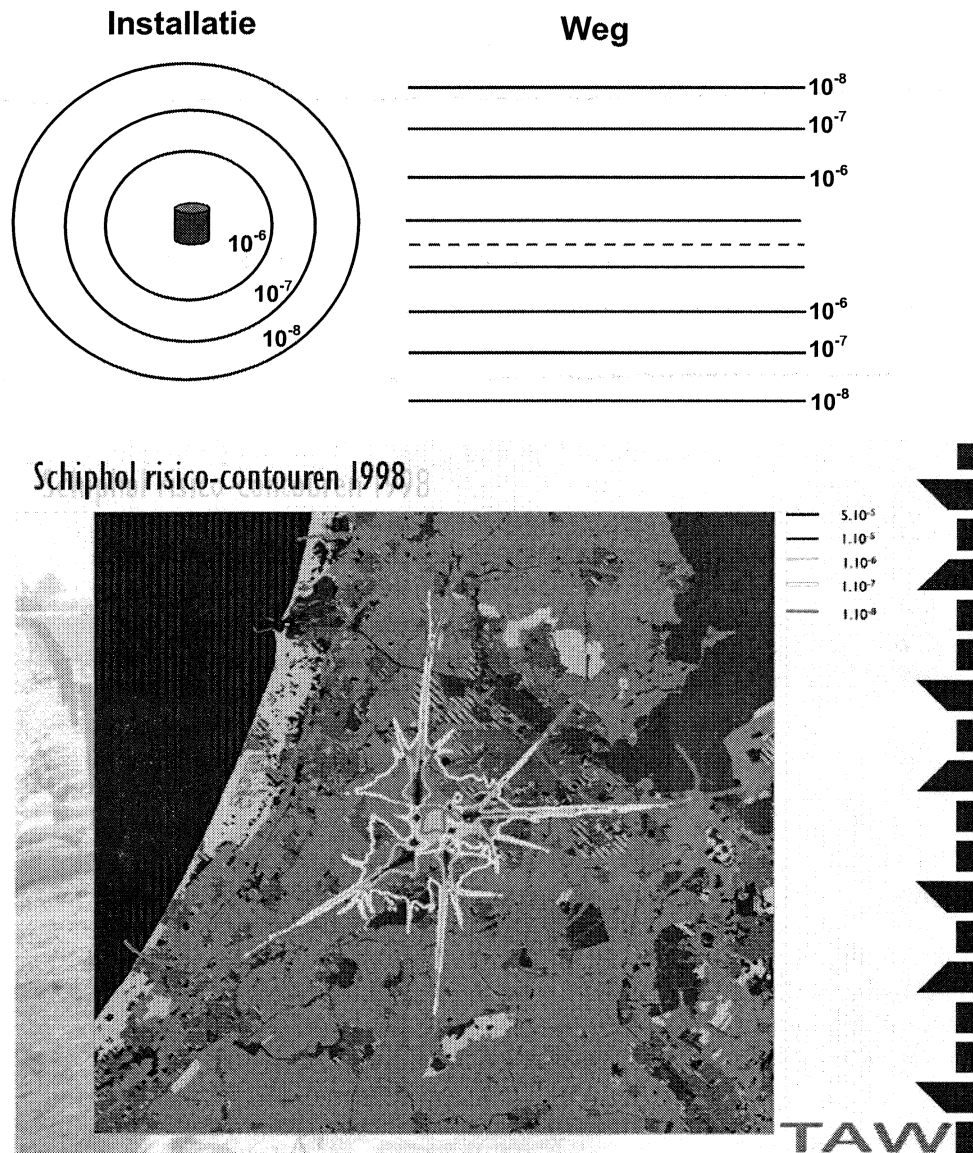
De gevolgen van een ongeval zijn vaak ruimtelijk verdeeld, de kans op overlijden gegeven een ongeluk zal afhankelijk zijn van de plaats ten opzichte van de risicobron. Het individueel risico is dus ruimtelijk verdeeld. Plaatsen met gelijk individueel risico kunnen op een kaart met elkaar worden verbonden (zoals hoogtelijnen) waardoor zogenaamde risicocontouren ontstaan. Enkele voorbeelden van het gebruik van deze contouren zijn bij de toepassingen gegeven.

Toepassing: Externe veiligheidsbeleid

Het externe veiligheidsbeleid richt zich op de bescherming van personen en milieu tegen de gevolgen van ongevallen bij met industriële installaties, het transport van gevaarlijke stoffen en het luchtverkeer. Bij intern risico gaat het om risico's die gebruikers of deelnemers lopen, voor installaties zijn dit de werknemers "binnen de poort", in het luchtverkeer de passagiers en bemanning. Extern risico heeft betrekking op derden, personen die geen directe relatie met de activiteit hebben, zoals omwonenden.

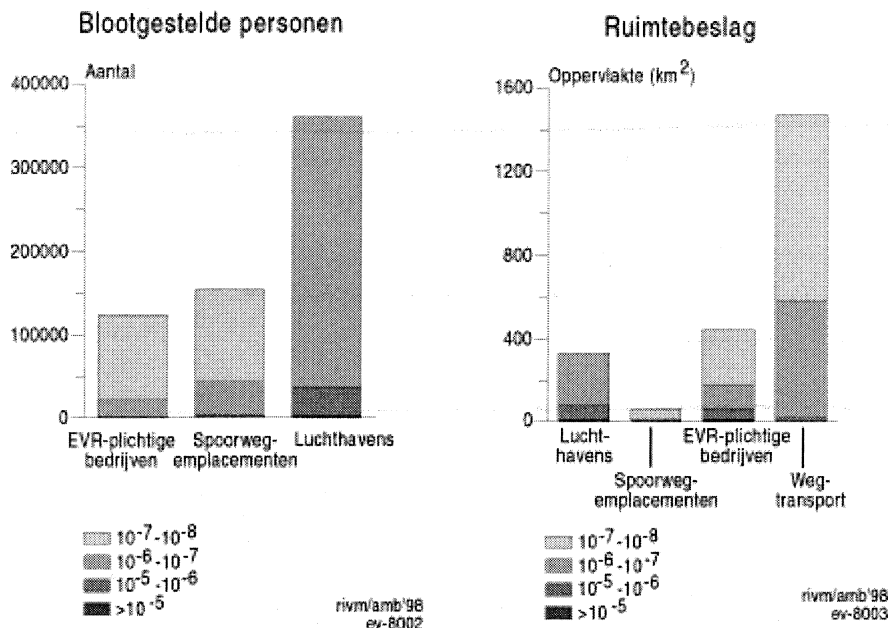
De risico's van ongevallen worden in het externe veiligheidsbeleid uitgedrukt in de maten individueel risico (IR) en groepsrisico (GR). Het groepsrisico geeft informatie over de ernst van een mogelijk ongeval. Het GR zal worden uitgewerkt in het volgende hoofdstuk. Het individueel risico verschaft informatie over waar mensen een bepaald risico lopen.

Het individueel risico is grafisch weer te geven met risicocontouren, die punten met gelijk individueel risico verbinden. De vorm van de contouren is afhankelijk van de aard van het risico. In onderstaande figuur zijn karakteristieke risicocontouren voor een installatie, een weg en de risicocontouren voor Schiphol weergegeven.



*Figuur 1: Karakteristieke risicocontouren voor een installatie en een transportroute.
Risicocontouren voor Schiphol [presentatie Ale, 2000]*

Een indruk van de risico's van de verschillende activiteiten op nationaal schaal wordt verkregen door het aantal blootgestelde personen en het ruimtebeslag binnen de risicocontouren weer te geven.

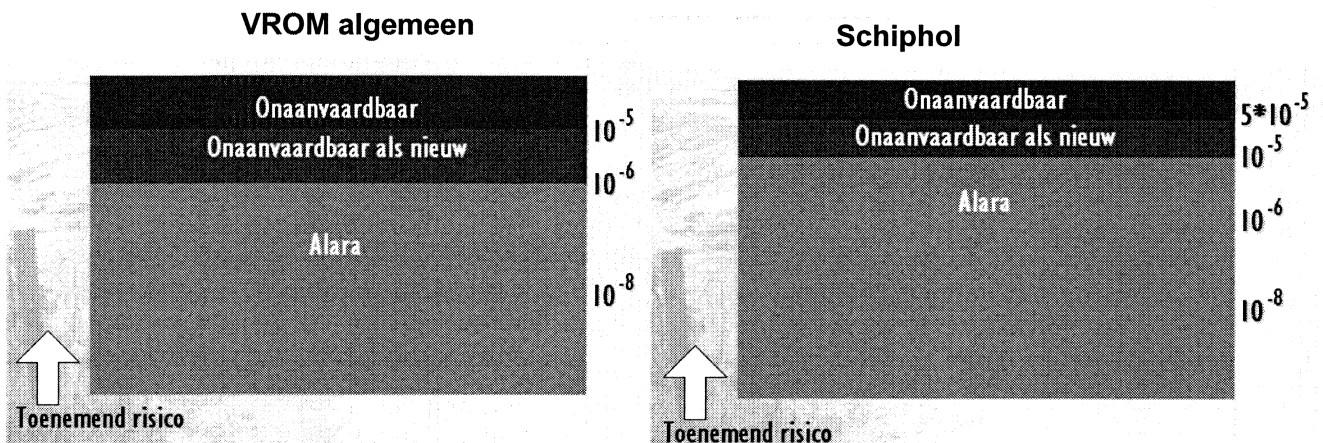


Figuur 2: Blootgestelde personen en ruimtebeslag binnen risicocontouren voor verschillende activiteiten [Milieubalans 1998]

Normering binnen het externe veiligheidsbeleid

Binnen het externe veiligheidsbeleid wordt het individueel risico berekend voor een individu dat permanent en onbeschermd aanwezig is. De norm is ontwikkeld voor toepassing op het gebied van de ruimtelijke ordening en wordt gebruikt voor het vaststellen van een zoneringsafstand tot een installatie of transportroute. Vanuit die gedachtegang is het vaststellen van het individueel risico als eigenschap van de plaats begrijpelijk.

Voor stationaire installaties en voor het transport van gevaarlijke stoffen zijn door VROM normen in de vorm van het individueel risico vastgelegd. Voor bestaande situaties is geen bewoning binnen de IR-contour van 10^{-5} per jaar toegestaan, voor nieuwe situaties niet binnen de IR-contour van 10^{-6} per jaar. Voor lagere risico's geldt het ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principe, wat inhoudt dat risico's zo veel als redelijkerwijs mogelijk is beperkt dienen te worden. Voor Schiphol en andere luchthavens geldt een afwijkende normering. Beide normen zijn in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 3: Normering voor het individueel risico voor installaties en transportroutes in Nederland (VROM algemeen) en voor Schiphol [uit: presentatie Ale, TAW dag, 6 april 2000]

Normering IR voor stuwdammen

De Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD) hanteert de volgende limiterende waarden voor het individueel risico:

Gemiddeld over alle bedreigde personen: $IR < 10^{-5}$

Voor de meest bedreigde personen: $IR < 10^{-4}$

Hoewel niet wettelijk vastgelegd worden deze waarden wel gehanteerd bij besluitvorming over stuwdammen.

Literatuur

[Bowles, 1999]

[DGG, 1997]

[Vrouwenvelder, 1995]

[VROM, 1989]



Bijlage 2.A.2 Individueel risico volgens TAW

Een verschil met de VROM norm ligt in het feit dat volgens TAW bij berekening van het individueel risico wel de aanwezigheid van personen in rekening moet worden gebracht. Het individueel risico is dan een eigenschap van een individu op een bepaalde plaats en niet meer van de plaats alleen. Het IR is nu te berekenen met:

$$IR = P_f \cdot P_{d|f}$$

Waarin:

P_f de kans op een ongeval f ten gevolge van een activiteit

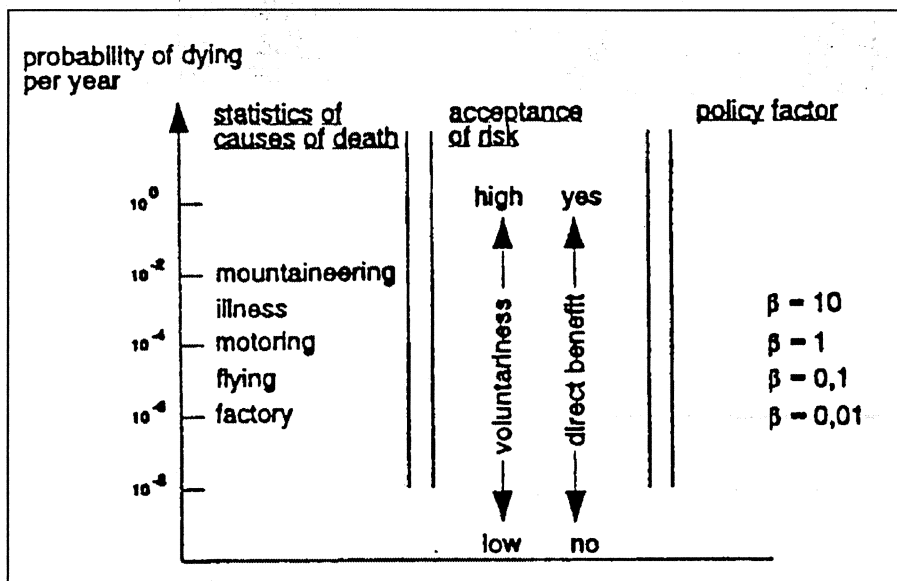
$P_{d|f}$ de kans op overlijden van een individu, gegeven dat ongeval f plaatsvindt en rekening houdend met het deel van de tijd dat het individu aanwezig is.

Normering

Het individueel risico wordt genormeerd aan de hand van een beleidsfactor, β .

$$IR < \beta \cdot 10^{-4}$$

Uit de ongevallenstatistiek is voor verschillende activiteiten geïnventariseerd wat de kans op een dodelijk ongeval is. Hieruit komt naar voren dat de kans op overlijden bij reguliere activiteiten als autorijden of in een fabriek werken enkele orden kleiner is dan bij vrijwillig ondernomen activiteiten als bergbeklimmen. De vrijwilligheid van een activiteit vormt een basis voor de maatschappelijke aanvaarding van risico's. De waarde van β kan men laten afhangen van de mate van vrijwilligheid van de activiteit. Daarnaast kan het directe nut van de activiteit voor de betrokkene een rol spelen bij de acceptatie. Het verband tussen ongevalstatistieken, de vrijwilligheid en het nut van een activiteit, en de waarde van de beleidsfactor is gegeven in onderstaande figuur.



Figuur 4: Het verband tussen ongevalstatistieken, vrijwilligheid en nut, bij bepaling van de beleidsfactor β [Vrijling, 1995]

Een voorstel voor de keuze van de beleidsfactor is in onderstaande tabel gegeven:

Tabel: Beleidsfactor, vrijwilligheid en nut [Vrouwenvelder, 1995]:

β	Vrijwilligheid	Direct nut	Voorbeeld
100	Geheel vrijwillig	Direct nut	Bergbeklimmen
10	Vrijwillig	Direct nut	Motorrijden
1	Neutraal	Redelijk direct nut	Autorijden
0.1	Onvrijwillig	Indirect nut	Werken in een fabriek
0.01	Onvrijwillig	Weinig of indirect nut	Wonen nabij een fabriek

Een voordeel van de norm is dat deze het mogelijk maakt vele activiteiten te beoordelen. Het toepassingsgebied strekt zich uit van het risico voor derden bij installaties, via risico bij het verrichten van arbeid, tot risico's bij hobby's. Een nadeel is het feit dat de norm niet eenduidig is vastgelegd en zo veel ruimte biedt voor discussie over de exacte hoogte van de norm.

De TAW norm is in de praktijk nog niet toegepast.

Literatuur

[TAW, 1988]

[Vrijling, 1993]

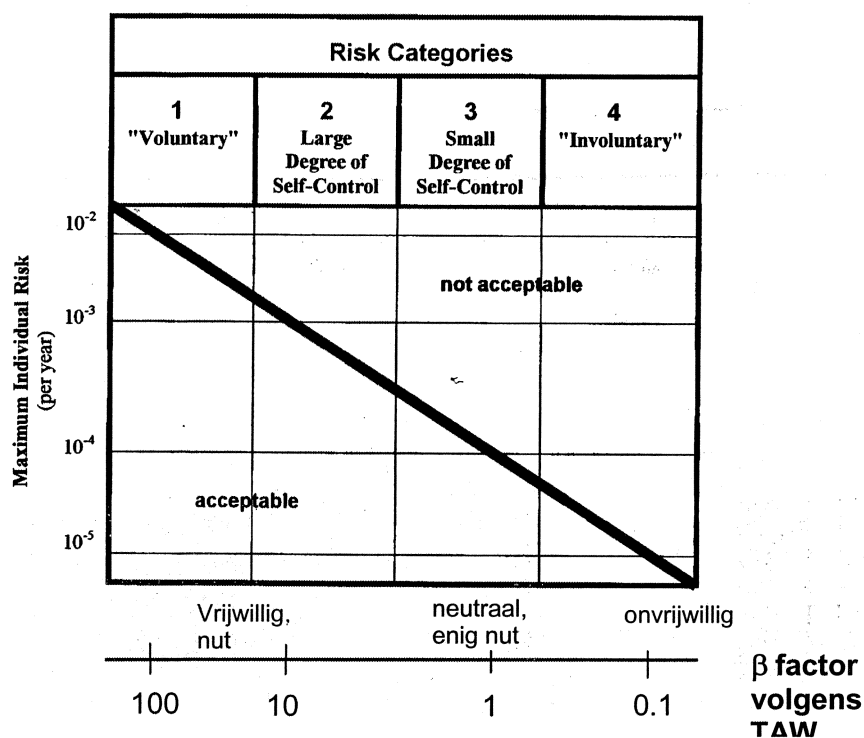
[Vrijling, 1995]

[Vrouwenvelder, 1995]



Bijlage 2.A.3 Normering van het individueel risico volgens Bohnenblust

Als onderdeel van een geïntegreerde aanpak waarin ook maatschappelijk risico en de kosten van veiligheidsmaatregelen aan bod komen stelt Bohnenblust [1998] voor het individueel risico te normeren aan de hand van de vrijwilligheid en de mate waarin men de risico's zelf beheerst. Hierbij zijn vier risico categorieën mogelijk, van vrijwillig tot onvrijwillig. Deze gedachtegang komt sterk overeen met die van het TAW individueel risico criterium. In onderstaande grafiek is de limiet volgens Bohnenblust samen met de corresponderende beleidsfactor volgens TAW aangegeven.



Figuur 1: normering van het individueel risico volgens Bohnenblust, vergeleken met beleidsfactor volgens TAW

De TAW norm geeft een iets strengere limieten dan de norm van Bohnenblust.

Toepassing

Deze norm is toegepast binnen een geïntegreerde aanpak in enkele studies naar veiligheidsmaatregelen voor enkele Europese spoorweg bedrijven.

Literatuur

[Bohnenblust, 1998]

Bijlage 2.A.4 Overige individuele risicomaten

Enkele andere maten relateren het individueel risico aan de deelname of de mate van blootstelling aan een activiteit.

Fatal accident failure rate

Deze geeft het aantal slachtoffers per 1000 blootstellings- of deelname uren aan een activiteit weer en wordt veel gebruikt voor werknemers in industrieën. Deze maat is dus vooral bruikbaar voor interne slachtoffers: beroepsmatige en overige deelnemers aan de activiteit.

Fatal Rate

De fatal rate geeft het aantal slachtoffers per jaar per 10^5 blootgestelden of deelnemers aan een activiteit aan.

Overigen

In het verkeer (weg, trein, luchtvaart) wordt het individueel risico vaak per afgelegde kilometer of per verplaatsing aangegeven.

De genoemde zijn uiteindelijk terug te rekenen naar een “gewone” individueel risico waarde en zijn daarom niet in het overzichtschema opgenomen.



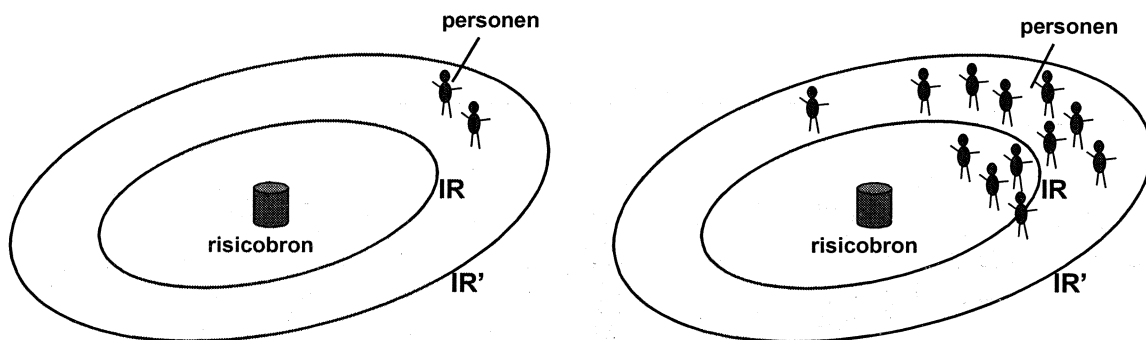
Bijlage 2.B Maatschappelijk risico

Maatschappelijk risico, in Engelstalige literatuur aangeduid met societal risk, wordt door the Institute of Chemical Engineers gedefinieerd als:

“the relationship between frequency and the number of people suffering from a specified level of harm in a given population from the realization of specified hazards.”

Het begrip harm kan daarbij slaan op gewonden, ziekte of ecologische schade. Deze studie beperkt zich tot de kans op dodelijke slachtoffers. Maatschappelijk risico legt het verband tussen de kans op een ongeval en het aantal slachtoffers. Hierbij gaat het om ongevallen waarbij meerdere slachtoffers tegelijk vallen.

Waar individueel risico de kans op overlijden voor een bepaalde plaats geeft, geldt het maatschappelijk risico voor een bepaald gebied, ongeacht waar in dat gebied de gevolgen op zullen treden. De grootte van het maatschappelijk risico is afhankelijk van de aanwezigheid van personen binnen dat gebied, de grootte van het IR niet. Het verschil tussen individueel en maatschappelijk risico is weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 1: individueel risico, weergegeven met de contouren IR en IR', en maatschappelijk risico [Stallen, 1996]. Beide situaties hebben een gelijk IR verloop, maar verschillen in maatschappelijk risico. De rechter situatie heeft vanwege de grotere aanwezigheid van personen een groter maatschappelijk risico.

Allereerst zijn drie maten behandeld die gebaseerd zijn op de individueel risicocontouren en de aanwezigheid van personen en/of huizen daarin: het gesommeerd gewogen risico, de verwachtingswaarde uit het individueel risico en de scaled risk integral. Vervolgens zijn risicomaten uitgewerkt die zijn afgeleid uit de kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers.

Bijlage 2.B.1 Gesommeerd gewogen risico

Het gesommeerd gewogen risico (GGR) vermenigvuldigt het aantal huizen binnen een risicocontour met hun IR waarde. Het GGR legt zo een verband tussen het individueel risico en de werkelijke bewoning van een gebied. Hoge individuele risiconiveaus zijn immers pas een probleem bij de aanwezigheid van personen.

$$GGR = \iint_A IR(x, y) \cdot h(x, y) \cdot dx dy$$

Waarin:

IR(x,y) individueel risico op plaats (x,y)
 h(x,y) het aantal woningen op plaats (x,y)
 A het oppervlakte waarover het GGR wordt berekend

Toepassing en normering: Schiphol

Het gesommeerd gewogen risico wordt gebruikt in de besluitvorming over de risico's van Schiphol. Bij normering geldt het stand still principe: het GGR binnen de 10^{-6} contour mag vanaf 2003 niet hoger mag zijn dan in 1990. De GGR waarden voor Schiphol voor 1990 en 1997 zijn gegeven in een tabel.

Tabel: GGR Schiphol [milieubalans 1998]

	1990	1997
GGR > 10^{-5}	$1.27 \cdot 10^{-3}$	$3.20 \cdot 10^{-3}$
GGR > 10^{-6}	$0.78 \cdot 10^{-2}$	$1.40 \cdot 10^{-2}$

Literatuur

[Piers, 1998]

http://www.milieubalans.rivm.nl/themas/ind_4_8_vt_8000e.html

Bijlage 2.B.2 Verwachtingswaarde uit individueel risicocontouren

Door de individueel risico niveaus over een bepaald gebied te vermenigvuldigen met de bevolkingsdichtheid is de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers te bepalen.

$$E(N) = \iint_A IR(x, y) \cdot m(x, y) dx dy$$

Waarin:

E(N)	verwachtingswaarde van het jaarlijks aantal slachtoffers
IR(x,y)	individueel risico op plaats (x,y)
m(x,y)	bevolkingsdichtheid op plaats (x,y)
A	het oppervlakte waarover de verwachtingswaarde wordt berekend

De berekening de verwachtingswaarde lijkt sterk op de berekening van het gesommeerd gewogen risico.

Voor een correcte berekening van de verwachtingswaarde dient de bevolkingsdichtheid niet alleen rekening te houden met bewoning, maar ook bijvoorbeeld met welk percentage van de tijd personen aanwezig zijn in scholen of kantoren.

De verwachtingswaarde wordt in Engelstalige literatuur ook wel Potential Loss of Life (PLL) genoemd. Ale voegt hier nog een index I aan toe omdat de verwachtingswaarde is afgeleid uit individueel risico (PLLI).

$$E(N) = PLL = PLLI$$

Toepassing en normering

De PLLI kent nog geen concrete toepassing. Wel is door Ale [1996] aangetoond dat een installatie over het algemeen aan IR norm van VROM zal voldoen als de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers kleiner dan 10^{-5} is. Een verdere afleiding is gegeven in bijlage 2.B.5.

Literatuur

[Ale, 1996]

Bijlage 2.B.3 Scaled Risk integral

Een andere maat die rekening houdt met de aanwezigheid van personen binnen de risicocontouren is de Scaled Risk Integral (SRI) [Carter, 1998]. De SRI geeft een formule voor lokaal risico en neemt daarin kenmerken van de te ontwikkelen plaats mee. Voor een locatie geldt:

$$SRI = \frac{P \cdot IR \cdot T}{A} \quad \text{met} \quad P = \frac{n + n^2}{2}$$

waarin

IR	de kans op overlijden per miljoen jaar (Engels: cpm), uitgaande van de permanente aanwezigheid van personen
T	deel van de dag (24 uur) dat n personen in het gebied aanwezig zijn
A	het te ontwikkelen gebied in hectares
P	bevolkingsfactor
n	aantal personen in het gebied. Indien verschillende aantallen personen op verschillende tijdstippen aanwezig zijn, is n de waarde van de root mean square (RMS) van de kansdichtheidsfunctie van het aantal aanwezige personen

Een nadeel van de SRI is de vreemde dimensie: (personen+personen²)/(hectare.10⁶.jaar). Wel neemt de SRI drie aspecten mee die belangrijk zijn bij de bepaling van de veiligheid van ruimtelijke ontwikkelingen: gemiddeld aantal inwoners, bevolkingsdichtheid en risiconiveau.

Toepassing

De SRI wordt in het Verenigd Koninkrijk gebruikt bij besluitvorming over nieuwe ontwikkelingen in de nabijheid van gevaarlijke installaties en complementeert in het Engelse beleid de approximate risk integral (zie bijlage 2.B.6).

Voor besluitvorming met de SRI worden standaardwaarden gebruikt, die als richtwaarden dienen. Voor woonbebouwing gelden bijvoorbeeld de volgende standaardwaarden: bebouwing van 1,2 hectare met 30 huizen, met ieder 2,5 personen en een risiconiveau van 1 cpm (1.10⁻⁶ per jaar) leidt tot een SRI van 2375. Naar boven afgerond geeft dit een limiet voor de SRI van 2500. Voor een intensievere bebouwing, bv. 30 huizen op 0,75 ha, kan een limiet van 4000 gelden.

Literatuur

[Carter, 1998]



Bijlage 2.B.4 FN curve

Maatschappelijk risico wordt vaak grafisch weergegeven in een FN curve. In een FN curve is de cumulatieve overschrijdingskans van N of meer slachtoffers op de y-as uitgezet tegen het aantal slachtoffers N op de x-as op een dubbel logaritmische schaal. De FN curve biedt de mogelijkheid risico's van verschillende activiteiten in een grafiek te vergelijken en geeft inzicht in de grootte van kansen en gevolgen. Een FN curve kan bepaald worden voor een bepaald gebied: rondom een installatie, op nationaal niveau, of een dijkkring.

Basis voor de bepaling van de FN curve vormt de kansdichtheidsfunctie van het jaarlijks aantal slachtoffers. Hieruit is de kansverdelingsfunctie af te leiden, waaruit de overschrijdingskans van het aantal slachtoffers is te bepalen:

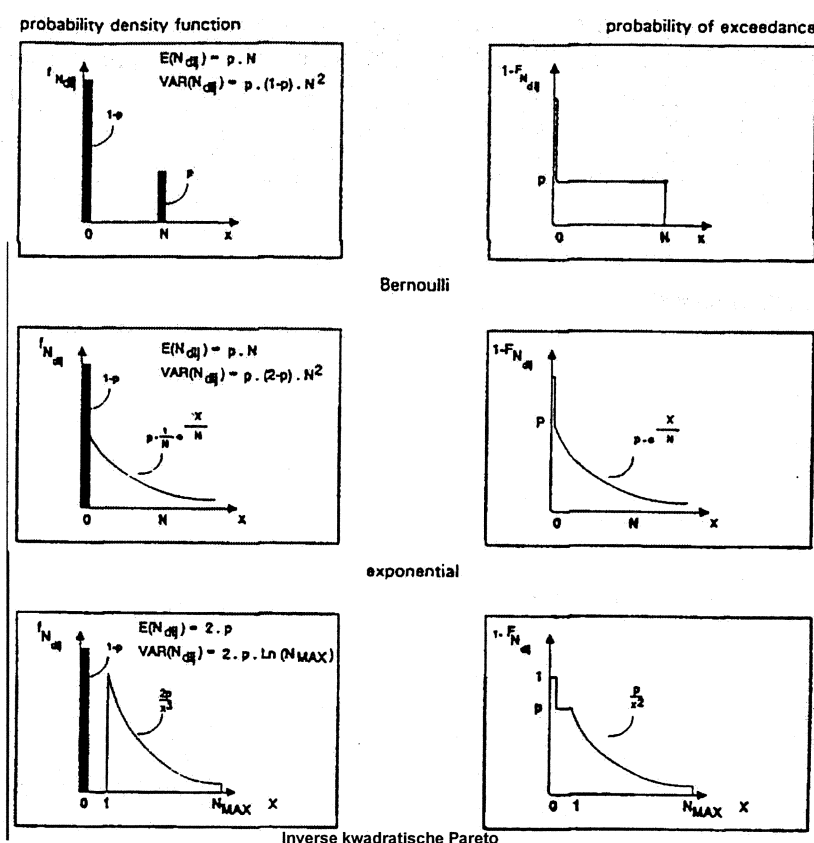
$$F_N(x) = P(N \leq x) = \int_0^x f_N(x) \cdot dx$$

$$1 - F_N(x) = P(N > x)$$

Waarin:

$f_N(x)$ kansdichtheidsfunctie van het jaarlijks aantal slachtoffers (x)
 $F_N(x)$ kansverdelingsfunctie van het jaarlijks aantal slachtoffers

Enkele voorbeelden van kansdichtheidsfuncties en de bijbehorende FN curves zijn gegeven in onderstaande figuur.

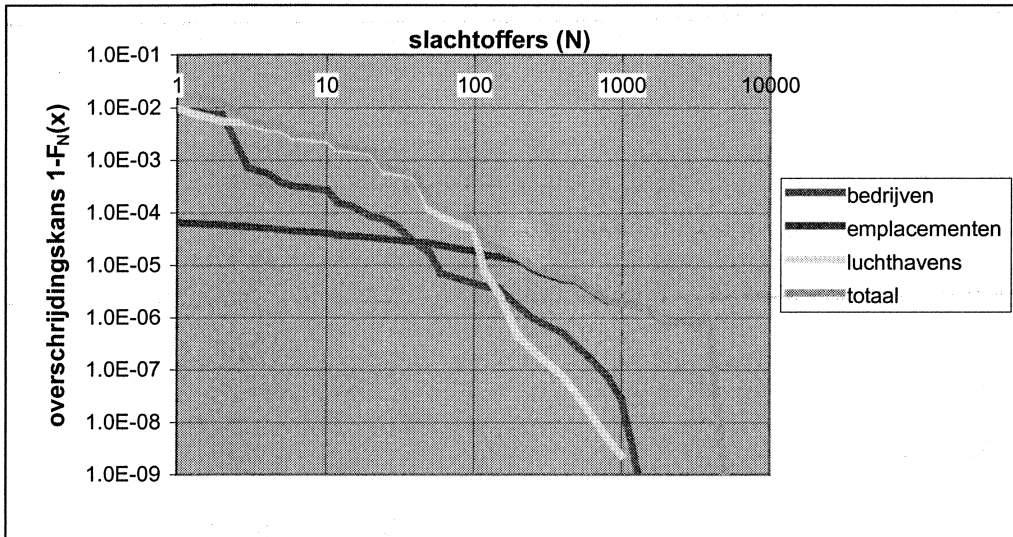


Figuur 2: Enkele kansdichtheidsfuncties en bijbehorende curves met overschrijdingskansen van het aantal slachtoffers [Vrijling, 1995]

De FN curve wordt over het algemeen weergegeven op dubbel logaritmische schaal.

Toepassing en normering: Externe veiligheidsbeleid

Binnen het Nederlandse externe veiligheidsbeleid wordt naast het individueel risico het groepsrisico bepaald. Dit wordt gedefinieerd als de kans per jaar dat in één keer een groep van tenminste een bepaalde grootte het slachtoffers is van een ongeval. De groepsrisico's van verschillende activiteiten zijn voor heel Nederland weer te geven in een FN curve.



Figuur 3: FN curve voor enkele externe risico's (1999) [bron: Ale, RIVM]

In het externe veiligheidsbeleid worden de groepsrisico's rond EVR¹-plichtige bedrijven, zoals chemische installaties genormeerd aan de hand van de VROM norm. Per installatie geldt de volgende norm:

$$1 - F_N(x) < \frac{10^{-3}}{x^2} \quad \text{Voor } x \geq 10$$

Waarin:

- $1 - F_N(x)$ Overschrijdingskans van het aantal slachtoffers per jaar, dat volgt uit de verdelingsfunctie van het aantal slachtoffers, $F_N(x)$
- x Het aantal dodelijke slachtoffers

Het kwadratisch meenemen van het aantal slachtoffers in de norm vertegenwoordigt de aversie tegen grotere ongelukken. Een ongeluk met meerdere slachtoffers wordt door de maatschappij namelijk als ernstiger ervaren dan een aantal kleine ongelukken die samen hetzelfde aantal slachtoffers veroorzaken.

Voor transportroutes waarover gevaarlijke stoffen worden vervoerd geldt de volgende norm per kilometer route:

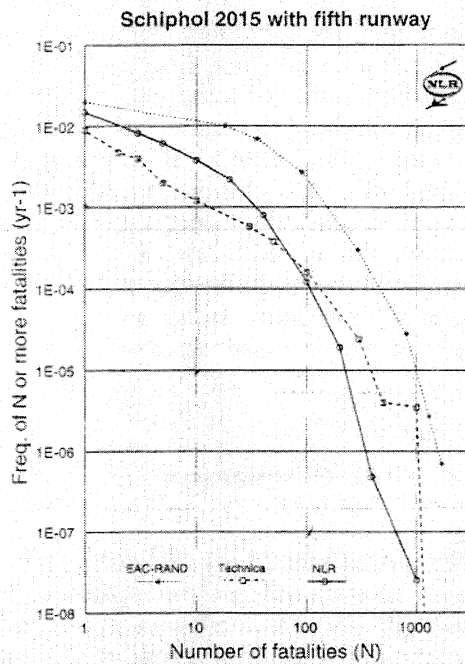
$$1 - F_N(x) < \frac{10^{-2}}{x^2} \quad \text{Voor } x \geq 10$$

Beide normen worden gehanteerd als oriënterende waarde. Het bevoegd gezag, gemeenten en provincies, kunnen gemotiveerd van de waarde afwijken.

Luchthavens: Schiphol

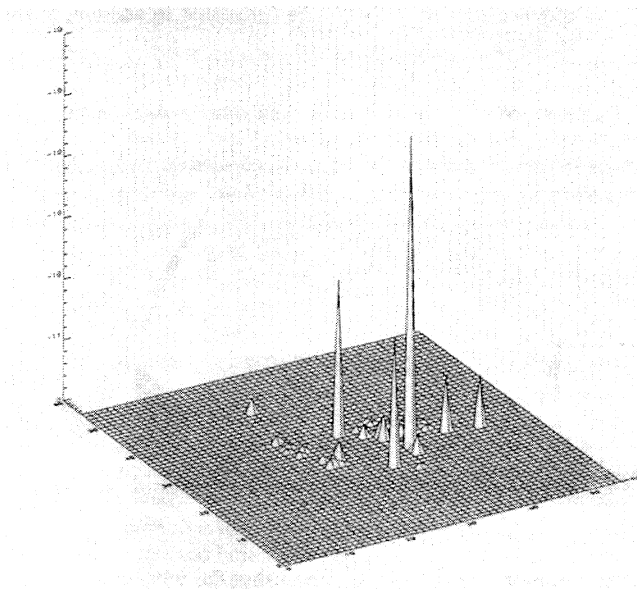
Voor luchthavens geldt, ondanks de grote bijdrage aan de groepsrisico's voor Nederland, geen limitering van de FN curve. In onderstaande figuur zijn de verwachte FN curve's voor Schiphol in 2015 voor drie verschillende studies (EAC-Rand, Technica, NLR) weergegeven.

¹ EVR: Externe veiligheidsrapportage



Figuur 4: FN curve voor Schiphol in 2015 met vijfde baan, berekend door NLR, EAC-Rand en Technica [Piers, 1998]

Voor de FN curve voor Schiphol is het mogelijk de bijdrage aan de overschrijdingskans van N doden voor elk deel van het gebied te bepalen. Zo ontstaat een ruimtelijk beeld van de bijdrage aan de kans op een bepaald aantal doden N voor elk gebied. De grafiek geeft een goed beeld van "gevaarlijke" plaatsen, namelijk die met een hoge bijdrage aan de kans op N doden.



Figuur 5: bijdrage per cel van 1 km² aan het groepsrisico rond Schiphol voor $N=200$ slachtoffers in 1990 [Piers, 1998]

Internationale toepassingen en normeringen

In literatuur zijn vele voorbeelden te vinden van weergave van risico's in een FN curve op de volgende toepassingsgebieden: luchthavens [Piers, 1998], chemische installaties (zie fig 2), kerncentrales [UCS, 1977], havens [Carter, 1998] en andere installaties en bedrijven. Ook zijn in verschillende landen normeringen in de vorm van een FN curve vastgelegd. Een algemene formulering voor deze normen luidt:

$$1 - F_N(x) < \frac{C}{x^\alpha}$$

Waarin:

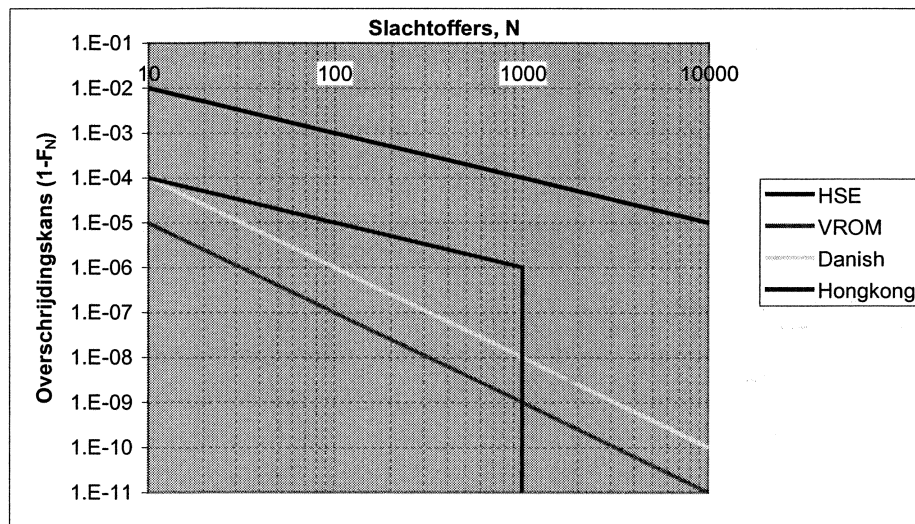
- α steilheid van de normering
 C constante die de hoogte ligging van de FN curve bepaalt

Een normering met een steilheid van $\alpha=1$ wordt risico neutraal genoemd en limiteert in feite de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers. Als de steilheid α groter dan 1 is, is de normering risico avers. Grote ongelukken met meerdere slachtoffers worden immers zwaarder meegewogen, en met relatief kleinere kans geaccepteerd.

In onderstaande tabel en figuur zijn enkele normen weergegeven. Alle normen gelden op installatie niveau.

Tabel: Enkele internationale normen in FN formaat [Floyd, 2000], [Vrijling, 1995]

Land	α	C	Toepassing
Engeland (HSE)	1	10^{-1}	Transport gevaarlijke stoffen in havens
Hong Kong	1	10^{-3}	Gevaarlijke installaties
Nederland (VROM)	2	10^{-3}	Gevaarlijke installaties
Denemarken	2	10^{-2}	Gevaarlijke installaties



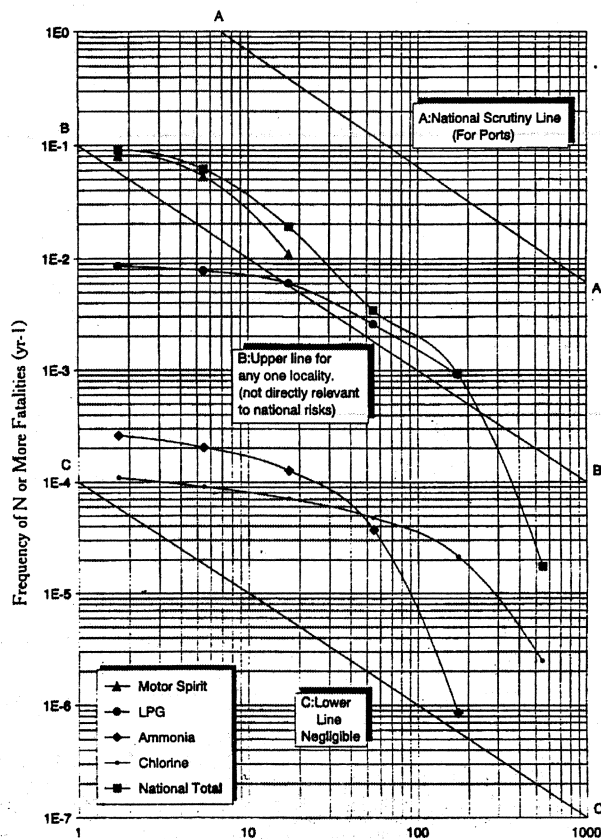
Figuur 6: Enkele internationale FN normen

De normen zijn hieronder kort uitgewerkt

Groot Brittanië

Door de Britse Health and Safety Executive is een normering voor het transport van gevaarlijke stoffen door havens vastgelegd, met $\alpha=1$ en $C=0.1$ per installatie (haven). Hieruit is een normering op nationaal niveau afgeleid, een zogenaamde national scrutiny line.

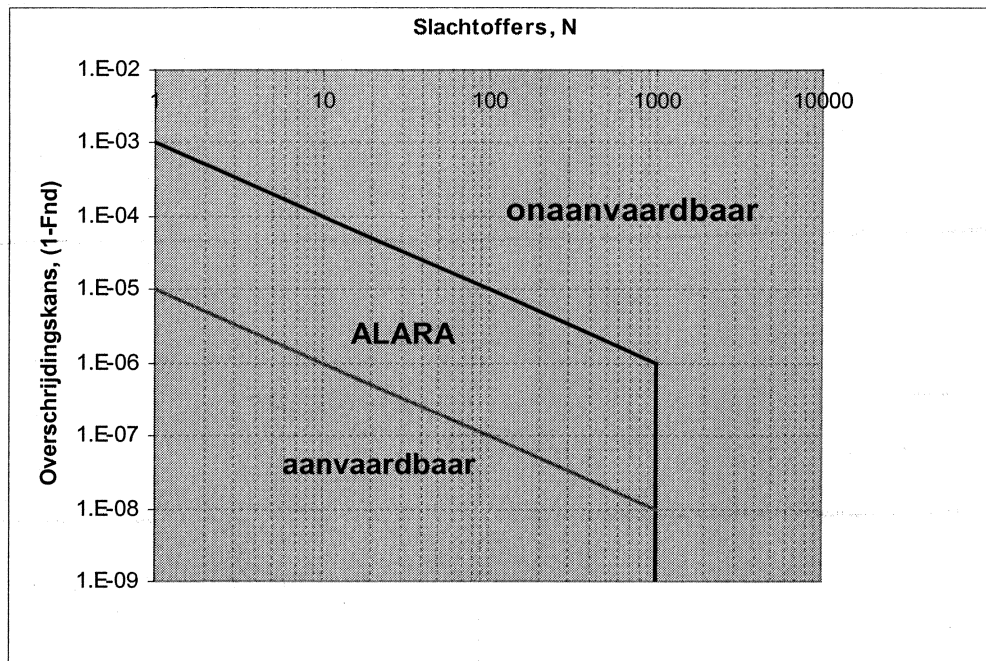
Tevens is vastgesteld beneden welke waarden het risico verwaarloosbaar is. De lijnen zijn weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 7: Risiconormen voor het transport van gevaarlijke stoffen door havens, op nationaal niveau (A), per installatie (B). Risico's beneden lijn C zijn verwaarloosbaar klein, tussen Ben C geldt het ALARA beginsel (zie paragraaf 4.1) [Carter, 1998]

Hong Kong

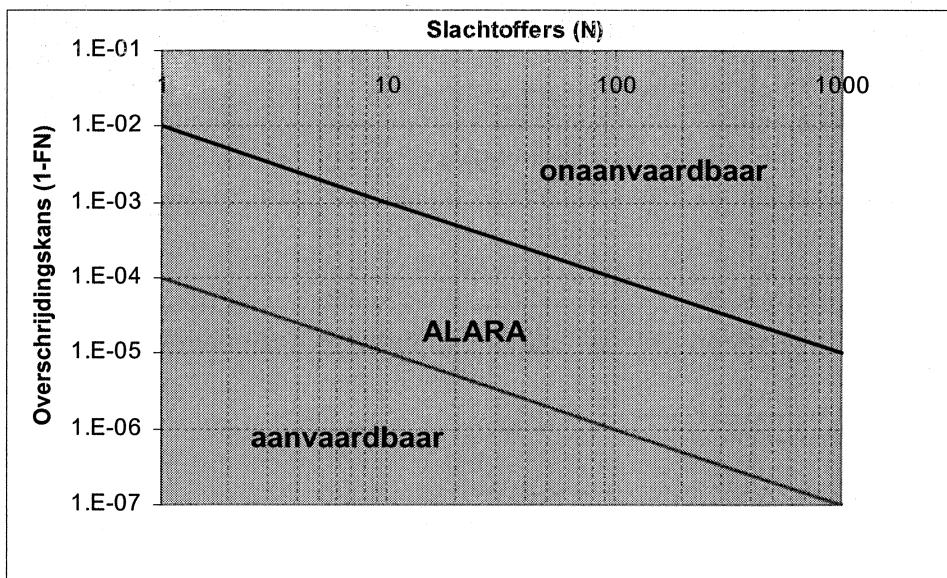
De normen voor gevaarlijke installaties in Hong Kong zijn gebaseerd op de Britse. Ook hier is een gebied aangegeven waarin het risico gereduceerd moet worden, het ALARA gebied. Daarnaast is het maximaal aantal slachtoffers gelimiteerd tot 1000.



Figuur 8: Normen in FN curve in Hongkong [Floyd, 2000]

Denemarken

Door het Danish Task Force of Engineers is een norm voor gevaarlijke installaties bepaald met een steilheid van $\alpha=2$. Het risico is onaanvaardbaar boven de lijn met $C=10^{-2}$ en aanvaardbaar beneden de lijn met $C=10^{-4}$. Daartussen ligt een grijs gebied waarin het ALARA principe geldt.



Figuur 9: Normen in FN curve in Denemarken [Stallen, 1996]

Literatuur

[Floyd, 2000]

[Piers, 1998]

[Stallen, 1996]

[Vrijling, 1995]

Bijlage 2.B.5 Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers

Een eenvoudige maat voor maatschappelijk risico is de verwachtingswaarde van het aantal doden, in de Engelstalige literatuur vaak aangeduid als Potential Loss of Life (PLL). Deze is te bepalen uit de kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers.

$$E(N) = \int_0^{\infty} x \cdot f_N(x) \cdot dx$$

Waarin:

$E(N)$ de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar (=PLL)
 x het aantal slachtoffers
 $f_N(x)$ de kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers

In Vrijling [1997] is aangetoond dat de verwachtingswaarde van het jaarlijks aantal slachtoffers gelijk aan de oppervlakte onder de FN curve.

$$\int_0^{\infty} (1 - F_N(x)) \cdot dx = \int_0^{\infty} \int_x^{\infty} f_N(u) \cdot du \cdot dx = \int_0^{\infty} \int_0^u f_N(u) \cdot dx \cdot du = \int_0^{\infty} u \cdot f_N(u) \cdot du = E(N)$$

$$E(N) = \int_0^{\infty} (1 - F_N(x)) \cdot dx$$

Ook Ale [1996] stelt de het oppervlak onder de FN curve (en dus de verwachtingswaarde) voor als risicomaat, onder de afkorting PLLF.

$$E(N) = PLL = PLLF$$

De verwachtingswaarde wordt als risico neutraal aangeduid, omdat het gebruik maakt van een lineair verband tussen kans en gevolg (verwachtingswaarde = kans x gevolg)

Normering: stuwdammen in de VS

Het elektriciteitsbedrijf British Columbia Hydro hanteert de verwachtingswaarde voor het bepalen en normeren van de risico's van stuwdammen en gebruikt daarbij de volgende norm:

$$E(N) < 10^{-3}$$

De United States Bureau of Reclamation [USBR, 1997] hanteert een minder strenge normerende waarde:

$$E(N) < 10^{-2}$$

De USBR stelt echter dat bij een verwachtingswaarde tussen de 10^{-3} en 10^{-2} op termijn maatregelen noodzakelijk zullen zijn.

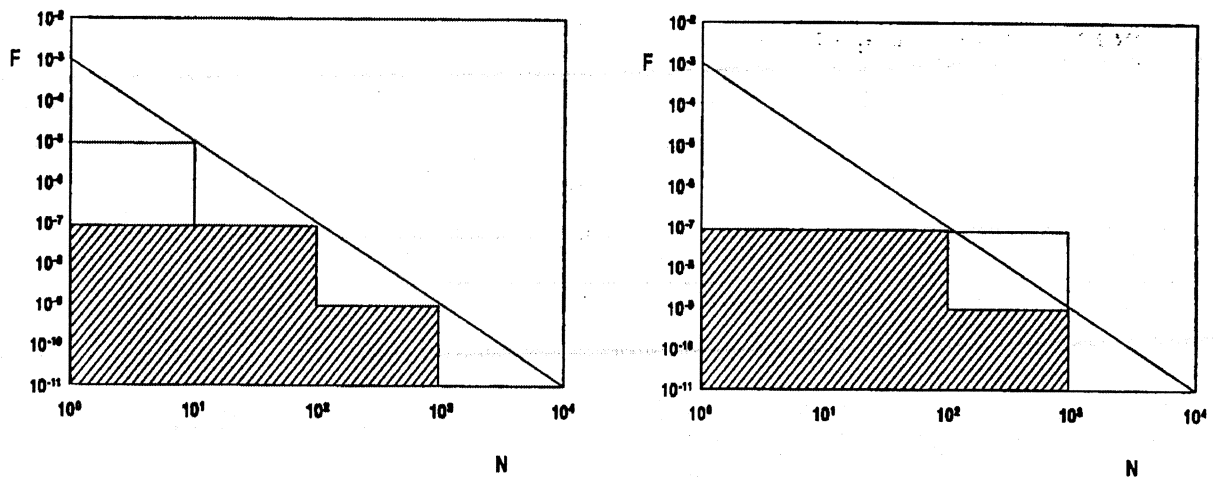
Externe veiligheid: installaties

Ale [1996] toont aan dat een installatie over het algemeen aan de individueel en groepsrisico norm zal voldoen als de verwachtingswaarde, bepaald uit de FN curve kleiner is dan 10^{-5} .

Uitgaande van de VROM norm geeft de factor $E_{\max}$ de maximale overschrijding van deze norm aan:

$$E_{\max} = \max \left(\frac{1 - F_N}{F_{\lim}(N)} \right) \text{ waarin, } F_{\lim}(N) \text{ de VROM norm is: } F_{\lim}(N) = \frac{10^{-3}}{N^2}$$

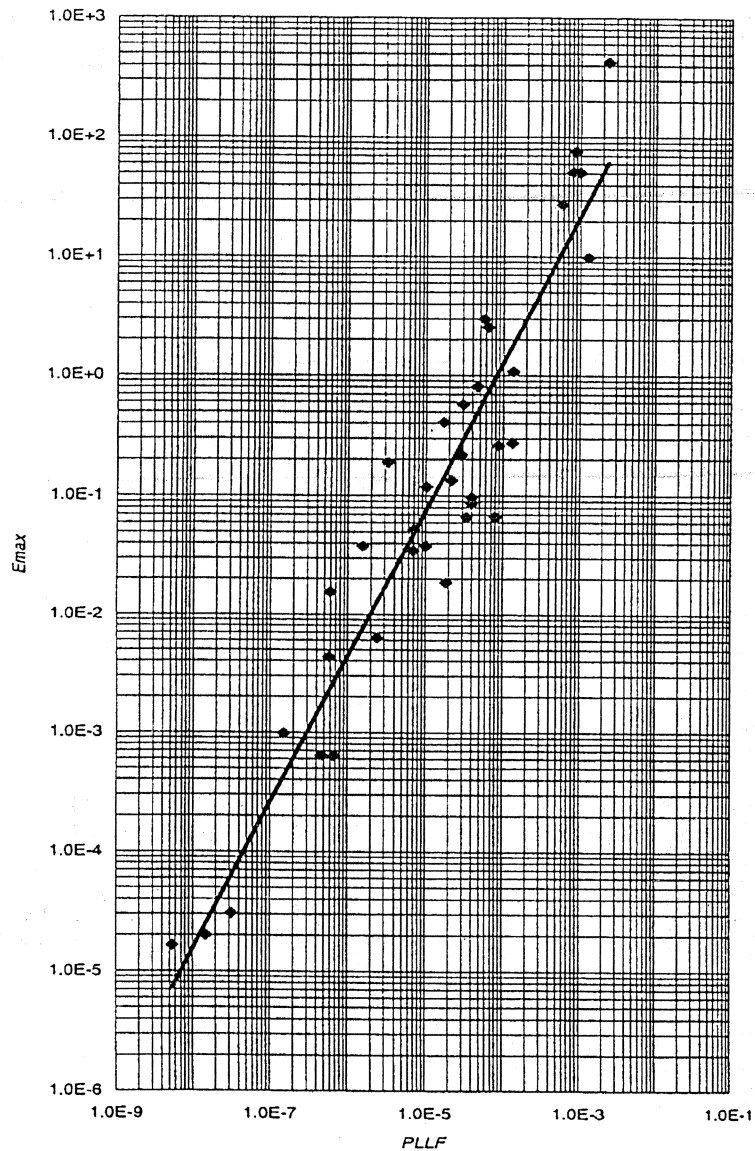
Dat de verwachtingswaarde op basis van FN curve geen gegarandeerd goede maat is voor het voldoen aan de groepsrisico norm kan opgemaakt worden uit onderstaand voorbeeld.



Figuur 10: bepaling verwachtingswaarde (oppervlak binnen rechthoeken) en overschrijdings van de VROM norm voor groepsrisico (lijn) [Ale, 1996]

Beide FN curves hebben eenzelfde verwachtingswaarde, terwijl de rechter grafiek de VROM norm overschrijdt.

In de praktijk blijkt er echter een correlatie te zijn tussen de overschrijding van de VROM norm ($E_{\max}$) en de verwachtingswaarde. In figuur 2 zijn beide waarden uitgezet voor 35 belangrijke gevaarlijke installaties in Nederland. De relatie is weer te geven als een rechte lijn (op dubbel logaritmische schaal) door $E_{\max}=1$ en $E(N)=PLL F=1 \cdot 10^{-4}$. Rekening houdend met de spreiding van de punten rond deze lijn (factor 10 naar beide kanten) kan een limiterende waarde voor de verwachtingswaarde gegeven worden door $1 \cdot 10^{-5}$. Hoewel de verwachtingswaarde bepaald uit de individueel risicocontouren (PLLI, zie bijlage 2.B.2) en die bepaald uit de FN curve (PLL F) in principe niet gelijk zijn blijkt de grenswaarde van de $PLL F_{\lim}=1 \cdot 10^{-5}$ in de praktijk ook een geschikte limietwaarde voor de PLLI te geven. De gegeven verwachtingswaarde wordt daarmee een praktische limiet voor de beide verwachtingswaarden. Met behulp van deze waarde kan uit de PLLI voor iedere inrichting zoneringsafstand bepaald worden, waarbuiten onbeperkt gebouwd kan worden, zonder het groepsrisico opnieuw uit te rekenen. Berekening van de zonering op deze manier blijkt een enigszins conservatieve waarde te geven.



Figuur 11: verband tussen E_{max} (mate van overschrijding van de VROM norm voor installaties) en $PLLF$ (verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers bepaald uit de FN curve) [Ale, 1996]

Literatuur

[Ale, 1996]

[Vrijling, 1997]

Bijlage 2.B.6 Risk integral

Door de Britse Health and Safety Executive (HSE) is de risk integral (RI) ontwikkeld [Cassidy, 1996]. De RI geeft een risicomaat gebaseerd op de FN curve:

$$RI = \int_0^{\infty} x \cdot (1 - F_N(x)) dx$$

waarin

x het aantal (dodelijke) slachtoffers personen
 $1 - F_N(x)$ Overschrijdingskans van het aantal slachtoffers per jaar, dat volgt uit de verdelingsfunctie van het aantal slachtoffers, F_N

De eenheid van de RI is [doden²/jaar].

In [Vrijling, 1997] is afgeleid dat de risk integral is uit te drukken met behulp van verwachtingswaarde en standaardafwijking van het aantal slachtoffers.

$$\sigma^2(N) = \text{var}(N) = E(N^2) - (E(N))^2$$

$$E(N^2) = E^2(N) + \sigma^2(N)$$

Het verband met de RI luidt als volgt:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}(E^2(N) + \sigma^2(N)) &= \frac{1}{2}E(N^2) = \int_0^{\infty} \frac{1}{2}x^2 f_N(x) dx = \int_0^{\infty} f_N(x) \int_0^x u \cdot du \cdot dx = \int_0^{\infty} \int_0^x u \cdot f_N(x) \cdot du \cdot dx = \\ &= \int_0^{\infty} \int_u^{\infty} u \cdot f_N(x) \cdot dx \cdot du = \int_0^{\infty} u \int_u^{\infty} f_N(x) \cdot dx \cdot du = \int_0^{\infty} u(1 - F_N(u)) \cdot du \end{aligned}$$

Er geldt dus:

$$RI = \frac{1}{2}(E^2(N) + \sigma^2(N))$$

De Risk integral is risico avers. Deze risico aversie wordt veroorzaakt door het kwadratisch meewegen van gemiddelde en standaardafwijking.

Approximate risk integral - ARI

Als de FN curve een steilheid heeft van 1, geeft het product $x \cdot (1 - F_N(x))$ uitgezet tegen x een horizontale rechte lijn. In dit geval is de Risk Integral te benaderen met de Approximate Risk Integral (ARI) [Carter, 1998]:

$$ARI = F_{\max} \cdot N_{\max}$$

waarin:

$F_{\max}$ de cumulatieve frequentie voor alle x
 $N_{\max}$ het maximaal aantal slachtoffers

Voorbeeld: verschil tussen RI en ARI

Een voorbeeld van het verschil in berekening tussen RI en ARI is opgenomen hieronder opgenomen.

Neem een norm aan op basis van de FN curve van de Engelse HSE norm, geldig van $x=0$ tot $x=1000$:

$$1 - F_N(x) = 0,1/x$$

met bijbehorende waarden

x	$1-F_N(x)$	$x \cdot (1-F_N(x))$
1	0,1	0,1
10	0,01	0,1
100	0,001	0,1
1000	0,0001	0,1

Na uitwerking geldt:

$$RI = [0.1 \cdot x]_0^{N_{\max}} = 100$$

$F_{\max}$ is de cumulatieve frequentie van de middelste kolom, $F_{\max}=0.1111$

hiermee kan de ARI berekend worden:

$$ARI=0.1111 \cdot 1000=111$$

Toepassing en normering

De RI wordt samen met de Scaled Risk Integral in Engeland gebruikt om te beslissen over de plaatsing van nieuwe gevaarlijke installaties. Een normerende waarde is echter niet vastgesteld.

Literatuur

[Cassidy, 1996]

[Carter, 1998]

[Vrijling, 1997]

Bijlage 2.B.7 Smets

Smets geeft een model gebaseerd op utiliteit. Hierin wordt de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers x vermenigvuldigd met een weegfactor x^n , waarin $0 < n < 1$. Voor een kwadratische utiliteitsfunctie ($n=1$) stelt Smets de volgende maat voor:

$$\int_1^{1000} x^2 \cdot f_N(x) dx$$

Deze maat is, als het maximaal aantal slachtoffers kleiner is dan 1000, gelijk aan de kwadratische verwachtingswaarde:

$$\int_1^{1000} x^2 \cdot f_N(x) dx = E(N^2)$$

In bijlage 2.B.6 is afgeleid dat de kwadratische verwachtingswaarde $E(N^2)$ is uit te drukken in verwachtingswaarde en standaardafwijking:

$$E(N^2) = E^2(N) + \sigma^2(N)$$

Als er meer dan 1000 slachtoffers kunnen vallen geldt niet meer dat de uitdrukking van Smets gelijk is aan de kwadratische verwachtingswaarde. Wederom worden de gevolgen kwadratisch meegenomen, wat deze uitdrukking risico avers maakt.

Toepassing en normering

De door Smets voorgestelde norm is afhankelijk van de steilheid van de utiliteitsfunctie en is gelijk aan $10^{-2} \cdot n$. Voor de kwadratische utiliteitsfunctie ($n=1$) geldt dan:

$$\int_1^{1000} x^2 \cdot f_N(x) dx < 10^{-2} \quad \text{voor } n=1$$

Deze uitdrukking kent geen concrete toepassing.

Literatuur

[Stallen, 1996]



Bijlage 2.B.8 Totaal risico

Het totaal risico (TR) is opgebouwd uit de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers vermeerderd met het product van de standaardafwijking en een factor k:

$$TR = E(N) + k \cdot \sigma(N)$$

Waarin:

k factor die de risico aversie weergeeft, $k=3$
 $\sigma(N)$ standaardafwijking van het jaarlijks aantal slachtoffers

Indien $k=3$ en jaarlijks aantal slachtoffers normaal verdeeld, dan is de overschrijdingskans van het TR 0.1%.

Door het meenemen van standaardafwijking en factor k is het TR een risico averse maat. De factor k drukt de risico aversie tegen grote ongelukken uit. In de maatschappij worden vele kleine ongelukken (1100 verkeersdoden per jaar) als minder ernstig ervaren dan een groot ongeluk met 1100 slachtoffers (bv. Een vliegcrash), ook al is de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers gelijk. Laagfrequente ongevallen met grote gevolgen zoals overstromingen of vliegcrashes hebben een grote standaardafwijking en zullen dus tot een hoog TR leiden.

Normering

Als slechts normen op installatie niveau worden gebruikt kunnen de risico's op nationaal niveau bij de aanwezigheid van zeer veel installaties onaanvaardbaar hoog zijn. Daarom lijkt het gewenst risico's op nationaal niveau in beschouwing te nemen en vervolgens hieruit het aanvaardbare risico op lokaal niveau af te leiden (zie ook [CUR, 1997]).

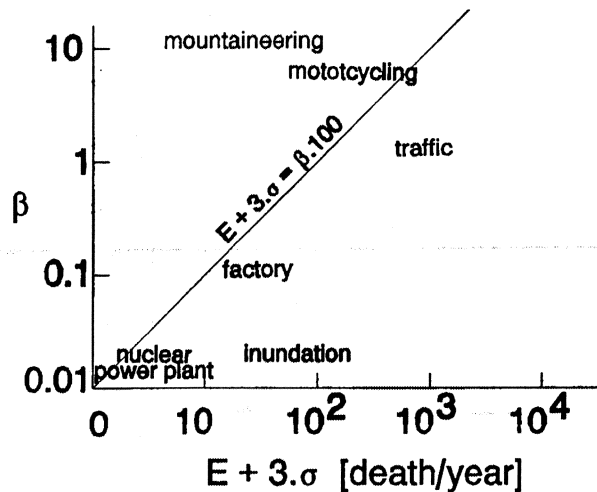
Een norm voor het totaal risico is afgeleid door het maatschappelijk geaccepteerd risico te relateren aan de kans op overlijden van een persoon ten gevolge van een onvrijwillige activiteit in een groep ter grootte van een gemiddelde kennissenkring van zo'n 100 personen. Deze kans bedraagt circa $1,4 \cdot 10^{-3}$ per jaar. Rekening houdend met een beleidsfactor $\beta=0.1$ (zie paragraaf 4.2) voor een onvrijwillige activiteit is deze kans te schrijven als $\beta \cdot 1,4 \cdot 10^{-2}$. De kans dat een persoon in een groep van 100 in Nederland overlijdt is te limiteren voor de genoemde eis:

$$\frac{E(N)}{14 \cdot 10^6} 100 < \beta \cdot 1,4 \cdot 10^{-2}$$

Na herschikking van deze uitdrukking en na invoering van de verdeling over het willekeurige aantal van 20 activiteiten, resulteert dit in een norm voor het totaal risico:

$$TR < \beta \cdot 100$$

De waarde van β wordt gekozen aan de hand van het nut en de vrijwilligheid van de activiteit, zie verder paragraaf 4.2. Als voor een aantal activiteiten de beleidsfactor wordt uitgezet tegen de totaal risico waarden, blijkt dit model vrij goed overeen komen met de praktijk.



Figuur 12: beleidsfactor β uitgezet tegen het totaal risico

Bepaling van een lokaal criterium op basis van het totaal risico

Uit de totaal risico norm is een norm voor het aanvaardbaar lokaal risico af te leiden in de vorm van de VROM norm voor installaties. De lokale norm wordt als volgt genoteerd:

$$1 - F_N(x) < \frac{C}{x^2}$$

De waarde van de factor C is te vinden volgens de volgende afleiding.

Als het aantal slachtoffers Bernoulli verdeeld is en bij N_A onafhankelijke installaties zijn verwachtingswaarde en standaardafwijking:

$$E(N) = N_A \cdot p_f \cdot N_{d|f}$$

$$\sigma(N)^2 = N_A \cdot p_f \cdot (1 - p_f) \cdot N_{d|f}^2 \approx N_A \cdot p_f \cdot N_{d|f}^2$$

Waarin:

N_A het aantal plaatsen waarop de activiteit wordt beoefend of het aantal installaties

p_f kans op een ongeval bij een installatie

$N_{d|f}$ aantal dodelijke slachtoffers bij een ongeval

Door verwachtingswaarde en standaardafwijking in het totaal risico in te vullen is de factor C te bepalen.

$$C = \left[\frac{-k \cdot \sqrt{N_A} + \sqrt{k^2 \cdot N_A + 4 \cdot N_A / N_{d|f} \cdot \beta_i \cdot 100}}{2 \cdot N_A / N_{d|f}} \right]^2$$

Hiermee is de aanvaardbare faalkans per installatie (p_f of $1 - F_N$) te bepalen. Aan het eind van deze bijlage is de invloed van het aantal installaties en de waarde van de β en k factor op deze aanvaardbare faalkans per installatie onderzocht.

Als de verwachtingswaarde van het aantal doden veel kleiner is dan de standaardafwijking (iets wat vaak waar is voor weinig voorkomende calamiteiten met grote aantallen slachtoffers) geldt:

$$C = \left[\frac{\beta \cdot 100}{c \cdot k \cdot \sqrt{N_A}} \right]^2$$

De parameter c geeft de invloed van het verdelingstype van de slachtoffers weer. Normaal gesproken wordt uitgegaan van een deterministisch aantal slachtoffers, waarvoor $c=1$, voor een exponentiële verdeling geldt $c=2$, voor een inverse kwadratische verdeling is

$$c = \sqrt{2 \cdot \ln(N_{\max})}.$$

Als ter vereenvoudiging een waarde van $c=1$ geldt (Bernoulli verdeling) dan is aan te tonen dat men bij het voldoen aan de TAW norm automatisch aan de VROM norm voldoet, ongeacht de verdeling. Andersom hoeft dit niet te gelden.

Met deze uitdrukking kan bepaald worden hoeveel onafhankelijke installaties die voldoen aan de VROM norm, er mogen zijn, voordat de TAW norm overschreden wordt.

$$N_A = \frac{(\beta \cdot 100)^2}{c^2 \cdot k^2 \cdot 10^{-3}}$$

De norm voor groepsrisico voor een installatie is ook in TAW formaat weer te geven. Bij een deterministisch aantal slachtoffers met een kleine verwachtingswaarde is dit te schrijven als:

$$E(N) + k\sigma(N) < k \cdot 0.032$$

Bij een exponentiële verdeling van het aantal doden wordt de factor in het rechter lid 0.061. In vergelijking met de TAW norm is het getal in het rechterlid erg klein. De TAW norm begrenst echter het aantal doden op nationale schaal, terwijl de aangepaste VROM regel voor één installatie geldig is.

De uiteindelijke conclusie is dat VROM en TAW norm in principe gelijk zijn als het aantal onafhankelijke installaties in aanmerking wordt genomen. Dan is de VROM regel een bijzonder geval van de algemeen geldende TAW norm, voor bijvoorbeeld parameter waarden $\beta=0.03$, $N_A=1000$ en $k=3$.

Verskil tussen VROM en TR norm

Het totaal risico limiteert het risico op landelijk niveau, terwijl het groepsrisico criterium het risico per installatie beperkt. Bij toepassing van alleen de VROM norm kan bij een toename van het aantal installaties, die elk aan de VROM norm voldoen, op nationaal niveau een ongewenste situatie ontstaan. Een ander belangrijk verschil tussen beide normen is het feit dat het totaal risico een aantal extra parameters bevat. Met behulp van de factoren k en β kunnen risico aversie en vrijwilligheid en nut van een activiteit in de afweging worden betrokken. Daarnaast zal het aantal installaties invloed hebben op de hoogte van de locale norm. Het totaal risico heeft zo een bepaalde flexibiliteit in toepassing, terwijl de VROM norm uitgaat van onvrijwillige risico's voor externe partijen.

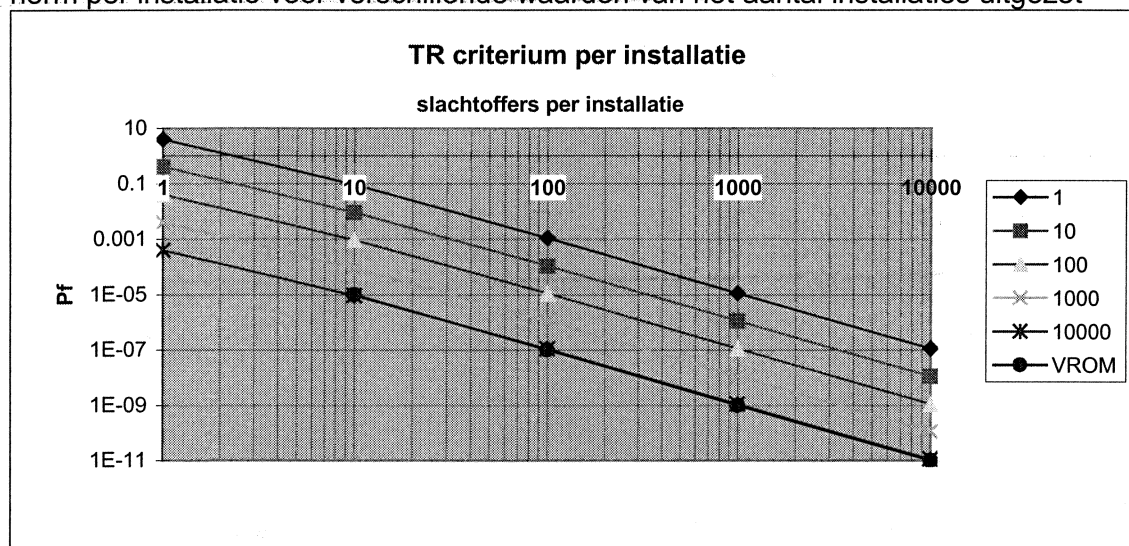
Toepassing

Door het ministerie van Verkeer en Waterstaat zijn de mogelijkheden voor het gebruik van het Totaal risico voor verschillende beleidsterreinen, (waterkeren, luchtvaart, installaties, verkeer en transport van gevaarlijke stoffen) onderzocht. De norm zal voorlopig echter nog niet op deze terreinen toegepast worden.

Invloed van parameters op de ligging van de norm per installatie afgeleid met het totaal risico

Aantal installaties (N_A)

Uitgaande van een deterministisch aantal slachtoffers en $k=3$ en $\beta=0,1$ is te de ligging van de norm per installatie voor verschillende waarden van het aantal installaties uitgezet

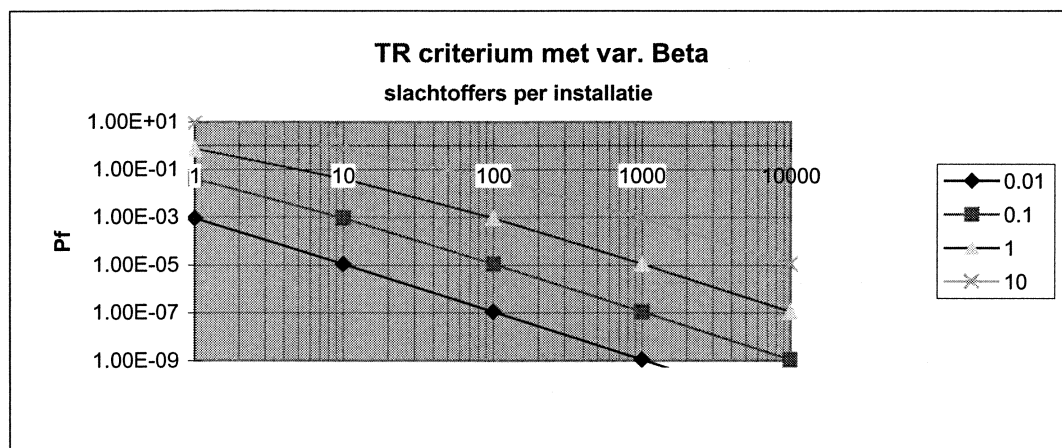


Figuur 13: TAW criterium per installatie, $\beta=0,1$ $k=3$ Bernoulli verdeeld, N_A variabel

Uit de figuur is te zien dat de TR norm steeds strenger wordt naarmate het aantal installaties toeneemt. Voor ongeveer 10.000 installaties zijn de VROM en TR criteria (voor $n>10$) gelijk.

Beleidsfactor β

De invloed van de β factor kan ook grafisch weergegeven worden.

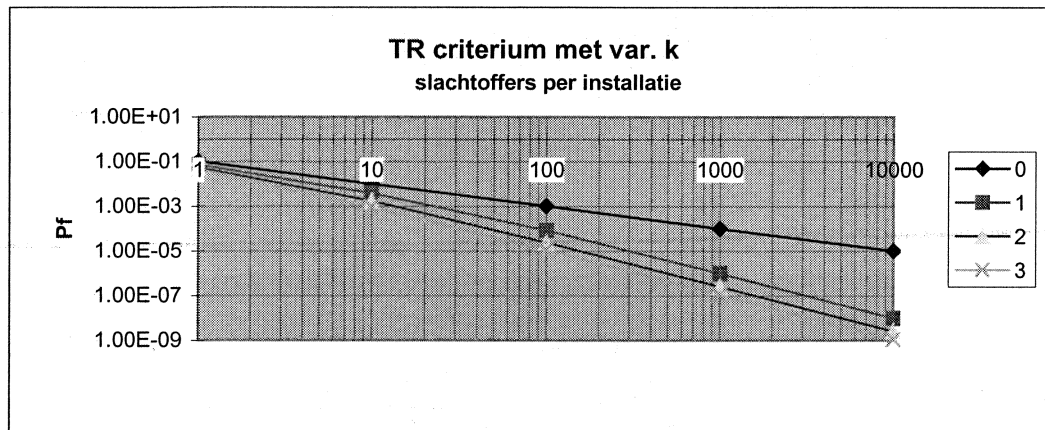


Figuur 14: TAW criterium per installatie; $N_A=100$ $k=3$ Bernoulli verdeeld variabel

Te zien is dat bij meer vrijwilligheid van een activiteit, dus een hogere β de norm minder streng wordt.

Risico aversie factor k

De waarde van deze factor heeft met name invloed op de steilheid van de lokale norm



Figuur 15: TAW criterium per installatie; $N_A=100$ Beta=0,1 Bernoulli verdeeld k variabel

Literatuur

- [CUR, 1997]
- [Vrouwenvelder, 1995]
- [Vrijling, 1993]
- [Vrijling, 1995]
- [Vrijling, 1998]

Bijlage 2.B.9 Bohnenblust

Als onderdeel van een geïntegreerde aanpak waarin ook de beoordeling van het individueel risico en de kosten van veiligheidsmaatregelen aan bod komen gebruikt Bohnenblust [1998] een maat voor maatschappelijk risico, de perceived collective risk (R_p):

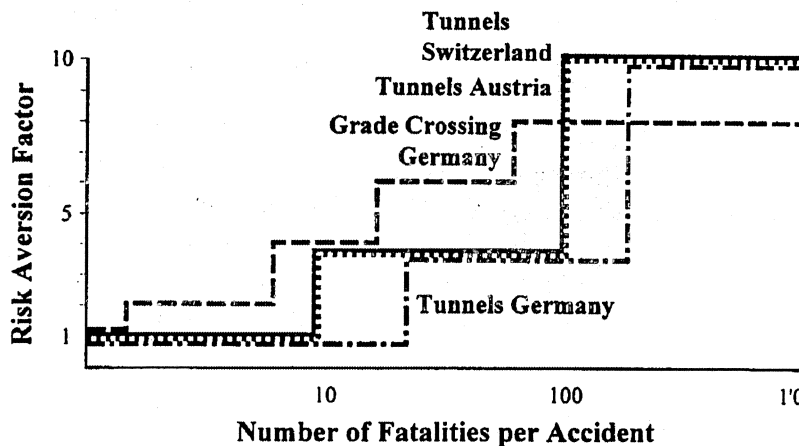
$$R_p = \sum_{i=1}^n P_i N_i \varphi(N_i)$$

n	het aantal onafhankelijke scenario's voor ongelukken i
P_i	kans van optreden scenario i
N_i	gevolg (aantal slachtoffers) van scenario i
$\varphi(N_i)$	risico aversie als functie van het gevolg

Deze maat bepaalt in feite de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers met medeneming van de risico aversie factor φ . In integraal vorm geschreven ziet de uitdrukking er als volgt uit:

$$R_p = \int_0^{\infty} x \varphi(x) \cdot f_N(x) \cdot dx$$

Enkele risico aversie functies zijn weergegeven in onderstaande grafiek:



Figuur 16: risico aversie, φ , als functie van het aantal slachtoffers [Bohnenblust, 1998]

Uit de figuur is af te leiden dat [Vrijling, 1997] $\varphi(x) \approx \sqrt{0,1 \cdot x}$. De perceived collective risk is dan te schrijven als:

$$R_p \approx \int_0^x \sqrt{0,1 \cdot x^{1,5}} \cdot f_N(x) \cdot dx$$

De perceived collective risk is ook een risico aversie maat, omdat een risico aversie factor wordt meegenomen in de uitdrukking.

Toepassing en normering

De perceived collective kent geen normering. De methode wordt in een geïntegreerde aanpak gebruikt om de optimale investeringen in veiligheidsmaatregelen te bepalen en is toegepast in enkele studies naar de veiligheid van spoorwegen in Duitsland, Zwitserland en Oostenrijk.

Literatuur

[Bohnenblust, 1998]

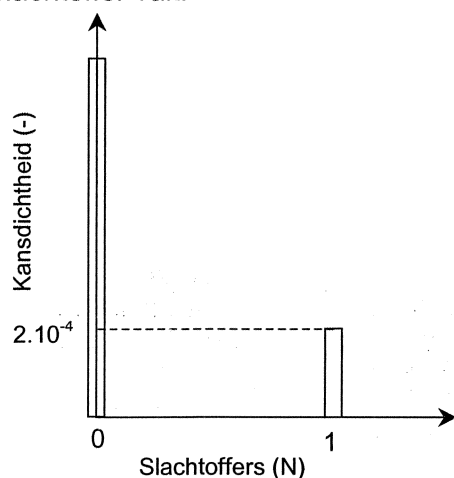
Bijlage 2.B.10 Voorbeeld berekening maatschappelijk risicomaten

In deze bijlage zijn voor enkele maten op het gebied van maatschappelijk risico voorbeeldberekeningen gemaakt. Hierbij gaat het om de maten FN curve (of groepsrisico), verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers, risk integral, Smets, totaal risico en Bohnenblust. Alle deze maten worden berekend aan de hand van de kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers.

Twee voorbeelden zijn behandeld. De gebruikte gegevens zijn aangenomen waarden, die weliswaar overeenkomsten met de werkelijkheid vertonen. Voor beide voorbeelden is een deterministisch aantal slachtoffers aangenomen.

Voorbeeld 1: Verkeersongevallen

Het aantal auto's (oftewel het aantal installaties N_A) in Nederland bedraagt zo'n 6 miljoen. De kans op een dodelijk ongeval bedraagt $2 \cdot 10^{-4}$. Aangenomen is dat bij een ongeval 1 slachtoffer valt.



Figuur 17: kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers

De FN curve is af te leiden uit de kansdichtheidsfunctie, maar is hier niet weergegeven, omdat de logaritme van 1 gelijk is aan 0.

Vervolgens zijn verwachtingswaarde en standaardafwijking te berekenen

$$E(N) = N_A \cdot p_f \cdot N = 6 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 1 = 1200$$

$$\sigma(N) = \sqrt{N_A \cdot p_f \cdot N} = \sqrt{6 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 1} = 34.6$$

De risk integral is te berekenen uit gemiddelde en standaardafwijking

$$RI = 0.5(E^2(N) + \sigma^2(N)) = 0.5(1200^2 + 34.6^2) = 1.44 \cdot 10^6$$

De uitdrukking van Smets is per installatie te bepalen volgens:

$$\int_1^{1000} x^2 \cdot f_N(x) dx$$

Aangezien het aantal slachtoffers 1 bedraagt is deze uitdrukking in dit geval gelijk aan de verwachtingswaarde.

Het totaal risico volgt uit:

$$TR = E(N) + k \cdot \sigma(N) = 1200 + 3.34,6 = 1304$$

Deze situatie is aanvaardbaar bij een β van 13

Vervolgens wordt de uitdrukking van Bohnenblust berekend. Voor de risico aversie $\phi(x)$ volgt uit [Vrijling, 1997]:

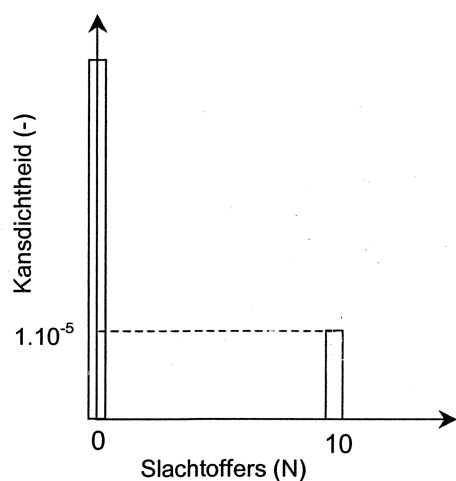
$$\phi(x) = \sqrt{0,1 \cdot x} = 0.316$$

$$R_p = \int_0^{\infty} x \cdot \phi(x) \cdot f_N(x) \cdot dx = 6.32 \cdot 10^{-5}$$

Op nationale schaal geeft dit een R_p van 379.2

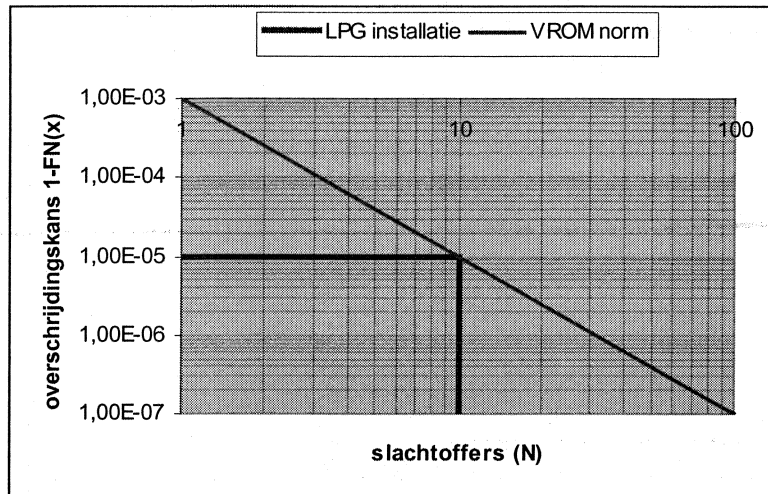
Voorbeeld 2: LPG installaties (gedeeltelijk overgenomen uit [Vrouwenvelder, 1995])

Het aantal LPG installaties in Nederland wordt aangenomen op 1000 ($N_A=1000$). De kans op een ongeval in een installaties met 10 doden bedraagt 10^{-5} per jaar.



Figuur 18: Kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers voor een ongeval bij een LPG installatie

Hieruit is een FN curve te bepalen, waarin de VROM norm voor groepsrisico is weergegeven.



Figuur 19: FN curve voor het aantal slachtoffers bij een ongeval met een LPG installatie, met daarin weergegeven de VROM norm

Er geldt:

$$E(N) = N_A \cdot p_f \cdot N = 1000 \cdot 10^{-5} \cdot 10 = 0.1$$

$$\sigma(N) = \sqrt{N_A \cdot p_f \cdot N} = \sqrt{1000 \cdot 10^{-5} \cdot 10} = 1$$

$$RI = 0.5(E^2(N) + \sigma^2(N)) = 0.5(0.1^2 + 1^2) = 1,01$$

Er geldt per installatie voor de uitdrukking van Smets

$$\int_1^{1000} x^2 \cdot f_N(x) dx = 10^{-3}$$

Voor alle installaties geeft dit voor Smets een waarde van 1.

Er geldt:

$$TR = E(N) + k \cdot \sigma(N) = 0,1 + 3 \cdot 1 = 3,1$$

De situatie is aanvaardbaar voor een β van 0.03.

De uitdrukking van Bohnenblust (R_p) wordt als volgt berekend

$$\varphi(x) = \sqrt{0,1 \cdot x} = 1$$

$$R_p = \int_0^{\infty} x \cdot \varphi(x) \cdot f_N(x) \cdot dx = 10^{-4}$$

Op nationale schaal geeft dit dus hetzelfde resultaat als de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers, namelijk $R_p=0,1$.

Overzicht risicoberekeningen

In de tabel op de volgende pagina is een overzicht gegeven van de resultaten van de berekeningen uit de twee voorbeelden.

Tabel: Overzicht resultaten risicoberekeningen

	Symbool	Voorbeeld 1 Verkeersveiligheid	Voorbeeld 2 LPG installaties
Aantal installaties	N_A	$6 \cdot 10^6$	1000
Kans op ongeval	P_f	$2 \cdot 10^{-4}$	10^{-5}
Slachtoffers bij ongeval	N	1	10
Verwachtingswaarde aantal slachtoffers	$E(N)$	1200	0.1
Standaardafwijking aantal slachtoffers		34.6	1
Risk integral	RI	$1.44 \cdot 10^6$	1.01
Smets	-	1200	1
Totaal risico	TR	1304	3.1
Bohnenblust	R_p	379.2	0.1

Bijlage 2.B.11 Overzicht risicomaten maatschappelijk risico

In deze bijlage is een overzicht gegeven van enkele belangrijke aspecten van de maten op het gebied van maatschappelijk risico.

De risicomaten, gesommeerd gewogen risico, verwachtingswaarde uit individueel risico en scaled risk integral zijn gebaseerd op individueel risicocontouren. Deze maten leggen verband tussen de risico's op een bepaalde plaats, aangegeven met de risicocontouren, en de daadwerkelijke aanwezigheid van personen en/of bebouwing op die plaats.

Basis voor de andere risicomaten vormt de kansdichtheidsfunctie van het jaarlijks aantal slachtoffers. Bijna alle maten zijn te herleiden tot de eigenschappen van de kansdichtheidsfunctie, verwachtingswaarde $E(N)$ en standaardafwijking $\sigma(N)$.

In de maatschappelijke beleving van ongevallen is risico aversie tegen grote aantallen slachtoffers te herkennen, ook al is de kans daarop relatief klein. Grote ongevallen met kleine kans hebben een relatief lage verwachtingswaarde en een hoge standaardafwijking. Door de standaardafwijking te betrekken in de risicomaat ontstaat een uitdrukking die de risico aversie tegen grote ongevallen weergeeft. Daarnaast zal het kwadratisch meenemen van verwachtingswaarde en/of standaardafwijking of het gebruiken van een risico aversie factor resulteren in een risico averse uitdrukking.

Daarnaast is het mogelijk om de aversie tegen grote ongevallen vast te leggen in de norm, zoals in de VROM normering in de FN curve gebeurt. Ook kan de hoogte van de norm, zoals bij het totaal risico afhangen van het nut en de vrijwilligheid van een activiteit.

Maten die rechtstreeks uit de kansdichtheidsfunctie zijn afgeleid zonder dat grotere gevolgen zwaarder worden meegenomen zijn risico neutraal. Dit geldt voor de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers en de FN curve.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de risicomaten voor maatschappelijk risico, hun eventuele toepassing en normering. Daarnaast zijn enkele besproken kenmerken opgenomen.

	Basis	E en σ	Risico aversie
Gesommeerd gewogen risico	IR contouren	-	Nee
Verwachtingswaarde uit IR contouren	IR contouren	$E(N)$ uit IR	Nee
Scaled risk integral	IR contouren	-	Nee
FN curve	Kansdichtheidsfunctie	Af te leiden uit FN curve of kdf	Nee
Verwachtingswaarde uit kansdichtheidsfunctie	Kansdichtheidsfunctie	$E(N)$	Nee
Risk integral	Kansdichtheidsfunctie	$\frac{1}{2}(E^2(N) + \sigma^2(N))$	Ja, kwadratisch
Smets	Kansdichtheidsfunctie	$E^2(N) + \sigma^2(N)$, voor $N < 1000$	Ja, kwadratisch
Totaal risico	Kansdichtheidsfunctie	$E(N) + k \cdot \sigma(N)$	Ja, $k \cdot \sigma(N)$
Bohnenblust	Kansdichtheidsfunctie	-	Ja, $\phi(x)$

Bijlage 2.C Economisch risico

Bijlage 2.C.1 FG curve

In een FG curve wordt de overschrijdingskans van de economische schade uitgezet tegen de grootte van de schade. Op dezelfde wijze als bij de FN curve is de FG curve uit de kansverdelingsfunctie en dus de kansdichtheidsfunctie van de jaarlijkse economische schade af te leiden:

$$1 - F_G(x) = P(G > x) = 1 - \int_0^x f_G(x) \cdot dx$$

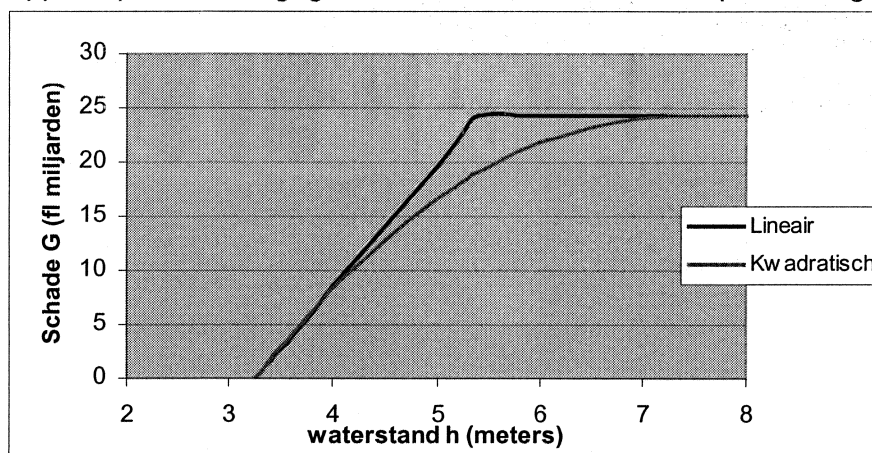
Waarin:

$f_G(x)$ kansdichtheidsfunctie van de jaarlijkse economische schade
 $F_G(x)$ kansverdelingsfunctie van de jaarlijkse economische schade

In een FG curve wordt de overschrijdingskans van de economische schade ($1 - F_G(x)$) uitgezet tegen de omvang van de schade. De grafiek geeft goed inzicht in de omvang van kansen en gevolgen.

Bepaling van een FG curve voor overstromingsrisico

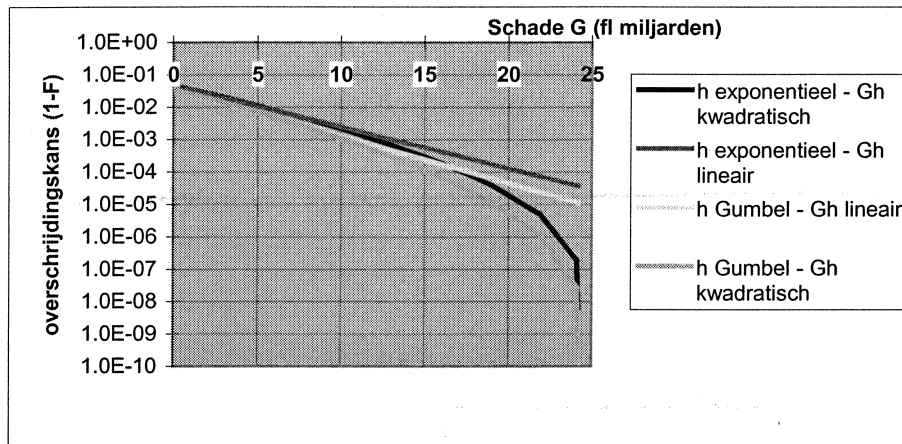
In het rapport van de Delta Commissie [1960] is opgemerkt dat de te verwachten economische schade bij een overstroming afhankelijk zal zijn van de optredende waterstand. Bij een hogere waterstand in de dijkkring zal de schade immers groter zijn. Twee mogelijke verbanden tussen de economische schade in Centraal Holland en de waterstand zijn in het rapport op basis van gegevens van de Watersnoodramp in 1953 gegeven.



Figuur 1: verband tussen waterstand en economische schade

Als de kansdichtheidsfunctie van de waterstand bekend is, is uit dit verband de kansdichtheidsfunctie van de schade af te leiden. Vervolgens is een FG curve te maken waarin de overschrijdingskans van de economische schade is uitgezet. Voor de twee verbanden tussen schade en waterstand (lineair en kwadratisch) en twee verdelingsfuncties van de waterstand (exponentieel en Gumbel) is een FG curve getekend.



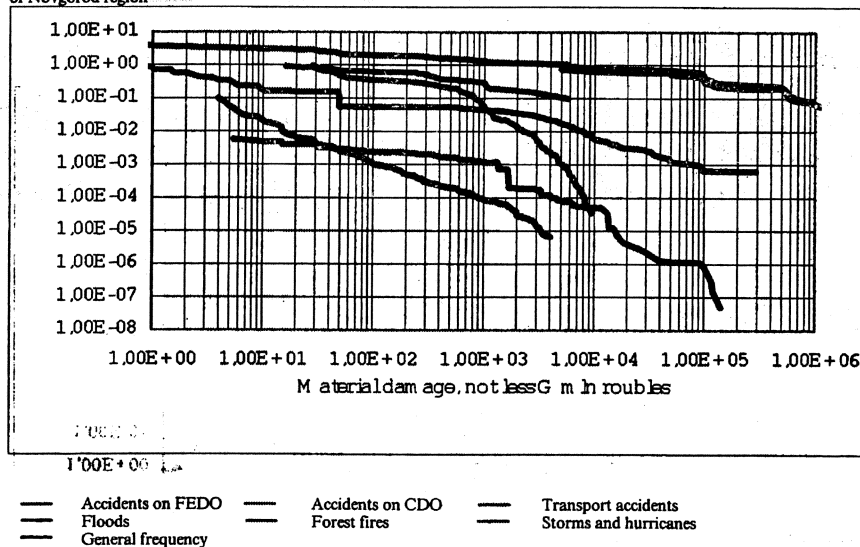


Figuur 2: FG curve afgeleid uit de kansdichtheidsfunctie van de waterstand en het verband tussen waterstand en economische schade (in de legenda Gh)(figuur 1)

Toepassing: weergave verschillende risico's

Als voorbeeld van toepassing is hier een FG curve voor ongelukken met: explosieve en brandbare objecten, pijpleidingen, chemische installaties, bosbranden, transport, stormen en hoogwaters voor de regio Novgorodsky in Rusland weergegeven.

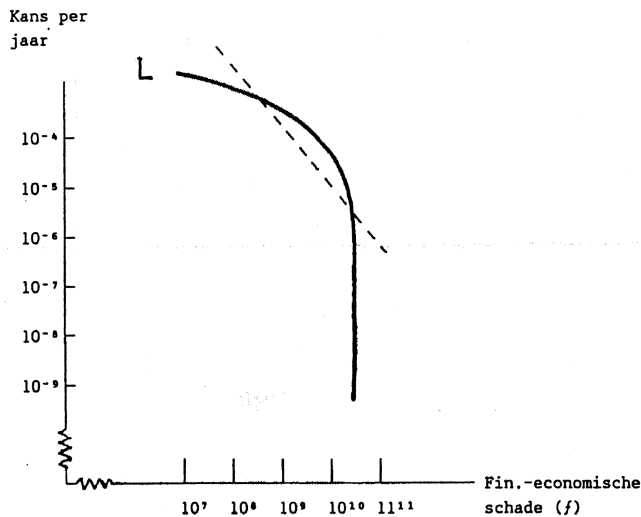
Fig. 2 Frequencies of occurrence of material damage of various scale from extreme situations natural and technical character in territory of Novgorod region



Figuur 3: FG curve voor regio Novgorodsky [Yelokhin, 1997]

Normering van de FG curve [Jansen, 1988]

De Nederlander Jansen heeft geprobeerd een financieel economische risicolimiet vast te stellen, die aangeeft welke economische schade bij welke kans nog aanvaardbaar is. Hij stelt dat bij grote kansen met kleine economische gevolgen geen limiet van toepassing is. Bij dergelijke activiteiten is de kans op onverwacht grote schade gering en is de economische aanvaardbaarheid te bepalen met een kosten baten analyse. Voor ongelukken met zeer grote economische gevolgen zal zelfs een zeer kleine kans niet aanvaardbaar zijn. De risicolimiet zal daarmee de volgende vorm hebben.



Figuur 4: Verloop van de financieel economische risicolimiet (getrokken lijn), met op de y-as de overschrijdingskans ($1-F$) en op de x-as de economische schade (G) [Jansen, 1988]

In deze grafiek is de aversie tegen ongevallen met zeer grote economische schade te herkennen. Deze ongevallen hebben weliswaar een lage verwachtingswaarde hebben, maar een hoge standaardafwijking. Voor een ongeval met een kans van 10^{-9} en een gevolg van fl 10^{10} , is de verwachtingswaarde fl 10, terwijl de standaardafwijking zo'n fl 300.000 bedraagt.

Om de ligging van de limiet te bepalen is op verschillende gebieden gezocht naar de acceptatie van economische risico's: op het gebied van kernenergie, het transport van gevaarlijke stoffen over zee, het overstromingsrisico, vliegverkeer, storingen in het automatisch betalingsverkeer en veiligheid in de bouw. Hieruit is echter geen eenduidige risicolimiet af te leiden. Jansen concludeert dat hieruit dat ook andere, niet economische aspecten, een belangrijke rol bij de aanvaardbaarheid van risico's zullen spelen (slachtoffers, milieu, etc.).

Literatuur

[Yelokhin, 1997]

[Jansen, 1988]

Bijlage 2.C.2 Verwachtingswaarde van de jaarlijkse economische schade

Uit de kansdichtheidsfunctie van de schade is de verwachtingswaarde van de jaarlijkse schade te bepalen:

$$E(G) = \int_0^{\infty} x \cdot f_G(x) \cdot dx$$

Waarin

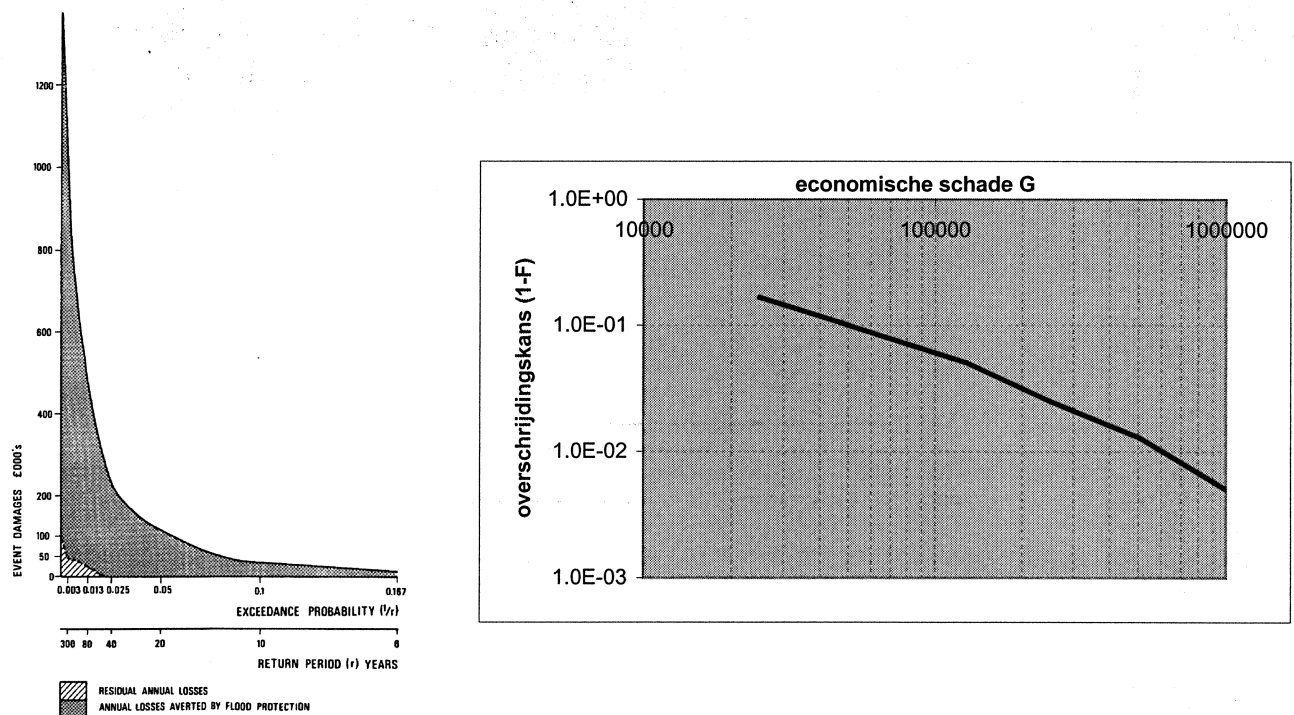
$E(G)$ verwachtingswaarde van de jaarlijkse economische schade
 $f_G(x)$ de kansdichtheidsfunctie van de economische schade

Ook hier geldt volgens de afleiding uit bijlage 2.5.B dat de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers gelijk is aan het oppervlak onder de FG curve.

$$E(G) = \int_0^{\infty} (1 - F_G(x)) \cdot dx$$

Toepassing: Kosten baten analyse van een overstroming [Parker, 1987]

In Groot Brittannië worden maatregelen ter voorkoming van overstroming afgewogen met behulp van een kosten baten analyse. Hierin worden de kosten van de maatregelen ter bescherming tegen een overstroming afgewogen tegen de baten ervan. Deze bestaan uit de reductie van het economische risico en kunnen worden bepaald uit een figuur waarin de overschrijdingskans is uitgezet tegen de economische schade. Deze figuur is in feite een FG curve.



Figuur 1: verband tussen economische schade en overstromingskans [Parker, 1987], daarnaast uitgezet op dubbel logaritmische schaal.

De baten van een overstromingsbeperkende maatregelen worden bepaald door een FG curve te tekenen voor de situaties met en zonder maatregel. Voor beide situaties is de

verwachtingswaarde van de economische schade te bepalen. Het verschil tussen beide verwachtingswaarden is gelijk aan de baten van de maatregel:

$$Baten = E(G)_0 - E(G)_{maatregel}$$

$E(G)_0$ verwachtingswaarde van de schade zonder dat de maatregel is genomen

$E(G)_{maatregel}$ verwachtingswaarde van de schade wanneer de maatregel is genomen

En dergelijke kosten baten analyse is in Groot Brittanië door de overheid voorgeschreven om de kosten van overstromings- en erosie beperkende maatregelen te verantwoorden.

Literatuur

[Parker, 1987]



Bijlage 2.C.3 Economische optimalisatie

Het aanvaardbare risiconiveau kan worden afgeleid uit een economisch beslissingsprobleem. De totale kosten bestaan hierin uit de som van investeringen in veiligheidsmaatregelen (I) en het risico, uitgedrukt in de contant gemaakte verwachtingswaarde van de economische schade ($E(G)$). In de economisch optimale situatie zijn de totale kosten (C_{tot}) minimaal.

$$\min(C_{tot}) = \min(I + E(G))$$

Met dit criterium is een optimale faalkans van het systeem af te leiden als investeringen en risico beiden afhankelijk zijn van de faalkans.

Toepassing: Economische optimalisatie van dijkringen [Deltacommissie, 1960]

Door de Deltacommissie is de economische optimalisatie toegepast bij het bepalen van de optimale dijkhoogte voor Centraal Holland. Hierbij bestaan de totale kosten uit de investeringen in dijkverhoging en de contante waarde van de verwachtingswaarde van de schade ten gevolge van een overstroming.

Allereerst worden de investeringen bepaald. Deze bestaan uit dijkverhoging over de gehele lengte. De dijkverhoging bedraagt X meter, het verschil tussen de nieuwe dijkhoogte h en huidige dijkhoogte h_0 :

$$X = h - h_0$$

De totale investeringen in dijkverhoging (I_{tot}) bestaan uit de initiële of mobilisatiekosten, (I_0), en de variabele kosten per meter dijkverhoging, (I'):

$$I_{tot} = I_0 + I' \cdot X$$

Het risico is de verwachtingswaarde van de jaarlijkse schade en is gelijk aan het product van de overstromingskans (P_b) en de economische schade. De economische schade zal onder meer afhankelijk zijn van de plaats van doorbreken en de overstromingsdiepte in de dijkkring. In de berekening van de Deltacommissie is echter aangenomen dat de economische schade bij een overstroming gelijk is aan de totale economische waarde van het gebied G_{max} .

$$Risico = P_b \cdot G_{max}$$

De overstromingskans wordt in deze benadering gelijk gesteld aan de kans op overschrijding van de dijkhoogte door de waterstand. Hierbij is aangenomen dat de waterstand exponentieel verdeeld is:

$$P_b = e^{-\frac{h-A}{B}}$$

waarin:

A, B parameters in de exponentiele verdeling
 h de dijkhoogte

Vervolgens wordt de contante waarde van het risico bepaald. Deze waarde is te zien als de contante kosten van de jaarlijkse schadeverwachting:

$$Risico = \frac{P_b \cdot G_{max}}{r'}$$

Waarin:

r' de gereduceerde rentevoet = rente + economische groei - inflatie

De totale kosten (C_{tot}) bestaan uit de som van de investeringen in dijkverhoging en de contante waarde van het risico:

$$C_{tot} = I_0 + I' \cdot X + \frac{e^{\frac{h-A}{B}} \cdot G_{max}}{r'}$$

De economisch optimale situatie is die waarbij de totale kosten minimaal zijn. Dit punt is te vinden door de afgeleide van de totale kosten naar de dijkhoogte gelijk aan nul te stellen:

$$\frac{\partial C_{tot}}{\partial h} = I' - \frac{1}{B} \cdot e^{\frac{h-A}{B}} \cdot \frac{G_{max}}{r'} = I' - \frac{P_b \cdot G_{max}}{B \cdot r'} = 0$$

Hieruit volgen de optimale overstromingskans ($P_{b,opt}$) en de bijbehorende dijkhoogte (h_{opt}):

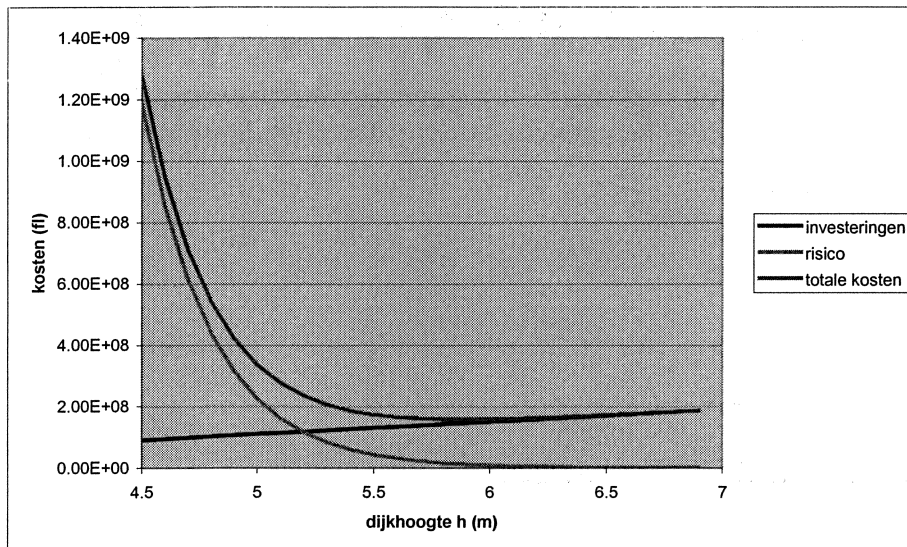
$$P_{b,opt} = \frac{I' \cdot B \cdot r'}{G_{max}} \quad \text{en} \quad h_{opt} = A - B \cdot \ln(P_{b,opt})$$

In feite is het optimum bereikt als de marginale kosten van veiligheidsmaatregelen juist gelijk zijn aan de marginale opbrengst, namelijk de afname van het risico.

Vervolgens moet gecontroleerd worden of de totale kosten bij dijkverhoging lager zijn dan de schadeverwachting in de bestaande toestand. Deze eis is te formuleren als:

$$\frac{P_{b,0} \cdot G_{max}}{r'} > I_{tot} + \frac{P_{b,opt} \cdot G_{max}}{r'}$$

Als aan deze eis voldaan wordt is de afname van het risico groter dan de kosten van dijkverbetering. De resultaten van de berekening van de Deltacommissie voor Centraal Holland zijn grafisch weer te geven. Hierin zijn investeringen, risico en totale kosten als functie van de waterstand uitgezet.



Figuur 1: Investerings risico en totale kosten als functie van de dijkhoogte

Gegevens Delta Commissie

Mobilisatiekosten:

Kosten per meter dijkverhoging:

Huidige dijkhoogte:

Gemiddelde, gereduceerde rentevoet

Te beschermen waarde:

Exponentiële verdeling:

$I_0 = 110$ miljoen gulden

$I' = 40$ miljoen gulden per meter

$h = \text{NAP} + 5.0\text{m}$

$r = 1.5\%$

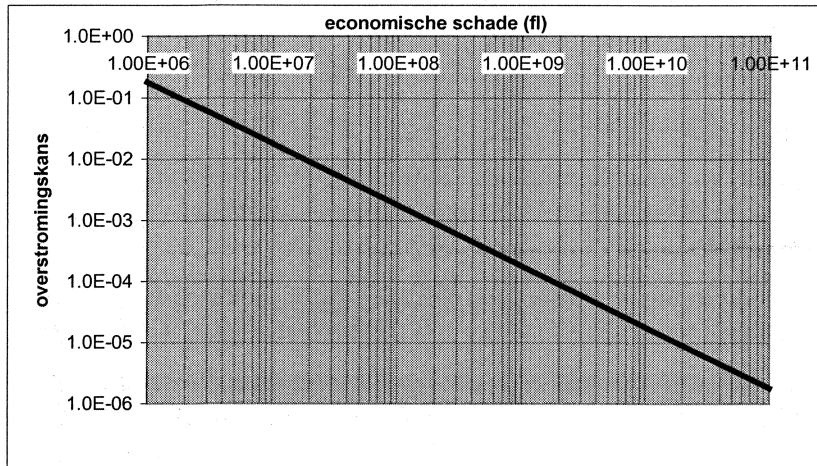
$G_{max} = 24.2$ miljard gulden

$A = 2.329$; $B = 0.301$

De economisch optimale overstromingskans bedraagt $7.4 \cdot 10^{-6}$. De optimale dijkhoogte is 5.9 meter.

Afleiding van een FG curve uit de economische optimalisatie

Ook uit de economische optimalisatie is een FG curve af te leiden door de economisch optimale overstromingskans uit te zetten tegen de economische schade, terwijl de andere parameters constant blijven.



Figuur 2: Economisch optimale overstromingskans voor als functie van de economische schade

Literatuur

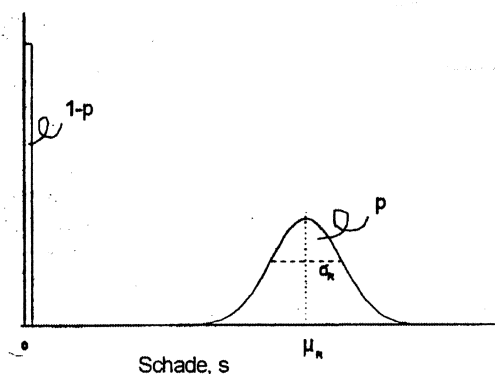
[Deltacommissie, 1960]

Bijlage 2.C.4 Onzekerheid in de economische optimalisatie

In [Slijkhuis, 1996] is aangetoond dat het mogelijk is om onzekerheden en risico aversie te betrekken in het uitvoeren van de economische optimalisatie. Hierbij vormt de berekening van de Deltacommissie, opgenomen in bijlage 2.C.3 het uitgangspunt.

In de economische optimalisatie zoals uitgevoerd door de Deltacommissie zijn voor de parameters deterministische waarden aangenomen, terwijl deze waarden in werkelijkheid niet exact te bepalen zullen zijn.

Door Slijkhuis zijn de kosten in dijkverhoging (I en I') en de schade bij een ramp ($G_{\max}$) als stochasten beschouwd. Aangenomen wordt dat de parameters normaal verdeeld zijn:



Figuur 1: normale verdeling van parameters I , I' en $G_{\max}$ [Slijkhuis, 1996]

	Gemiddelde μ	Variatiecoëfficiënt	standaardafwijking σ
I_0	$110 \cdot 10^6$ gld	$V_{I_0}=0.1$	$11 \cdot 10^6$ gld
I'	$40 \cdot 10^6$ gld/m	$V_{I'}=0.1$	$4 \cdot 10^6$ gld/m
$G_{\max}$	$24.2 \cdot 10^9$	$V_S=0.3$	$7.26 \cdot 10^9$ gld

De schade bij een overstroming zal minder goed te voorspellen zijn dan de investeringen en daarom een hogere variatiecoëfficiënt hebben.

Nu zijn de verwachtingswaarde en de variantie van de totale kosten te bepalen:

$$E(C_{tot}) = E(I_0) + E(I') \cdot X + \frac{P_b \cdot \mu(G_{\max})}{r'}$$

$$\sigma^2(C_{tot}) = \sigma^2(I_0) + \sigma^2(I') \cdot X^2 + \frac{P_b \cdot [\sigma^2(G_{\max}) + (1 - P_b)E^2(G_{\max})]}{(1 + r')^2 - 1}$$

De onzekerheid in de parameters is mee te nemen in de totale kosten. De standaardafwijking wordt hierbij vermenigvuldigd met een factor k .

$$C_{tot} = E(C_{tot}) + k \cdot \sigma(C_{tot})$$

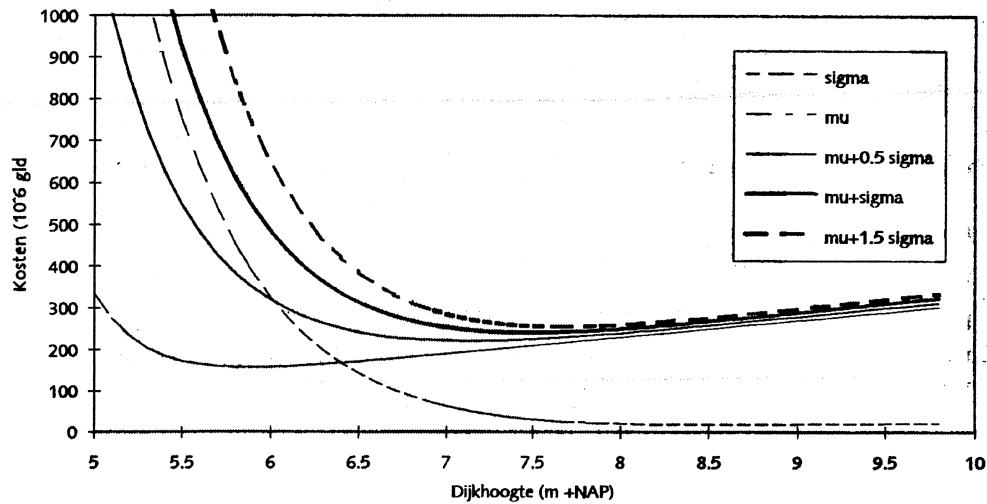
Als alleen het gemiddelde wordt meegenomen ($k=0$) zal het optimum gelijk zijn aan het in de vorige paragraaf bepaalde optimum. Het meenemen van de factor k zal leiden tot een optimum met een kleinere kans op economische schade, maar tot hogere investeringen. De factor k geeft dus een uitdrukking voor de **risico aversie** tegen grote economische schade.

Het economisch optimum is te vinden met volgende criterium:

$$\min(C_{tot}) = \min(E(C_{tot}) + k \cdot \sigma(C_{tot}))$$

Het verloop van de totale kosten en de optimale situatie zijn voor enkele waarden van k bepaald.

De totale kosten, $V_i = 0.1$, $V_s = 0.3$



Figuur 2: totale kosten met meeneming van standaardafwijking voor verschillende waarden van k [Slijkhuis, 1996]

De volgende economische optima zijn gevonden:

	Optimale dijkhoogte	Overstromingskans	Kosten
$K=0$	5.88 m	$7.52 \cdot 10^{-6}$	fl 157 miljoen
$K=0.5$	7.13 m	$1.18 \cdot 10^{-7}$	fl 221 miljoen
$K=1$	7.48 m	$3.70 \cdot 10^{-7}$	fl 241 miljoen
$K=1.5$	7.65 m	$2.10 \cdot 10^{-8}$	fl 255 miljoen

Deze methode is sterk vergelijkbaar met de bepaling van het totaal risico, waarin de standaardafwijking van het aantal slachtoffers met een risico aversie factor wordt vermenigvuldigd.

Literatuur

[Slijkhuis, 1996]

Bijlage 2.D Economische waardering van mensenlevens

Bij kwantitatieve beoordeling van risico's is de vertaling van zoveel mogelijk belangen en waarden naar een bruikbare grootheid gewenst. Een van de belangrijkste gevolgen van een mogelijke ramp zal het verlies aan mensenlevens zijn. Het is mogelijk om de waarde van het mensenleven mee te nemen in een economische analyse. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van enkele benaderingen waarmee het mensenleven in economische zin te waarderen is.

In literatuur zijn vier wijzen van waardering van het mensenleven te onderscheiden:

- Bijlage 2.D.1 Macro economische waardering
- Bijlage 2.D.2 Vergelijkende aanpak
- Bijlage 2.D.3 Gebaseerd op utiliteit
- Bijlage 2.D.4 Contingent Valuation

In bijlage 2.D.5 een overzicht gegeven van de voor- en nadelen van de vier methoden.



Bijlage 2.D.1 Macro economische waardering

Het is mogelijk het menselijk leven te waarderen aan de hand van (macro) economische grootheden, zoals aan het nationaal product. Een dergelijke uitdrukking laat zeer veel aspecten buiten beschouwing en relateert de waarde van een mensenleven aan de nationale economie. Dit betekent dat investeringen in veiligheid in het kader van de nationale economie te vergelijken zijn met de waarde van het aantal (voorkomen) slachtoffers. In literatuur is een drietal benaderingen te onderscheiden.

Human capital benadering

De waarde van het mensenleven wordt bepaald aan de hand van de potentiële productie van een persoon. Door dit bedrag contant te maken over de nog resterende levensduur is een waarde te vinden die volgens een studie van Otway [de Vos, 1991] tussen de \$ 100.000 en \$ 400.000 ligt (in de VS).

Contante waarde consumptie [van Manen,]

Een andere mogelijkheid is het bepalen van de contante waarde van de jaarlijkse consumptie per hoofd van de bevolking. Voor Nederland geeft dit, contant gemaakt over 70 jaar met een gereduceerde rentevoet van 5%, fl 593.000,-.

Netto nationaal product [van Manen]

Op dezelfde wijze als hierboven is per hoofd van de bevolking het netto nationaal product te bepalen, voor Nederland zo'n fl 700.000,-.

Toepassing: waarde mensenleven in de economische optimalisatie

Door de TAW [1988] is voorgesteld de waarde van het menselijk leven berekend uit het netto nationaal product, te betrekken in de economische optimalisatie. De monetair uitgedrukte schade bij een overstroming zal dan bestaand uit de economische schade $G_{\max}$, met daarbij opgeteld de economische waarde van het aantal slachtoffers. De totale kosten bestaan dan uit investeringen en risico.

$$C_{tot} = I_{tot} + P_b \frac{(G_{\max} + N.d)}{r'}$$

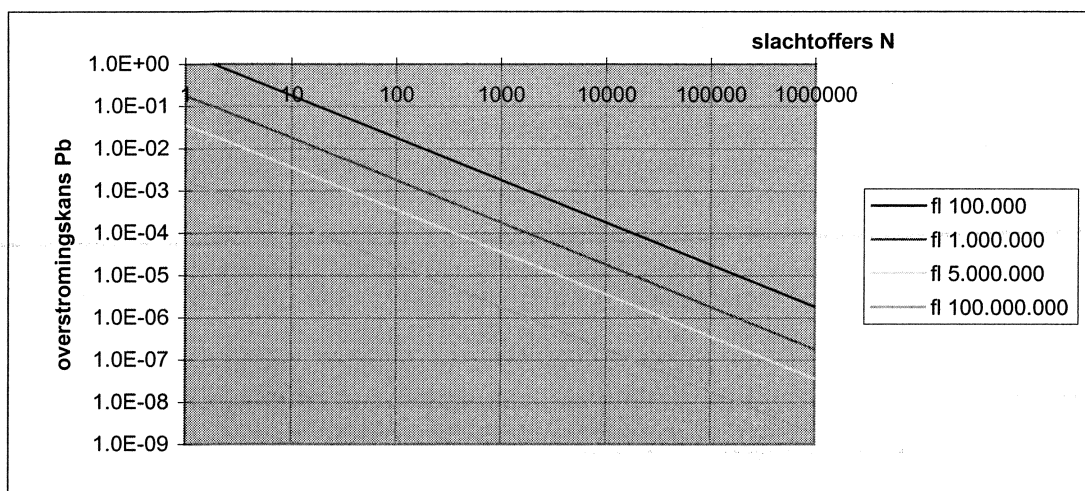
Waarin:

N het aantal slachtoffers bij de overstroming
d de waarde van het menselijk leven, in dit geval berekend uit het netto nationaal product

Op dezelfde wijze als in bijlage 2.C.3 is hieruit de economisch optimale situatie af te leiden, waarvoor geldt:

$$P_{b,opt} = \frac{I'.B.r'}{(G_{\max} + N.d)}$$

Als de schade $G_{\max}$ nu buiten beschouwing wordt gelaten is de optimale overstromingskans voor verschillende waarden van het menselijk leven uit te zetten tegen het aantal slachtoffers N: er ontstaat een FN curve.

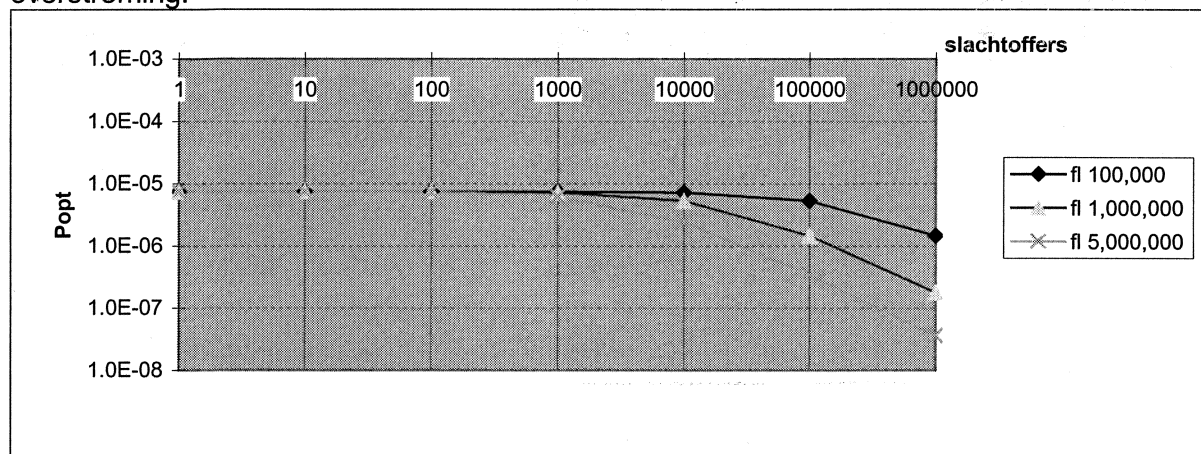


Figuur 1: FN curve uit economische optimalisatie voor verschillende waarden van het mensenleven

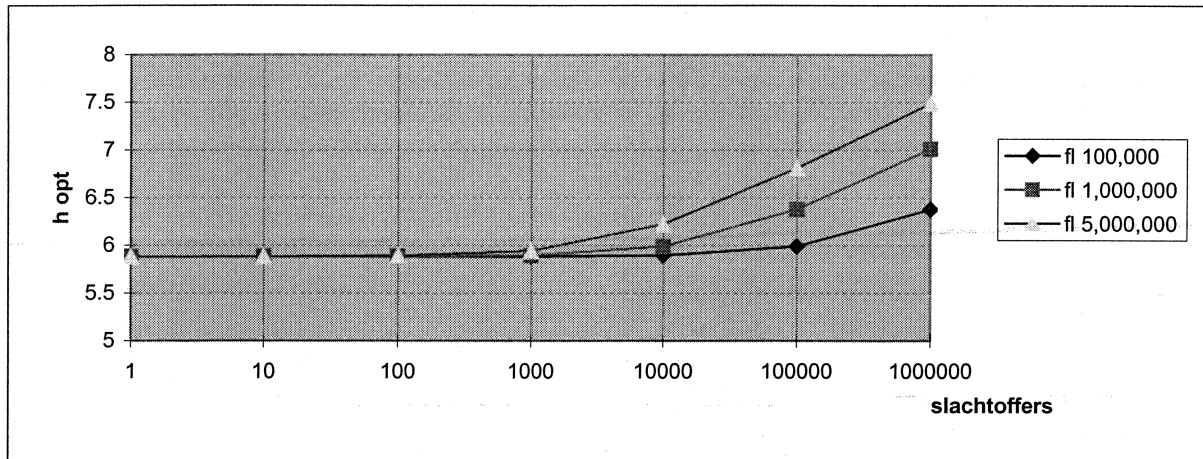
NB: Als op de x-as het product van het aantal slachtoffers (N) en hun waarde (d) wordt uitgezet zal de grafiek weer een FG curve zijn

Invoed van de waarde mensenleven op de economisch optimale overstromingskans

Bij het betrekken van de waarde van het mensenleven is het de vraag bij welk aantal slachtoffers en welke waardering daarvan dit invloed heeft op de ligging van het economisch optimum. Op basis van de berekeningen van de Deltacommissie voor Centraal Holland (bijlage 2.C.3) is deze gevoeligheid onderzocht. Voor drie waarden van het menselijk leven (fl 100.000, fl 1.000.000 en fl 5.000.000) zijn in onderstaande grafieken de optimale overstromingskans respectievelijk dijkhoogte uitgezet tegen het aantal slachtoffers bij een overstroming.



Figuur 2: economisch optimale overstromingskans als functie van het aantal slachtoffers bij een overstroming, gegevens Deltacommissie



Figuur 3: economisch optimale overstroomingskans als functie van het aantal slachtoffers bij een overstrooming, gegevens Deltacommissie

Het meenemen van de waarde van het menselijk leven heeft pas vanaf 1000 doden effect op de optimale dijkhoogte en overstroomingskans. Bij deze berekening moet echter wel opgemerkt worden dat voor de economische schade een waarde uit 1960 is gebruikt en dat de waarderingen van het menselijk leven slechts bedoeld zijn om de grenzen en gevoeligheid van de berekening te tonen. Bij werkelijke toepassing van deze berekeningswijzen zullen recente gegevens gebruikt moeten worden en zal een uitvoerige discussie over de waarde van een mensenleven nodig zijn.

Literatuur

[de Vos, 1991]

[van Manen,

Bijlage 2.D.2 Vergelijkende aanpak

Op verschillende gebieden zijn vergelijkingen met betrekking tot uitgaven in verband met het menselijk leven te vinden. De waardering op basis van verzekeringspremies suggereert dat de hoeveelheid premie die men bereid is te betalen een maat voor de waarde van het leven kan zijn. Andere mogelijke waarderingen zijn af te lezen uit de grootte van juridische schadeclaims of de premies voor gevaarlijk werk. De onderstaande benaderingen geven het verband tussen investeringen in veiligheid en het aantal voorkomen slachtoffers.

Cost of saving an extra life (CSX)

Deze maat relateert de investeringen in veiligheid aan het aantal voorkomen slachtoffers. Op vele terreinen is onderzoek gedaan naar de CSX waarden, deze blijken echter zeer sterk uiteen te lopen, van \$1,000 in sport en recreatie tot \$100,000,000 in de nucleaire industrie. Uit een literatuurstudie concluderen de Vos et al. [1991] dat de CSX waarden voor rampen met een natuurlijke oorzaak tussen de 1 en 5 miljoen gulden liggen. Een methode voor de bepaling van de CSX voor het overstromingsrisico hieronder gegeven.

Bepaling CSX uit economische optimalisatie [Vrijling, 2000]

Als de waarde van het menselijk is meegenomen in de economische optimalisatie (zie bijlage 2.C.3) is hieruit een waarde voor de CSX te bepalen. Het verwachte aantal geredde levens ten gevolge van de investering I ten opzichte van de situatie voor dijkverhoging, is te bepalen uit het aantal slachtoffers bij een overstroming N en de overstromingskansen in de huidige (P_0) en de economisch optimale situatie ($P_{b,opt}$).

$$E(N_{gered}) = (P_0 - P_{b,opt})N$$

De (contante waarde van de) kosten per gered leven worden (wordt) dan:

$$CSX = \frac{I \cdot r'}{(P_0 - P_{b,opt})N} \quad \text{Waarin } P_{b,opt} = \frac{I' \cdot B \cdot r'}{(G_{\max} + N \cdot d)}$$

De CSX waarde is dus niet gelijk aan de waarde van het menselijk leven d. Invullen van de door de Deltacommissie gebruikte gegevens en een verwachting van zo'n 10.000 slachtoffers resulteert in een CSX waarde van fl 1.777.413.

Cost of saving an extra life year (CSXY)

Door de levensverwachting van een mens mee te nemen is de investering per gered levensjaar te berekenen. Een uitgebreid onderzoek naar de CSXY waarden van 587 levensreddende maatregelen in de VS is uitgevoerd door Tengs et al. [1994]. De resultaten zijn geïnclassificeerd naar sector en weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel: CSXY waarde naar sectoren en type maatregel [Tengs, 1994]

Sector	Type maatregel			
	Medisch	Reductie fatale verwondingen	toxin control	allen
Gezondheidszorg	\$ 19,000	N/A	N/A	\$ 19,000
Woon maatr.	N/A	\$ 36,000	N/A	\$ 36,000
Transport	N/A	\$ 56,000	N/A	\$ 56,000
Beroepsmaatr.	N/A	\$ 68,000	\$1,400,000	\$ 350,000
Milieu	N/A	N/A	\$ 4,200,000	\$ 4,200,000
Allen	\$ 19,000	\$ 48,000	\$ 2,800,000	\$ 42,000

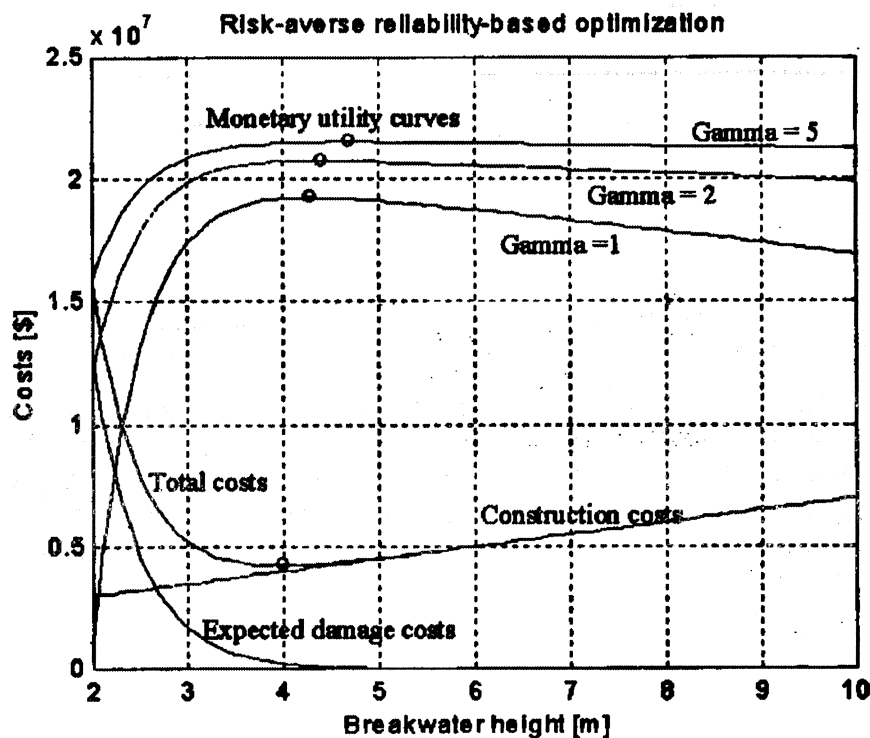
Voor de preventie tegen natuurlijke rampen worden in dit onderzoek CSXY waarden tussen de \$ 0 en \$ 18.000.000 gevonden. De conclusie van de Vos en anderen (CSX: tussen de fl 1

Bijlage 2.D.3 Utiliteit

Het begrip utiliteit wordt in de economie gebruikt om het gedrag van producenten en consumenten te modelleren. Utiliteit geeft aan in welke mate de behoeften van de consument zijn bevredigd.

Monetaire utiliteitscurve

Met behulp van een monetaire utiliteitscurve is het verband tussen utiliteit, risico aversie en een monetaire waardering te geven. Een voorbeeld van een dergelijke utiliteitscurve is gegeven in [van Gelder, 1999]. In de figuur wordt naast het optimale kosten niveau, bepaald volgens de economische optimalisatie, voor verschillende risico aversies (gamma in de grafiek) het punt met de maximale utiliteit aangegeven voor een golfbreker. Het verband tussen monetaire utiliteit en risico aversie is weer te geven met een utiliteitsfunctie.



Figuur 1: Utiliteit toegepast op een golfbreker [van Gelder, 1999]

Life quality method

In deze methode [Nathwani, 1997] is de utiliteitsfunctie, de Life Quality Index, gebaseerd op het inkomen per hoofd van de bevolking en de levensverwachting:

$$LQI = g^w e^{(1-w)}$$

waarin

- | | |
|---|--|
| g | index gebaseerd op het inkomen per hoofd van de bevolking afgeleid uit het bruto binnenlands product (BBP) |
| e | index gebaseerd op de levensverwachting |
| w | deel van het leven besteed aan economische activiteit |

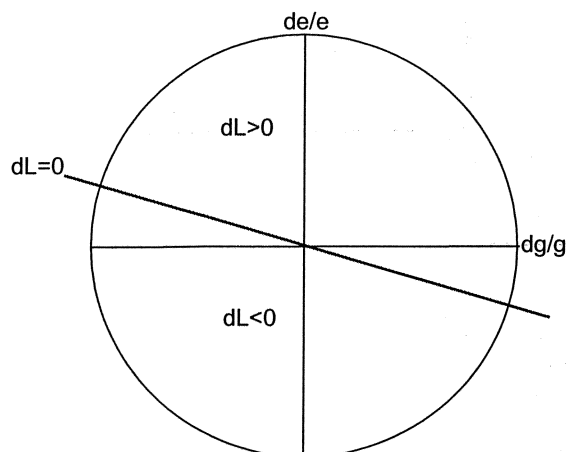
De uitdrukking wordt gebruikt om maatschappelijke doelen bij het omgaan met risico's af te wegen. Het model bevat dus een uitdrukking voor economische bijdrage van een persoon (g) en een uitdrukking voor de veiligheid en gezondheid (e). Een maatregel, programma of investering is aanvaardbaar als de LQI toeneemt, dus als

$$\frac{dg}{g} + K \frac{de}{e} > 0 \quad \text{waarin} \quad K = \frac{(1-w)}{w}$$

waarin:

dg of de toename of afname van BBP (g) of levensverwachting (e) door maatregel

In een diagram zijn voor elke maatregel de veranderingen van g en e uit te zetten.



Figuur 2: LQI diagram

Maatregelen ter vermindering van het risico (toename levensverwachting: $de/e > 0$) zullen een investering vergen ($dg/g < 0$). De baten van een maatregel wegen op tegen de kosten als de maatregel in het gebied van de grafiek ligt waarin de LQI toeneemt, dus als $dL > 0$.

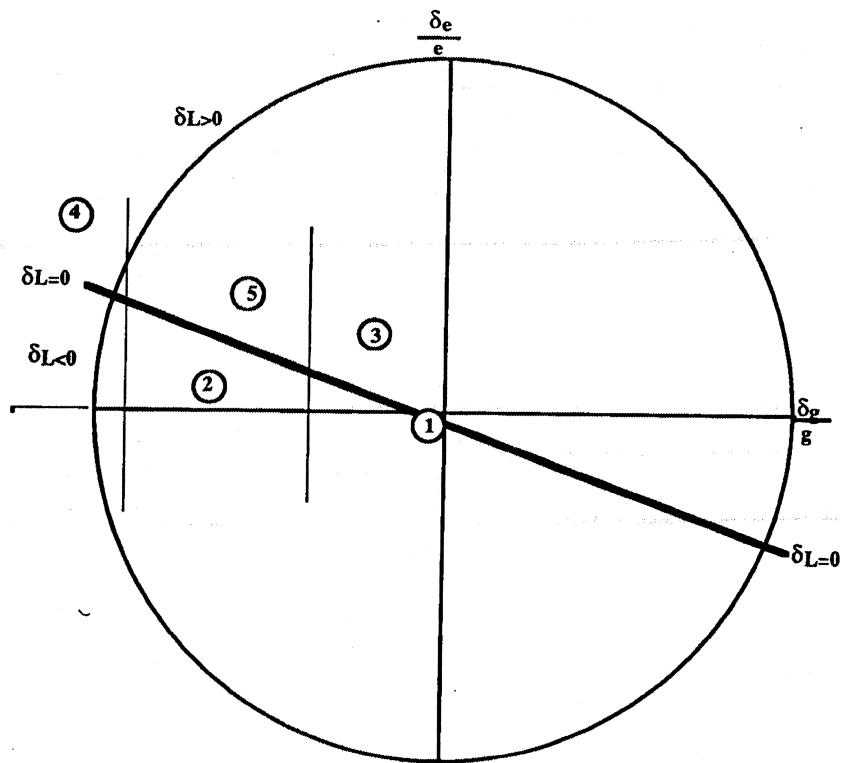
De LQI geeft dus een mogelijkheid ter afweging van de effectiviteit van maatregelen of investeringen, maar is niet geschikt om een absoluut aanvaardbaar veiligheidsniveau te bepalen. Hieronder is een voorbeeld van de toepassing van deze methode gegeven.

Voorbeeld van toepassing van de Life Quality Method

Een voorbeeld van de toepassing van het LQI diagram is gegeven in de case study [Nathwani, 1997] naar investeringen in verkeersveiligheid. Hierin is het effect van een vijftal investeringen in verkeersveiligheid onderzocht. Als de LQI groter dan 0 is, is een maatregel acceptabel. De kosten baten verhouding van een maatregel bestaat uit de verhouding tussen de toename in levensverwachting (de/e) en de kosten van de maatregel (uitgedrukt met $dg/(K.g)$)

	Case	$-dg/Kg$ $\times 10^{-6}$	de/e $\times 10^{-6}$	benefit/cost ratio	accept?
1	Rear outboard lap/shoulder belts	0.023	0.009	0.4	reject
2	Rear outboard and center lap/shoulder belts	2.86	0.26	0.09	reject
3	Cabin fire protection	0.11	1.29	11.7	accept
4	Passive restraints/belts	21.3	160.0	7.5	accept
5	Seat cushion flammability	0.85	3.19	3.75	accept

In onderstaande figuur zijn de maatregelen in een LQI diagram weergegeven.



Figuur 3: LQI diagram verkeersmaatregelen [Nathwani, 1997]

Literatuur

[van Gelder, 1999]

[Nathwani, 1997]

Bijlage 2.D.4 Contingent valuation

Deze methode wordt in de economie toegepast om een waardering te geven voor faciliteiten, diensten of andere baten waarvoor geen prijzen uit de markt zijn af te leiden. Uit onderzoek volgt hoeveel proefpersonen bereid zijn te betalen, de willingness to pay (WTP), voor bijvoorbeeld veiligheidsmaatregelen. Hiermee is de grootte Value of statistical life (VoSL) af te leiden.

$$VoSL = \frac{WTP \cdot inwoners}{E(N)}$$

waarin

WTP de willingness to pay voor een maatregel

Inwoners het aantal inwoners van het gebied

E(N) verwachtingswaarde van het jaarlijks aantal slachtoffers

Een dergelijke studie is in Engeland uitgevoerd met betrekking tot verkeersveiligheid [Pidgeon, 2000]. De WTP voor maatregelen blijkt 145 pond te zijn. Dit resulteert in een Value of a statistical life 3.9 miljoen pond. De WTP neemt bij een lager aantal verkeersdoden echter nauwelijks af. De methode van contingent valuation is ook bruikbaar bij een economische waardering van andere “niet te wegen” zaken zoals voor milieu- en cultuurwaarden.

Literatuur

[Pidgeon, 2000]

Bijlage 2.D.5 Voor- en nadelen van de vier methoden

Bij het beschouwen van risico's is het mogelijk het mensenleven in economische zin te waarderen. In de literatuur zijn hiervoor vier benaderingen te onderscheiden. Deze zijn met hun voor- en nadelen weergegeven in onderstaande tabel.

Methode	Toepassing/ voorbeeld	Voordeel	Nadeel
Macro economische waardering	Productie, consumptie of NNP per hoofd vd bevolking	Waarde leven gerelateerd aan nationale economie	Theoretische onderbouwing gering
Vergelijkende aanpak	CSX, CSXY, QALY, premies verzekering/ gevaarlijk werk	Methode relateert baten (risico reductie) aan kosten	Zeer grote spreiding CSX(Y) waarden Investering slechts toegekend aan voorkomen doden
Utiliteit	LQI	Geeft ook waardering van niet rationele behoeften Risico aversie is mee te nemen	Utiliteit afhankelijk van zeer veel (persoonlijke) aspecten en daardoor lastig te bepalen
Contingent valuation: bepaling WTP	VoSL	Reëel beeld van waardering door proefpersonen	Aantal slachtoffers hoeft weinig invloed te hebben op hoogte VoSL

Uit de vier methoden komt echter geen eenduidige waardering van het menselijk leven naar voren.

Bijlage 2.E Geïntegreerde risicomaten

Bijlage 2.E.1 Bohnenblust

In de aanpak van Bohnenblust [1998] spelen het individueel risico, het maatschappelijk risico en economische aspecten een rol bij de beoordeling van veiligheidsmaatregelen.

Voor beoordeling van het individueel risico wordt de in bijlage 2.A.3 beschreven norm gehanteerd. Het maatschappelijk risico wordt uitgedrukt met de Perceived Collective Risk, zie ook bijlage 2.B.9.

$$R_p = \sum_{i=1}^n P_i \cdot N_i \cdot \phi(N_i)$$

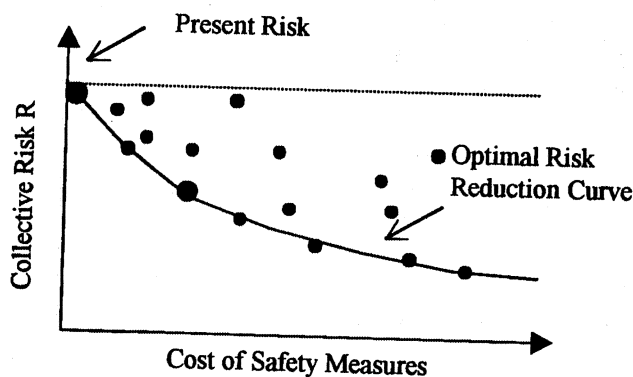
Het maatschappelijk risico kan in monetaire termen worden uitgedrukt door voor elk scenario C_i de willingness to pay (WTP) voor maatregelen te bepalen. In de gevolgen van het scenario hoeven niet alleen slachtoffers worden betrokken, maar kan ook de economische schade of schade aan het milieu worden meegenomen. Zo ontstaat een volgende risicomaat, de monetary collective risk:

$$R_m = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_i \cdot \phi(C_i) \cdot \omega_i$$

waarin:

- R_m monetary collective risk
- C_i de gevolgen van scenario i
- $\phi(C_i)$ risico aversie als functie van de gevolgen van scenario i , (in principe zal de risico aversie functie uit par 5.9 worden gebruikt, $\phi(N_i)$)
- ω_i de willingness to pay voor maatregelen ter voorkoming van scenario i

De effectiviteit van maatregelen is te beoordelen door de investeringen in deze maatregelen grafisch uit te zetten tegen de monetary collective risk in een dergelijke figuur:



Figuur 1: (Monetary) collective risk uitgezet tegen de kosten van veiligheidsmaatregelen [Bohnenblust, 1998]

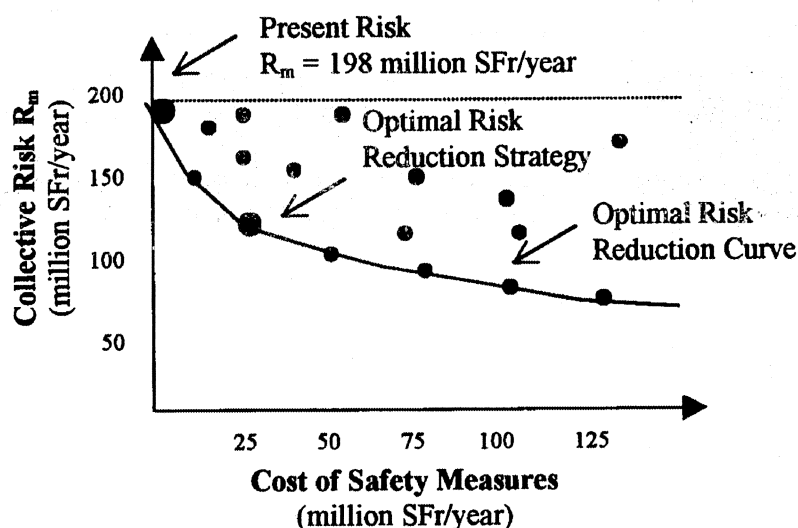
In de figuur is te zien dat voor een verdere reductie van het risico de investeringen in maatregelen steeds meer zullen moeten toenemen. De optimale risico reductie strategie wordt gevormd door die maatregelen die bij een bepaalde investering de grootste reductie van het risico geven. Deze maatregelen vormen samen de optimale risico reductie curve. De optimale veiligheid wordt bereikt in het punt waarin de marginale kosten voor risico reductie gelijk zijn aan de afname van het (monetair) risico voor die maatregel. Volgens dit zogenaamde "marginale kosten criterium" is de steilheid van de grafiek in dit punt -1 . Dit punt komt overeen met de economisch optimale situatie waarin de som van investeringen en risico minimaal is.

Voorbeeld van toepassing van de methode van Bohnenblust

De methode van Bohnenblust is gebruikt bij de bepaling van een veiligheidsbeleid voor het transport van gevaarlijk stoffen over het spoor in Duitsland. De studie bestond onder meer uit een uitgebreide risico analyse, waarin de het aantal doden en gewonden en de ecologische en economische effecten zijn geïnterpreteerd en gewaardeerd met een willingness to pay benadering. Deze zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Risico's voor personen	Risico per jaar
Doden	1
Evacuaties	200
Ecologische risico's	
grond water	100 l/min
Oppervlakte water	6000 m ²
Grond	1000 m ²
Economische risico	6 miljoen DM

Dit leidt tot een totaal risico van 200 miljoen DM, waarvan 2/3 bestaat uit persoonlijke risico's, 25% uit ecologische en 10% uit economische. Zonder nader op de maatregelen in te gaan zijn de resultaten weer te geven in een optimale risico reductie curve, waarin ook het optimale punt is aangegeven. De optimale risico reductie strategie reduceert het risico met 30% tegen de kosten van 25 miljoen DM. Daarnaast wordt aan de limitering van het individueel risico voldaan.



Figuur 2: Optimale risico reductie curve en optimale risico reductie voor het transport van gevaarlijke stoffen over het spoor in Duitsland [Bohnenblust, 1998]

Literatuur

[Bohnenblust, 1998]

Bijlage 2.E.2 Beoordeling risico volgens TAW

Door TAW [1988] is een visie op het aanvaardbaar risico gepresenteerd die een beoordeling van het individueel, economisch en maatschappelijk risico bevat. Hierbij wordt gebruik gemaakt van drie risicomaten.

Het **individueel risico** wordt berekend en beoordeeld aan de hand van de in bijlage 2.A.2 beschreven methode, waarin de beleidsfactor β de vrijwilligheid en het nut van de activiteit aangeeft. Er geldt:

$$IR < \beta \cdot 10^{-4}$$

Het **economisch optimale risico niveau** wordt bepaald met de methode van economische optimalisatie (bijlage 2.C.3) waarbij de waarde van het mensleven wordt meegenomen (2.D.1). Het optimale niveau is bereikt als de som van investeringen en risico minimaal is.

Het **maatschappelijk risico** wordt gelimiteerd aan de hand van het totaal risico (bijlage 2.B.8) en de bijbehorende norm waarin wederom de beleidsfactor β is opgenomen. Er geldt:

$$E(N) + k \cdot \sigma(N) < \beta \cdot 100$$

Uit deze eis is de aanvaardbare faalkans per installatie af te leiden.

Voorbeeld van toepassing: Centraal Holland en Whitstable

Het strengste van de drie criteria is hierbij maatgevend. In [TAW, 1988] is de methode ter illustratie toegepast op Centraal Holland en de Engelse stad Whitstable.

Voor het individueel risico is aangenomen dat de kans op verdrinking bij een overstroming 10^{-2} bedraagt. Bij een beleidsfactor van 1 is de aanvaardbare overstromingskans 10^{-2} .

De economisch optimale situatie is te berekend met de in [TAW, 1988] gegeven parameters:

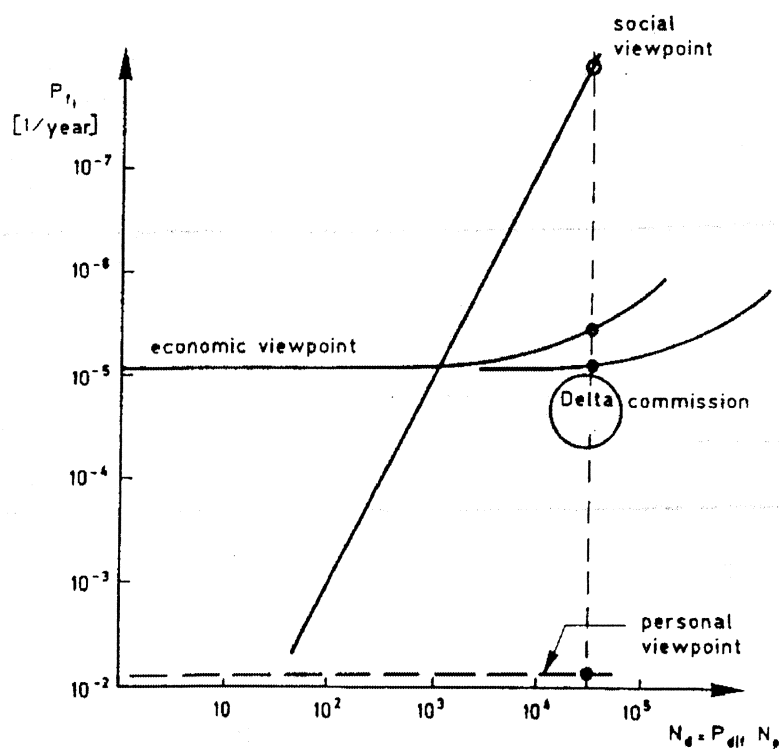
Centraal Holland	$P_b = 3 \cdot 10^{-6}$
Whitstable	$P_b = 2 \cdot 10^{-4}$

De beoordeling van het maatschappelijk risico vindt plaats aan de hand van het totaal risico. Hierbij wordt aangehouden dat 1% van de inwoners verdrinkt. Dit resulteert in 50.000 en 50 slachtoffers voor Centraal Holland respectievelijk Whitstable. Met behulp van het in bijlage 2.B.8 gegeven criterium resulteert dit voor parameters ($N_A=1$, $k=3$, $\beta=0.1$) in de volgende toelaatbare overstromingskansen:

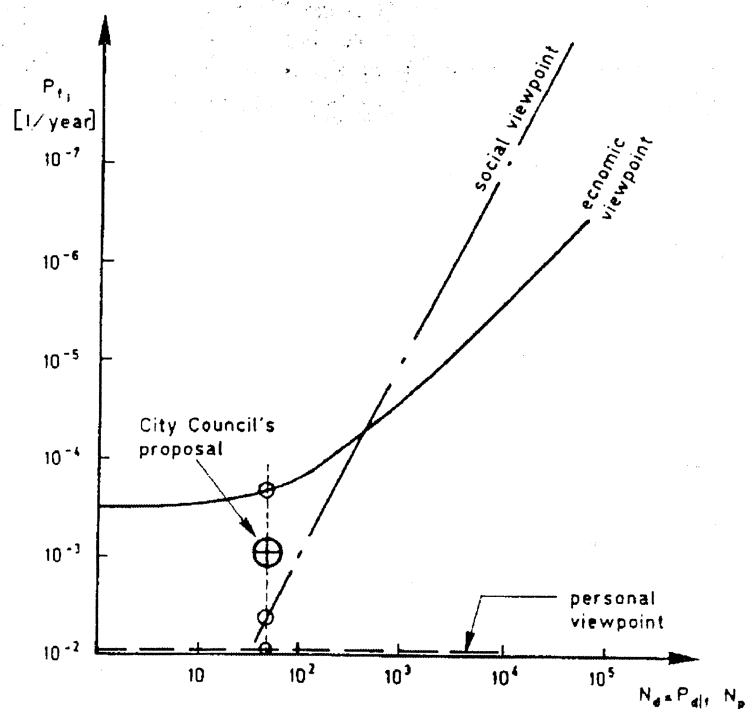
Centraal Holland	$P_b = 4.5 \cdot 10^{-9}$
Whitstable	$P_b = 4.5 \cdot 10^{-3}$

Opvallend is het inconsequente gebruik van de β waarde: $\beta=1$ voor het individueel risico en $\beta=0.1$ in het maatschappelijk risico.

Voor Centraal Holland is het maatschappelijk criterium maatgevend, voor Whitstable het economisch criterium. Voor beide studies zijn voor de drie criteria de optima uitgezet in een figuur waarin op de y-as de overstromingskans staat en op de x-as het aantal slachtoffers. In de figuren zijn tevens de door de politiek gekozen risico niveaus aangegeven.



Figuur 1: toepassing van de TAW veiligheidscriteria op Centraal Holland [TAW, 1988]



Figuur 2: toepassing van de TAW veiligheidscriteria op Whitstable [TAW, 1988]

Literatuur

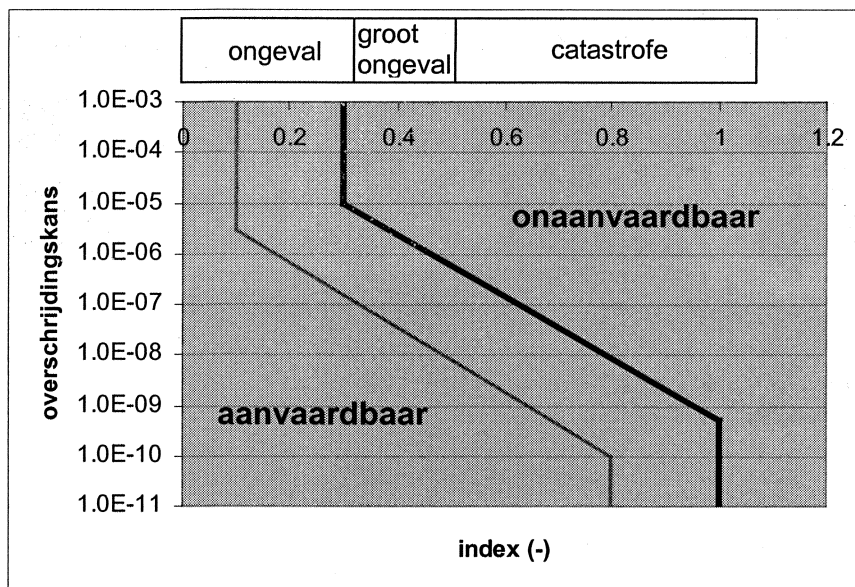
[TAW, 1988]

Bijlage 2.E.3 Indexering van risico's

In [Merz, 1995] is een methode beschreven waarmee risico's voor mens, economie en milieu kunnen worden beoordeeld. De mogelijke gevolgen van een ramp zijn in 9 categorieën ingedeeld.

Nr	Categorie	Eenheid
1	Doden	Aantal
2	Gewonden	Aantal
3	Geëvacueerden	Aantal
4	Ontwrichting leven tgv evacuatie	Dagen x personen
5	Dode dieren	Aantal
6	Vervuiling opp. Water	km ²
7	Vervuiling grondwater	km ²
8	Vervuiling bodem	km ²
9	Materiele schade	Geld

Voor elke categorie is de grootte van de gevolgen verbonden met een geïndexeerde waarde tussen de 0 en 1. De indexering geeft grootte van de gevolgen weer, waarbij drie typen zijn te onderscheiden: ongeval (0-0,3), groot ongeval (0,3-0,5), catastrofe (0,5-1). Aan deze waarde is middels een grafiek een aanvaardbare faalkans verbonden die de volgende vorm heeft.

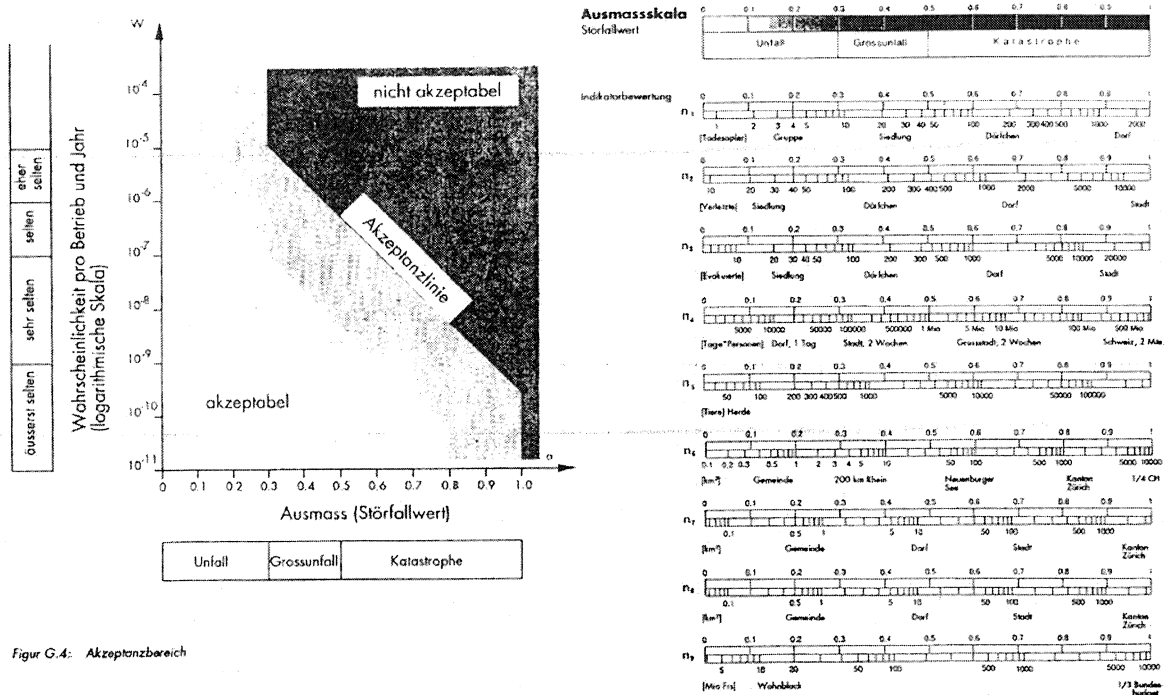


Figuur 1: Aanvaardbare overschrijdingskans als functie van de index waarde. In het gebied tussen beide lijnen zijn maatregelen noodzakelijk

Afhankelijk van de gekozen schade categorie is de grafiek bijvoorbeeld een FN of FG curve.

Toepassing en normering

De methode wordt toegepast in het Zwitserse kanton Solothurn ter beoordeling van risico's. In onderstaande figuur zijn per schade categorie de aan de indexering verbonden waarden van de schade weergegeven. Voor slachtoffers heeft de lijn van acceptabel risico een steilheid van ongeveer 1,8 (dubbel logaritmisch) en vertoont deze dus risico aversie tegen grote ongevallen.

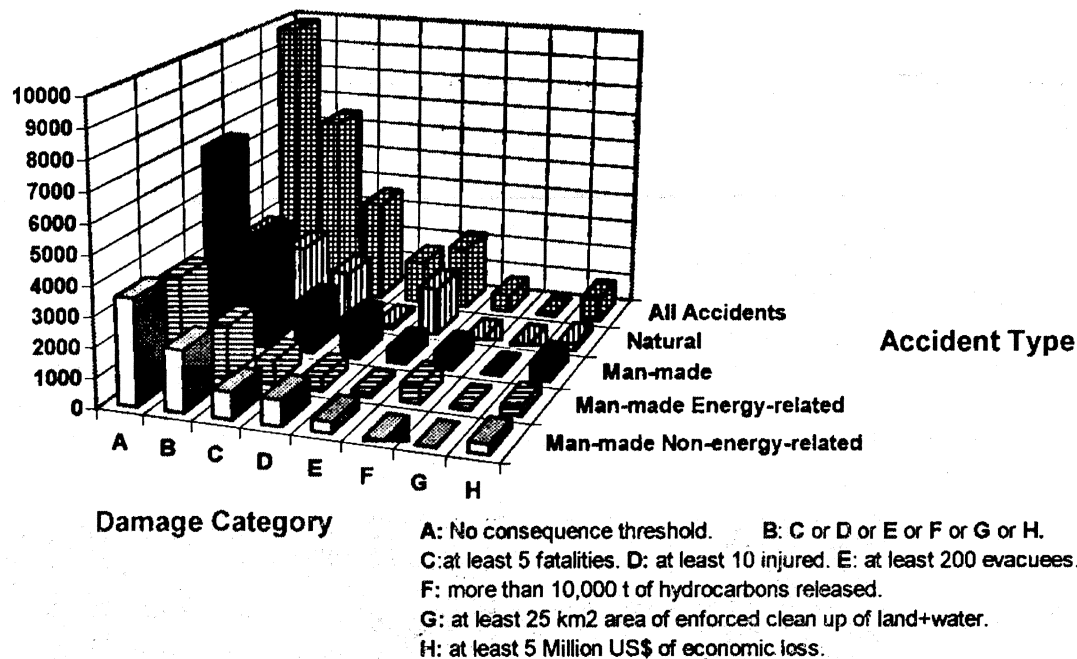


Figuur 2: Toepassing criterium volgens Merz in het Zwitserse kanton Solothurn [Merz, 1995]

Literatuur
[Merz, 1995]

Bijlage 2.E.4 Categorisering van risico's

Een mogelijkheid om risico's weer te geven is het indelen in verschillende categorieën. Uit analyse van historische gegevens is het aantal ongelukken naar categorie op te splitsen en grafisch weer te geven. Deze aanpak is gevolgd in een wereldwijde analyse van risico's in de energie sector [Hirschberg, 1997]. Uit de ENSAD (Energy related severe accident) database, die gegevens over bijna 10.000 ernstige ongelukken bevat, zijn de gevolgen van de ongelukken naar gevolgen in 8 categorieën ingedeeld. Tevens is het type ongeluk (menselijk / natuurlijk) vastgesteld. De gegevens zijn grafisch weer te geven.



Figuur 1: risico's in categorieën [Hirschberg, 1997]

Uit een dergelijke grafiek is, als het aantal plaatsen waarop een activiteit wordt beoefende bekend is, de kans op een bepaald gevolg en daarmee het risico te bepalen. Om tot een betrouwbare bepaling van het risico te komen zijn echter zeer veel gegevens nodig.

Literatuur

[Hirschberg, 1997]

Bijlage 2.F Risicomaten op het gebied van milieu

Bijlage 2.F.1 Energetic impact index

In deze methode [Barlettani, 1997] wordt de mens beschouwd als deel van het ecosysteem en wordt schade aan mens en milieu in gelijke eenheden, Joules, uitgedrukt. De index geeft een maat voor de hoeveelheid energie die jaarlijks verloren gaat. Dit verlies bestaat deels uit het normale verbruik van energie. Het andere deel wordt gevormd door de energie benodigd voor het herstel van beschadigde organismen (bv. gewonden) en de energieverliezen ten gevolge van slachtoffers bij mens en dier.

$$GPPl_{\text{lost}} = EPP + GPP' \cdot T$$

waarin:

GPPl _{lost}	effect op ecosysteem en mensen in Joule
EPP	aan het ecosysteem verbonden hoeveelheid energie
GPP'	hoeveelheid energie benodigd gedurende periode T voor herstel van beschadigde organismen en energie verbonden aan verlies van mens en dier

Aan het mensenleven een waarde uitgedrukt in energie verbonden, zo'n 800 giga Joule. De waarde van deze energie in de vorm van brandstof (bv. Benzine) tegen marktprijzen blijkt goed overeen te komen met bijvoorbeeld het netto nationaal product per hoofd van de bevolking (bijlage 2.D.1) en de in dezelfde orde te liggen als de door Vrijling afgeleide CSX waarde (bijlage 2.D.2).

De methode is bruikbaar voor de vergelijking van activiteiten in de industrie en transport sector. Aangezien weinig voorkomende grote ongevallen verwaarloosbaar zijn in de berekening van het GPP lijkt de methode ongeschikt voor afweging van maatschappelijke risico's.

Literatuur

[Bartlettani, 1997]

Bijlage 2.F.2 Herstellingstijd

De NORSOK, vereniging van de Noorse offshore industrie normeert de schade aan het milieu aan de hand van de herstellingstijd van het ecosysteem. Het gaat hierbij met name om vervuiling van de zee door lozing van schadelijke stoffen zoals olie. Als principe geldt dat de herstellingstijd insignificant moet zijn ten opzichte van de herhalingstijd (return period) tussen de schades. Dit is het geval bij een verhouding tussen beiden tussen de 0.5% en de 10%. De schade wordt aan de hand van de herstellingstijd in 4 categorieën ingedeeld.

Classificatie schade (eng.)	Herstellingstijd
Minor	1 maand - 1 jaar
Moderate	1 – 3 jaar
Significant	3 – 10 jaar
Serious	> 10 jaar

Vervolgens is een verhouding tussen herstellingstijd na de ramp en return period van de ramp van 5% aangenomen. Een schade met een herstellingstijd van 0.5 jaar mag dus niet meer dan eens in de 10 jaar optreden. Op deze wijze zijn de toelaatbare kansen als functie van de herstellingstijd te berekenen:

$$1 - F_T(x) < \frac{0.05}{x}$$

Waarin:

$1 - F_T(x)$ Overschrijdingskans van de herstellingstijd
 x de herstellingstijd

Literatuur

http://www.nts.no/norsok/z/z01301/z01301_1.htm

Bijlage 2.G Potentiële schade

Als een ramp eenmaal is opgetreden, is niet zozeer de kans meer van belang, maar gaat de aandacht vooral uit naar de gevolgen. Met name vanuit de hoek van rampenbestrijding en hulpverlening is het van belang te weten wat de gevolgen kunnen, hoe groot ze zijn en waar ze kunnen optreden.

Bijlage 2.G.1 Slachtoffers

People at risk

Een maat die een indruk geeft van de schaalgrootte van een mogelijke ramp is people at risk of population at risk (PAR). De PAR geeft het aantal personen aanwezig binnen het gebied waar de ramp kan optreden.

$$PAR = \iint_A m(x, y).dx.dy$$

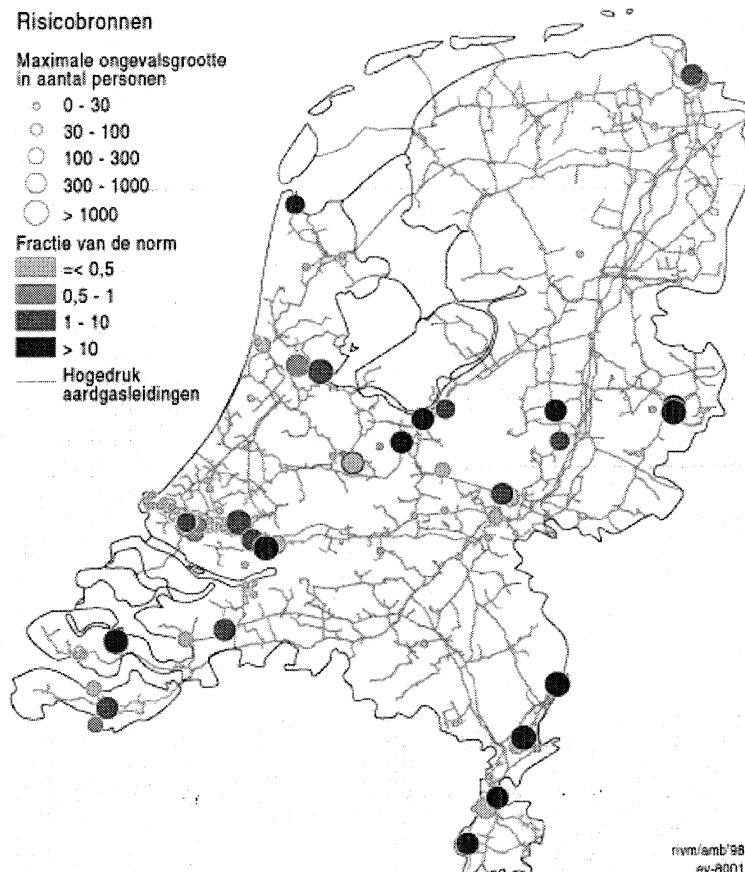
Het aantal bedreigde personen geeft een indruk van de maatschappelijke ontwrichting. De uitdrukking wordt toegepast in risico analyses op verschillende gebieden, bijvoorbeeld voor stuwdammen.

Maximale ongevalsgrootte

Met deze uitdrukking wordt rekening gehouden met de mogelijke effecten een inschatting gemaakt van het maximaal aantal slachtoffers dat bij een ongeval zal overlijden.

De maximale ongevalsgrootte is in de milieubalans toegepast in de weergave van externe veiligheidsrisico's. In onderstaande figuur is voor EVR plichtige bedrijven de maximale ongevalsgrootte in het aantal slachtoffers gegeven. Daarnaast is de mate van overschrijding van de VROM norm voor groepsrisico's aangegeven.





Figuur 1: maximale ongevalsgrootte voor EVR plichtige installaties

F PAR curve

Om een verband tussen mogelijke omvang ramp en de kans daarop te maken stelt Stoop [2000] voor de population at risk uit te zetten tegen de kans op een ongeval. Als voorbeeld neemt hij de vuurwerkramp in Enschede met 20 slachtoffers. In de FN curve is zo'n (relatief klein) ongeval niet significant. De maatschappelijke ontwrichting bij de vuurwerkramp was echter enorm: naast de dodelijke slachtoffers vielen er 1000 gewonden, was er enkele honderden miljoenen gulden aan schade. Als de PAR wordt uitgezet tegen de kans komt de mogelijke omvang van de ramp naar voren, duizenden mensen zullen immers gevaar lopen. Een dergelijke weergave geeft een betere indruk van de maatschappelijke reikwijdte van een ramp dan de FN curve.

De vraag is of een F PAR curve geschikt is voor de vergelijking van risico's van verschillende activiteiten. Het deel van de bedreigde personen dat daadwerkelijk zal overlijden is afhankelijk van de eigenschappen van de ramp. Het percentage slachtoffers bij een overstroming zal relatief laag liggen door evacuatie, terwijl bijvoorbeeld bij een ramp met een trein in een tunnel het percentage slachtoffers zeer hoog zal zijn.

Personen binnen individueel risicocontour

Een ander verband tussen het aantal bedreigde personen en de risico's wordt gegeven door het aantal personen binnen een IR contour weer te geven, zoals gedaan is in paragraaf 2.A.1.

Bijlage 2.G.2 Economische schade

Potentiële economische schade

De potentiële economische schade bij een ramp is gelijk aan de totale economische waarde van het gebied waarin de effecten kunnen optreden. De potentiële economische schade is ook weer te geven in een maximale schade kaart die de verdeling van de economische waarde over het gebied toont. Voor overstromingen in Nederland een maximale schadekaart gemaakt voor alle dijkkringgebieden, waarbij is aangenomen dat overstromingsdiepte overal 9 meter bedraagt.

Figuur 3: Maximale-schade kaart

Rekening houden met de mogelijke effecten in het gebied is de maximale ongevalsgrootte in economische termen uit te drukken.



Overige schadetypen

De potentiële schade wordt vaak gerelateerd aan het gebied waarin de effecten kunnen optreden. Ook voor andere waarden zoals milieu, cultuur- en historische waarden is de mogelijke schade aan hun aanwezigheid in het gebied te relateren. Juist voor dergelijke schadetypen waarvoor nog geen risicomaten beschikbaar zijn kan weergave van alleen de mogelijke gevolgen verhelderend werken.

Bijlage 2.H Kwalitatieve methoden

Bijlage 2.H.1 Risk ranking technique

Met deze methode [Chicken, 1989] kan de aanvaardbaarheid van verschillende beslissingen worden beoordeeld waarbij risico's betrokken zijn. De beoordeling vindt plaats aan de hand technische, sociale en economische criteria. De methode kan zowel met kwalitatieve als kwantitatieve gegevens gebruikt worden. Het kent aan de aspecten een score toe, variërend van 1 tot 4. Het voordeel van deze aanpak is dat de aanvaardbaarheid in absolute getallen uitgedrukt wordt, en dat de werkwijze rekening houdt met de onzekerheid in de factoren door voor de mogelijke scores een bepaalde bandbreedte te geven.

Technische aspecten

De technische aanvaardbaarheid van een project is te beoordelen op het risico dat de nieuwe ontwikkeling met zich mee brengt. Dit is uit te drukken met behulp van een kans op overlijden voor het individu. De bijbehorende (risk rank score) is in onderstaande tabel aangegeven.

Risk rank score	Aanvaardbaarheid	ordegrootte individueel risico	Commentaar
3-4	Onaanvaardbaar	1/1000 jaar	Significante reductie noodzakelijk
2-3	alleen aanvaardbaar onder speciale omstandigheden	1/10.000 jaar	over het algemeen reductie noodzakelijk
1-2	Gedetailleerde evaluatie nodig om aanvaardbaarheid te beoordelen	1/100.000 jaar	overweging noodzakelijk als er meerdere slachtoffers mogelijk zijn
0-1	Aanvaardbaar	1/1.000.000 jaar	nauwelijks overweging nodig

Economische aspecten

De afweging van economische aspecten moet betrouwbare resultaten geven en makkelijk te verantwoorden zijn. De gekozen methode is de zogenaamde "non dimensional comparision of total cost". Deze houdt rekening met het verband tussen de opbrengsten van de investering en de nationale economische situatie, waarbij alle kosten en opbrengsten die optreden tijdens de levensduur moeten worden meegenomen. De relatie tussen de economische factoren en de rank score is in tabelvorm weergegeven.

Risk rank score	Aanvaardbaarheid	economische factor
3-4	Onaanvaardbaar	negatieve opbrengsten investering
2-3	alleen aanvaardbaar als risico wordt gereduceerd	wel opbrengsten investering
1-2	Gedetailleerde evaluatie nodig om aanvaardbaarheid te beoordelen	opbrengsten marginaal als alle mogelijke fouten en onnauwkeurigheden het meest voordelig zijn
0-1	Aanvaardbaar	opbrengsten met meeneming van fouten en onnauwkeurigheden

Sociaal politieke factoren

De sociaal politieke wenselijkheid van een voorstel kan kwantitatief gemeten worden met behulp van vragenlijsten of enquêtes. De uitkomsten hiervan kunnen als basis dienen voor het toekennen van een score.



Risk rank score	Aanvaardbaarheid	sociaal politieke factoren
3-4	Onaanvaardbaar	minder dan 1/3 van de bevolking voor het voorstel
2-3	Alleen aanvaardbaar als risico wordt gereduceerd	1/3 tot 1/2 van de bevolking voor het voorstel
1-2	Gedetailleerde evaluatie nodig om aanvaardbaarheid te beoordelen	1/2 tot 2/3 van de bevolking voor het voorstel
0-1	Aanvaardbaar	meer dan 2/3 van de bevolking voor het voorstel

Nu voor alle drie de factoren risk rank scores bekend zijn kan voor elk voorstel of elke maatregel de totale score berekend worden. De aanvaardbaarheid van het project is te bepalen door de totale score te vergelijken met de vooraf opgestelde classificering.

Totale Risk rank score	aanvaardbaarheid	Risk rank
9-12	onaanvaardbaar	1
6-9	alleen aanvaardbaar als risico wordt gereduceerd	2
3-6	gedetailleerde evaluatie nodig om aanvaardbaarheid te beoordelen	3
0-3	aanvaardbaar	4

Voorbeeld

Een voorbeeld van de toepassing van de risk ranking technique is de afweging van de plaatsing van een LPG installatie in Rotterdam Rijnmond of de Eemshaven in Groningen, zoals die daadwerkelijk heeft plaatsgevonden eind jaren 70. In de tabel zijn de beoordelingen en scores voor de criteria weergegeven.

	Rijnmond	
Factor	Score	Toelichting
technisch	2	kans op groot ongeluk $3 \cdot 10^{-8}$, toename IR $3 \cdot 10^{-6}$
economisch	1	economisch verantwoord, rijnmond dichterbij afzetspunt, extern risico economisch aanvaardbaar
sociaal politiek	1	marginale tegenstand
	4	Risk rank 3

	Eemshaven	
Factor	Score	Toelichting
Technisch	1	kans op groot ongeluk $5 \cdot 10^{-8}$, toename IR $3 \cdot 10^{-7}$
Economisch	1	economisch verantwoord, rijnmond dichterbij afzetspunt, extern risico economisch aanvaardbaar
sociaal politiek	0	steun kabinet en vakbonden
	2	Risk rank 4

Conclusies

De risk ranking technique geeft een beslissingsmodel waarin technische, economische en sociaal politieke factoren verwerkt zijn. In de methode is er sprake van een impliciete weging. Het optellen van de scores betekent dat de drie groepen allen evenveel gewaardeerd worden. Daarnaast is de of de per aspect opgestelde criteria representatief zijn voor de categorie.

Literatuur

[Chicken, 1989]

Bijlage 2.H.2 Multi criteria Analyse

De in de vorige hoofdstukken genoemde risicomaten beperken zich tot meestal een eigenschap van het risico. Eenheden als slachtoffers en geld geven te weinig inzicht in alle aspecten die meespelen bij de beoordeling van risico's. Voor de afweging van alternatieven met op effecten met verschillende eenheden zijn multi criteria methoden ontwikkeld. Hierbij zijn verschillende wijzen van beoordeling mogelijk, met behulp van "eigen eenheden" (gulden, slachtoffers), in rangordes of relative scores (+ en -) of op een andere kwalitatieve wijze. Een ander kenmerk van multi criteria methoden is dat het door middel van weging mogelijk is bepaalde criteria zwaarder te laten meewegen. De toepassing bij beoordeling van risico's maakt het mogelijk om hierin ook relevante aspecten, zoals op het gebied van milieu of economie, te betrekken in de afweging.

De multi criteria analyse wordt zeer veel toegepast bij afweging van alternatieven. Veiligheid kan hierin in van de aspecten zijn.

Voorbeeld van toepassing van de multi criteria analyse

Een voorbeeld van de toepassing van een multi criteria methode waarbij veiligheid een rol speelt is de scorekaart bij afweging van alternatieven voor de Oosterscheldewerken. Drie alternatieven (stormvloedkering, dichte dam, en dijkverzwaring) zijn vergeleken op de aspecten veiligheid, milieu, beroepsvisserij, waterhuishouding, binnenvaart, recreatie, procedures en kosten, werkgelegenheid. Om het geheel overzichtelijk te houden is hier alleen de beoordeling van de veiligheidscriteria weergegeven.

Tabel: keuze alternatieven voor Oosterscheldewerken m.b.t. veiligheid [de Boer, 1999]

	Stormvloedkering	dichte dam	dijkverzwaring
Jaar eindveiligheid	1985	1980	1994
Lengte prim kering	9 km	9 km	145
Kwaliteit prim. Kering	+	+	-
Optimale kering	Ja	Ja	nee
Overstromingskans in overgangperiode	3.5%	2.5%	9.0%

Literatuur

[de Boer, 1999]

Bijlage 2.1 Beoordeling risicomaten op bestuurlijke aspecten

Deze bijlage bevat een overzicht van de beoordeling van de risicomaten aan de hand van de bestuurlijke criteria. Hierbij zijn relatieve scores gebruikt (+ 0 -). Deze wijze van scoren sluit het beste aan bij het kwalitatieve karakter van de criteria. De beoordeling heeft zich beperkt tot kwantitatieve methoden.

Het belang van de verschillende criteria zal afhankelijk zijn van de rol van de overheid.

In bepaalde situaties, in de rol van “vergunningverlener”, geeft de overheid toestemming om een bepaalde riskante activiteit uit te voeren onder bepaalde normen. Een voorbeeld is de situatie bij LPG stations die allen moeten voldoen aan de normen voor individueel en groepsrisico. In dit geval zal het gelijkheidsbeginsel belangrijk zijn. Iedere installatie zal immers aan dezelfde eisen moeten voldoen.

In een ander geval zal is de overheid verantwoordelijk voor het gehele probleem, “probleemeigenaar”, zoals bij het overstromingsrisico. In dit geval zal een zo efficiënt beheersing van het probleem belangrijk zijn. De overheid kan er in dit geval voor kiezen verschillende risiconiveaus voor verschillende installaties, in dit geval dijkringen, toe te staan. Nu zal de mogelijkheid om het effect van maatregelen weer te geven een belangrijk criterium zijn.

Afhankelijk van de rol van de overheid kunnen verschillende weegfactoren worden toegekend aan de criteria. In een nadere bestuurskundige analyse kan het belang van de verschillende criteria voor het overstromingsrisico worden onderzocht.

Niveau	Bruikbaarheid/vergelijkbaarheid andere risico's	Implementatie en naleving	Compleetheid	Weergave maatregelen en effecten	Uit te leggen en duidelijk	Rechtvaardigheid en objectiviteit	Aansluiting huidige normering	Meenement toek. Ontwikkelingen	Score
Individueel risico									
Individueel risico (IR) – VROM	Individueel	+	-	0	+	++	++	-	5
IR – TAW	Individueel	+	-	-	-	0	-	+	-3
IR – Bohnenblust	Individueel	+	-	-	-	0	-	+	-3
Maatschappelijk risico									
Gesommeerd gewogen risico (GGR)	≥ lokaal	0	-	+	-	-	+	+	1
Verwachtingswaarde slachtoffers uit IR contouren	≥ lokaal	+	0	0	+	+	0	-	3
Scaled risk integral	Lokaal	-	-	+	-	-	-	+	-4
FN curve (groepsrisico)	≥ lokaal	+	+	++	+	-	++	0	8
Verwachtingswaarde slachtoffers	≥ lokaal	-	-	0	+	-	-	+	-1
Risk integral	≥ lokaal	-	0	+	-	0	-	0	-3
Smets	≥ lokaal	-	0	+	-	-	0	+	-5
Totaal risico	Nationaal	-	0	+	-	0	-	+	0
Bohnenblust	≥ lokaal	-	0	+	-	-	--	0	-4
Economisch risico									
FG curve	≥ lokaal	+	-	++	+	-	-	0	2
Verwachtingswaarde economische schade	≥ lokaal	+	-	0	+	+	-	0	2

	Niveau	bruikbaarheid/vergelijkbaarheid andere risicos	implementatie en naleving	compleetheid	weergave maatregelen en effecten	Uit te leggen en duidelijk	rechtvaardigheid en objectiviteit	aansluiting huidige normering	meenement toek. Ontwikkelingen	score
Economische optimalisatie	Lokaal	-	0	-	++	0	-	+	++	2
Economische optimalisatie met onzekerheid	Lokaal	-	-	-	++	0	-	+	0	-1
Economische waardering slachtoffers										
Economische optimalisatie met waardering mensenlevens	Lokaal	-	0	+	+	-	-	-	0	-2
Life Quality Index	≥ lokaal	+	-	+	+	-	0	-	0	-3
Geïntegreerde risicomaten										
Bohnenblust	≥ lokaal	+	-	++	++	-	-	-	0	-1
TAW	ind, lok, nat 0	0	-	++	0	-	-	+	+	1
Indexering	≥ lokaal	+	-	++	-	0	-	-	0	-2
Categorisering	≥ lokaal	+	-	++	+	+	0	-	+	4
Milieu										
Energetic impact index	Lokaal	-	-	0	-	-	-	-	0	-7
Herstellingstijd	≥ lokaal	-	0	--	0	+	-	-	+	-4
Potentiële schade										
People at risk	≥ lokaal	+	+	+	-	+	+	0	+	5
Maximale ongevalsgrootte	≥ lokaal	+	+	+	-	+	+	0	+	5
potentiële economische schade	≥ lokaal	+	+	0	-	+	+	0	+	4
F PAR curve	≥ lokaal	+	-	0	+	0	+	-	+	2

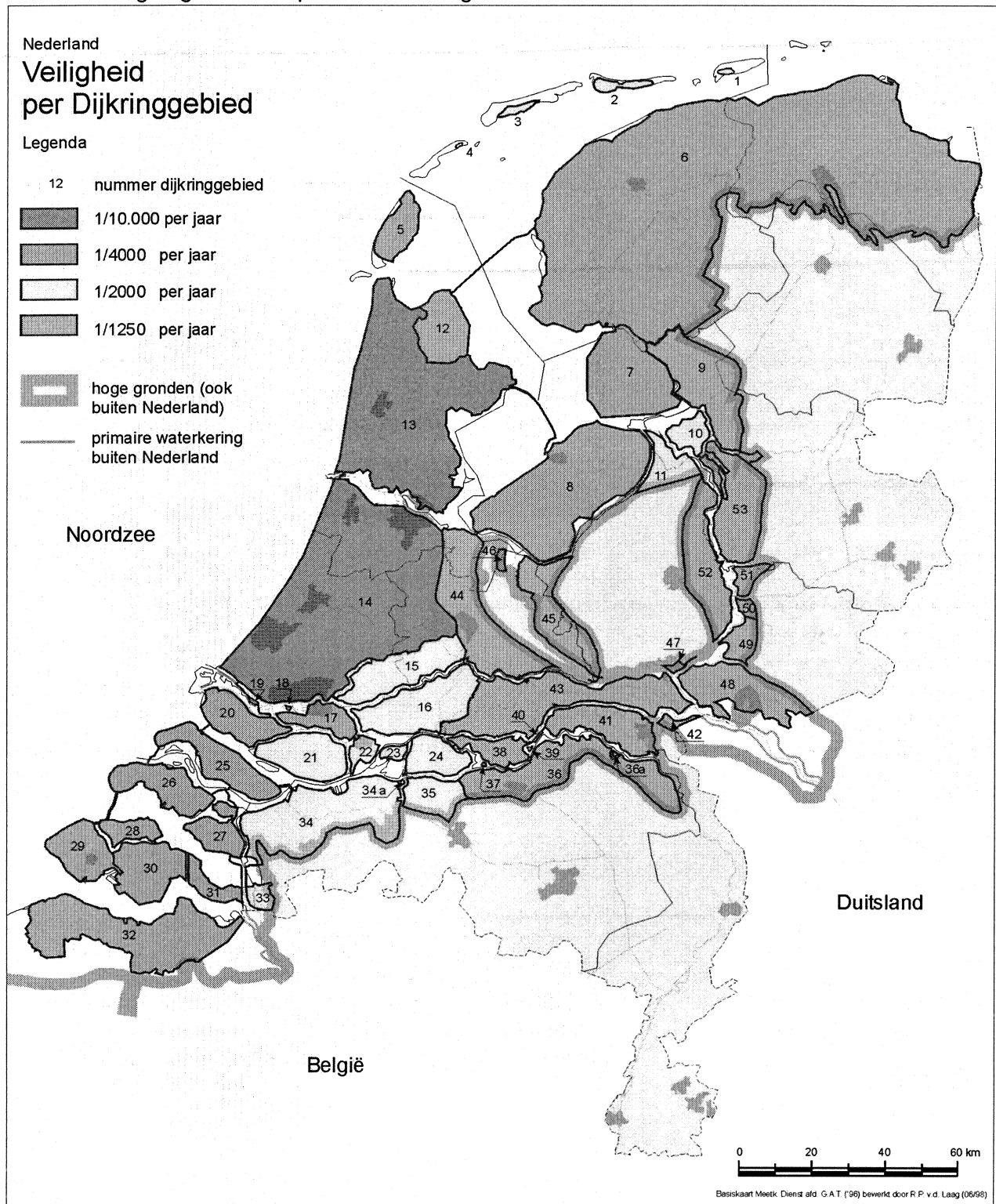
Bijlagen Hoofdstuk 4 'Keuze dijkkring en berekening overstromingsrisico'

Bijlage 4.A	Dijkringen in Nederland	84
Bijlage 4.B	Omrekening van betrouwbaarheidsindex naar faalkans	85
Bijlage 4.C	Betrouwbaarheidsindices dijkvakken van de Betuwe dijkkring [TAW,2000]	86
Bijlage 4.D	Ligging dijkdelen en doorbraakpunten	87
Bijlage 4.E	Overzicht doorbraakpunten in Betuwe dijkkring	89
Bijlage 4.F	Berekening van de kansen op overstromingsscenario's	93
Bijlage 4.G	Overzicht van de kansen van de overstromingsscenario's	95
Bijlage 4.H	Invloedsfactoren bij schade door een overstroming	96
Bijlage 4.I	Schadecategorieën voor de gevolgen van een overstroming	97



Bijlage 4.A Dijkringen in Nederland

In de figuur zijn de 53 dijkringen in Nederland weergegeven. Ook is de toelaatbare overschrijdingsfrequentie van de waterstand per dijkvak voor elk dijkringgebied aangegeven zoals is vastgelegd in Wet op de Waterkering sinds 1996.



Bijlage 4.B Omrekening van betrouwbaarheidsindex naar faalkans

Omdat de faalkansen in het rapport over het algemeen met de betrouwbaarheidsindex β zijn uitgedrukt is hier een overzicht gegeven van de bijbehorende waarden van faalkans en herhalingsjijd.

Tabel: Omrekening betrouwbaarheidsindex naar kans

Beta	Kans (1/jaar)	herhalingsjijd (jaren)
3	1.35E-03	741
3.1	9.68E-04	1033
3.2	6.87E-04	1455
3.3	4.83E-04	2068
3.4	3.37E-04	2968
3.5	2.33E-04	4298
3.6	1.59E-04	6284
3.7	1.08E-04	9274
3.8	7.24E-05	13.817
3.9	4.81E-05	20.783
4	3.17E-05	31.560
4.1	2.07E-05	48.382
4.2	1.34E-05	74.883
4.3	8.55E-06	117.014
4.4	5.42E-06	184.606
4.5	3.40E-06	294.048
4.6	2.11E-06	472.893
4.7	1.30E-06	767.863
4.8	7.94E-07	1.258.887
4.9	4.80E-07	2.083.900
5	2.87E-07	3.483.046
5.1	1.70E-07	5.878.124
5.2	9.98E-08	10.016.587
5.3	5.80E-08	17.234.822
5.4	3.34E-08	29.943.596
5.5	1.90E-08	52.530.944
5.6	1.07E-08	93.056.001
5.7	6.01E-09	166.454.350
5.8	3.33E-09	300.656.786
5.9	1.82E-09	548.372.098
6	9.90E-10	1.009.976.678

Het verband tussen kans (P) en β is als volgt:

$$P = 1 - \Phi_N(\beta)$$

Waarbij voor de normale verdeling geldt $\mu=0$, $\sigma=1$

Bijlage 4.C Betrouwbaarheidsindices dijkvakken van de Betuwe dijkkring [TAW,2000]

In onderstaande tabel zijn de betrouwbaarheidsindices (β) voor de dijkvakken van de Betuwe dijkkring gegeven, zoals gerapporteerd in het rapport "van overschrijdingskans naar overstromingskans" [TAW, 2000]. In de kolommen 1 t/m 7 staan de resultaten per mechanisme, in de kolom "tot" de totale faalkans. In de tabel is te zien welke faalwijze bepalend is voor de veiligheid van de het dijkkringgebied en welk dijkvak de zwakste schakel is. In de onderste rij is de betrouwbaarheidsindex voor gehele dijkkring gegeven.

vak	locatie	Mechanismen							tot
		1	2	3	4	5	6	7	
1	Angeren	4,1							4,1
2	Angeren	3,9							3,9
3	Het Zand	4,3							4,3
4	Huissen	4,0							4,0
5	IJsselkop	4,0							4,0
6	Malbursedam	4,1							4,1
7	Elden	4,5	4,6						4,4
8	Driel	4,9							4,9
9	Heteren - Lakemond	4,7				4,3	4,3		4,1
10	Lakemond	4,7		4,3					4,3
11	Opheusden	4,3		5,6					4,3
12	Eck en Wiel	4,3		5,2					4,3
13	Maurik	4,5							4,5
14	Maurik - Rijswijk	4,3	4,7						4,3
15	Ravenswaai	4,5							4,3
16	Culemborg	3,8							3,8
17	Millingen	4,4	4,6						4,3
18	Doornenburg	3,9							3,9
19	Hulhuizen	3,8							3,8
20	Gendt	3,6							3,6
21	Haalderen	3,2	4,3		4,5				3,2
22	Oosterhout	3,2							3,2
23	Brug bij Ewijk	3,1							3,1
24	Dodewaard	3,7							3,7
25	Eldik	4,0							4,0
26	Ochten	3,6		5,1					3,6
27	IJzendoorn	3,3							3,3
28	Echteld	3,3							3,3
29	A.R. kanaal, Tiel	3,3			15,4	4,3	4,3		3,3
30	Ophemertse dijk, Tiel	3,3				4,3			3,3
31	Passewaaij	3,5				4,3			3,5
32	Ophemert	3,5							3,5
33	Varik	3,5							3,5
34	Heeselt	3,8							3,8
35	Opijnen	3,5	4,7						3,5
36	Hellouw	3,6							3,6
37	Vuren	3,7							3,7
38	Dalem	3,7							3,7
	Ring	3,1	4,2	4,3	4,5	4,0	4,2		3,1

Mechanismen

1. Overslag / Overloop
2. Afschuiven
3. Piping
4. Falen bekleding en onderliggende lagen
5. Piping bij kunstwerken
6. Niet sluiten kunstwerken
7. Duinafslag

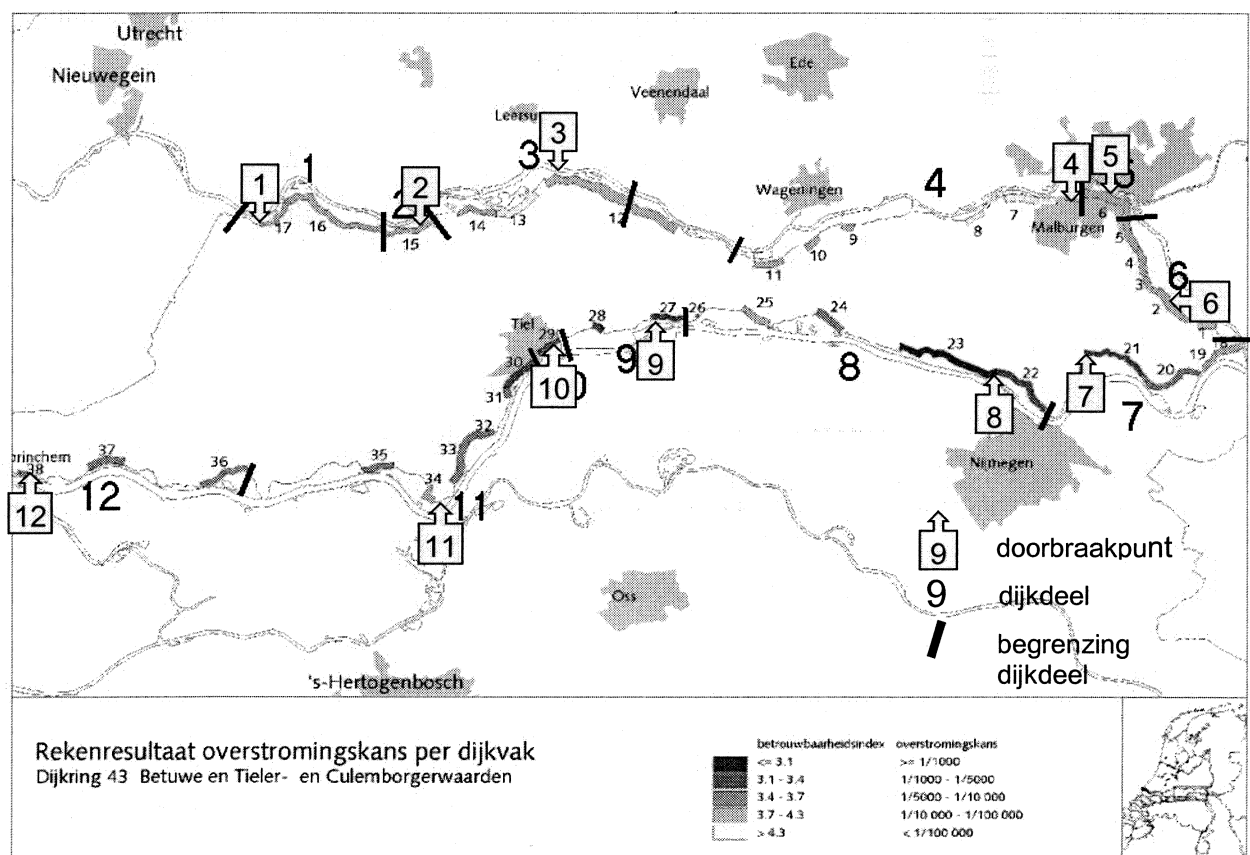
Bijlage 4.D Ligging dijkdelen en doorbraakpunten

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de criteria gehanteerd bij keuze van dijkdelen en doorbraakpunten en hun ligging.

Bij de selectie van dijkdelen en doorbraakpunten zijn binnen PICASO de volgende criteria gehanteerd:

- minstens een doorbraakpunt per "kom". Een "kom" is een deelgebied van de dijkkring dat door compartimenteringsdijken wordt omgeven. Dit criterium volgt direct uit de eis dat alle, significant verschillende, scenario's worden onderzocht
- minstens per bedreiging één doorbraakpunt (volgt ook uit bovengenoemd criterium)
- bij verschillende bedreigingen binnen een "kom" de grootste bedreiging. Dit levert de bovengrens, de gedachte is dat de schade (en het overstromingsscenario) van de doorbraken op minder bedreigende plaatsen kunnen worden afgeleid uit dit ene bovengrensscenario. Deze gedachte zal bij de uitwerking nader worden toegelicht
- doorbraak dicht bij hoogste economische waarde of grootst aantal inwoners. Dit levert bovengrens voor schade/ slachtoffers, zie hierboven.

De onnauwkeurigheid die wordt veroorzaakt door het beperkt aantal doorbraakpunten is niet onderzocht. Op basis van deze criteria zijn dijkdelen met bijbehorende doorbraakpunten gekozen. De dijkdelen en doorbraakpunten zijn weergegeven in onderstaande figuur en de tabel op de volgende bladzijde. Ook de dijkvakken zijn aangegeven (de nummering van de dijkvakken komt overeen met die uit bijlage 4.C).



Figuur 1: Ligging dijkdelen en doorbraakpunten

Tabel 1. Overzicht dijkdelen en ligging doorbraakpunten [PICASO document: keuze doorbraakpunten]

Dijkdeel Nr	Dijkvak ken	Plaats doorbraak	Km	Rivier	Representatief voor / doel
1	16,17	Culemborg	940	Lek	Grote schade / groot aantal mensen bij bres
2	15	Ravenswaaij	930	Lek	Ten oosten van de noordelijke Lingewerken
3	12-14	Kesteren	910	Nederrijn	Kleine, aparte kom, kleine schade / weinig bewoners
4	7-11				
5	6	Malburgen	883	Nederrijn	Kleine, aparte kom, grote schade / groot aantal mensen bij bres
6	1-5	Angeren	875	Pannerdensch Kanaal	Kleine schade / weinig bewoners dicht bij bres, beeld van maximale schade vanuit Pann. Kanaal
7	18-21				
8	22-26	Bemmel	880	Waal	Als boven, maar nu met veel bewoners bij de bres
9	27,28				
10	29	Tiel Oost	914	Waal	Ten oosten van de Lingewerken, inzicht functie Lingewerken
11	30-35	Tiel West	915	Waal	Ten westen van Lingewerken, inzicht functie Lingewerken (vgl ook hierboven)
12	36-38	Haften	937	Waal	Redelijk groot aantal mensen vlak achter bres

Bijlage 4.E Overzicht doorbraakpunten in Betuwe dijkkring

Tijdens het afstuderen is samen met mevrouw Jak en de heren Thonus en Roos een bezoek gebracht aan de Betuwe dijkkring. Hierbij is een aantal doorbraakpunten en zwakke dijkvakken gefotografeerd. Aan het eind van de bijlage is een kaart opgenomen, waarop staat aangegeven waar de foto's zijn genomen.



1. Dalemse overlaat: doorbraakpunt 12

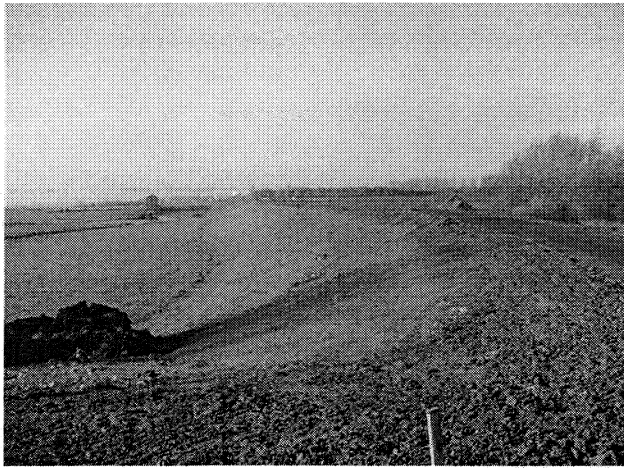


2. Bebouwing tegen de Diefdijk bij Gorinchem: hier treden in het gebied de grootste overstromingsdieptes op en zullen (bij aanwezigheid) veel mensen verdrinken



3. Coupure bij Tiel: doorbraakpunt 10





4. Dijk ten westen van Tiel



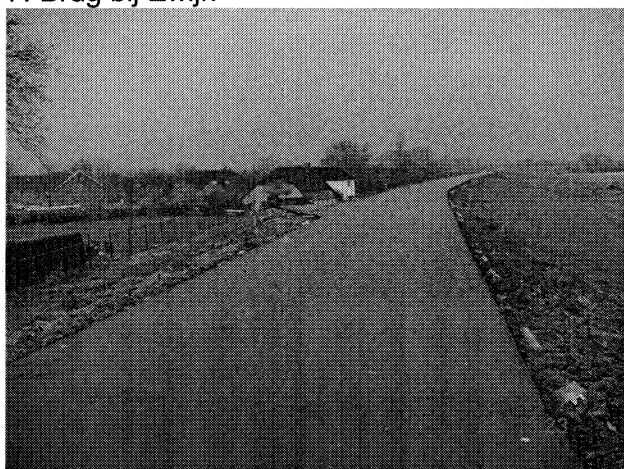
5. Dijkversterking IJzendoorn



6. Brug bij Ewijk: dijkvak met grootste faalkans



7. Brug bij Ewijk



8. Bemmel: doorbraakpunt 7



9. Malburgen: doorbraakpunt 5

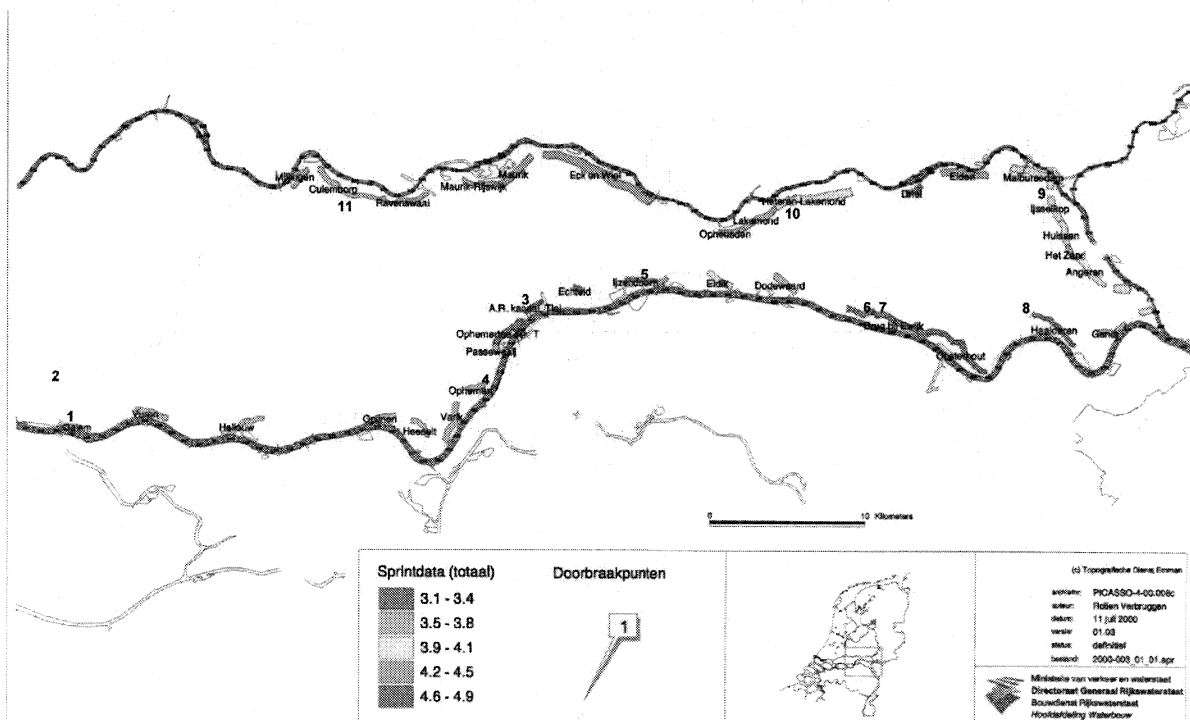




10. coupure in dijkvak Heteren



11. Culemborg: doorbraakpunt 1

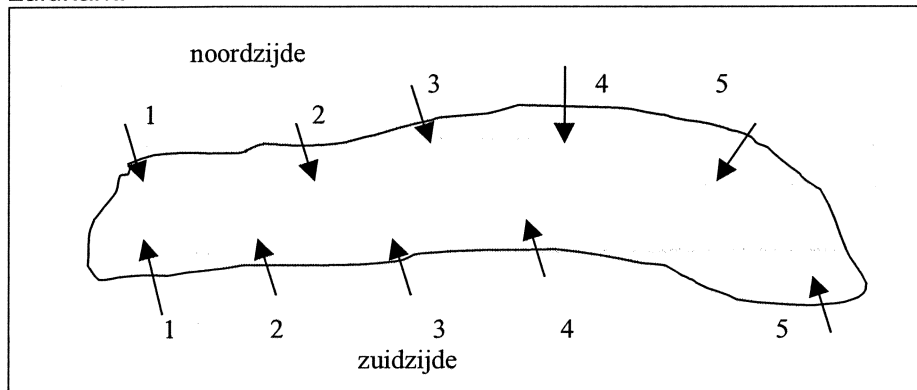


Figuur 2: Locaties van de foto's

Bijlage 4.F Berekening van de kansen op overstromingsscenario's

Dit stuk is grotendeels overgenomen: de notitie "berekening van de kansen op inundatiescenario's" Vrouwenvelder en Steenberg [2000]. Hierin wordt aan de hand van een vereenvoudigd voorbeeld beschreven hoe de kansen op de overstromingsscenario's zijn te berekenen.

In de Betuwe dijkkring liggen, zeg n dijkvakken aan de noordkant en m dijkvakken aan de zuidkant.



Figuur 1: schematische voorstelling doorbraak-scenarios Betuwe [Vrouwenvelder, 2000]

We nemen aan dat bij een doorbraak de belasting voor de vakken aan een dezelfde kant effectief wordt verminderd, maar dat dit niet geldt voor de vakken aan de andere kant. Om een doorbraakscenario te krijgen voor bijvoorbeeld overstroming via uitsluitend vak 1 aan de noordzijde moet aan de volgende criteria worden voldaan:

- vak 1 aan de noordzijde faalt
- vak 1 faalt daarbij eerder dan de andere vakken aan de noordzijde
- de vakken aan de zuidzijde falen niet

De kans op het falen van een dijkvak wordt genoteerd met behulp van de grenstoestandfunctie¹ z of Z . De volgende grenstoestandfuncties worden gedefinieerd

- z_1 = grenstoestandfunctie voor vak 1 van de noordkant
- z_2 = idem voor vak 2
- z_n = idem voor het laatste vak
- Z_1 = idem voor vak 1 van de zuidkant
- Z_2 = idem voor vak 2
- Z_m = idem voor het laatste vak

De genoemde criteria zijn dan te herschrijven als:

$$\begin{aligned} z_1 &< 0 \\ z_1 &< z_i && \text{voor } i = 2..n \\ Z_j &> 0 && \text{voor } j = 1..m \end{aligned}$$

Ofwel, het doorbraakscenario "uitsluitend vak 1 faalt" kan als volgt worden opgeschreven:

$$z_1 < 0 \text{ en } z_1 < z_2 \text{ en } z_1 < z_3 \text{ en } .. \text{ en } z_1 < z_n \text{ en } Z_1 > 0 \text{ en } Z_2 > 0 \text{ en } .. Z_m > 0.$$

De kans op het optreden van het scenario volgt uit deze criteria, dus de kans het doorbraakscenario "uitsluitend vak 1 faalt" volgt uit:

¹ Zie bijlage 8.A voor een korte uitleg m.b.t. de grenstoestandfunctie

$P(z_1 < 0 \text{ en } z_1 < z_2 \text{ en } z_1 < z_3 \text{ en } \dots \text{ en } z_1 < z_n \text{ en } Z_1 > 0 \text{ en } Z_2 > 0 \text{ en } \dots Z_m > 0).$

Een vergelijkbare uitdrukking kan uiteraard worden opgesteld voor een scenario met doorbraak aan de zuidzijde.

Voor een doorbraakscenario met twee vakken (bijvoorbeeld vak 1 aan de noordzijde en vak 1 aan de zuidzijde), gelden de volgende criteria:

- vak 1 aan de noordzijde faalt
- vak 1 faalt eerder dan de andere vakken aan de noordzijde
- vak 1 aan de zuidzijde faalt
- vak 1 faalt eerder dan de andere vakken aan de zuidzijde

Formeel genoteerd:

$$\begin{aligned} z_1 &< 0 \\ z_1 &< z_i \quad \text{voor } i = 1..n \\ Z_j &< 0 \\ Z_1 &< Z_j \quad \text{voor } j = 1.. m \end{aligned}$$

Ofwel:

$$z_1 < 0 \text{ en } z_1 < z_2 \text{ en } z_1 < z_3 \dots z_1 < z_n \text{ en } Z_1 < 0 \text{ en } Z_1 < Z_2 \text{ en } Z_1 < Z_3 \text{ en } \dots Z_1 < Z_m$$

De kansen op deze gebeurtenissen zijn met de methode Hohembichler/Rackwitz in combinatie met de oprolprocedure uit te rekenen. De scenario kansen die in deze studie zijn berekend met de bij PC Ring behorende scenario module.

Bijlage 4.G Overzicht van de kansen van de overstromingsscenario's

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de kansen van de overstromingsscenario's. De gegevens zijn afkomstig uit [Vrouwenfelder, 2000]

Dijkkringdeel	Dijkkringdeel	β	Kans	Cumulatief	% cumulatief	% bijdrage aan tot kans
8	0	3.22	6.41E-04	6.41E-04	75.2%	75.2%
7	0	3.84	6.16E-05	7.03E-04	82.5%	7.2%
9	0	3.94	4.07E-05	7.43E-04	87.3%	4.8%
1	8	3.95	3.88E-05	7.82E-04	91.8%	4.6%
6	8	4.12	1.89E-05	8.01E-04	94.0%	2.2%
4	8	4.14	1.73E-05	8.18E-04	96.1%	2.0%
4	0	4.32	7.67E-06	8.26E-04	97.0%	0.9%
11	0	4.38	5.88E-06	8.32E-04	97.7%	0.7%
10	0	4.39	5.67E-06	8.38E-04	98.3%	0.7%
1	7	4.47	3.98E-06	8.42E-04	98.8%	0.5%
1	9	4.56	2.51E-06	8.44E-04	99.1%	0.3%
6	7	4.62	1.94E-06	8.46E-04	99.3%	0.2%
4	7	4.65	1.67E-06	8.48E-04	99.5%	0.2%
6	9	4.71	1.24E-06	8.49E-04	99.7%	0.1%
4	9	4.73	1.11E-06	8.50E-04	99.8%	0.1%
1	11	4.93	4.08E-07	8.50E-04	99.8%	0.0%
1	10	4.94	3.88E-07	8.51E-04	99.9%	0.0%
6	11	5.07	1.97E-07	8.51E-04	99.9%	0.0%
6	10	5.08	1.88E-07	8.51E-04	99.9%	0.0%
5	8	5.09	1.78E-07	8.51E-04	99.9%	0.0%
4	11	5.11	1.62E-07	8.51E-04	100.0%	0.0%
4	10	5.12	1.54E-07	8.52E-04	100.0%	0.0%
3	8	5.15	1.28E-07	8.52E-04	100.0%	0.0%
5	7	5.50	1.96E-08	8.52E-04	100.0%	0.0%
3	9	5.54	1.52E-08	8.52E-04	100.0%	0.0%
3	7	5.56	1.34E-08	8.52E-04	100.0%	0.0%
5	9	5.59	1.16E-08	8.52E-04	100.0%	0.0%
5	11	5.91	1.67E-09	8.52E-04	100.0%	0.0%
5	10	5.92	1.62E-09	8.52E-04	100.0%	0.0%
3	11	5.97	1.22E-09	8.52E-04	100.0%	0.0%
3	10	5.97	1.17E-09	8.52E-04	100.0%	0.0%
12	0	6.40	7.82E-11	8.52E-04	100.0%	0.0%
2	8	6.89	2.81E-12	8.52E-04	100.0%	0.0%
1	12	6.94	1.93E-12	8.52E-04	100.0%	0.0%
6	12	7.05	8.96E-13	8.52E-04	100.0%	0.0%
4	12	7.09	6.91E-13	8.52E-04	100.0%	0.0%
2	7	7.19	3.17E-13	8.52E-04	100.0%	0.0%
2	9	7.27	1.81E-13	8.52E-04	100.0%	0.0%
2	11	7.53	2.59E-14	8.52E-04	100.0%	0.0%
2	10	7.53	2.50E-14	8.52E-04	100.0%	0.0%
3	12	7.64	1.12E-14	8.52E-04	100.0%	0.0%
5	12	7.71	6.57E-15	8.52E-04	100.0%	0.0%
1	0	7.78	3.76E-15	8.52E-04	100.0%	0.0%
6	0	8.80	6.75E-19	8.52E-04	100.0%	0.0%
3	0	8.99	1.22E-19	8.52E-04	100.0%	0.0%
2	12	9.02	9.71E-20	8.52E-04	100.0%	0.0%
5	0	10.41	1.13E-25	8.52E-04	100.0%	0.0%
2	0	12.31	4.05E-35	8.52E-04	100.0%	0.0%

Opmerking: 0 in de tweede kolom betekent dat het om een enkele doorbraak gaat

Bijlage 4.H Invloedsfactoren bij schade door een overstroming

In het model uit [WL, 1999] is een duidelijk verband gegeven tussen het overstromingsverloop, de gebiedsgegevens en de omvang van de schade. In het model zijn 7 invloedsfactoren voor de schade onderscheiden, onderverdeeld in 2 groepen:

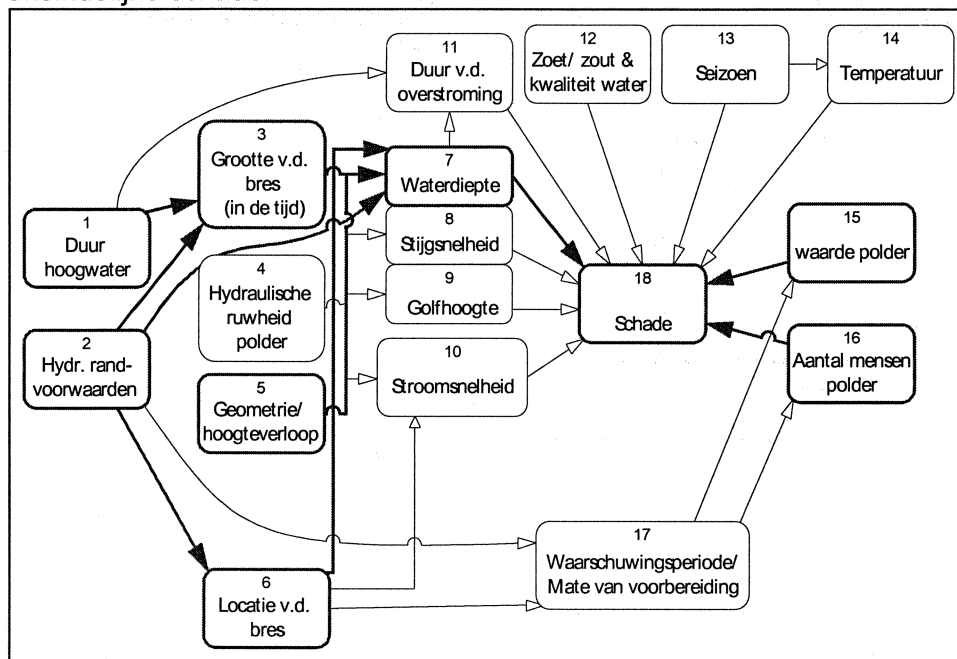
invloedsfactoren instroom: factoren die het stromen van het water in de polder beïnvloeden.

1. Duur hoogwaterstand
2. Hydraulische randvoorwaarden
3. Grootte bres in de tijd
4. Hydraulische ruwheid polder
5. Geometrie/ hoogteverloop
6. Locaties bres
7. Waterdiepte
8. Stijgsnelheid
9. Golfhoogte
10. Stroomsnelheid

Invloedsfactoren gevolgen: Factoren die van invloed zijn op de uiteindelijke gevolgen.

11. Duur overstroming
12. Zoet/zout water en waterkwaliteit
13. Seizoen
14. Temperatuur
15. Waarde polder
16. aantal mensen in polder
17. Waarschuwingperiode/ mate van voorbereiding

De factoren en hun relatie met de schade kunnen zijn in onderstaande figuur weergegeven. De in de tekst en figuur vet weergegeven factoren hebben de grootste invloed op de uiteindelijke schade.



Figuur 1: invloedsfactoren schade overstroming [Bouwdienst, 1999]

Bijlage 4.1 Schadecategorieën voor de gevolgen van een overstroming

In deze tabel is de indeling van schadetypes weergegeven voor de gevolgen van een overstroming [WL, 1999]

Type Schade	Monetair waardeerbaar	Niet (objectief) monetair waardeerbaar
Primaire schade Direct (gebied overstroomd)	Kapitaalgoederen: Onroerende goederen: – Infrastructuur: <i>Wegen, bruggen, tunnels</i> <i>Waterwegen, waterkeringen</i> <i>spoorwegen, luchthavens</i> <i>Leidingen</i> – Gebouwen: <i>Huizen, bedrijfsgebouwen (fabrieken)</i> – Productiefactoren <i>Landbouwgrond, productiemiddelen, recreatiegebied</i> Roerende goederen: – Inboedel/ inventaris – Productiemiddelen – Grondstoffen/ voorraden <i>Landbouwproducten</i> – Vervoersmiddelen	Slachtoffers – Doden – dode dieren <i>vee, huisdieren</i> – gewonden Ecosystemen – Flora – Fauna Verontreiniging oppervlakte water Historische monumenten en culturele waarden – Monumentale gebouwen – Historische documenten – Kunstopjecten – Cultureel erfgoed
Primaire schade Indirect	Verstoring productieproces Productieverlies/ inkomstenderving – Landbouw – Industrie – Dienstverlening – Handel Schoonmaakkosten	Welzijn, sociale ontwrichting – Psychologische schade door ervaring met hoogwater – Verlies ecosystemen, historische monumenten en culturele waarden – Verlies waardevolle en/of emotionele bezittingen – Door faillissement Indirecte schade ten gevolge van schade aan andere installaties – Vrijkomen gevaarlijke stoffen uit bv kerncentrales, chemische installaties – Uitvallen nutsvoorzieningen, bv. Electriciteits- en zuiveringsinstallaties – uitval telefooncentrales – uitvallen ziekenhuizen
Secundaire schade (schade in niet overstroomde gebieden)	Verstoring productieproces – Vraagvermindering – Verminderde toevoer/ aanbod van grondstoffen/ halfproducten – Verminderd aanbod van diensten – Impulsen voor bepaalde industrieën en bijbehorende werkgelegenheid – Toename transportkosten	Schade voor de overheid – Politieke schade – Verlies van vertrouwen in de overheid
Geïnduceerde schade	(Nood)hulpkosten Kosten van reddingsoperaties – Legerinzet – Zandzakken, materieel, etc. Evacuatie kosten – Noodopvang, Politie inzet. Communicatiemiddelen	Ontwrichting door evacuatie

Bijlagen Hoofdstuk 5 'Individueel risico'

Bijlage 5.A	Modellering van de kans op overlijden bij een overstroming	99
Bijlage 5.B	Vergelijking eigen model met de standaardmethode	103
Bijlage 5.C	Overstromingsdiepte en stroomsnelheid bij doorbraak Brug bij Ewijk	105
Bijlage 5.D	Individueel risico bij permanente aanwezigheid per scenario	106
Bijlage 5.E	Vluchttijd	108
Bijlage 5.F	Individueel risico met evacuatie per scenario	109



Bijlage 5.A Modelling van de kans op overlijden bij een overstroming

Deze bijlage bevat de beschrijving van de methode om de kans op overlijden gegeven een bepaalde overstroming te berekenen. Een meer beknopte beschrijving is opgenomen in paragraaf 5.2.2.

Kans op overlijden gegeven een overstroming: P_{dlb}

Het aantal slachtoffers bij een overstroming wordt bepaald door een groot aantal factoren, die globaal in twee groepen op te delen zijn [Waarts, 1992]:

- Factoren die het **overstromingsverloop** beschrijven: overstromingsdiepte, stijghoogte, stijgsnelheid van het water, stroomsnelheid, windrichting en kracht, temperatuur en overstromingsduur.
- Factoren die betrekking op de structuur van het gebied, de **gebiedsgegevens** als: bevolking, bebouwing, waarschuwing- en reddingsmogelijkheden

Probleem bij een adequate modellering van de kans op verdrinking bij een overstroming is het gebrek aan gegevens, en de correlatie tussen de verschillende factoren. Zo zal de stijgsnelheid van het water gecorreleerd zijn met de stroomsnelheid en de overstromingsdiepte.

Omdat de standaardmethode [HKV, 2000] in de huidige vorm niet geschikt is voor bepaling van het individueel risico is besloten een eigen model te ontwikkelen. De kans op overlijden bij een overstroming is hierin afhankelijk gesteld van twee parameters die het **overstromingsverloop** beschrijven: overstromingsdiepte en stroomsnelheid. De invloed van overige parameters zoals windrichting, windkracht, temperatuur en overstromingsduur blijft in dit model buiten beschouwing. Ook de invloed van gebiedsgegevens, zoals de aanwezigheid van personen, is niet meegenomen bij de bepaling van het individueel risico. Dit betekent dat de berekening van het individueel risico, in navolging van het IR berekend binnen het externe veiligheidsbeleid, gebeurt voor personen die permanent aanwezig zouden zijn binnen de dijkkring.

overstromingsdiepte

In [Waarts, 1992] is een drietal verbanden tussen overstromingsdiepte en het percentage verdrongen inwoners (verdrinkingsfactor) gemodelleerd. De verbanden zijn afgeleid uit gegevens van de Watersnoodramp van 1953.

$$\partial_{h1} = 0.665 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1.16 \cdot h}$$

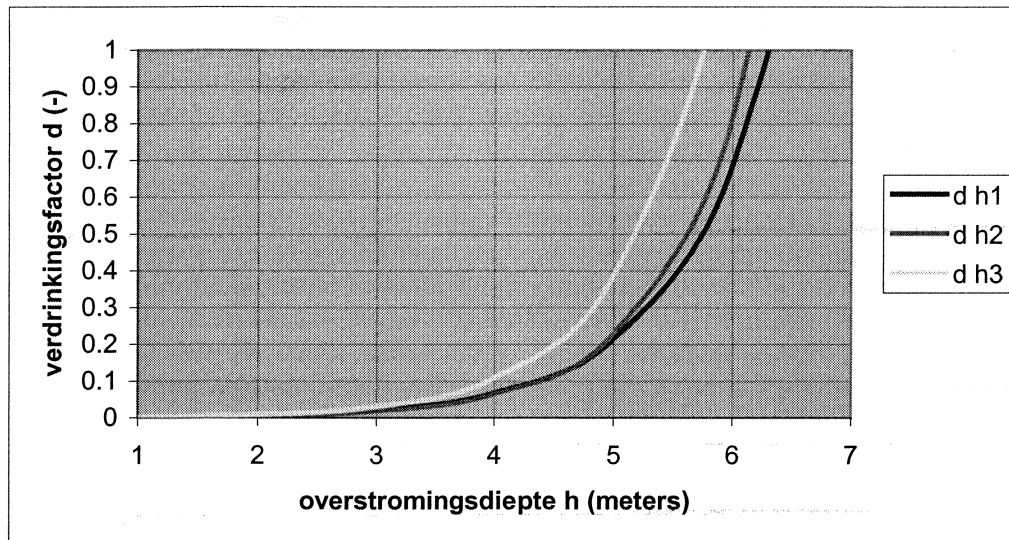
$$\partial_{h2} = 0.4 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1.27 \cdot h}$$

$$\partial_{h3} = e^{1.27 \cdot h}$$

waarin

$\delta_{h,i}$ de verdrinkingsfactor, het percentage verdrongen inwoners
 h overstromingsdiepte [m]

De drie functies zijn weergegeven in onderstaande figuur



Figuur 1: verdrinkingsfactor als functie van overstromingsdiepte

Bij alle drie de functies neemt het percentage verdrinkingen boven een bepaalde overstromingsdiepte (zo'n 5m) opeens zeer snel toe. Dit valt te verklaren uit het feit dat boven deze hoogte de meeste huizen geheel onder water staan.

De gebruikte verbanden zijn slechts tot stand gekomen op basis van één gebeurtenis, de Watersnoodramp uit 1953. Het aantal slachtoffers bij een rivieroverstroming zal waarschijnlijk lager liggen dan bij een overstroming vanuit zee. Daarom is besloten de meest voorzichtige functie, δ_{h1} te gebruiken. Op basis van deze functie is de kans op overlijden gegeven een overstroming(sscenario) gemodelleerd als:

$$P_{d|i}(h) = P(h > h_{cr} | i) = 0.665 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1.16 \cdot h} \quad \text{voor } h \leq 6.30 \text{ m}$$

$$P_{d|i}(h) = 1 \quad \text{voor } h > 6.30 \text{ m}$$

waarin:

h	de overstromingsdiepte [m]
$P_{d i}(h)$	de kans op overlijden gegeven een overstroming volgens scenario i als functie van de overstromingsdiepte
$P(h > h_{cr} i)$	de kans dat de overstromingsdiepte groter is dan een kritische waarde van de overstromingsdiepte (h_{cr}), waarbij personen verdrinken gegeven scenario i

Aangenomen is dat bovengenoemd verband geldt bij de aanname van permanente aanwezigheid. Onzeker is echter in hoeverre evacuatie impliciet is meegenomen in de bepaling van het verband tussen overstromingsdiepte en verdrinkingsfactor in [Waarts, 1992].

In de standaardmethode [HKV, 2000] is de kans op verdrinking bij een overstroming afhankelijk van de overstromingsdiepte en stijgsnelheid. In bijlage 5.B is het eigen model vergeleken met de standaardmethode en is getoond dat het hier gehanteerde verband globaal overeen komt met dat uit de standaardmethode voor een stijgsnelheid van 2 meter per uur.

stroomsnelheid

Daarnaast zullen personen bij een overstroming overlijden bij hoge stroomsnelheden. Uit waarnemingen is gebleken dat binnen een afstand van tweemaal de bresbreedte alle

personen verdrinken door hoge stroomsnelheden [Waarts, 1992]. In de eerste plaats kunnen personen zich niet meer staande houden bij hoge stroomsnelheden. Daarnaast storten gebouwen in.

Stabiliteit van personen

Uit de gegevens van een onderzoek van [Abt, 1989] naar stabiliteit van personen in stromend water is een relatie tussen de stroomsnelheid en de verdrinkingskans te bepalen. Uit zo'n 60 metingen (in ondiepe stroming) is een normaal verdeelde kansdichtheidsfunctie van de verdrinkingsfactor voor personen van verschillend gewicht normaal bepaald:

$$f_{\delta_u}(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp\left(-\frac{(u - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{met } \mu = 1.66 \text{ m/s} \quad \sigma = 0.48 \text{ m/s}$$

waarin:

u stroomsnelheid [m/s]
 δ_u de verdrinkingsfactor ten gevolge van stroomsnelheid u
 $f_{\delta_u}(u)$ de kansdichtheidsfunctie van de verdrinkingsfactor δ_u als functie van de stroomsnelheid u

Bebouwing

Bij een overstroming zal het grootste deel van de personen zich echter in een gebouw bevinden. Gebouwen kunnen afhankelijk van het type bebouwing en bouw materiaal een bepaalde stroomsnelheid weerstaan. In onderstaande tabel is per type bebouwing de stroomsnelheid waarbij een muur bezwijkt aangegeven [Waarts, 1992].

Tabel: Stroomsnelheid (in m/s) waarbij een muur van dikte D en hoogte H bezwijkt

Type	H < 2.8m	H < 5.6m
Gietbouw		
D=0,18 m	7.2	7.1
D=0,16 m	6.9	6.7
D=0,20 m	8.4	7.9
Metselwerk		
D=0,10 m	1.7	1.4
D=0,20 m	2.2	1.9

Daarnaast kan een muur nog bezwijken door golfslag. Bij een rivieroverstroming speelt dit effect echter in minder mate een rol en blijft het in dit model buiten beschouwing. De hoge waarden voor gietbouw gelden voor dichte wanden, terwijl in de praktijk gevelelementen en ramen al bij stroomsnelheden in de orde 1,5-2 m/s bezwijken.

Modellering

Om de lokale verdrinkingsfactor aan de hand van de stroomsnelheid te bepalen moeten de gegevens over de bebouwing per locatie bekend zijn. Daarnaast speelt het een belangrijke rol of personen binnen of buiten het huis zijn (afhankelijk van het weer, tijdstip). Deze factoren zijn in een eenvoudig model niet exact te bepalen.

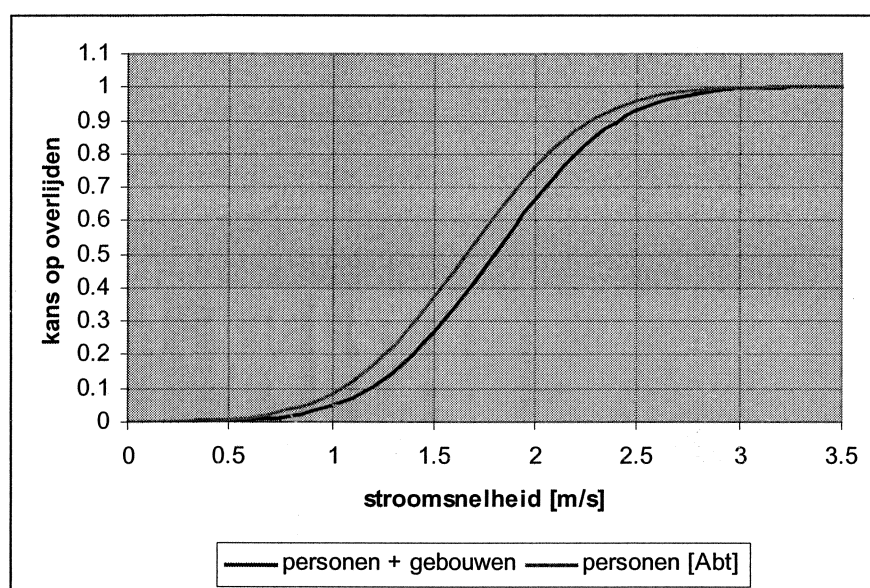
De op te vangen stroomsnelheid door metselwerk gebouwen komt goed overeen met het gemiddelde van een door een persoon op te vangen stroomsnelheid. Aangenomen is de aanwezigheid van gietbouw buiten beschouwing te laten in de verdrinkingsfactor. Daarom is de stabiliteitsfunctie voor personen gebruikt met een gemiddelde opgehoogd tot $\mu = 1.8 \text{ m/s}$. Voor bebouwing is geen probabilistische bezwijkfunctie bekend. Daarom is ook de standaardafwijking geldig voor personen gebruikt. De kans op overlijden gegeven een overstroming als functie van de stroomsnelheid is nu te modelleren als normaal verdeeld:

$$P_{d|i}(u) = P(u > u_{cr} | i) = \Phi_N\left(\frac{u - \mu}{\sigma}\right)$$

Met $\mu = 1.8 \text{ m/s}$ en $\sigma = 0.48 \text{ m/s}$

Waarin:

u de stroomsnelheid [m/s]
 $P_{d|i}(u)$ de kans op overlijden als functie van de stroomsnelheid gegeven een overstroming volgens scenario i
 $P(u > u_{cr} | i)$ de kans dat de stroomsnelheid groter is dan een kritische waarde van de stroomsnelheid (u_{cr}), waarbij personen verdrinken gegeven scenario i
 $\Phi_N(x)$ normale verdeling van parameter x



Figuur 2: Kans op overlijden als functie van de stroomsnelheid

De eventuele aanwezigheid van hoogbouw kan later in een meer specifiek model worden meegenomen.

Bij bepaling van de verdrinkingsfactor t.g.v. stroomsnelheid moet worden opgemerkt dat eigenlijk de combinatie van waterdiepte en stroomsnelheid van belang is. Uit het werk van onder meer Lind [2000] en Abt [1989] komt naar voren dat personen hun stabiliteit verliezen bij een product van waterdiepte en stroomsnelheid tussen de 0,3 en 0,7 m²/s.

Bijlage 5.B Vergelijking eigen model met de standaardmethode

In deze bijlage is het eigen model voor de berekening van slachtoffers vergeleken met de slachtofferberekening in de standaardmethode [HKV, 2000]. Voordat de vergelijking is gemaakt is eerst de standaardmethode beschreven.

Standaardmethode

Uit onderzoek [Waarts, 1992] blijkt dat met name de combinatie van overstromingsdiepte en stijgsnelheid van belang is voor de verdrinkingsfactor. In de slachtofferbepaling in de standaardmethode is direct rekening gehouden met deze combinatie van diepte en stijgsnelheid. Met behulp van de factor f_{ng} is het deel van de mensen dat niet gered wordt bij een overstroming berekend. Het bepalen van deze factor komt overeen met het bepalen van de kans op overlijden op een bepaalde plaats. De volgende functie geldt hier:

$$f_{ng} = 0 \quad \text{Voor } h < 3\text{m} \vee v < 0.3 \text{ m/uur}$$

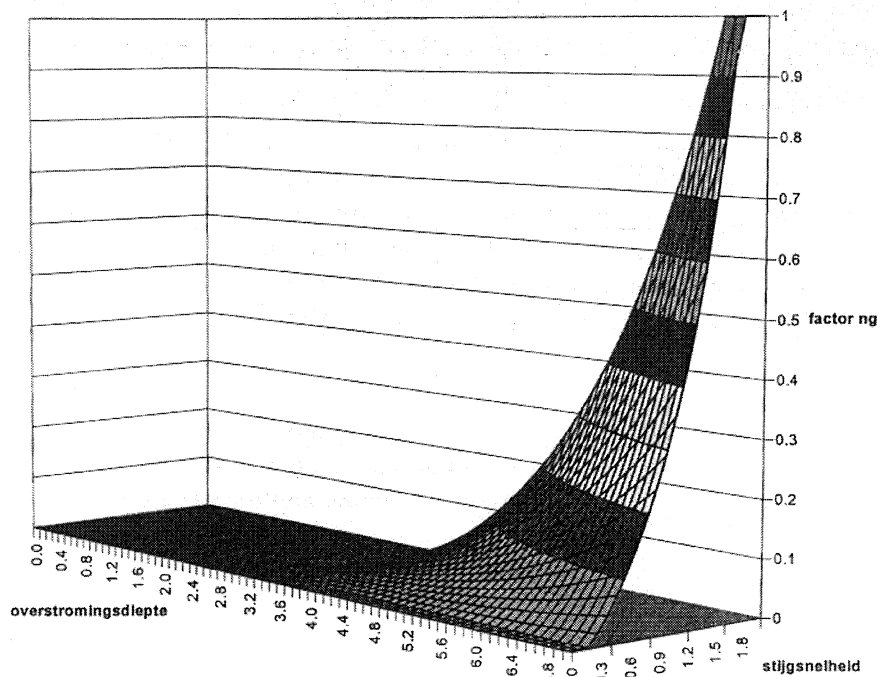
$$f_{ng} = 1 \quad \text{Voor } h > 6.25\text{m} \wedge v > 2 \text{ m/uur}$$

$$f_{ng} = \text{MIN}(\text{MAX}(8.5 * \exp(0.6 * h - 6) - 0.15, 0), 1) * \text{MIN}(\text{MAX}(8.5 * \exp(1.2 * v - 4.3) - 0.15, 0), 1)$$

Waarin:

h overstromingsdiepte [m]
 v stijgsnelheid [m/uur]

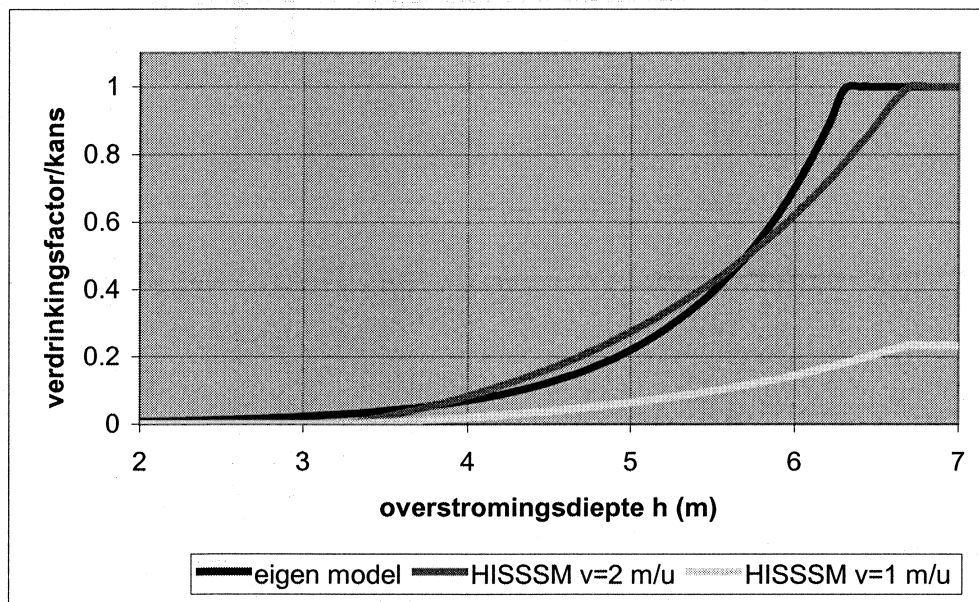
In een grafiek is de waarde van de factor f_{ng} als functie van de stijgsnelheid en overstromingsdiepte weergegeven.



Figuur 1: verdrinkingsfactor f_{ng} als functie van overstromingsdiepte en stijgsnelheid [HKV, 2000]

Vergelijking standaardmethode en eigen model

Het in deze studie gekozen verband tussen overstromingsdiepte en verdrinkingskans blijkt zeer sterk overeen te komen met de functie uit de standaardmethode voor een stijgsnelheid van 2 meter per uur. In een grafiek zijn beide lijnen afgebeeld. Daarnaast is de gevoeligheid van de standaardmethode voor de waarde van de stijgsnelheid in de grafiek aangegeven door het verband voor een stijgsnelheid van 1 meter per uur te tekenen.



Figuur 2: vergelijking standaardmethode voor verschillende stijgsnelheden met eigen model

De belangrijkste verschillen en overeenkomsten tussen beide modellen zijn geanalyseerd in onderstaande tabel.

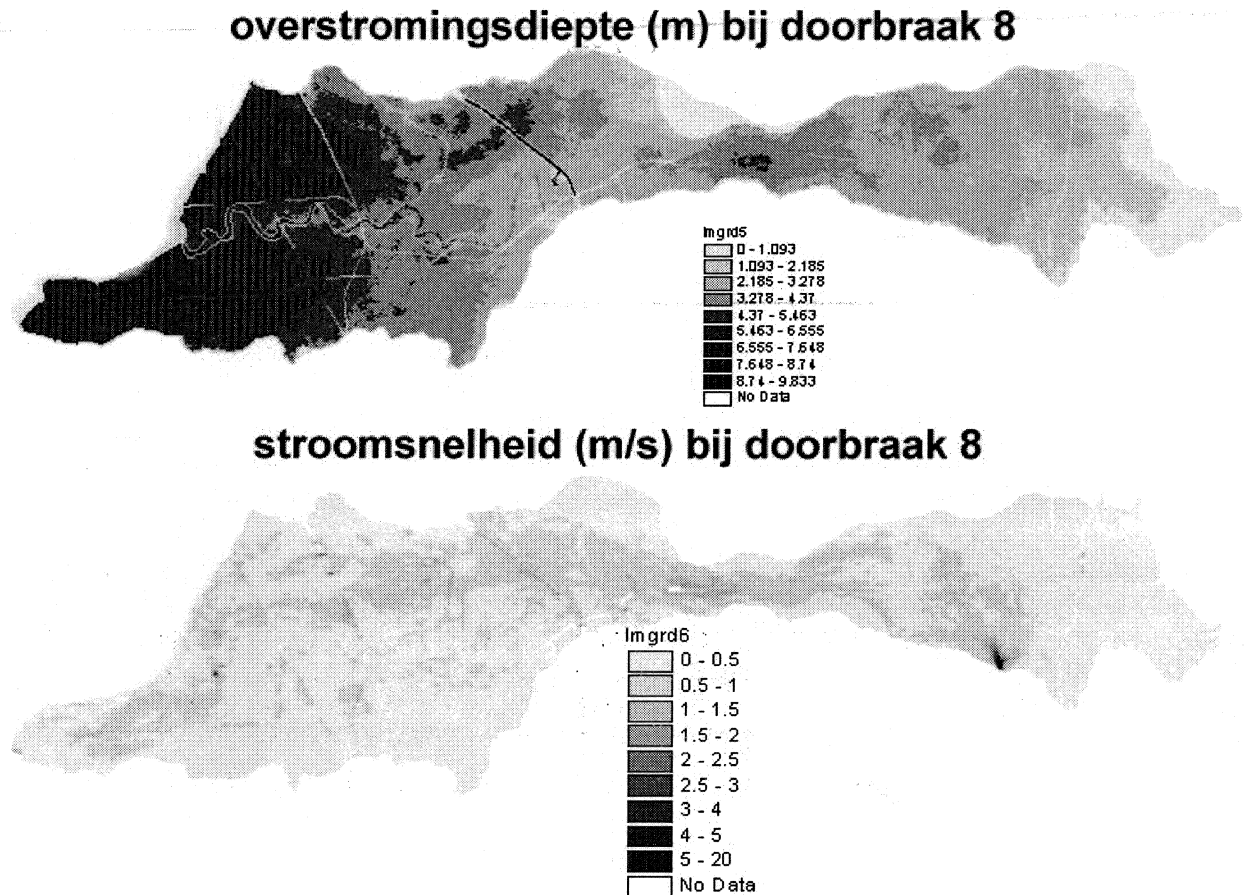
	Standaardmethode	Eigen model
Overlijden door Overstromingsdiepte	Komt globaal overeen voor stijgsnelheid 2 m/u	
Overlijden door Stijgsnelheid	Ja	-
Overlijden door Stroomsnelheid	-	Ja
Evacuatie	- (Vast percentage)	Afhankelijk van vluchttijd
Geïmplementeerd in	HIS Schade en Slachtoffer module	- (Berekeningen dit rapport)
Mogelijk individueel risico te bepalen	- (niet met HISSTM)	Ja
Aantal slachtoffers voor hele dijkkring te bepalen	Ja	Ja

In deze studie wordt gebruik gemaakt van het zelf ontwikkelde model om de volgende redenen:

- In het eigen model is het mogelijk evacuatie mee te nemen in de berekening van het aantal slachtoffers. Hierbij is evacuatie gedefinieerd als functie van de plaats, terwijl in de standaardmethode een vast percentage moet worden aangenomen
- Met het eigen model zijn de verkregen maatschappelijk en individueel risico waarden te herleiden tot dezelfde gegevens
- Het eigen model bevat een slachtofferfunctie voor stroomsnelheden, terwijl in de HISSTM geen slachtoffers door stroomsnelheid vallen

Bijlage 5.C Overstromingsdiepte en stroomsnelheid bij doorbraak Brug bij Ewijk

In onderstaande figuren zijn voor de doorbraak bij Brug bij Ewijk (doorbraak 8) de maximaal opgetreden overstromingsdiepte en stroomsnelheid weergegeven. Deze zijn bepaald met het programma Delft1D2D, waarin een overstroming voor dit scenario is gesimuleerd.

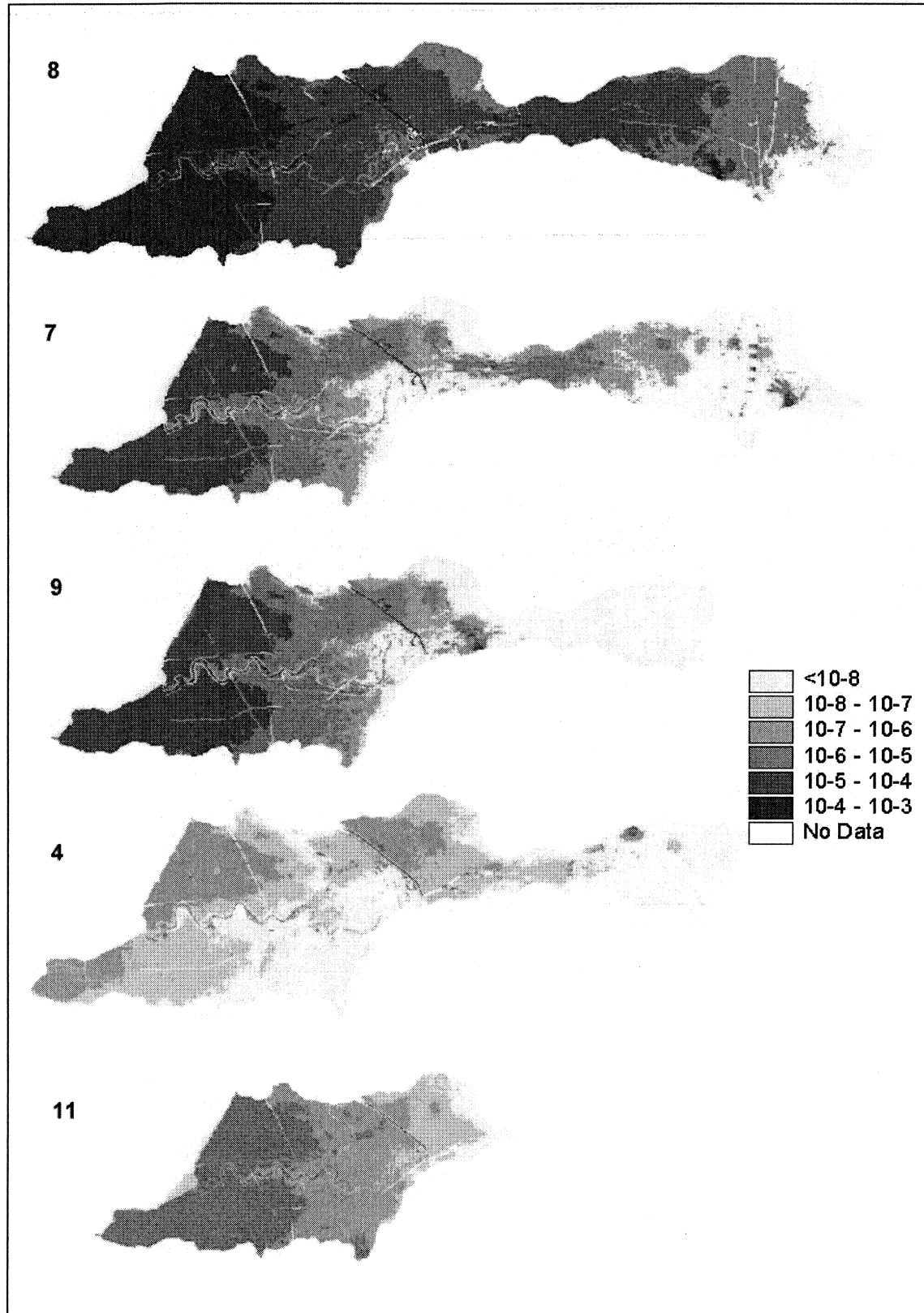


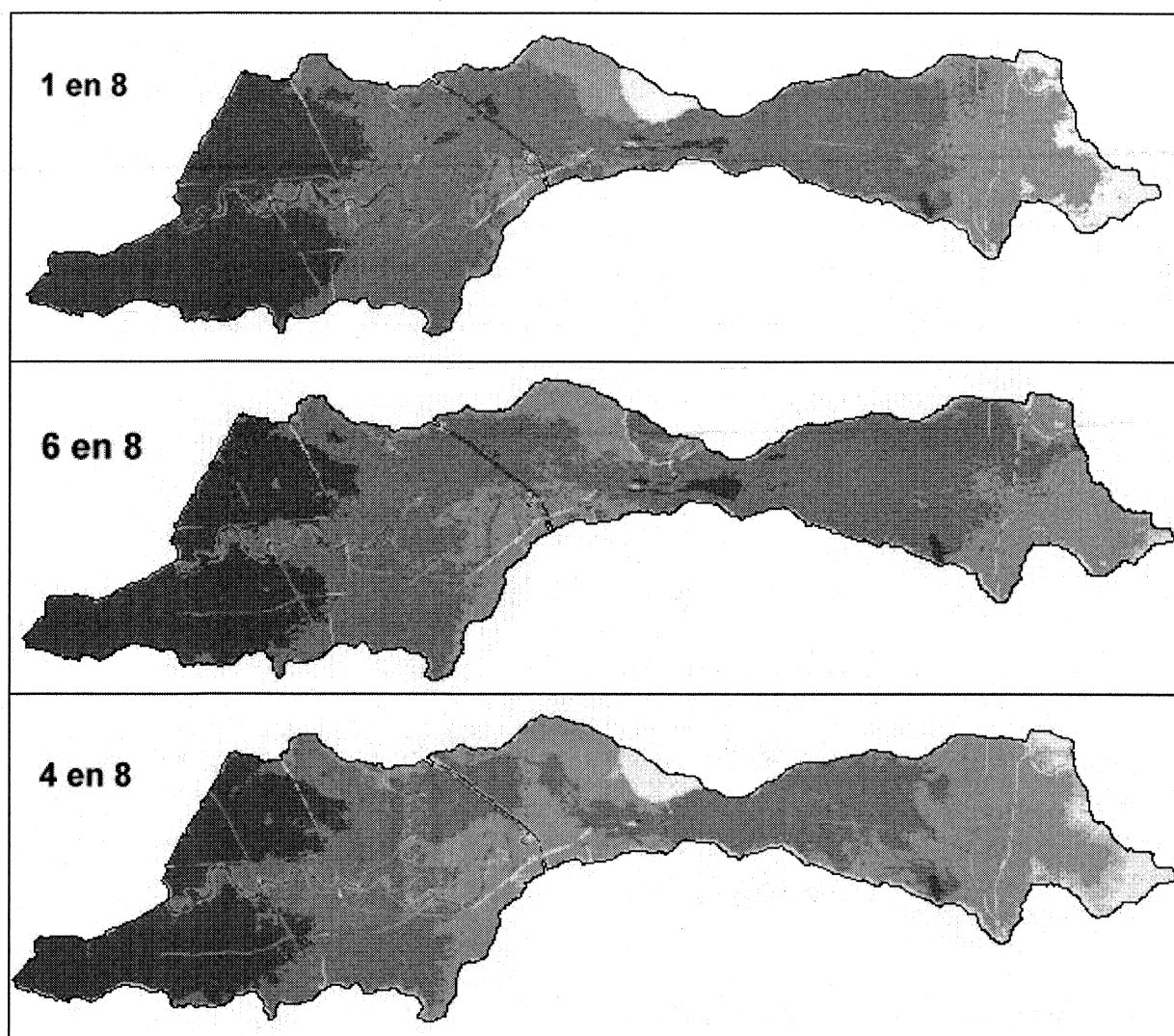
Figuur 1: maximaal opgetreden overstromingsdiepte en stroomsnelheid bij doorbraak 8

Uit deze gegevens is volgens de in paragraaf 5.2 beschreven methode de kans op overlijden te berekenen.

Bijlage 5.D Individueel risico bij permanente aanwezigheid per scenario

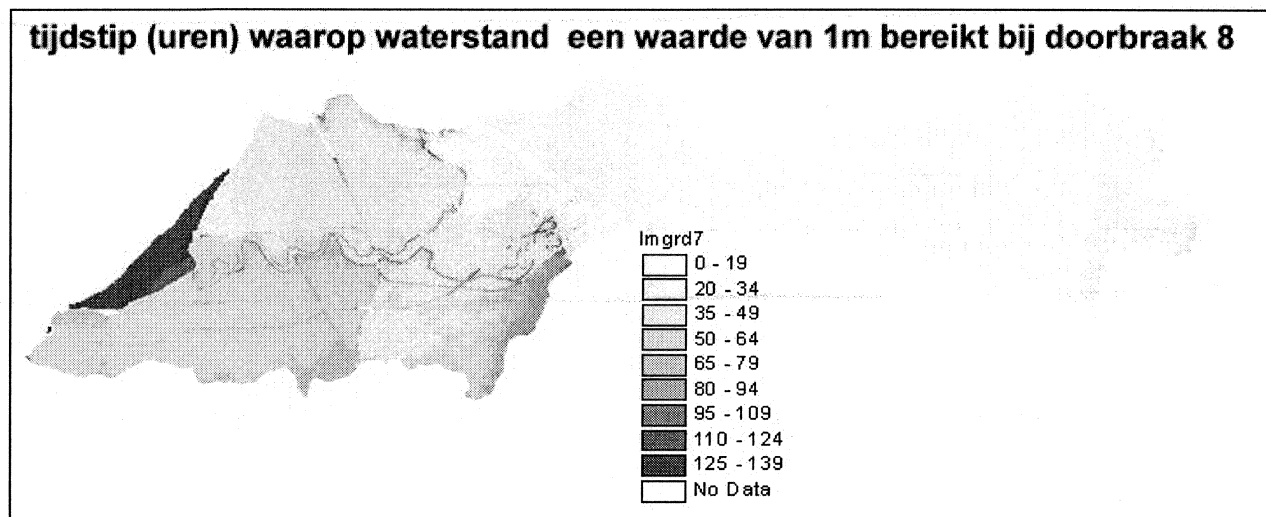
In deze bijlage zijn de individueel risico beelden per scenario, berekend bij permanente aanwezigheid weergegeven. Het totale individueel risico volgt door sommatie van alle IR beelden over deze scenario's. Hierbij is aangenomen dat de andere (niet weergegeven) scenario's niet maatgevend zijn. Dit lijkt redelijk, omdat de eerste 8 scenario's voor 98% de overstromingskans bepalen





Bijlage 5.E Vluchttijd

Uit de uitvoer van de overstromingsberekeningen met Delft 1D2D volgt op welke tijdstip na het begin van bresontwikkeling een bepaalde waterstandsgrens wordt overschreden. Met deze gegevens is evacuatie te bepalen. In onderstaande figuur is weergegeven op welk tijdstip de waterstand binnen de dijkkring een waarde van 1m meter bereikt bij doorbraak 8.

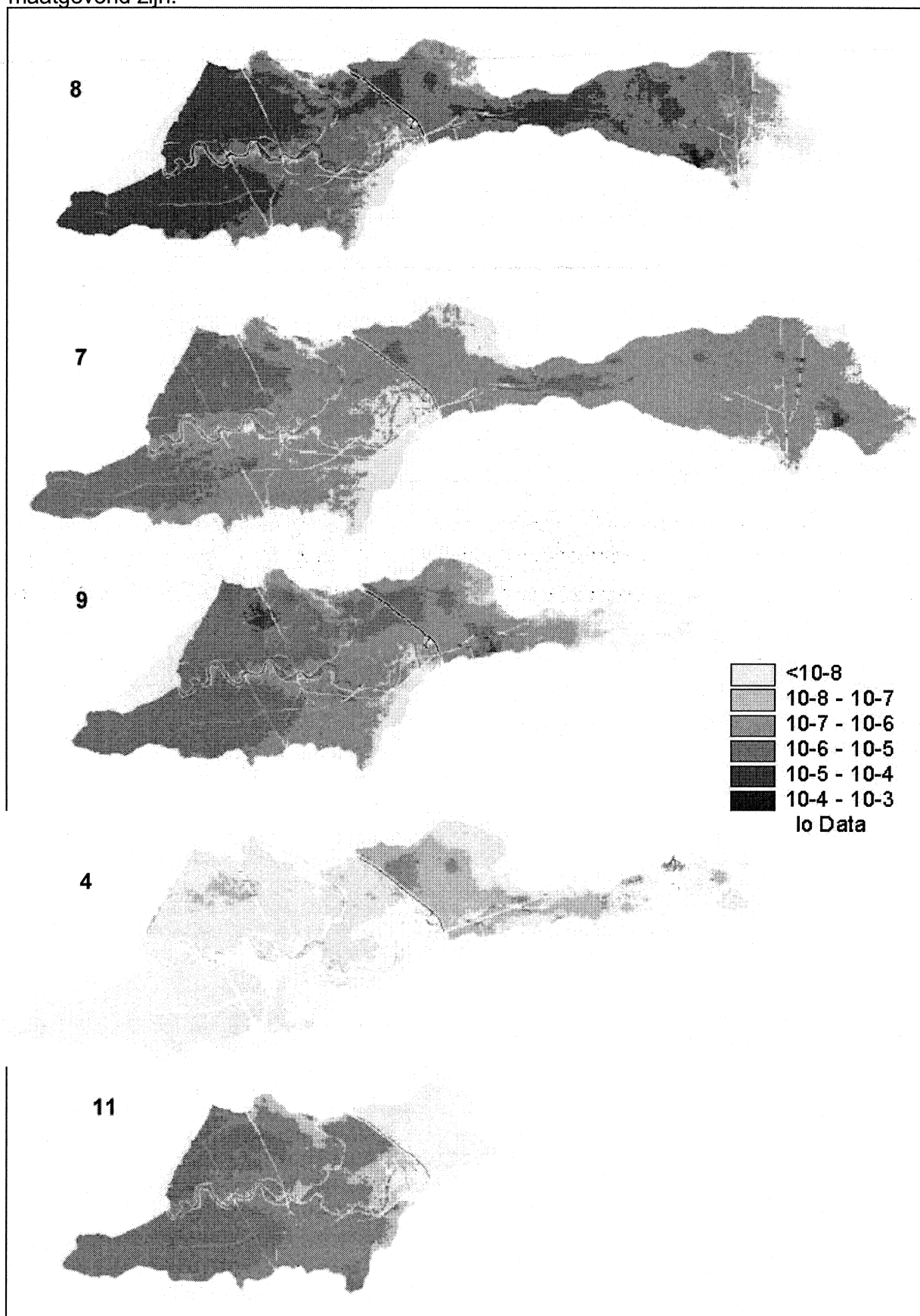


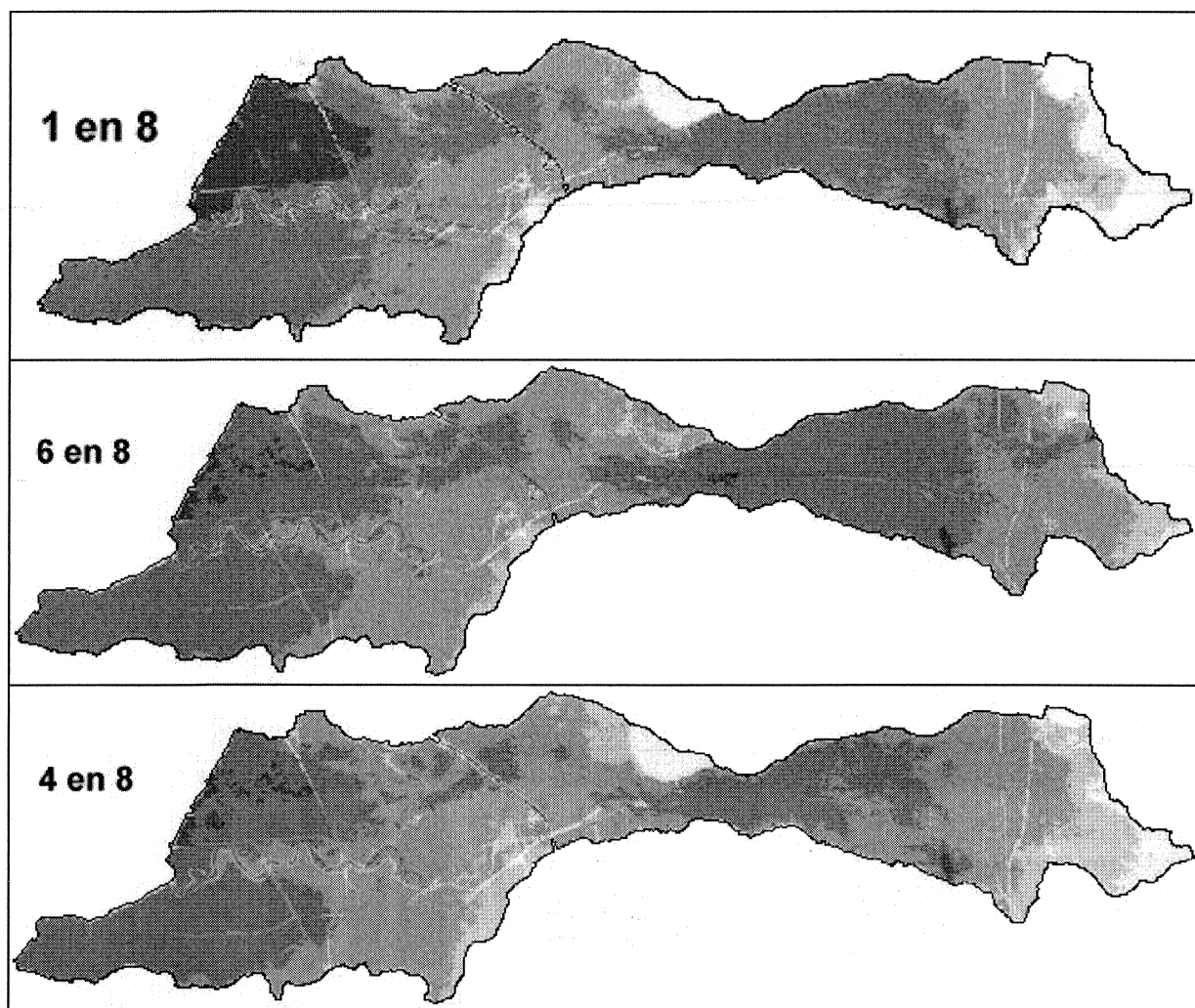
Figuur 2: tijdstip waarop waterstand een waarde van 1m bereikt bij doorbraak 8

Op basis van deze gegevens en een (aangenomen) waarschuwingstijd is de vluchttijd en daarmee de kans op evacuatie te bepalen. Dit is, voor twee waarschuwingstijden, gedaan in paragraaf 5.4.3.

Bijlage 5.F Individueel risico met evacuatie per scenario

In deze bijlage zijn de individueel risico beelden per scenario, berekend met evacuatie, weergegeven. Het totale individueel risico volgt door sommatie van alle IR beelden over deze scenario's. Hierbij is aangenomen dat de andere (niet weergegeven) scenario's niet maatgevend zijn.





Bijlagen Hoofdstuk 6 'Maatschappelijk risico'

Bijlage 6.A	Invloed stijgsnelheid op aantal slachtoffers berekend met de HISSM	112
Bijlage 6.B	Maatschappelijk risico voor verschillende slachtoffermodellen	113
Bijlage 6.C	Overzicht berekeningsresultaten	115
Bijlage 6.D	Verwachtingswaarde bepaald uit kansdichtheidsfunctie en IR contouren	117



Bijlage 6.A Invloed stijgsnelheid op aantal slachtoffers berekend met de HISSM

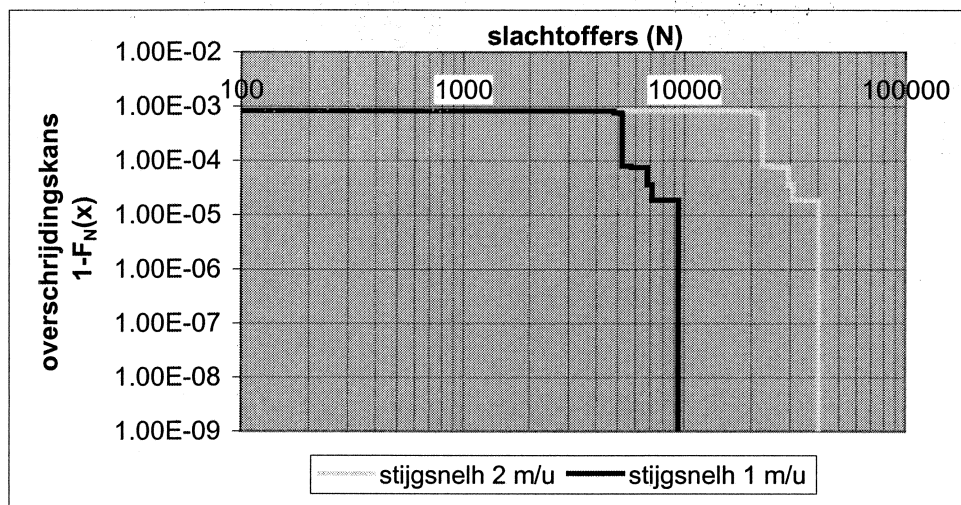
In deze bijlage is getoond dat het aantal slachtoffers berekend met de HISSM erg gevoelig is voor de stijgsnelheid. Dit valt te verklaren uit het verloop van de daarin gebruikte functie voor de verdrinkingsfactor f_{ng} . In bijlage 5.B is getoond dat dit verloop sterk afhankelijk is van de waarde van de stijgsnelheid. In deze bijlage is het aantal slachtoffers voor de Betuwe dijkkring bij 2 verschillende stijgsnelheden met de HISSM berekend, namelijk bij stijgsnelheden van 1 en 2 meter per uur.

Tabel: aantal slachtoffers berekend met de HISSM voor verschillende stijgsnelheden

Scenario	Kans (dichtheid)	Slachtoffers (stijgsnelh. = 1 m/u)	Slachtoffers (Stijgsnelh = 2 m/u)
8	6.41E-04	5236	22479
7	6.16E-05	4796	20591
9	4.07E-05	5194	22301
1 en 8	3.88E-05	6807	29224
6 en 8	1.89E-05	9403	40372
4 en 8	1.73E-05	7154	30719
4	7.67E-06	14	57
11	5.88E-06	5744	24662

De stijgsnelheid heeft dus grote invloed op het aantal slachtoffers.

De verschillen in resultaten voor de verschillende stijgsnelheden zijn weergegeven in een FN curve.



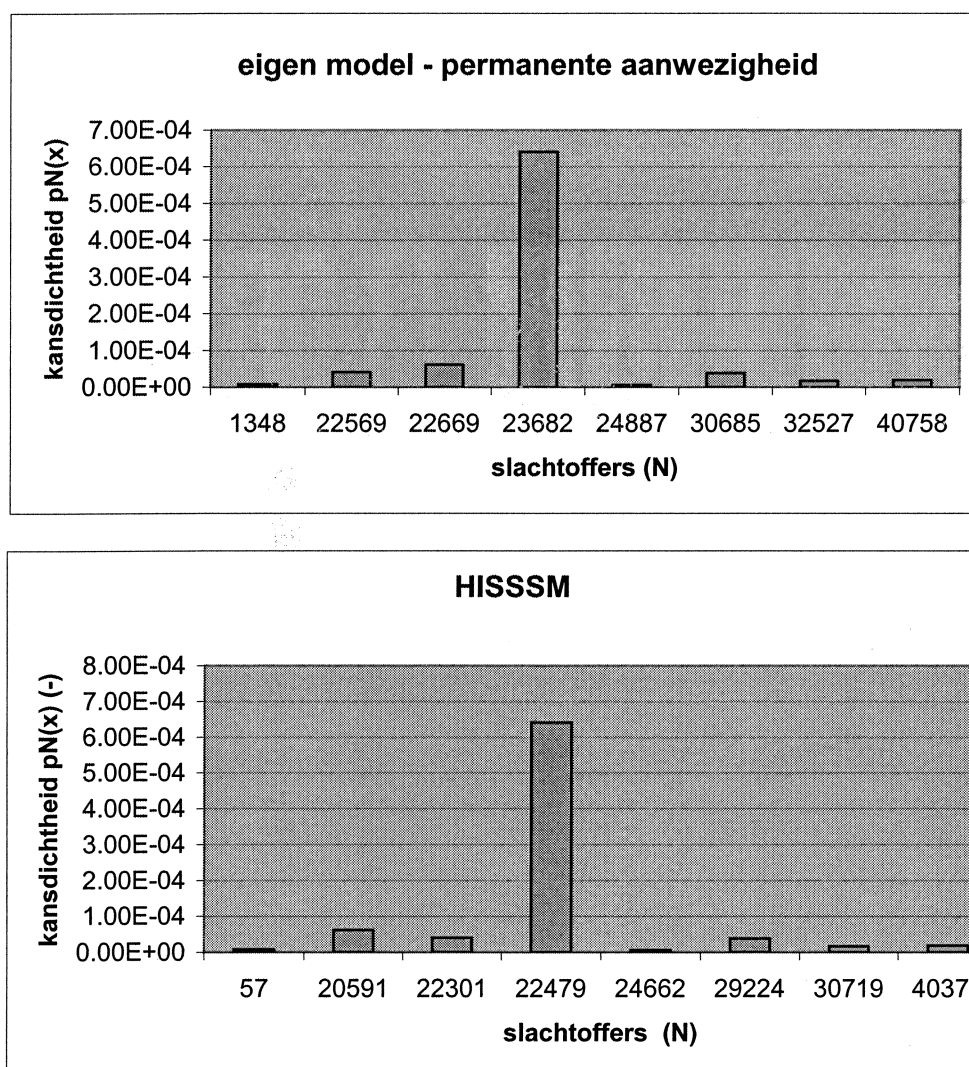
Bijlage 6.B Maatschappelijk risico voor verschillende slachtoffermodellen

In deze bijlage zijn de maatschappelijk risicomaten berekend voor de drie verschillende wijzen van slachtofferberekening. Het aantal slachtoffers is te berekenen met:

- De standaardmethode, aantal slachtoffers berekend met de HIS Schade en Slachtoffers Module. In de berekening is geen evacuatie meegenomen. Dit kan eventueel later gebeuren door een vast percentage geëvacueerden op te geven.
- Het eigen model, zoals beschreven in hoofdstuk 5. Hierin zijn twee mogelijkheden:
 - met evacuatie, de resultaten zijn gegeven in hoofdstuk 6
 - bij permanente aanwezigheid, resultaten gegeven in deze bijlage.

Kansdichtheidsfuncties

Aan de hand van de ontwikkelde methode en de standaardmethode zijn drie kansdichtheidsfuncties voor de Betuwe dijkkring te bepalen. De kansdichtheidsfunctie voor het eigen model met evacuatie weergegeven in paragraaf 6.3.3.

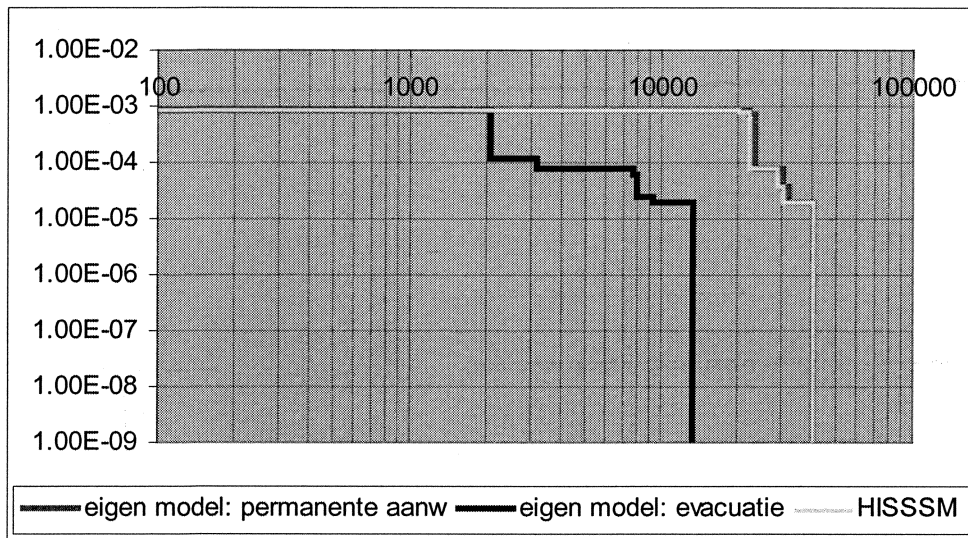


Figuur 1: kansdichtheidsfunctie van het aantal slachtoffers voor twee methoden, de x-as is niet op schaal

De kansdichtheid van de gebeurtenis met 0 slachtoffers is niet weergegeven, deze heeft de grootste kansdichtheid, namelijk 0.999168.

FN curve

Uit alle drie de kansdichtheidsfuncties is een FN curve af te leiden. De curves zijn weergegeven in onderstaande figuur:



Figuur 2: FN curves voor de drie methoden van slachtofferberekening

Uit de kansdichtheidsfunctie zijn verwachtingswaarde en standaardafwijking te bepalen. Hieruit zijn vervolgens risicomaten totaal risico en risk integral te bepalen. In een tabel zijn de resultaten voor de drie modellen weergegeven.

Tabel: rekenresultaten maatschappelijk risico voor de drie modellen

	Eigen model – Evacuatie	Eigen model – Permante aanwezigheid	Standaardmethode
Verwachtingswaarde	2.4	20.2	19.2
Standaardafwijking	104	708	673
Totaal risico	315	2140	2040
Risk integral	5452	501.000	454.000

De resultaten voor het eigen model bij permanente aanwezigheid en de standaardmethode komen dus nagenoeg overeen.

Bijlage 6.C Overzicht berekeningsresultaten

Deze bijlage bevat een overzicht van de berekeningsresultaten van de maatschappelijk risicomaten. Het aantal slachtoffers per scenario is berekend met het in hoofdstuk 5 weergegeven slachtoffer model, waarbij evacuatie is meegenomen.

Kansdichtheidsfunctie (Paragraaf 6.3.3)

De kdf zoals weergegeven in paragraaf 6.3.3 is gebaseerd op de volgende gegevens.

Scenario	Kans (dichtheid)	Slachtoffers
8	6.41 ^E -04	2074
7	6.16 ^E -05	2097
9	4.07 ^E -05	3209
1 en 8	3.88 ^E -05	8066
6 en 8	1.89 ^E -05	13405
4 en 8	1.73 ^E -05	7658
4	7.67 ^E -06	405
11	5.88 ^E -06	9334

Kansverdelingsfunctie en FN curve (6.4)

De verdelingsfunctie van een discrete stochastische variabele volgt door sommatie van de kansdichtheden:

$$F_N(x) = \sum_{\text{alle } x_i \leq x} p_N(x)$$

Nu is de overschrijdingskans van het aantal slachtoffers te bepalen:

$$1 - F_N(x) = P(N > x)$$

Onderschrijdingskans ($F_N(x)$) en overschrijdingskans ($1-F_N(x)$) zijn weergegeven in onderstaande tabel voor het aantal slachtoffers:

Scenario	Kans (dichtheid)	Slachtoffers	$F_N(x)$	$1-F_N(x)$
Geen	9.99E-01	0	0.99917	8.32E-04
		405	0.99917	8.32E-04
4	7.67E-06	405	0.99918	8.24E-04
		2074	0.99918	8.24E-04
8	6.41E-04	2074	0.99982	1.83E-04
		2097	0.99982	1.83E-04
7	6.16E-05	2097	0.99988	1.22E-04
		3209	0.99988	1.22E-04
9	4.07E-05	3209	0.99992	8.09E-05
		7658	0.99992	8.09E-05
4 en 8	1.73E-05	7658	0.99994	6.36E-05
		8066	0.99994	6.36E-05
1 en 8	3.88E-05	8066	0.99998	2.48E-05
		9334	0.99998	2.48E-05
11	5.88E-06	9334	0.99998	1.89E-05
		13405	0.99998	1.89E-05
6 en 8	1.89E-05	13405	1.00000	0
Totaal	8.32E-04		1	

Verwachtingswaarde (6.5)

Deze wordt bepaald door sommatie van het product van scenario kansen en slachtoffers over de scenario's. In de tabel is ook de bijdrage van de scenario's aan de verwachtingswaarde weergegeven.

Scenario	E(N)	Bijdrage aan totale E(N)
8	1.329	57%
7	0.129	6%
9	0.131	6%
1 en 8	0.313	13%
6 en 8	0.253	11%
4 en 8	0.132	6%
4	0.003	0%
11	0.055	2%
Totaal	2.35	

Standaardafwijking (6.6)

Deze wordt als volgt bepaald:

$$(\sigma(N))^2 = \text{var}(N) = E(N^2) - (E(N))^2$$

Scenario	E(N ²)
8	2757
7	271
9	419
1 en 8	2524
6 en 8	3396
4 en 8	1015
4	1
11	512
Totaal	10896

In de tabel is te zien dat met name scenario's met hoge aantallen slachtoffers bijdragen aan de kwadratische verwachtingswaarde en zodoende aan standaardafwijking.

$$\sigma(N) = \sqrt{\text{var}(N)} = \sqrt{E(N^2) - (E(N))^2} = \sqrt{10896 - 2.35^2} = 104.4$$

Uit deze gegevens zijn totaal risico en risk integral te bepalen.

Bijlage 6.D Verwachtingswaarde bepaald uit kansdichtheidsfunctie en IR contouren

In deze bijlage is getoond dat de beide verwachtingswaardes bepaald uit kansdichtheidsfunctie en IR contouren overeen komen.

In paragraaf 6.5 is de verwachtingswaarde van het jaarlijks aantal slachtoffers bepaald uit de kansdichtheidsfunctie. Er geldt:

$$E(N) = \sum_{alle_scen} P_i \cdot N_i$$

In paragraaf 6.2 is de verwachtingswaarde bepaald op basis van de individueel risicocontouren en de bevolkingsdichtheid. Daartoe is de integraal over het beschouwde gebied als een sommatie over alle (x,y) geschreven. De index "evac" bij IR is voor het overzicht weggelaten

$$E(N) = \sum_{alle(x,y)} IR(x,y) \cdot m(x,y)$$

Er geldt, zie hoofdstuk 5,

$$IR(x,y) = \sum_{alle_scen} P_i \cdot P_{d|i}(x,y)$$

Invullen levert:

$$E(N) = \sum_{alle(x,y)} \sum_{alle_scen} P_i \cdot P_{d|i}(x,y) \cdot m(x,y)$$

Omdat de waarde van de scenario kans onafhankelijk is van de plaats (de (x,y) waarden) is dit te schrijven als:

$$E(N) = \sum_{alle_scen} P_i \sum_{alle(x,y)} P_{d|i}(x,y) \cdot m(x,y)$$

Omdat geldt dat:

$$N_i = \sum_{alle(x,y)} P_{d|i}(x,y) \cdot m(x,y)$$

Geldt:

$$E(N) = \sum_{alle(x,y)} IR(x,y) \cdot m(x,y) = \sum_{alle_scen} P_i \cdot N_i$$

Bijlagen Hoofdstuk 7 'Economisch risico'

Bijlage 7.A Berekening economische schade met HIS Schade en slachtoffermodule 119



Bijlage 7.A Berekening economische schade met HIS Schade en slachtoffermodule

In deze bijlage is beschreven hoe de berekening van de economische schade met HIS Schade en Slachtoffer Module (HISSSM) gebeurt. Voor een verdere achtergrond wordt verwezen naar [HKV, 2000].

De HISSSM maakt bij bepaling van schade en slachtoffers gebruik van de standaardmethode [HKV, 2000]. De HISSSM berekent voor een overstroming de schade aan kapitaalgoederen (direct en indirect), het productieverlies en de inkomstenderving in het overstroomde gebied. Naast economische schade wordt ook het aantal slachtoffers berekend (zie ook bijlage 5.B).

Schadeberekening

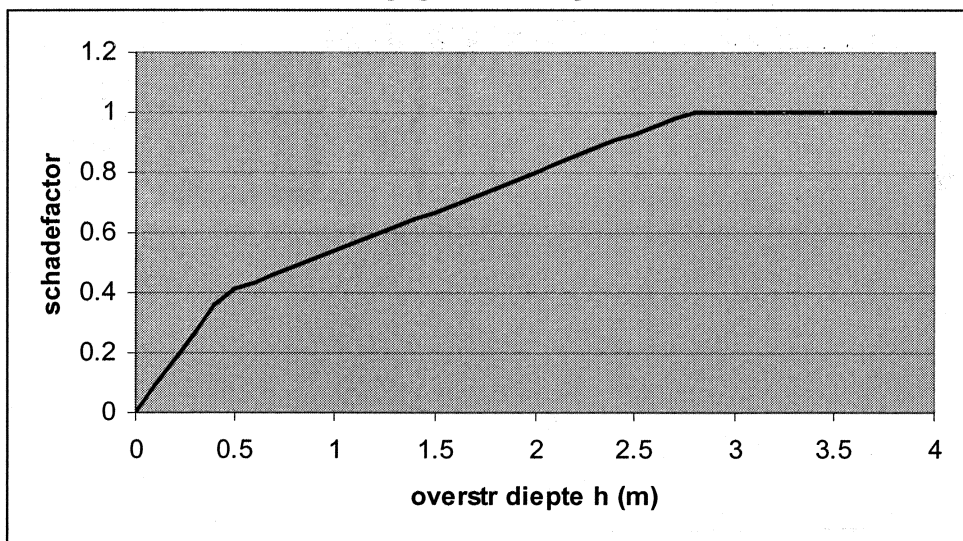
Een algemeen gebruikte formule om de economische schade bij een overstroming te berekenen is:

$$G = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot n_i \cdot G_i$$

Waarin:

α_i	schadefactor categorie I
n_i	aantal eenheden in categorie I
G_i	maximale schade per eenheid I

De schadefactor α_i wordt afgeleid uit de schadefunctie, die per categorie is vastgesteld. Als voorbeeld is de schadefactor gegeven voor gemalen.



Figuur 1: schadefactor α voor gemalen als functie van de overstromingsdiepte

Voor een overzicht van de schadefactoren wordt verwezen naar [HKV, 2000].

Invoer

De volgende parameters zijn in te voeren in de HISSSM:

- de overstromingsdiepte (evt. ruimtelijk verdeeld)
- de stroomsnelheid (evt. ruimtelijk verdeeld)
- de stijgsnelheid (evt. ruimtelijk verdeeld), in de berekeningen is een vaste waarde ingevoerd, 2 meter per uur
- Kritieke stroomsnelheid waarbij woningen instorten (gesteld op 5 meter per uur)
- Beschuttingsfactor: hoe hoger deze factor hoe groter de kans op instorten van woningen door stormgolven, in deze studie 0

Voor een aantal parameters (stroomsnelheid, overstromingsdiepte, stijgsnelheid) kan de ruimtelijke verdeling worden ingevoerd.

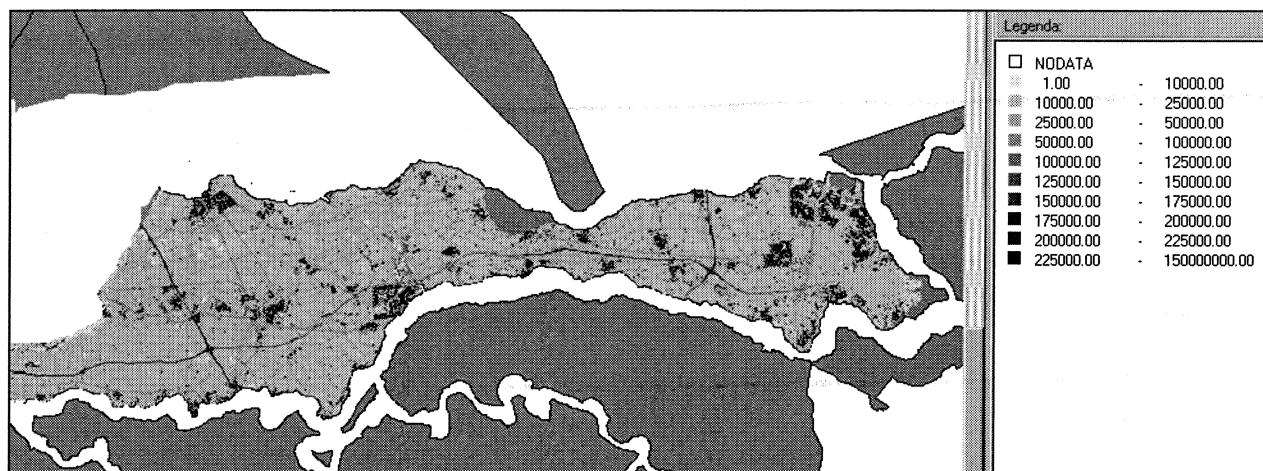
In deze zijn de resultaten van de schadeberekening voor één scenario gegeven, namelijk de doorbraak bij Brug bij Ewijk, scenario 8. Een voorbeeld van de uitvoer is hieronder gegeven.

Voorbeeld van uitvoer van een schade berekening:

Datum : 8-1-01 17:03:57
 Omschrijving:
 Datum : 8-1-01 17:03:57
 Model : Standaardmethode
 Dataset : SSM100NL
 Scenario : 8

Categorie eenheden	Schade	Aantal	"natte"
Landbouw	fl 1,321,692,637	6.17E8	[m2]
Glastuinbouw	fl 95,329,917	3.06E6	[m2]
Stedelijk Gebied	fl 120,238,250	4.53E7	[m2]
Recreatie Extensief	fl 3,994,918	2.4E7	[m2]
Recreatie Intensief	fl 106,234,100	3.89E6	[m2]
Oppervlaktewater	fl 62,996,423	1.73E7	[m2]
Vliegvelden	fl -	-	[m2]
Rijkswegen	fl 184,253,416	3.02E5	[m]
Autowegen	fl 63,879,559	2.03E5	[m]
Overige wegen	fl 302,519,549	2.7E6	[m]
Spoorwegen	fl 31,840,756	8.37E4	[m]
Vervoermiddelen	fl 1,406,467,421	1.29E5	[stuk]
Gemalen	fl 2,295,016	20	[stuk]
Zuiveringsinstallaties	fl 1,713,300	24	[stuk]
Eengezinswoningen	fl 18,584,691,310	1.18E5	[stuk]
Laagbouwwoningen	fl 448,782,911	2.52E3	[stuk]
Hoogbouwwoningen	fl 263,386,611	4.41E3	[stuk]
Middenbouwwoningen	fl 738,298,715	6.74E3	[stuk]
Delfst/Indus/Nuts	fl 2,839,762,713	2.09E4	[abp]
Bouw	fl 513,818,679	1.34E4	[abp]
Handel/Horeca	fl 1,660,191,461	4.88E4	[abp]
Transport/Communicatie	fl 2,015,258,957	6.05E3	[abp]
Banken/Verzekeringen	fl 4,063,802,516	6.87E4	[abp]
Slachtoffers	pers 22,479	3.38E5	[pers]
Landbouw indirect	fl -	-	[m2]
Glastuinbouw indirect	fl -	-	[m2]
Delfst/Indus/Nuts indirect	fl -	-	[abp]
Bouw indirect	fl -	-	[abp]
Handel/Horeca indirect	fl -	-	[abp]
Transport/Comm indirect	fl -	-	[abp]
Banken/Verzek indirect	fl -	-	[abp]
totaal	fl 34,831,446,016		
totaal	pers 22,479		

Ook is het met de HISSM de ruimtelijke verdeling van de economische schade over de dijkkring weer te geven.



Figuur 2: Ruimtelijke verdeling economische schade bij optreden scenario 8: doorbraak bij Brug bij Ewijk

Bijlagen Hoofdstuk 8 'Economische optimalisatie'

Bijlage 8.A	Grenstoestandsfunctie	123
Bijlage 8.B	Effect van dijkversterking op de scenariokansen	124
Bijlage 8.C	Dijkverbeteringen bij risico optimalisatie in case study in paragraaf 8.2.3	126
Bijlage 8.D	Risico optimalisatie: verband tussen overstromingskans	127
Bijlage 8.E	Totale kosten uitgezet tegen investeringen voor kans en risico optimalisatie	128
Bijlage 8.F	Economisch optimum	129
Bijlage 8.G	Effect van investeringen op de overstromingskans	130
Bijlage 8.H	Maatregelen ter verlaging van de gevolgen van een overstroming	131
Bijlage 8.I	Overzicht geëxtrapoleerde dijkvaklengtes	133
Bijlage 8.J	Verdeling dijkring in delen dijkverbeteringen uit paragraaf 8.3	134



Bijlage 8.A Grenstoestandsfunctie

Het begrip grenstoestand wordt gebruikt voor de beoordeling van de sterkte van systemen. De grenstoestand wordt gedefinieerd als de toestand waarbij nog juist geen falen optreedt. De betrouwbaarheid wordt gedefinieerd als de kans dat deze grenstoestand niet wordt overschreden. Met behulp van deze grenstoestanden is het mogelijk om voor alle faalmechanismen een zogenaamde betrouwbaarheidsfunctie of *grenstoestandsfunctie* te definiëren.

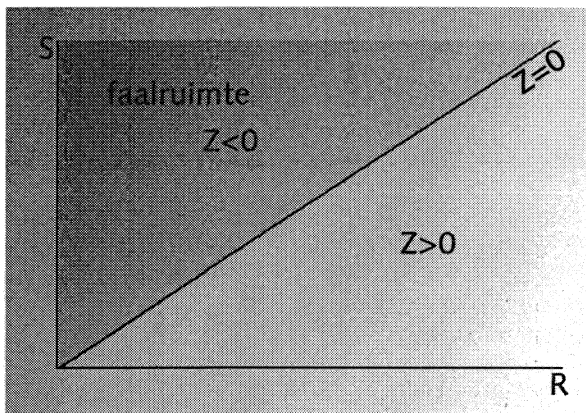
De algemene gedaante van zo'n grenstoestandsfunctie wordt weergegeven door:

$$Z = R - S$$

Waarin:

R de 'sterkte' (resistance)

S de 'belasting' (solicitation)



Figuur 1: algemene vorm van een grenstoestandsfunctie [Thonus, 2001]

De betrouwbaarheidsfunctie is zo gedefinieerd dat de lijn $Z = 0$ de grenstoestand weergeeft, de waarden kleiner dan '0' overeenkomen met falen en de waarden groter dan '0' overeenkomen met niet falen. De faalruimte wordt gedefinieerd als dat gedeelte in het RS-vlak waar geldt $Z < 0$.

De faalkans P_f is gelijk aan de kans dat de belastingen groter zijn dan de sterkte.

$$P_f = P(Z \leq 0) = P(S \geq R)$$

Bijlage 8.B Effect van dijkversterking op de scenariokansen

In paragraaf 8.2.2 is in de case study aangetoond dat bij dijkversterking op de ene plaats de kans op een ander doorbraakscenario kan toenemen. Dit effect is in deze bijlage verklaard in een voorbeeld. Allereerst zijn de effecten beschreven, vervolgens is het voorbeeld gekwantificeerd uitgewerkt. De berekeningen zijn uitgevoerd met PC_Ring en de bijbehorende scenario module

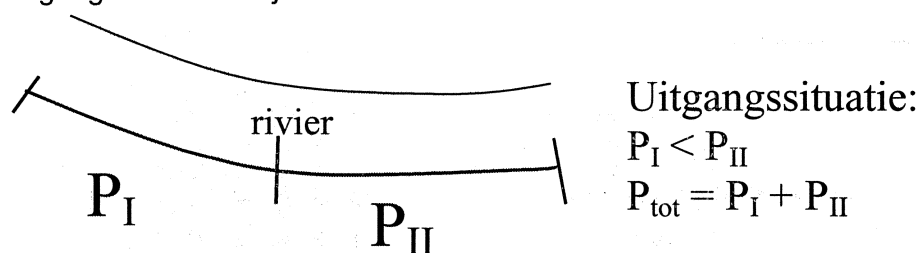
Kwalitatieve beschrijving

Een systeem is aangenomen dat bestaat uit twee dijkdelen die aan eenzelfde rivier liggen. Het ontstaan van een bres zal leiden tot een verlaging van de waterstanden in de omgeving en dus tot een vermindering van de belasting op het andere dijkdeel. Bij het falen van het ene dijkdeel zal het andere dijkdeel niet meer falen. Aangenomen wordt dat het zwakste deel het eerst faalt.

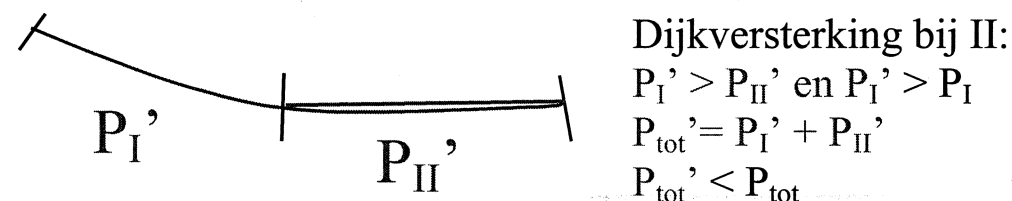
De kansen op de doorbraakscenario's zijn af te leiden uit de grenstoestandsfuncties:

- Enkele doorbraak in dijkdeel 1 faalt als $Z_1 < 0$ en $Z_1 < Z_2$
- Enkele doorbraak in dijkdeel 2 faalt als $Z_2 < 0$ en $Z_2 < Z_1$

De kans op een doorbraakscenario is aangegeven met P_i , met als index i de nummer van het dijkdeel. De totale overstromingskans P_{tot} is de som van de 2 scenario kansen. In de uitgangssituatie is dijkdeel II de zwakste van beiden.



Vervolgens wordt dijkdeel II versterkt. Hierdoor neemt de totale overstromingskans af, maar wordt de kans op doorbraak bij I groter. De kansen na verbetering zijn aangegeven met een accent (P').



Door dijkversterking op de ene plek kan de kans op doorbraak op een andere plaats aan dezelfde rivier dus toenemen. Dit valt te verklaren uit het feit dat de kans op een doorbraakscenario niet alleen afhankelijk is van het bezwijken van het dijkdeel zelf, maar ook bepaald wordt door de verhoudingen van de grenstoestandsfuncties. Dit komt tot uitdrukking in de notatie van de doorbraakkansen: door dijkversterking in deel 2 wordt het waarschijnlijker dat $Z_1 < Z_2$ en neemt de kans op doorbraak 1 toe.

Op dezelfde wijze valt te verklaren dat bij een dijkkring met twee rivier bedreigingen (één aan de noord en één aan de zuidkant) versterking van de zuidelijke dijken kan leiden tot een toename van de kans op een noordelijke doorbraak. De kans op een noordelijk doorbraakscenario wordt namelijk ook bepaald door de kans dat geen zuidelijke doorbraak zal optreden (zie de notatie in 8.2.1: $Z_2 > 0$ en $Z_3 > 0$). Dit effect is in de case study te herkennen, waarbij de eerste 4 dijkversterkingen allen aan de zuidkant gebeuren. Hierbij neemt de kans op een noordelijke doorbraak bij 1 in de eerste vier rondes steeds toe.

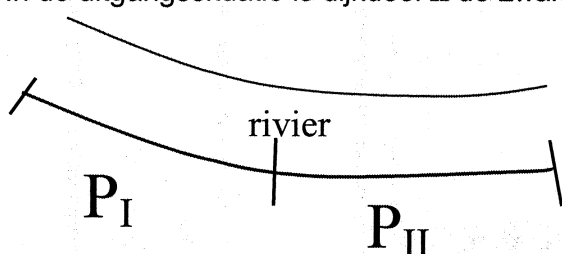
Kwantificering voorbeeld

In het voorbeeld zijn twee dijkdelen aangenomen aan een rivier, die ieder bestaan uit één dijkvak. De dijkdelen (en dijkvakken) komen overeen met de dijkvakken 21 (Haalderen) en 22 (Oosterhout) uit de SPRINT studie [TAW, 2000] en zijn hier genummerd met indices I en II.

De kansen op de doorbraakscenario's zijn af te leiden uit de bovengenoemde grenstoestandsfuncties en berekend met de scenario module bij PC Ring. In de uitgangssituatie gelden de volgende kansen:

	Symbol	Betrouwbaarheids-index β	Kans
Doorbraak bij 1	P_I	3.509	$2.25 \cdot 10^{-4}$
Doorbraak bij 2	P_{II}	3.272	$5.34 \cdot 10^{-4}$
Totale kans	P_{tot}	3.171	$7.58 \cdot 10^{-4}$

In de uitgangssituatie is dijkdeel II de zwakste van beiden.



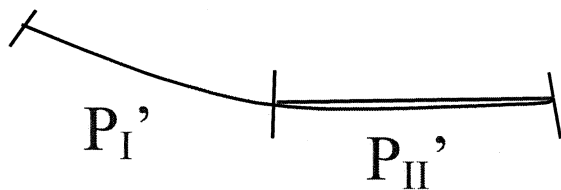
Uitgangssituatie:

$$P_I < P_{II}$$

$$P_{tot} = P_I + P_{II}$$

Vervolgens wordt dijkdeel II versterkt door de dijk 1 meter te verhogen. Hierdoor neemt de kans op een doorbraak bij II en de totale overstromingskans af, maar wordt de kans op doorbraak bij I groter. De kansen na verbetering zijn aangegeven met een accent (P').

	Symbol	Betrouwbaarheids-index β	Kans
Doorbraak bij 1	P_I'	3.232	$6.15 \cdot 10^{-4}$
Doorbraak bij 2	P_{II}'	8.989	$1.27 \cdot 10^{-19}$
Totale kans	P_{tot}'	3.232	$6.15 \cdot 10^{-4}$



Dijkversterking bij II:

$$P_I' > P_{II}' \text{ en } P_I' > P_I$$

$$P_{tot}' = P_I' + P_{II}'$$

$$P_{tot}' < P_{tot}$$

In deze case neemt door dijkversterking van dijkdeel II de kans op een doorbraak in dijkdeel I toe.

Bijlage 8.C Dijkverbeteringen bij risico optimalisatie in case study in paragraaf 8.2.3

Deze bijlage bevat een overzicht van de dijkverbeteringen bij de methode van risico optimalisatie toegepast op de case study in paragraaf 8.2.3. Bij iedere stap wordt het dijkdeel met de grootste bijdrage aan het risico (grootste $P_i \cdot G_i$) verbeterd. Allereerst zijn de overstromingskansen van de scenario's weergegeven

Tabel: Scenariokansen per verbeteringsronde

scenario	Schade	Verbeteringsronde						
		0	1	2	3	4	5	6
1	40	4.448	4.448	4.353	4.353	4.3	4.829	4.69
2	90	3.893	4.346	4.232	4.646	4.551	4.558	4.888
3	5	3.287	3.23	3.672	3.624	4.027	4.026	4.352
1 en 2	100	4.819	5.039	4.936	5.153	5.066	5.012	5.116
1 en 3	55	4.55	4.496	4.638	4.591	4.763	4.779	4.847
ringkans		3.13	3.13	3.52	3.52	3.846	3.885	4.181

Door vermenigvuldiging per scenario met de gevolgen zijn de risico's te bepalen

Tabel: Risico's per verbeteringsronden, contant gemaakt in miljoenen guldens

scenario	Schade	Verbeteringsronde						
		0	1	2	3	4	5	6
1	40	11.6	11.6	17.9	17.9	22.8	1.8	3.6
2	90	297.2	41.6	69.5	10.2	16.0	15.5	3.1
3	5	168.8	206.3	40.1	48.4	9.4	9.5	2.3
1 en 2	100	4.8	1.6	2.7	0.9	1.4	1.8	1.0
1 en 3	55	9.8	12.7	6.5	8.1	3.5	3.2	2.3
totaal		492.2	273.8	136.7	85.4	53.1	31.8	12.3

Bij risico optimalisatie wordt bij iedere stap het dijkdeel met de grootste bijdrage aan het risico verbeterd. Uit de tabellen blijkt dat in dit geval het zwakste dijkdeel qua kans niet overeen komt met het dijkdeel met het grootste risico.

Uit de tabel met de risico's zijn de te verbeteren dijkdelen geselecteerd. Bij het berekenen van de kosten zijn de eenheidsprijzen uit paragraaf 8.2.1 gehanteerd.

Toelichting: als in de tabel met risico's in ronde 0 (uitgangssituatie) scenario 2 het grootste risico heeft, wordt dit in de 1^e dijkverbeteringsronde verbeterd. In de tabel zijn de verbeteringen aangegeven, (O) betekent ophoging, (P) betekent het verdikken van de afsluitende laag tegen het mechanisme piping.

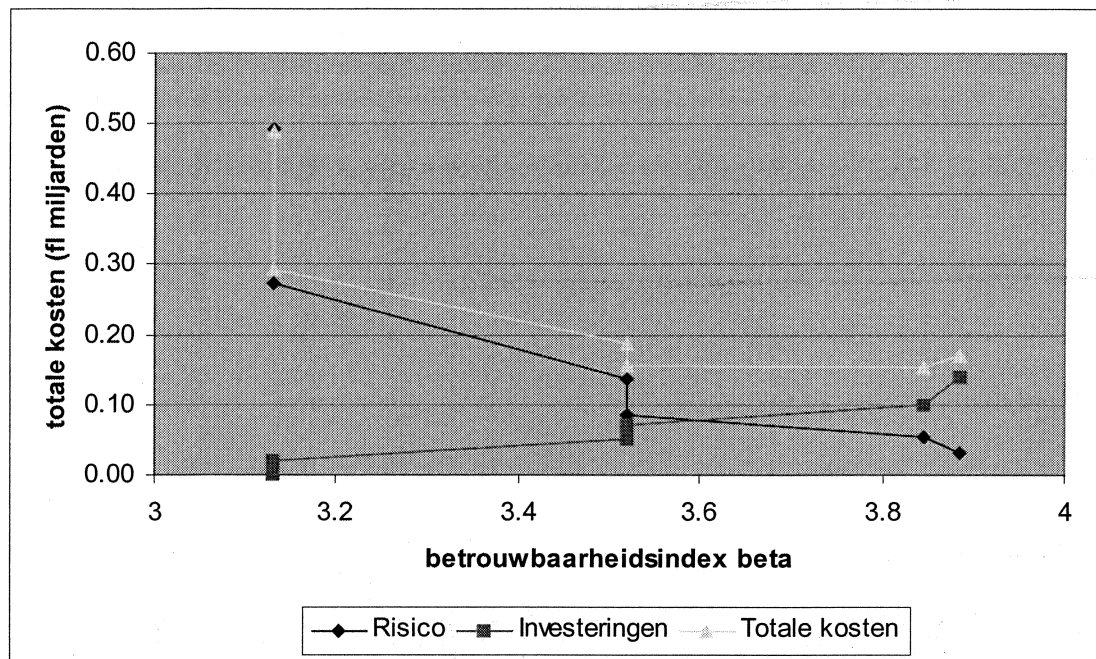
Tabel: Dijkverbeteringen bij risico optimalisatie

Ronde	Dijkvak	β ring combi	Kosten (fl 10 ⁶)	Kosten cumul
0		3.13	0	0
1	2 (O)	3.13	20	20
2	3 (O)	3.52	30	50
3	2 (O)	3.52	20	70
4	3 (O)	3.85	30	100
5	1 (P)	3.89	50	150
6	2 en 3 (O)	4.18	50	200



Bijlage 8.D Risico optimalisatie: verband tussen overstromingskans

In deze bijlage is het effect investeringen in dijkverbeteringen volgens de methode van risico optimalisatie (zie bijlage 8.C) grafisch weergegeven. In een grafiek zijn investeringen, het risico berekend uit scenario kansen en gevolgen ($Risico = P_i \cdot G_i$) en de totale kosten uitgezet tegen de overstromingskans van de dijkkring.



Figuur 1: Investerings, risico en totale kosten uitgezet tegen de overstromingskans (β) voor risico optimalisatie

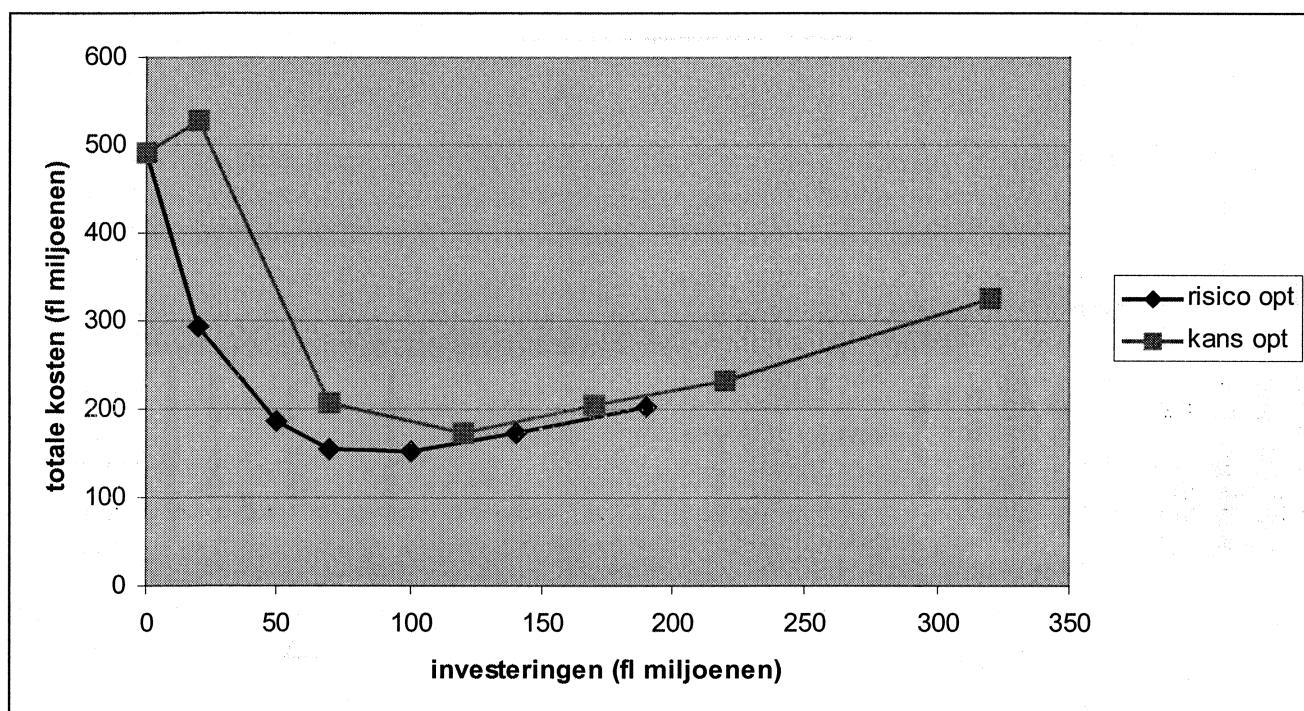
Uit de grafiek blijkt dat enkele investeringen wel tot een daling van het risico leiden, maar geen invloed hebben op de overstromingskans. Dit is nu juist het kenmerk van risico optimalisatie: hierbij gaat het om de daling van het risico, niet om de daling van de overstromingskans. Het is meer inzichtelijk om in een grafiek het effect van investeringen rechtstreeks uit te zetten tegen het risico.

Bijlage 8.E Totale kosten uitgezet tegen investeringen voor kans en risico optimalisatie

In deze bijlage zijn de totale kosten voor de twee wijzen van dijkverbetering uitgezet tegen de investeringen.

Voor de geschematiseerde dijkkring zijn de twee wijzen van het uitvoeren van dijkverbeteringen onderzocht: kans optimalisatie, in paragraaf 8.2.2, risico optimalisatie, in paragraaf 8.2.3.

In figuur 8-8 is het risico, berekend uit scenario kansen en gevolgen, uitgezet tegen de investeringen in dijkverbetering. In het economisch optimum zijn de totale kosten (=investeringen + risico) minimaal. Voor beide optimalisaties zijn de totale kosten uitgezet tegen de investeringen.



Figuur 2 : Totale kosten uitgezet tegen investeringen

Hieruit volgen de economische optima voor beide gevallen:

	Investeringen	Risico	Overstromingskans in optimum (β)
Kans optimalisatie	120	50	4.08
Risico optimalisatie	100	50	3.85

Risico optimalisatie geeft bij dezelfde investering de laagste totale kosten en een grotere risico reductie dan kans optimalisatie.

Bijlage 8.F Economisch optimum

In deze bijlage is afgeleid dat in het economisch optimum de steilheid van de lijn die het verband tussen risico en investeringen geeft gelijk is aan -1 .

In de economische optimalisatie wordt de optimale situatie gevonden door de totale kosten te minimaliseren. Deze bestaan uit investeringen (I) en de contante waarde van het risico (R). Het risico zal een functie zijn van de uitgevoerde investeringen ($R(I)$). De totale kosten zijn dan een functie van de investeringen:

$$C_{tot}(I) = I + R(I)$$

In de optimale situatie zijn de totale kosten minimaal. Het optimum wordt als volgt gevonden:

$$\frac{dC_{tot}(I)}{dI} = 0$$

$$1 + \frac{dR(I)}{dI} = 0$$

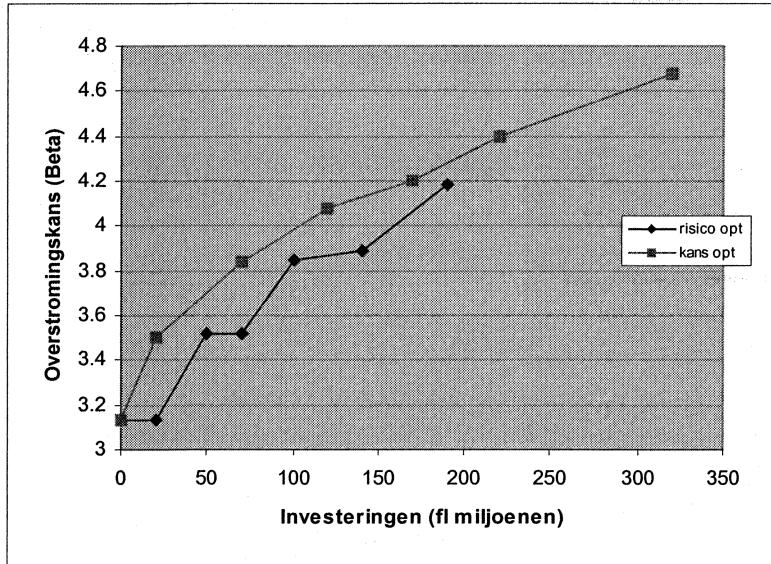
$$\frac{dR(I)}{dI} = -1$$

De steilheid in een grafiek waarin het risico tegen de investeringen is uitgezet bedraagt in het optimum dus -1 .

Bijlage 8.G Effect van investeringen op de overstromingskans

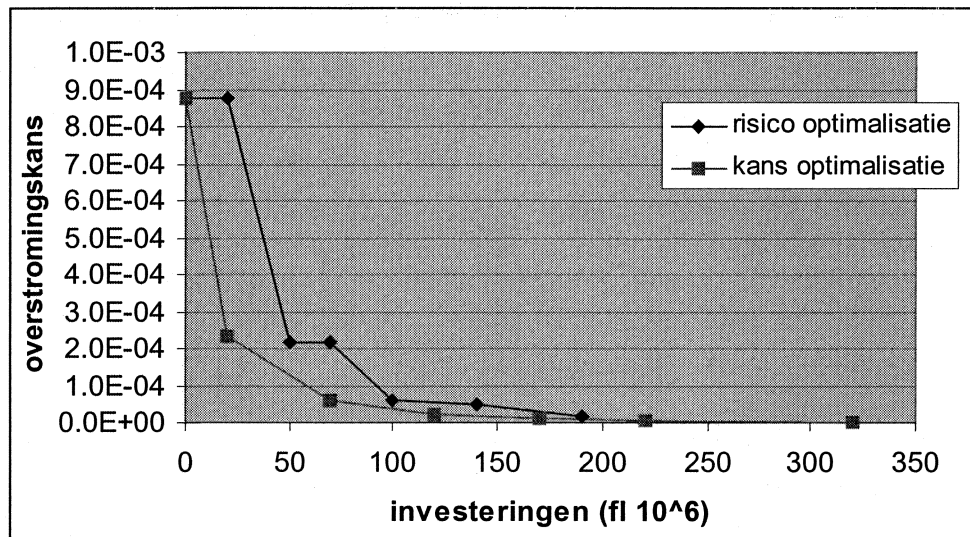
In deze bijlage is het effect van de twee wijzen van investeren op de overstromingskans onderzocht

In een figuur is voor kans en risico optimalisatie het effect van de investeringen op de overstromingskans (betrouwbaarheidsindex β) voor de gehele dijkkring weergegeven.



Figuur 1: Reductie van de betrouwbaarheidsindex (overstromingskans) als functie van investeringen voor de gehele dijkkring voor risico en kans optimalisatie

Ook is de overstromingskans van de dijkkring uit te zetten tegen de investeringen.



Figuur 2: Reductie van de overstromingskans als functie van investeringen voor de gehele dijkkring voor risico en kans optimalisatie

Het blijkt dat enkele verbeteringen die een daling van het risico tot gevolg hebben, geen of nauwelijks effect op de overstromingskans van de dijkkring hebben. Dit is het geval als de verbeteringen niet plaatsvinden in het dijkdeel dat maatgevend is voor de overstromingskans. De grafiek heeft dezelfde vorm als het verband tussen risico en investeringen uit figuur 8-8. In dit geval geeft kans optimalisatie de optimale reductie van de overstromingskans.

Bijlage 8.H Maatregelen ter verlaging van de gevolgen van een overstroming

In deze bijlage is een vereenvoudigd voorbeeld uitgewerkt waarin het effect van maatregelen ter verlaging van de gevolgen is vergeleken met het effect van de maatregelen bij kans en risico optimalisatie.

Tot nu toe is alleen het effect van maatregelen ter verlaging van de overstromingskans beschouwd. Ook maatregelen ter verlaging van de gevolgen hebben invloed op het risico. Om dit effect te tonen is in deze bijlage een vereenvoudigd voorbeeld uitgewerkt voor de in paragraaf 8.2 geschematiseerde dijkkring. Het gaat om een (denkbeeldige) maatregel die de schade bij een overstroming moet beperken.

De overheid besluit bouwvoorschriften in te voeren die het aantal ingestorte gebouwen bij een overstroming moet beperken. Aangenomen wordt dat iedere geïnvesteerde gulden in het overstromingsbestendig maken van bebouwing een verlaging van de economische schade bij een overstroming van 10 gulden tot gevolg heeft. De schade is nu een functie van de investering, er geldt:

$$G(I) = G_0 - 10I$$

Waarin:

I	de investeringen (in overstromingsbestendige gebouwen)
$G(I)$	de economische schade als functie van de investeringen
G_0	de schade in de uitgangssituatie

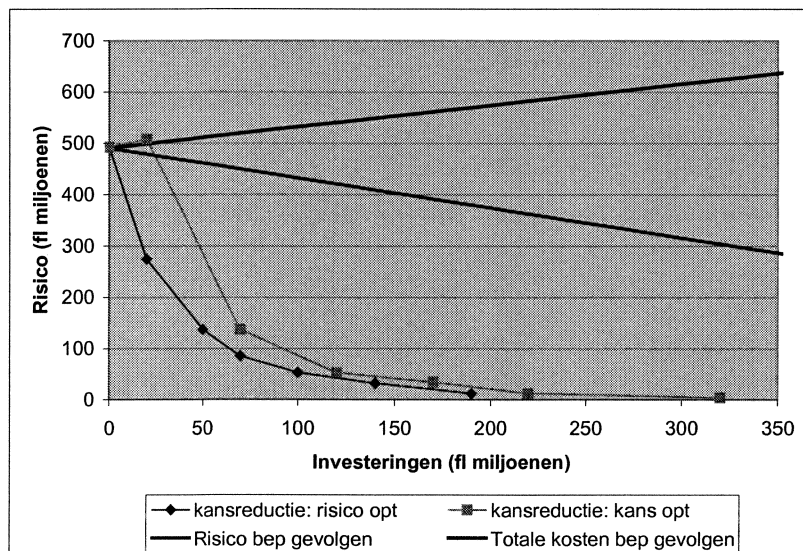
Het risico is te bepalen volgens:

$$Risiko = \frac{P_b \cdot G(I)}{r'}$$

Door het risico te differentieren naar de investeringen is de steilheid van het verband tussen risico en investeringen af te leiden.

Hierbij is uitgegaan van de oorspronkelijk gegevens voor de geschematiseerde dijkkring overstromingskans $P_b = 8.74 \cdot 10^{-4}$ ($\beta = 3.13$) en $r' = 1.5\%$.

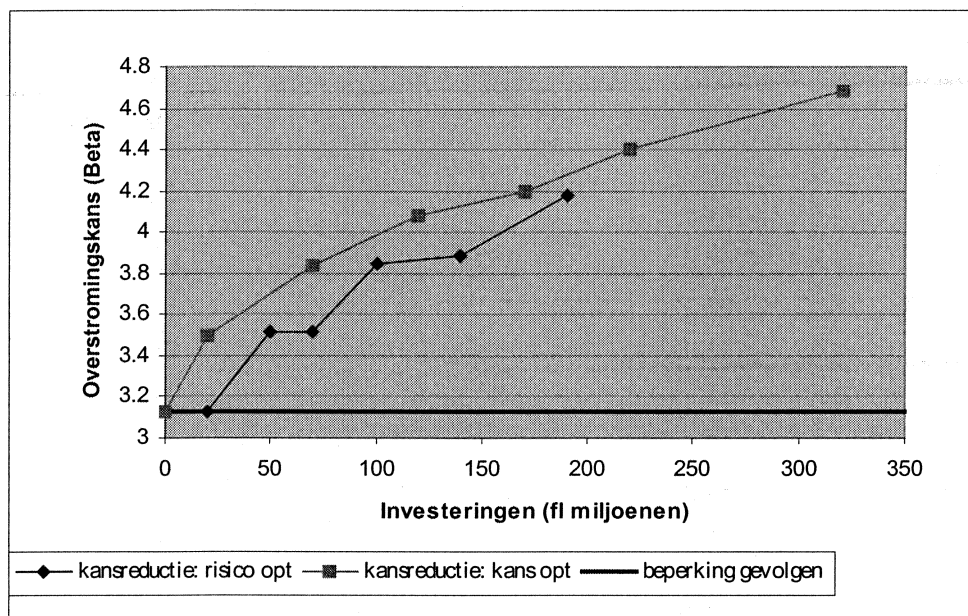
Hieruit volgt een steilheid $dR/dI = -0.58$. Nu is vanuit het oorspronkelijke nulpunt ($I=0$, risico=492 miljoen) de lijn uit te zetten in een grafiek met op de y-as het risico en op de x-as de investeringen. Hierbij zijn ook de lijnen voor maatregelen op het gebied van kansreductie uitgezet, voor zowel risico als kans optimalisatie. Daarnaast zijn de totale kosten uitgezet voor de maatregel ter beperking van de gevolgen.



Figuur 1: Risico voor verschillende typen maatregelen uitgezet tegen de investeringen

De totale kosten stijgen vanaf het beginpunt. Het economisch optimum voor deze maatregel ligt dus in de uitgangssituatie.

Daarnaast is het effect van investeringen op de overstromingskans uitgezet



Figuur 2: Overstromingskans (β) uitgezet tegen de investeringen

De maatregelen ter beperking van de gevolgen leiden tot daling van het risico, maar hebben geen effect op de overstromingskans.

Voor de gekozen waarden is deze maatregel in eerste instantie minder effectief dan verlaging van overstromingskans. Wel is te zien dat het effect van investeringen in reductie van de overstromingskans steeds minder wordt (het risico daalt steeds minder) en dat de effectiviteit van maatregelen ter beperking van de gevolgen gelijk blijft. Naar verwachting zullen de lijnen elkaar bij een zeer grote investeringen snijden.

In een optimale aanpak kan per verbetering worden bekeken welke maatregel het meest effectief is en tot de grootste daling van het risico leidt.

Bijlage 8.1 Overzicht geëxtrapoleerde dijkvaklengtes

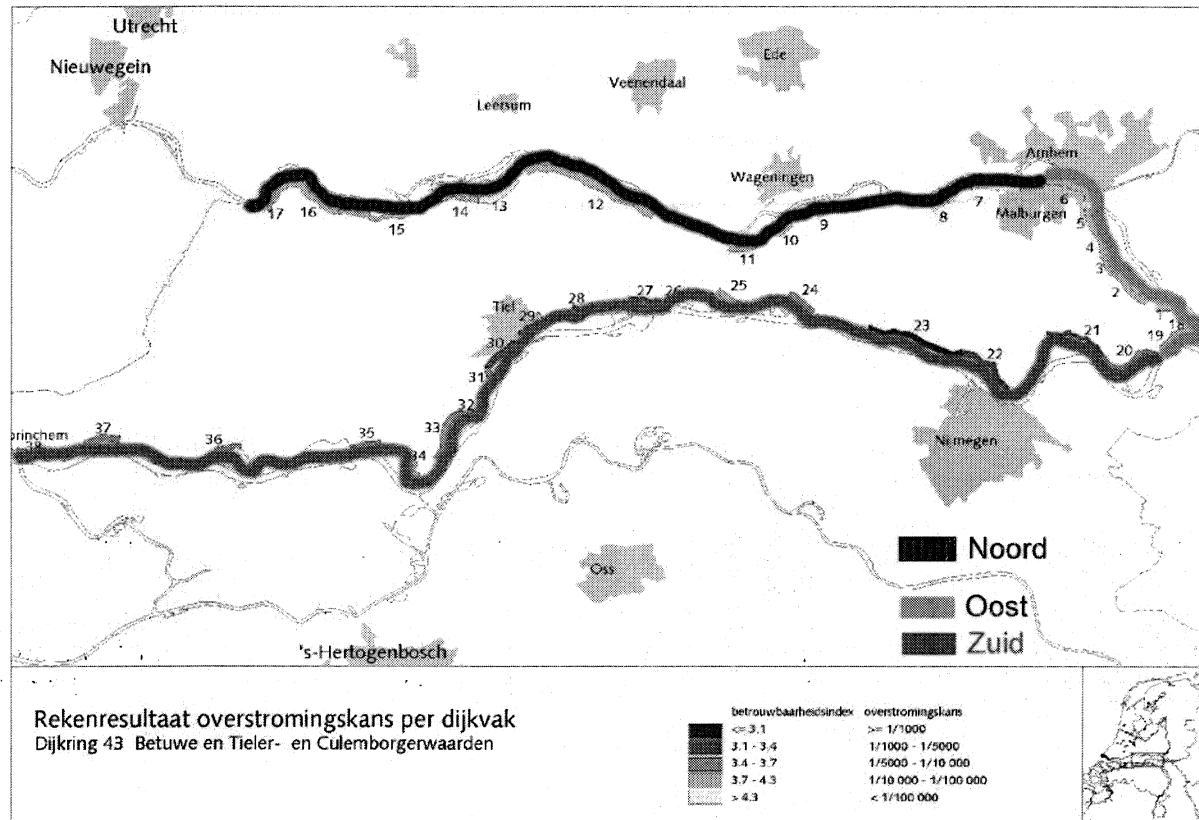
In paragraaf 8.3 zijn de benodigde investeringen in dijkverhoging bepaald voor de Betuwe dijkkring, zoals geschematiseerd in [TAW, 2000]. De 38 dijkvakken beslaan maar een deel van de totale lengte van de dijkkring. Aangenomen is dat de sterkte van gebieden waar geen gegevens van bekend zijn overeenkomt met de sterkte van naastgelegen dijkvakken. De lengtes van de dijkvakken zijn daarom zodanig geëxtrapoleerd dat de som van de lengtes overeen komt met totale omtrek van de ring (afgezien van de Diefdijk). Een overzicht van de geëxtrapoleerde dijkvaklengtes is gegeven in de tabel.

Nr. vak	naam	Lengte (m)
1	Angeren	1700
2	Angeren	1500
3	Het Zand	1150
4	Huissen	1850
5	IJsselkop	1500
6	Malbursedam	4000
7	Elden	4800
8	Driel	3200
9	Heteren - Lakemond	7000
10	Lakemond	2200
11	Opheusden	5000
12	Eck en Wiel	10800
13	Maurik	3300
14	Maurik - Rijswijk	4100
15	Ravenswaai	4800
16	Culemborg	4700
17	Millingen	2700
18	Doornenburg	1400
19	Hulhuizen	1050
20	Gendt	4000
21	Haalderen	7000
22	Oosterhout	6280
23	Brug bij Ewijk	11200
24	Dodewaard	4700
25	Eldik	4900
26	Ochten	2000
27	IJzendoorn	4300
28	Echteld	3400
29	A.R. kanaal, Tiel	1500
30	Ophemertse dijk, Tiel	2500
31	Passewaaij	2700
32	Ophemert	2800
33	Varik	4800
34	Heeselt	2850
35	Opijnen	4200
36	Hellouw	13000
37	Vuren	6090
38	Dalem	11800

De dijkvaklengtes zijn bepaald met een geografisch informatie systeem (GIS), het programma Arcview

Bijlage 8.J Verdeling dijkkring in delen dijkverbeteringen uit paragraaf 8.3

In paragraaf 8.3 zijn voor de Betuwe dijkkring zoals geschematiseerd in [TAW, 2000] de benodigde dijkverbeteringen voor verlaging van de overstromingskans bepaald. Na 8 dijkverbeteringsrondes blijken de verschillen tussen de faalkansen van de dijkvakken dusdanig klein te zijn dat besloten wordt tot ophoging per zijde van de dijk. De dijkkring is hierbij opgedeeld in drie delen, noord, oost en zuid, zoals weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 3: dijkkring opgedeeld in drie delen bij integrale verhoging

Bijlagen Hoofdstuk 9 'Potentiële schade'

Bijlage 9.A F-PAR curve

136

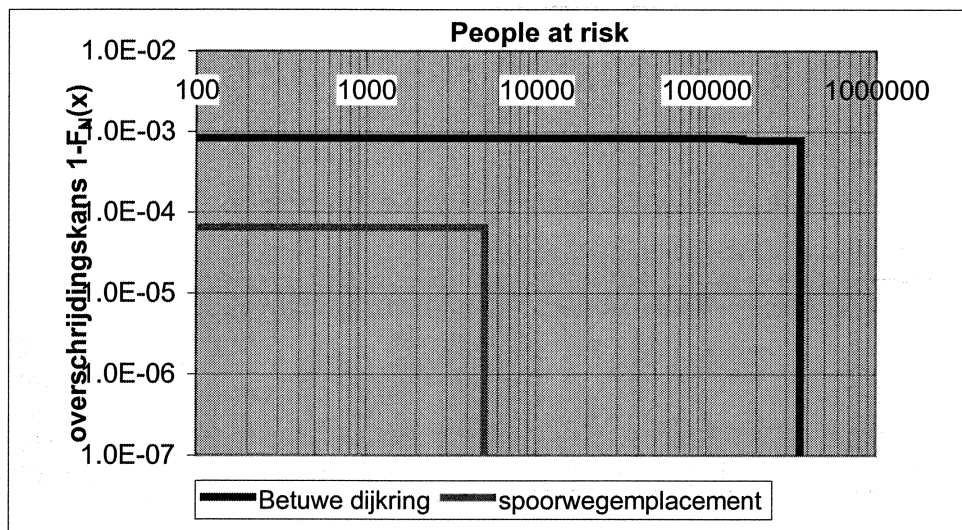


Bijlage 9.A F PAR curve

In deze bijlage is een F-PAR curve bepaald voor de Betuwe dijkkring.

Om een verband tussen mogelijke omvang ramp en de kans daarop te maken stelt Stoop [2000] voor de population at risk uit te zetten tegen de kans op een ongeval. Volgens Stoop is de FN curve geen goede representatie van de maatschappelijke beleving van risico's, omdat het aantal slachtoffers geen goede maat is voor de maatschappelijke beleving van het ongeval. Voorbeelden van ongevallen met relatief weinig slachtoffers en een grote maatschappelijke impact zijn de vuurwerkramp in Enschede (20 doden) en de brand in Volendam (15 doden).

In onderstaande figuur is een F-PAR curve getekend voor de scenario's van de Betuwe dijkkring.



Figuur 1: F-PAR curve voor de Betuwe dijkkring en spoorwegemplacement (zie toelichting hieronder)

Een F-PAR is eigenlijk meer geschikt voor de vergelijking van de maatschappelijk omvang van verschillende risico's. Ter indicatie is daarom een F PAR curve getekend voor een ongeluk op een spoorwegemplacement ergens in Nederland. De kans daarop bedraagt $6.5 \cdot 10^{-5}$ [bron RIVM]. Aangezien de veel spoorwegemplacementen in bebouwd gebied liggen is voor het aantal bedreigde personen een aantal van 5000 aangenomen.

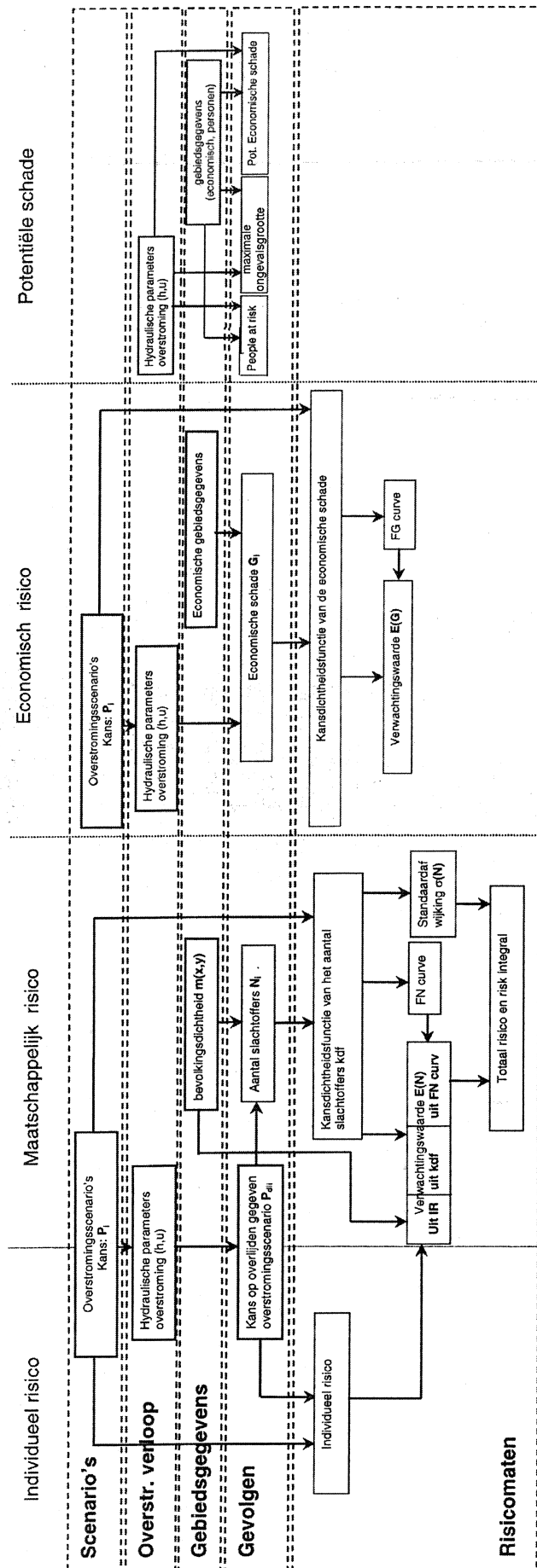
Uit de figuur komt naar voren dat de maatschappelijke dreiging van een overstroming van de Betuwe dijkkring veel groter is dan de dreiging van een ongeval op een spoorwegemplacement.

Bijlagen Hoofdstuk 10 'Analyse Risicoberekeningen'

Bijlage 10.A	Schematische weergave berekening risicomaten	138
Bijlage 10.B	Voorstel mogelijke norm uit FN curve externe veiligheidsrisico's	140
Bijlage 10.C	Afleiding van een norm in FN formaat uit het totaal risico	141
Bijlage 10.D	Vergelijking normen uit totaal risico en uit externe veiligheid	143



Bijlage 10.A Schematische weergave berekening risicomaten

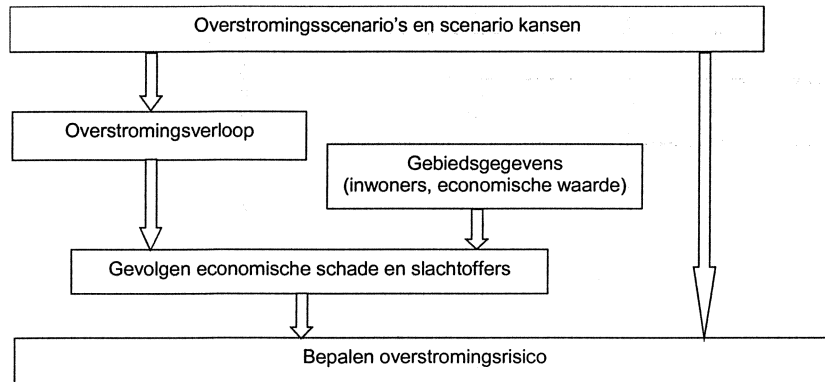


In deze figuur is schematisch weergegeven hoe de verschillende risicomaten bepaald worden.
(zie volgende bladzijde voor meer toelichting)

Uit het schema komt naar voren dat de maten op het gebied van individueel, maatschappelijk, economisch risico en potentiële schade bepaald kunnen worden aan de hand van drie elementen:

- De overstromingsscenario's
- Het overstromingsverloop
- Gebiedsgegevens

De gevolgen zijn te bepalen uit de laatste twee elementen (overstromingsverloop en gebiedsgegevens). Het overstromingsrisico volgt uit de kansen en gevolgen. De algemene berekening van het overstromingsrisico is weergegeven in onderstaande figuur:



Figuur 1: algemeen schema voor bepaling overstromingsrisico

Bijlage 10.B Voorstel mogelijke norm uit FN curve externe veiligheidsrisico's

In deze bijlage is een voorstel voor een norm in de FN curve gegeven, dat is afgeleid uit de totale externe veiligheidsrisico's.

Als men als uitgangspunt neemt dat de huidige risiconiveaus in Nederland een basis vormen voor de acceptatie van risico's, is hierop een mogelijke normering te baseren. Een soortgelijk uitgangspunt wordt gehanteerd door de Engelse HSE. De steilheid van de normering in de FN curve voor havens wordt afgeleid uit historische gegevens over ongevallen "the slope of the observed FN curves of chemical industry may well reflect the indirect social judgement" [HSE, Major hazard aspects of the transport of dangerous substances].

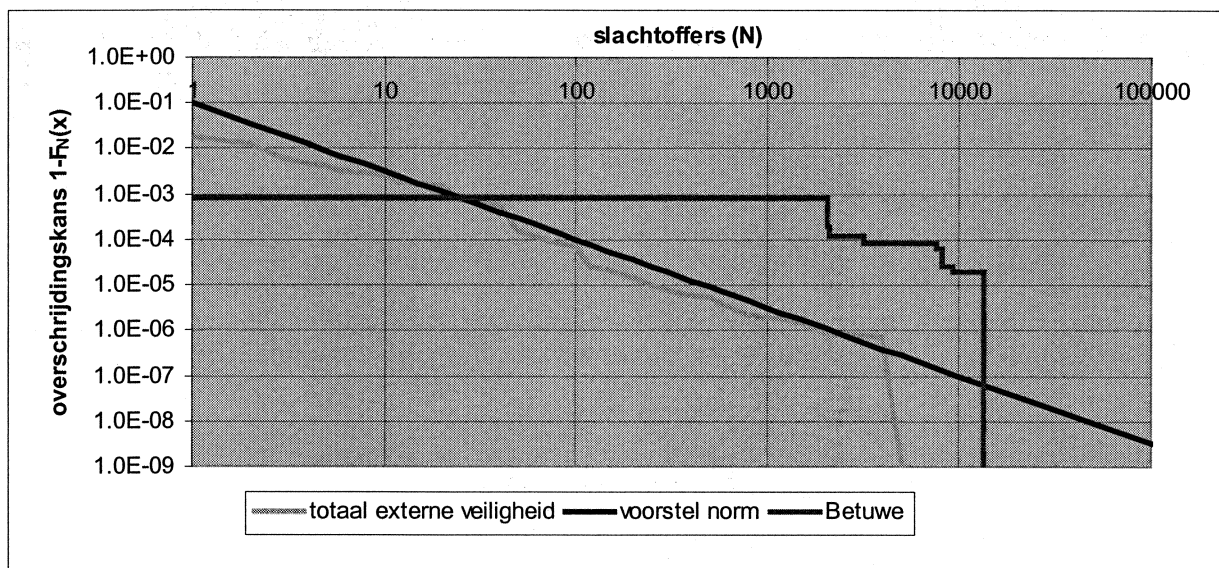
In een figuur is de FN curve van het totaal van externe veiligheidsrisico's te tekenen. Het betreft de totale risico's in Nederland van spoorwegemplacements, EVR-plichtige bedrijven, luchthavens. Deze curve is tussen de 10 en 1000 slachtoffers te benaderen met de lijn:

$$1 - F_N(x) < \frac{0.1}{x^{1.5}}$$

Deze lijn vertoont een risico aversie tegen grote gevolgen (steilheid 1,5), echter minder dan de VROM norm met een steilheid van 2.

Het lijkt dan redelijk te eisen dat de totale FN curve voor het overstromingsrisico onder de FN curve van het totaal van de genoemde externe veiligheidsrisico's voor heel Nederland blijft.

In onderstaande figuur is deze norm samen met de totale externe veiligheidsrisico's en de FN curve van de Betuwe weergegeven:



Figuur 2: FN curve voor Betuwe dijkkring, voorgestelde norm, totale externe veiligheidsrisico's
De risico's van de Betuwe dijkkring voldoen niet aan de voorgestelde norm.

Bijlage 10.C Afleiding van een norm in FN formaat uit het totaal risico

In deze bijlage zijn aan de hand van de norm voor totaal risico, normen per installatie in FN formaat afgeleid.

Het totaal risico wordt gelimiteerd aan de hand van beleidsfactor β

$$TR < \beta \cdot 100$$

Per installatie is een norm af te leiden in het formaat van een FN curve:

$$1 - F_N(x) < \frac{C}{x^2}$$

Als de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers veel kleiner is dan de standaardafwijking geldt voor de factor C:

$$C = \left[\frac{\beta \cdot 100}{c \cdot k \cdot \sqrt{N_A}} \right]^2$$

Hierin is de waarde van C afhankelijk van de beleidsfactor β , de risico aversie factor k, het aantal installaties N_A . De waarde van factor c is afhankelijk van het verdelingstype van het aantal slachtoffers.

De uit het TR afgeleide norm in FN formaat is echter niet exact hetzelfde als de TR norm zelf. Het is aan te tonen [Vrouwenvelder, 1995] dat men bij het voldoen aan de TR norm ook zal voldoen aan de norm in FN formaat. Andersom hoeft dit niet te gelden.

Daarnaast is het zo het TR mede aan de hand van de standaardafwijking gelimiteerd wordt, terwijl het mogelijk is te voldoen aan de FN norm met een oneindig grote standaardafwijking.

Allereerst wordt de waarde van C bepaald voor het geval één installatie wordt beschouwd en een deterministisch aantal slachtoffers ($c=1$). Voor een beleidsfactor $\beta=0.1$ geldt:

$$C = \left[\frac{\beta \cdot 100}{c \cdot k \cdot \sqrt{N_A}} \right]^2 = \left[\frac{0.1 \cdot 100}{1.3 \cdot \sqrt{1}} \right]^2 = 11.1 \quad 1 - F_N(x) < \frac{11.1}{x^2}$$

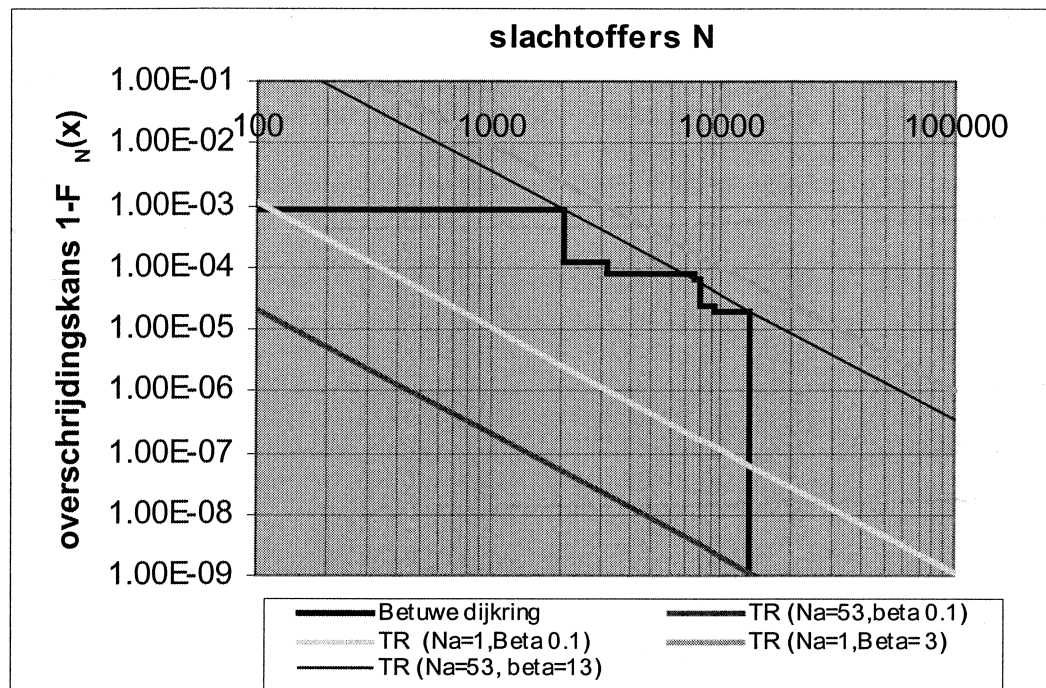
De FN curve voor de Betuwe voldoet niet aan deze norm. De situatie is pas aanvaardbaar bij een β van 3. Dan geldt $C=1 \cdot 10^4$

Als alle dijkeringen in beschouwing worden genomen bedraagt het aantal installaties 53. Stel dat in Nederland 53 onafhankelijke dijkeringen zijn ($N_A=53$) met ieder een gelijke verwachtingswaarde en standaardafwijking van het aantal slachtoffers. Er geldt, voor een deterministisch aantal slachtoffers, en een beleidsfactor van 0.1:

$$C = \left[\frac{\beta \cdot 100}{c \cdot k \cdot \sqrt{N_A}} \right]^2 = \left[\frac{0.1 \cdot 100}{1.3 \cdot \sqrt{53}} \right]^2 = 0.21$$

Ook in dit geval voldoet de FN curve voor de Betuwe dijkering niet. Pas bij een beleidsfactor $\beta=13$ is de situatie aanvaardbaar.

De 4 bepaalde normen zijn samen met de FN curve van de Betuwe dijkering in een grafiek weergegeven.



Figuur 1: FN curve met daarin: de TR criteria in FN formaat voor $\beta=0.1$ op lokaal en nationaal niveau, voor $\beta=3$ op nationaal niveau en de curve voor de Betuwe dijkkring

Bijlage 10.D Vergelijking normen uit totaal risico en uit externe veiligheid

In bijlage 10.B is op basis van de FN curve voor het totaal van enkele externe veiligheidsrisico's in Nederland een mogelijke norm voorgesteld:

$$1 - F_N(x) < \frac{0.1}{x^{1.5}}$$

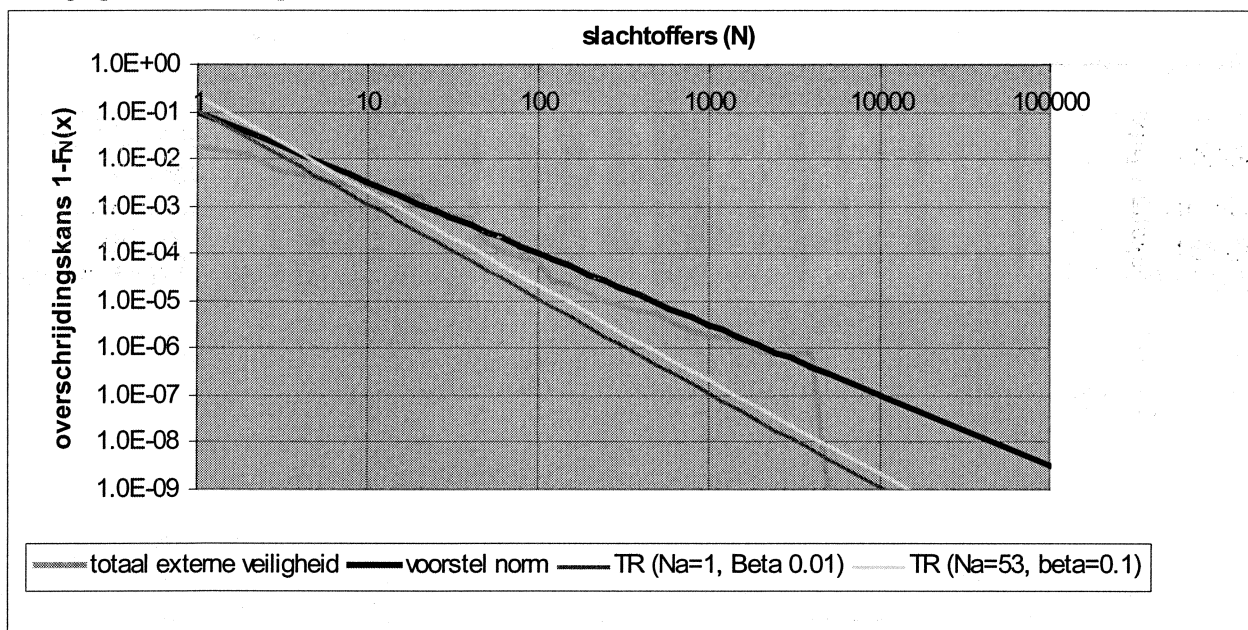
Voor een beoordeling van een onvrijwillige activiteit ($\beta=0.01$) op nationaal niveau ($N_A=1$) geldt:

$$1 - F_N(x) < \frac{0.11}{x^2}$$

Voor 53 onafhankelijke dijkringen ($N_A=53$) en een beleidsfactor $\beta=0.1$ geldt de volgende norm:

$$1 - F_N(x) < \frac{0.21}{x^2}$$

De genoemde normen zijn samen met het totaal van externe veiligheidsrisico's weergegeven in een grafiek



Uit de grafiek valt te concluderen dat:

- Bij beoordeling van een onvrijwillige activiteit met beleidsfactor 0.01 op nationaal niveau ($N_A=1$) de aanvaardbare risico's in dezelfde orde grootte liggen als het totaal van externe veiligheidsrisico's.
- Bij beoordeling van het overstromingsrisico met $\beta=0.1$, waarbij het toelaatbare risico gelijk verdeeld wordt over 53 dijkringen ($N_A=53$), het aanvaardbare risico per dijkkring in dezelfde orde grootte ligt als het totaal van externe veiligheidsrisico's.

Bijlagen Hoofdstuk 11 'Analyse risicomaten'

Bijlage 11.A	Het effect van maatregelen op totaal risico en risk integral	145
Bijlage 11.B	Beoordeling risicomaten aan de hand van bestuurlijke aspecten	146
Bijlage 11.C	Vergelijking voorgestelde risicomaten met door TAW voorgestelde aanpak	147



Bijlage 11.A Het effect van maatregelen op totaal risico en risk integral

In deze bijlage is het effect van twee verschillende typen maatregelen op het totaal risico en de risk integral met een vereenvoudigd voorbeeld verduidelijkt.

Voor een deterministisch aantal slachtoffers N met kans p geldt voor verwachtingswaarde en standaardafwijking:

$$E(N) = p \cdot N \qquad \sigma(N) \approx \sqrt{p \cdot N}$$

In de uitgangssituatie zijn zowel de kans als het aantal slachtoffers gelijk aan 1:

$$E(N) = 1$$

$$\sigma(N) = 1$$

$$TR = E(N) + k \cdot \sigma(N) = 4$$

$$RI = E(N)^2 + \sigma(N)^2 = 2$$

Maatregelen ter verlaging van de kans

Nu wordt een maatregel genomen die de kans p halveert tot $p=0.5$, N blijft 1:

$$E(N) = 0.5$$

$$\sigma(N) = 0.7$$

$$TR = 2.6$$

$$RI = 0.74$$

Maatregel ter verlaging van de gevolgen

Nu wordt ten opzichte van de uitgangssituatie een maatregel genomen die het aantal slachtoffers halveert tot $N=0.5$, p blijft 1:

$$E(N) = 0.5$$

$$\sigma(N) = 0.5$$

$$TR = 2$$

$$RI = 0.5$$

Maatregelen ter verlaging van de gevolgen zijn in dit geval dus effectiever voor verlaging van standaardafwijking en risico averse maten, totaal risico en risk integral. Beide typen maatregelen hebben hetzelfde effect op de verwachtingswaarde.

Bijlage 11.B Beoordeling risicomaten aan de hand van bestuurlijke aspecten

In onderstaande tabel zijn de uitgewerkte risicomaten beoordeeld aan de bestuurlijke aspecten die zijn genoemd in paragraaf 2.3. De aspecten zijn in die paragraaf beschreven

	Niveau	Bruikbaarheid/verge lijk Baarheid andere Implementatie en Naleving	Compleetheid	Weergave maatregelen en effecten	Uitlegbaarheid en Duidelijkheid	Rechtvaardigheid en Objectiviteit	Aansluiting huidige Normering	Meenement toek. Ontwikkelingen	Som score's	
Individueel Risico ¹	Indivi- dueel	+	+	-	0	+	++	++	-	5
Gesommeerd gewogen risico	≥lokaal	+	0	-	+	-	-	+	+	1
Verwachtingswaarde Uit IR contouren	≥lokaal	+	+	0	0	+	+	0	-	3
FN curve	≥lokaal	++	+	+	++	+	-	++	0	8
Verwachtingswaarde Slachtoffers	≥ lokaal	+	-	-	0	+	-	-	+	-1
Risk integral	≥lokaal	0	-	0	+	--	0	-	0	-3
Totaal risico	Natio- naal	+	-	0	+	-	0	-	+	0
FG curve	≥lokaal	+	+	-	++	+	-	-	0	2
Verwachtingswaarde Econ schade	≥lokaal	+	+	-	0	+	+	-	0	2
Economische Optimalisatie	Lokaal	-	0	-	++	0	-	+	++	2
People at Risk	≥ lokaal	+	+	+	-	+	+	0	+	5
Maximale ongevalsgrootte	≥ lokaal	+	+	+	-	+	+	0	+	5
Potentiële Econ schade	≥ lokaal	+	+	0	-	+	+	0	+	4

¹ In hoofdstuk 2 zijn het individueel risico volgens VROM en TAW apart beoordeeld. In de uitwerking in het hoofdstuk is getoond dat berekening van beiden op dezelfde basis berust.

Bijlage 11.C Vergelijking voorgestelde risicomaten met door TAW voorgestelde aanpak

In deze bijlage is de in hoofdstuk 11 voorgestelde wijze van weergeven en normeren van risico's vergeleken met de door TAW voorgestelde aanpak.

Door TAW [1988] is een visie op het aanvaardbaar risico gepresenteerd die een beoordeling van het individueel, economisch en maatschappelijk risico omvat.

Het individueel risico wordt hierbij genormeerd aan de hand van beleidsfactor β .

$$IR < \beta \cdot 10^{-4}$$

In deze studie is een norm gekozen (10^{-5}) die overeen komt met een waarde van de beleidsfactor van 0.1.

Door TAW wordt het een economisch optimaal risico niveau bepaald met de methode van economische optimalisatie, waarbij de waarde van het mensleven wordt meegenomen (zie bijlage 2.D.1). Het optimale niveau is bereikt als de som van investeringen en risico minimaal is.

In deze studie wordt de methode gehanteerd voor het vaststellen van een optimale strategie voor het uitvoeren van risico reducerende maatregelen.

Door TAW wordt het maatschappelijk risico gelimiteerd aan de hand van het totaal risico en de bijbehorende norm waarin wederom de beleidsfactor β is opgenomen. Er geldt:

$$E(N) + k \cdot \sigma(N) < \beta \cdot 100$$

Deze norm geldt op nationaal niveau en hieruit is een aanvaardbare faalkans per installatie af te leiden.

In de voorgestelde methode vindt de afweging van risico's net als door TAW op nationaal niveau plaats. In plaats van dat gebruik wordt gemaakt van het totaal risico gebeurt dit nu in een FN curve. Totaal risico en FN curve vertonen overeenkomsten: in bijlage 10.C is getoond dat uit de totaal risico norm een norm in FN formaat is af te leiden.