

# Methode voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een grootschalige overstroming

Onderbouwing van de slachtofferfuncties voor  
de Standaardmethode Schade en Slachtoffers  
als gevolg van overstromingen





# **Methode voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een grootschalige overstroming**



# Methode voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een grootschalige overstroming

Onderbouwing van de slachtofferfuncties voor de  
Standaardmethode Schade en Slachtoffers als  
gevolg van overstromingen

Mei 2004

---

## Colofon

**Uitgegeven door:** Dienst Weg- en Waterbouwkunde  
Postbus 5044  
2600 GA DELFT

**Informatie:** Bas Jonkman  
**Telefoon:** 015 2518 443  
**Fax:** 015 2518 568  
**Opmaak:** DWW

**Rapportnummer:** DWW-2004-042

# Inhoudsopgave

---

<b>Samenvatting</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Overzicht beschikbare gegevens slachtoffers in overstromingen</b> .....	<b>10</b>
2.1 Wereldwijde statistieken voor rivieroverstromingen, flash floods en wateroverlast .....	10
2.2 Kust overstromingen .....	12
2.3 Gedetailleerde gegevens buitenlandse overstromingen.....	13
2.4 Historische overstromingen in Nederland .....	15
2.5 Gegevens Watersnoodramp 1953 .....	17
2.5.1 Watersnood in Nederland .....	17
2.5.2 Watersnood 1953 in België.....	18
2.5.3 Watersnood 1953 in Engeland.....	18
2.6 Vergelijking verschillende typen informatie .....	19
<b>3 Factoren die het aantal slachtoffers bij een overstroming bepalen</b> .....	<b>21</b>
3.1 Inleiding en raamwerk .....	21
3.2 Keuze voor te gebruiken gegevens .....	23
<b>4 Beschikbare methoden voor inschatting van het aantal slachtoffers</b> .....	<b>24</b>
4.1 Overzicht bestaande slachtofferfuncties.....	24
4.2 Toetsing bestaande slachtofferfuncties .....	25
4.2.1 Methode van toetsing .....	25
4.2.2 Resultaten .....	26
<b>5 Voorgestelde methode voor inschatting van het aantal slachtoffers</b> .....	<b>28</b>
5.1 Inleiding en aanpak .....	28
5.1.1 Slachtoffers door snel stijgend water.....	29
5.1.2 Slachtoffers door grote stroomsnelheden .....	30
5.1.3 Slachtoffers door overige oorzaken .....	31
5.1.4 Statische onzekerheden in de afgeleide slachtofferfuncties.....	31
5.2 Overzicht voorgestelde slachtofferfuncties.....	32
5.3 Discussie en toepasbaarheid slachtofferfuncties .....	33
<b>6 Toepassing van de methode voor grove inschatting van het aantal slachtoffers</b> .....	<b>36</b>
6.1 Aanpak globale slachtofferberekening .....	36
6.1.1 Beschrijving gebied en overstromingsverloop .....	36
6.1.2 Bepaling van het aantal aanwezigen in het gebied .....	38
6.1.3 Bepaling van het aantal slachtoffers.....	40
6.2 Case study: Toepassing grove methode voor dijkkring 36 .....	42

---

6.2.1	Beschrijving dijkkring 36 en overstromingsverloop .....	42
6.2.2	Bepaling van het aantal aanwezigen in het gebied .....	46
6.2.3	Bepaling van het aantal slachtoffers .....	46
6.3	Discussie .....	48
<b>7</b>	<b>Slotopmerkingen .....</b>	<b>50</b>
7.1	Conclusies .....	50
7.2	Aanbevelingen en vervolgonderzoek .....	51
<b>8</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>54</b>
	Bijlage 1: Definities van veelgebruikte termen .....	56
	Bijlage 2: Beschikbare gegevens Watersnood 1953 .....	57
	Bijlage 3: Overzicht slachtoffermodellen .....	59
	Bijlage 4: Toetsing van bestaande slachtofferfuncties .....	70
	Bijlage 5: Verband tussen waterdiepte en stijgsnelheid .....	73
	Bijlage 6: Afleiding statistische onzekerheid in slachtofferfuncties .....	74
	Bijlage 7: Bresdebieten, afmetingen en het effectgebied nabij de bres .....	77
	Bijlage 8: Onderscheiden komen in dijkkring 36 .....	81

# Samenvatting

---

In het kader van het onderzoek naar gevolgen van overstromingen bij de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) en het project Veiligheid van Nederland in Kaart (VNK) is onderzoek gedaan naar slachtoffers bij overstromingen. Doel van dit rapport is het beschrijven en onderbouwen van de methode ter inschatting van het aantal slachtoffers bij een grootschalige overstroming van een dijkgebied in Nederland. De ontwikkelde methode voor inschatting van het aantal slachtoffers is geïmplementeerd in de Schade en Slachtoffermodule van het Hoogwater Informatie Systeem (HIS).

In het rapport komen een aantal onderwerpen aan de orde die in onderstaande vragen zijn geformuleerd.

*Welke typen gegevens zijn beschikbaar m.b.t. slachtoffers bij overstromingen?*

In het rapport is een overzicht gegeven van de beschikbare gegevens m.b.t. slachtoffers ten gevolge van overstromingen. Het betreft wereldwijde statistieken van zoetwater en kust overstromingen, gedetailleerde gegevens van buitenlandse overstromingen en enkele gegevens omtrent historische overstromingen in Nederland. Tenslotte is een overzicht van beschikbare gegevens voor de watersnoodramp van 1953.

*Welke factoren spelen een rol bij de inschatting van het aantal slachtoffers ten gevolge van overstromingen?*

Een raamwerk is gepresenteerd waarin de verschillende factoren die het aantal slachtoffers beïnvloeden zijn aangegeven. Het aantal slachtoffers bij een overstroming is in te schatten op basis van de overstromingskenmerken en de mogelijkheden voor waarschuwing en evacuatie. Met behulp van zogenaamde slachtofferfuncties is een inschatting te maken van het percentage slachtoffers als functie van lokale overstromingskenmerken.

*Welke methoden zijn beschikbaar om slachtoffers ten gevolge van grootschalige overstromingen in te schatten, en hoe wordt de kwaliteit hiervan beoordeeld?*

Een overzicht is gegeven van de bestaande methoden voor inschatting van het aantal slachtoffers voor overstromingen in Nederland. Deze methoden zijn vergeleken met de beschikbare gegevens m.b.t. slachtoffers bij de Watersnoodramp van 1953. De relaties tussen de gegevens van de watersnoodramp van 1953 en de gebruikte slachtofferfuncties konden op basis van de beschikbare gegevens niet allemaal gereproduceerd worden. Deze bevindingen tonen aan dat het nodig is om verbeterde slachtofferfuncties af te leiden op basis van de beschikbare gegevens.

*Kan op basis van de beschikbare gegevens een verbeterde methode worden afgeleid?*

Op basis van de gegevens van de Watersnoodramp van 1953 is een model ontwikkeld om het aantal slachtoffers in te schatten als functie van de overstromingskenmerken. De volgende oorzaken zijn onderscheiden: slachtoffers nabij de bres, slachtoffers door snel stijgend water, en

slachtoffers door overige oorzaken. Op basis van de beschikbare gegevens zijn voor deze drie zones slachtofferfuncties afgeleid.

*Hoe kunnen de ontwikkelde slachtofferfuncties worden toegepast om te komen tot een eerste grove inschatting van het aantal slachtoffers bij een overstroming?*

Aangegeven is hoe de ontwikkelde slachtofferfuncties zijn toe te passen om te komen tot een grove inschatting van het aantal slachtoffers. Deze methode houdt onder andere rekening met de omvang van het overstroomde gebied, het aantal hierin aanwezige personen, de kenmerken van de overstroming en mogelijke doodsoorzaken.

Een case studie is uitgevoerd voor dijkkring 36 "Land van Heusden / de Maaskant. Hierbij is een conservatieve berekening uitgevoerd voor een doorbraak bij de gemeente Oijen. De resultaten van de case kunnen als conservatief worden beschouwd omdat nog geen rekening is gehouden met evacuatie vooraf en de vluchtmogelijkheden na de dijkdoorbraak.

Tot slot zijn enige aanbevelingen gedaan. De belangrijkste aanbevelingen betreffen de onderbouwing van de slachtofferfuncties, de analyse van evacuatie en vluchten, het gebruik van overstromingssimulaties en de toepassing van de methode in risico berekeningen.



# 1 Inleiding

---

## **Inleiding**

In de afgelopen 10 jaar zijn overstromingen doodsoorzaak nummer één wat betreft het aantal slachtoffers van natuurrampen (zoals bijvoorbeeld aardbevingen en orkanen). Tussen 1975 en 2001 werden wereldwijd meer dan 2 miljard mensen door overstromingen getroffen. Hierbij kwamen meer dan 175.000 mensen om (bron: OFDA / CRED International Disaster Database).

In een groot deel van Nederland kunnen grootschalige overstromingen optreden, waarbij slachtoffers kunnen vallen. In 1953 zijn tijdens de watersnoodramp in Zuid-West Nederland meer dan 1800 slachtoffers gevallen. Met de toename van de bevolking sinds 1953 zijn grotere aantallen slachtoffers niet uitgesloten. In dit rapport wordt onder een grootschalige overstroming verstaan: overstroming van een dijkkringgebied waarbij (een deel van de) primaire waterkering bezweken is.

Bij de beveiliging van Nederland tegen overstromingen staat de vermindering van de kans op het verlies van mensenlevens en schade aan goederen centraal (Vellinga, 2003). Om een goede afweging te maken met betrekking tot het maatschappelijk gewenst beveiligingsniveau tegen overstromingen is het nodig om inzicht te hebben in de mogelijke gevolgen van een overstroming. Een van de belangrijkste gevolgen, leidend tot de grootste maatschappelijke ontwrichting, betreft (dodelijke) slachtoffers. Door de gevolgschatting te combineren met de kans op overstroming kan uiteindelijk de kans op een bepaald aantal slachtoffers worden bepaald in een zogenaamde risicobenadering. Op deze wijze kan een vergelijking worden gemaakt tussen de overstromingsrisico's en de omvang van risico's op andere beleidsterreinen, namelijk die binnen het externe veiligheidsbeleid<sup>1</sup>. Op deze terreinen is het gebruikelijk om risico's uit te drukken als de kans op het aantal slachtoffers (of afgeleide risicomaten). Meer inzicht in het mogelijk aantal slachtoffers bij overstromingen kan ook leiden tot een betere afweging van mogelijke maatregelen om slachtoffers te voorkomen, bv. op het gebied van rampenbestrijding. Uiteindelijk kunnen de investeringen hierin worden afgewogen tegen de reductie van risiconiveaus.

## **Doelstelling en toepassingsgebied**

Hoofddoelstelling van dit rapport is het beschrijven en onderbouwen van de methode ter inschatting van het aantal slachtoffers bij een grootschalige overstroming. Meer specifiek komen de volgende vragen aan de orde:

- Welke typen gegevens zijn beschikbaar m.b.t. slachtoffers bij overstromingen?
- Welke factoren spelen een rol bij de inschatting van het aantal slachtoffers ten gevolge van overstroming?

---

<sup>1</sup> 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.

- Welke methoden zijn beschikbaar om slachtoffers ten gevolge van grootschalige overstromingen in te schatten, en hoe wordt de kwaliteit hiervan beoordeeld?
- Kan op basis van de beschikbare gegevens een verbeterde methode worden afgeleid?
- Hoe kan de ontwikkelde methode worden toegepast in een eerste grove inschatting van het aantal slachtoffers bij een overstroming?

Deze rapportage richt zich op de bovengenoemde vragen. Een volledige beschrijving van de toepassing van de methode in risico berekeningen zal in toekomstige rapportages worden gegeven.

Deze studie vormt de basis voor implementatie van de methode in de 'Standaardmethode Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen'. De ontwikkelde methode voor inschatting van het aantal slachtoffers (met behulp van de zogenaamde slachtofferfuncties, zie hoofdstuk 3) zal worden geïmplementeerd in de Schade en Slachtoffermodule van het Hoogwater Informatie Systeem (HIS). Deze Schade en Slachtoffermodule wordt onder andere toegepast in het onderzoeksproject "Veiligheid Nederland in Kaart" (VNK).

### **Opbouw**

In de hoofdstukken van dit rapport is geprobeerd bovengenoemde vragen te beantwoorden. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de beschikbare gegevens met betrekking tot slachtoffers bij overstromingen, zowel internationaal als in Nederland. Vervolgens is in hoofdstuk 3 aangegeven welke factoren een rol spelen bij inschatting van het aantal slachtoffers bij overstroming. In hoofdstuk 4 zijn de beschikbare methoden voor inschatting van het aantal slachtoffers geëvalueerd. In hoofdstuk 5 wordt beschreven hoe op basis de van beschikbare gegevens een verbeterde methode is af te leiden. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de toepassing van de methode voor slachtoffer inschattingen, onder meer in een case studie. In hoofdstuk 7 worden slotopmerkingen en aanbevelingen geformuleerd. Een verklaring van in dit rapport veel gebruikte termen en uitdrukkingen is gegeven in bijlage 1.

## 2 Overzicht beschikbare gegevens slachtoffers in overstromingen

---

*“Welke typen gegevens zijn beschikbaar m.b.t. slachtoffers bij overstromingen?”*

In dit hoofdstuk zijn de beschikbare gegevens m.b.t. slachtoffers bij overstromingen besproken. Achtereenvolgens komen aan de orde: de wereldwijde statistieken voor “zoetwater” - (2.1) en kustoverstromingen (2.2). Vervolgens is ingegaan op gedetailleerde gegevens m.b.t. buitenlandse overstromingen (2.3) en enkele gegevens omtrent overstromingen in de Nederlandse historie (2.4). Sectie 2.5 geeft een overzicht van beschikbare gegevens voor de watersnoodramp van 1953. In sectie 2.6 is de toepasbaarheid van deze gegevens voor de ontwikkeling van slachtofferfuncties besproken.

### 2.1 Wereldwijde statistieken voor rivieroverstromingen, flash floods en wateroverlast

De OFDA / CRED International Disaster Database (EM-DAT) bevat gegevens over circa 13.000 wereldwijde rampen die zijn opgetreden vanaf 1900. In een studie (Jonkman, 2003) zijn de gegevens met betrekking tot overstromingen geanalyseerd voor de periode januari 1975 tot juni 2002. In deze periode kwamen bij 1816 gerapporteerde overstromingen meer dan 175.000 personen om en werden meer dan 2,2 miljard mensen getroffen<sup>2</sup> door een overstroming. Deze statistieken laten de enorme impact zien die overstromingen wereldwijd hebben. Mortaliteit is gedefinieerd als het aantal doden gedeeld door het aantal getroffen personen in een gebied. Over alle overstromingen in de beschouwde dataset bedraagt de gemiddelde mortaliteit 1,14%.

In deze studie zijn drie typen overstromingen onderscheiden:

- Drainage problems / wateroverlast: veroorzaakt door overmatige regenval die niet verwerkt kan worden door de drainage systemen. Leidt tot beperkte waterdieptes en veroorzaakt daardoor een beperkt gevaar voor slachtoffers.
- Flash floods: Treden op na overvloedige regenval en leiden tot een zeer snelle stijging van waterstanden. De tijd voor voorspelling is over het algemeen zeer beperkt. Ze kunnen daardoor leiden tot gevaarlijke situaties voor de aanwezige personen. Over het algemeen treden flash floods op in bergachtige gebieden.
- Rivier overstromingen: Veroorzaakt door het buiten de oevers treden van de rivier, vaak t.g.v. het bezwijken van rivierdijken. Over het

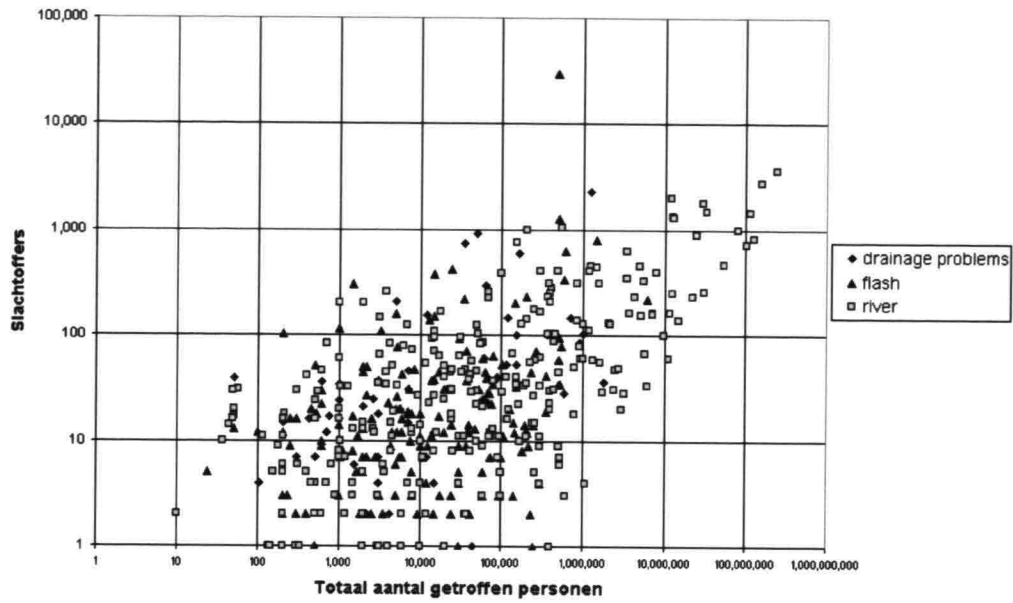
---

<sup>2</sup> Het aantal getroffen personen is in EM-DAT gedefinieerd als: “People requiring immediate assistance during a period of emergency, i.e. requiring basic survival needs such as food, water, shelter, sanitation and immediate medical assistance.” ([www.cred.be](http://www.cred.be)). Daarnaast omvat het ook het aantal gewonden en dakloze personen.

algemeen zijn er bij rivier overstromingen mogelijkheden om deze vooraf te voorspellen.

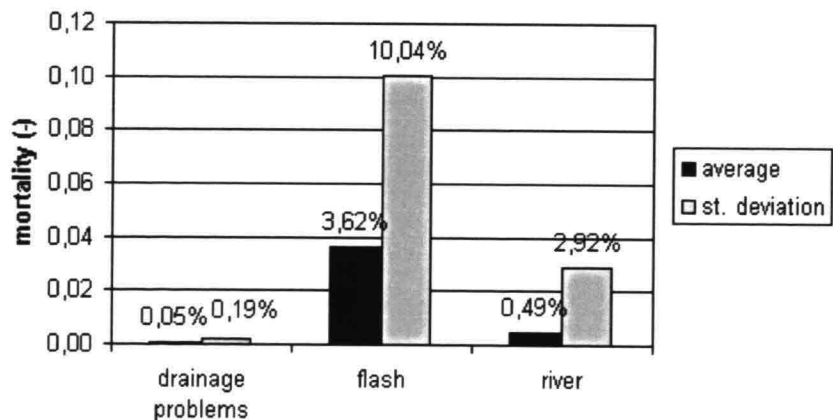
In deze statistische analyse zijn kust overstromingen niet meegenomen, aangezien de gegevens over deze overstromingen zijn verspreid over verschillende "ramptypen" in EM-DAT, zoals stormen en tsunami's. Enkele beschikbare gegevens voor kustoverstromingen zijn opgenomen in sectie 2.2.

In figuur 2-1 zijn de overstromingen met meer dan 0 doden naar de drie typen overstromingen uitgezet. Op de horizontale as staat het aantal getroffen personen, op de verticale as het aantal doden.



Figuur 2-1: Aantal slachtoffers en getroffen personen per overstroming, gecategoriseerd naar type

Figuur 2-1 laat zien dat met name rivieroverstromingen veel mensen treffen, en dat veel van de kleinere overstromingen flash floods zijn. Als de gemiddelde mortaliteit per overstroming wordt beschouwd kunnen verschillen tussen de typen worden gesignaleerd, zie figuur 2-2.



Figuur 2-2: Mortaliteit per overstroming naar type: gemiddelde en standaardafwijking

Opgemerkt wordt dat de mortaliteit per overstromingstype grote variatie laat zien. Drainage problemen resulteren in een lage gemiddelde

mortaliteit. De gemiddelde mortaliteit voor rivieroverstromingen is relatief laag (0,49%), maar rivieroverstromingen treffen vaak grote aantallen mensen. Flash floods resulteren in de hoogste mortaliteit per overstroming: 3,6%. Hoewel flash floods in het algemeen weinig mensen treffen in vergelijking met andere typen overstromingen, kunnen ze als het meest dodelijke type overstroming worden beschouwd. Hierbij speelt het een belangrijke rol dat flash floods veelal onverwachts optreden zodat geen evacuatie mogelijk is.

Geen significante verschillen in mortaliteit per gebeurtenis worden gevonden tussen de verschillende continenten. Uit de concept studie (Jonkman, 2003) blijkt dat grotere verschillen zijn aan te wijzen als de mortaliteit wordt beschouwd voor de 17 regio's die zijn gedefinieerd in EM-DAT. Dit is te verklaren uit het feit dat in bepaalde regio's relatief veel overstromingen met hoge mortaliteit zijn voorgekomen. Met de beschikbare gegevens kan er echter geen relatie tussen de gemiddelde mortaliteit per overstroming en de sociaal economische ontwikkeling van de regio worden aangetoond.

Vervolgens zijn de resultaten geanalyseerd voor de combinatie van locatie en overstromingstype. Rivieroverstromingen in Azië zijn het meest significant in termen van het aantal slachtoffers en getroffen personen. In de beschouwde dataset veroorzaakten zij 40% van het totaal aantal doden, en voor maar liefst 96% van het aantal getroffen personen. Ook flash floods in Zuid Amerika dragen substantieel bij aan het totale aantal slachtoffers. De statistieken voor deze groep worden echter gedomineerd door 1 overstroming in Venezuela in 1999 die zeer veel slachtoffers veroorzaakte, namelijk 30.000 van de 31.500 slachtoffers.

Uit een vergelijking met andere natuurrampen voor de beschouwde periode blijkt dat overstromingen met name van belang zijn wat betreft het aantal getroffen personen. Overstromingen troffen 50% van alle personen betrokken bij natuurrampen. Daarnaast waren overstromingen het meest frequent voorkomende ramptype voor natuurrampen met tussen de 1 en 1000 doden per gebeurtenis.

## **2.2 Kust overstromingen**

In de beschikbare statistieken van wereldwijde overstromingen in EM-DAT zijn geen gegevens over kustoverstromingen opgenomen (de meeste kustoverstromingen zijn als storm gecategoriseerd). Voor enkele kustoverstromingen zijn de beschikbare gegevens opgenomen in tabel 2-1.

Tabel 2-1: Overzicht van enkele kust overstromingen (bron: EM-DAT)

Datum	Locatie	Oorzaak	Slachtoffers	Getroffen personen
12 November 1970	Bangladesh	Tropical cyclone.	300.000	
30 April 1991	Bangladesh	Tropical cyclone.	139.000	4.500.000
End of October 1998	Central America	Tropical cyclone.	19.000	
12 November 1977	India, southern	Tropical cyclone.	14.000	9.000.000
25 May 1985	Bangladesh	Tropical cyclone.	10.000	1.800.000
29 October 1999	India, Orissa	Tropical cyclone.	9.800	12.600.000
18 September 1974	Honduras	Tropical cyclone.	8.000	
26 September 1959	Japan, Ise Bay	Typhoon	5.101	430.000
1 February 1953	Nederland, Zuidwesten	Zuidwester Storm	1.836	250.000
1 February 1953	Engeland, Oostkust			32.000

De gegevens in de tabel laten zien dat kustoverstromingen tot enorme aantallen slachtoffers kunnen leiden. Met name in ontwikkelingslanden komen enorme dodenaantallen voor. Opgemerkt moet worden dat er vooral voor deze gebieden grote spreiding zit in de schattingen voor het aantal doden. Bijvoorbeeld voor de overstromingen in Bangladesh varieert de schatting van het aantal doden tussen de 67.000 en 139.000 doden (Chowdhury, 1993). In het geval van Bangladesh heeft de ontwikkeling van waarschuwingssystemen het aantal slachtoffers door de tijd doen afnemen.

Het aantal doden bij kustoverstromingen is zeer groot en overstijgt het totaal aantal slachtoffers bij "zoetwater" overstromingen ruimschoots. Daarom wordt aanbevolen in vervolgonderzoek kust overstromingen ook op te nemen in de wereldwijde statistieken in EM-DAT. Een verdere vergelijking met de andere typen informatie en de daarbij gevonden mortaliteit is gegeven in sectie 2.6.

### 2.3 Gedetailleerde gegevens buitenlandse overstromingen

In verschillende bronnen, veelal in medische literatuur, is informatie te vinden over de slachtoffers veroorzaakt door overstromingen. Hierin worden vaak per individueel slachtoffer de omstandigheden, persoonskenmerken en doodsoorzaken beschreven. Enkele voorbeelden van overstromingen waarvoor dergelijke gegevens beschikbaar zijn: rivieroverstromingen in de Elbe in 2002, overstromingen in Tsjechië in 2002, overstromingen van de Oder in 1997 en overstromingen na Hurricane Floyd in de Verenigde Staten in 1999. In lopend onderzoek worden deze

bronnen geanalyseerd (Jonkman and Kelman, 2004)<sup>3</sup>. Doel van dit onderzoek is het verkrijgen van inzicht in de belangrijkste oorzaken van slachtoffers bij overstromingen en de factoren die hierbij van invloed zijn. In deze paragraaf wordt volstaan met het kort weergeven van enkele voorlopige bevindingen.

Een belangrijke doodsoorzaak betreft verdrinking van personen die in het water terecht komen. Ook uit proeven, zie bijvoorbeeld (Abt et al., 1992), blijkt dat personen bij zeer beperkte waterdieptes en stroomsnelheden hun stabiliteit kunnen verliezen<sup>4</sup>. Een ander belangrijk deel van de slachtoffers wordt veroorzaakt door personen die in een auto te water raken. Analyses van doden bij flash floods in de Verenigde Staten laten zien dat circa 50% van de doden "car-related" is (French, 1983). Een andere doodsoorzaak betreft het instorten van gebouwen. Additionele risico's hangen samen met het redden van personen in het overstroomde gebied. In meerdere gevallen waren er ook doden te betreuren onder de reddingsdiensten of onder niet professionele redders.

Uit de statistieken voor relatief kleinschalige overstromingen (< 30 doden) in Europa en de VS blijkt dat de meeste doden bij overstromingen mannen betreffen (vaak circa 70%). Dit is deels te verklaren uit het feit dat mannen eerder geneigd zijn riskant gedrag te vertonen in crisis situaties. In een rapport van de World Health Organisation (WHO, 2002) wordt ingeschat dat 40% van de doden in Europese overstromingen samenhangt met riskant gedrag. Dit beeld wordt ook bevestigd bij nadere bestudering van de doodsoorzaken bij de overstromingen van 2002 in Duitsland en Tsjechië. Een deel van de slachtoffers betrof personen die het water ingingen om onbelangrijke zaken (was of brandhout) op te halen, of zelfs mensen die tijdens de overstromingen op de rivier gingen kanoën. Daarnaast kunnen ook indirecte oorzaken, zoals het optreden van hartaanvallen tijdens evacuatie en elektrocutie bij terugkeer in de woning bijdragen aan het dodental. Hartproblemen tijdens de evacuatie treden met name op bij ouderen. Tot slot blijkt dat overstromingen ook op langere termijn de gezondheid en sterfte onder de getroffen bevolking kunnen beïnvloeden, zoals is aangetoond door Bennet (1970), in een onderzoek naar de gezondheidseffecten van de overstromingen van Bristol in 1968. Uit deze studie bleek dat in de periode na de overstroming het aantal psychische klachten, kankergevallen en de sterfte onder de bevolking toenamen.

Verwacht wordt dat bovenstaande bevindingen alleen representatief zijn voor relatief kleinschalige en voorspelbare overstromingen in Europa en de VS. Bijvoorbeeld, bij de Watersnoodramp van 1953 bleek geen oververtegenwoordiging van mannelijke slachtoffers. Andere soorten overstromingen (grootschaliger en meer onverwacht, andere locaties) zullen een ander beeld geven.

---

<sup>3</sup> Uitgevoerd in samenwerking met Ilan Kelman, CURBE, Universiteit Cambridge, zie <http://www.arct.cam.ac.uk/curbe/floods.html#fatalities> voor meer informatie over dit project

<sup>4</sup> Orde grootte van het product van waterdiepte en stroomsnelheid waarbij personen hun stabiliteit verliezen: 1 m<sup>2</sup>/s

## 2.4 Historische overstromingen in Nederland

Verschillende bronnen geven inzicht in het voorkomen van overstromingen in de Nederlandse historie. De meest uitgebreide bron is zonder enige twijfel de studie van Gottschalk (1971). Hieruit blijkt dat het aantal rivieroverstromingen in de 14<sup>e</sup>, 15<sup>e</sup> en 16<sup>e</sup> eeuw respectievelijk circa 40, 50, en 65 bedroeg. Het aantal rivieroverstromingen is in de daaropvolgende eeuwen afgenomen door voortgaande regulering. Enkele grote stormvloedrampen vanuit zee leidden tot enorme schade. Daarnaast hadden ze invloed op het landschap. De Biesbosch is ontstaan bij de tweede Sint Elizabethsvloed in 1421. Een overzicht van enkele kenmerkende overstromingen is opgenomen in tabel 2-2.



Tabel 2-2: Overzicht van enkele historische overstromingen in Nederland

jaar	Naam	overstroomd gebied	Oorsprong	Slachtoffers	Bron
838		kust, Frisia	stormvloed		www1
1228			stormvloed	100.000	Mitchell, 2003
1287	st. Luciovloed	Waddenzee	stormvloed	50.000	Mitchell, 2003
1404	1e st. Elisabethsvloed	Vlaanderen en Zeeland	stormvloed		www1
1421	st. Elisabethsvloed	Zuidwest Nederland	stormvloed	10.000 - en	Slager, 1992
1530	st. Felixvloed	Zeeland	stormvloed	meer dan 100.000	Slager, 1992
1570	Allerheiligenvloed	hele kust NL: Zeeuwse eilanden, Friesland	stormvloed	20.000	Van der Heijden, 2003
1686	st. Maartensvloed	Noord Nederland	stormvloed	1558	www2
1717		Westelijke kust	stormvloed	11.000	Mitchell, 2003
1784		Betuwe, Tielerwaard, Maas en Waal. Ooijpolder	Rivier	10 tot 20	Van der Ven, 1995
1809		rivierengebied: Ooijpolder tot Ablasserwaard	Rivier	275	Van der Ven, 1995
1855		o.a. Betuwe en Land van Maas en Waal	Rivier	13	Commissie Rivierdijken, 1977
1861		Bommelerwaard, Land van Maas en Waal	Rivier	37	Van der Ven, 1995
1880		Land van Heusden en Altena	Rivier	2	Commissie Rivierdijken, 1977
1916		Zuiderzee	stormvloed	15	www1
1926		Maas	Rivier	?	Commissie Rivierdijken, 1977
1953		Zuidwest Nederland	stormvloed	1836	

In de geraadpleegde bronnen valt de grote spreiding in het gerapporteerde aantal slachtoffers per gebeurtenis op. Voor de St. Elisabethsvloed van 1421 varieert het aantal gerapporteerde slachtoffers tussen de 10.000 en de 100.000. Uit de tabel blijkt dat met name overstromingen vanuit zee resulteerden in enorme aantallen slachtoffers. Het aantal dodelijke slachtoffers bij rivieroverstromingen in het verleden ligt veel lager dan voor overstromingen vanuit zee. Men was door het relatief vaak voorkomen van een rivieroverstroming meer gewend aan het overstromingsgevaar. Daarnaast woonden veel mensen op hogere gronden en terpen, en was er nog geen grootschalige bebouwing in de diepste delen van de polder. Een goed voorbeeld van "Leven met water".

Het is lastig bovenstaande gegevens te gebruiken voor een inschatting van het mogelijk aantal slachtoffers bij overstromingen in de huidige tijd. Verschillende ontwikkelingen hebben het gevaar van verlies van mensenlevens doen veranderen ten opzichte van het verleden. In de eerste plaats zijn de voorspellingsmethoden, en de alarmeringsmethoden sterk verbeterd. Daarnaast zijn evacuatie routes en -middelen talrijker en beter beschikbaar. Daar staan ook echter enkele nadelige ontwikkelingen tegenover: de moderne vormen van "ramptoerisme", onverstandig gedrag bij calamiteiten (buiten kijken als de sirene gaat), het onvoldoende bewustzijn van en ervaring hebben met calamiteiten, en de uitval van communicatie middelen bij calamiteiten. De commissie Rivierdijken (1977)

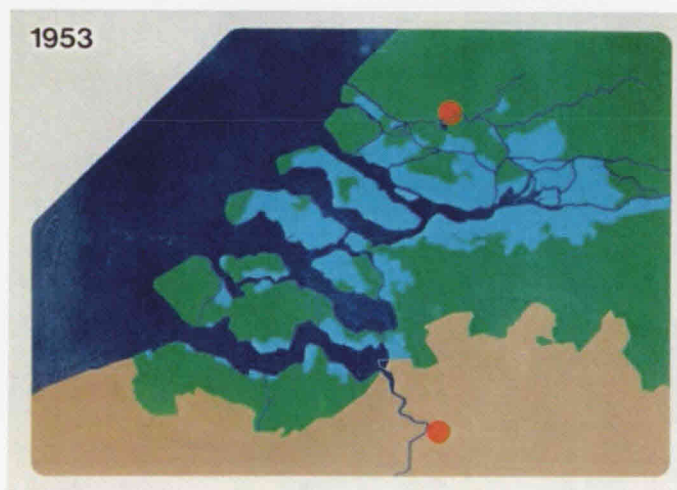
stelt dat "uit ervaringen in het verleden is gebleken dat overstromingen nimmer zonder het verlies aan mensenlevens plaatsvonden". Op basis van bovenstaande gegevens en overwegingen is door deze commissie het aantal slachtoffers bij een dijkdoorbraak in het rivierengebied ingeschat op een tot enkele tientallen. De auteurs van dit rapport zijn van mening dat echter niet zonder meer uitgegaan mag worden van een beperkt aantal slachtoffers bij rivieroverstromingen, aangezien ook onverwachte rivieroverstromingen kunnen leiden tot veel slachtoffers.

## 2.5 Gegevens Watersnoodramp 1953

De storm die begin februari 1953 het Noordzee gebied trof veroorzaakte in Nederland, België en Engeland overstromingen. De gebeurtenissen zijn relatief goed gedocumenteerd. Relevante informatie met betrekking tot slachtoffers wordt in de onderstaande paragrafen besproken.

### 2.5.1 Watersnood in Nederland

Begin februari 1953 resulteerde een combinatie van de noordwesterstorm in het Noordzee gebied gecombineerd met springtij in overstromingen van grote delen van het Zuidwesten van Nederland, zie figuur 2-3. De ramp veroorzaakte enorme economische schade en circa 1835 slachtoffers. Circa 250.000 mensen woonden in het getroffen gebied. Meer dan 47.000 stuks vee en 140.000 stuks pluimvee kwamen om in het water. Er werden 3000 woningen en 300 boerderijen verwoest en meer dan 40.000 woningen en 3000 boerderijen beschadigd. Bijna 200.000 hectare grond kwam onder water te staan. De totale materiële schade werd geschat op ruim anderhalf miljard gulden. (Bron: [www.delta2003.nl](http://www.delta2003.nl))



Figuur 2-3: Overstroomd gebied tijdens de Watersnood in 1953

Gegevens m.b.t. de slachtoffers van de Watersnood in Nederland in 1953 zijn onder andere verzameld door Waarts (1992) en Duiser (1989). In beide rapporten zijn uit beschikbare gedenkboeken en rapporten gegevens betreffende aantallen slachtoffers en inwoners en lokale hydraulische omstandigheden verzameld. In totaal zijn voor 64 locaties gegevens over slachtoffers bekend, in totaal voor 1726 slachtoffers. Een locatie is gedefinieerd als een gebied waarvoor overstromingskenmerken (waterdiepte, stijgsnelheid, etc.) en het niveau van waarschuwing redelijk homogeen worden aangenomen. Locaties kunnen hele gemeenten zijn, maar voor enkele plaatsen is een onderscheid gemaakt tussen dorpskern en

buitenwijk. Voor 45 locaties zijn gegevens over slachtoffers en de opgetreden waterdiepte bekend. Voor 10 locaties zijn gegevens over slachtoffers, opgetreden waterdiepte en stijgsnelheid bekend. In het rapport van Waarts zijn daarnaast op basis van gedenkboeken verdrinkingsoorzaken onderscheiden. Onderscheid is gemaakt tussen verdrinkingen door hoge stroomsnelheid, door hoge stijgsnelheid en door overige oorzaken. De verdrinkingsaantallen zijn als volgt over deze oorzaken verdeeld.

Tabel 2-3: Slachtoffers van de Watersnoodramp 1953 geassocieerd naar oorzaak

Oorzaak	Aantal slachtoffers	Percentage van totaal
Hoge stijgsnelheden	1030	59,7%
Hoge stroomsnelheden	264	15,3%
Overige oorzaken	432	25,0%
Totaal	1726	

De beschikbare gegevens zijn weergegeven in de tabel in bijlage 2.

Het is lastig een inschatting te geven van de kwaliteit van de beschikbare gegevens. De slachtofferaantallen per gemeente uit Waarts en Duiser blijken over het algemeen redelijk overeen te komen met de gerapporteerde getallen op [www.delta2003.nl](http://www.delta2003.nl)<sup>5</sup>. De verdrinkingsoorzaken die zijn gerapporteerd zijn afgeleid op basis van kwalitatieve omschrijvingen uit gedenkboeken, en zijn dus deels het resultaat van een subjectieve inschatting. Slachtoffers zijn alleen onder een bepaalde oorzaak gerubriceerd als in de gedenkboeken expliciet melding is gemaakt van hoge stroom- of stijgsnelheden. Als er geen gegevens bekend waren zijn de slachtoffers onder "overige oorzaken" geplaatst. Het is dus mogelijk (en denkbaar) dat bij gebrek aan beschrijving van de situatie, bepaalde oorzaken niet zijn herkend. Het is echter in het kader van deze studie verder niet mogelijk om de juistheid van de gegevens na te gaan, daarom zijn de gegevens van Waarts en Duiser gebruikt.

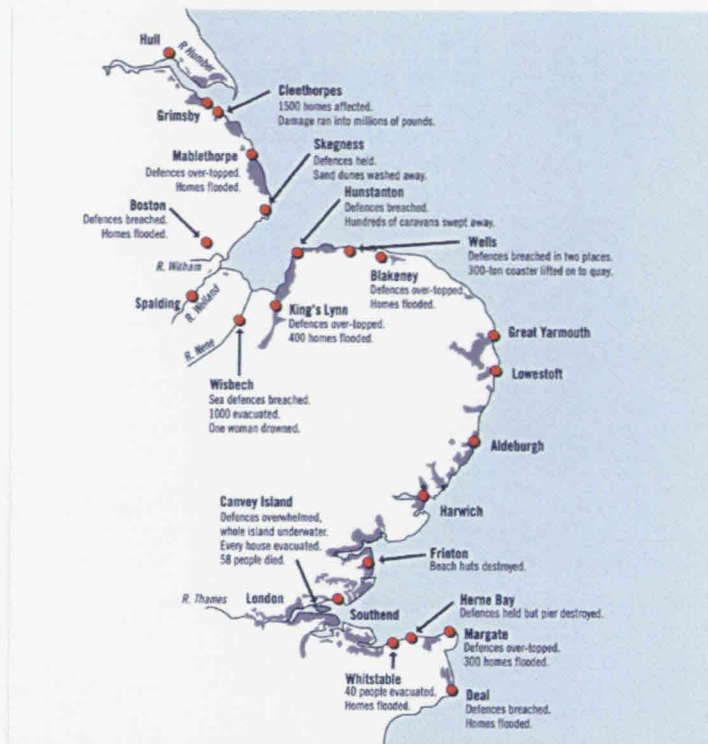
### 2.5.2 Watersnood 1953 in België

Ook in België leidde de stormvloed van 1953 tot overstromingen. Van de 66 km kust, werden 4,6 km ernstig beschadigd. In (Martens, 1953) staat vermeld dat in totaal 8 personen in het kustgebied zijn omgekomen, 7 in Oostende en 1 op zee. Van de 7 personen omgekomen in Oostende kwamen er 3 om in het stadscentrum, 2 door verdrinking en 1 door een hartaanval. De andere 4 personen verdronken toen hun woning in Sas Slijkens overstroomde. Andere bronnen geven slachtofferaantallen tussen de 10 en 22, zie (Gerritsen, 2003) voor een overzicht.

### 2.5.3 Watersnood 1953 in Engeland

Ook in Engeland veroorzaakte de Watersnood in 1953 schade en slachtoffers. De overstroomde gebieden zijn weergegeven in figuur 2-4.

<sup>5</sup> (zie CURBE factsheet nr. 7 voor een vergelijking van beide datasets, <http://www.arct.cam.ac.uk/curbe/infosheets.html>)



Figuur 2-4: Overstroomde gebieden in Engeland tijdens de Watersnoodramp in 1953 (bron: Environment Agency)

De volgende getallen geven een idee van de omvang van de ramp in Engeland: 32.000 personen werden geëvacueerd, 24.000 huizen werden beschadigd en 65.000 hectare landbouwgrond overstroomde. De economische schade is geschat op 50 miljoen pond. Het gerapporteerde dodental varieert tussen de 304 and 313 (Kelman, 2003). Daarnaast kwamen ongeveer 160 personen om op zee, waarvan 130 bij het zinken van de ferry Princess Victoria in de Irish Sea. Het hoge dodental kan deels verklaard worden door het onverwachte optreden van de overstromingen en het feit dat deze in het donker plaatsvond. Met name zijn veel mensen omgekomen in bungalowparken bij Felixstowe (39 doden) en Jaywick (37 doden). Deze, vlakbij het strand gelegen locaties, opgebouwd uit houten huizen werden bijna geheel weggespoeld. Ook op Canvey Island zijn door grotere overstromingsdieptes relatief veel mensen omgekomen (58 doden). Meer gegevens met betrekking tot de slachtoffers per locatie in Engeland zijn te vinden in (Kelman, 2003). In lopend onderzoek wordt geprobeerd de gegevens m.b.t. slachtoffers te relateren aan de opgetreden hydraulische omstandigheden.

## 2.6 Vergelijking verschillende typen informatie

Overstromingen treffen vaak grote gebieden, waardoor veel mensen huis en haard moeten verlaten. Uit de beschikbare wereldwijde en Nederlandse gegevens blijkt dat met name kust overstromingen tot enorme aantallen doden leiden. Uit de wereldwijde statistieken blijkt dat bij "zoetwater" overstromingen een relatief klein deel van de bevolking komt te overlijden, gemiddeld circa 1,14% van de bevolking.

In dit kader is het interessant een vergelijking te maken met de gegevens voor enkele kustoverstromingen. In tabel 2-4 is voor een aantal kust

overstromingen het aantal slachtoffers als fractie van de getroffen bevolking aangegeven.

Tabel 2-4: Vergelijking voor de gegevens voor enkele kust overstromingen

Date	Locatie	Oorzaak	Slachtoffers	Getroffenen	Mortaliteit
30-Apr-91	Bangladesh	Tropical cyclone.	139.000	4.500.000	3.09%
12-Nov-77	India, southern	Tropical cyclone.	14.000	9.000.000	0.16%
25-May-85	Bangladesh	Tropical cyclone.	10.000	1.800.000	0.56%
29-Oct-99	India, Orissa	Tropical cyclone.	9800	12.600.000	0.08%
26-Sep-59	Japan, Ise Bay	Typhoon	5101	430.000	1.19%
01-Feb-53	Nederland, Zuidwesten	Zuidwester Storm	1836	250.000	0.73%
01-Feb-53	Engeland, Oostkust		315	32.000	0.98%

Uit de tabel blijkt dat de mortaliteit voor veel van de kustoverstromingen in dezelfde orde grootte ligt. Voor de twee cyclonen in India is onduidelijk hoe het aantal getroffen is vastgesteld. Voor de overstromingen in Bangladesh in 1991 is reeds opgemerkt dat in (Chowdhury, 1993) het aantal slachtoffers op 67.000 wordt geschat, waarmee de mortaliteit op 1,5% komt. Voor de overstromingen van 1953 blijkt, hoewel er lokaal veel grotere verdrinkingsfracties worden gevonden, het totaal aantal slachtoffers voor beide gebieden rond de 1% te liggen. Als zodanig komen de hierboven gevonden getallen ook redelijk overeen met het gemiddelde dat is gevonden in de analyse van wereldwijde "zoetwater" overstromingen. Op basis van deze gegevens is als eerste zeer grove vuistregel te hanteren dat bij overstromingen circa 1% van de getroffen bevolking zal omkomen.

# 3 Factoren die het aantal slachtoffers bij een overstroming bepalen

---

## 3.1 Inleiding en raamwerk

Uit het vorige hoofdstuk komt het beeld naar voren dat bij onverwachte en snel stijgende overstromingen, bv. flash floods, de mortaliteit relatief hoger is dan bij rivieroverstromingen. Ook de onverwachte overstromingen in 1953 in Nederland en Engeland laten dit beeld zien: hierbij vielen er lokaal erg veel doden. Met name onverwachte overstromingen met snel stijgend water kunnen dus tot catastrofale gevolgen leiden.

Over het algemeen zullen rivieroverstromingen beter voorspelbaar zijn en daardoor leiden tot minder slachtoffers. Er mag echter niet zonder meer van een beperkt aantal slachtoffers bij rivieroverstromingen worden uitgegaan. Een onverwachte rivieroverstroming van een diep gelegen polder zonder veel mogelijkheden voor evacuatie kan leiden tot veel slachtoffers. Daarnaast kunnen bij grootschalige evacuaties files ontstaan in diep gelegen plaatsen in het bedreigde gebied. Ook zijn er in het verleden duizenden doden gevallen bij rivieroverstromingen in China.

Over het algemeen blijkt het percentage van de bevolking dat komt te overlijden zeer sterk afhankelijk te zijn van de overstromingskenmerken, en de mogelijkheden voor waarschuwing en evacuatie. Bij het inschatten van het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming zijn dus de volgende drie hoofdonderdelen te onderscheiden:

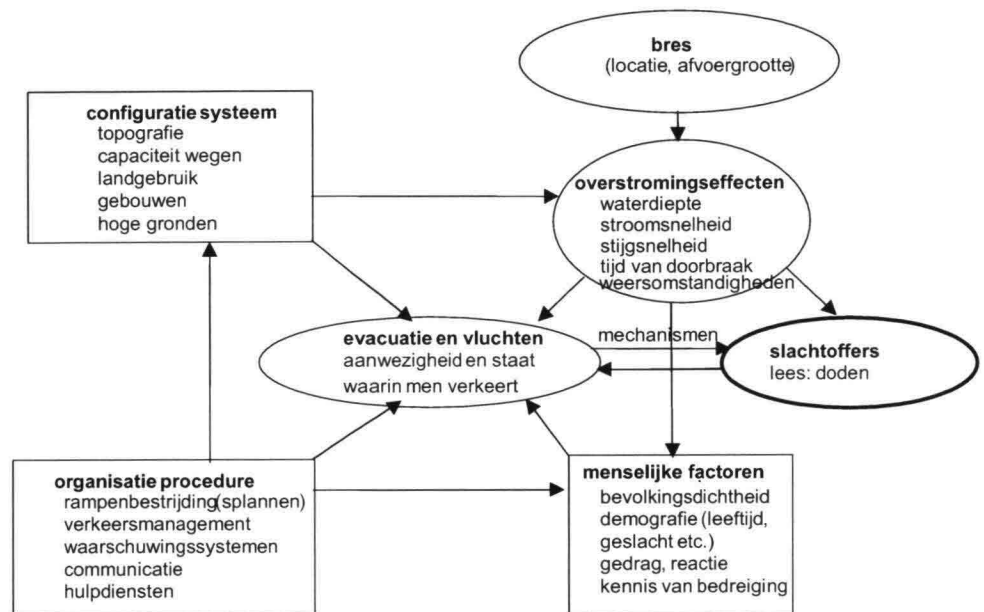
1. Het overstromingsverloop: hierbij gaat het om de hydraulische effecten van de overstroming
2. Verloop van evacuatie en vlucht: aanwezigheid van personen in het gebied en de mogelijkheid om voor de overstroming het gebied te verlaten (preventieve evacuatie), of om na aanvang van de overstroming te vluchten.
3. Inschatting van het aantal slachtoffers: vervolgens kan als functie van overstromingskenmerken en lokale omstandigheden het aantal slachtoffers onder de aanwezigen worden geschat.

Bij uitwerking van deze stappen dient men rekening te houden met de eigenschappen van het systeem, waarin de overstroming optreedt. Hierbij is het systeem onder te verdelen in de configuratie van het fysieke systeem, de organisatie factoren, en menselijk factoren. In de figuur 3-1 zijn schematisch de verbanden tussen de systeem eigenschappen, het overstromingsverloop, de analyse van evacuatie en vluchten en de slachtoffer inschatting weergegeven.

Centraal in figuur 3-1 staan, in iets andere bewoordingen, de definitie van het overstromingsscenario (onder andere locatie en omvang), de fysische hydrodynamische effecten van het overstromingsscenario, de (maatschappelijke) reactie zoals bijvoorbeeld bij een mogelijke preventieve evacuatie. Al deze elementen worden gestuurd door de kenmerken van het

fysisch systeem (zoals bijvoorbeeld de grootte van het overstroomde gebied en de aanwezigheid van vluchtwegen), de kenmerken van het maatschappelijk systeem (zoals de aanwezigheid van een rampenbestrijdingsplan) en het gedrag van mensen tijdens de overstroming. De analyse van meer gedetailleerde gegevens voor recente overstromingen in Europa (sectie 2.3) laat bijvoorbeeld zien dat hierbij riskant gedrag een belangrijke rol heeft gespeeld in meerdere gevallen.

Bij het analyseren van het aantal slachtoffers dient men rekening te houden met de interacties tussen de verschillende factoren. Bijvoorbeeld tussen de overstromingsfactoren onderling: de stijgsnelheid van het water afhankelijk zijn van de stroomsnelheid en de overstromingsdiepte. Ook kan er een relatie zijn tussen overstromingsverloop en de configuratie van het systeem: de stijgsnelheid van het water wordt bijvoorbeeld (mede) bepaald door grootte en hoogteligging van het gebied (de kom).



*Figuur 3-1: Overzicht van de factoren die een rol spelen bij het optreden van slachtoffers bij overstromingen*

Het is binnen het kader van de ontwikkeling en toepassing van de HIS Schade en Slachtoffermodule voor het onderzoeksproject VNK niet mogelijk om alle factoren in detail in beeld te brengen die een rol spelen bij het optreden van slachtoffers bij overstromingen, deels vanwege gebrek aan kennis en deels wegens gebrek aan tijd en middelen.

Reeds in eerdere studies is ingegaan op de mogelijke overstromingseffecten en de simulatie hiervan, zie bv. de PICASO<sup>6</sup> studie (van Manen, 2002). Ook voor de beoordeling van preventieve evacuatie is een methode ontwikkeld (Barendregt, 2002).

De nadruk ligt in dit rapport met name op de derde stap: het inschatten van het aantal slachtoffers. Een methode is gepresenteerd waarin het aantal slachtoffers onder de aanwezige personen wordt ingeschat als functie van de overstromingskenmerken. Het is mogelijk om gebruik maken van zogenaamde dosis-effect relaties (die in allerhande terreinen van de risico-analyse worden toegepast) om het aantal slachtoffers te bepalen.

<sup>6</sup> PICASO staat voor Pilot Case Overstromingsrisico

Deze relaties geven het verband aan tussen de zogenaamde slachtofferfractie (= aantal slachtoffers gedeeld door de getroffen bevolking) en de fysische effecten (bijvoorbeeld de concentratie van een chemische stof of de waterdiepte). Deze relaties worden in het vervolg van het rapport aangeduid als **slachtofferfuncties**.

In het laatste hoofdstuk van dit rapport is globaal aangegeven hoe de ontwikkelde slachtofferfuncties zijn te combineren met de andere onderdelen (simulatie overstroming en evacuatie) om te komen tot een grove inschatting van het aantal slachtoffers.

### **3.2 Keuze voor te gebruiken gegevens**

Verschillende typen gegevens m.b.t. slachtoffers bij overstromingen zijn beschikbaar. Doel van deze studie is het ontwikkelen van een methode voor inschatting van het aantal slachtoffers die rekening houdt met zowel de lokale gebiedskenmerken als de kenmerken van de overstroming. Dit betekent dat er bij de afleiding van de slachtofferfunctie zowel gegevens m.b.t. de opgetreden slachtoffers als de hydraulische omstandigheden beschikbaar moeten zijn. De algemene analyse van wereldwijde overstromingsstatistieken (paragraaf 2.1 en 2.2) levert geen direct bruikbare kentallen op voor inschatting van het aantal slachtoffers in de Nederlandse situatie. De gepresenteerde waarden zijn gemiddelden over zeer veel overstromingen. Aantallen slachtoffers, getroffen en mortaliteit variëren sterk per gebeurtenis.

De gedetailleerde gegevens (paragraaf 2.3) gaan met name in op de oorzaken van overlijden ten tijde van de overstroming. In geen van deze gevallen is echter een relatie met de optredende hydraulische overstromingskenmerken gelegd. Hierdoor zijn dergelijke gegevens niet direct bruikbaar voor het ontwikkelen van een kwantitatief slachtoffermodel in deze studie.

Alleen voor de Watersnoodramp van 1953 in Nederland zijn gegevens beschikbaar waarmee het mogelijk is het aantal slachtoffers per locatie te relateren aan de kenmerken van de overstroming. Deze gegevens zijn daarom in de volgende hoofdstukken gebruikt om de bestaande slachtofferfuncties te toetsen en om nieuwe slachtofferfuncties af te leiden.



## 4 Beschikbare methoden voor inschatting van het aantal slachtoffers

---

*“Welke methoden zijn beschikbaar om slachtoffers ten gevolge van grootschalige overstromingen in te schatten, en hoe wordt de kwaliteit hiervan beoordeeld?”*

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de bestaande methoden voor inschatting van het aantal slachtoffers ten gevolge van overstroming (4.1). De kwaliteit van de methoden is beoordeeld door ze te toetsen aan de beschikbare gegevens voor slachtoffers bij de Watersnoodramp van 1953 (4.2).

### 4.1 Overzicht bestaande slachtofferfuncties

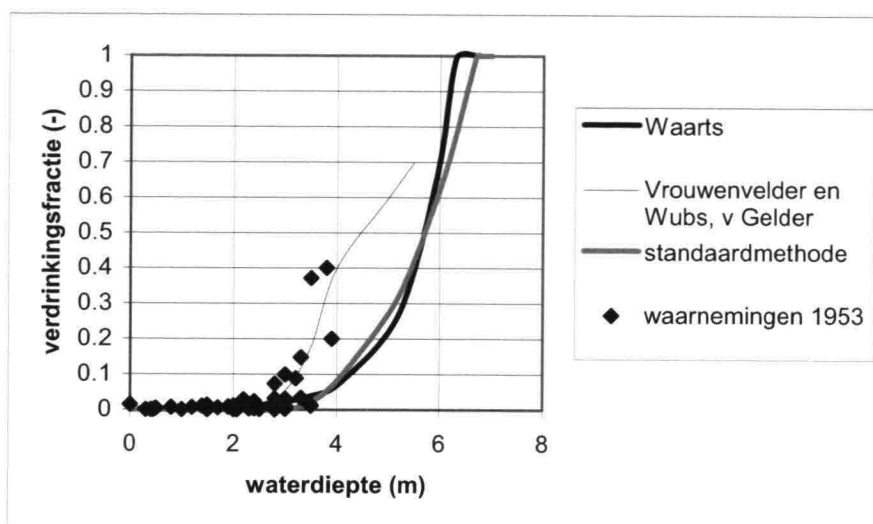
In de internationale literatuur zijn verschillende benaderingen voor slachtoffers bij verschillende typen overstromingen beschikbaar. Uit het overzicht van deze methoden (Jonkman et al., 2002), blijkt dat deze zich met name richten op de gevolgen van grootschalige stuwdambreuken. Daarnaast zijn enkele Japanse methoden beschikbaar om de gevolgen van tsunamis en typhoons in te schatten. Er bestaan grote verschillen tussen genoemde overstromingstypen en een “representatieve” Nederlandse kust- of rivieroverstroming, zowel qua overstromingseffecten als qua voorspelbaarheid. Het blijkt dan ook dat deze buitenlandse methoden ongeschikt zijn om slachtoffers in te schatten voor overstromingen in de Nederlandse situatie.

De verder analyse heeft zich daarom toegespitst op de slachtoffermodellen ontwikkeld in Nederland. De volgende bronnen zijn bestudeerd: (Duiser, 1989), (Waarts, 1992), (Vrouwenvelder, 1992), (Vrouwenvelder, 1994), (van Gelder, 1994), (Vrouwenvelder, 1997), (Vrisou van Eck, 1999), (Jonkman, 2001), (van Manen, 2001). Een meer uitgebreide beschrijving van alle bestudeerde modellen is opgenomen in bijlage 3. In de verdere beschouwing zijn de volgende modellen meegenomen:

- Het gedetailleerde model van Waarts (1992). In deze aanpak zijn verdrinkingen door grote stijgsnelheden, stroomsnelheden en overige oorzaken onderscheiden.
- De grove functie van Waarts (1992) waarin het percentage slachtoffers als functie van de optredende overstromingsdiepte wordt ingeschat.
- De functie van Vrouwenvelder en Wubs (1992), waarin het percentage slachtoffers in eengezinswoningen als functie van de optredende waterdiepte wordt bepaald.
- De functie van van Gelder en Kraak (1994). Deze is gebaseerd op de aanpak van Vrouwenvelder en Wubs. Hieraan is de invloed van de stijgsnelheid van het water toegevoegd.

- De functie geïmplementeerd in de HIS standaardmethode schade en slachtoffers t/m versie 2.0 (Vrisou van Eck, 1999). Het percentage slachtoffers wordt als functie van waterdiepte en stijgsnelheid bepaald.

In figuur 4-1 zijn de hierboven genoemde functies uitgezet, samen met de gerapporteerde verdrinkingsfracties opgetreden tijdens de Watersnoodramp. Omdat het gedetailleerde model van Waarts verschillende variabelen bevat, is deze niet uitgezet in de grafiek. Daarnaast is het verloop voor de functie van van Gelder en Kraak en voor de HIS standaardmethode (2.0) getekend voor maximaal optredende stijgsnelheid. In dit geval is de functie van van Gelder en Kraak gelijk aan de functie van Vrouwenvelder en Wubs.



Figuur 4-1: Vergelijking verschillende afgeleide slachtofferfuncties en de waarnemingen van de Watersnoodramp van 1953

Wat opvalt is dat de functies tot waterdieptes van 3 meter redelijk gelijk lopen, maar dat boven de 3 á 4m ze allemaal verschillende uitkomsten geven. Vanaf deze waarden zijn er geen gegevens beschikbaar en zijn de functies gebaseerd op extrapolatie.

## 4.2 Toetsing bestaande slachtofferfuncties

In deze paragraaf worden de bestaande slachtofferfuncties op basis van de beschikbare gegevens voor Nederland van de Watersnoodramp van 1953.

### 4.2.1 Methode van toetsing

#### Verdrinkingsfracties of -aantallen

Bij analyse van de bestaande functie en het afleiden van een methode voor slachtofferbepaling kan men verdrinkingsaantallen of fracties beschouwen. Het uiteindelijke verdrinkingsaantal zal afhankelijk zijn van lokale overstromingskenmerken en de gebiedsgegevens. Voor de situatie van 1953 kan voor de verschillende locaties met betrekking tot de gebiedskenmerken het volgende gesteld worden. De overstromingen kwamen onverwacht en er vond geen preventieve evacuatie plaats. Aspecten die betrekking hebben op organisatie en evacuatie kunnen voor alle locaties gelijk worden aangenomen. Verschillen in gebiedskenmerken

(topografie, hoogteligging) komen met name tot uiting in het overstromingsverloop. Daarnaast verschillen de inwoneraantallen voor de beschouwde locaties sterk. Het uiteindelijk aantal slachtoffers is dus afhankelijk van lokale hydraulische omstandigheden en het aantal inwoners.

De lokale omstandigheden zullen dus bepalen welke fractie van de aanwezige personen zal omkomen. Dit principe impliceert het volgende. Neem twee locaties waarbij de een tienmaal zoveel inwoners heeft. Bij exact gelijke lokale omstandigheden zullen in deze locatie ook tienmaal zoveel slachtoffers te verwachten zijn.

### Methode van toetsen/fitten

Vervolgens dient een keuze gemaakt te worden voor de te hanteren methode voor het toetsen van de bestaande functies en het afleiden van een nieuwe slachtofferfunctie. Gekozen is voor de kleinste kwadraten methode, een gebruikelijke aanpak in dergelijke analyses (zie ook bijlage 4 voor een verdere uitleg). In het geval van toetsing van bestaande functies wordt geanalyseerd welke afwijking wordt gevonden tussen de voorspelling met de functie en de geobserveerde waarden. Bij afleiding van een nieuwe functie wordt met de kleinste kwadraten methode een fit uitgevoerd naar verdrinkingsfracties. Hierbij wordt een functie die de verdrinkingsfractie als functie van de overstromingskenmerken aangeeft geoptimaliseerd zodanig dat de afwijking met de daadwerkelijke gerapporteerde verdrinkingsfractie minimaal is. Deze afwijking komt tot uitdrukking in de standaardafwijking. In formulevorm is de aanpak als volgt weergegeven.

$$\sigma(f) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f(h, c) - f_{obs,i})^2}{n}}$$

bepaal  $f(h, c)$  zodat  $\sigma(f)$  is minimaal

Waarin

$f(h, c)$  voorspelde verdrinkingsfractie als functie van hydraulische kenmerken ( $h$ ) en de constante( $n$ )  $c$

$f_{obs,i}$  geobserveerde verdrinkingsfractie

$\sigma$  standaard afwijking

$n$  aantal datapunten

### 4.2.2 Resultaten

Uit de inventarisatie blijkt dat de stappen in afleidingen van de functies niet altijd te herleiden zijn. Ook is onderzocht in hoeverre de beschikbare slachtofferfuncties een goede fit geven bij de beschikbare dataset van de Watersnoodramp. Dit is gedaan met een kleinste kwadraten analyse, waarin is onderzocht welke (standaard)afwijking de bestaande functies geven ten opzichte van de beschikbare dataset. De toetsing is uitgevoerd voor de twee deelverzamelingen van de beschikbare gegevens. De eerste deelverzameling is die van de 45 punten waarvoor verdrinkingsfractie en waterdiepte bekend zijn. In de tweede analyse zijn de 10 punten waarvoor verdrinkingsfractie, waterdiepte en stijgsnelheid bekend zijn beschouwd.

Een uitgebreide beschrijving van de toetsing van de bestaande slachtofferfuncties is gegeven in bijlage 4.

In het algemeen is te concluderen dat de relaties tussen de gegevens van de watersnoodramp van 1953 en de gebruikte slachtofferfuncties op basis van de beschikbare gegevens niet allemaal gereproduceerd konden worden.

Naar aanleiding van de toetsing van de bestaande slachtofferfuncties op basis van de bekende gegevens van de Watersnoodramp en de analyse in bijlage 3 is meer specifiek het volgende te concluderen:

1. Het gedetailleerde model van Waarts, waarin verdrinkingsoorzaken stijgsnelheid, stroomsnelheid en "overige oorzaken" zijn onderscheiden, geeft veruit de beste voorspelling voor beide beschouwde datasets. Echter bij deze methode zijn ook enige kanttekeningen te plaatsen:
  - De meeste voorgestelde relaties uit het model beperkt onderbouwd. Alleen voor de deelfunctie "slachtoffers door overige oorzaken" is een functie afgeleid op basis van de historische gegevens van de Watersnoodramp 1953.
  - Het model is alleen getoetst voor de deelfunctie "slachtoffers door overige oorzaken". Voor de andere verdrinkingsoorzaken (stroomsnelheid en stijgsnelheid) was het, door gebrek aan gegevens over de lokale situaties in 1953, niet mogelijk om de voorgestelde relaties te toetsen. (d.w.z. om een vergelijking te maken tussen het voorspelde aantal slachtoffers en het daadwerkelijk aantal opgetreden slachtoffers).
2. Met betrekking tot de in de His schade module versie 1.0 en 2.0 opgenomen slachtofferfunctie kan geconcludeerd worden dat deze de relatie met de oorspronkelijke dataset van 1953 heeft verloren. De functie geeft bij waterdieptes lager dan 3 meter geen slachtoffers, dit is tegenspraak met de gegevens van 1953. De functie is daarom in deze vorm ongeschikt voor toepassing in de schademodule.
3. De overige beschouwde slachtofferfuncties blijken geen betere resultaten te geven dan het gedetailleerde model van Waarts, en resulteren in relatief grote standaardafwijkingen in verdrinkingsfractie ten opzichte van de beschikbare gegevens.

Deze bevindingen tonen aan dat het nodig is om verbeterde slachtofferfuncties af te leiden op basis van de beschikbare gegevens. Het wordt verwacht dat het op basis van de beschikbare gegevens mogelijk is een betere en bredere onderbouwing te geven van de slachtofferfuncties voor verschillende deelgebieden (zie hoofdstuk 5).

Tevens dient opgemerkt te worden dat de bestaande methoden geen rekening houden met de mogelijkheden voor evacuatie. Een deel van de overstromingen kan voorspeld worden, waardoor er preventieve evacuatie (d.w.z.: evacuatie voordat een overstroming plaatsvindt) kan plaatsvinden. De mogelijkheden voor preventieve evacuatie hangen af van het type watersysteem: langs de rivier zijn waterstanden beter te voorspellen dan langs de zee. Voor een enigszins realistische inschatting van het aantal slachtoffers is het dus ook noodzakelijk de aanwezigheid van personen in het gebied en de effecten van evacuatie te beschouwen.

# 5 Voorgestelde methode voor inschatting van het aantal slachtoffers

*“Kan op basis van de beschikbare gegevens een verbeterde methode voor inschatting van het aantal slachtoffers worden afgeleid?”*

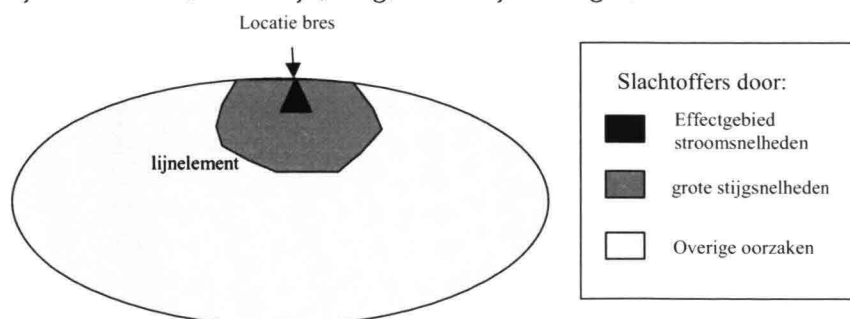
## 5.1 Inleiding en aanpak

In dit hoofdstuk is de methode onderbouwd die wordt toegepast in de standaardmethode voor bepaling van het aantal slachtoffers. Een inschatting van het aantal slachtoffers gerelateerd aan de overstromingskenmerken is te maken met een zogenaamde slachtofferfunctie. Een dergelijke functie geeft een relatie tussen de kans op overlijden en de optredende hydraulische omstandigheden weer.

Uit beschouwing van de beschikbare gegevens en beschrijvingen van de Watersnoodramp van 1953 blijkt dat grote verdrinkingsfracties met name opgetreden zijn op plaatsen waar het water snel is gestegen tot grotere diepte, en op plaatsen nabij de bres waar grote stroomsnelheden zijn opgetreden. Aanmerkelijk lagere verdrinkingsfracties traden op op plaatsen met lagere waterdieptes en stijgsnelheden. Daarom worden criteria afgeleid voor het optreden van slachtoffers in verschillende gebieden, conform de door Waarts (1992) gehanteerde indeling:

1. Locaties met snel stijgend water
2. Locaties met grote stroomsnelheden nabij de bres
3. Locaties met slachtoffers overige oorzaken

De toepassingsgebieden van de drie voorgestelde functies aangegeven voor een denkbeeldige dijkkring in figuur 5-3. Grote stroomsnelheden zullen met name optreden nabij de bres. Grote stijgsnelheden zullen vooral voorkomen in kleinere kommen en/of gebieden die zijn afgesloten door lijnelementen (binnendijk, weg, natuurlijke hoogte).



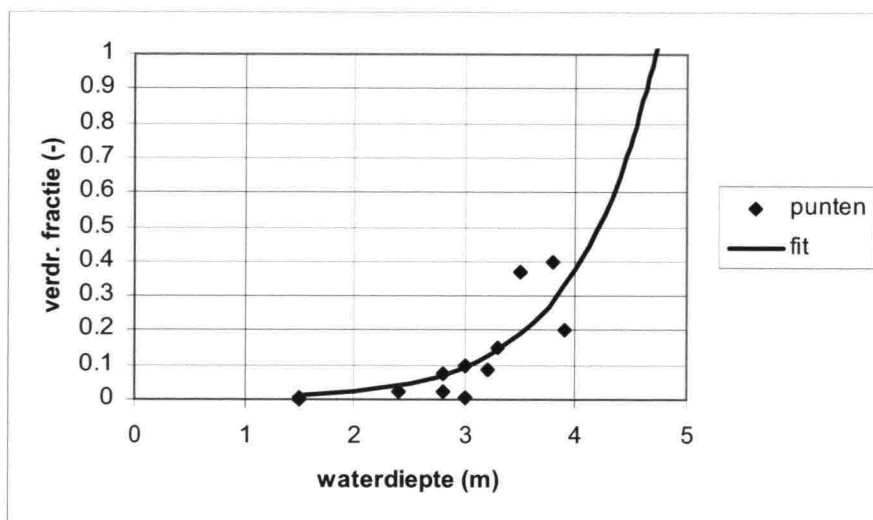
*Figuur 5-1: Schematische weergave van resultaten slachtofferberekening en toepassingsgebied van functies*

De slachtofferfuncties kunnen nooit tegelijkertijd gelden in 1 gebied, ze zijn disjunct. Voor deze drie gebieden zijn in de volgende secties slachtofferfuncties afgeleid. De relatie met de overstromingseffecten en het

toepassingsgebied is voor de drie functies meer uitgebreid besproken in hoofdstuk 6.

### 5.1.1 Slachtoffers door snel stijgend water

Verwacht mag worden dat bij snel stijgend water gevaarlijke situaties ontstaan. Mensen zullen niet meer in staat zijn om hoge gronden te bereiken, of om in gebouwen hogere verdiepingen te bereiken. Het blijkt, zie bijlage 5 en (Waarts, 1992), dat er een nauwelijks een eenduidig verband is af te leiden tussen verdrinkingsfractie en stijgsnelheid. Verwacht wordt dat ook de combinatie met waterdiepte van belang zal zijn, met name bij grotere waterdieptes zullen er immers gevaarlijke situaties ontstaan. Voor de 12 locaties waar slachtoffers door grote stijgsnelheid zijn gevallen is het verband tussen waterdiepte en verdrinkingsfractie weergegeven in figuur 5-2.



Figuur 5-2: Slachtofferfunctie afgeleid voor locaties met grote stijgsnelheid en bijbehorende meetpunten van de Watersnood

De volgende relatie geeft de beste fit voor de punten met grote stijgsnelheden<sup>7</sup>:

$$f(h)_{stijg} = 1,45 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,39 \cdot h} \quad \text{en} \quad f(h) \leq 1$$

De afwijking ten opzichte van de dataset bedraagt,  $\sigma(f)=0,075$  ( $R^2 = 0,65$ ). Een functie waarin zowel stijgsnelheid en waterdiepte als variabelen zijn meegenomen blijkt niet tot een betere fit te leiden.

De functie is toepasbaar voor waterdieptes groter dan 1,5m. Voor kleinere waterdieptes zijn geen meetpunten beschikbaar en wordt aangenomen dat er geen slachtoffers vallen door grote stijgsnelheden. In dit gebied kan de functie voor "slachtoffers door overige oorzaken" worden gebruikt (zie sectie 5.1.3). De functie is toepasbaar tot een waterdiepte van 4,7 meter, waarbij het aantal slachtoffers 100% bedraagt. Boven deze waterdieptes wordt aangenomen dat het aantal slachtoffers 100% bedraagt. Uit de figuur blijkt dat boven waterdieptes van 3,9m geen waarnemingen meer beschikbaar zijn van de Watersnoodramp. Voorlopig wordt het functievoorschrift daarom voor grotere waterdieptes geëxtrapoleerd. Deze

<sup>7</sup> Daarnaast geven verschillende functies met een vergelijkbaar verloop nagenoeg dezelfde fit:  $a \exp(b \cdot h)$ ,  $a \cdot b^h$ ,  $\exp(a + b \cdot x)$ .

aanname heeft tot gevolgen dat bij het uitvoeren van cases met grotere waterdieptes zeer grote verdrinkingsfracties worden gevonden.

De punten in figuur 5-2 laten zien dat met name de combinatie van grotere stijgsnelheden en grotere waterdieptes tot grotere verdrinkingsfracties zullen leiden. Deze functie geldt dus voor locaties waar grote stijgsnelheden zijn opgetreden. Echter, niet voor alle locaties is de stijgsnelheid kwantitatief bekend. De laagste stijgsnelheid in beschikbare dataset bedraagt 0,5 m/u. Voorlopig wordt daarom aangenomen dat er sprake is van snel stijgend water boven deze grens. Aangezien in de overige locaties die zijn weergegeven in figuur 5-2 grotere stijgsnelheden optraden (alle > 4 m/u) wordt aanbevolen nader onderzoek te doen naar de te hanteren drempelwaarde voor grotere stijgsnelheden.

### 5.1.2 Slachtoffers door grote stroomsnelheden

“Uit de verslagen blijkt dat een groot aantal slachtoffers direct achter een doorgebroken dijk valt. Door de grote stroomsnelheid kunnen zowel direct slachtoffers vallen door het verlies aan evenwicht, als indirect doordat de woningen waarin mensen verblijven bezwijken” (Waarts, 1992). Voor de watersnood zijn voor 11 locaties slachtoffers door grote stijgsnelheden gerapporteerd. Belangrijkste variabele van invloed lijkt de stroomsnelheid te zijn, deze is echter voor geen van de locaties kwantitatief bekend. In het rapport van (Waarts, 1992) is het effect van grote stroomsnelheid meegenomen door aan te nemen dat er binnen een straal van 2 maal de bresbreedte geen overlevenden zullen zijn. Dit criterium is in dat rapport echter niet kwantitatief onderbouwd, en kan bij toepassing in stedelijke omgeving resulteren in duizenden doden.

Op basis van enkele beschikbare bronnen is een uitspraak te doen over mogelijke slachtoffers door grote stroomsnelheden. Proeven met betrekking tot de stabiliteit van personen in stromend water (Abt, 1989) en (Rescdam, 2001), laten zien dat personen bij beperkte waterdieptes en beperkte stroomsnelheden hun stabiliteit verliezen. Het product van waterdiepte en stroomsnelheid ligt in de orde van 1 a 1,5 m<sup>2</sup>/s.

Echter, bij een doorbraak zullen zich lang niet alle personen buiten (op straat) bevinden. Een groot deel van de aanwezigen nabij de bres zal zich naar alle waarschijnlijkheid in bebouwing bevinden. Een gedetailleerd model voor het bepalen van mogelijke instorting van gebouwen is ontwikkeld door Roos et al. (2003). Hierin wordt rekening gehouden met het gebouwtype en verschillende optredende hydraulische omstandigheden. In de Rescdam studie (2001) is een simpeler criterium voorgesteld voor het bepalen van houten, betonnen en bakstenen huizen. Deze gebouwen zullen instorten als het product van waterdiepte (h) en stroomsnelheid (v) voldoet aan:

$$h \cdot v \geq 7m^2 / s \quad \text{en} \quad v \geq 2m / s$$

Aangenomen is dat alle personen komen te overlijden door instorting van bebouwing als bovenstaand criterium wordt overschreden<sup>8</sup>. In de toekomst kan de meer gedetailleerde modellering van Roos et al. (2003) worden

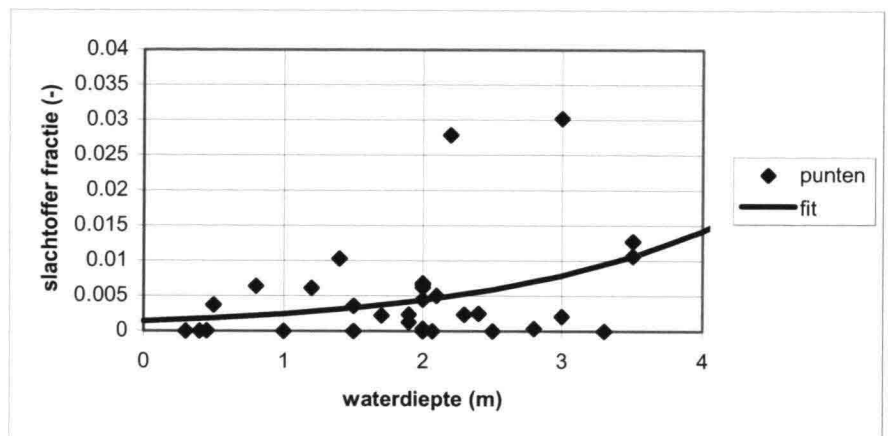
---

<sup>8</sup> Hierbij wordt aangenomen dat personen of direct door instorting van het gebouw zullen omkomen of door verdrinking

toegepast voor het inschatten van slachtoffers door grote stroomsnelheden.

### 5.1.3 Slachtoffers door overige oorzaken

Er is een categorie overige oorzaken onderscheiden, waarin de slachtoffers zijn opgenomen die niet door grote stijg- of stroomsnelheden zijn veroorzaakt. Hierbij kan men denken aan: overlijden door onderkoeling en / of vermoeiing van personen, instorten van huizen na lange tijd, personen die per ongeluk in water belanden (bv. onder invloed van alcohol) of bekneld raken in ruimtes. Ook indirecte doodsoorzaken zoals elektrocutie of hartaanvallen kunnen leiden tot verdrinking tijdens de overstroming. Aangenomen is dat de categorie van overige oorzaken toepasbaar is indien er geen sprake is van grote stijgsnelheden. De verdrinkingsfracties door overige oorzaken voor de Watersnood zijn uit te zetten tegen de opgetreden overstromingsdieptes, zie figuur 5-3.



Figuur 5-3: Slachtofferfunctie afgeleid voor locaties met slachtoffers door overige oorzaken en hieruit afgeleide lijn

Door deze punten is een lijn gefit, met functievoorschrift:

$$f(h)_{overig} = 1,34 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,59 \cdot h} \quad \sigma(f) = 0,0066$$

Deze lijn kan gebruikt worden voor inschatting van het aantal slachtoffers door overige oorzaken bij stijgsnelheden lager dan 0,5 meter per uur. Af te leiden is (met behulp van het programma SPSS) dat deze functie een matige fit geeft ( $R^2 = 0,11$ ). Deze grote afwijking is voor een groot deel te verklaren door twee punten die grotere verdrinkingsfracties hebben (2,7% en 3%). Uit de omschrijvingen van de ramp (Slager, 1992) blijkt dat met name in deze locaties met grotere slachtoffer fracties geen waarschuwing plaatsvond. Op andere locaties waar kort voor de overstroming werd gewaarschuwd vielen aanmerkelijk minder doden. Hier konden veel mensen zich nog in hun huis, op hoge gronden of in gebouwen in veiligheid brengen. Verwacht dat ook waarschuwing kort van tevoren invloed zal hebben op het aantal slachtoffers en dus op de slachtofferfuncties. In nader onderzoek zal de invloed van waarschuwing op het aantal slachtoffers worden onderzocht.

### 5.1.4 Statische onzekerheden in de afgeleide slachtofferfuncties

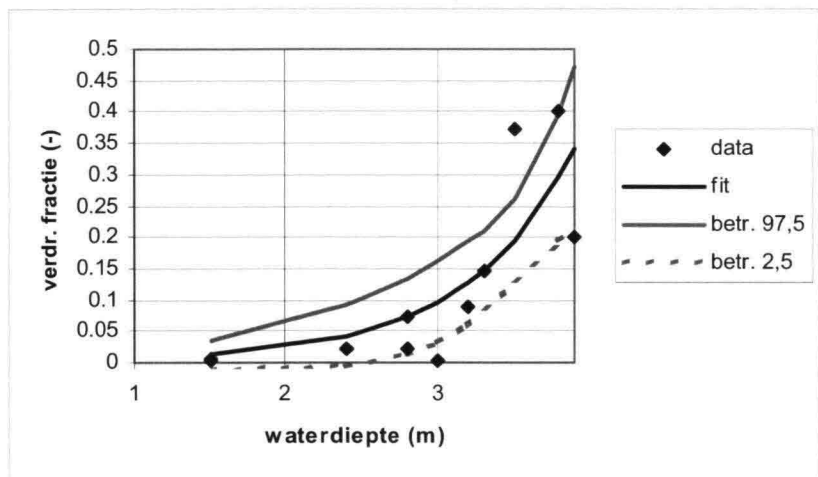
In de notitie "Omgaan met onzekerheden bij overstromingsrisico's" (Wehrung et al, 2003) zijn de volgende typen onzekerheden onderscheiden



- Inherente onzekerheden
  - Natuurlijke variatie in overstromingskenmerken
  - Toekomstige ontwikkelingen:
- Kennisonzekerheden
  - Ontbreken van voldoende data (ook wel statistische onzekerheid)
  - Ontbreken van voldoende kennis van processen

Op basis van de beschikbare gegevens kan een indruk worden gegeven van de statistische onzekerheid in de afgeleide slachtofferfuncties voor overige oorzaken en snel stijgend water. Aangezien voor de breszone empirische gegevens ontbreken is dat hiervoor niet mogelijk.

De afgeleide slachtofferfuncties zijn een schematisatie van de werkelijkheid op basis van een beperkte hoeveelheid gegevens. Statistische onzekerheid is een maat voor de variatie in die gegevens en geeft de spreiding in de mogelijke uitkomsten aan. Een meer uitgebreide analyse van de onzekerheden is gegeven in bijlage 6. Als voorbeeld, is in figuur 5-4 het 95% betrouwbaarheidsinterval aangegeven voor de functie voor grote stijgsnelheden. Met dergelijke functies kan de kwantitatieve invloed van statistische onzekerheid worden meegenomen in slachtofferinschattingen.



Figuur 5-4: Betrouwbaarheidsintervallen voor de slachtofferfunctie voor snel stijgend water

## 5.2 Overzicht voorgestelde slachtofferfuncties

In de vorige secties zijn de zogenaamde slachtofferfuncties afgeleid. De stappen voor bepaling van het aantal slachtoffers met deze functie zijn hieronder samengevat. Op basis van figuur 5-1 zijn de volgende gebieden te onderscheiden.

Slachtoffers door stijgsnelheid:

$w \geq 0,5$  m/u en  $h < 1,5$ m: gebruik functie slachtoffers overige gebieden

$w \geq 0,5$  m/u en  $1,5\text{m} \leq h \leq 4,7\text{m}$ :  $f(h)_{stijg} = 1,45 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,39 \cdot h}$

$w \geq 0,5$  m/u en  $h > 4,7\text{m}$ :  $f(h)_{stijg} = 1$

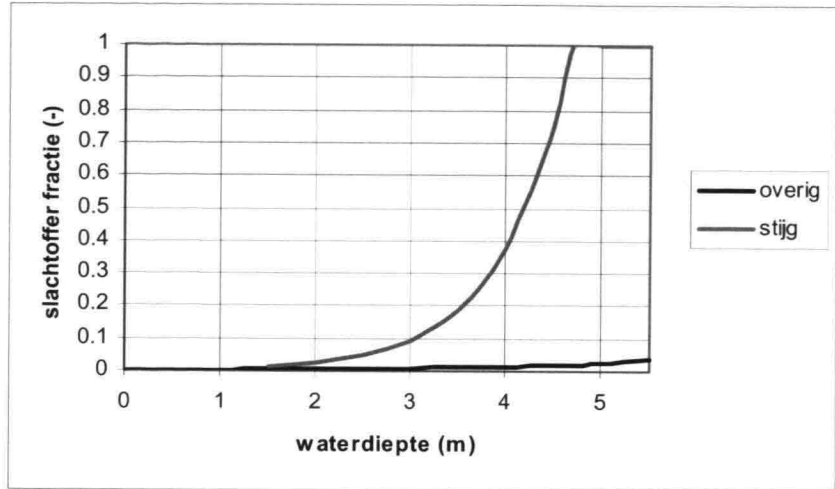
Slachtoffers in overige gebieden

$w < 0,5$  m/u en  $h > 0\text{m}$ :  $f(h)_{overig} = 1,34 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,59 \cdot h}$

Daarnaast is een apart criterium opgesteld voor slachtoffers door grote stroomsnelheden (meestal nabij de bres)

$$f(h)_{stroom} = 1 \quad \text{als} \quad h \cdot v \geq 7 \text{ m}^2 / \text{s} \quad \text{en} \quad v \geq 2 \text{ m/s}$$

De functies en hun drie toepassingsgebieden zijn "disjunct", dit betekent dat de slachtofferfuncties nooit tegelijkertijd kunnen gelden in 1 gebied. De functies voor overige oorzaken en grote stijgsnelheden zijn weergegeven in figuur 5-5.



Figuur 5-5: Overzicht slachtofferfuncties voor grote stijgsnelheden en functie voor de overige oorzaken

### 5.3 Discussie en toepasbaarheid slachtofferfuncties

Bovenstaande slachtofferfuncties zijn afgeleid op basis van gegevens van de Watersnoodramp van 1953. Vervolgens kan de vraag gesteld worden in hoeverre deze gegevens representatief zijn en voorspellende waarde hebben voor een overstroming in de huidige tijd in Nederland. Ten eerste was de Watersnood een overstroming vanuit zee. Verwacht wordt dat het aantal slachtoffers bij een rivier overstroming lager zal liggen. Een rivieroverstroming zal beter voorspelbaar zijn en daardoor meer mogelijkheden bieden voor een preventieve evacuatie. Daarnaast zijn er tegenwoordig betere voorspellings- en waarschuwingssystemen (voor zowel bedreigingen vanuit zee als rivier zijde) beschikbaar. Ook is het gebruik van communicatiemiddelen toegenomen, zodat er meer kans is op een tijdige waarschuwing. Echter, tijdens grote evenementen en tijdens rampen (bv. vuurwerkcramp Enschede) is gebleken dat communicatie middelen niet meer zullen functioneren doordat ze "overvraagd" worden. Ook heeft men tegenwoordig veel meer beschikking over gemotoriseerd vervoer, waardoor evacuatie makkelijker uit te voeren is. Daar staat tegenover dat een evacuatie ook tot gevaarlijke situaties kan leiden. Als personen in de file staan op het moment dat de overstroming optreedt, kan dit resulteren in erg veel slachtoffers.

Daarnaast blijkt uit beschrijvingen van de situatie in 1953 (Slager, 1992) dat toen veel personen zijn omgekomen door het instorten van gebouwen met name in arbeiderswoningen met enkelsteens muren. De toegenomen kwaliteit van de bebouwing en de introductie van hoogbouw zullen een reducerende invloed op het aantal slachtoffers hebben.

Voorgesteld wordt om de bovengenoemde elementen mee te nemen in de uiteindelijke inschatting van het aantal slachtoffers. De factoren die gerelateerd zijn aan evacuatie: zoals waarschuwingstijd, toegenomen communicatie middelen en gemotoriseerd vervoer zijn meegenomen in het ontwikkelde model voor preventieve evacuatie. Daarnaast wordt aangenomen dat personen die zich in hoogbouw bevinden veilig zijn en als geëvacueerd kunnen worden beschouwd. Hoogbouw is in dit kader gedefinieerd als bebouwing met meer dan drie bovengrondse verdiepingen<sup>9</sup>. Voor de personen aanwezig in overige typen gebouwen (laagbouw) mag het afgeleide model worden toegepast. Dit is waarschijnlijk een enigszins conservatieve aanname, omdat de kwaliteit van de bebouwing sinds 1953 is toegenomen. Echter, daar kan tegenover gesteld worden dat de effecten van vluchten naar hoge gebouwen of gronden tot op zeker hoogte zijn meegenomen in de afgeleide slachtofferfunctie. Deze is immers gebaseerd op gegevens van de Watersnoodramp 1953 en hierbij zijn personen ook op enkele locaties op het laatste moment naar hoge gronden en gebouwen gevlucht.

De mate van voorwaarschuwing en eventueel vluchtgedrag kunnen een belangrijke invloed hebben op de lokale mortaliteit. Daarom kan de vraag gesteld worden in hoeverre vluchten en evacuatie al verweven zijn in de beschikbare data voor 1953 die gebruikt zijn om de slachtofferfuncties af te leiden?

In 1953 was de waarschuwingstijd dusdanig kort dat mensen niet de tijd hadden om het gebied te kunnen verlaten. Er vond dus geen evacuatie plaats. De beschikbare data wordt dus representatief geacht voor de inschatting van het percentage slachtoffers onder de aanwezigen in het overstromde gebied. Weliswaar zullen in 1953 personen lokaal of in hoge gronden of gebouwen bescherming hebben gezocht, maar dergelijk gedrag is ook bij een huidige overstroming mogelijk en te verwachten. Een belangrijke parameter die bepaalt of mensen nog actie kunnen ondernemen is het niveau van waarschuwing, waardoor mensen enige tijd hebben om in het gebied een veiliger plek op te zoeken. Deze mate van waarschuwing zal mogelijk een belangrijke invloed hebben op de mortaliteit en het aantal slachtoffers. Voorlopig is dit effect niet meegenomen in de voorgestelde slachtofferfuncties. In vervolgonderzoek wordt de invloed van waarschuwing op de slachtofferfuncties gekwantificeerd.

De afgeleide slachtofferfuncties zijn gebaseerd op gebeurtenissen in het verleden. Op bepaalde punten kan menselijk gedrag het aantal slachtoffers sterk beïnvloeden. In een "worst case" geval kan bijvoorbeeld een file van vluchtende mensen in een diepe polder worden overspoeld door de vloedgolf, met zeer vele doden tot gevolg. Als dergelijke effecten niet zijn opgetreden in het verleden zijn ze niet opgenomen in de slachtofferfuncties. Voor de beschouwing van dergelijke fenomenen is een meer gedetailleerde en gecombineerde modellering van overstromingsverloop en evacuatie nodig.

De afgeleide slachtofferfuncties zijn gebaseerd op gegevens van één gebeurtenis. In vervolgonderzoek zullen de mogelijkheden worden onderzocht om ook gegevens van andere overstromingen te gebruiken

---

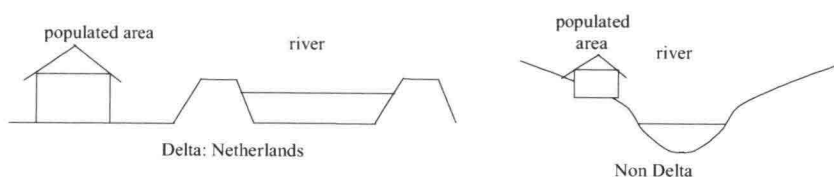
<sup>9</sup> Hierbij telt de begane grond mee als verdieping. In een meer gedetailleerde analyse kan "hoogbouw" gerelateerd worden aan de maximaal optredende waterdiepten.

voor een verdere onderbouwing van de slachtofferfuncties. Er zijn bijvoorbeeld enige gegevens beschikbaar voor enkele Japanse overstromingen.

### Vergelijking slachtofferfunctie met overige beschikbare gegevens

Het is interessant een vergelijking te maken tussen de afgeleide slachtofferfuncties en het beeld dat volgt uit wereldwijde statistieken uit paragraaf 2.1. De gemiddelde mortaliteiten die gevonden worden voor rivier overstromingen (0,49%) en alle wereldwijde overstromingen (1,14%) komen qua orde grootte goed overeen met de mortaliteit die gevonden wordt voor slachtoffers door overige oorzaken, zoals weergegeven in figuur 5-3. Als er echter sprake is van snel stijgend water blijkt uit de afgeleide slachtofferfunctie (figuur 5-2) dat er meer slachtoffers zullen vallen. Dit wordt bevestigd door de statistieken voor flash floods. Bij deze overstromingen, waar vaak sprake is van snel stijgend water, komt gemiddeld circa 3,6% van de getroffen personen om.

In het buitenland is er vaak sprake van overstroomde gebieden met een beperkte omvang, zie ook figuur 5-6 voor een schematische weergave voor rivieroverstromingen. In Nederland kunnen bij doorbraak van dijken laag gelegen polders snel onderlopen tot grote dieptes.



Figuur 5-6: Schematisch verschil tussen Nederlandse situatie en buitenland

Het uiteindelijk aantal slachtoffers zal daarnaast sterk afhangen van de beschikbare waarschuwingstijd en eventuele evacuatie van personen vooraf. De kwetsbaarheid van personen nabij de bres door grote stroomsnelheden, toont aan dat het noodzakelijk is personen nabij een mogelijke bres eerst te evacueren. Personen die verder van de bres af wonen zullen meer tijd beschikbaar hebben om te vluchten.

# 6 Toepassing van de methode voor grove inschatting van het aantal slachtoffers

---

*Hoe kunnen de ontwikkelde slachtofferfuncties worden toegepast om te komen tot een eerste grove inschatting van het aantal slachtoffers bij een overstroming?*

Op basis van de in het vorige hoofdstuk afgeleide slachtofferfuncties is aangegeven hoe deze kunnen worden toegepast in een grove inschatting van het aantal slachtoffers. De berekeningsaanpak is beschreven in 6.1, een case studie is uitgewerkt in 6.2, slotopmerkingen zijn opgenomen in 6.3.

## 6.1 Aanpak globale slachtofferberekening

In de *grove* methode, worden de dynamische effecten van een overstroming niet meegenomen. De hydraulische kenmerken wordt bepaald aan de hand van enkele eenduidige procedures. In deze grove benadering is het de bedoeling te komen tot een conservatieve inschatting van het aantal slachtoffers. Daarbij geldt als uitgangspunt dat de doorbraak plaatsvindt op een ongunstige locatie. Conform hoofdstuk 3 zijn drie hoofdelementen onderscheiden 1) beschrijving gebied en bepaling van het overstromingsverloop, 2) bepaling van het aantal aanwezigen in het gebied, 3) inschatting van het aantal slachtoffers.

### 6.1.1 Beschrijving gebied en overstromingsverloop

#### Beschrijving gebied

De eerste stap omvat een algemene beschrijving van het gebied: ligging, inwoneraantallen, belangrijkste plaatsen.

#### Identificatie ligging kommen

Op basis van een beschikbaar hoogtemodel wordt de ligging van gesloten kommen in het dijkkringgebied afgeleid. Een kom is gedefinieerd als een afgesloten gebied. Het kan hierbij gaan om afsluiting door primaire waterkeringen, secundaire waterkeringen binnen het dijkkringgebied, lijnelementen zoals verhoogde wegen, spoorlijnen en hoge gronden. In deze grove benadering wordt ervan uitgegaan dat deze elementen het water zullen tegenhouden en niet bezwijken onder de belastingen<sup>10</sup>. In dit geval kunnen in kommen grote stijgsnelheden ontstaan. In een meer gedetailleerde berekening kan een zorgvuldiger analyse van het gedrag van deze lijnelementen worden uitgevoerd.

---

<sup>10</sup> In een meer gedetailleerde benadering kunnen er ook eisen worden gesteld aan de hoogte van de lijnelementen om de omsluiting van een kom vast te stellen.

### **Keuze overstromingsscenario en breslocatie**

Om te komen tot een adequate inschatting van het aantal slachtoffers dienen de volgende aspecten meegenomen te worden in de selectie van breslocaties en scenario's:

- De ligging van bevolkingskernen nabij de bres, waardoor er veel slachtoffers zullen optreden door hoge stroomsnelheden;
- Het optreden van hoge stijgsnelheden in een (relatief) kleine kom in combinatie met de aanwezigheid van bevolking in deze kom;
- De omvang van het gehele overstroomde gebied en het aantal hierin aanwezige personen

Omdat verschillende aspecten bijdragen aan het aantal slachtoffers (stijgsnelheid, stroomsnelheid en overige oorzaken), is het nodig te zoeken naar een meest ongunstige breslocatie. Het gaat hierbij om een iteratief proces, waarin de volgende stappen meerdere malen doorlopen kunnen worden. Hierbij zal door degene die de analyse uitvoert uiteindelijk een onderbouwde keuze moeten worden gemaakt voor het uit te werken scenario.

Aandachtspunt / opmerking: bij een overstroming vanuit zee kunnen er meerdere doorbraken tegelijk optreden, zo hebben de gebeurtenissen in 1953 aangetoond. Dit kan worden meegenomen in een risico berekening, door te bepalen hoe waarschijnlijk het is dat scenario's tegelijkertijd optreden.

### **Keuze bresdebiet**

Voor een adequate inschatting van het aantal slachtoffers is het nodig om inzicht te hebben in 1) de ontwikkeling van de bres, en 2) de optredende hydraulische omstandigheden achter de bres. Op basis van de lokale situatie is een inschatting te maken van het bresdebiet. Variabelen die hierbij van belang zijn:

- het waterstandsverschil tussen buitenwaterstand<sup>11</sup> en de hoogte ligging van het maaiveld in kom ( $\Delta h$ )
- het materiaal waaruit de waterkering is opgebouwd (klei of zand)
- het gebied dat achter de bres ligt en de bijbehorende hydraulische ruwheid van het gebied (struweel, bos, en bebouwd gebied)

Ook als de doorbraaklocatie ter plaatse van een kunstwerk wordt gekozen dan wordt aangenomen dat een bres ontstaat, die wordt bepaald door bovenstaande variabelen.

Op basis van uitgevoerde berekeningen zijn richtlijnen te geven voor de te kiezen waarde van bresbreedte en bresdebiet, zie tabel 6-1. Deze zijn afgeleid op basis van de Verheij – vd Knaap formule (2002). Een meer uitgebreide omschrijving van deze berekeningen en de resultaten is gegeven in bijlage 7. Uit de berekeningen blijkt dat het gebied waarin de kritische waarden voor waterdiepte en stroomsnelheid wordt overschreden (bij benadering) cirkelvormig is. Daarom is in tabel 6-1 een straal voor dit zogenaamde "effectgebied" aangegeven. In de berekeningen is uitgegaan van de situatie van 24 uur bresgroei.

---

<sup>11</sup> Als representatieve buitenwaterstand bij overstroming wordt het zogenaamde toetspeil of MHW aan genomen dat is te vinden in (Rijkswaterstaat, 2001). Het toetspeil is de waterstand behorende bij de veiligheidsnorm van de dijkkring.

Tabel 6-1: Resultaten voor bresberekeningen: maximaal debiet, breedte na 24 uur en straal van het effectgebied als functie van ruwheid, waterstandsverschil en dijkmateriaal.

ruwheid [m]	waterstand [m]	dijk- materiaal	max. bresdebit	Breedte [m]	straal van effectgebied (m)
10	4	Klei	400	30	0
4	4	Klei	500	40	0
1	4	Klei	700	50	0
10	4	Zand	800	60	0
4	4	Zand	1200	85	0
10	6	Klei	1400	55	50
1	4	Zand	1500	115	0
4	6	Klei	1800	70	50
1	6	Klei	2200	85	100
10	6	Zand	2600	110	100
4	6	Zand	3800	130	150
1	6	Zand	5000	200	250

*Opmerkingen:*

Bij een waterstandsverschil van 2 meter of lager is er geen gebied waarin het genoemde criterium wordt overschreden.

### 6.1.2 Bepaling van het aantal aanwezigen in het gebied

Het aantal slachtoffers zal sterk afhangen van de aanwezigheid van personen in het gebied op het moment van overstroming. Het aantal aanwezigen wordt bepaald door de mogelijkheden tot uitvoering van een succesvolle evacuatie. Hierbij wordt een evacuatie opgevat als een "door de overheid gelaste verplaatsing van groepen personen met daaronder begrepen: vervoer (begeleiding), opneming, verzorging, en terugkeer van de groepen, de voorbereiding daarvan en de nazorg".

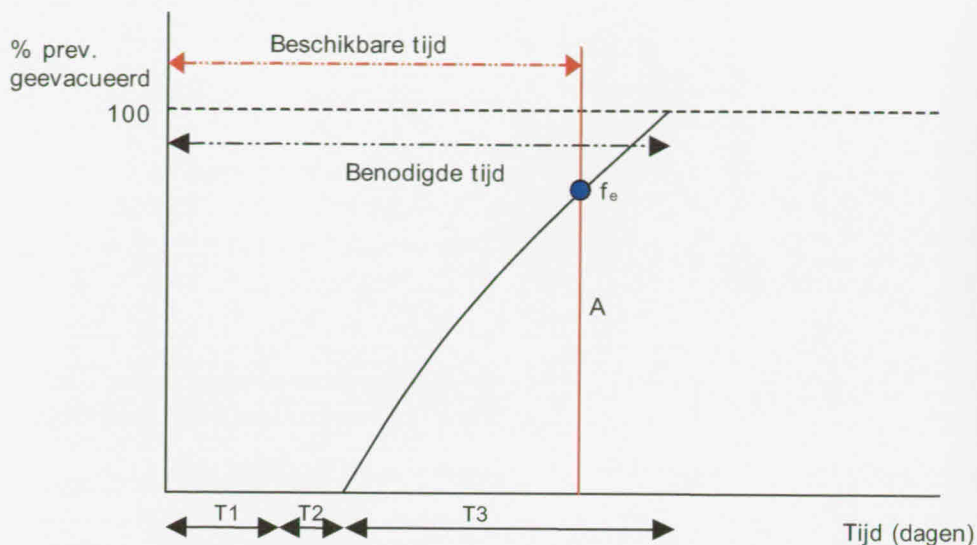
#### Preventieve evacuatie

Onder preventieve evacuatie wordt verstaan het evacueren van personen (en vee) uit het bedreigde dijkkringgebied tot het moment dat het water het gebied binnenstroomt. Het preventieve evacuatieproces bestaat uit de volgende drie activiteiten: besluitvorming, in gang zetten van de evacuatie, eigenlijke evacuatie. Een conceptuele methode is ontwikkeld om de effecten van preventieve evacuatie op het aantal aanwezigen te bepalen (Barendregt, 2002), ook wel de preventieve evacuatie module genaamd.

De benodigde tijd voor preventief evacueren hangt af van de mate van sturing (voorbereiding) en de aanwezige infrastructuur. De tijd nodig voor besluitvorming hangt af van de aanwezigheid van rampenbestrijdingsplannen. De tijd nodig voor het in gang zetten van de evacuatie en de eigenlijke evacuatie uit het dijkkringgebied wordt bepaald met een macroscopische verkeersmodule. Deze verkeersmodule wordt op dit moment ontwikkeld in het kader van deze studie door de Universiteit Twente, afdeling Verkeer, Vervoer en Ruimte.

De beschikbare tijd voor preventief evacueren hangt af van de voorspelbaarheid van hoogwater. Deze wordt bepaald door het type bedreiging (zee, meer, rivier) en het faalmechanisme. Vooralsnog wordt voor de beschikbare tijd een deterministische waarde verondersteld. De methodiek kan echter betrekkelijk eenvoudig worden uitgebreid opdat ook

rekening kan worden gehouden met de onzekerheid in de beschikbare tijd. De resultaten van de evacuatie module kunnen worden weergegeven als in de volgende figuur:



Figuur 6-1: Percentage geëvacueerden als functie van de tijd

De benodigde tijd voor preventief evacueren wordt weergegeven door middel van de kromme in de grafiek. Hierbij is het percentage preventief geëvacueerden van het totaal aantal inwoners op de y-as uitgezet tegen de tijd in dagen op de x-as. De afstand  $T_1$  houdt de duur in van de besluitvorming.  $T_2$  is de duur van het in gang zetten van de evacuatie.  $T_3$  is de tijd die nodig is om het totaal aantal inwoners in een dijkkringgebied (100%) preventief te evacueren. De benodigde tijd bestaat uit de som van de duur van  $T_1$ ,  $T_2$  en  $T_3$ . De beschikbare tijd wordt weergegeven door middel van de verticale lijn A.

Uit deze grafiek is de fractie van het aantal inwoners dat preventief geëvacueerd kan worden af te lezen ( $f_e$ ): dit is het punt in de grafiek waar de beschikbare tijd de kromme van de benodigde tijd kruist. Duidelijk is dat indien de voorspelbaarheid van het hoogwater klein is, de lijn A, de beschikbare tijd, naar voren schuift in de tijd. De beschikbare tijd wordt dan korter en de fractie  $f_e$  wordt kleiner.

### Evacuatie en vlucht na dijkdoorbraak

Bij bepaalde doorbraakscenario's kan het na dijkdoorbraak op sommige locaties nog dagen duren voordat het water daadwerkelijk deze plek bereikt. Dit betekent dat er in deze gevallen voldoende tijd is om te vluchten. Er is nog geen "standaard" methode beschikbaar voor het analyseren van de effecten van vluchten (d.w.z. evacuatie na een dijkdoorbraak, dus tijdens de overstroming). In een versimpelde benadering kan het aantal aanwezigen worden gerelateerd aan de beschikbare tijd tot aankomst van het water op een bepaalde locatie in het gebied, zie (Asselman, 2003) als voorbeeld.

### Conservatieve benadering

In een conservatieve benadering wordt geen rekening gehouden met preventieve evacuatie en vluchten. Aangenomen mag worden dat het uiteindelijk aantal aanwezigen in het gebied gelijk is aan het aantal inwoners. Voor het bepalen van het aantal inwoners in een gebied kunnen



gegevens uit de HIS Schade Slachtoffermodule of andere beschikbare bronnen worden gebruikt.

### **Personen in hoogbouw**

In alle evacuatie gevallen (preventieve evacuatie, vluchten of de conservatieve benadering) wordt aangenomen dat personen die zich in hoogbouw bevinden veilig zijn en als geëvacueerd kunnen worden beschouwd. Hoogbouw is in dit kader gedefinieerd als bebouwing met meer dan drie bovengrondse verdiepingen. Voor de personen aanwezig in overige typen gebouwen (laagbouw) mag afgeleide model worden toegepast. Dit is waarschijnlijk een enigszins conservatieve aanname, omdat kwaliteit van de bebouwing sinds 1953 is toegenomen.

## **6.1.3 Bepaling van het aantal slachtoffers**

### **Bepaling slachtoffers door stroomsnelheid**

Nabij de bres zullen personen omkomen door hoge stroomsnelheden. Hierbij zullen personen hun stabiliteit verliezen en zullen gebouwen instorten. Het aantal slachtoffers door hoge stroomsnelheden wordt in rekening gebracht door aan te nemen dat alle personen zullen omkomen als:

$$h \cdot v \geq 7m^2 / s \quad \text{en} \quad v \geq 2m / s$$

Op basis van de uitgevoerde bresberekening is een zogenaamd "effectgebied" te onderscheiden waar dit criterium wordt overschreden. In bijlage 7 en tabel 6-1 zijn per situatie de grootte en vorm van het effectgebied aangegeven waar personen zullen omkomen door hoge stroomsnelheden. Aangenomen mag worden dat dit effectgebied de vorm heeft van een halve cirkel. Door deze informatie te combineren met gegevens over bevolkingsdichtheid in dit gebied is het aantal slachtoffers door hoge stroomsnelheid in te schatten.

### **Bepaling slachtoffers door hoge stijgsnelheden**

Uit de analyse van gegevens van de Watersnoodramp 1953 blijkt dat veel personen omkomen in gebieden waar het water snel zal stijgen tot grotere waterdieptes. Met behulp van lokale lijnelementen in het dijkkringgebied, het instromend debiet en de oppervlakte van een lokale kom wordt een globale inschatting gemaakt van de stijgsnelheid. Uitgaande van een afgesloten kom en een bekend bresdebiet geldt:

$$dh / dt = Q / A$$

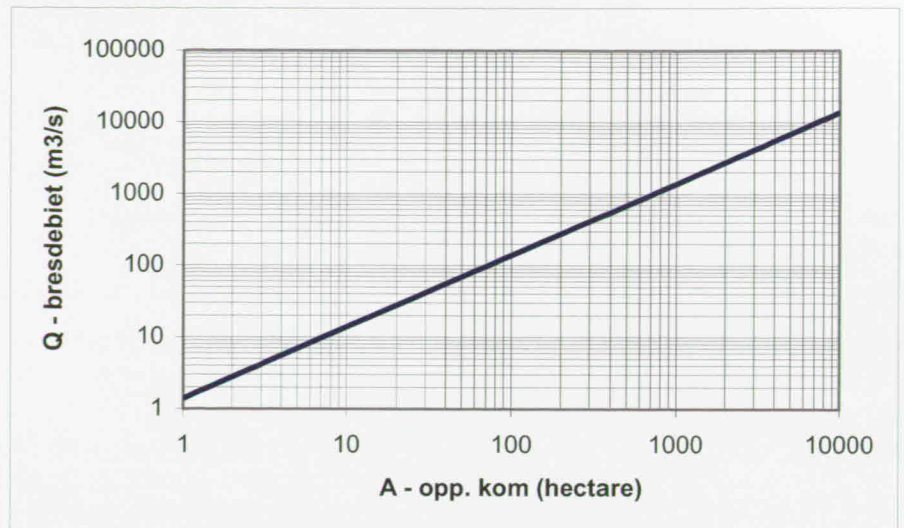
Waarin:

dh / dt – stijgsnelheid (m/s)

Q – bresdebiet (m<sup>3</sup>/s)

A – oppervlak van de kom (m<sup>2</sup>)

In een eerste grove benadering mag worden aangenomen dat het debiet de waarde na 24 uur heeft, die is aangegeven in tabel 5-1. In een meer nauwkeurige analyse kan op basis van de ontwikkeling van de bres als functie van de tijd de stijgsnelheid in het gebied worden bepaald. Er is sprake van grote stijgsnelheid als deze een waarde van 0,5 meter per uur overschrijdt. In figuur 6-2 is aangegeven voor welke combinatie van bresdebiet en komoppervlak een stijgsnelheid van 0,5 m/u wordt overschreden.



Figuur 6-2: Relatie tussen bresdebiet, oppervlakte kom en stijgsnelheid

Vervolgens wordt de waterdiepte in de kom bepaald. Gecontroleerd moet worden of er voldoende debiet is om de hele kom te vullen tot de maximale hoogte. Het aantal slachtoffers kan vervolgens worden bepaald met de volgende functie:

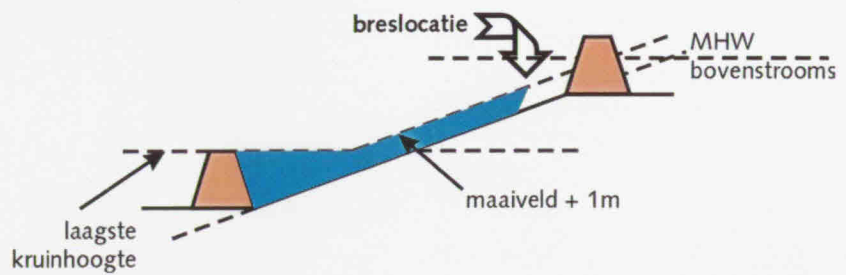
$w \geq 0,5 \text{ m/u}$  en  $h < 1,5\text{m}$ : gebruik functie slachtoffers overige gebieden  
 $w \geq 0,5 \text{ m/u}$  en  $1,5\text{m} \leq h \leq 4,7\text{m}$ :  $f(h)_{stijg} = 1,45 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,39 \cdot h}$   
 $w \geq 0,5 \text{ m/u}$  en  $h > 4,7\text{m}$ :  $f(h)_{stijg} = 1$

#### Bepaling waterdiepte in de rest van het gebied en slachtoffers in overige gebieden

Vervolgens wordt het aantal slachtoffers door overige oorzaken in het gebied buiten de kom bepaald. Hiervoor is als invoer de waterdiepte in dit gebied benodigd. Voor inschatting hiervan kan de zogenaamde "bakjesmethode" worden gebruikt die ook voor het berekenen van de schade gehanteerd wordt. De benadering geeft aan dat het dijkkringgebied benaderd wordt als een "bakje" dat tot aan de rand met water wordt opgevuld en kent de volgende aannamen:

- de dijkkringgebieden zijn als één geheel beschouwd;
- per dijkkringgebied wordt een waterspiegel opgelegd die gelijk is aan de laagste kruin van de dijkkring,

Aangenomen wordt dat in gebieden die hoger liggen dan de doorbraaklocatie geen water zal komen te staan. De opgelegde waterspiegel geldt dus alleen voor het gebied dat benedenstrooms ligt van de doorbraaklocatie. In hellende gebieden kan deze benadering een onderschatting van de wateroverlast geven omdat een deel van het gebied kan liggen boven de laagste kruin. Daarom wordt een waterspiegel opgelegd die gelijk is aan de laagste kruin van de dijkkring, met een minimum waterdiepte van 1 meter. Deze situatie is voor een schematische dijkkring weergegeven in figuur 6-3.



Figuur 6-3: Aangenomen waterspiegel volgens de "bakjesmethode"

Daarnaast moet rekening gehouden worden met de mogelijke hoeveelheid instromend water. Deze zal in de praktijk niet onbeperkt zijn en afhangen van diverse factoren, zoals het debiet in de rivier, de breedte van de bres en het hoogteverschil tussen binnen en buitenwaterstand. Inzicht in de grootte van het overstroomde gebied kan worden verkregen op basis van bestaande overstromingssimulaties voor het gebied, of met eenvoudige kombergingsberekeningen.

Het aantal slachtoffers in overige gebieden is vervolgens in te schatten als functie van de waterdiepte:

$$f(h)_{overig} = 1,34 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,59 \cdot h}$$

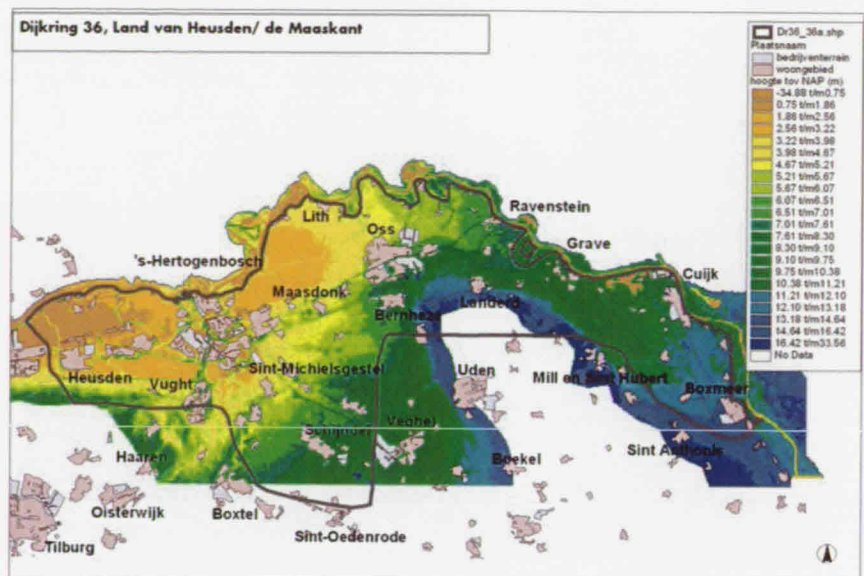
### Overzicht inschatting slachtoffers

Het totaal aantal slachtoffers door hoge stroomsnelheid, stijgsnelheid en overige oorzaken worden bepaald. Indien relevant kan nagegaan worden of de keuze van een ander scenario resulteert in een hoger aantal slachtoffers.

## 6.2 Case study: Toepassing grove methode voor dijkkring 36

### 6.2.1 Beschrijving dijkkring 36 en overstromingsverloop

Dijkkring 36, Land van Heusden / de Maaskant ligt in het zuiden van Nederland in de provincie Noord Brabant. Het gebied wordt aan de noord- en oostzijde begrensd door de Maas en aan de westzijde door het Afwateringskanaal, aan de zuidzijde door hoge gronden. De belangrijkste steden in het gebied zijn 's Hertogenbosch en Oss. In de dijkkring wonen circa 420.000 inwoners (bron: HIS Schademodule), en de geschatte economische schade bij overstroming van het gehele gebied bedraagt circa 17 miljard Euro (DWW, 2003). Een overzichtskaart van het gebied is opgenomen in figuur 6-4. Dijkkring 36a, Keent, is een klein (sub)dijkkring dat grenst aan dijkkring 36. Er wonen hier circa 61 personen (bron: HIS Schademodule).



Figuur 6-4: Overzichtskaat van dijkkring 36( Land van Heusden / de Maaskant)

### Identificatie ligging kommen

Op basis van het AHN (Actueel Hoogtebestand Nederland) is een hoogtemodel van het gebied opgesteld. Met een gedetailleerde kaart (schaal 1:25.000) zijn de belangrijkste lijnelementen geïdentificeerd. Op basis van het hoogte model zijn de volgende kommen onderscheiden, zie ook figuur 6-2 (De in tekst aangegeven hoogtes zijn in meters t.o.v. NAP):

#### Dijkkring 36a – Keent

Dit is een aparte (sub)dijkkring binnen dijkkring 36. In het gebied liggen circa 20 boerderijen met 61 inwoners. De gemiddelde hoogte van de dijkkring bedraagt NAP + 8m en de dijkhoogte en het toetspeil<sup>12</sup> circa +11m. Het oppervlak van deze kom bedraagt circa 1,12 km<sup>2</sup>.

#### Kom ten noordwesten van Oss

Deze kom is begrensd door de kade langs de Roode Wetering in het zuiden (hoogte 4,5 á 5m) en in het oosten door de kade langs de Hertogsewetering en hogere gronden. De gemiddelde hoogte van het terrein varieert tussen de 2,5 en 4 m. De dijkhoogte en het toetspeil bedragen circa 7m, het globale oppervlak van deze kom is circa 35km<sup>2</sup>

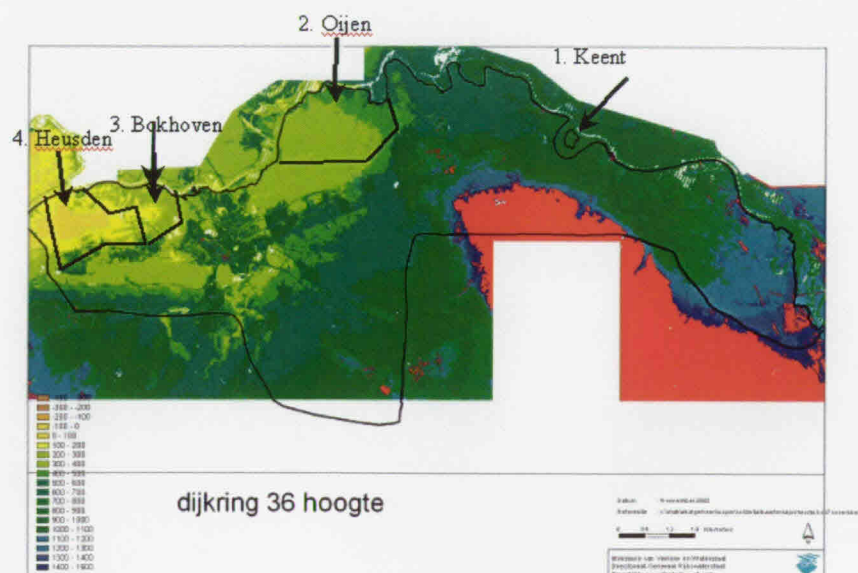
#### Kommen ten westen van 's Hertogenbosch

In dit gebied zijn twee kommen te onderscheiden.

In de eerste kom liggen de plaatsen Drunen, Heusden, Nieuwkuijk en Vlijmen. De kom wordt begrensd door aan de oostzijde: Hoge Maasdijk (6.7m), zuidzijde: Heidijk, westzijde door de Zeedijk. De gemiddelde hoogte van het terrein varieert tussen de 1 en 2m, dijkhoogte en MHW bedragen circa 5m. Het oppervlak van deze kom is circa 40km<sup>2</sup>. Echter, door de vele doorsnijdingen van de binnendijken in dit gebied mag aangenomen worden dat het gebied niet als kom beschouwd kan worden.

<sup>12</sup> Voetnoot: toetspeil = waterstand behorende bij veiligheidsnorm van de dijkkring. Bij een dijkdoorbraak wordt aangenomen dat de buitenwaterstand gelijk is aan het toetspeil.

De tweede kom ligt ten oosten van de Hoge Maasdijk en wordt in het westen begrensd door de dijk langs de Gekanaliseerde Dieze. In de kom liggen de plaatsen Bokhoven en Engelen, maar het totaal inwoners is beperkt. Het oppervlak van deze kom bedraagt circa 20 km<sup>2</sup>.



Figuur 6-5: Hoogtemodel dijkkring 36, kommen en doorbraakscenario's

In bijlage 8 zijn meer gedetailleerde kaarten van deze kommen opgenomen.

#### Keuze scenario's

Op basis van de drie kommen zijn vier scenario's geselecteerd. Daarnaast kan nog een aanvullend scenario worden beschouwd. Het betreft een doorbraak in de oostelijke deel van de dijkkring. Echter, door het geringe hoogteverschil tussen rivier en achterliggend land zal het instromend debiet voor een oostelijke doorbraak beperkt blijven. Uit enige beschikbare overstromingssimulaties blijkt dat hierbij een beperkt gebied onder water komt te staan.

De volgende vier doorbraak scenario's zijn dus geanalyseerd:

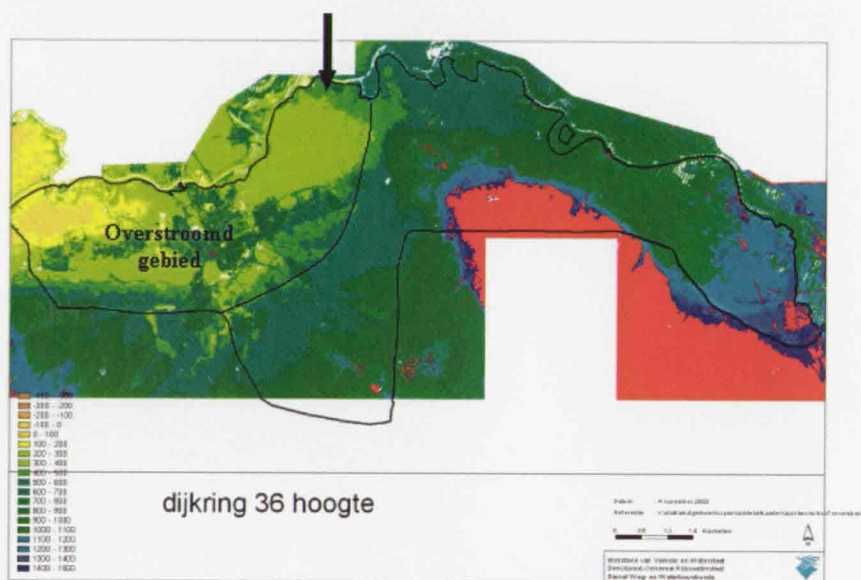
- 1) doorbraak bij Keent;
- 2) doorbraak ten Noordwesten van Oss ter plaatse van de gemeente Oijen;
- 3) doorbraak in het westen van de dijkkring bij Bokhoven;
- 4) doorbraak in het westen van de dijkkring bij Heusden.

De vier mogelijk scenario's zijn tevens aangegeven op de overzichtskaart in figuur 6-4.

Op basis van de kombergingsbenadering (zie sectie 6.1 en figuur 6-2) wordt vastgesteld dat in de kom ten Noordwesten van Oss (scenario 2) en in de kommen in het Westen van de dijkkring (scenario's 3 en 4) geen stijgsnelheden hoger dan 0,5 m/u voorkomen. Voor deze twee kommen wordt een stijgsnelheid van 0,5 meter per uur pas gehaald bij een bresdebiet groter dan 5500 m<sup>3</sup>/s. Een dergelijk groot debiet lijkt in deze situatie niet realistisch, aangezien dit dan het veronderstelde fysisch maximale debiet op de rivier overschrijdt.

Er zullen wel hoge stijgsnelheden optreden in de kom bij Keent. Echter door het beperkte aantal inwoners van deze kom wordt niet verwacht dat dit een grote bijdrage zal leveren aan het totaal aantal slachtoffers.

Daarom is ervoor gekozen om bij deze case de doorbraak bij Oijen, in de kom ten Noordwesten van Oss, als referentie scenario te kiezen. Oss zelf is hoger gelegen en zal dus niet onder water lopen. Wel zal de overstroming Den Bosch en het westelijk deel van de dijkkring inunderen. Het zal echter geruime tijd duren voordat het water Den Bosch en het westelijk deel van de dijkkring bereikt. Desondanks wordt aangenomen dat alle personen toch aanwezig blijven in de dijkkring. Zo wordt tot een conservatieve inschatting van het aantal slachtoffers gekomen. Het overstromde gebied bij dit scenario is aangegeven in onderstaande figuur. In het gebied wonen in totaal 200.000 mensen (bron: HIS Schademodule). In het scenario wordt aangenomen dat de breslocatie ligt ter plaatse van de gemeente Oijen, waardoor er slachtoffers nabij de bres kunnen vallen.



Figuur 6-6: Overstromd gebied bij gekozen doorbraak scenario: doorbraak bij Oijen

### Keuze bresdebiet

Het gekozen bresdebiet hangt af van het materiaal van de dijk, het waterstandsverschil buitenwaterstand – maaiveld, en de ruwheid van het gebied gelegen achter de bres. De dijken in het gebied zijn kleidijken. Het waterstandsverschil binnendijks-buitendijks varieert tussen de 3 en 5 meter. Omdat in de case uitgegaan wordt van een conservatieve benadering is een bresdebiet gekozen dat behoort bij een situatie van 6 meter hoogteverschil. Hierbij wordt uitgegaan van een waterstand bij overstroming die overeenkomt met het toetspeil. De ruwheid van het achterliggend gebied komt overeen met struweel. Voor deze variabelen wordt na 24 uur een bresdebiet bereikt van 1700 m<sup>3</sup>/s en een bresbreedte van circa 50m.

### 6.2.2 Bepaling van het aantal aanwezigen in het gebied

In deze conservatieve benadering is als eerste uitgangspunt worden aangenomen dat er geen preventieve evacuatie optreedt en dat alle 200.000 inwoners in het gebied aanwezig zijn<sup>13</sup>.

In deze grove berekening is het aantal bewoners van hoogbouw in het hele gebied als een vast percentage aangenomen. Uit berekeningen met de HIS Schade slachtoffermodule blijkt dat 6% van de woningen in het gebied uit hoogbouw bestaat. Dit betekent dat het aantal berekende slachtoffers met eenzelfde percentage wordt gereduceerd.

In een meer gedetailleerde benadering kan op basis van beschikbare gegevens over woningtypen het aantal personen in hoogbouw per locatie worden vastgesteld.

### 6.2.3 Bepaling van het aantal slachtoffers

#### slachtoffers door stroomsnelheid en keuze doorbraak locatie

De doorbraaklocatie is gekozen in de gemeente Oijen, aan de oostkant van de gemeente. In bijlage 7 en sectie 6.1 is afgeleid op welke afstand van de bres bepaalde combinaties van stroomsnelheid en waterdiepte worden overschreden. Op basis van deze berekeningen is afgeleid dat binnen een straal van 50 m, het gekozen criterium ( $h \cdot v \geq 7 \text{ m}^2/\text{s}$ ) wordt overschreden. Het gebied is aangegeven in figuur 6-7.



Figuur 6-7: Doorbraaklocatie Oijen (doorbraaklocatie en effectgebied nog duidelijker aangeven)

Met behulp van de HIS Schademodule is vastgesteld dat ter plaatse van de doorbraak 65 personen per hectare wonen. Het aantal slachtoffers door hoge stroomsnelheden ingeschat op 26. ( $= 0.5 \cdot PI \cdot (50\text{m})^2 \cdot 65 \text{ personen} / 10^4 \text{ m}^2$ ).

<sup>13</sup> Het aantal inwoners in een gebied is met de HIS Schade Slachtoffermethode te vinden door een zogenaamde maximale schade som te draaien. Als er een zeer grote waterdiepte in het gebied wordt gekozen zal het aantal slachtoffers maximaal zijn en gelijk zijn aan het aantal inwoners in het gebied.

### Slachtoffers door grote stijgsnelheid

In paragraaf 6.2.2 is reeds aangegeven dat er bij dit doorbraakscenario geen sprake is van grote stijgsnelheden.

### Slachtoffers door overige oorzaken

Vervolgens wordt met de "bakjesmethode" de waterdiepte in het overstromde gebied bepaald. Hierbij wordt de waterdiepte bepaald door de laagste kruinhoogte in het gebied. Deze opgelegde waterspiegel mag representatief worden geacht voor de oostelijke doorbraak bij Cuijk. De waterstand die volgens deze methode is bepaald is schematisch weergegeven in figuur 6-8. Door het aflopende karakter van het gebied bedraagt de gekozen waterstand in het gebied ten oosten van Oss circa 1m. In het westelijk deel van de dijkkring komen hogere waterstanden voor. De laagste kruinhoogte van de dijken in het westen van het gebied bedraagt NAP +5,20m. Het maaiveld in dit gebied ligt op circa NAP +1 á +2m.



*Figuur 6-8: Waterdiepte in het westelijk deel van dijkkring 36, volgens de bakjesmethode*

Uit deze waterstand is op basis van de gehanteerde functie het percentage overledenen in te schatten, zoals is weergegeven in figuur 6-9.



*Figuur 6-9: Percentage slachtoffers in de polder bij bakjesmethode*

In de gebieden waar de waterstand circa 1 meter bedraagt is de overlijdenskans op 0,25% ingeschat volgens de slachtofferfunctie overige oorzaken, in het westelijk deel van de dijkkring loopt dit op. Door deze percentages te combineren met de bevolkingsdichtheid (bv. met informatie uit de HIS module), wordt uiteindelijk een inschatting gemaakt van 951 slachtoffers door overige oorzaken.

### Overzicht / totaal aantal slachtoffers

In totaal wordt het aantal slachtoffers bij deze doorbraak als volgt ingeschat:



Tabel 6-2: Overzicht van het berekend aantal slachtoffers (zonder rekening te houden met evacuatie)

	Aantal
Inwoners gebied	200.000
Slachtoffers door grote stijgsnelheden	0
Slachtoffers door grote stroomsnelheden	26
Slachtoffers door overige oorzaken	951
Subtotaal	977
Reductiefactor voor hoogbouw (6%)	
Totaal	918

Het totaal aantal slachtoffers wordt geschat op circa 965 slachtoffers, circa 0,48% van de getroffen bevolking.

In sectie 5.1.4 zijn bandbreedtes voor de statische onzekerheid in de slachtofferfunctie aangegeven. Op basis van deze bandbreedtes is een inschatting te geven van een boven- en ondergrens voor de schatting van het aantal slachtoffers. De gemiddelde schatting van het aantal slachtoffers door overige oorzaken bedraagt 951. Als gerekend wordt met 2,5% betrouwbaarheidsinterval bedraagt het aantal slachtoffers circa 210. Dit is de waarde die met 2,5% kans zal worden onderschreden. De waarde voor het 97,5% betrouwbaarheidsinterval bedraagt circa 1640. Hiermee is een indruk te krijgen van de invloed van (statische) onzekerheid op de inschatting van het aantal slachtoffers. In het criterium voor slachtoffers in het gebied met hoge stroomsnelheden is geen onzekerheidsband afgeleid.

## 6.3 Discussie

### Aannamen in berekeningen

Ten eerste zijn er enige kanttekeningen te plaatsen bij de uitgangspunten en aannamen van de berekening. Er van uitgegaan dat geen evacuatie plaatsvindt. Deze aanname lijkt onrealistisch. Verwacht wordt dat het water bij doorbraak bij Oijen pas na vele uren, zelfs dagen, het westelijk deel van de dijkkring zal bereiken. Personen in het westen van de dijkkring zullen dus veel tijd hebben om te vluchten. Indien rekening wordt gehouden met evacuatie zal het aantal slachtoffers een stuk lager liggen. In deze eerste berekening is ook geen rekening gehouden met de mogelijkheden tot vluchten in het gebied zelf omdat er geen gegevens beschikbaar waren over de verspreidingssnelheid van het water. Wel is grof de invloed van de aanwezigheid van hoogbouw gekwantificeerd. Een belangrijke onzekerheid betreft de omvang van het overstroomde gebied. In deze uitwerking is de omvang hiervan conservatief (dus groot) aangenomen.

Een andere belangrijke onzekerheid ligt in de keuze van de breslocatie. In de hierboven gevolgde benadering zal het aantal slachtoffers door grote stroomsnelheden nabij de bres sterk afhankelijk zijn van de gekozen doorbraaklocatie. Bovendien is aangenomen dat geen noodmaatregelen genomen worden waardoor de bres gedicht wordt of maatregelen waarbij water uit het overstroomde gebied terug wordt gelaten in de rivier.

### **Vergelijking met andere typen gegevens**

Qua aantallen slachtoffers overstijgt de uitgewerkte case het aantal slachtoffers bij historische rivieroverstromingen in Nederland (zie tabel 2-2). Echter, wereldwijde gegevens laten wel degelijk zien dat bij grootschalige rivieroverstromingen zeer veel slachtoffers kunnen vallen. Bovendien komt de berekende mortaliteit voor de case (0,5% van de getroffen bevolking komt om bij de overstroming) goed overeen met geanalyseerde wereldwijde gegevens: gemiddeld is in de wereldwijde statistieken een mortaliteit van 0,49% gevonden voor rivieroverstromingen. Er is echter wel grote spreiding in deze statistieken.

### **Vervolg: gedetailleerde berekeningen**

Enkele van de bovengenoemde bezwaren zijn te ondervangen door meer gedetailleerde informatie te gebruiken bij het inschatten van het aantal slachtoffers. In de *gedetailleerde* methode wordt een overstromingsscenario doorgekend met een hydrodynamisch model. Hierin worden de volgende stappen onderscheiden: de keuze van scenario's, simulatie van het overstromingsverloop, bepaling van de effecten van evacuatie, bepaling van het aantal slachtoffers en het risico niveau. Een meer gedetailleerde uitwerking van de case met behulp van overstromingssimulaties zal meer inzicht geven in:

- De lokale overstromingsomstandigheden (waterdiepte, stroom- en stijgsnelheid)
- De omvang van het overstroomde gebied
- De verplaatsing en aankomsttijd van het water en daarmee de mogelijkheden voor evacuatie

Een dergelijke aanpak zal in vervolgonderzoek worden uitgewerkt.

# 7 Slotopmerkingen

---

## 7.1 Conclusies

Doel van dit rapport is het beschrijven en onderbouwen van de methode ter inschatting van het aantal slachtoffers bij een grootschalige overstroming van een dijkkringgebied in Nederland. Meer specifiek komen in dit rapport enkele vragen aan de orde die hieronder zijn opgenomen.

*Welke typen gegevens zijn beschikbaar m.b.t. slachtoffers bij overstromingen?*

Verschillende typen informatie, met verschillende detail niveaus zijn beschikbaar m.b.t. slachtoffers bij overstromingen. Het betreft wereldwijde statistieken van zoetwater- en kust overstromingen, gedetailleerde gegevens van buitenlandse overstromingen, gegevens omtrent overstromingen in de Nederlandse historie, en gegevens voor de watersnoodramp van 1953.

Uit de wereldwijde gegevens en Nederlandse historische gegevens blijkt dat er qua absolute aantallen in het verleden vooral veel doden zijn gevallen bij onverwachte overstromingen vanuit zee. Met name onverwachte en snel stijgende overstromingen, zoals flash floods, kunnen leiden tot hoge mortaliteit. Daarentegen zullen beter voorspelbare overstromingen, met beperkte overstromingsdieptes, leiden tot relatief lage slachtofferaantallen. Uit een vergelijking van de verschillende typen overstromingen blijkt dat bij overstromingen ongeveer 1% van de getroffen bevolking omkomt. Deze waarde is als eerste grove vuistregel te hanteren. Voor een meer specifieke inschatting is een meer gedetailleerde beschouwing nodig van specifieke factoren, zoals overstromingskenmerken en mogelijkheden tot waarschuwing.

In de analyses in dit rapport zijn gegevens van de Watersnoodramp 1953 gebruikt omdat het hiermee mogelijk is een verband te leggen tussen de kenmerken van de overstroming en het optredend aantal slachtoffers.

*Welke factoren spelen een rol bij de inschatting van het aantal slachtoffers ten gevolge van overstroming?*

Bij een kwantitatieve inschatting van het aantal slachtoffers moet in ieder geval rekening worden gehouden met de mogelijkheden voor waarschuwing en evacuatie, en hydraulische kenmerken van de overstroming. Het aantal slachtoffers kan dus worden ingeschat door de volgende drie elementen te combineren:

- Het overstromingsverloop
- Het aantal aanwezigen in het overstroomd gebied (bepaald door evacuatie)
- Inschatting van het aantal slachtoffers onder de aanwezige personen als functie van de overstromingskenmerken

*Welke methoden zijn beschikbaar om slachtoffers ten gevolge van grootschalige overstromingen in te schatten, en hoe wordt de kwaliteit hiervan beoordeeld?*

De verschillende slachtoffermethoden die in Nederland beschikbaar zijn, zijn vergeleken met de beschikbare gegevens m.b.t. slachtoffers in de Watersnoodramp 1953. De relaties tussen de gegevens van de Watersnoodramp van 1953 en de gebruikte slachtofferfuncties konden op basis van de beschikbare gegevens niet geheel gereproduceerd worden. De in de HIS Schade en Slachtoffermodule versie 1.0 opgenomen functie (Vrisou van Eck, 1999) heeft de relatie met de oorspronkelijke dataset van 1953 heeft verloren. De functie is daarom in deze vorm ongeschikt voor toepassing in de schademodule.

Ook de overige bestaande functies zijn onvoldoende onderbouwd om te komen tot een enigszins realistische inschatting van het aantal slachtoffers. Deze bevindingen tonen aan dat het nodig is om verbeterde slachtofferfuncties af te leiden op basis van de beschikbare gegevens.

*Kan op basis van de beschikbare gegevens een verbeterde methode worden afgeleid?*

Een model is ontwikkeld dat het aantal slachtoffers relateert aan de overstromingskenmerken. De volgende oorzaken zijn onderscheiden: slachtoffers nabij de bres, slachtoffers door snel stijgend water, en slachtoffers door overige oorzaken. De slachtofferfuncties voor snel stijgend water en overige oorzaken zijn onderbouwd op basis van de gegevens van de Watersnoodramp van 1953. Het criterium voor slachtoffers door stroomsnelheden is gebaseerd op literatuurwaarden en modelberekeningen. Ten opzichte van de bestaande slachtofferfuncties zijn in de voorgestelde methode meer factoren onderbouwd op basis van historische gegevens.

*Hoe kunnen de ontwikkelde slachtofferfuncties worden toegepast om te komen tot een eerste grove inschatting van het aantal slachtoffers bij een overstroming?*

Een methode is voorgesteld voor een globale inschatting van het aantal slachtoffers bij overstromingen. Deze methode houdt onder andere rekening met de omvang van het overstroomde gebied, het aantal hierin aanwezige personen, de kenmerken van de overstroming en de mogelijke doodsoorzaken.

Aangegeven is hoe de ontwikkelde slachtofferfuncties zijn toe te passen om te komen tot een grove enigszins conservatieve inschatting van het aantal slachtoffers.

Een case studie is uitgevoerd voor dijkkring 36 "Land van Heusden / de Maaskant, resulterend in een schatting van circa 970 doden voor een doorbraak bij de gemeente Oijen. De resultaten van de case kunnen als conservatief worden beschouwd omdat nog geen rekening is gehouden met evacuatie vooraf en de vluchtmogelijkheden na de dijkdoorbraak.

## **7.2 Aanbevelingen en vervolgonderzoek**

### **Onderbouwing slachtofferfuncties**

De hier afgeleide slachtofferfuncties zijn gebaseerd op gegevens van één gebeurtenis, namelijk de watersnoodramp van 1953 in Nederland. Om tot een betere onderbouwing van de slachtofferfuncties te komen wordt aanbevolen meer soortgelijk onderzoek te doen voor andere gevallen, bijvoorbeeld voor overstromingen in Engeland (1953) en Japan (1959).

In de huidige methode wordt het percentage slachtoffers alleen gerelateerd aan overstromingskenmerken. Ook andere lokale factoren, bv. gebouwen en mate van waarschuwing zullen hier invloed op hebben. Aanbevolen wordt nader onderzoek te doen naar 1) de effecten van (het instorten) van bebouwing op het aantal slachtoffers, 2) de effecten van waarschuwing op de mortaliteit. In de toekomst kunnen de voorgestelde slachtofferfuncties naar verwachting voor deze factoren worden aangepast.

#### **Toepassing in algemene methode voor slachtofferinschatting**

In deze rapportage is een grove methode voor een conservatieve inschatting van het aantal slachtoffers afgeleid. Voorgesteld wordt om een meer gedetailleerde methode uit te werken die gebruik maakt van informatie uit overstromingssimulaties. Zo ontstaat een nauwkeuriger inschatting van lokale overstromingsomstandigheden (waterdiepte, stroom- en stijgsnelheid) en de omvang van het overstroomde gebied.

#### **Evacuatie en vluchten**

In de slachtofferberekening in de case in dit rapport is geen rekening gehouden met preventieve evacuatie en vluchten. Voorgesteld wordt om in verdere berekeningen de mogelijkheden voor waarschuwing en evacuatie vooraf, en de vluchten na de overstroming mee te nemen. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de resultaten van overstromingssimulaties die de verspreiding van de overstroming en de aankomsttijd van het water na doorbraak aangeven.

#### **Keuze van scenario's en toepassing in risicoberekeningen**

Het aantal slachtoffers zal sterk afhangen van de gekozen doorbraaklocatie en het gekozen overstromingsscenario. Aanbevolen wordt om in een risico benadering ook de waarschijnlijkheid van doorbraak op een bepaalde locatie mee te nemen. Een set van representatieve overstromingsscenario's kan zo worden samengesteld. Op deze wijze kan een meer volledig beeld van de slachtoffer risico's ontstaan. Deze zijn uit te drukken met verschillende risicomaten, zoals de FN curve of risiccontouren, zodat het mogelijk is een vergelijking te maken met de omvang van risico's in andere sectoren.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van vervolgonderzoek voor de verschillende onderdelen.

Onderdeel	Uitgevoerd door	Wanneer afgerond
Verdere uitwerking slachtofferfuncties	Promotieonderzoek Jonkman	Eind 2004
Implementatie vernieuwde slachtofferfuncties	VNK / DWW doorontwikkeling HIS schade en slachtoffermodule	Voorjaar 2004
Effecten instorten bebouwing	Onderzoek Jonkman / doelsubsidie onderzoek WL	Eind 2004
Uitwerking gedetailleerde methode mbv overstromingssimulaties	VNK slachtoffers en VNK risico cases	Zomer 2004
Ontwikkeling evacuatiemodule, inclusief verkeersmodel	VNK / DWW doorontwikkeling HIS schade en slachtoffermodule	Zomer 2004
"Vluchten" meenemen in berekeningen	VNK slachtoffers en VNK risico cases	Zomer 2004
Keuze scenario's en toepassing in risico berekeningen	VNK risico cases	Eind 2004

#### Slotopmerking

De wereldwijde statistieken en de gebeurtenissen van februari 1953 hebben aangetoond dat er bij een overstroming veel slachtoffers kunnen vallen. Toepassing van de in dit rapport beschreven methode laat zien dat een onverwachte dijkdoorbraak op een ongunstige locatie in Zuid Holland mogelijk kan leiden tot 10.000-en slachtoffers (Asselman, 2003). Dergelijke slachtofferaantallen zijn ook voorgekomen bij overstromingen in de Nederlandse historie en bij overstromingen het buitenland. Aanbevolen wordt om in bestaande rampenbestrijdingsplannen rekening te houden met de mogelijkheid van een grootschalige overstroming.

***De ligging van grote delen van Nederland onder de zeespiegel dwingt ons om een grootschalige catastrofale overstroming niet alleen te beschouwen als een theoretische mogelijkheid, maar als een reëel gevaar.***

## 8 Referenties

---

- Abt, S.R., R.J. Wittler, A. Taylor. 1989, Predicting human instability in flood flows. Hydraulic Engineering – proceedings of the 1989 National Conference on Hydraulic Engineering; Ports, M.A. (ed.). 1989 American society of civil engineers.
- Asselman N. Jonkman S.N 2003, Consequences of floods: the development of a method to estimate loss of life, Delft Cluster report DC1-233-7
- Barendregt et al. 2002, Evacuatie bij dreigende overstromingen  
HKV LIJN IN WATER en Universiteit Twente in opdracht van de Dienst Weg-en Waterbouwkunde, September 2002
- Bennet, G. 1970, Bristol floods 1968 – Controlled survey of effects on health of local community disaster. *British Medical Journal*, 3, 454-458, 1970.
- Chowdhury, A., Mushtaque, R., Bhuyia, A.U., Choudhury, A.Y., and Sen, R.: 1993, The Bangladesh Cyclone of 1991: Why So Many People Died, *Disasters*, 17(4), 291-304.
- Commissie Rivierdijken, 1977, Rapport Commissie Rivierdijken
- Duiser J.A. 1989, Een verkennend onderzoek naar methoden ter bepaling van inundatieschade bij dijkdoorbraak.
- DWW, 2003, Schade na grootschalige overstroming, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, DWW-2003-056, mei 2003,
- French J., S. von Allmen, R. Wood. 1983, Mortality from flash floods: a review of the national weather service reports, 1969 – 1981. *Public Health Rep.* 98 (6): 584 – 588, 1983.
- Gerritsen, H., S.N. Jonkman, I. Kelman, C. Martens, P. Waarts. 2003. CURBE Fact Sheet 7: Belgium Deaths from the 1953 Storm Surge. Version 3, 27 July 2003 (Version 1 - 31 March 2003). Gedownload van <http://www.arct.cam.ac.uk/curbe/CURBEFactSheet7Belgium1953Deaths.doc>
- Gottschalk M.K.E., 1971, Stormvloeden en rivieroverstromingen in Nederland, in 3 delen.
- Jonkman S.N. 2001, Een onderzoek naar de toepasbaarheid van risicomaten, TU Delft / DWW
- Jonkman S.N., P.H.A.J.M. van Gelder, J.K. Vrijling. 2002, An overview of loss of life models for sea and river floods. *Proc. Flood Defence '2002*, Wu et al. (eds). Science Press, New York Ltd., ISBN 7-03-008310-5, 2002.
- Jonkman S.N. 2003, Global perspectives of loss of life caused by floods, *Natural Hazards*, *in Press*
- Jonkman S.N., Kelman I., 2004, An analysis of causes and vulnerabilities of flood disaster deaths, *Disasters*, *in Press* (under review)
- Kelman, I. 2003, CURBE Fact Sheet 3: U.K. Deaths from the 1953 Storm Surge. Version 3, 5 July 2003 (Version 1 was 30 November 2002). Gedownload van <http://www.arct.cam.ac.uk/curbe/CURBEFactSheet3UK1953Deaths.doc>
- Martens C, De storm van 1953: literatuurstudie naar de gevolgen van de overstromingen voor de Belgische kust. Nota I/NO/11226/03.085/CMA

- Mitchell J.K., 2003, European floods in a changing world, Risk Analysis Vol. 23, No. 3
- Rescdam. 2002, The use of physical models in dam-break flood analysis. Helsinki University of Technology
- Slager, 1992, De ramp, een reconstructie, De koperen tuin, 1992
- Rijkswaterstaat, 2001, Hydraulische randvoorwaarden 2001
- Roos, W., P. Waarts, A. Vrouwenfelder. 2003, Damage to buildings, Delft: Delft Cluster paper
- van der Heijden C., De allerheiligenvloed, in NRC Handelsblad: rampen en plagen
- van der Ven G.P., Driessen A.M.A.J., Wolters W., Wasser J., Niets is bestendig - de geschiedenis van de rivieroverstromingen in Nederland, 1995
- van Manen, S.E. et al. 2001, Pilot Case Overstromingsrisico (PICASO), Bouwdienst Rijkswaterstaat en Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 2001
- Vrisou van Eck, N., M. Kok, A. Vrouwenfelder. 1999, Standaardmethode Schade en Slachtoffers, december 1999 en de HIS Standaardmethode
- Vrouwenfelder A., A. Wubs, 1992, Bepaling van schade, slachtoffers en de toelaatbare frequentie bij inundatie, TNO-B-92-0490/PM-93-36A, DEC 1992
- Vrouwenfelder A., P. Waarts. 1994, TAW-E risico analyse (94-CON-R120), jan 1994
- van Gelder, P., Kraak A., Notitie Relatie Stijgsnelheid – aantallen slachtoffers, (11/10/94)
- Vrouwenfelder A., C.M. Steenhuis. 1997, Tweede waterkeringen Hoeksche Waard. TNO 97-CON-R0332.
- Vellinga, 2003, Klimaatverandering en de veiligheid van Nederland, Erasmuslezingt 2003.
- Waarts P. 1992, Methode voor de bepaling van het aantal doden als gevolg van inundatie. TNO B-91-1099.
- World Health Organization – regional office for Europe. 2002, Floods: climate change and adaptation strategies for human health, 2002
- www1: <http://proto.thinkquest.nl/~jrb144/stormvloedrampen.htm>
- www2: <http://home.tiscali.nl/~dhuizing/geschiedenis.html>



## Bijlage 1: Definities van veelgebruikte termen

---

### **Bestfit**

slachtofferfunctie die de beste fit (laagste afwijking) geeft bij de dataset waarin gegevens met betrekking tot verdrinkingen en hydraulische omstandigheden zijn opgenomen

### **Dataset**

Verzameling van gegevens die betrekking hebben op verdrinkingen tijdens de Watersnoodramp van 1953. Opgenomen zijn per locatie: aantal verdrinkenen, aantal inwoners, hydraulische omstandigheden (waterdiepte en / of stijgsnelheid)

### **Grootschalige overstroming**

Overstroming van een dijkringgebied waarbij (een deel van de) primaire waterkering bezweken is.

### **Locatie**

Een locatie is gedefinieerd als een gebied waarvoor overstromingskenmerken (waterdiepte, stijgsnelheid, etc.) en het niveau van waarschuwing redelijk homogeen worden aangenomen. Locaties kunnen hele gemeenten zijn, maar voor enkele plaatsen is een onderscheid gemaakt tussen dorpskern en buitenwijk.

### **Mortaliteit**

Het aantal slachtoffers in een gebied gedeeld door het aantal getroffen personen in dat gebied.

### **Slachtofferfunctie**

Functie die een relatie geeft tussen kans op verdrinking en hydraulische omstandigheden (meestal waterdiepte)

### **Stijgsnelheid**

snelheid waarmee water in het overstroomde gebied stijgt, vanaf het moment dat overstroming begint, in m/uur

### **Verdrinkingsfractie**

verdrongen fractie van het aantal inwoners, = aantal verdrinkenen / aantal inwoners

### **Verdrinkingsoorzaak**

Reden / oorzaak van verdrinking. Onderscheiden zijn: verdrinking nabij de bres door hoge stroomsnelheden, verdrinking door hoge stijgsnelheid (niet meer kunnen vluchten) en overige oorzaken

### **Waterdiepte**

Opgetreden waterdiepte in het overstroomde gebied, in meters

## Bijlage 2: Beschikbare gegevens Watersnood 1953

In onderstaande tabel zijn de gegevens uit het rapport van Waarts overgenomen voor de ramp van 1953. Wat opvalt is dat de in [Waarts, 1992] weergegeven verdrinkingsfracties niet gelijk zijn aan het aantal verdronkenen gedeeld door aantal inwoners dat gerapporteerd is. Bij toepassing van de gegevens uit Waarts worden de zelf (uit verdrinkingen en inwonersaantal) berekende verdrinkingsfracties gebruikt. In totaal zijn voor 1726 slachtoffers (45 locaties) gegevens opgenomen.

Plaats	verdrinkings aantal	overstomings diepte	stijg snelheid (m/u)	aantal inwoners	verdrinkingsf actor	verdrinkingen naar oorzaak		
						stijg	stroom	overig
<u>Z. Vlaanderen</u>								
Ossenisse	10	1						10
Terneuzen	5	2		13790	0,04%			5
<u>Zuid Beveland</u>								
Baarland	5	1,2		818	0,61%			5
Ellewoutdijk	5	1,4		486	1,03%			5
Oostkerke	16	1,3						16
Oudelande	5	0,8		779	0,64%			5
Kruiningen	63	3,5		4859	1,30%		1	62
Rilland	12	1,7		2253	0,53%		7	5
Waarde	1	2,5		1104	0,09%		1	0
Krabbedijke Oostdijk	2	0						2
<u>Noord Beveland</u>								
Geersdijk	5	1,6						5
Kortgene	40	3,5		3748	1,07%			40
<u>Tholen</u>								
Maartensdijk	0	1		2147	0,00%			0
Poortvliet	0	2		1705	0,00%			0
Stavenisse	153	3,2	10	1737	8,81%	153		0
St.Philipsland	5	2,3		2136	0,23%			5
<u>Schouwen-Duiveland</u>								
Brouwershaven	3	1,5	0.5	1198	0,25%	3	0	0
Bruinisse	5			2137	0,23%			5
Burghsluis	10	3,9	16	50	20,00%	10	0	0
Dreischor	32	2,8		1020	3,14%	22	10	0
Elkerzee	0	2		517	0,00%			0
Haamstede	0			1715	0,00%			0
Kerkwerpe	5	2		801	0,62%	0		5
Looperskapelle	0							0
Nieuwerkerk	275	3,3		1858	14,80%	275		0

Nieuwerkerke	0							0
Noordwelle	0	1,5		455	0,00%			0
Oosterland	55	3		1819	3,02%			55
Ouwerkerk buiten	72	3,8	4	180	40,00%	72		0
Ouwerkerk kern	28	2,8	4	385	7,27%	28		0
Oudendijke	0			464	0,00%			0
Scharendijk	0	2						0
Serooskerke	16			219	7,31%			16
Sirjansland	0							0
Zierikzee	16	3	*	7129	0,22%		1	15
Zonnemaire	0	0,4		791	0,00%			0

#### Goeree Overflakkee

Den Bommel	9	2	0,4	1993	0,45%			9
Goedereede	6	2,1		1195	0,50%			6
Herkingen	4	0,5		1078	0,37%			4
Nieuwe Tonge kern	48	2,4	6	2081	2,31%	48		0
Nieuwe Tonge buiten	39	3,5	6	105	37,14%	39		0
Ooltgensplaat	0	2	0,4	3212	0,00%			0
Oude Tonge	305	3	6	3088	9,88%	305		0
Sommelsdijk/ Middelharnis	22	2,4		8818	0,25%			22
Stellendam	62	3,3	vloedgolf	1883	3,29%		62	0

#### Noord Brabant

Dussen	6							6
Fynaart / Heinen	76	1,5	*	5141	1,48%	38	38	0
Halsteren	68	3	*	7894	0,86%	34	34	0
Klundert	2	2,8		5245	0,04%			2
Nieuw- Vossemeer	47	2,2		1686	2,79%			47
Oosterhout	0	0,3		21415	0,00%			0
Sprang-Capelle	0			6029	0,00%			0
Waspik	0			3529	0,00%			0
Zevenbergen	14			9386	0,15%			14

#### Putten

Abbenbroek	5	2		735	0,68%			5
Oudendoorn	0	2,07		896	0,00%			0
Zuidland	25	2		2278	1,10%		10	15

#### Hoekse Waard

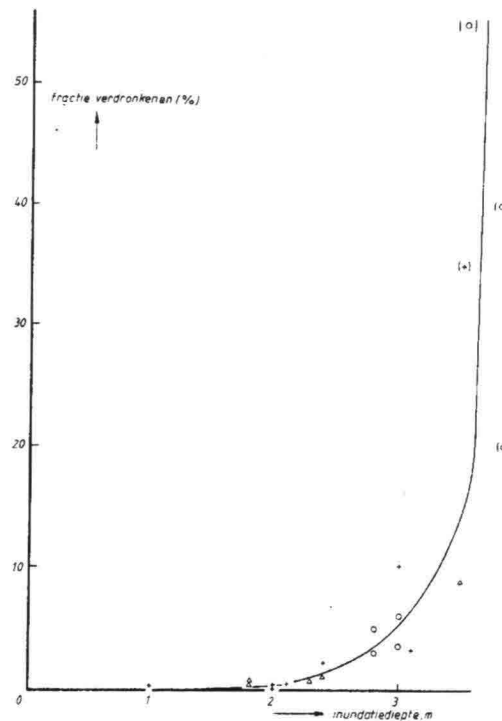
s Gravendeel	37	1,9		5461	0,68%		30	7
Numansdorp	56	1,5		4473	1,25%		40	16
Strijen	42	1,9		5102	0,82%		30	12
Heinenoord	2			2232	0,09%			2
Dordrecht	2	0,45		73610	0,00%			2
Zuid-Beyerland	2			2603	0,08%			2

## Bijlage 3: Overzicht slachtoffermodellen

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de in Nederland afgeleide methoden voor slachtofferbepaling bij overstromingen. Alle genoemde methoden zijn gebaseerd op de Watersnoodramp van 1953

### **J.A. Duiser, Een verkennend onderzoek naar methoden ter bepaling van inundatieschade bij dijkdoorbraak [1989]**

Duiser [1989] heeft als eerste de gegevens van 1953 verzameld en heeft op basis hiervan een analyse van de slachtoffers bij de Watersnoodramp gemaakt. In het rapport zijn gegevens met betrekking tot de verdrinkingsfractie en overstromingsdiepte opgenomen voor 18 locaties. Locaties kunnen hele gemeenten zijn, maar voor enkele plaatsen is een onderscheid gemaakt tussen dorpskern en buitenwijk. De beschikbare gegevens van Duiser zijn opgenomen in bijlage II. Op basis van deze gegevens is de volgende grafiek afgeleid.



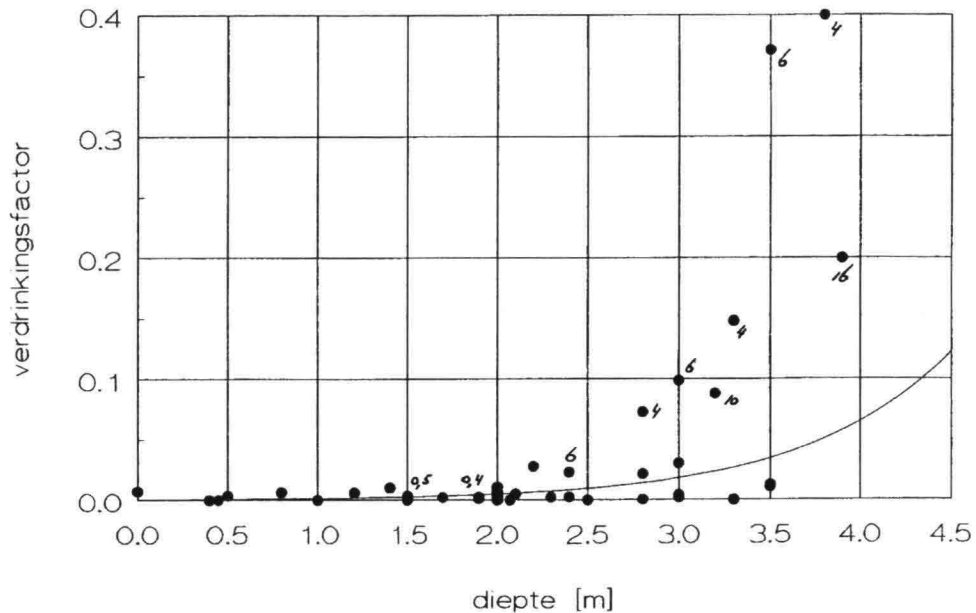
Figuur 1: Fractie verdrinkenen als functie van de inundatiediepte tijdens de stormvloed van 1-2-1953 [Duiser, 1989]

### **Waarts P., Methode voor de bepaling van het aantal doden als gevolg van inundatie, TNO B-91-1099, 1992**

In [Waarts, 1992] zijn op basis van verslagen en gedenkboeken de gegevens uit het rapport van Duiser aangevuld. Voor 64 locaties (hele gemeente, dorpskern of buitenwijk) zijn gegevens m.b.t. verdrinkingen opgenomen, voor zo'n 45 locaties gegevens over overstromingsdiepte en verdrinkingsfactor bekend<sup>14</sup>. De beschikbare gegevens voor deze 45 punten

<sup>14</sup> Voor de 19 resterende locaties zijn geen waterdieptes en / of bevolkingsaantallen gegeven.

zijn opgenomen in bijlage III. Voor 10 van de locaties zijn ook kwantitatieve gegevens over de stijgsnelheid afgeleid uit de omschrijvingen in de gedenkboeken. In onderstaande figuur zijn de beschikbare meetpunten weergegeven. Beschikbare informatie over de stijgsnelheid is in de grafiek bij de punten vermeld:



Figuur 2: verdrinkingsfactor als functie van de inundatiediepte. Indien beschikbaar is aangegeven de opgetreden stijgsnelheid in m/uur [Waarts, 1992]

Opvallend is dat hoge verdrinkingsfracties optreden bij combinaties van relatief grote overstromingsdiepte en relatief hoge stijgsnelheden. Daarnaast blijkt uit de gegevens dat relatief hoge verdrinkingsfactoren (punten 0,4, 0,37 en 0,2) worden gevonden voor locaties met een beperkt aantal inwoners (180, 100 en 50).

Allereerst is in het rapport een algemene functie voor de gehele dataset voorgesteld die een relatie geeft tussen de verdrinkingsfactor ( $\delta_{h1}$ ) en de opgetreden waterdiepte ( $h$ ):

$$\delta_{h1} = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1.16 \cdot h}$$

Daarnaast is in het rapport onderzocht of door het onderscheiden van verschillende verdrinkingsoorzaken een betere voorspelling kan worden verkregen. Hierbij zijn indien het mogelijk was op basis van omschrijvingen voor de verschillende locaties verdrinkingsoorzaken onderscheiden. Allereerst zijn op basis van de beschrijvingen uit gedenkboeken slachtoffers als gevolg van hoge stroomsnelheid onderscheiden. Voor 9 locaties zijn (een deel van) de slachtoffers door hoge stroomsnelheden bepaald. Een fit is uitgevoerd voor de situatie waarin de slachtoffers als gevolg van grote stroomsnelheid zijn geëlimineerd, met als resultaat de volgende functie:

$$\delta_{h2} = 0.4 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1.27 \cdot h}$$

Door Waarts is ook onderzocht of er een relatie bestaat tussen stijgsnelheid en verdrinkingsfactor. Op basis van de omschrijvingen uit de gedenkboeken zijn locaties waar slachtoffers zijn gevallen door hoge

stijgsnelheden vastgesteld<sup>15</sup>. Onderzocht is voor de punten waarvoor stijgsnelheid bekend is of een betere functie wordt verkregen als de inundatiediepte als bepalende factor wordt vervangen door de factor stijgsnelheid. Als naast de slachtoffers door stroomsnelheid ook slachtoffers door stijgsnelheid worden geëlimineerd (voor 8 punten) blijkt er vrijwel geen verband meer te zijn tussen inundatiediepte en de verdrinkingsfactor. Uit een kleinste kwadratenfit volgt dan de volgende functie:

$$\hat{\partial}_{h3} = 0.75 \cdot 10^{-3} \cdot h^{1.83051}$$

### Gedetailleerd model van Waarts

Uiteindelijk is op basis van de bovenstaande analyses (en enkele aanvullende analyses in het rapport van Waarts) het volgende model voorgesteld, voortaan in deze tekst aangeduid met "het gedetailleerde model van Waarts". Dit model doorloopt de volgende stappen (Bij het model zijn cursief enige opmerkingen geplaatst):

#### 1. Evacuatie

Bepaal waarschuwingstijd en bepaal de fractie geëvacueerden (ef) van de bevolking ( $n_b$ ) en de nog aanwezigen ( $n_a$ )

$$n_a = n_b - n_b \cdot e_f$$

#### 2. Verdrinking ten gevolge van hoge stroomsnelheden

aangenomen wordt dat binnen tweemaal bresbreedte van de dijk iedereen zal komen te overlijden ( $n_u$ )

#### 3. Verdrinking door stijgsnelheid

- indien stijgsnelheid kleiner is dan 1,5m per 5 uur vallen er geen slachtoffers

bepaal verdiepingshoogte z en maximale inundatiediepte h

- indien  $h < z$   
bepaal het aantal geredden ( $n_e$ ) . Het aantal slachtoffers t.g.v. stijgsnelheid ( $n_v$ ):

$$n_v = n_a - n_e$$

- indien  $h > z$ , geen slachtoffers door stijgsnelheid

#### 4. Overige slachtoffers ( $n_0$ )

gelijk aan:

$$n_0 = P_s \cdot n_b \cdot \delta_{h3}$$

Waarin:

$P_s$  kans op storm, =1 voor overstroming vanuit zee

$n_b$  het aantal bewoners

$$\hat{\partial}_{h3} = 0,75 \cdot 10^{-3} \cdot h^{1.83051}$$

Opgemerkt is dat voor huizen van beton / gietbouw een lagere verdrinkingsfactor  $\delta_{h3}$  gekozen mag worden, namelijk door deze te vermenigvuldigen met 0,5.

Het totale aantal slachtoffers wordt nu gevonden door over de verdrinkingsoorzaken (stroomsnelheid, stijgsnelheid en overig) te sommeren. Als alternatief is, voor het geval gedetailleerde gegevens niet

<sup>15</sup> Opgemerkt is het rapport van Waarts dat wordt getwijfeld moet worden aan de juistheid van de gerapporteerde stijgsnelheid.

beschikbaar zijn de eerder genoemde functie  $\delta h_1$  voorgesteld. Vervolgens is de nauwkeurigheid van het grove en het fijne model geanalyseerd voor 44 locaties. Geconcludeerd is dat het grove model meer onzekerheid geeft dan het fijne. De afwijkingen tussen de voorspelde aantallen slachtoffers met de modellen en het aantal gerapporteerde slachtoffers is bepaald met een kleinste kwadraten methode. Er wordt gevonden: gedetailleerd model Waarts:  $\sigma(N) = 15$  slachtoffers, grof model Waarts (functie  $\delta h_1$ )  $\sigma(N) = 71$  slachtoffers.

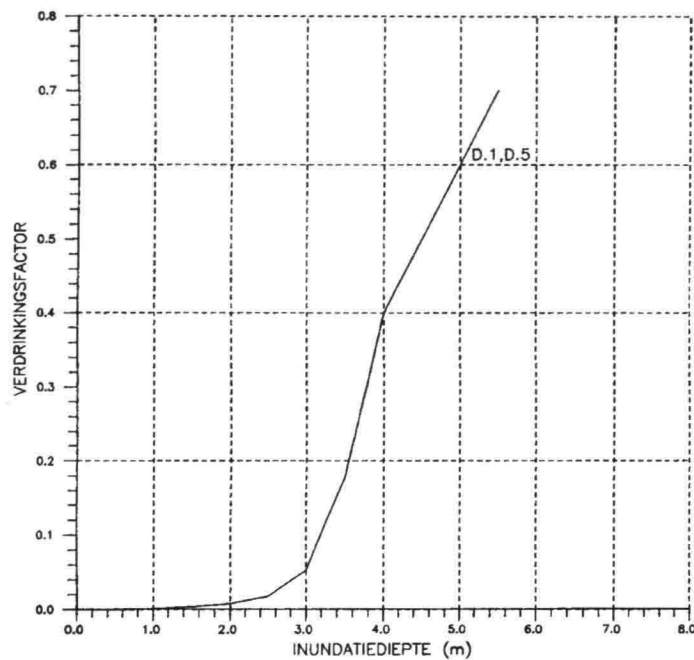
Bij het gedetailleerde model van Waarts kunnen daarnaast nog de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- t.o.v. statistische analyse van waarnemingen zijn er in het gedetailleerde model nogal wat factoren geïntroduceerd, waarvoor de waarden en relaties niet of mager onderbouwd zijn
- geen onderbouwing op basis van waarnemingen is gegeven voor het criterium dat binnen tweemaal de bresbreedte iedereen komt te overlijden, dit is dus een aanname
- het gegeven criterium voor stijgsnelheid "indien stijgsnelheid kleiner is dan 1,5m per 5 uur vallen er geen slachtoffers", wijkt af van het eerder in het rapport genoemde criterium: 1,5m in 2 uur, genoemde waarden zijn niet direct onderbouwd in rapport en hebben daarom meer het karakter van een aanname
- Met name de modellering van stijgsnelheid is twijfelachtig. Als waterdiepte groter is dan verdiepingshoogte dan geen slachtoffers (waarschijnlijk is een fout teken in het rapport gebruikt).
- niet aangegeven is hoe het aantal geredden is te bepalen
- Geen afleiding is gegeven voor de voorgestelde gebouwfactor ( $\delta_0$ )(*gebaseerd op een analyse van de sterkte van gebouwen onder waterdruk en golfaanval*)
- De gegevens van de Watersnood verzameld door Waarts, met betrekking tot waterdiepte liggen allemaal in het bereik (0 tot 3.9 m). Er is dus geen informatie over hogere verdrinkingsdieptes beschikbaar. Het verloop van de verdrinkingsfuncties is dus vanaf dieptes van ongeveer 3.9m niet meer gebaseerd op gegevens, maar wordt bepaald door de extrapolatie!
- Bij deze analyse dient opgemerkt te worden dat het fijne model, zoals boven is beschreven, niet daadwerkelijk is toegepast voor de data. Het onderscheid naar verdrinkingscategorieën dat Waarts in zijn data analyse heeft gemaakt is gebaseerd op de omschrijvingen uit de gedenkboeken. De genoemde kwantitatieve criteria voor bv. stijgsnelheid en stroomsnelheid zijn hierbij niet toegepast. Dit betekent dat vanzelf een goede fit wordt verkregen, immers alleen voor slachtoffers door overige oorzaken wordt de afgeleide functie toegepast. De slachtoffers voor de oorzaken stijgsnelheid en stroomsnelheid kloppen precies, deze zijn immers overgenomen uit de beschrijving. Echter, het model moet ook een voorspellende waarde hebben voor situaties die nog niet zijn opgetreden. De conclusie dat het fijne model de beste fit geeft en het meest bruikbaar is lijkt dus niet zo maar gerechtvaardigd. Om dit te toetsen zal het fijne model nogmaals "blind" (dus zonder kennis vooraf over verdrinkingsoorzaken) moeten worden toegepast voor de locaties. Vervolgens kunnen deze resultaten worden vergeleken met de daadwerkelijke observaties. Probleem bij "blinde toepassing" is dat er nogal wat gedetailleerde gegevens nodig zijn, bv. lokale stijgsnelheden en bebouwingshoogtes

- Door de vele factoren die zijn geïntroduceerd en de benodigde gegevens lijkt het gedetailleerde model moeilijk toepasbaar in een globale analyse voor een groot gebied.

**Bepaling van schade, slachtoffers en de toelaatbare frequentie bij inundatie, A. Vrouwenvelder, A. Wubs, TNO-B-92-0490/PM-93-36A, DEC 1992**

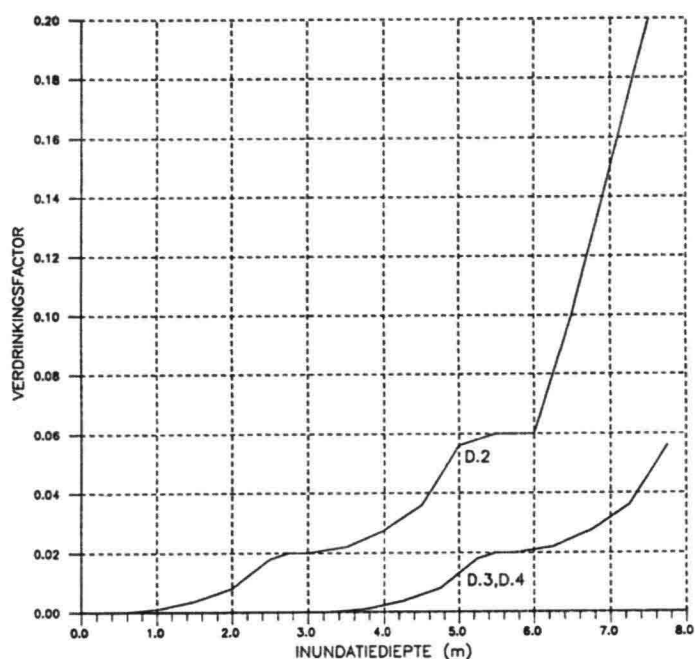
In het rapport wordt voorgesteld de grafiek uit [Duiser, 1989] te gebruiken die een relatie geeft tussen de waterdiepte en de kans op verdrinking. Echter een andere figuur is opgenomen dan die uit het oorspronkelijke rapport van Duiser, zie figuur 4.



*Figuur 3: Verdrinkingsfactor voor bewoners van eengezinswoning en boerderijen [Vrouwenvelder, 1992]*

Deze grafiek wordt geldig geacht voor eengezinswoningen en boerderijen, een functievoorschrift is niet gegeven. Voor bewoners van laagbouw, middelhoogbouw en hoogbouw een andere grafiek voorgesteld, zie figuur 4.





- D.2 - bewoners van laagbouwoningen
- D.3 - bewoners van middelhoogbouwoningen
- D.4 - bewoners van hoogbouwoningen

Figuur 4: Verdrinkingsfactor voor bewoners van laagbouw, middelhoogbouwoningen en hoogbouwoningen

Uit het rapport wordt niet duidelijk op welke gegevens de grafieken zijn gebaseerd. In de originele gegevens van Duiser (en Waarts) zijn geen verdrinkingsgevallen voor waterdieptes groter dan 3.9m opgenomen, terwijl de grafiek wel doorloopt.

#### A. Vrouwenvelder, P. Waarts, TAW-E risico analyse (94-CON-R120), jan 1994

In dit rapport wordt een slachtoffermodellering voorgesteld waarin verschillende verdrinkingsoorzaken zijn onderscheiden. De methode komt nagenoeg overeen met de gedetailleerde methode van Waarts. Voor deze methode gelden dus ook de reeds genoemde opmerking.

In analogie met het onderzoek van Waarts wordt ook een grove functie voorgesteld die een relatie geeft tussen waterdiepte en verdrinkingsfactor:

$$\partial_h = e^{(1,16h-7,3)}$$

Deze komt bij benadering overeen met de in [Waarts, 1992] afgeleide functie  $\partial_{h1} = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,16 \cdot h}$

#### Notitie Relatie Stijgsnelheid – aantallen slachtoffers, van Gelder, Kraak (11/10/94)

In deze notitie wordt, als achtergrond bij het onderzoek van de commissie Watersnood Maas, een relatie tussen waterdiepte en verdrinkingsfactor voorgesteld die overeenkomt met de grafiek uit [Vrouwenvelder, 1992] voor eengezinswoningen en boerderijen, zie figuur 4.

Vervolgens is de invloed van de stijgsnelheid bepaald. Voor tiental locaties zijn uit [Duiser, 1989] en [Waarts, 1992] overstromingsdiepte, stijgsnelheid en verdrinkingsfractie bekend. Vervolgens zijn aan punten uit [Waarts,

1992] waarvoor alleen overstromingsdieptes en verdrinkingsfracties bekend zijn, stijgsnelheden “toegevoegd” door voor deze locaties de stijgsnelheid te schatten. Dit is gedaan door, op basis van de 10 bekende punten, een relatie af te leiden tussen waterdiepte en stijgsnelheid. De volgende functie is voorgesteld om verdrinkingsfactor als functie van waterdiepte (h) en stijgsnelheid (w) te bepalen.

$$f(h,w) = f_d(h) \cdot f_w(w)$$

voor  $f_d(h)$  is de relatie uit figuur 3 aangenomen

$f_w(w)$  is te benaderen volgens:

$$\text{voor } w \geq 3 \text{ m/u} \quad f_w(w) = 1$$

$$w < 0,3 \text{ m/u} \quad f_w(w) = 0, \text{ dus } f(h,w) = 0$$

voor tussenliggende waarden wordt lineair geïnterpoleerd volgens:

$$f_w(w) = 0,37w - 0,11$$

Opmerkingen bij deze benadering

- Er kan aan getwijfeld worden of het toevoegen van stijgsnelheden aan punten waarvoor deze niet bekend zijn, door een interpolatie van andere waarden gerechtvaardigd is. Op deze wijze worden immers nieuwe gegevens gecreëerd, die niet zijn gemeten.
- Tevens is het onjuist de invloed van diepte en stijgsnelheid afzonderlijk te bepalen. Aanbevolen wordt daarom een fit naar zowel diepte als stijgsnelheid tegelijkertijd uit te voeren.

**Tweede waterkeringen Hoeksche Waard, A. Vrouwenvelder, C.M. Steenhuis, TNO 97-CON-R0332, 1997**

Verwezen wordt naar de slachtoffermodellering uit het rapport TAW-E risico analyse (die weer overeen komt met het model van Waarts). Hierin worden drie categorieën van verdrinkingen onderscheiden: door stroomsnelheid, stijgsnelheid en overige oorzaken. Voor verdrinking door overige oorzaken is de verdrinkingsfactor  $f_{ng}$  voorgesteld. Voor het verloop hiervan is als volgt voorgeschreven:

$$1 \quad \text{indien } h < 3\text{m}, f_{ng}=0$$

$$2 \quad \text{indien stijgsnelheid} < 0.3 \text{ m/uur}, f_{ng}=0$$

$$3 \quad \text{indien } h > 6,25\text{m} \text{ en stijgsnelheid} > 2 \text{ m/u dan } f_{ng}=1$$

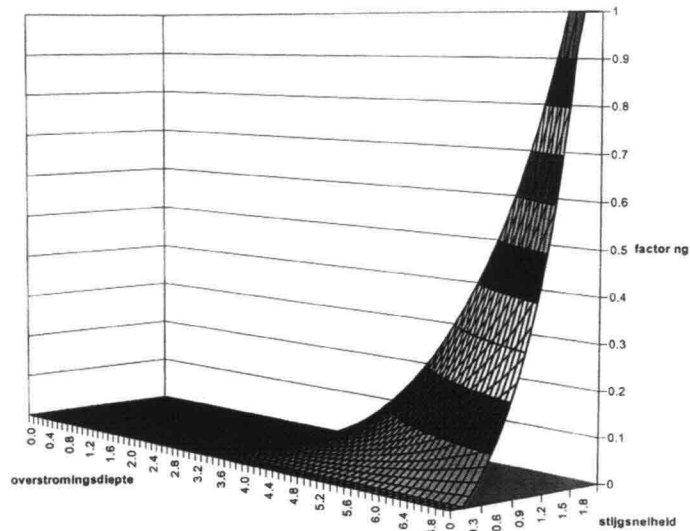
Voor tussengelegen waarden wordt kromlijng geïnterpoleerd, en is de verdrinkingsfactor een functie van stijgsnelheid w en overstromingsdiepte volgens:

$$f_{ng} = 0 \quad \text{Voor } h < 3\text{m} \vee v < 0,3 \text{ m/uur}$$

$$f_{ng} = 1 \quad \text{Voor } h > 6,25\text{m} \wedge v > 2 \text{ m/uur}$$

$$f_{ng} = \text{MIN}(\text{MAX}(8.5 \cdot \exp(0.6 \cdot h - 6) - 0.15, 0), 1) \cdot \text{MIN}(\text{MAX}(8.5 \cdot \exp(1.2 \cdot v - 4.3) - 0.15, 0), 1)$$

De functie is weergegeven in figuur 5.



Figuur 5: Verdrinkingsfractie als functie van overstromingsdiepte en stijgsnelheid [Vrisou van Eck, 2001]

Opmerkingen bij functie:

- Uit het rapport is niet op te maken hoe deze functie tot stand is gekomen. Het lijkt alsof enkele elementen en aannamen uit voorgaande rapporten zijn genomen, en alsof hiermee een functie is samengesteld.
- De aanname dat bij  $h < 3\text{m}$  er geen verdrinkingen optreden lijkt in tegenspraak met de oorspronkelijke gegevens uit [Waarts, 1992] en [Duiser, 1989]. Sterker nog: zo'n 30% van de verdrinkingen die in de tabel van Waarts zijn opgenomen zijn opgetreden op plaatsen met waterdieptes kleiner dan 3m. Dit betekent dat het verloop van de functie  $f_{ng}$  niet meer direct gebaseerd op oorspronkelijke data, maar zeer sterk beïnvloed wordt door aannamen.
- invloed stijgsnelheid lijkt op functie uit notitie van Gelder, Kraak, maar is gebaseerd op kromlijnige interpolatie.
- De voorgestelde functie geeft bij een stijgsnelheid van 2 m/u een ongeveer gelijk verloop als voor de oorspronkelijk door Waarts voorgestelde "grove functie".  $\partial_{h_1} = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,16 \cdot h}$

**Vrisou van Eck, N., Kok M., Vrouwenvelder, A., Standaardmethode Schade en Slachtoffers, december 1999 en de HIS Standaardmethode**

In de rapportage van de standaardmethode wordt de methode van [Vrouwenvelder, 1997] voorgesteld (die overeenkomt met gedetailleerde van Waarts). Hierin worden verdrinkingsoorzaken: stroomsnelheid, stijgsnelheid en overige oorzaken onderscheiden. Echter, in de uiteindelijke implementatie in de standaardmodule (HIS-SSM, versie 1.0) is alleen de functie  $f_{ng}$  voor verdrinking door overige oorzaken uit het rapport waterkeringen Tweede waterkeringen Hoeksche Waard (figuur 6) opgenomen. Verdrinkingsfracties door stroomsnelheden en stijgsnelheden worden niet meegenomen in de berekening. Wel is de invloed van de stijgsnelheid nu meegenomen in de functie  $f_{ng}$ . De stijgsnelheid in de module staat standaard ingesteld op 1 m/uur, maar kan op basis van hydraulische berekeningen worden aangepast.

Opmerkingen bij modellering

- Het is onjuist om alleen een deel van het oorspronkelijk voorgestelde model (model Waarts) over te nemen: De HISSM versie 1.0 biedt

geen mogelijkheden om slachtoffers door andere oorzaken mee te nemen

- gehanteerde functie  $f_{ng}$  is niet meer direct gebaseerd op data, zie vorige sectie
- bij hanteren functie wordt voor de stijgsnelheid een standaardwaarde van 1 m/u aangenomen. Beter lijkt het een waarde van 2 m/u aan te nemen aangezien de functie dan het meeste lijkt op de algemene functie van Waarts.
- Aanbevolen wordt op grond van deze bezwaren de functie in de standaardmethode te verbeteren.

**Jonkman S.N., Een onderzoek naar de toepasbaarheid van risicomaten, TU Delft / DWW, 2001**

In dit rapport wordt de kans op overlijden door overstroming bepaald met:

1. verdrinkingsfactor t.g.v. waterdiepte
2. verdrinkingsfactor t.g.v. stroomsnelheid
3. kans op evacuatie

ad 1.: Functie uit rapport Waarts is toegepast  $\partial_{h1} = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,16 \cdot h}$

ad 2.: op basis van experimenten naar stabiliteit van personen [Abt, 1992] en gegevens over de sterkte van bebouwing uit [Waarts, 1992] is de kans op verdrinking t.g.v. stroomsnelheid bepaald volgens onderstaande functie.

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

Waarin:

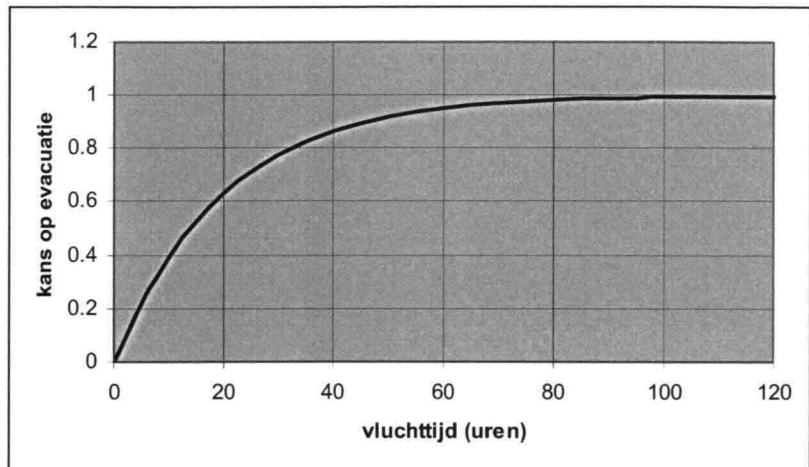
$P_{d|i}(u)$  kans op verdrinken gegeven overstroming  $i$  als functie van stroomsnelheid ( $u$ )

$P(u > u_{cr} | i)$  kans dat stroomsnelheid een kritische waarde  $u_{cr}$  overschrijdt waarbij personen verdrinken

$$\mu = 1,8 \text{ m/s en } \sigma = 0,48 \text{ m/s}$$

*(Opmerking: het gemiddelde lijkt erg laag gekozen waardoor bij deze modellering veel slachtoffers door stroomsnelheid zullen vallen)*

ad 3.: Het percentage van de bevolking dat geëvacueerd zal kunnen worden is op basis van (een zeer beperkt aantal) expert meningen aangenomen volgens onderstaande grafiek. Hierbij is aangenomen dat het gaat om zowel preventieve evacuatie (voor de overstroming) als evacuatie tijdens de overstroming.



Figuur 6: Kans op evacuatie als functie van de vluchttijd [Jonkman, 2001]

Dit evacuatie verband is opgesteld voor een specifieke dijkkring, Betuwe, Tieler- en Culemborger Waarden. Het verband is zeer gesimplificeerd en kan vervangen worden door verbeterde modellering, zoals nu bijvoorbeeld mogelijk is met het ontwikkelde evacuatie model, zie hoofdstuk 4.

#### van Manen, S. et al., Pilot Case Overstromingsrisico (Picaso), 2001

In de Pilot Case Overstromingsrisico zijn slachtofferberekeningen gemaakt met de in de HISSM versie 1.0 opgenomen functie. De volgende relevante uitgangspunten zijn gehanteerd binnen PICASO:

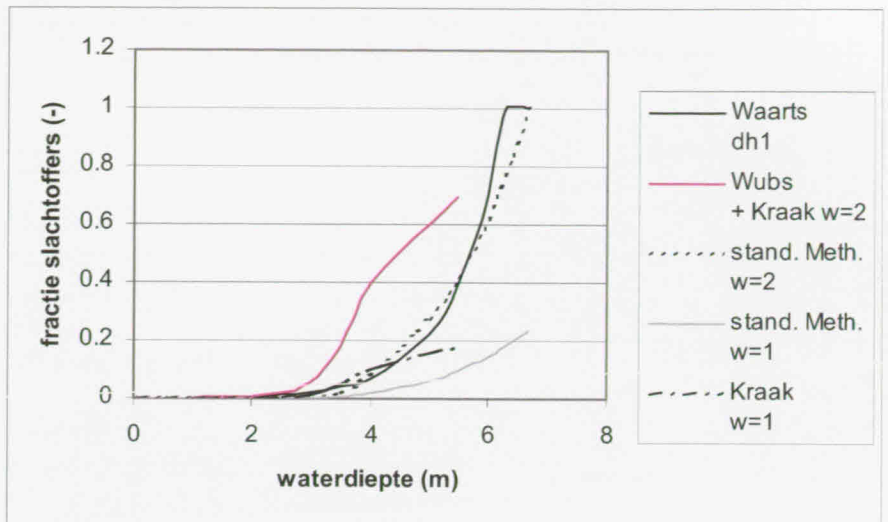
- geen preventieve evacuatie is gemodelleerd (aangenomen is dat vluchtgedrag tijdens de overstroming deels verdisconteerd is in de slachtofferfunctie, omdat deze is gebaseerd op een overstroming zonder (preventieve) evacuatie)
- stijgsnelheid is bepaald uit een waterstand – tijd diagram. Steeds is vanaf het punt waar het water begint te stijgen de stijgsnelheid voor verschillende waterdieptes bepaald. De maximale stijgsnelheid (vanaf het punt waarop het water begint te stijgen, dus vanaf  $h=0$  op het tijdstip dat het water aankomt) is gehanteerd in de berekening<sup>16</sup>.

het aantal berekende slachtoffers voor de dijkkring Betuwe, Tieler-, Culemborger Waarden varieert tussen de 0 en 1301 (0 % en 0,4% van de inwoners van het gebied). Waarschijnlijk zijn de slachtofferfracties relatief laag door lage opgetreden stijgsnelheden.

#### Overzicht slachtofferfuncties

In onderstaande grafiek zijn als functie van de waterdiepte de beschreven slachtofferrelaties getoond. Voor de functies waarin ook de stijgsnelheid is meegenomen (functies van Gelder en Kraak en de standaardmethode) zijn twee situaties weergegeven, (1) voor een stijgsnelheid van 2 m/uur (invloed maximaal) en (2) een stijgsnelheid van 1 m/uur.

<sup>16</sup> Opmerking bij deze berekeningswijze: hierdoor kan het gebeuren dat er over zeer kleine waterstandsintervallen, zeer hoge stijgsnelheden worden gevonden. Beter lijkt het daarom de stijgsnelheid te bepalen per hele of halve meter waterstandsverhoging.



Figuur 7: Overzicht slachtofferfuncties

Wat opvalt is dat de functies tot 3m redelijk gelijk lopen, maar dat boven de 3 a 4m ze allemaal verschillende uitkomsten geven. Vanaf deze waarden zijn er geen gegevens beschikbaar en zijn de functies gebaseerd op extrapolatie.

## Bijlage 4: Toetsing van bestaande slachtofferfuncties

---

Om de voorspellende waarde van enkele van de beschikbare functies te beschouwen zijn ze getoetst op basis van de beschikbare gegevens voor de Watersnood van 1953 in Nederland.

Op basis van de beschikbare gegevens voor de Watersnoodramp 1953, zie bijlage 2, zijn twee (sub)datasets onderscheiden. De eerste dataset bevat 45 locaties waarvoor verdrinkingsfractie en waterdiepte bekend zijn. De tweede dataset bestaat uit 10 punten waarvoor zowel verdrinkingsfractie, waterdiepte en stijgsnelheid bekend zijn.

Zoals ook is omschreven in paragraaf 3.1, wordt de analyse uitgevoerd met behulp van een kleinste kwadraten methode en worden de berekende en geobserveerde verdrinkingsfracties geanalyseerd.

### **Analyse punten waarvoor zowel verdrinkingsfractie als waterdiepte bekend zijn**

In het rapport van Waarts (1992) zijn voor 45 locaties verdrinkingsfractie en waterdiepte gegeven. De gegevens uit Waarts zijn opgenomen in bijlage 3.

Een fit wordt volgens de in 3.1 beschreven methode uitgevoerd voor de volgende functies:

- De gedetailleerde methode van Waarts, (waarin slachtoffers naar stroomsnelheid, stijgsnelheid en overige oorzaken zijn onderscheiden). Hierbij zijn de aantallen slachtoffers door stroomsnelheid en stijgsnelheid overgenomen uit Waarts (zie ook bijlage 2). De overige slachtoffers zijn bepaald volgens  $\partial_{h3} = 0.75 \cdot 10^{-3} \cdot h^{1.83051}$
- De grove functie van Waarts:  $\partial_{h1} = 0.665 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1.16 \cdot h}$
- De functie van Wubs voor eengezinswoningen (zie figuur 3 in bijlage 4): de functie van van Gelder en Kraak is voor een stijgsnelheid van 3 m/u is deze gelijk aan die van Wubs

Omdat het ook gewenst is de geschiktheid van de functies waarin de stijgsnelheid is meegenomen (standaardmethode, v Gelder & Kraak) te toetsen worden deze ook in de analyse betrokken. Hiervoor zijn allereerst verschillende waarde voor de stijgsnelheid aangenomen. De volgende functies zijn geanalyseerd:

- De functie van van Gelder en Kraak met stijgsnelheden van  $w=3$  m/u (gelijk aan Wubs),  $w=2$  m/u,  $w=1$  m/u,
- De functie uit de standaardmethode  $f_{ng}$ , voor stijgsnelheden  $w = 2$  m/u,  $w = 1$  m/u.

De uitkomsten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

*Tabel: variatie tussen voorspelling met model en waargenomen aantal slachtoffers*

<b>Model</b>	<b>Standaardafwijking Verdrinkingsfractie</b>
Waarts gedetailleerd	0,0131
Waarts grof, $\partial_{h_1} = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,16 \cdot h}$	0,0788
Waarts grof, $\partial_{h_2} = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,27 \cdot h}$	0,0801
Wubs (= v Gelder & Kraak voor w=3)	0,0569
v Gelder en Kraak, w=2	0,0572
v Gelder & Kraak, w=1	0,0748
Standaardmethode, w=2	0,0825
Standaardmethode, w=1	0,0903

De gedetailleerde methode van Waarts geeft de beste fit. Opgemerkt moet worden (zie ook bijlage 3) dat de fit zo goed is omdat de inschattingen van slachtoffers door stijgsnelheid en stroomsnelheid zijn gebaseerd op de beschrijvingen van de ramp. Voor een juiste controle zou de methode "blind" (dus zonder voorkennis over aantallen verdronkenen naar oorzaak) moeten worden toegepast.

#### **Analyse punten waarvoor verdrinkingsfractie, stijgsnelheid en waterdiepte bekend zijn**

In de dataset zijn voor 10 locaties zowel verdrinkingsfractie, waterdiepte en stijgsnelheid gegeven. Voor deze 10 punten zijn de gedetailleerde methode van Waarts, de functie uit de standaardmethode en de functie van van Gelder en Kraak geanalyseerd. Als met kleinste kwadraten methode de fout in de verdrinkingsfractie wordt geanalyseerd resulteert dit in:

*Tabel: Standaardafwijkingen in verdrinkingsfractie voor dataset met waterdieptes en stijgsnelheden*

<b>Methode</b>	<b>Standaardafwijking verdrinkingsfractie</b>
Waarts, detail	0,0235
Standaardmethode	0,168
Van Gelder en Kraak	0,0865

Om te onderzoeken of het uitmaakt voor de voorspelling als stijgsnelheid wordt meegenomen is ook een analyse uitgevoerd voor de voor functies waarin de waterdiepte als enige variabele opgenomen is. Het betreft de globale functies van Waarts ( $\delta_{h_1}$  en  $\delta_{h_2}$ ) en de functie van Wubs. De volgende standaardafwijkingen worden gevonden:



Tabel: Standaardafwijkingen in verdrinkingsfractie voor dataset met waterdieptes en stijgsnelheden

Methode	Standaardafwijking
Waarts, dh1	0,162
Waarts, dh2	0,165
Wubs	0,0865

De gedetailleerde methode van Waarts geeft de beste fit. Wederom gelden bij deze functie de al genoemde bezwaren. Daarnaast kan geconcludeerd worden dat de standaardmethode een zeer matige fit geeft bij deze dataset. Zoals al eerder vermeld wordt een groot deel van de fout veroorzaakt door het feit dat de standaardmethode voor waterdieptes < 3m verdrinkingsfractie= 0 geeft, terwijl uit de observaties blijkt dat hier juist ook slachtoffers vallen. Van de 10 geanalyseerde punten hebben er 6 een waterdiepte <= 3m.

Ook laten de uitkomsten zien dat de introductie van de stijgsnelheid in de bestaande functies nauwelijks leidt tot een beter resultaat. Immers, de functies waarin de invloed van stijgsnelheid en waterdiepte is meegenomen geven geen lagere afwijking dan de functies waarin alleen de variabele waterdiepte is meegenomen.

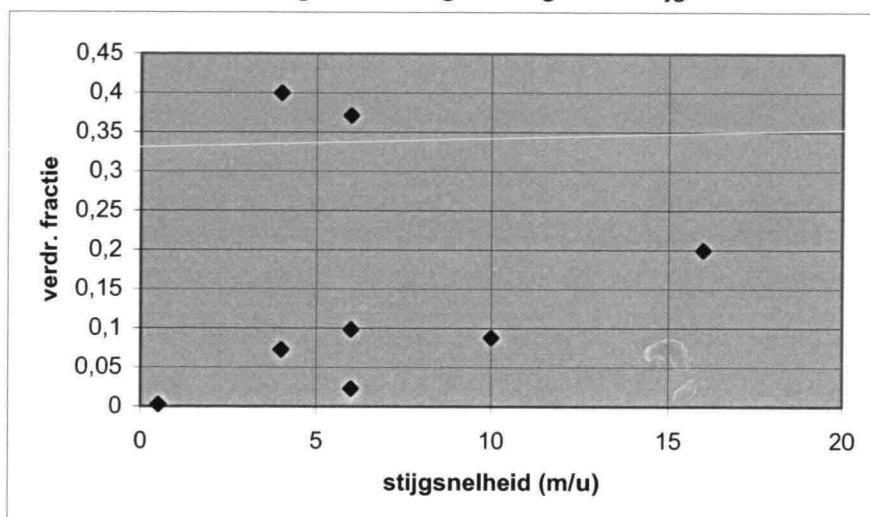
De overeenkomst in standaardafwijking voor de functies van van Gelder & Kraak en de methode van Wubs is als volgt te verklaren. De methode van v Gelder & Kraak is voor een stijgsnelheid van > 3 m/uur gelijk aan de functie van Wubs. Slechts voor drie punten worden stijgsnelheden van < 3 m/uur gevonden en kan de reductiefactor voor stijgsnelheid van v Gelder & Kraak worden meegenomen. Uit de kleinste kwadraten analyse volgt dat de introductie van de stijgsnelheid factor nauwelijks leidt tot een verbetering van de voorspelling. Beide functies (Wubs en de functie van Gelder en Kraak) geven een gelijke afwijking.

Met betrekking tot het verloop van de functie van Wubs (en indirect dus ook die van van Gelder & Kraak) is eerder opgemerkt dat de relatie met de oorspronkelijke gegevens onduidelijk was. Uit de redelijke fit kan afgeleid worden dat de relatie waarschijnlijk toch gebaseerd is op gegevens uit 1953 en dat de geringe onderbouwing te wijten is aan slechte documentatie.

## Bijlage 5: Verband tussen waterdiepte en stijgsnelheid

---

In onderstaande figuur is voor tien punten, waarvoor de stijgsnelheid bekend is, de verdrinkingsfractie uitgezet tegen de stijgsnelheid.



Uit de figuur blijkt dat er geen relatie is af te leiden tussen stijgsnelheid en verdrinkingsfractie.

## Bijlage 6: Afleiding statistische onzekerheid in slachtofferfuncties

In de notitie "Omgaan met onzekerheden bij overstromingsrisico's" (Wehrung et al, 2003) zijn de volgende typen onzekerheden onderscheiden

- Inherente onzekerheden
  - natuurlijke variatie in overstromingskenmerken
  - Toekomstige ontwikkelingen:
- Kennisonzekerheden
  - Ontbreken van voldoende data
  - Ontbreken van voldoende kennis van processen

Vervolgens zijn de belangrijkste onzekerheden in de afgeleide slachtofferfunctie benoemd. De verwachte invloed op de uiteindelijke uitkomsten is kwalitatief (-: weinig invloed, 0, +: veel invloed) aangegeven.

Tabel: Overzicht van onzekerheden in de slachtofferfunctie

	Categorieën van onzekerheid	Onzekerheid	invloed
Inherente onzekerheden	natuurlijke variatie		
	Toekomstige ontwikkelingen	demografische ontwikkelingen	-- (meegenomen in model)
Kennis onzekerheden	Ontbreken van voldoende data	- gegevens beschikbaar van alleen 53	+
		- in hoeverre kloppen gegevens 1953	--
		- fitmethode	0
	Ontbreken van voldoende kennis van processen	- modelleringswijze (juiste parameters) ?	++
		- model representatief voor rivieroverstroming	+
		- model representatief voor huidige situatie	+

Een belangrijke onzekerheid betreft de modelleringswijze van de slachtofferfunctie, en de vraag of de juiste parameters en doodsoorzaken zijn meegenomen. Deze onzekerheid is te ondervangen door het meenemen van andere overstromingen in de analyse. In vervolgonderzoek zal dit ook worden gedaan, voor de Watersnoodramp van 1953 zijn reeds enkele gegevens voor de slachtoffers in Engeland beschikbaar, zie hoofdstuk 2.3. Door het verzamelen van meer gegevens, ook van andere typen overstromingen, kunnen ook andere onzekerheden worden gereduceerd: kennisonzekerheid – ontbreken van voldoende data. Daarnaast kan door het meenemen van andere typen

overstromingen ook worden gecontroleerd of het model geschikt is voor andere typen overstromingen. Daarnaast kan men zich afvragen of de slachtofferfuncties representatief zijn voor de huidige situatie. Op deze vraag is reeds in paragraaf 3.4 ingegaan.

### Statistische onzekerheid in slachtofferfuncties

Bij het afleiden van de slachtofferfuncties zijn op basis van de beschikbare gegevens functies vastgesteld. Gerealiseerd moet worden dat de afgeleide slachtofferfuncties een schematisatie van de werkelijkheid zijn op basis van een beperkte hoeveelheid gegevens. Echter, in deze gegevens is een bepaalde spreiding te herkennen. Statistische onzekerheid is een maat voor de spreiding van die gegevens en geeft de variatie in de mogelijke uitkomsten aan. Uit de beschikbare gegevens is de statistische onzekerheid in de slachtofferfuncties vast te stellen. De statistische onzekerheid wordt geanalyseerd door het variëren van de parameters van de verdeling<sup>17</sup>. Beide afgeleide slachtofferfuncties hebben een exponentieel verloop en hebben als algemeen functievoorschrift:

$$y = a \cdot \exp(b \cdot x)$$

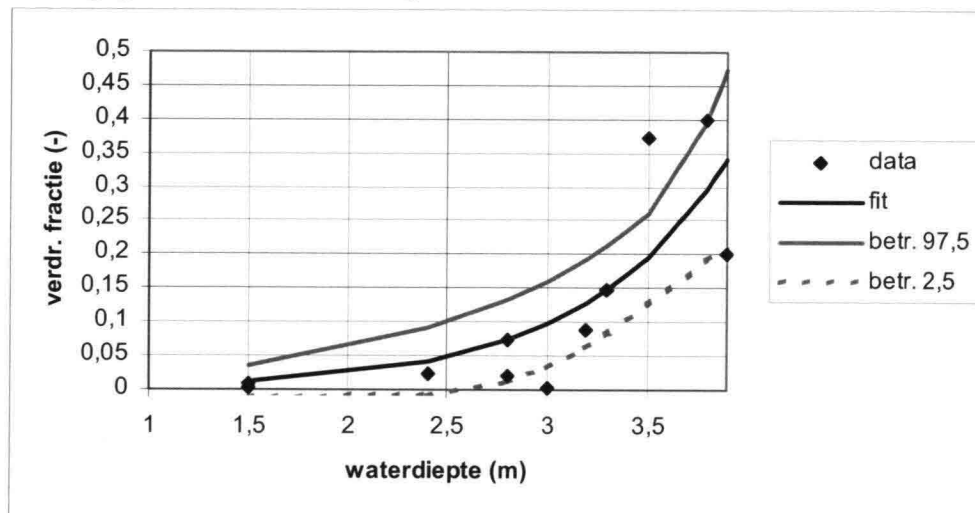
Waarin  $y$  – verdrinkingsfractie,  $a, b$  – constanten,  $x$  – waterdiepte. Volgens deze procedure is als functie van de  $x$  (waterdiepte) de standaardafwijking van  $y$  (verdrinkingsfractie) af te leiden.

$$\text{var}(y) = \left(\frac{dy}{da}\right)^2 \text{var}(a) + \left(\frac{dy}{db}\right)^2 \text{var}(b) + 2 \frac{dy}{da} \frac{dy}{db} \text{cov}(a, b)$$

$$\text{waarin } \text{Cov}(a, b) = R_{a,b} \cdot \sigma(a) \cdot \sigma(b)$$

Waarin:  $R_{a,b}$  – correlatie tussen  $a$  en  $b$

Voor de functies voor slachtoffers door snel stijgend water, en slachtoffers door overige oorzaken, is het 95% betrouwbaarheidsinterval bepaald. Deze is weergegeven in onderstaande grafieken.



Figuur 1: Betrouwbaarheidsintervallen voor de slachtofferfunctie voor snel stijgend water

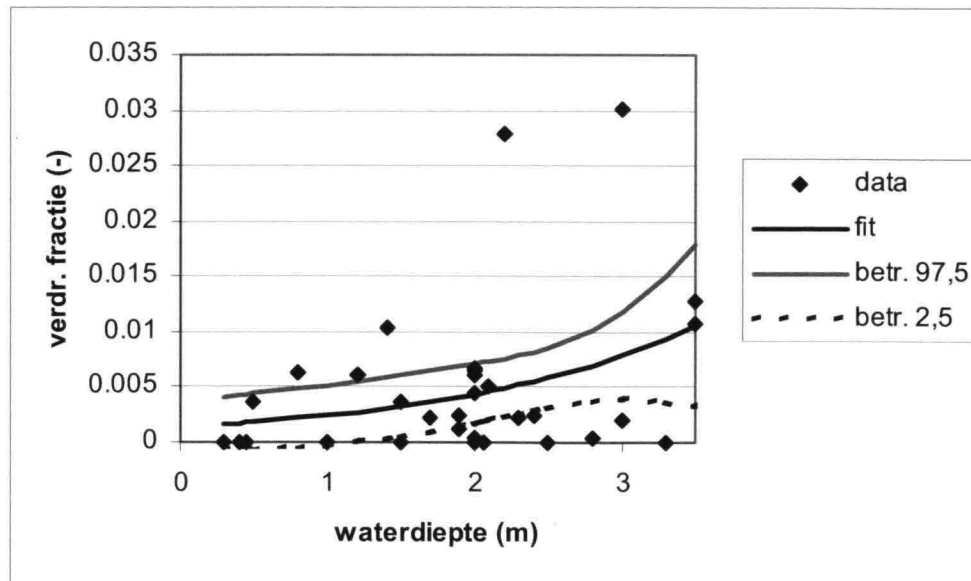
De onder en bovengrens kunnen als volgt benaderd worden:

<sup>17</sup> Hierbij is uitgegaan van een exponentiele verdeling. Het is niet onderzocht of andere verdeling een betere fit geeft voor de onzekerheidsbanden.

$$f(h)_{stijg2,5} = 0 \quad \text{als } h < 2,72m$$

$$f(h)_{stijg2,5} = -0,1653 + 2,35 \cdot 10^{-2} \exp(0,71 \cdot h) \quad \text{als } h \geq 2,72m$$

$$f(h)_{stijg97,5} = 1,43 \cdot 10^{-3} \exp(1,4 \cdot h) \quad \text{als } h \geq 1,5m$$



Figuur 2: Betrouwbaarheidsintervallen voor de slachtofferfunctie voor overige oorzaken

Ook kan de kwantitatieve invloed van deze functies worden meegenomen. De onder- en bovengrens voor de functies voor slachtoffers door overige oorzaken kunnen benaderd worden met de volgende functie:

$$f(h)_{overig2,5} = 0 \quad \text{als } h < 1,5m$$

$$f(h)_{overig2,5} = -0,0006 \cdot h^3 + 0,0032 \cdot h^2 - 0,0033 \cdot h + 7 \cdot 10^{-5} \quad \text{als } h \geq 1,5m$$

$$f(h)_{overig97,5} = 0,004039 + 3,7 \cdot 10^{-4} \exp(1,03 \cdot h)$$

Aan de hand van deze figuren en functies is bij toepassing van de methode statische onzekerheid mee te nemen.

## Bijlage 7: Bresdebieten, afmetingen en het effectgebied nabij de bres

---

### **Aanleiding**

Nabij een bres zullen personen hun stabiliteit verliezen en zullen gebouwen instorten. Ingeschat is dat van de slachtoffers bij de watersnoodramp in 1953 zo'n 15% omkwam door grote stroomsnelheden nabij de bres. Voor een adequate inschatting van het aantal slachtoffers is het dus nodig om inzicht te hebben in de ontwikkeling van de bres en de optredende hydraulische omstandigheden achter de bres.

### **Doel**

Het doel van deze case is tweeledig:

1. Het eerste doel is inzicht krijgen in de bresdebieten en bresbreedtes, als functie van het waterstandsverschil over de dijk, hydraulische ruwheid en het dijkmateriaal.
2. Het tweede doel is het inzichtelijk maken hoeveel slachtoffers vallen door hoge stroomsnelheid, als functie van het waterstandsverschil over de dijk, hydraulische ruwheid en het dijkmateriaal.

### **Werkwijze**

Voor deze case is een eenvoudig overstromingsmodel gemaakt. Het is een vierkante platte bak, met halverwege een zijde een bres. Zie figuur 1 voor een screendump van het overstromingsmodel enkele uren na de start van een overstroming.

Met dit overstromingsmodel worden voor verschillende instellingen van parameters overstromingsberekeningen uitgevoerd. Op deze wijze kan de gevoeligheid van de modelresultaten voor de instelling van enkele parameters worden bepaald.

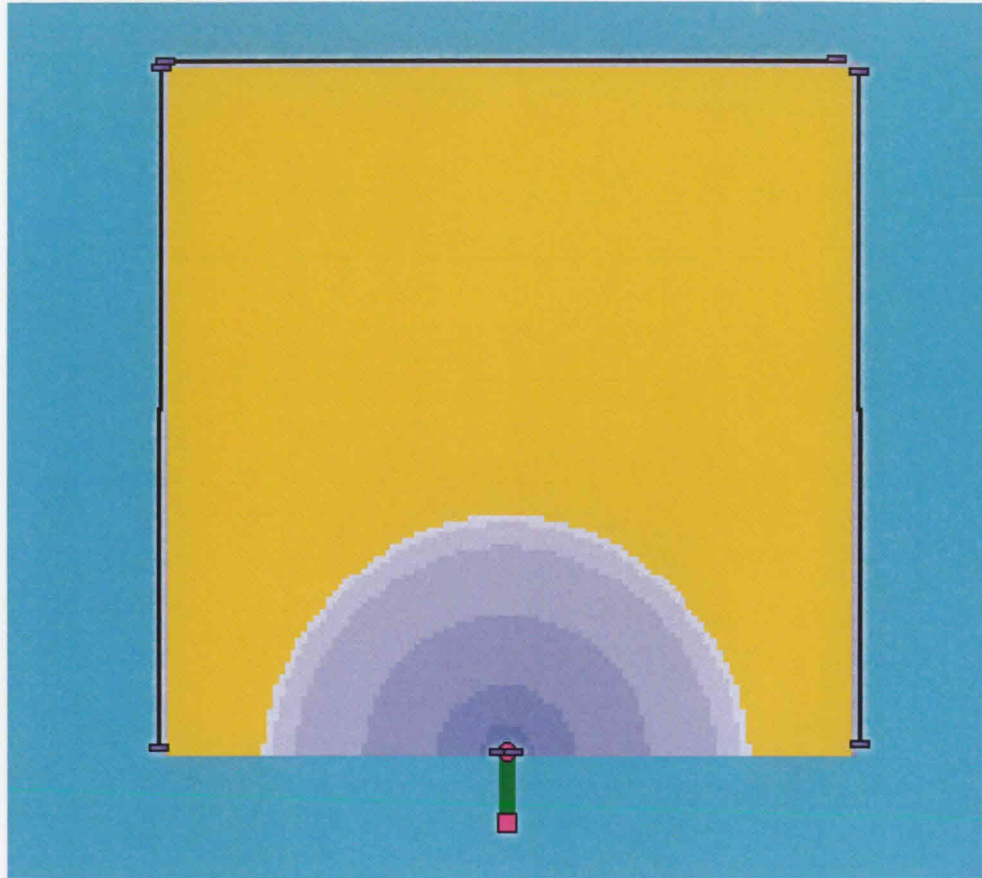
Uit de overstromingsberekeningen volgt het verloop van de bresdebiet in de tijd. Met het verloop van het bresdebiet kan in een later stadium de stijgsnelheid voor compartimenten worden afgeschat, door gebruik te maken van de volgende benadering:

$$\text{stijgsnelheid} = \text{bresdebiet} / \text{oppervlak compartiment}$$

Naast de eigenschappen van de bres wordt ook gebiedsdekkend de stroomsnelheid en de waterstand uitgevoerd. Met deze gegevens is het mogelijk om een schatting te maken van het aantal slachtoffers.

Er wordt verondersteld dat alle personen overlijden door grote stroomsnelheid als aan de volgende criteria wordt voldaan:

1. product van waterdiepte en stroomsnelheid is groter dan  $7 \text{ m}^2/\text{s}$ ;
2. stroomsnelheid  $> 2 \text{ m/s}$ .



*Figuur 1: Modelschematisatie*

**Model specificaties:**

- modelafmeting 3000 x 3000 m;
- gridafmeting 50 m;
- hydraulische ruwheid uniform, afhankelijk van de ingestelde waarde;
- het bresdebiet wordt bepaald door de bresgroeitak (groene takje in figuur 1). Deze tak berekent aan de hand van de methode Verheij-vd Knaap (2002) de bresafmeting;
- de initiële bresbreedte is 1 m;
- aan drie zijden van het model is een "goot" gemodelleerd. Als het water de rand bereikt, dan stroomt het uit het overstromingsmodel.

**Resultaten:**

Er zijn twaalf berekeningen gemaakt. De volgende instellingen zijn gekozen:

- Voor de erosiebestendigheid van het dijkmateriaal wordt de parameter  $U_{cr}$  gebruikt. Deze waarde representeert een kritische stroomsnelheid. Voor zand is deze parameter 0,2 en voor klei 0,5 m/s.
- Voor het waterstandverschil over de dijk is gekozen voor 4 en 6 meter. Deze keuze is min of meer arbitrair;
- Voor de hydraulische ruwheid van het terrein is gekozen voor 1,6 en 10. Deze waarden worden geacht om representatief te zijn voor struweel (struikgewas), open bos en bebouwing. Over de precieze naamgeving hiervan bestaat discussie.

Het maximale bresdebiet dat gedurende de eerste 24 uur van de berekening optreedt, is weergegeven in tabel 1, evenals de maximale bresbreedte. In de

laatste kolom staat de straal van het contour van het slachtoffercriterium. Binnen deze straal is het criterium groter dan 7. Dan wordt verondersteld dat de personen die zich daar bevinden zijn overleden. Deze straal is altijd een veelvoud van de gridcel afmeting. In dit geval 50 m.

Tabel: Modelresultaten

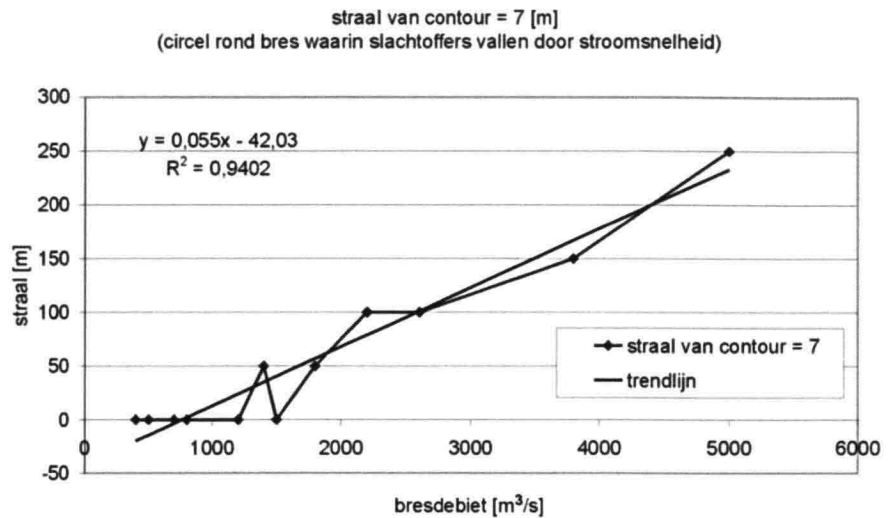
ruwheid [m]	waterstand [m]	dijk-materiaal	max. bres-debiet [m <sup>3</sup> /s]	breedte na 24 uur [m]	straal van contour = 7 m
1	4	klei	700	50	0
1	4	zand	1500	115	0
1	6	klei	2200	85	100
1	6	zand	5000	200	250
4	4	klei	500	40	0
4	4	zand	1200	85	0
4	6	klei	1800	70	50
4	6	zand	3800	130	150
10	4	klei	400	30	0
10	4	zand	800	60	0
10	6	klei	1400	55	50
10	6	zand	2600	110	100

Op basis van Tabel kan het volgende worden geconcludeerd:

1. Het bresdebiet neemt toe bij een hogere buitenwaterstand
2. Het bresdebiet neemt toe bij een afnemende hydraulische ruwheid
3. Het bresdebiet neemt toe als het dijkmateriaal beter erodeerbaar is.

Met behulp van deze tabel kan een schatting worden gemaakt van de bresdebieten, bresbreedtes en de straal voor de slachtoffers indien enkele eigenschappen bekend zijn. Deze gegevens zijn een grove benadering van de werkelijkheid, maar geven wel gevoel voor de grootte van de getallen.





*Figuur 2: Straal waarbinnen slachtoffers vallen als functie van het bresdebiet*

In Figuur is de straal waarin de slachtoffers vallen weergegeven als functie van het bresdebiet. Tevens is in dit figuur een lineaire trendlijn weergegeven. Op basis van deze trendlijn kan een schatting worden gemaakt van de straal indien het bresdebiet bekend is.

Bij de conclusies moet worden opgemerkt dat er is uitgegaan van een initiële breedte van 1 m van de bres. In werkelijkheid is dit één faalmechanisme van vele mogelijke faalmechanismen. Het is bijvoorbeeld ook mogelijk dat een dijk over een bepaalde lengte afschuift. In dat geval wordt vrijwel direct de maximale bresdebieten bereikt. Mogelijkheden om te evacueren worden dan beperkt.

## Bijlage 8: Onderscheiden komen in dijkkring 36

Op basis van de topografische kaart (1:25.000) en het beschikbare AHN hoogtemodel zijn de volgende kommen onderscheiden. I

Kom ten Noordwesten van Oss



Kom: dijkkring 36a: Keent



Kom in het Westen van de dijkkring: doorbraak bij Heusden



Kom in het Westen van de dijkkring doorbraak bij Bokhoven



**De Dienst Weg- en Waterbouwkunde is de adviesdienst voor techniek en milieu in de weg- en waterbouw.**

Klantgericht, innovatief, deskundig, gericht op samenwerking, zakelijk en flexibel zijn de kernbegrippen voor de organisatie. Het werkplezier van de medewerkers is hierbij essentieel.

Rijkswaterstaat,  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde,

Postadres: Postbus 5044  
2600 GA Delft

Bezoekadres: Van der Burghweg 1  
2628 CS Delft,

Telefoon (015) 251 85 18

Telefax: (015) 251 85 55

E-mail: [dwwmail@dww.rws.minvenw.nl](mailto:dwwmail@dww.rws.minvenw.nl)

Internet: [www.venwnet.minvenw.nl/rws/home/](http://www.venwnet.minvenw.nl/rws/home/)

DWW-2004-042

