

Notitie

Aan : Jos van Alphen
Van : Bas Jonkman
Datum : 15 juli 2008
Kopie : Bart Parmet
Onze referentie : 9T6387.A0/NN0001/902968/Rott

**Betreft : Schattingen groepsrisico's t.b.v. advies
Deltacommissie**

In deze notitie is een indicatie gegeven van de omvang van groepsrisico's voor dijkringen in Nederland. Het doel is om vast te stellen in welke dijkringen in Nederland de groepsrisico's relatief hoog zijn. In eerste instantie zijn de groepsrisico's voor negen door de Deltacommissie gedefinieerde dijkringen¹ geschat. Vervolgens is verkend of ook andere dijkringen een relatief hoog groepsrisico niveau kennen.

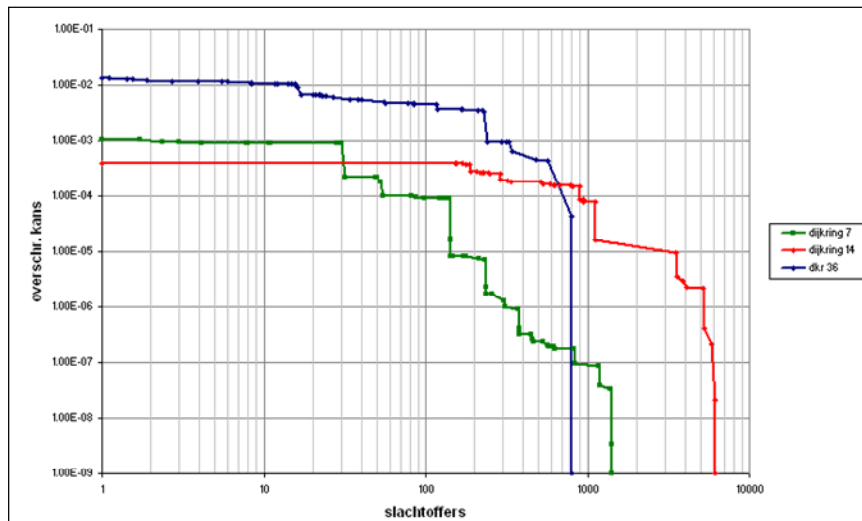
In deze notitie worden de algemene aanpak en uitgangspunten, de gebruikte schattingen en de resultaten samengevat. De beschrijvingen en analyses in dit rapport zijn voor een groot deel gebaseerd op de denklijnen die zijn ontwikkeld in het rapport 'verkenning slachtofferrisico's in het hoogwaterbeschermingsbeleid' (Jonkman *et al.*, 2008).

Opmerking: In plaats van bij alle schattingen en resultaten aan te geven dat het om voorlopige schattingen gaat is ervoor gekozen om deze 'disclaimer' eenmalig op deze plaats te maken. Alle in dit rapport gepresenteerde schattingen zijn indicatief van aard en veelal gebaseerd op expert schattingen. Een meer complete analyse zou bij voorkeur gebaseerd moeten zijn op een complete risico analyse zoals wordt uitgevoerd in het project Veiligheid Nederland in kaart (VNK), maar die resultaten zijn op dit moment niet landsdekkend beschikbaar. Toch geven de gepresenteerde schattingen naar verwachting een indicatief beeld van de omvang van de groepsrisico's voor enkele gebieden in Nederland.

1. Aanpak

Het groepsrisico (GR) geeft de kans op een bepaald aantal (N) of meer slachtoffers en wordt vaak weergegeven in een zogenaamde FN curve. Het GR kan bepaald worden door per dijkkring de kansen en gevolgen voor verschillende overstromingsscenario's te bepalen. Deze schattingen bepalen de vorm van de FN curve. Voor een drietal dijkringen zijn op basis van het project VNK (deel 1) FN curves bepaald, zie figuur 1.

¹ Hierbij gaat het om de volgende dijkringen (dijkkringnummers tussen haakjes): Zuidelijk Flevoland (8), Zuid-Holland (14), Lopiker- en Krimpener Waard (15), Alblasserwaard en Vijfheerenlanden (16), IJsselmonde (17), Voorne-Putten (20), Walcheren (29), West Brabant (34) en Gelderse Vallei (45). Deze dijkringen zijn op basis van eerdere schattingen in het project Nederland Later.



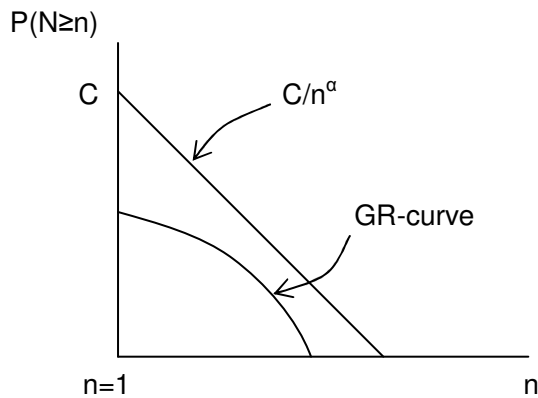
Figuur 1: FN curves voor drie dijkringen: 7) Noordoostpolder; 14) Zuid Holland; 36) Land van Heusden / de Maaskant (Jonkman *et al.*, 2008).

Echter, is er nog geen landsdekkende informatie beschikbaar die inzicht geeft in de overstromingsscenario's en bijbehorende kansen en gevolgen voor alle dijkringen in Nederland. Om toch een uitspraak te doen over de groepsrisico's op landelijke schaal kan gebruik worden gemaakt van expert schattingen voor kansen en gevolgen. Deze expert schattingen komen tot stand op basis van kennis van experts en beschikbare studies die inzicht geven in kansen en gevolgen. De benadering is gevolgd in het kader van de studies Nederland Later (Klijn *et al.*, 2008) en risico's in bedijkte termen (RIVM, 2004).

Het groepsrisico kan gelimiteerd worden met een zogenaamde normlijn die voor ieder aantal slachtoffers een aanvaardbare overstromingskans uitdrukt. De hoogte en status van deze norm dient in een politiek-maatschappelijk debat te worden vastgesteld. Vooruitlopend op die verdere verkenning wordt reeds geconstateerd dat het voor de hand ligt om een normlijn te gebruiken met een kwadratische steilheid, zie ook (Jonkman *et al.*, 2008; TAW, 1985; Vrijling *et al.*, 1998). Deze normlijn drukt voor ieder aantal slachtoffers een aanvaardbare overstromingskans uit. Het hanteren van een norm met een kwadratische steilheid houdt in dat een ongeval met 10 keer meer slachtoffers een 100 keer kleinere kans van optreden mag hebben. Deze mate van risico aversie wordt ook gebruikt in andere veiligheidsdomeinen en drukt de maatschappelijke aversie tegen ongevallen met veel slachtoffers uit. De algemene formulering voor de normlijn wordt dan:

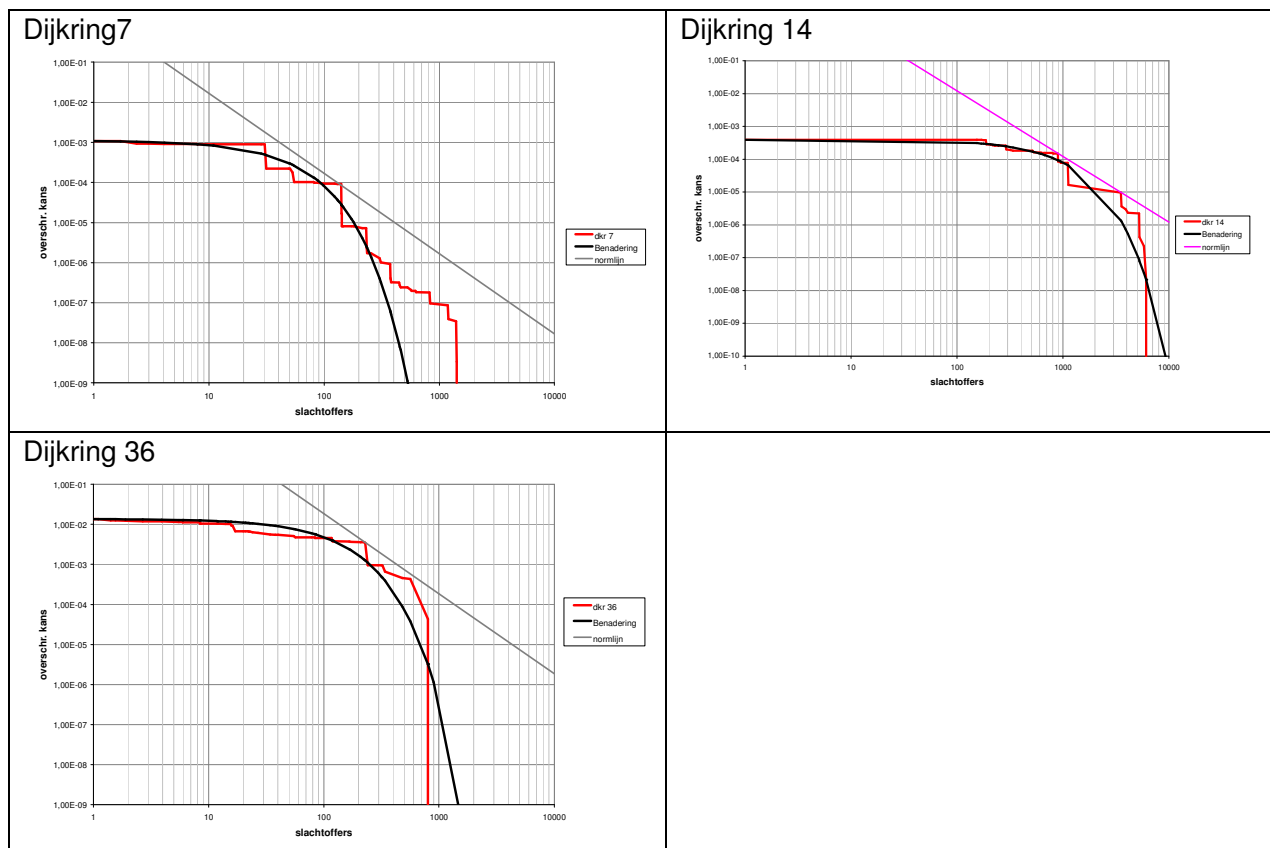
$$P(N \geq n) \leq C / n^2 \quad (1)$$

Waarin: $P(N \geq n)$ = jaarlijkse kans op tenminste N doden; n = aantal slachtoffers; C = constante (maximaal toelaatbare jaarlijkse kans op een overstroming waarbij doden vallen);



Figuur 2: Groepsrisicocurve en criteriumlijn

Echter, voor de analyse van GR en vergelijking met mogelijke normen (zie hieronder) is met name de **vorm** van de FN-curve van belang. De informatie uit eerder genoemde studies (Nederland Later en 'risico's in bedijkte termen') geeft geen informatie over de vorm van de FN curve. Daarom is in het kader van deze verkenning een nieuwe benadering ontwikkeld om de ligging en vorm van de FN curve te benaderen. Op basis van de bestaande FN curves uit VNK 1 wordt vastgesteld dat een exponentiele verdelingsfunctie een redelijk goede benadering geeft van de in VNK 1 berekende FN curve, zie figuur 3. Dit geldt ook met name voor het deel waar de curve geraakt wordt door een hypothetische normlijn met een kwadratische steilheid en dit is het deel van de curve dat de mogelijke overschrijding van de normen bepaalt.



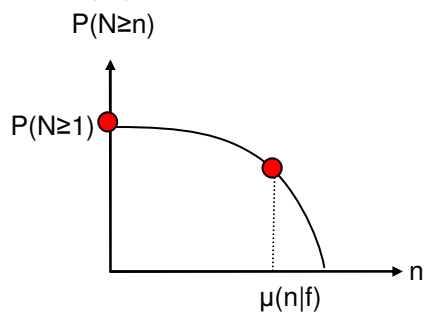
Figuur 3: Benadering van de berekende GR curves met een exponentiele verdeling

De belangrijkste kenmerken van de exponentiele verdeling zijn hieronder samengevat:

- De kans op ten minste N slachtoffers gegeven overstroming is te bepalen met:

$$P(N \geq n | \text{falen}) = e^{-\frac{n}{\sigma}}$$

- Voor de exponentiele verdeling geldt dat het verwachte aantal slachtoffers gegeven falen $\mu(n|f)$ gelijk is aan de standaardafwijking gegeven falen $\sigma(n|f)$ van het aantal slachtoffers: $\sigma(n|f) = \mu(n|f)$.
- Voor de bepaling van de FN curve moet bovenstaande formulering van de exponentiele vermenigvuldigd worden met de overstromingskans. Deze wordt gelijk gesteld aan de kans op 1 of meer slachtoffers $P(N \geq 1)$.
- Dit betekent dat er voor afleiding van de FN curve voor een dijkkring twee parameters bekend moeten zijn: de overstromingskans ($P(N \geq 1)$) en het verwachte aantal slachtoffers gegeven falen ($\mu(n|f)$).



Figuur 4: Schematische weergave van een FN curve volgens de exponentiele verdeling

Op basis van bovenstaande bevinding wordt aangenomen dat ook andere FN curves in Nederland een exponentieel verloop hebben. Om de FN curves voor andere dijkringen te ontwikkelen moet conform bovenstaande formulering per dijkkring een overstromingskans en een gemiddeld gevolg worden afgeleid. Deze schattingen bepalen meteen de vorm van de curve en de standaardafwijking σ .

2. Schattingen voor overstromingskansen en gevolgen

In deze paragraaf zijn schattingen gegeven voor de overstromingskansen en te verwachten slachtofferaantallen voor de negen door de Deltacommissie gedefinieerde dijkringen en enkele aanvullende dijkringen. Hierbij is gebruik gemaakt van beschikbare gegevens uit eerdere studies.

Overstromingskansen

In het project wordt er gebruik gemaakt van de overstromingskansen die zijn bepaald in het project Waterveiligheid 21^e eeuw. Deze kansen zijn ook gebruikt als basiswaarden in de KKBA van WV21 (Kind, 2008). Het uitgangspunt van is dat het hele systeem op orde is en bij een kritiek overslagdebiet van 1 l/s/m precies voldoen aan de wettelijke norm. Dit moet na alle verbetermaatregelen in 2015 het geval zijn. Onder deze verbetermaatregelen vallen Ruimte voor de Rivier, het Hoogwaterbeschermingsprogramma, de Maaswerken en de Zwakke Schakels. Kunstwerken voldoen aan de norm en zullen niet falen.

Het uitgangspunt bij de berekening van overstromingskansen is dat deze bepaald worden bij een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m. Deze twee uitgangspunten zorgen er voor dat alle dijkringkansen minimaal gelijk of kleiner zijn dan de wettelijke norm. Ten eerste komt dit door te

rekenen met een groter kritiek overslagdebiet en ten tweede wordt de aanwezigheid van eventuele overhoogte meegenomen.

Schatting van slachtofferaantallen per dijkkring

De slachtofferaantallen zijn bepaald op basis van de gegevens die zijn weergegeven in tabel 1, volgens de volgende formule:

$$N = N_{PAR} F_{EXP} (1 - F_E) F_D$$

Waarin: N – het aantal slachtoffers; overige symbolen zijn toegelicht in tabel 1.

In de derde kolom zijn de gegevensbronnen weergegeven per onderdeel en die zijn waar nodig aangevuld met expert judgement. Het aantal te verwachten . Er zijn geen boven- of ondergrenzen bepaald. Door toepassing van de exponentiele verdeling wordt er vanzelf een bandbreedte in de slachtofferschattingen aangegeven.

Tabel 1: Variabelen gebruikt in de schatting van het aantal slachtoffers per dijkkring

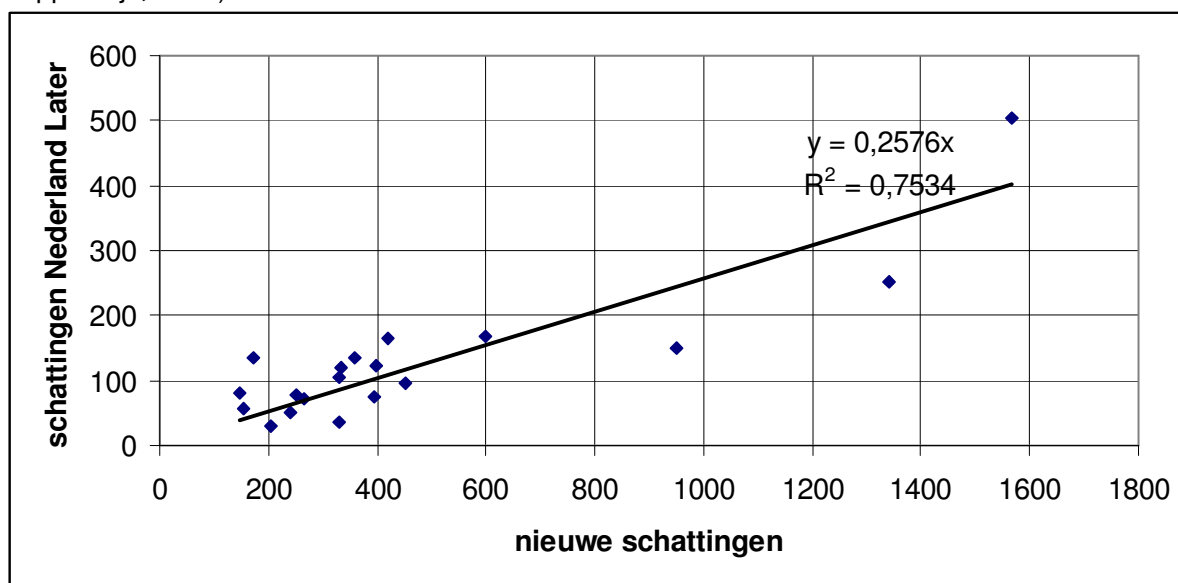
Onderdeel	Bepaald door	Bron(nen)
Aantal inwoners in de dijkkring (N_{PAR})		Nederland Later
Getroffen deel bevolking (F_{EXP})	Locatie dijkdoorbraak, verloop overstroming, ligging bevolkingscentra	Nederland Later en hoogte kaart Nederland (AHN)
Evacuatie en shelter fractie (F_E)	Mogelijkheden voor evacuatie, beschikbare tijd tot overstroming, benodigde tijd (wegcapaciteit i.r.t. omvang bevolking). Mogelijkheden voor shelter.	Evacuatie analyses uit VNK 2 en VNK 1.
Sterfte fractie (F_D)	Ernst van de overstroming (diepte, stijgsnelheid), mate waarin deze onverwacht optreedt	Slachtofferberekeningen uit VNK 1, proefschrift Jonkman

De gehanteerde waarden voor de negen door de Deltacommissie vastgestelde dijkringen zijn weergegeven in tabel 2. In aanvulling daarop is een beoordeling gemaakt van dijkringen waarvan wordt verwacht dat ze een relatief hoog GR hebben. Voor deze dijkringen zijn resultaten opgenomen in het onderste deel van tabel 2.

Tabel 2: Schattingen voor overstromingskansen en slachtofferaantallen voor enkele dijkringen.

nr	Naam	Inwoners	getroffen deel bevolking	Evacuatie en shelter fractie	Sterfte fractie		Slachtoffers (verwacht gegeven overstr.)		Overstromingskans
<i>Negen door de Deltacommissie geselecteerde dijkringen</i>									
8	Flevoland	238700	0,50	0,7	0,01		358		1,72E-04
14	Zuid-Holland	3195800	0,07	0,3	0,01		1566		1,00E-04
15	Lopiker en Krimpenerwaard	195400	0,80	0,7	0,007		328		5,00E-04
16	Alblasserwaard & Vijfheerenlanden	197500	0,80	0,7	0,007		332		5,00E-04
17	IJsselmonde	335300	0,80	0,5	0,01		1341		2,50E-04
20	Voorne-Putten	149900	0,80	0,5	0,01		600		1,92E-04
29	Walcheren	110500	0,60	0,4	0,01		398		6,41E-05
34	West-Brabant	215300	0,60	0,5	0,007		452		3,57E-04
45	Gelderse Vallei	247300	0,70	0,8	0,005		173		3,57E-04
<i>Overige dijkringen waarvoor de groepsrisico's relatief hoog worden geschat</i>									
6	Friesland & Groningen	1046400	0,10	0,6	0,01		419		1,19E-04
13	Noord-Holland	949300	0,20	0,5	0,01		949		1,77E-05
21	Hoeksche Waard	82900	0,80	0,5	0,01		332		5,00E-04
22	Eiland van Dordrecht	98200	0,80	0,5	0,01		393		5,00E-04
24	Land van Altena	51100	1,00	0,6	0,01		204		4,35E-04
25	Goeree-Overflakkee	46300	0,80	0,35	0,01		241		1,16E-04
30	Zuid-Beveland West	69900	0,60	0,4	0,01		252		1,39E-04
41	Land van Maas en Waal	190500	0,80	0,8	0,005		152		7,14E-04
43	Betuwe & TCW	299000	0,70	0,9	0,007		147		2,78E-04
44	Kromme Rijn	592700	0,30	0,7	0,005		267		1,96E-04

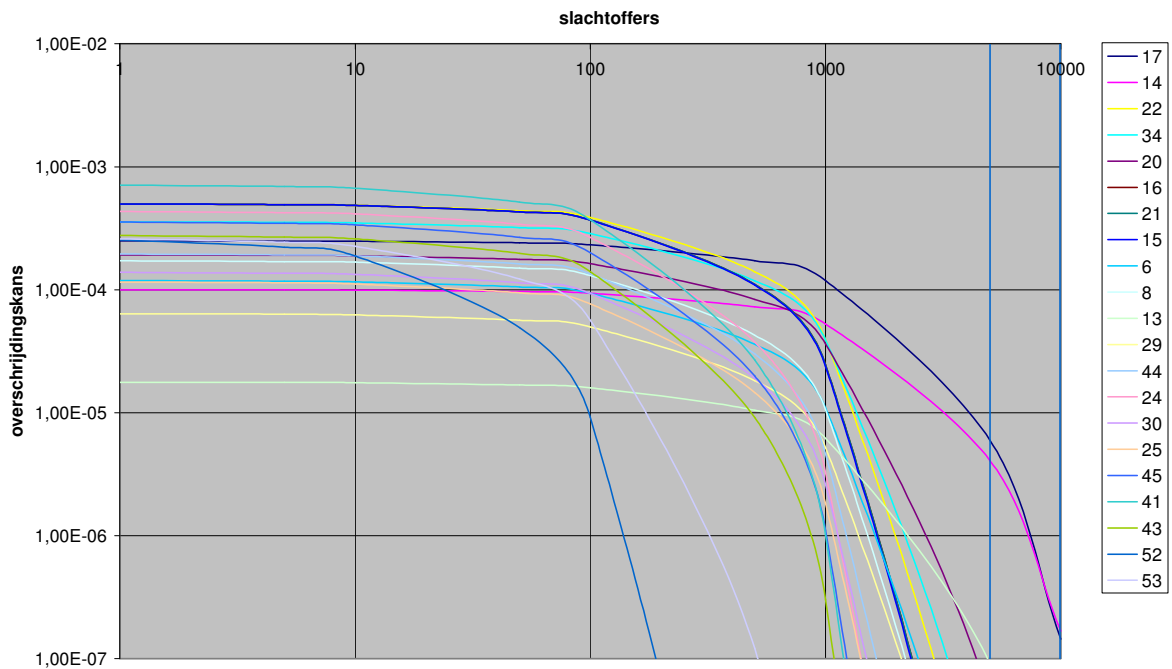
De berekende slachtofferaantallen zijn vergeleken met eerdere schattingen uit VNK en de studie Nederland Later. De hier gepresenteerde schattingen blijken redelijk goed overeen te komen met de schattingen uit VNK 1 (zie ook de eerdere vergelijking van de FN curves). Ten opzichte van de schattingen uit Nederland Later blijkt dat de hier gepresenteerde schattingen een stuk hoger liggen, gemiddeld een factor 4 hoger (zie ook figuur 4). Wel zijn de verhoudingen tussen de slachtofferaantallen voor de dijkringen vergelijkbaar met die uit Nederland Later. De schattingen in Nederland later zijn met name lager door de hogere evacuatie fracties en lagere sterfte fracties. De evacuatie fracties zijn in de nieuwe schattingen n hier bijgesteld op basis van evacuatie berekeningen voor VNK 2. De sterfte fracties zijn hoger geschat op basis van de resultaten van het proefschrift van Jonkman (2007) en uitkomsten van VNK 1 (Jonkman en Cappendijk, 2006).



Figuur 5: Vergelijking van de schattingen van gemiddelde slachtofferaantallen per dijkkring voor Nederland Later en de nieuwe schattingen in het kader van deze studie.

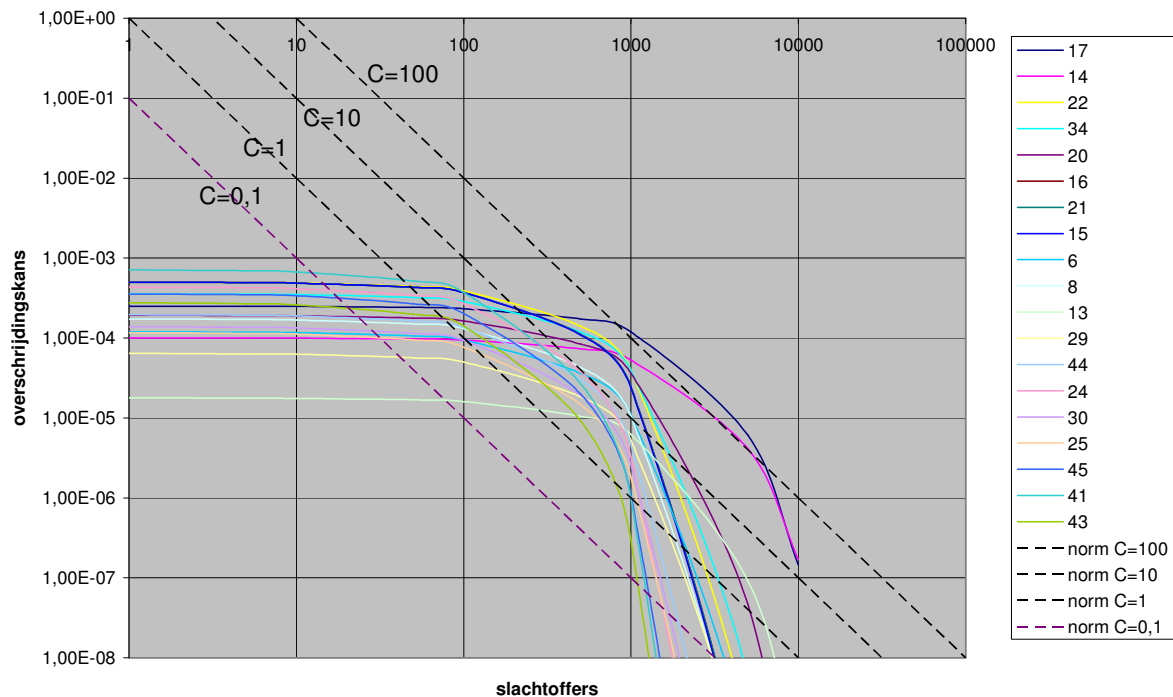
3. Resultaten voor het groepsrisico en vergelijking met mogelijke normlijnen

Op basis van de schattingen voor overstromingskansen en slachtofferaantallen en de eerder aangenomen exponentiele verdeling van de FN curve zijn schattingen te maken voor de groepsrisico curves. Onderstaande figuur geeft de GR curves voor de geselecteerde dijkringen weer.



Figuur 6: Groepsrisico curves voor geselecteerde dijkringen

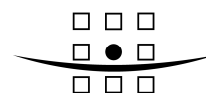
Vervolgens is een analyse gemaakt voor welke dijkringen het Gr relatief hoog is ten opzichte een mogelijke normlijn. Er is beoordeeld welke GR curves als eerste mogelijke normlijnen zouden overschrijden, zie figuur 7. Omdat geen definitieve normlijn voor het GR van overstroming is vastgesteld is vergelijking met **de** normlijn niet mogelijk. In plaats daarvan zijn verschillende mogelijke normlijnen getekend met verschillende hoogtes (dus verschillende waarden voor de constante C). Iedere normlijn heeft een kwadratische steilheid.



Figuur 7: Vergelijking van groepsrisico curves voor geselecteerde dijkringen met mogelijke normlijnen.

Op basis van deze vergelijking is beoordeeld welke dijkringen als eerste de normlijn overschrijden en dus het relatief hoogste GR hebben. Onderstaande tabel geeft een overzicht van deze dijkringen en geeft daarbij indicatief aan bij welke waarde van de constante C de dijkkring de normlijn overschrijdt. De dijkkring met het hoogste groepsrisico staat bovenaan in de tabel. Hieruit blijkt dat het GR bepaald wordt door zowel de kans als het gevolg. De dijkkring met het grootste aantal slachtoffers (Zuid Holland) staat op de tweede plaats. De dijkkring met het grootste GR is IJsselmonde en dit wordt veroorzaakt door de combinatie van kans- en gevolg. Uit de resultaten blijkt dat met name de dijkringen IJsselmonde (17) en Zuid Holland (14) een relatief hoog GR hebben. Dit geldt in mindere mate ook voor de dijkringen Eiland van Dordrecht (22), West-Brabant (34), Voorne-Putten (20), Alblasserwaard en Vijfheerenlanden (16), Hoeksche Waard (21), Lopiker en Krimpenerwaard (15).

Deze dijkringen komen voor het grootste deel overeen met de eerder door de Deltacommissie voorgestelde prioritaire dijkringen (8, 14, 15, 16, 17, 20, 29, 34, 45). Ten opzicht van die groep ontbreken de dijkringen 8, 29 en 45 bij de eerste 8 dijkringen met de hoogste GR waarden. Deze drie dijkringen zijn wel terug te vinden op een wat lagere plaats in de lijst.



Tabel 3: Overzicht van de dijkringen met de hoogste GR waarden

nr	Naam	Constante C voor raaklijn norm	Slachtoffers (verwacht gegeven overstr.)	Overstromings-kans (per jaar)
17	IJsselmonde	150	1341	2,50E-04
14	Zuid-Holland	103	1566	1,00E-04
22	Eiland van Dordrecht	39	393	5,00E-04
34	West-Brabant	39	452	3,57E-04
20	Voorne-Putten	36	600	1,92E-04
16	Alblasserwaard & Vijfheerenlanden	28	332	5,00E-04
21	Hoeksche Waard	28	332	5,00E-04
15	Lopiker en Krimpenerwaard	27	328	5,00E-04
6	Friesland & Groningen	11	419	1,19E-04
8	Flevoland	11	358	1,72E-04
24	Land van Altena	9	204	4,35E-04
44	Kromme Rijn	8	267	1,96E-04
41	Land van Maas en Waal	7	152	7,14E-04
13	Noord-Holland	6	949	1,77E-05
29	Walcheren	5	398	6,41E-05
45	Gelderse Vallei	5	173	3,57E-04
30	Zuid Beveland West	5	252	1,39E-04
25	Goeree-Overflakkee	4	241	1,16E-04
43	Betuwe & TCW	2	147	2,78E-04

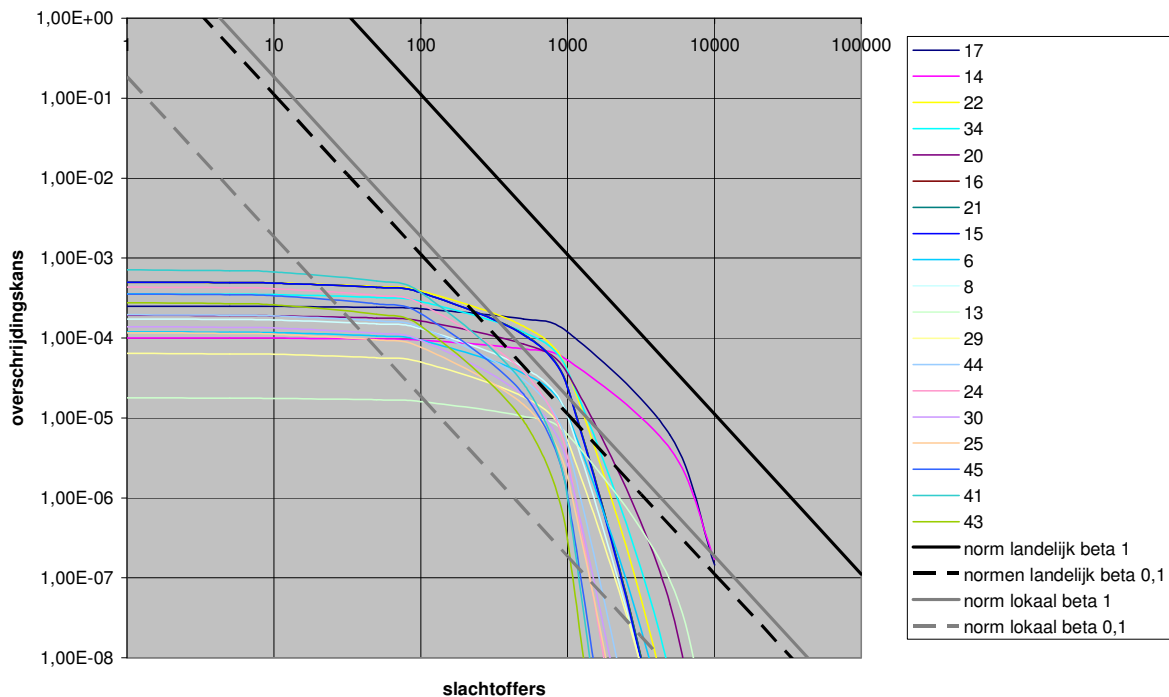
Deze resultaten geven een indicatief beeld van de dijkringen die het hoogste groepsrisico niveau hebben.

Vergelijking met het TAW / Vrijling model

Ter referentie zijn de berekende GR niveaus te vergelijken met mogelijke normwaarden die in een eerdere benadering zijn voorgesteld. Dit betreft het TAW / Vrijling model (TAW, 1985, Vrijling et al., 1998). In het TAW / Vrijling model is een systematiek afgeleid voor de normering van maatschappelijke risico's. Hierbij is het uitgangspunt dat er allereerst een norm op nationale schaal wordt vastgesteld die het landelijk aanvaardbaar groepsrisico weergeeft. Op basis van de beleidsfactor β kan de hoogte van de nationale norm worden vastgesteld. In eerdere analyses, zie bv. (Vrijling et al., 1998; Vrijling, 2001) is aanbevolen om een β waarde tussen de 0,1 en 1 te kiezen. In figuur ** zijn de landelijke en lokale normen voor deze twee waarden vastgesteld. De hoogte van de landelijke norm is te vinden met de volgende formule:

$$C_N = \left(\frac{\beta 100}{3} \right)^2$$

De hoogte van de lokale norm is te vinden door aan te nemen dat iedere dijkkring eenzelfde deel van de norm mag hebben. Hierbij is uitgegaan van 60 dijkringen. Opgemerkt wordt dat er voor de verdeling van de nationale norm andere uitgangspunten mogelijk zijn, bv. verdeling van het aanvaardbare GR naar rato van het aantal inwoners.

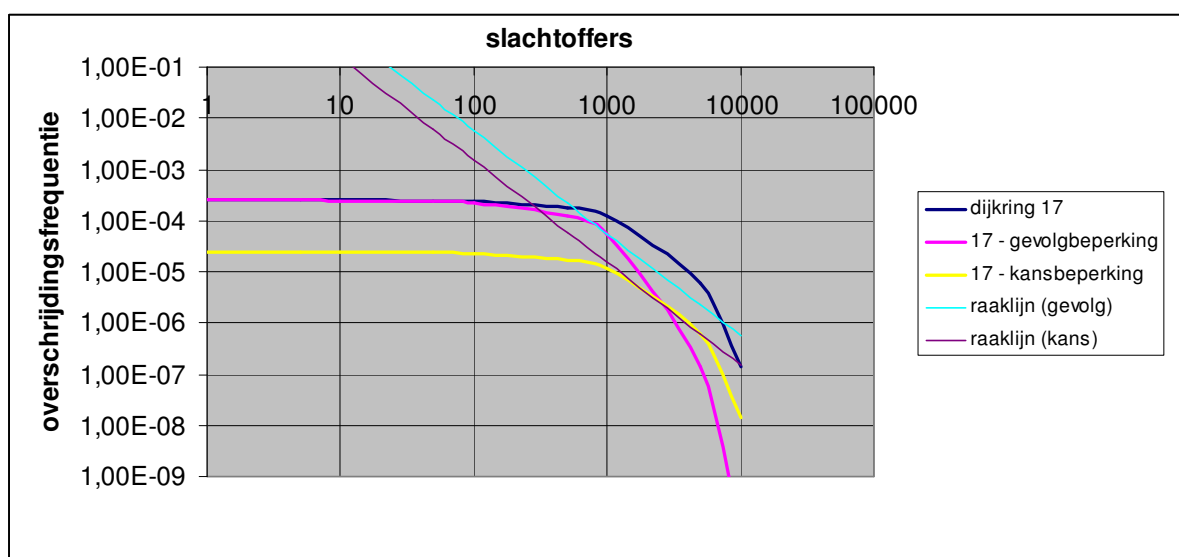


Figuur 8: Vergelijking van de berekende GR's met mogelijke normen.

Bij het hanteren van een waarde van de beleidsfactor $\beta=1$ voldoen de eerste acht dijkringen uit tabel 3 niet aan de norm. Bij het hanteren van een waarde van de beleidsfactor $\beta=0,1$ voldoen alle dijkringen uit tabel 3 niet aan de norm.

Maatregelen

Een uitspraak over de noodzaak tot het nemen van maatregelen zal mede afhangen van welk GR niveau men maatschappelijk acceptabel vindt. Dit niveau ligt nog niet vast. Vooruitlopend op deze discussie is voor de dijkring met het hoogste GR(dijkring 17) geanalyseerd hoeveel kans en gevolgbeperkende maatregelen het GR reduceren. Hierbij is aangenomen dat de overstromingskans een factor 10 daalt door dijkversterking. Aan de kant van gevolgbeperking is aangenomen dat door een combinatie van gevolgbeperkende maatregelen de gevolgen met 50% gereduceerd worden. Figuren 9 toont de resultaten.



Figuur 9: Analyse van het effect van kans en gevolgbeperkende maatregelen voor dijkkring 17.

Het blijkt dat in dit geval kansbeperking tot een grotere reductie van het GR leidt dan gevolgbeperking. Eenzelfde beeld volgde ook uit een soortgelijke analyse voor dijkringen 7, 14 en 36 (Jonkman et al., 2008). Mede gelet op de kosten van gevolgbeperking lijkt het reduceren van overstromingskansen, althans op de korte termijn, de meest haalbare en effectieve methode.

Literatuur

- Jonkman S.N. (2007) *Loss of life estimation in flood risk assessment – theory and applications*. Phd thesis, Delft University.
- Jonkman S.N., Cappendijk P. (2006) *Veiligheid Nederland in kaart – inschatting van het aantal slachtoffers ten gevolge van overstroming*, DWW rapport DWW-2006-012
- Jonkman B., Jongejan R., Maaskant B, Kok M., Vrijling J.K. (2008) Verkenning slachtofferrisico's in het hoogwaterbeschermingsbeleid. Royal Haskoning rapport 9T2050A0.
- Klijn F., Baan P., de Bruijn K., Kwadijk J., van Buuren R. (2007) Overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat. WL rapport Q4290.00
- RIVM en MNP (2004) *Risico's in bedijkte termen – een evaluatie van het beleid inzake de veiligheid tegen overstroming*. RIVM rapport 500799002
- TAW, 1985. Enkele gedachten aangaande een aanvaardbaar risiconiveau in Nederland. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.
- Vrijling, J.K., Van Hengel, W., Houben, R.J. (1998) Acceptable risk as a basis for design. *Reliability engineering and system safety*, 59: 141-150.