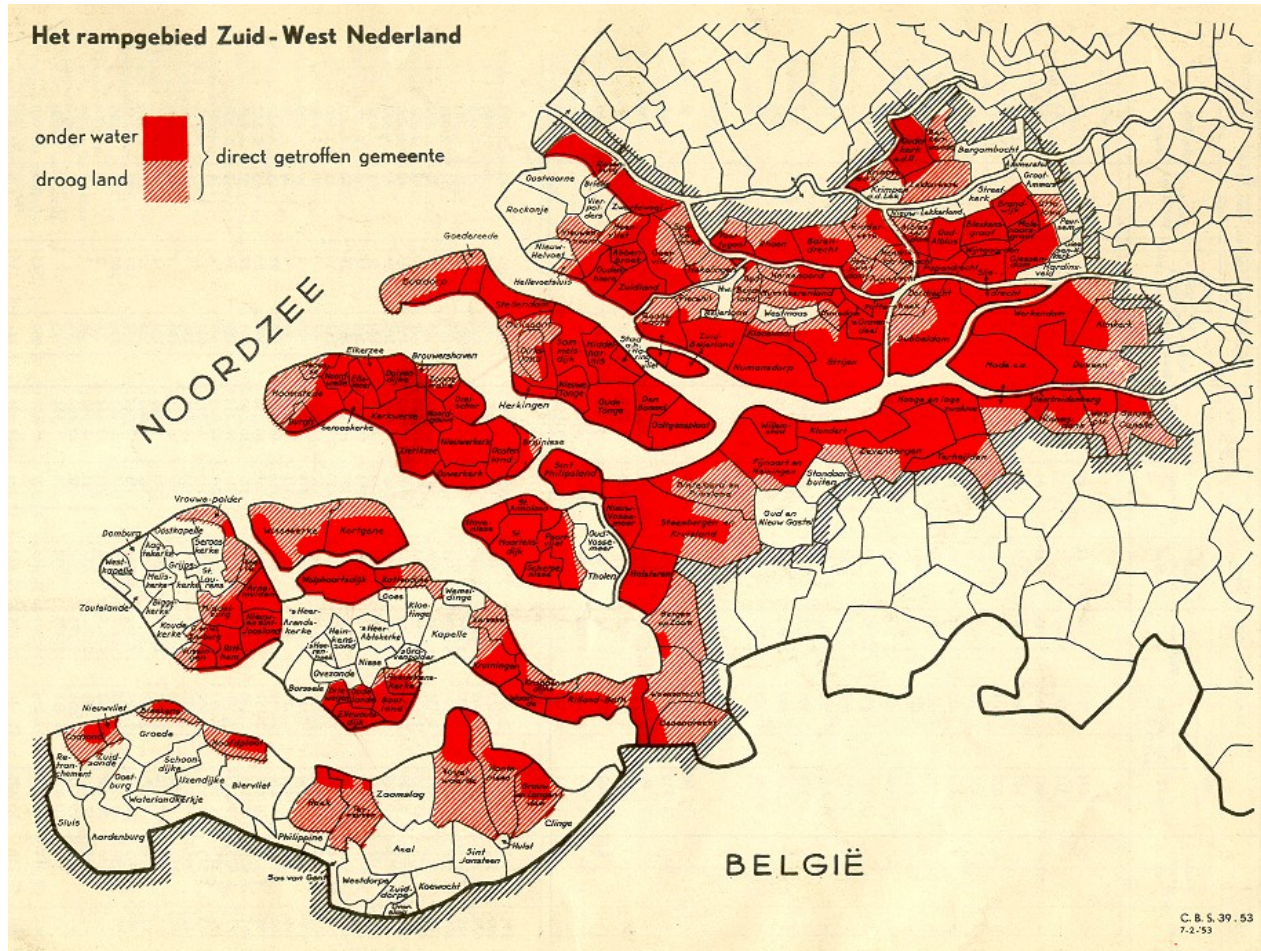


Slachtoffers bij overstromingen

Analyse van een slachtoffermodel aan de hand van de Watersnoodramp van 1953 en overstromingssimulaties



David van den Hengel

Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen

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

Slachtoffers bij overstromingen

Analyse van een slachtoffermodel aan de hand van de Watersnoodramp van 1953 en overstromingssimulaties

Eindrapport

Juni 2006

Naam: David van den Hengel
Adres: Balthasar van der Polweg 188
2628 AX Delft
Telefoon: 06-28804695
e-mail: dvandenhengel@gmail.com
studienummer: 9326041

Afstudeercommissie:
Prof.drs.ir. J.K. Vrijling
Prof.ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder
Dr.ir. P.H.A.J.M. van Gelder
Ir. S.N. Jonkman (RWS-DWW)

Afbeelding omslag afkomstig van:
CBS, 1953

Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen



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



VOORWOORD

Dit rapport is het verslag van het onderzoek getiteld: “Analyse en verbetering van een model ter bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van grootschalige overstromingen”. Dit onderzoek is gedaan in het kader van het afstudeerwerk ter afsluiting van de studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit in Delft en uitgevoerd op de afdeling Waterkeren van Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Rijkswaterstaat in Delft.

Graag wil ik een aantal mensen bedanken, zonder wie dit rapport niet tot stand was gekomen. Dat zijn: Prof. Vrijling, Prof. Vrouwenfelder, dr. Van Gelder, welke allen deel hebben genomen aan mijn afstudeercommissie en in het bijzonder mijn directe begeleider ir. Jonkman voor de dagelijkse motivatie en inspiratie. Daarnaast gaat ook mijn dank uit naar de mensen in mijn kennissenkring, zoals mijn huisgenoot, vrienden, vriendin en mijn familie voor de onvoorwaardelijke steun.

David van den Hengel

Juni 2006

II

SAMENVATTING

Aanleiding

Na de Watersnoodramp in 1953 heeft de Deltacommissie met het Deltaplan getracht Nederland veilig te maken. Naast de constructieve werken heeft de Deltacommissie ook aanbevelingen gedaan over het in stand houden van de gecreëerde veiligheid door de sterkte van de constructies te controleren, maar ook door het veiligheidsbeleid te evalueren.

Het toekomstige beleid lijkt toe te gaan naar een andere vorm van veiligheid. In plaats van te rekenen met een overschrijdingskans van de waterstand, wordt een overstromingskans van een dijkkring voorgesteld. Ook zullen de risico's beter ingeschat gaan worden. Hiervoor dienen de gevolgen van een overstroming ook berekend te worden.

Een onderdeel van die gevolgen is het aantal (dodelijke) slachtoffers, dat valt bij een bepaalde overstroming.

Risico's

Risico is gedefinieerd als een functie van kansen en gevolgen, in de meest gangbare vorm een vermenigvuldiging van beiden.

De overheid heeft meerdere eisen aan risico's gesteld, voor haar bevolking. Zo is er het Individueel Risico, wat de kans op overlijden inhoudt, voor een bepaalde locatie, wanneer men daar permanent aanwezig is. Daarnaast is er ook nog een maatschappelijk risico, waarmee het verband tussen de kans op een ongeval en het aantal slachtoffers wordt uitgedrukt. Meestal wordt dit weergegeven in een FN-curve.

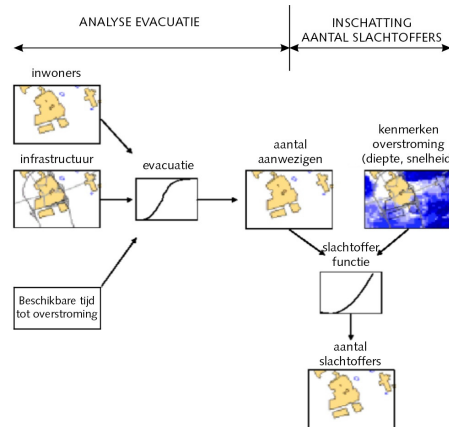
Doel van dit onderzoek

Deze studie heeft tot doel het gebruik van het bestaande slachtoffermodel te analyseren en waar mogelijk te verbeteren. Dit gebeurt aan de hand van beschikbare gegevens van de Watersnoodramp van 1953. Vervolgens kan het aantal slachtoffers bepaald worden dat nu zou vallen als de Watersnoodramp zou plaatsvinden.

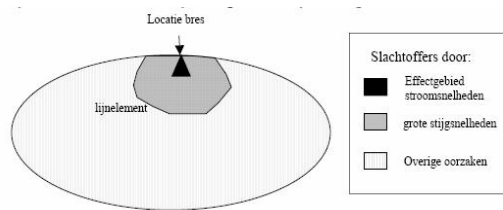
Deze doelstellingen zijn ingevuld door de invoer die gebruikt wordt in het huidige slachtoffermodel te vergelijken met observaties uit 1953. Vervolgens is een aantal onnauwkeurigheden in het model gesignaleerd en beschreven. Daarna zijn nieuwe slachtofferfuncties afgeleid, op basis van nauwkeuriger informatie, welke gebruikt kunnen worden in het slachtoffermodel. Tenslotte is met het bestaande slachtoffermodel bepaald hoeveel slachtoffers er nu in Zeeland zullen vallen bij dezelfde ramp, en wat de verschillen zijn met de situatie in 1953.

Huidige methode van berekening van aantallen slachtoffers ten gevolge van een overstroming

De opzet van het huidige slachtoffermodel (de Standaardmethode 2004) is uiteengezet in onderstaande figuur (op basis van: Asselman 2003). Het aantal aan de overstroming blootgestelde personen wordt bepaald, al dan niet na evacuatie. De overstromingskenmerken (zoals waterdiepte en stijgsnelheid) worden bepaald (bijvoorbeeld met een overstromingssimulatie) en ingevoerd in een slachtofferfunctie, waaruit een slachtofferfractie resulteert. Het aantal slachtoffers is het aantal aanwezigen vermenigvuldigd met de slachtofferfractie.



In de methode die op dit moment gebruikt wordt, zijn de slachtoffers ingedeeld naar oorzaak van overlijden. Deze 3 typen slachtoffers vallen in 3 verschillende zones (zie figuur hieronder), waarvoor 3 verschillende functies zijn afgeleid.



Stroomsnelheid

Voor het gebied dichtbij de bres waar $h \cdot v \geq 7m^2/s$ en $v \geq 2m/s$ waarin:

$$f(h)_{\text{stroomsnelheid}} = 1$$

Stijgsnelheid

Voor het gebied waar $w > 0,5 m/u$:

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

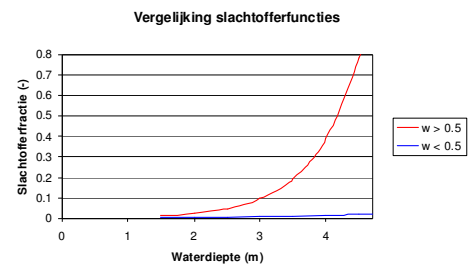
Overige oorzaken

Voor de rest van het overstromde gebied:

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

Beide exponentiële functies zijn weergegeven in de figuur hiernaast.

Deze functies zijn gebaseerd op gegevens van de Watersnoodramp in 1953, welke voornamelijk zijn verzameld door Duiser en Waarts.



Koppeling overstromingssimulaties en geobserveerde gegevens

Dit rapport behandelt de koppeling tussen overstromingssimulaties en geobserveerde gegevens. De overstromingssimulaties zijn gekalibreerd aan de hand van tijd van doorbreken, en kaarten waarop is aangegeven welke gebieden zijn overstromd.

Hieruit komt naar voren dat:

- de gebieden, die overstromd zijn volgens de overstromingssimulaties, overeenkomen met de gebieden die in 1953 zijn overstromd.

- het aantal blootgestelde personen anders is, dan eerst werd aangenomen. Door een nieuwe berekening van deze aantallen zijn ook de geobserveerde slachtofferfracties veranderd.
- de waterdiepte, zoals die is bepaald door Waarts onjuist is door onnauwkeurige gegevens van de bodemhoogte in het gebied.
- de waterdieptes uit de overstromingssimulaties goed overeenkomen met de geobserveerde waarden, die bepaald zijn met nauwkeurigere bodemhoogtes.
- de stijgsnelheden uit de overstromingssimulaties slecht overeenkomen met de geobserveerde waarden. Deze zijn in de overstromingssimulaties zowel hoger als lager.
- het aantal slachtoffers op gebeurtenisniveau goed wordt ingeschat, maar op lagere niveaus, zoals eiland- of gemeenteniveau, minder goed.

Analyse berekenmethode van aantallen slachtoffers

Na een nadere beschouwing van de huidige berekenmethode zijn een aantal methodische onnauwkeurigheden gevonden, welke eventueel verbeterd kunnen worden.

Onnauwkeurigheden in de methode uit (Jonkman 2004):

- Enkele overstroemde gemeenten zonder slachtoffers zijn niet meegenomen in de analyse in (Jonkman 2004), waardoor de afgeleide slachtofferfunctie niet gebaseerd is op de volledige dataset.
- De slachtofferfuncties zijn sterk gevoelig voor verschillende waarden stijgsnelheid, rond de grenswaarde van 0.5 m/h. Een klein verschil in stijgsnelheid levert een groot verschil in slachtofferfractie.

Onnauwkeurigheden van het model HIS-SSM (de computerimplementatie van de Standaardmethode):

- Inwoners zijn gegroepeerd in postcodepunten in plaats van ruimtelijk verspreid. Hierdoor kan het zijn dat volgens het slachtoffermodel, inwoners niet worden blootgesteld aan lokale effecten (zoals hoge stroomsnelheid nabij een bres)
- Stroomsnelheid wordt globaal berekend, terwijl de functie is afgeleid voor gebruik van de lokale stroomsnelheid (onder invloed van obstakels in het veld).
- Stroomsnelheid en stijgsnelheid in de overstromingssimulatie zijn sterk afhankelijk van de bodemruwheid.
- In de zone waar slachtoffers vallen door grote stroomsnelheid wordt gebruik gemaakt van $h_{\max} \cdot v_{\max}$ terwijl de functie is afgeleid op basis van $(h \cdot v)_{\max}$.
- Windopzet wordt niet berekend in de overstromingssimulatie.

Bepaling nauwkeurigere functies

Naar voren is gekomen dat de huidige set slachtofferfuncties, zoals die gebruikt worden in de Standaardmethode, gedeeltelijk zijn afgeleid op basis van de mate waarin gewaarschuwd is, tijdens de Watersnoodramp van 1953.

Op basis van een nauwkeurigere set gegevens zijn nieuwe slachtofferfuncties afgeleid. Als slachtofferfunctie kan zowel een exponentiële als een probit functie worden gebruikt. Deze zijn in de meeste gevallen beide gegeven. De voorkeur wordt gegeven aan de probit functie.

Het betreft een slachtofferfunctie, met alleen waterdiepte als variable, die het gemiddelde benadert:

$$1.01 \cdot 10^{-5} \cdot e^{2.95 \cdot h}$$

$$f = \text{LOGN}(h, 1.40, 0.25)$$

Een slachtofferfunctie met zowel waterdiepte als stijgsnelheid als variabele:

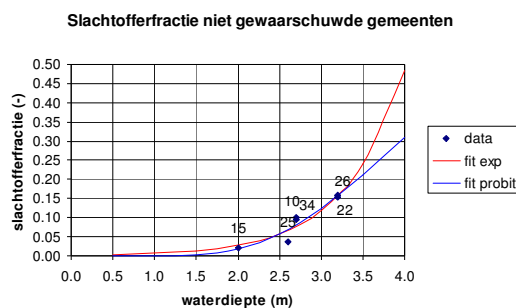
$$f = 0,91 \cdot 10^{-5} \cdot e^{2,95 \cdot h} \cdot e^{0,15 \cdot w}$$

Een slachtofferfunctie met waterdiepte als variabele die geldt als bovengrens benadering:

$$f = 1,77 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,40 \cdot h}$$

$$f = \text{LOGN}(h, 1.60, 0.44)$$

Van deze laatste zijn beide functies weergegeven in onderstaande figuur.



Aanbevolen wordt deze laatste slachtofferfunctie te gebruiken en daarnaast vluchtmogelijkheden op te nemen in het slachtoffermodel.

Slachtoffers Watersnoodramp Nu

Mocht dezelfde Watersnoodramp als in 1953 nu plaatsvinden dan zullen er 49% meer slachtoffers vallen. Dit wordt veroorzaakt door een toegenomen bevolking in de aan de overstroming blootgestelde gebieden.

Daarnaast zal ook de slachtofferfractie groter zijn, dan in 1953, doordat mensen in minder veilige gebieden zijn gaan wonen. Dit komt deels doordat de veiligere gebieden vol zijn, en deels doordat er een netto verhuizing heeft plaatsgehad van relatief veilige naar minder veilige gebieden (bij gelijkblijvend inwoneraantal).

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord

Samenvatting

Inhoudsopgave

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding van het onderzoek	1
1.2	Probleemanalyse	1
1.2.1	Probleemschets	
1.2.2	Achtergronden huidige methode	
1.2.3	Probleemstelling	
1.3	Doelstelling	4
1.4	Werkwijze	4
1.5	Opbouw van het onderzoek	5
1.6	Maatschappelijke relevantie	6
2	Risico = kans x gevolg	7
2.1	Kansen	7
2.2	Gevolgen van overstromingen	8
2.3	Overstromingsrisico	8
2.3.1	Individueel Risico	
2.3.2	Economisch risico	
2.3.3	Maatschappelijk Risico	
3	Methoden en functies voor bepaling van het aantal slachtoffers	13
3.1	Geschiedenis Nederlandse slachtofferfuncties	13
3.2	Standaardmethode 2004	15
3.2.1	Geschiedenis	
3.2.2	Begrippen	
3.2.3	Huidige opzet	
3.2.4	Functies	
3.3	Overige functies	21
3.4	Instorten van gebouwen	22
4	Watersnoodramp 1953	23
4.1	Inleiding	23
4.2	Geobserveerde data	23
4.2.1	Slachtoffers en stroomgegevens	
4.2.2	Aantal aan de overstroming blootgestelde personen	
4.2.3	Slachtofferfracties	
4.2.4	Instorten bebouwing	
4.2.5	Waarschuwingstijd	
4.3	Overstromingssimulaties	26
4.3.1	Gesimuleerde stroomgegevens	
4.3.2	Aantal aan de overstroming blootgestelde personen	
4.3.3	Berekening aantal slachtoffers	
4.4	Vergelijking overstromingssimulaties en observaties	31
4.4.1	Overstroomd gebied	
4.4.2	Aantal aan de overstroming blootgestelde personen	
4.4.3	Stroomgegevens	
4.4.4	Slachtoffers	
4.5	Conclusie	56
4.5.1	Overstroomd gebied	

4.5.2	Aantal aan overstroming blootgestelde personen	
4.5.3	Overstromingskenmerken	
4.5.4	Aantal slachtoffers	
5	Beschouwing huidige methode	59
5.1	Onnauwkeurigheden	59
5.1.1	Overstroomde gemeenten zonder slachtoffers	
5.1.2	Gevoeligheid voor stijgsnelheid	
5.1.3	Stroomsnelheid globaal berekend	
5.1.4	Stijgsnelheid en stroomsnelheid gevoelig voor bodemruwheid	
5.1.5	Conservatief gebruik h-v	
5.1.6	Inwoners gegroepeerd in postcodepunten	
5.1.7	Windopzet in overstromingssimulatie	
5.2	Betrouwbaarheidsinterval	64
5.2.1	Analytische bepaling van het betrouwbaarheidsinterval (gelineariseerd)	
5.2.2	Bootstrap simulatie met kleinste-kwadraten-methode	
5.2.3	Conclusie vergelijking bootstrapmethode en analytische methode	
5.3	Conclusie	67
6	Verbetering slachtofferfunctie	69
6.1	Modelvorming	69
6.1.1	Nederlandse methode	
6.1.2	Combinatie van fysische en empirische achtergrond	
6.1.3	Modellerstappen	
6.1.4	Nauwkeurigere functies voor inschatting op eilandniveau	
6.2	Selectie variabelen	72
6.2.1	Beperkt aantal variabelen	
6.3	Afgeleide slachtofferfunctie met behulp van overstromingssimulatie	73
6.3.1	Selectie functietype	
6.3.2	Relatie geobserveerde waterdiepte en slachtofferfractie	
6.3.3	Relatie stijgsnelheid en slachtofferfractie	
6.3.4	Andere overstromingskenmerken	
6.4	Conclusie	88
7	Analyse Watersnoodramp Nu	91
7.1	Verschillen in aantallen slachtoffers tussen 1953 en 2004	91
7.2	Verschillen tussen slachtofferverdeling in 1953 en 2004	92
7.3	Risicoreductie	94
7.3.1	Kansreductie	
7.3.2	Gevolgenreductie	
7.4	Conclusie Watersnoodramp Nu	96
8	Conclusies en Aanbevelingen	97
8.1	Conclusies	97
8.1.1	Vergelijking observaties Watersnoodramp 1953 met overstromingssimulaties	
8.1.2	Onnauwkeurigheden	
8.1.3	Verbetering slachtofferfunctie	
8.1.4	Zeeland nu	
8.2	Aanbevelingen	100
8.2.1	Slachtoffermodel	
8.2.2	Slachtofferfunctie	

Referenties

Verklarende woordenlijst

Computer programma's

Bijlagen

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 3.1: Veel gebruikte begrippen (Uit: Inschatting slachtoffers dkr. 7, 14 en 36, 2006)	17
Tabel 4.1: Overzicht verschillende bronnen slachtoffergegevens	24
Tabel 4.2: Oorsprong overstromingssimulaties	26
Tabel 4.3: Vergelijking simulatie oppervlakte met historische kaarten	35
Tabel 4.4: Overzicht geobserveerde - gesimuleerde stijgsnelheden	39
Tabel 4.5: Berekend en geobserveerd aantal slachtoffers per eiland	44
Tabel 4.6: Slachtofferfracties met waterdiepte per eiland	45
Tabel 4.7: Meest opvallende verschillen tussen berekende en geobserveerde aantallen slachtoffers per dorp	48
Tabel 6.1: Gebruikte gegevens voor afleiding van nieuwe slachtofferfunctie	73
Tabel 6.2: Vergelijking geobserveerde stijgsnelheid met mate van waarschuwen	85
Tabel 7.1: Plaatsen met grootste toename in slachtoffers	91

X

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1.1: Aanpak voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming (op basis van [Asselman, 2003])	3
Figuur 1.2: Opzet van de studie, in de figuur zijn de hoofdstuknummers weergegeven	5
Figuur 2.1: Voorbeeld foutenboom voor een dijkvak	7
Figuur 2.2: Voorbeeld van FN-curve	11
Figuur 3.1: Fractie verdrinkenen als functie van de inundatiediepte tijdens de stormvloed van 1-2-1953 [Duiser, 1989]	13
Figuur 3.2: Verdrinkingsfactor als functie van de inundatiediepte (Waarts)	14
Figuur 3.3: Slachtofferfractie als functie van overstromingsdiepte en stijgsnelheid	15
Figuur 3.4: Aanpak voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming (op basis van [Asselman, 2003])	18
Figuur 3.5: Schematische weergave stijgsnelheidsberekening	19
Figuur 3.6: Zones met verschillende doodsoorzaken (uit: (Jonkman 2004))	20
Figuur 3.7: Gefitte lijn voor stijgsnelheid als doodsoorzaak (uit: (Jonkman 2004))	21
Figuur 4.1: Nummers doorbraken dijken (www.delta2003.nl)	26
Figuur 4.2: Voorbeeld Time-to-wet GIS afbeelding voor Tholen	28
Figuur 4.3: Voorbeeld stijgsnelheid GIS afbeelding voor Tholen	28
Figuur 4.4: Voorbeeld waterdiepte GIS afbeelding	29
Figuur 4.5: Voorbeeld stroomsnelheid GIS afbeelding	29
Figuur 4.6: Postcodepunten en overstroomd gebied, Tholen	30
Figuur 4.7: CBS kaart 39.53 07-02-1953	32
Figuur 4.8: Kaart: bijlage bij het boek 'De Ramp' van Kees Slager	32
Figuur 4.9: Bijlage bij fotoboek 'De Ramp'	33
Figuur 4.10: Tekening overstroomde gebieden	33
Figuur 4.11: Overzicht overstroomde gebieden uit simulaties	34
Figuur 4.12: People exposed aantal geobserveerd tegen aantal gesimuleerd	36
Figuur 4.13: Correlatie waterdiepte gesimuleerd en geobserveerd	37
Figuur 4.14: Vergelijking bodemhoogte	38
Figuur 4.15: Correlatie herbepaald geobserveerde diepte en gesimuleerde diepte	38
Figuur 4.16: Waterdiepte verloop Burghsluis volgens overstromingssimulatie	40
Figuur 4.17: Hoogteligging dijk rond Burghsluis	40
Figuur 4.18: Waterdiepte verloop Brouwershaven in polder Schouwen, volgens overstromingssimulatie	41
Figuur 4.19: Waterdiepte verloop Brouwershaven in kleine polders, volgens overstromingssimulatie	41
Figuur 4.20: Locatie meetpunten Brouwershaven	41
Figuur 4.21: Waterstandsverloop in Ooltgensplaat volgens overstromingssimulatie	42
Figuur 4.22: Slachtoffersvergelijking berekend / geobserveerd voor hele gebeurtenis	44
Figuur 4.23: Staafdiagram slachtofferaantallen per eiland	44
Figuur 4.24: Slachtofferfractie per eiland	45
Figuur 4.25: Maximale waterdiepte op Zuid-Beveland en Zeeuws Vlaanderen	46
Figuur 4.26: Maximale waterdiepte op Goeree-Overflakkee Schouwen-Duiveland en Tholen	47
Figuur 4.27: Slachtofferfractie per eiland	47
Figuur 4.28: Slachtofferfractie per eiland zonder Zeeuws Vlaanderen en Kruijningen	47
Figuur 4.29: Correlatie tussen geobserveerde en berekende fracties per gemeente	48
Figuur 4.30: Staafdiagram meest opvallende verschillen slachtoffers per dorp	49
Figuur 4.31: Histogram inwoners Kruijningen tegen stijgsnelheid	50
Figuur 4.32: Kaart Inwoners Kruijningen 1953 & stijgsnelheid (m/u)	50
Figuur 4.33: Verschil tussen gebruikte slachtofferfuncties	51
Figuur 4.34: Waterdiepte verloop volgens simulatie op 5 punten in Kruijningen	51

Figuur 4.35: Kaart inwoners Stavenisse 1953 & stijgsnelheid (m/h)	52
Figuur 4.36: Kaart inwoners en stijgsnelheid in 1953 in Ooltgensplaat	53
Figuur 4.37: Kaart stijgsnelheid en inwoners Bruinisse	54
Figuur 4.38: Correlatie tussen fracties bepaald met ruimtelijk verdeelde waterdiepte en gemiddelde waterdiepte	55
Figuur 4.39: Correlatie tussen fracties bepaald met ruimtelijk verdeelde waterdiepte en maximale diepte	55
Figuur 4.40: Correlatie tussen fracties bepaald met ruimtelijk verdeelde stijgsnelheid en gemiddelde stijgsnelheid	55
Figuur 4.41: Correlatie tussen fracties bepaald met ruimtelijk verdeelde stijgsnelheid en maximale stijgsnelheid	55
Figuur 5.1: Fit met nulpunten	59
Figuur 5.2: Vergelijking slachtofferfuncties	60
Figuur 5.3: Tijdsverschil tussen v_{\max} en h_{\max}	61
Figuur 5.4: Inwoners gegroepeerd in postcodepunten	62
Figuur 5.5: Spreiding rond aantal slachtoffers in FN-curve (schematisch)	64
Figuur 5.6: Betrouwbaarheidsinterval, analytisch bepaald	65
Figuur 5.7: Beste fits van gebootstrapte datasets	65
Figuur 5.8: Betrouwbaarheidsintervallen waterdiepte (N=100)	66
Figuur 5.9: Betrouwbaarheidsintervallen waterdiepte (N=2000)	66
Figuur 6.1: Aanpak voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming (op basis van (Asselman 2003))	69
Figuur 6.2: Fit voor exponentiële en lognormale functie voor gegevens Jonkman	71
Figuur 6.3: Schematische weergave slachtofferfunctie	72
Figuur 6.4: Voorbeeldplot exponentiële functie	74
Figuur 6.5: Voorbeeldplot probitfunctie	75
Figuur 6.6: Slachtofferfractie t.g.v. geobserveerde waterdiepte	77
Figuur 6.7: Slachtofferfractie t.g.v. waterdiepte, zonder outliers	78
Figuur 6.8: Slachtofferfractie t.g.v. waterdiepte met slachtofferfuncties Jonkman	79
Figuur 6.9: Dataset Jonkman met nieuw bepaalde gekalibreerde exponentiële functie	79
Figuur 6.10: Vergelijking aantallen slachtoffers per eiland voor nieuwe en oude slachtofferfuncties	80
Figuur 6.11: Correlatie tussen geobserveerde en opnieuw met HIS-SSM berekende slachtofferfracties	80
Figuur 6.12: Betrouwbaarheidsinterval nieuw afgeleide functie	80
Figuur 6.13: Slachtofferfractie van niet gewaarschuwde gemeenten	81
Figuur 6.14: Slachtofferfractie tegen stijgsnelheid	82
Figuur 6.15: Slachtofferfractie t.g.v. stijgsnelheid op Goeree Overflakkee	83
Figuur 6.16: Slachtofferfractie t.g.v. stijgsnelheid op overige eilanden	83
Figuur 6.17: Slachtofferfractie t.g.v. stijgsnelheid (vroeg gewaarschuwd)	84
Figuur 6.18: Slachtofferfractie t.g.v. stijgsnelheid (laat gewaarschuwd)	84
Figuur 6.19: Slachtofferfractie t.g.v. stijgsnelheid (niet gewaarschuwd)	84
Figuur 6.20: Correlatie tussen geobserveerde en met gemiddelde waterdiepte berekende fracties voor niet gewaarschuwde gemeenten	85
Figuur 6.21: Correlatie tussen geobserveerde en met waterdiepte en stijgsnelheid berekende fracties voor niet gewaarschuwde gemeenten	85
Figuur 6.22: Slachtofferfunctie t.g.v. waterdiepte en stijgsnelheid	86
Figuur 6.23: Correlatie tussen met HIS-SSM + 3Dfunctie berekende en geobserveerde slachtofferfracties	86
Figuur 7.1: Correlatie slachtofferaantal per dorp in 1953 en 2004	92
Figuur 7.2: Correlatie slachtofferfracties in 1953 en 2004	92
Figuur 7.3: Lokaties toegenomen en afgenomen slachtoffers tussen 1953 en 2004 in Ooltgensplaat	93
Figuur 7.4: Lokaties toegenomen en afgenomen slachtoffers tussen 1953 en 2004 in Oude Tonge	93
Figuur 7.5: Lokaties toegenomen en afgenomen slachtoffers tussen 1953 en 2004 in Zierikzee	94

1 INLEIDING

In dit eerste hoofdstuk wordt de achtergrond geschetst van het bepalen van het aantal slachtoffers bij een grootschalige overstroming. Na de aanleiding (1.1) voor dit onderzoek en de analyse van het probleem (1.2) worden de doelstelling (1.3) en werkwijze uitgelegd (1.4). Uiteindelijk wordt ook de maatschappelijke relevantie van het onderwerp nog toegelicht (0).

1.1 Aanleiding van het onderzoek

Na de Watersnoodramp in 1953 heeft de Deltacommissie met het Deltaplan getracht Nederland veilig te maken. Naast de constructieve werken heeft de Deltacommissie ook aanbevelingen gedaan over het in stand houden van de gecreëerde veiligheid door de sterkte van de constructies te controleren, maar ook door het veiligheidsbeleid te evalueren.

Het toekomstige beleid lijkt toe te gaan naar een andere vorm van veiligheid. In plaats van te rekenen met een overschrijdingskans van een maatgevende waterstand per dijkkring, wordt een overstromingskans voorgesteld. Ook zullen de risico's beter ingeschat gaan worden. Aangezien risico wordt gedefinieerd als een functie van kansen en gevolgen, dienen die gevolgen ook berekend te worden.

Een onderdeel van die gevolgen is het aantal (dodelijke) slachtoffers, dat valt bij een bepaalde overstroming.

1.2 Probleemanalyse

1.2.1 Probleemschets

Recente gebeurtenissen

De afgelopen jaren hebben overstromingen veel slachtoffers geëist in grote delen van de wereld. Recente voorbeelden zijn de overstromingen eind augustus 2005 in New Orleans, ten gevolge van de orkaan Katrina en daarvoor in december 2004 de overstromingen als gevolg van de aardbeving in zee.

Aantal slachtoffers berekenen met de Standaardmethode

Ook in Nederland kan een overstroming plaats vinden, al is het niet door bovengenoemde oorzaken. Niet in de minste plaats omdat Nederland voor een groot gedeelte onder de zeespiegel ligt. Om tot een optimalisatie te komen, is het noodzakelijk inzicht te verkrijgen in de gevolgen, die een grootschalige overstroming heeft. Hiervoor is bij de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat een methode ontwikkeld om in te schatten hoeveel schade er zal optreden en hoeveel slachtoffers er zouden kunnen vallen. Deze methode wordt de Standaardmethode genoemd en is geïmplementeerd in het computerprogramma HIS-SSM¹.

Deze methode is ontwikkeld aan de hand van historische gegevens, die verkregen zijn na de Watersnoodramp in 1953, in Zeeland, Zuid-Holland en Brabant.

¹ Hoogwater Informatie Systeem - Schade en Slachtoffer Module

Historische data

Deze gegevens zijn verzameld door Duiser(1989) en Waarts (1992) uit verhalen over de ramp en ooggetuigenverslagen. Hierin zijn de waterdiepte (waterniveau - bodemhoogte) en stijgsnelheid opgenomen. De betrouwbaarheid van geobserveerde waarden voor de waterdiepte lijkt groter dan die van de stijgsnelheid en stroomsnelheid. Waterdiepte is immers vergelijkbaar met de omgeving of met eigen hoogte, maar voor de snelheden is geen directe referentie. In het boek van K. Slager (De Ramp) wordt in ooggetuigenverslagen gemeld dat “het water ... een halve meter per 10 minuten” steeg. Kwalitatief zijn deze veelal wel te gebruiken, maar de schattingen kunnen per persoon, en dus per locatie, sterk verschillen. Waarden beschikbaar uit simulaties van de watersnoodramp kunnen hier oplossingen bieden.

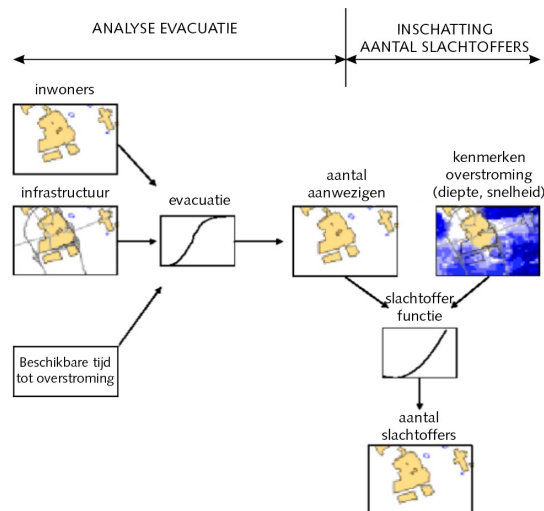
Simulaties

Onlangs is de overstroming van 1953 gesimuleerd met een computerprogramma, waarmee waterdieptes en stroomsnelheden berekend kunnen worden (Sobek). Doordat deze overstromingssimulatie is gecalibreerd aan de hand van gegevens over waterdiepten in 1953, die wel beschikbaar zijn, wordt verwacht dat deze overeenkomt met de betreffende situatie. Met behulp van deze gegevens kan de bestaande Standaardmethode voor de inschatting van het aantal slachtoffers beter gevalideerd en eventueel gecalibreerd worden. Voordat de simulatiegegevens bekend waren, werden er aannames gedaan omtrent de stroomeigenschappen. Op basis van deze aannames zijn vervolgens functies afgeleid, die de relatie tussen het sterftecijfer en stroomeigenschappen geven, de zogenaamde slachtofferfuncties. De gegevens uit de overstromingssimulatie zullen moeten leiden tot validatie van de bestaande, ofwel afleiding van verbeterde functies.

Bebouwing

Ook zijn er nieuwe inzichten over de te gebruiken parameters. Het instorten van gebouwen blijkt een goede indicator te zijn van het aantal slachtoffers. Eventueel zijn er nog andere indicatoren die meegenomen kunnen worden. Deze analyse is nog niet ingevoegd in het bestaande model.

Daarnaast zijn de huidige functies afgeleid voor omgevingsgegevens uit de tijd van de Watersnoodramp, welke al dan niet in de huidige situatie van toepassing zijn. In 1953 bestond een aanzienlijk gedeelte van de bebouwing in Zeeland uit eenvoudige arbeiderswoningen, die gebouwd waren zonder cement, maar met leem. Aangenomen wordt dat deze woningen als gevolg van een minder grote belasting zullen instorten, dan de huidige bebouwing. Het instorten van gebouwen is meerdere keren onderzocht en zou geïmplementeerd kunnen worden in de bestaande slachtofferfuncties.



Figuur 1.1: Aanpak voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming (op basis van [Asselman, 2003])

1.2.2 Achtergronden huidige methode

Het rapport Standaardmethode2004 behandelt de methode voor het bepalen van de hoeveelheid schade en het aantal slachtoffers als gevolg van een overstroming. Voor dit onderzoek is alleen de bepaling van aantallen slachtoffers uit dit rapport van belang. Dit is slechts een klein onderdeel van dit rapport. Deze functies zijn daarvoor afgeleid door dhr. Jonkman in het rapport “Methode voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een grootschalige overstroming” (Jonkman 2004). Hierin worden meerdere bronnen van data aangehaald, en bepaald welke data het beste bruikbaar is voor de afleiding van de relatie tussen de slachtofferfractie (het aantal slachtoffers gedeeld door de hoeveelheid mensen in het gebied) en de fysische effecten (in dit geval stroomgegevens als waterdiepte en stroomsnelheid). Jonkman noemt deze relaties in zijn rapport slachtofferfuncties.

De functies in dat betreffende rapport zijn afgeleid aan de hand van tientallen metingen. Voor 45 punten was zowel de verdrinkingsfractie als de waterdiepte bekend (op basis van ooggetuigenverslagen), en voor 10 punten, zowel de verdrinkingsfractie, waterdiepte en stijgsnelheid (m/h).

1.2.3 Probleemstelling

In het bestaande model voor het bepalen van het aantal slachtoffers bij een grootschalige overstromingen, spelen onder meer de volgende problemen:

- De gegevens waarop de slachtofferfuncties zijn gebaseerd, zijn afkomstig van één bron.
- Het model is gebaseerd op een beperkte hoeveelheid gegevens.
- Het model is sterk gevoelig van verschillende waarden voor de stijgsnelheid van het water. Voor w (stijgsnelheid) $< 0,5$ m/h wordt een andere formule gebruikt dan voor $w \geq 0,5$ m/h. Deze twee formules leveren sterk uiteenlopende resultaten op. Bij een klein verschil in stijgsnelheid wijzigt de berekende slachtofferfractie hierdoor sterk.
- De slachtofferfuncties zijn niet gevalideerd of geverifieerd.

-
- Menselijk gedrag is geïntegreerd in de slachtofferfuncties. Wanneer dit gedeeltelijk gedifferentieerd gebeurt, kan onderscheid worden gemaakt tussen bijvoorbeeld lang en kort van tevoren gewaarschuwd worden. Een voorbeeld hiervan is:
 - Afstand tot de bres is slechts meegenomen in de functies, door het feit dat dichtbij de bres hoge stroomsnelheden worden geconstateerd. Nog niet meegenomen is het feit dat, naarmate men zich verder verwijderd van de bres, men meer tijd heeft om een schuilplaats te vinden of zich te evacueren.

1.3 Doelstelling

Door gebruik te maken van nieuw beschikbare gegevens, zowel door simulaties, nieuwe overstromingen als nieuwe inzichten, zal bekeken worden of er nieuwe slachtofferfuncties kunnen worden afgeleid en gevalideerd.

Hiervoor zijn de volgende doelen opgesteld:

- 1) Onderzoeken hoe goed het huidige slachtoffermodel de gevolgen van de Watersnoodramp voorspelt op basis van simulaties van de Watersnoodramp.
- 2) Op grond van de bevindingen, die voortvloeien uit het vorige deel, de gegevensbasis controleren en aanvullen. Waar mogelijk de methode verbeteren.
- 3) Inschatten van het aantal slachtoffers bij een overstroming in Zeeland nu en het bepalen van mogelijk te nemen maatregelen, zoals evacuatie en compartimentering.

1.4 Werkwijze

Doel 1:

1. Allereerst moeten de gegevens waarop de slachtofferfuncties gebaseerd zijn, gecontroleerd worden, bijvoorbeeld met behulp van overstromingssimulaties.
2. In het begin van het onderzoekstraject zal data verzameld en geordend dienen te worden. Hieronder vallen:
 - 2.1. De stroomgegevens uit de overstromingssimulatie van het gebied dat in 1953 overstroomd is, zoals stroomsnelheid, waterdiepte en stijgsnelheid.
 - 2.2. Kenmerken van de bebouwing in het gebied, zoals gebruikte materialen, bebouwingsdichtheid.
 - 2.3. Gegevens over bewoning van het gebied in 1953, zoals bevolkingsdichtheid en verdeling.
 - 2.4. Schaalverschillen in de data zullen op elkaar aangepast moeten worden. De aantallen slachtoffers zijn bijvoorbeeld per dorp gegeven, terwijl de stroomgegevens uit de overstromingssimulatie bekend zijn op veel kleinere schaal.
3. De werking van het huidige model dient onderzocht te worden, aangezien dit model de basis zal vormen van het nieuwe model.
4. Vergelijken van voorspellingen van de Standaardmethode2004 met observaties gedaan tijdens de Watersnoodramp in 1953. De analyse hiervan zal tot gevolg moeten hebben dat inzicht wordt verkregen in de onnauwkeurigheden van de bestaande methode of de bestaande slachtofferfuncties.

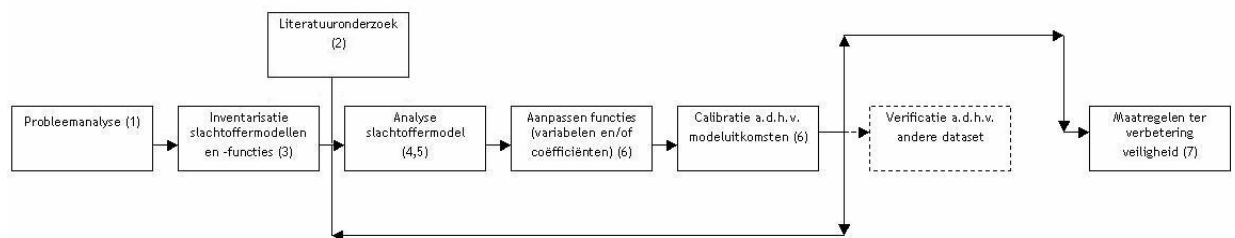
Doel 2:

5. Aan de hand van de verkregen gegevens kunnen nieuwe slachtofferfuncties worden afgeleid. Dit zal beginnen met een analyse van parameters, die eventueel toegevoegd kunnen worden. Mogelijk zijn de functies multidimensionaal te maken, zodat de gevoeligheid voor randsituaties zal verdwijnen. Mocht dit onhaalbaar blijken, dan dienen de nieuwe functies goed op elkaar aan te sluiten en geen breed uiteenlopende resultaten te geven voor relatief weinig afwijkende parameters.
6. Het nieuwe model dient gekalibreerd te worden. Logischerwijs zal dit uitlopen op een iteratief proces waarbij steeds mankementen in het 'nieuwe' model gevonden zullen worden. Dit model kan zo steeds opnieuw verbeterd worden.
7. Wanneer de resultaten bevredigend zijn, dient de vertaalslag van het model naar de tegenwoordige tijd gemaakt te worden. Onderzoeken, die aantonen dat verschillende typen bebouwing eerder dan wel later instorten, vormen hiervan de basis.
8. Mochten er gegevens of een verifieerbare simulatie beschikbaar komen van recente overstromingen in soortgelijke gebieden, zoals New Orleans, dan kan het model geverifieerd of aangepast worden aan de hand van die informatie.

Doel 3:

9. Het verwachte aantal slachtoffers in Zeeland in de huidige situatie berekenen.
10. Verschillen in plaats en aantal slachtoffers toen en nu analyseren.
11. Onderzoeken welke maatregelen er genomen kunnen worden om het aantal slachtoffers terug te dringen. Gedacht moet worden aan compartimentering, maar ook het ophogen of verlagen van verschillende delen van polders of evacuatie behoort tot de mogelijkheden.

1.5 Opbouw van het onderzoek



Figuur 1.2: Opzet van de studie, in de figuur zijn de hoofdstuknummers weergegeven

1.6 Maatschappelijke relevantie

Wanneer meer inzicht verkregen wordt in de maatregelen, die aantallen slachtoffers reduceren, kan de kennis daarvan gebruikt worden voor het verbeteren van risicoanalyses of voor het verbeteren van ontwerpen. De nieuw afgeleide functies kunnen, wanneer toegepast in een model, gebruikt worden als ontwerpmiddel voor het anders aanleggen of verbeteren van dijken of andere waterkerende constructies. Met behulp van een analyse met dit hulpmiddel kan beter inzicht worden verkregen in de gevolgen van nieuwe of bestaande ontwerpen.

Ook kunnen evacuatieplannen verbeterd worden. Kritieke gebieden (of: gebieden waar veel slachtoffers dreigen te vallen) kunnen anders (bijvoorbeeld: eerder) geëvacueerd worden, dan gebieden waar geen tot weinig slachtoffers verwacht worden.

Recentelijk is er veel aandacht voor bijvoorbeeld waarschuwing, evacuatie en compartimentering. Verwacht wordt dat dit punten zijn, die veel invloed op het aantal slachtoffers bij een overstroming kunnen hebben.

2 RISICO = KANS X GEVOLG

Een risico gebaseerde aanpak is opgebouwd uit kansen en gevolgen, die uit een ingreep resulteren. In dit hoofdstuk wordt een toelichting gegeven op het begrip risico .

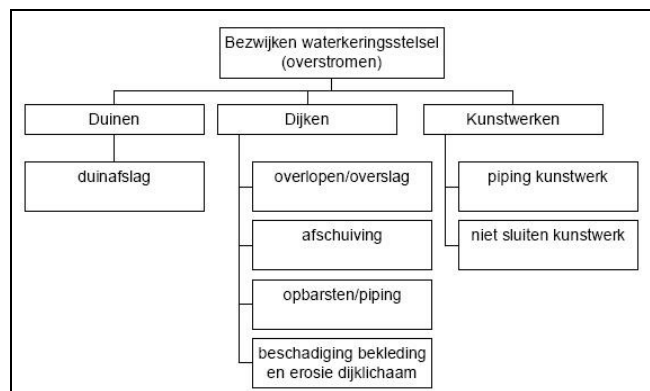
2.1 Kansen

Overschrijdingskans

De normen die de Deltacommissie heeft opgesteld na de watersnoodramp in Zeeland in 1953 zijn gebaseerd op een overschrijdingskans van een bepaalde waterstand. De norm is bepaald aan de hand van de te beschermen economische waarde en werd gekwantificeerd op 10^{-4} voor de grote dijkkringgebieden Noord- en Zuid-Holland. Andere gebieden kregen een overschrijdingskans, die hoger is. De overschrijdingskans van 10^{-4} werd mede gebaseerd op een economische optimalisatie. Deze optimalisatie resulteerde in een frequentie van onderstromen van eens in 125.000 jaar. Deze werd vertaald naar een overschrijdingsfrequentie van eens in de 10.000 jaar door te stellen dat het mogelijk is, dat de dijk pas bezwijkt bij een hogere waterstand.

Overstromingskans

Op het moment is er een omslag in aanpak te constateren. In plaats van de aanpak van de Deltacommissie voort te zetten en de (on)veiligheid uit te drukken in een overschrijdingskans, zal in de toekomst waarschijnlijk de (on)veiligheid als een overstromingskans uitgedrukt worden. Deze benadering is een verbetering ten opzichte van de overschrijdingskans aangezien dijken niet alleen bezwijken als gevolg van een overschrijding van het waterniveau. Wanneer een foutenboom (zie Figuur 2.1) wordt opgesteld voor het overstromen van een dijkvak, wordt duidelijk dat vele andere faalmechanismen een rol spelen. Een beschouwing van alleen een overschrijdingskans geeft dus een onterecht gevoel van veiligheid [17].



Figuur 2.1: Voorbeeld foutenboom voor een dijkvak

PC-Ring

Het bepalen van de kans op een bepaalde doorbraak (zie Verklarende woordenlijst) gebeurt door gebruik te maken van programma's als PC-Ring.

Overstromingsscenario

Bij het representatief stellen van de doorbraken moet rekening worden gehouden met de factoren, die de schade en/of slachtoffers bepalen. Dit betekent dat slechts doorbraken behoeven te worden doorgerekend, die een ander overstromingsbeeld veroorzaken.

In de regel is het zo dat er enkele maatgevende doorbraken te bedenken zijn, waarvan de kans op optreden van grotere orde is, dan van de overigen. Een beperkt aantal doorbraken hoeft op deze manier te worden doorgerekend om de daadwerkelijke kans dicht te benaderen.

In [9] is aangetoond dat in veel gevallen enkele scenario's maatgevend zijn voor een dijkkringgebied en derhalve kunnen een aantal scenario's gebruikt worden om de risico's voor een dergelijk gebied te bepalen. In dat betreffende rapport wordt voor dijkkring 43 aangetoond dat 12 scenario's meer dan 99 % van de totale kans op falen bepalen. Door de juiste scenario's te kiezen is het mogelijk het percentage van de totale kans op falen te maximaliseren en zo ook een zo groot mogelijk deel van het risico te omvatten.

2.2 Gevolgen van overstromingen

Door een overstroming ontstaan verschillende typen schade. In de definitiestudie van het project 'Standaardmethode Schade en Slachtoffers' [WL, TNO en Bouwdienst, 1999] wordt onderscheid gemaakt tussen monetair waardeerbare schade en niet-monetair waardeerbare schade.

Typen monetair waardeerbare (en derhalve berekenbare) schade zijn:

1. Directe schade
2. Directe schade ten gevolge van bedrijfsuitval
3. Indirecte schade ten gevolge van overstroming

Onder directe schade (1) valt de schade, die optreedt aan objecten, kapitaalgoederen en roerende goederen, vanwege het directe contact met water.

Bij (2) moet gedacht worden aan de schade, die optreedt als gevolg van productiestilstand en (3) houdt de schade in, die veroorzaakt wordt bij afnemende en toeleverende bedrijven door het gedeeltelijk wegvallen van omzet.

Deze 3 schadetypen worden berekend in de Standaardmethode, die verderop besproken wordt. De schade zal echter niet besproken worden in dit rapport.

Onder niet-monetair waardeerbare schade vallen:

1. Slachtoffers
2. Emotionele schade bij personen
3. Verlies van landschap, natuur en cultuur

Aangezien deze schadetypen maatschappelijk niet te verwaarlozen zijn, wordt getracht ook deze te berekenen. Bij aantallen slachtoffers is het duidelijk wat berekend dient te worden, maar het verlies van landschap, natuur en cultuur is lastiger te kwantificeren.

2.3 Overstromingsrisico

In de titel van dit hoofdstuk wordt risico voorgesteld als een vermenigvuldiging van kans en gevolg. Dit is slechts een vorm van de meer gangbare definitie: risico is een functie van kansen en

gevolgen. Risico is een maat, die op tal van manieren uitgedrukt kan worden. Dit komt ook naar voren in de normen, die door overheden gesteld worden.

2.3.1 Individueel Risico

Het Individueel Risico wordt gedefinieerd als de jaarlijkse kans op overlijden op een bepaalde plaats, onder de veronderstelling dat het potentiële slachtoffer zich permanent in dit gebied bevindt.

Sommigen beweren dat voor iedereen het Individueel Risico gelijk zou moeten zijn. Bij overstromingen is de situatie echter anders. De bewoners kunnen immers vluchten of geëvacueerd worden.

Wanneer het economische optimum gebruikt zal worden als kansbepaling voor het inunderen van een dijkkring, zal de ene dijkkring een groter risico lopen dan de ander, met als gevolg dat inwoners van de eerste een groter risico op overlijden lopen. Deze situatie is in wezen niet anders, dan dat die nu is. Ook nu zijn voor verschillende dijkkringen verschillende overschrijdingskansen vastgesteld. Als afweging kan gesteld worden dat een ieder recht heeft op een basisveiligheid, maar dat economische waardevolle gebieden beter beschermd dienen te worden om dichterbij het economisch optimale punt te ontwerpen.

Daarnaast kost het meer tijd een dichtbevolkt gebied te evacueren, en dient er derhalve een risico bepaald te worden, waarin het evacueren meegenomen wordt. Dit komt neer op een kans, die berekend wordt door de kans op inunderen te vermenigvuldigen met de kans van overlijden als gevolg van het inunderen. Bij gemakkelijker evacueren zal de kans op overlijden als gevolg van het inunderen kleiner zijn, dan wanneer het evacueren stroef zal verlopen (zoals bij dichtbevolkte gebieden). Een grotere overstromingskans betekent derhalve niet meteen een grotere overlijdenskans. De formulering voor het acceptabele Individuele Risico is als volgt (uit (Vrijling et al, 2002)):

$$P_{\text{overstroming, acceptabel}} = \frac{\beta \cdot 10^{-4}}{P_{df}}$$

waarin:

$0,01 < \beta < 100$ = beleidsfactor

10^{-4} = kans op een dodelijk ongeluk

P_{df} = kans op overlijden tijdens de gegeven overstroming

Uit deze formule volgt dat voor verschillende gebieden met verschillende kansen op overlijden, tijdens een overstroming, voor dit criterium verschillende overstromingsnormen zouden kunnen gelden.

Nu is het discutabel of dergelijke kansen goed te kwantificeren zijn, aangezien moeilijk aan te geven is of een evacuatieplan altijd in werking gesteld zal worden. Een evacuatie zal ook niet altijd uitgevoerd worden, terwijl er wel degelijk een verhoogde kans van overstromen is. Frieser [12] beschrijft het beslissingsproces voor evacuatie en toont aan dat een totaal rationele beslissingsmaker zal evacueren als het economisch voordelen oplevert, en door de onzekerheden het zeker kan voorkomen dat er niet geëvacueerd is, terwijl wel een overstroming plaatsvindt.

2.3.2 Economisch risico

Individueel risico is niet de enige vorm van risico aan de hand waarvan beleid bepaald kan worden. Andere vormen zijn, onder andere: maatschappelijk risico en economisch risico. Beide vormen van risico zullen voor segregatie van overstromingskansen spreken, aangezien over het algemeen dichtbevolkte gebieden hoger scoren op het gebied van maatschappelijk risico door de grotere hoeveelheid inwoners, maar over het algemeen ook economisch van groter belang zijn.

In de tijd na de Deltacommissie is de te beschermen economische waarde in de tussenliggende jaren sterk gestegen. Werd toen de optimale overstroomingsfrequentie nog eens in de 125.000 jaar geschat, nu zou de economisch optimale frequentie volgens schattingen eerder rond de 1 op 1.000.000 liggen [37].

Het is daarom verstandig een nieuwe berekening te maken, wat het economisch optimale ontwerppunt zal zijn. Hiervoor is het van belang te kunnen berekenen wat de verwachting van de schade is in een bepaalde dijkkring. Deze verwachting wordt omschreven als risico en gedefinieerd als kans vermenigvuldigd met gevolg. Wanneer dit gedaan wordt, kan voor verschillende ingrepen vergeleken worden welke economisch optimaal is. Hiervoor is het programma HIS-SSM ontwikkeld, wat de schade kan berekenen per overstroomingsscenario.

Voor het aantal slachtoffers is deze berekening minder eenduidig. De Deltacommissie durfde het verlies van mensenlevens nog niet te beschouwen. Ook is de omzetting van een mensenleven in economische waarde omstrede. In [39] wordt gebruik gemaakt van het netto nationaal product, wat in westerse landen neerkomt op ongeveer 1 miljoen US dollar.

Bij normen voor aantallen slachtoffers wordt vaak een risicoaversieve functie gebruikt, wat betekent dat grote gevolgen vermeden dienen te worden. (Jonkman 2001) [16] beschouwt in zijn rapport vele vormen hiervan.

2.3.3 Maatschappelijk Risico

De overgang van Individueel Risico naar Maatschappelijk Risico wordt gemaakt door een verband te leggen tussen de kans op een ongeval en het aantal slachtoffers van dat ongeval. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers drukt het risico van aantallen slachtoffers uit.

Deze verwachtingswaarde kan op meerdere manieren berekend worden:

1. Oppervlakte onder FN curve
2. Verwachtingswaarde slachtoffers uit Individueel Risicocontouren
3. Bepalen uit kansdichtheidfunctie

FN curve

In een FN-curve is de cumulatieve overschrijdingskans van een ongeval met N of meer slachtoffers op de y-as uitgezet tegen N op de x-as. Door meerdere FN-curves in een grafiek te plotten zijn deze eenvoudig te vergelijken. De basis hiervoor is de kansdichtheidfunctie van het aantal slachtoffers, wiskundig voorgesteld als:

$$F_N(x) = P(N \leq x) = \int_0^x f_N(x) \cdot dx \quad (2.1)$$

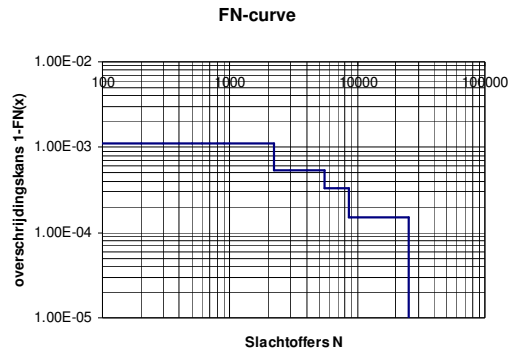
$$1 - F_N(x) = P(N > x) \quad (2.2)$$

Waarin:

$f_N(x)$ kansdichtheidfunctie van het aantal slachtoffers x
 $F_N(x)$ kansverdelingfunctie van het aantal slachtoffers x

Wanneer de overschrijdingskans ($1 - F_N(x)$) uitgezet wordt tegen het aantal slachtoffers op dubbel logaritmische schaal is de FN-curve het resultaat.

De FN-curve (zie bijvoorbeeld Figuur 2.2) is een veelgebruikt middel om maatschappelijke risico's met verschillende oorzaken te vergelijken.



Figuur 2.2: Voorbeeld van FN-curve

Verwachtingswaarde uit Individueel Risicocontouren

Hier wordt het integreren van het desbetreffende gebied bedoeld. Numeriek wil dit voorstellen dat voor elk uniform gebied het Individueel Risico bepaald wordt en vervolgens vermenigvuldigd met het aantal personen aanwezig in dat gebied. Dit is de methode volgens welke het programma HIS-SSM het aantal slachtoffers berekent. In dit programma wordt echter met gebieden met vaste afmetingen (zogenaamde gridcellen) gerekend.

Kansdichtheidfunctie

De verwachtingswaarde kan ook uit de kansdichtheidfunctie bepaald worden:

$$E(N) = \int_0^{\infty} x \cdot f_N(x) \cdot dx \quad (2.3)$$

Dit is theoretisch gelijk aan de oppervlakte onder de FN-curve.



3 METHODEN EN FUNCTIES VOOR BEPALING VAN HET AANTAL SLACHTOFFERS

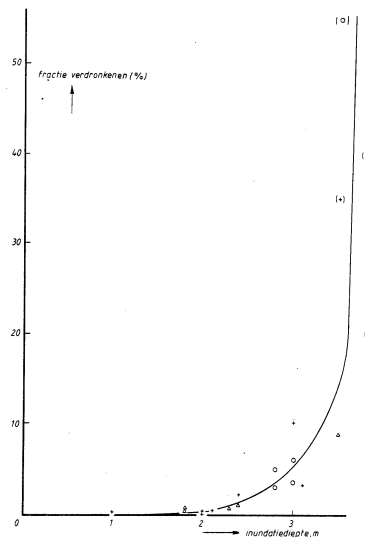
In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van wat reeds aan methoden voor handen is om aantallen slachtoffers te bepalen.

3.1 Geschiedenis Nederlandse slachtofferfuncties

Gedurende de afgelopen twee decennia is er meerdere keren onderzoek gedaan naar de voorspelbaarheid van het aantal slachtoffers bij een overstroming in Nederland.

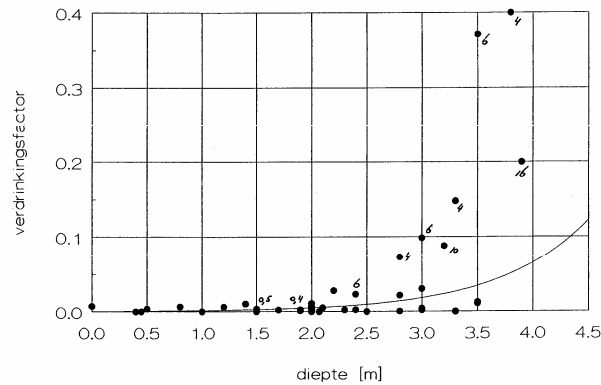
Duiser

Wat opvalt is dat Duiser in 1989 de eerst bekende is, die een relatie aangaf tussen waterdiepte en slachtofferfractie, en dat velen na hem dezelfde relatie hebben gebruikt en andere functies hebben afgeleid. Van Duiser is geen formule bekend, maar slechts een tabel en grafiek, gebaseerd op gegevens van de Watersnoodramp in 1953.



Figuur 3.1: Fractie verdrinkenen als functie van de inundatiediepte tijdens de stormvloed van 1-2-1953 [Duiser, 1989]

Waarts



Figuur 3.2: Verdrinkingsfactor als functie van de inundatiediepte (Waarts)

In 1992 gebruik Waarts de gegevens van Duiser en vult ze aan. Voor een tiental punten verzamelt hij schattingen van de stijgsnelheid. Daarbij valt op dat bij punten met relatief hoge stijgsnelheden, grote slachtofferfracties vallen. Zie hiervoor Figuur 3.2. Bij punten waar een schatting van de stijgsnelheid bekend is, is deze aangegeven. De gefitte functie is in dit geval:

$$\partial_{h3} = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,16 \cdot h} \quad (3.1)$$

Met de gedetailleerde methode van Waarts wordt het aantal slachtoffers door stijgsnelheid berekend, door de tijd dat de maximale inundatiediepte h de verdiepingshoogte z bereikt heeft te nemen en aan de hand van die bepaalde tijd in te schatten hoeveel mensen er gered zijn.

Na evacuatie geldt dan de formule:

$$\partial_{h3} = 0,75 \cdot 10^{-3} \cdot h^{1,83051} \quad (3.2)$$

Van Gelder en Kraak

Van Gelder en Kraak (1994) gebruiken een relatie tussen waterdiepte, stijgsnelheid en slachtofferfractie op basis van 10 punten. Deze 10 punten zijn wederom gegevens van 1953. Ze gebruiken een relatie tussen waterdiepte en slachtofferfunctie en daarnaast wordt er een factor voor de stijgsnelheid in de formule opgenomen, welke een lineaire interpolatie is tussen een stijgsnelheid (w) van 3 m/h en 0,3 m/h.

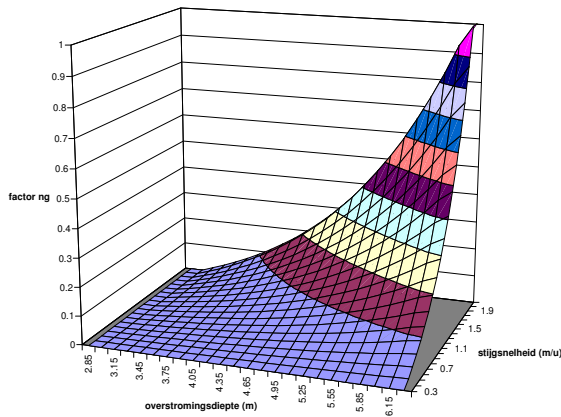
$$f(h, w) = f_d(h) \cdot f_w(h) \quad (3.3)$$

met voor:

$$f_w(h) = 0,37 \cdot w - 0,11, \quad 0,3 < w < 3 \text{ m/h} \quad (3.4)$$

Hoeksche Waard

Ook in het rapport Tweede waterkeringen Hoeksche Waard wordt een verhouding afgeleid tussen de slachtofferfractie, de waterdiepte en de stijgsnelheid, zie Figuur 3.3.



Figuur 3.3: Slachtofferfractie als functie van overstromingsdiepte en stijgsnelheid

Uit dat rapport is niet op te maken op basis waarvan de formule is afgeleid. Vermoed wordt dat het een exponentiële interpolatie betreft tussen een aantal grenswaarden. Ook sluiten de grenzen van slachtofferfracties niet op elkaar aan. Daarvoor zou een kleine aanpassing van de variabelen in de exponentiele functie vereist zijn. In Figuur 3.3 is die aanpassing gedaan, waardoor deze geen sprongen vertoont.

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

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

$$f_{ng} = \min(\max(8.5 \cdot \exp(0.6 \cdot h - 6) - 0.15, 0), 1) \cdot \min(\max(8.5 \cdot \exp(1.2 \cdot v - 4.3) - 0.15, 0), 1) \quad (3.5)$$

Standaardmethode 2000/2002

Vervolgens wordt in december 1999 de eerste Standaardmethode Schade en Slachtoffers opgesteld door Vrisou van Eck, Vrouwenvelder en Kok [41]. Jonkman stelt in 2004 in zijn rapport [19] dat de modellering daarvan niet meer juist is, en de relatie met historische data verloren heeft. Dat blijkt ook wanneer hij de slachtofferfuncties toetst aan de historische data. Het zogenaamde gedetailleerde model van Waarts heeft veruit de laagste standaardafwijking, al worden vraagtekens gezet bij de analyse van de fit, wat betreft de stijgsnelheid. Waarts [43] geeft hier echter geen verder houvast.

De formule die in de eerste versies van de standaardmethode wordt gebruikt is dezelfde als hierboven vermeld.

3.2 Standaardmethode 2004

3.2.1 Geschiedenis

Om meer inzicht te krijgen in de gevolgen van een overstroming is door Rijkswaterstaat de afgelopen jaren een model ontwikkeld, waarmee de schade en hoeveelheid slachtoffers als gevolg van een overstroming kunnen worden berekend. Door dit model te gebruiken wordt meer inzicht

verkregen in de risico's, die een bepaald ontwerp (zoals bijvoorbeeld de huidige situatie) met zich mee brengt. Daarnaast kan zo'n model gebruikt worden voor het verbeteren van evacuatiestrategieën en eventueel als ontwerpmiddel gebruikt worden voor het minimaliseren van het aantal slachtoffers.

Het bestaande model is een toepassing van de Standaardmethode 2004 Schade en Slachtoffers. Deze Standaardmethode is een verbetering van de Standaardmethode 2002, uitgebreid met in de tussentijd opgedane kennis en inzichten.

Voor het berekenen van de hoeveelheid slachtoffers zijn in de loop der jaren meerdere functies afgeleid. Een overzicht daarvan is te vinden in paragraaf 3.1.

In deze paragraaf wordt de afleiding van de Standaardmethode 2004 besproken.

Database met rampen

In Jonkman 2004 [19] is eerst een analyse gemaakt van de beschikbare slachtofferdata. In de OFDA / CRED International Disaster Database zijn van vele rampen data over mortaliteit verzameld. Hierin worden meerdere typen vermeld en karakteristieken van die typen vergeleken. Zo zijn er grote verschillen in voorspelbaarheid van bijvoorbeeld *flash floods* (veroorzaakt door hevige regenval) en rivieroverstromingen (goed voorspelbaar).

Dosis-respons-relaties / Slachtofferfuncties

In de afleiding van de methode voor de bepaling van het aantal slachtoffers [dww-2004-042] wordt gebruik gemaakt van dosis-respons-relaties. In dit geval worden daarmee respectievelijk de fysische effecten en de slachtofferfractie bedoeld.

Slachtofferfractie en *People-Exposed*

De slachtofferfractie wordt in dit geval gedefinieerd als de verhouding tussen het aantal (dodelijke) slachtoffers en het aantal aan de overstroming blootgestelde personen, ook wel omschreven als *People-Exposed* (N_{pep}). Voor het berekenen van schade en slachtoffers zijn functies afgeleid, die de relatie tussen enerzijds waterstand, stroomsnelheid en stijgsnelheid en anderzijds de slachtofferfractie beschrijven.

Alleen Watersnoodramp 1953 bruikbaar

Na bestudering van beschikbare data blijkt dat alleen van de Watersnoodramp in 1953 de kenmerken van de stroming gerelateerd kunnen worden aan het aantal slachtoffers per locatie en derhalve de enige bruikbare informatie is.

3.2.2 Begrippen

Enkele veel gebruikte begrippen in dit rapport zijn weergegeven in Tabel 3.1.

Begrip	Definitie	Bepaald door:
Inwoners	Aantal inwoners van het overstromde gebied ²	
Evacuatie	verplaatsing van personen uit een door overstroming bedreigd gebied	
Geëvacueerden	Het aantal personen dat uit het overstromde gebied geëvacueerd is voor aanvang van de overstroming ³	
Aanwezigen	personen aanwezig in het overstromde gebied ten tijde van de overstroming	Inwoners - geëvacueerden
Blootgestelden	Aantal aanwezigen met daarvan afgetrokken het aantal personen aanwezig in hoogbouw ⁴	inwoners - geëvacueerden - aantal personen aanwezig in hoogbouw
Mortaliteit	Maat voor de sterfte ten gevolge van de overstroming. Het aantal slachtoffers gedeeld door het aantal getroffen personen	Slachtoffers / Blootgestelden
Slachtoffers	Het aantal dodelijke (menselijke) slachtoffers ten gevolge van de beschouwde overstroming	Mortaliteit * Blootgestelden
Slachtofferfunctie	functie die mortaliteit relateert aan de optredende overstromingskenmerken	

Tabel 3.1: Veel gebruikte begrippen (Uit: Inschatting slachtoffers dkr. 7, 14 en 36, 2006)

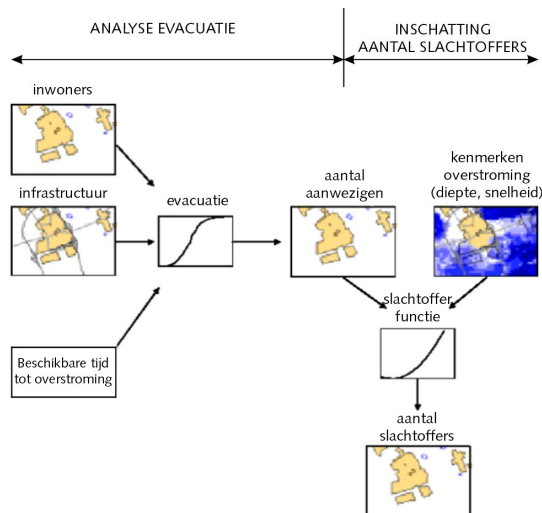
3.2.3 Huidige opzet

De methode is ontwikkeld door Rijkswaterstaat om tot een algemene methode te komen ter bepaling van de schade en het aantal slachtoffers bij een overstroming. Dit is gebeurd in het kader van de studie "Schade en Slachtoffers". Deze methode beslaat alle stappen die gemaakt dienen te worden om te komen tot de inschatting. Dit behelst ook de keuze voor overstromingsscenario's.

² Er is geen rekening gehouden met personen die tijdelijk in het gebied aanwezig of afwezig zijn voor bijvoorbeeld werk of recreatie. Dit lijkt een redelijke aanname voor grotere gebieden.

³ Er is geen rekening gehouden met personen die uit het gebied vluchten na aanvang van de overstroming, of door het water, of door nog niet overstromde gebieden.

⁴ Er is geen rekening gehouden met personen die op andere manieren veilige schuilplaatsen binnen het overstromde gebied weten te bereiken.



Figuur 3.4: Aanpak voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming (op basis van [Asselman, 2003])

In Figuur 3.4 is schematisch weergegeven, wat de opzet is van de Standaardmethode 2004. De volgende stappen zijn hierin te onderscheiden:

1. Bepalen aantal inwoners en hun locatie.
2. Schematiseren infrastructuur.
3. Bepalen beschikbare tijd tot overstroming.
4. Informatie uit bovenstaande drie stappen leidt tot een gemodelleerd verloop van de evacuatie.
5. Uit het verloop van de evacuatie, in combinatie met de inwonerverdeling, volgt de verdeling van de aanwezigen in het gebied.
6. De kenmerken van de overstroming (waterdiepte, stijgsnelheid van het water) worden bepaald.
7. De kenmerken van de overstroming worden ingevuld in een zogenaamde slachtofferfunctie. De slachtofferfractie is het resultaat.
8. De slachtofferfractie wordt vermenigvuldigd met het aantal aanwezigen, waaruit het aantal slachtoffers volgt.

Ad. 1

In de huidige methode wordt de verdeling van de inwoners in het gebied bepaald aan de hand van postcodepunten welke bekend zijn uit een bestand van het CBS⁵. Dit bestand wordt omgezet naar een grid-bestand, waarna de inwoners per gridcell (van bijvoorbeeld 100x100m²) gelokaliseerd zijn.

Ad. 2-5.

Voor de huidige methode bestaat een zogenaamde Evacuatie Calculator. Hiermee kan een evacuatiefactor (=fractie van de bevolking, welke is geëvacueerd) opgegeven worden voor

⁵ Centraal Bureau voor de Statistiek

verschillende gebieden. Op basis van informatie over de infrastructuur en verdeling van de inwoners wordt gemodelleerd hoe de evacuatie zal verlopen, waaruit per gridcell een evacuatiefactor bekend is. Het resultaat is het aantal aanwezigen in het gebied.

De werking van deze PreProcessor is voor dit onderzoek niet van belang, aangezien hier geen gebruik van zal worden gemaakt. Aangenomen is dat tijdens de Watersnoodramp in 1953 geen evacuatie heeft plaatsgevonden.

Ad. 6-8

In de huidige methode is de slachtofferfractie afhankelijk van de stijgsnelheid van het water en de waterdiepte. Deze gegevens kunnen geschat worden, uit literatuur afkomstig zijn (voor historische gebeurtenissen) of uit een overstromingssimulatie volgen. Deze waarden kunnen uniform zijn voor het hele gebied, of per gridcell verschillen.

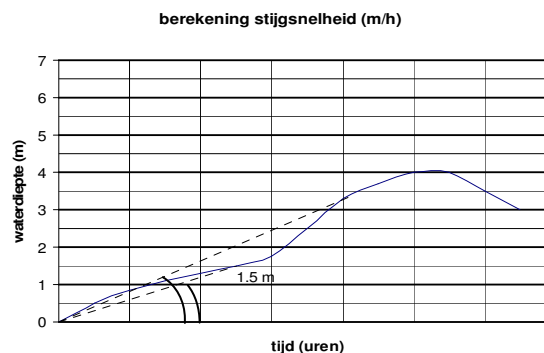
Wanneer deze informatie uit een overstromingssimulatie volgt, is daarvoor het programma Sobek gebruikt, waar een grid met bodemhoogte (afkomstig van het AHN⁶) en een grid met bodemruwheid worden ingevoerd. Met waterstandsgegevens en bressen wordt het overstromingsverloop berekend.

De uitkomst uit de slachtofferfunctie wordt vermenigvuldigd met het aantal inwoners (al dan niet ruimtelijk verdeeld), waarna het aantal slachtoffers berekend is.

De beschrijving van de gebruikte slachtofferfuncties in de Standaardmethode 2004 is toegevoegd in paragraaf 3.2.4.

Berekening van de stijgsnelheid

Voor de stijgsnelheid wordt de gemiddelde snelheid gebruikt waarmee het water over de eerste 1.5 meter stijgt. Hiervoor worden de tijdstippen, waarop het eerste water een gridcell bereikt en waarop de waterdiepte 1.5 meter is, bepaald. Deze hoogte gedeeld door het verschil in tijd levert de gemiddelde stijgsnelheid over 1.5 meter op. Vervolgens wordt gezocht naar een eventueel grotere gemiddelde stijgsnelheid over een diepte groter dan 1.5 meter. Schematisch is dit weergegeven in Figuur 3.5. In dit geval is de stijgsnelheid berekend over 1.5 meter waterdiepte niet de maximale stijgsnelheid uit de figuur.



Figuur 3.5: Schematische weergave stijgsnelheidsberekening

⁶ Actueel Hoogtebestand Nederland

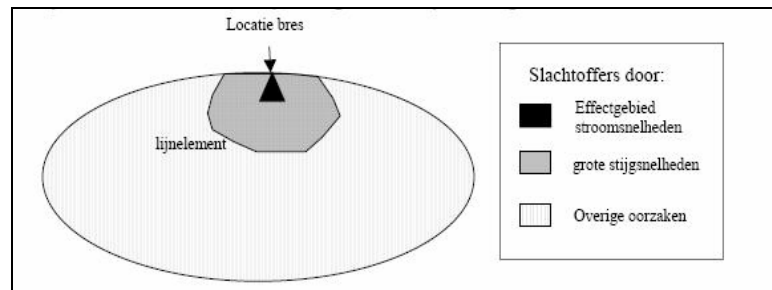
3.2.4 Functies

Onderscheid naar doodsoorzaak

In de lijst van (Jonkman 2004) is onderscheid gemaakt naar doodsoorzaak. Drie oorzaken worden onderscheiden:

- Stijgsnelheid van het water
- Stroomsnelheid van het water
- Overige oorzaken

In Figuur 3.6 is geschematiseerd waar deze gebieden globaal zich bevinden tijdens een overstroming.



Figuur 3.6: Zones met verschillende doodsoorzaken (uit: (Jonkman 2004))

Het model omvat 3 functies welke toepasbaar zijn op verschillende gebieden binnen het overstromde gebied:

Stroomsnelheid

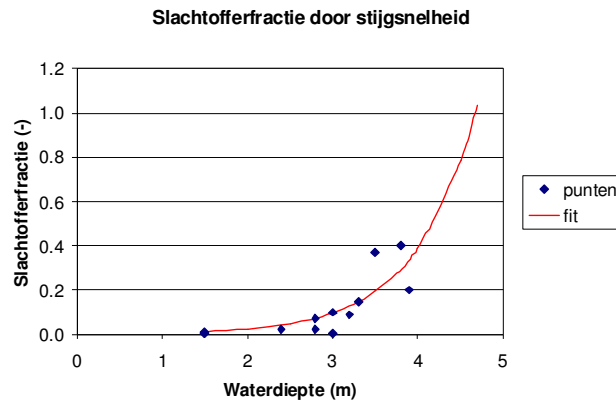
Voor het gebied dichtbij de bres waar $h \cdot v \geq 7 \text{ m}^2 / \text{s}$ en $v \geq 2 \text{ m} / \text{s}$:

$$f(h)_{\text{stroomsnelheid}} = 1$$

Stijgsnelheid

Voor het gebied waar $w > 0,5 \text{ m} / \text{u}$:

$$f(h)_{stijgsnelheid} = 1,45 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,39 \cdot h} \text{ en } f(h)_{stijgsnelheid} \leq 1 \quad (3.6)$$



Figuur 3.7: Gefitte lijn voor stijgsnelheid als doodsoorzaak (uit: (Jonkman 2004))

Deze lijn levert voor deze punten een som van correlatiecoëfficiënt van:

$$R^2 = 0,645$$

Zie Bijlage 3 voor een beschrijving van de berekening van de correlatiecoëfficiënt.

Fit met stijgsnelheid en waterdiepte

Een fit waar ook de stijgsnelheid wordt meegenomen, leidt volgens Jonkman niet tot een beter resultaat.

Wanneer dit gereproduceerd wordt, wordt een R^2 van 0,651 gevonden, wat wel degelijk een beter resultaat lijkt, maar een negatieve relatie met de stijgsnelheid oplevert. De functie die gevonden wordt is:

$$f(h)_{w,h} = 8,51 \cdot 10^{-6} \cdot e^{2,95 \cdot h} \cdot e^{-0,07 \cdot w} \text{ en } f(h)_{stijgsnelheid} \leq 1 \quad (3.7)$$

Naast dat de toename miniem is voor het toevoegen van een variabele, wordt voor de stijgsnelheid een negatieve relatie gevonden, wat een onverwacht resultaat is, aangezien vermoed wordt dat een hogere stijgsnelheid tot meer slachtoffers zal leiden.

Overige oorzaken

Voor de rest van het overstroomde gebied:

$$f(h)_{overige} = 1,34 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,59 \cdot h} \text{ en } f(h)_{overige} \leq 1 \quad (3.8)$$

Deze functie fit de geselecteerde punten matig met $R^2 = 0,11$.

3.3 Overige functies

Internationaal is er in het verleden ook onderzoek verricht naar modellen die aantallen slachtoffers moesten kunnen voorspellen. Zo zijn er voor damdoorbraken meerderen ontwikkeld,

waarin de parameters de omvang van de bevolking en evacuatie tijd zijn. Deze formules vertonen echter grote discontinuïteiten, wanneer de aantallen personen afwijken.

In Japan zijn formules ontwikkeld, die afhankelijk zijn van de golfhoogte van een tsunami. Voor verschillende tyfoons zijn formules afgeleid, die afhankelijk zijn van de gemiddelde overstromingsdiepte. Deze verschillen soms echter een factor dertig waardoor logischerwijs aangenomen moet worden dat er andere factoren meespelen. In Japan wordt er ook numeriek gemodelleerd, waarin de instabiliteit en het evacueren van mensen wordt meegenomen in de berekening.

3.4 Instorten van gebouwen

In (Asselman 2005) zijn verschillende relaties afgeleid voor verschillende typen bebouwing.

Hier worden vier typen belasting onderzocht:

- Hydrostatische druk door waterstandsverschillen
- Hydrodynamische druk door stroomsnelheid
- Golfbelasting
- Belasting door botsingen met drijvend afval

Aan de hand van schadekrommen afgeleid in (Roos 2003) worden relaties gevonden tussen het instorten van gebouwen en het overlijden van mensen, voor gebieden waar wel en waar niet van tevoren is gewaarschuwd.

Voor locaties waar niet gewaarschuwd is, wordt deze verhouding benaderd door de formule:

$$P_{slachtoffers} = 0.44 \cdot P_{instorten} + 0.0026 \quad (3.9)$$

P = fractie

Met een hypothetische relatie tussen waterdiepte en het instorten van gebouwen van:

$$P_{instorten} = 0.01e^{2.2 \cdot h} \quad (3.10)$$

waarin $P_{instorten}$ is de fractie ingestorte huizen en h de waterdiepte in meters, wordt de fractie slachtoffers ten gevolge van het instorten van gebouwen:

$$P_{slachtoffers} = 0.44 \cdot (0.01e^{2.2 \cdot h}) + 0.0026 \quad (3.11)$$

Voor sterke gebouwen zal de factor in de exponent hoger worden, bij minder sterke neemt de factor af. In beide gevallen zal de verhouding van 0.44 gelijk blijven.

4 WATERSNOODRAMP 1953

In dit hoofdstuk wordt de huidige methode geanalyseerd. Voor het berekenen van het verwachte aantal slachtoffers zijn verschillende typen informatie nodig. Dit wordt in de computer bij elkaar gevoegd, waarna een speciaal ontwikkeld programma (HIS-SSM) deze informatie combineert en een schatting maakt van het verwachte aantal slachtoffers. Dit programma is een toepassing van de Standaardmethode, zoals beschreven in paragraaf 3.2.

Bekeken wordt, waar deze data vandaan komt en hoe deze wordt ingevoerd in het programma. Hieruit zullen de verschillen met de observaties ten tijde van de Watersnoodramp in 1953 naar voren komen. Gezocht zal worden naar de oorzaken van deze verschillen.

4.1 Inleiding

Bronnen: ooggetuigen en schematisaties

Met betrekking tot de Watersnoodramp in 1953 zijn er verschillende bronnen van gegevens, die gebruikt kunnen worden om deze gebeurtenis te analyseren en te gebruiken om het model voor inschatting van het aantal slachtoffers te verbeteren. Voor de afleiding van de huidige functies is gebruik gemaakt van informatie die onttrokken is uit de ramp zelf, door verslagen van ooggetuigen te bestuderen. Daarnaast zijn er overstromingssimulaties gemaakt in een computerprogramma, dat ontworpen is om overstromingen na te bootsen. Deze overstromingssimulaties zijn gecalibreerd aan de hand van de informatie uit ooggetuigenverslagen. De voornaamste punten van calibratie zijn waterdiepte en tijd van ontstaan van bressen. Andere variabelen, zoals w (stijgsnelheid) en v (stroomsnelheid) zijn moeilijker te calibreren.

In dit hoofdstuk worden de verschillende bronnen van gegevens, die relevant lijken voor de berekening van het aantal slachtoffers, naast elkaar gezet en in de laatste paragraaf met elkaar vergeleken. Het doel van deze vergelijking is:

1. Het vergelijken van gegevensbronnen.
2. Het elimineren van onjuiste data en eventueel aanvullen van de database met overstromingsgegevens, die gebruikt is voor de afleiding van de functies voor de Standaardmethode 2004 (zie hoofdstuk 3).
3. Nagaan in hoeverre de overstromingssimulatie te gebruiken is om het aantal slachtoffers tijdens de Watersnoodramp in 1953 te voorspellen.

4.2 Geobserveerde data

4.2.1 Slachtoffers en stroomgegevens

In 1989 heeft Duiser data verzameld aan de hand van gedenkboeken en een eerste inventarisatie gedaan wat betreft de aantallen slachtoffers. Hij heeft deze gegevens in een database gezet naast stroomgegevens en inwoneraantallen. Het betrof 21 locaties.

Waarts heeft vervolgens in 1992 deze lijst verbeterd en het aantal locaties uitgebreid tot 64. Ook heeft hij geprobeerd de oorzaak van overlijden in de lijst op te nemen. Deze lijst is in 1999 door HKV aangepast. Rekenfouten zijn eruit gehaald, en de naamgeving van locaties is veranderd.

Vervolgens zijn deze gegevens van Waarts en Duiser in 2004 gebruikt door (Jonkman 2004) [19] om zijn slachtofferfuncties af te leiden.

Met de herdenking van de Watersnoodramp in 2003 is een lijst met slachtoffers per gemeente opgesteld. Door Jonkman is deze lijst vervolgens in 2005 vergeleken met de (door HKV gecorrigeerde) lijst van Waarts. Per locatie zijn de resultaten vergeleken, waarbij de volgende uitgangspunten zijn aangehouden:

- Waar slachtofferaantallen verschillen, worden de officiële aantallen van Delta2003 overgenomen.
- De lijst van Waarts is de basis voor de overstromingskenmerken.
- Locaties die wel bestaan in de lijst van Delta2003 (herdenkingsjaar) worden toegevoegd aan Waarts.

Zo is er een database ontstaan met 91 locaties. De verschillen tussen de aantallen slachtoffers in de verschillende sets kunnen waarschijnlijk verklaard worden doordat in de Delta2003-lijst de slachtoffers die na afloop van de overstroming zijn overleden, niet opgenomen zijn. Dit is van de lijst van Waarts niet bekend.

Bron	Aantal locaties	Totaal aantal slachtoffers	Gerapporteerde variabelen
Duiser, 1989	21	1241 - 1271	Slachtoffers, inwoners, waterdiepte, stijgsnelheid
Waarts, 1992	64	1726	Slachtoffers, Slachtoffers naar oorzaak, inwoners, waterdiepte, stijgsnelheid, overstromingsduur, polder oppervlak
HKV, 1999	63	1726	Zelfde als Waarts
Delta 2003	71	1795	Vermisten, aantal geborgen slachtoffers, totaal aantal slachtoffers
Jonkman	91	1795	Zelfde als Waarts

Tabel 4.1: Overzicht verschillende bronnen slachtoffergegevens

Aanpassing lijst Jonkman

Op sommige punten is de lijst van Delta2003 gedetailleerder dan het resultaat van de samenvoeging. Zo is voor de locatie Terneuzen gekozen, met 3 slachtoffers, terwijl de slachtoffers in de lijst van Delta2003 gevallen zijn in Hoek, Vogelwaard en Zaamslag. Op dat punt is de lijst van (Jonkman 2004) aangepast met de extra Delta2003 gegevens. De totale lijst is toegevoegd aan dit rapport in Bijlage 4.1.

Waterdiepte in lijst Jonkman

De waterdieptes die in de lijst van Jonkman zijn aangegeven, zijn afkomstig uit de lijst van Waarts. Waarts heeft deze waterdieptes voor het grootste gedeelte bepaald uit een waterniveau (afkomstig van Rijkswaterstaat 1961) minus een bodemhoogte, welke afkomstig is uit een atlas. Van sommige polders wordt in (Rijkswaterstaat 1961) niet vermeld wat het waterniveau is geweest. Waarschijnlijk komt deze informatie uit andere bronnen, zoals ooggetuigeverslagen, al is niet duidelijk welke precies.

4.2.2 Aantal aan de overstroming blootgestelde personen

De slachtofferfractie is in dit rapport gedefinieerd als de verhouding tussen het aantal slachtoffers en het aantal aan de overstroming blootgestelde personen.

Hierdoor is voor de afleiding van de slachtofferfracties naast de hoeveelheid slachtoffers ook de hoeveelheid blootgestelde personen benodigd. (Jonkman 2004) gebruikt hiervoor als basis de dataset die door Duiser en Waarts is samengesteld.

Deze database is niet compleet. Van een zestiental locaties is niet bekend, of niet bepaald wat het aantal blootgestelde mensen is.

Locaties Blootgestelden

De locaties met blootgestelde personen zijn in de lijst van (Jonkman 2004) globaal gegroepeerd per gemeente. Bij sommige gemeenten is onderscheid gemaakt tussen dorpskern en buitengebied, om locaties met verschillende stroomeigenschappen tijdens de overstroming te scheiden. Zo zouden representatieve stroomeigenschappen (zoals: waterdiepte, stijgsnelheid) geselecteerd kunnen worden per locatie en deze gerelateerd worden aan het aantal gevallen slachtoffers. Op basis van deze scheiding is ook de berekening van het aantal aan de overstroming blootgestelde personen vastgesteld.

Bij de berekening van het aantal blootgestelden in (Jonkman 2004) is de aanname gedaan, dat de eilanden in 1953 zo overstroomd zijn, dat wanneer een gemeente is getroffen dat deze (bij benadering) ook helemaal onder water is komen te staan. In plaats van het aantal mensen dat blootgesteld wordt aan de overstroming, wordt daar het aantal mensen berekend, dat in een gemeente woont, waar slachtoffers zijn gevallen. Dit levert voor enkele gemeenten grote verschillen in uitkomst (en dus in slachtofferfractie) op.

De gemeenten Nieuwerkerk en Ouwerkerk waren gescheiden naar dorpskern en buitengebied. Aangezien het niet duidelijk is, waar de slachtoffers zijn gevallen en het aantal blootgestelde personen zal wijzigen, zullen ook de slachtofferfracties wijzigen ten opzichte van de lijst Jonkman. Om nauwkeurig de slachtofferfracties te bepalen voor deze gemeenten, zullen de dorpskern en buitengebied voor deze beide gemeenten moeten worden samengevoegd.

4.2.3 Slachtofferfracties

Het aantal slachtoffers per gemeente is nauwkeurig gedocumenteerd. Samen met het aantal blootgestelden per gemeente resulteert dit in een slachtofferfractie. Bij wijziging van het aantal blootgestelden, bijvoorbeeld door een andere berekeningswijze, zal ook de slachtofferfractie wijzigen.

4.2.4 Instorten bebouwing

Verscheidene onderzoeken laten zien dat er een sterke relatie is tussen het instorten van gebouwen en de slachtofferfractie. De gegevens uit de lijst van Waarts geven een vergelijkbaar beeld. Daar waar veel van de bebouwing is ingestort, is de slachtofferfractie ook groot. Fysisch kan dit verklaard worden doordat mensen veelal gebouwen in gevlucht zijn, waardoor ze in de val zitten wanneer het gebouw instort.

4.2.5 Waarschuwingstijd

Uit herdenkingsboeken en ooggetuigenverslagen kan informatie onttrokken worden omtrent het waarschuwen van inwoners in een bepaald gebied. Zo is van (Slager, 1992) kwalitatief af te leiden in welke dorpen een waarschuwing is af te geven. Tijdsaanduidingen zijn hier en daar ook gegeven.

4.3 Overstromingssimulaties

Overstromingssimulaties zijn uitgevoerd met behulp van een computerprogramma dat 2D overstromingen berekent, en gecalibreerd aan de hand van observaties uit 1953. De hypothese is, dat deze gegevens representatief zijn voor de situatie in 1953.

De overstromingssimulaties zijn gemaakt aan de hand van informatie van Delta2003, ooggetuigenverslagen en (Rijkswaterstaat, 1961). De oorsprong van de verschillende simulaties is opgenomen in Tabel 4.2.

Gebied	Bedrijf	Gemaakt door
Schouwen-Duiveland	WL Delft Hydraulics	N. Asselman
Goeree-Overflakkee	HKV <small>lijn in water</small>	K. Wouters
Tholen + St. Philipsland	WL Delft Hydraulics	N. Asselman
Zuid-Beveland West	WL Delft Hydraulics	K. Stone
Kruiningen	WL Delft Hydraulics	N. Asselman
Zeeuws Vlaanderen	WL Delft Hydraulics	N. Asselman

Tabel 4.2: Oorsprong overstromingssimulaties

In (Rijkswaterstaat 1961) zijn de locaties van bressen en dijkbeschadigingen verzameld. In het kader van de herdenking van de Watersnoodramp in 1953 (Delta2003) is van de grootste bressen ongeveer het tijdstip van ontstaan achterhaald (wat niet vermeld is in (Rijkswaterstaat 1961)). In Figuur 4.1 worden de locaties van de dijken weergegeven. Deze informatie, naast kaarten waarop is aangegeven welke gebieden zijn overstroomd, is gebruikt voor het maken van de overstromingssimulaties.



Figuur 4.1: Nummers doorbraken dijken (www.delta2003.nl)

4.3.1 Gesimuleerde stroomgegevens

Vanuit de overstromingssimulatie is van iedere gridcel het overstromingsverloop in de tijd bekend. Vanuit dit overstromingsverloop kunnen verscheidene eigenschappen berekend worden, zoals de tijd dat het water nodig heeft om een bepaalde locatie te bereiken, de stijgsnelheid (zie ook paragraaf 3.2.3), maximale waterdiepte en stroomsnelheid.

Om deze gegevens te gebruiken moeten de waarden voor iedere gridcell in een gemeente omgerekend worden naar een representatieve waarde per gemeente. Voor iedere gemeente zijn twee waarden geselecteerd die representatief kunnen worden gesteld, een gemiddelde en een maximale waarde.

Berekening maximale waarde per gemeente

In eerste instantie zal per gemeente de maximale waarde geselecteerd worden. Dit is gedaan door van alle postcodepunten te achterhalen wat de maximale waarde van een eigenschap (bijvoorbeeld waterdiepte) in de betreffende gridcell is. Van alle maximale waarden per postcodepunt wordt per gemeente de grootste gekozen.

Berekening gemiddelde waarde per gemeente

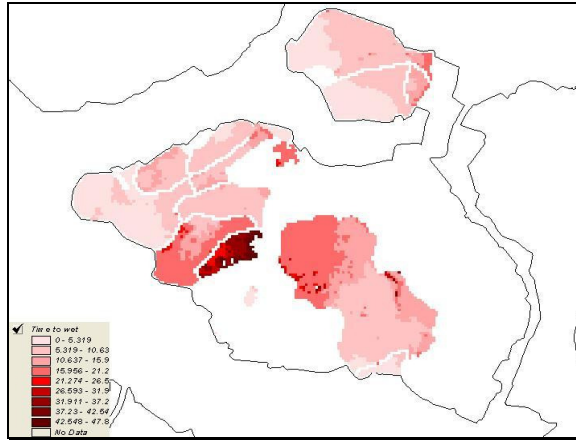
Van alle gemeenten wordt voor alle postcodepunten de maximale waarde van bijvoorbeeld de waterdiepte geselecteerd. Deze wordt vermenigvuldigd met het aantal inwoners in dat postcodepunt. Vervolgens worden per gemeente van alle postcodepunten deze waarden bij elkaar opgeteld en gedeeld door het totaal aantal inwoners in de betreffende postcodepunten. Wat resulteert is de gemiddelde maximale waarde per inwoner.

Voor beide berekeningen geldt dat alleen de postcodepunten gebruikt worden die een waarde hebben voor die eigenschap. Zo gebeurt het dus dat voor de stijgsnelheid minder postcodepunten gebruikt worden dan voor de waterdiepte, aangezien een postcodepunt pas een waarde voor de stijgsnelheid heeft, als de waterdiepte groter is dan of gelijk is aan 1.5 m.

In paragraaf 4.4.4.4 wordt de keuze gemaakt voor een van beide waarden, op basis van de grootste correlatie met observaties.

4.3.1.1 Time-to-wet

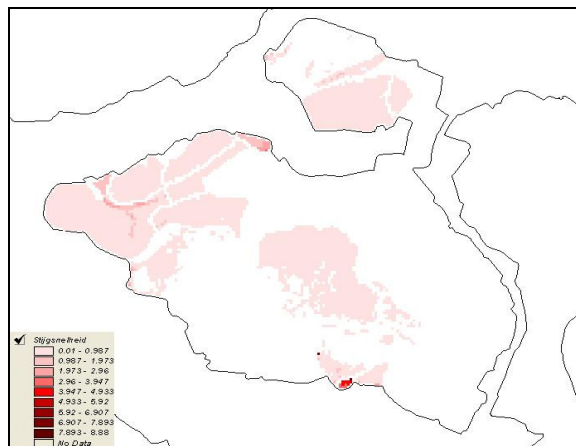
Uit de overstromingssimulatie zijn verscheidene typen informatie onttrokken. Om de Standaardmethode uit te voeren, zijn stijgsnelheden en waterdieptes nodig (zie paragraaf 3.2). Daarnaast is uit de overstromingssimulatie ook de tijd te berekenen, die het water nodig heeft om een bepaalde plaats op de kaart te bereiken. Deze eigenschap wordt aangeduid als de *time-to-wet* (aankomsttijd van het water), uitgedrukt in uren na het begin van de simulatie. Voor een uniforme waarde dient hiervan dus een tijd, vanaf het begin van de simulatie tot een representatieve gebeurtenis (zoals het ontstaan van de eerste bres), te worden afgetrokken.



Figuur 4.2: Voorbeeld Time-to-wet GIS afbeelding voor Tholen

In dit voorbeeld (Figuur 4.2) is te zien hoe de time-to-wet variabele is verdeeld over de ruimte op Tholen. Hoe donkerder de kleur rood, hoe langer het geduurd heeft tot het water die locatie bereikt heeft. Dit is mede afhankelijk van compartimentering.

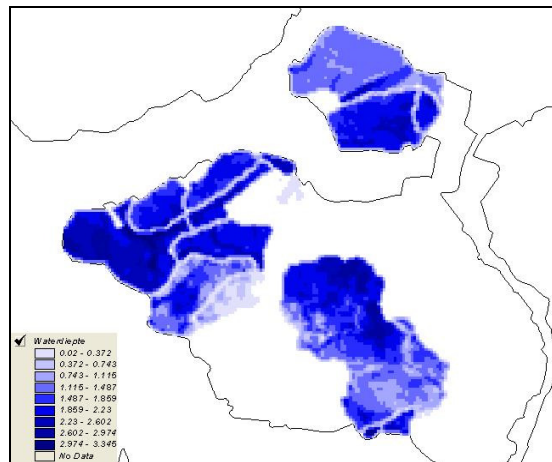
4.3.1.2 Stijgsnelheden



Figuur 4.3: Voorbeeld stijgsnelheid GIS afbeelding voor Tholen

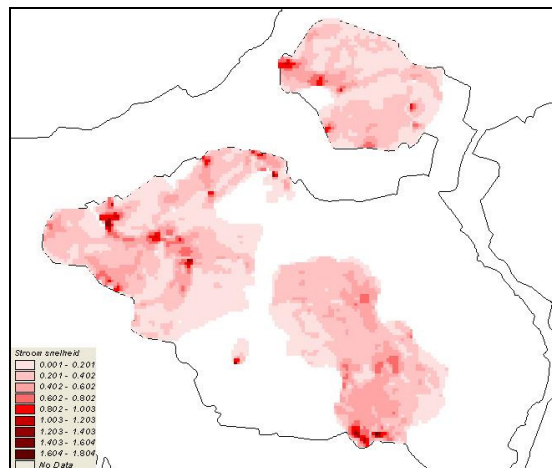
In Figuur 4.3 is een voorbeeld van de ruimtelijke verdeling van de stijgsnelheid op Tholen gegeven. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de stijgsnelheid in dit geval berekend is over een diepte van minimaal 1.5 meter, waardoor gebieden waar deze diepte niet bereikt is, geen waarde voor de stijgsnelheid hebben toegewezen gekregen.

Daarnaast geldt hier dat, hoe donkerder de kleur hoe hoger de stijgsnelheid, gemeten in m/h, is geweest. Te zien is, dat dit vooral optreedt nabij een bres, of in lager gelegen delen van een polder.

4.3.1.3 Waterdiepte

Figuur 4.4: Voorbeeld waterdiepte GIS afbeelding

In Figuur 4.4 is de ruimtelijke verdeling van de maximale waterdiepte op Tholen te zien. Een donkere kleur stelt een grote diepte voor.

4.3.1.4 Stroomsnelheid

Figuur 4.5: Voorbeeld stroomsnelheid GIS afbeelding

Een zelfde voorbeeld is toegevoegd voor de stroomsnelheid in Figuur 4.5. Hierin zijn in de donkere plekken stroomgeulen en locaties nabij bressen te herkennen. Wat ook opvalt is dat in 1953 op Tholen volgens de simulatie geen stroomsnelheden groter dan 1.8 m/s zijn voorgekomen.

(N.B. slachtoffers vallen als gevolg van stroomsnelheid volgens de Standaardmethode wanneer $h \cdot v \geq 7$ en $v \geq 2$ m/s.)

4.3.2 Aantal aan de overstroming blootgestelde personen

Overstroomde gemeenten zonder slachtoffers

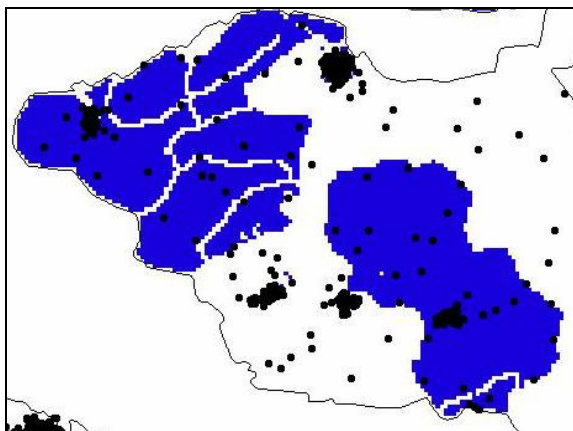
Door het combineren van inwonergegevens uit 1953 met gegevens over welke gebieden zijn overstroomd is een nieuwe lijst van getroffen mensen per gemeente bekend. Hier zijn ook gemeenten bij, waar geen slachtoffers zijn gevallen, maar waar wel water is terechtgekomen, als gevolg van de dijkdoorbraken. Deze gemeenten worden opgenomen in de nieuwe lijst van getroffen gemeenten, al is de slachtofferfractie dan 0.

Een aantal gemeenten is samengevoegd doordat van bepaalde gemeenten slechts een klein aantal postcodepunten is getroffen, terwijl dit aantal in dezelfde dijkkring lag als een andere gemeente. Omdat het hier een homogeen gebied betreft en voor de gemeente met een klein aantal getroffen postcodepunten geen slachtoffers zijn gegeven in de lijst Waarts, is de aanname gedaan dat deze in de lijst met slachtoffers bij elkaar horen.

Postcodepunten

Vanuit de overstromingssimulaties is het aantal blootgesteld berekend zoals deze gedefinieerd is: het aantal mensen dat blootgesteld is aan de overstroming. Met een GIS-programma is te berekenen welke postcodepunten een waterdiepte groter dan 0 hebben gehad. De inwoners van deze postcodepunten zijn gegroepeerd per gemeente bij elkaar opgeteld. Hierbij moet opgemerkt worden dat deze methode niet 100% nauwkeurig is. Van sommige postcodes is het mogelijk dat het postcodepunt wel in het overstroomde gebied ligt, maar een gedeelte van de postcode niet. Daarnaast zijn er zeer waarschijnlijk ook postcodes, waarvan het postcodepunt niet in het overstroomde gebied ligt, maar een aantal van de woningen wel. Aangenomen is dat, doordat deze elkaar uitmiddelen, het aantal getroffen personen op deze manier goed benaderd wordt.

In Figuur 4.6 zijn de postcodepunten (zwarte punten) en het overstroomd gebied (blauwe vlakken) te zien. De postcodepunten zijn een indicatie voor inwoneraantallen. Globaal kan gezegd worden dat een locatie met meer postcodepunten, meer inwoners bevat, ook al bevinden zich in de ene postcode meer inwoners dan in de andere. (N.B. in slachtofferberekeningen is gerekend met inwoneraantallen en niet met aantal postcodepunten). In dit voorbeeld is het totaal aantal inwoners op Tholen 15650 en zijn 5504 personen getroffen door de overstroming.



Figuur 4.6: Postcodepunten en overstroomd gebied, Tholen

Berekening aantal inwoners

Inwonergegevens zijn niet bekend voor 1953. Daarom is gewerkt met een benadering.

De postcodepunten zijn bepaald aan de hand van een CBS bestand uit 1959, waarin het aantal woningen per postcode is vermeld. Dit is gecombineerd met een bestand met aantallen inwoners

per gemeente. Door een gemiddeld aantal inwoners per woning in 1953 te berekenen, is een benadering van het aantal inwoners per postcode verkregen.

Zo is het aantal inwoners per gemeente gelijk aan dat van 1953 en is de verdeling van de inwoners benaderd met behulp van gegevens uit 1959.

4.3.3 Berekening aantal slachtoffers

Met behulp van het programma HIS-SSM is berekend hoeveel slachtoffers er zouden zijn gevallen volgens de huidige berekenmethode. Hiervoor zijn de stroomgegevens uit paragraaf 4.3.1 gebruikt. Hier is een onderscheid gemaakt tussen (in de meeste gevallen) dezelfde locaties als bij de geobserveerde data, wat een vergelijking gemakkelijker maakt.

Duivendijke en Brouwershaven zijn samengevoegd, omdat in 1953 Duivendijke behoorde tot Brouwershaven. Daarnaast wordt nergens in de gebruikte literatuur melding gemaakt van het dorp Duivendijke. Hierom wordt aangenomen dat een aantal slachtoffers dat eventueel in Duivendijke is gevallen, bij het aantal van Brouwershaven is gerekend.

Het totaal berekende aantal slachtoffers komt neer op 1705. Dit betreft het aantal slachtoffers in de gebieden, waar overstromings simulaties van gemaakt zijn, namelijk de eilanden:

- Goeree-Overflakkee
- Schouwen-Duiveland
- Zuid-Beveland (met uitzondering van Walcheren)
- Zeeuws Vlaanderen
- Tholen en Sint Philipsland

Noord-Beveland, Brabant en Zuid-Holland (met uitzondering van Goeree-Overflakkee) zijn in deze berekening buiten beschouwing gelaten.

De totale lijst met berekende aantallen slachtoffers per dorp is toegevoegd in Bijlage 4.2. Hierbij is de aanname gedaan dat er geen evacuatie is opgetreden.

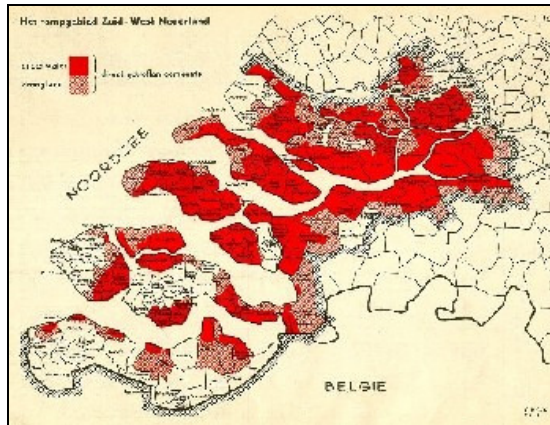
4.4 Vergelijking overstromingssimulaties en observaties

4.4.1 Overstroomd gebied

Om te controleren of de simulaties, die gemaakt zijn door Asselman, Wouters en Stone, te gebruiken zijn voor analyses betreffende de Watersnoodramp, moet worden gecontroleerd of ze in bepaalde mate overeenkomen met de werkelijkheid. Van de Watersnoodramp zijn verschillende kaarten beschikbaar, waarop is aangegeven welke gebieden zijn overstroomd. Deze kaarten komen van het boek 'De Ramp' (Slager 1992), fotoboek 'De Ramp' uit 1953, project Delta2003 en het CBS.

CBS kaart: het rampgebied Zuidwest Nederland

De oudst bekende kaart, waarop is aangegeven welke gebieden zijn overstroomd, is een kaart van het CBS van 7 februari 1953. Deze is dus binnen een week na de ramp gemaakt en daardoor lijkt deze minder betrouwbaar, aangezien nog niet alle data verzameld was. Nadeel van deze kaart is dat de nauwkeurigheid niet groot is. De precieze manier waarop deze is gemaakt is niet te achterhalen, maar het lijkt alsof de overstroomde gebieden visueel geschat en vervolgens ingetekend zijn. In Figuur 4.7 is deze kaart ingevoegd.



Figuur 4.7: CBS kaart 39.53 07-02-1953

Bijlage bij het boek 'De Ramp' van Kees Slager

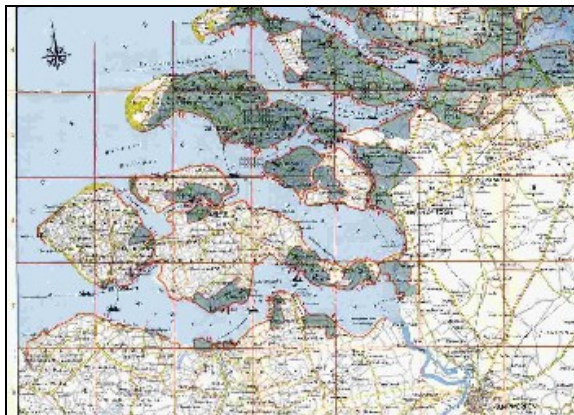
Deze bijlage is een reproductie van een kaart van het Rampgebied, waarop de overstroomde gebieden zijn aangegeven en was een bijlage bij het boek 'De Ramp' (1992). De originele kaart, waar deze een reproductie van is, is niet gevonden. In Figuur 4.8 is een verkleinde weergave van deze kaart geplaatst.



Figuur 4.8: Kaart: bijlage bij het boek 'De Ramp' van Kees Slager

Bijlage bij fotoboek 'de Ramp'

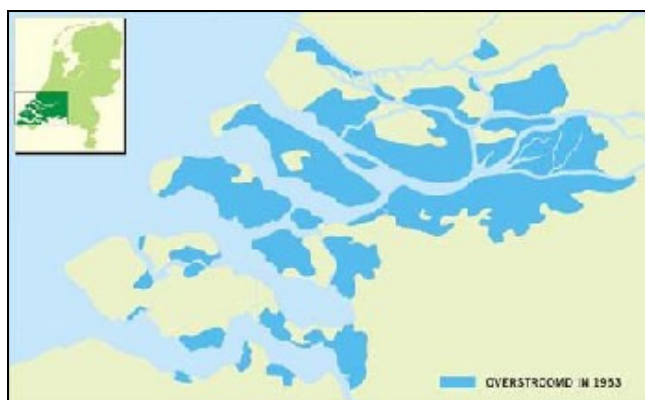
In Figuur 4.9 is een kaart te zien die reeds is gemaakt in 1953 en als bijlage was toegevoegd bij een fotoverslag van de watersnoodramp: De Ramp, nationale uitgave ten behoeve van hulp aan de getroffen en van de Ramp, februari 1953.



Figuur 4.9: Bijlage bij fotoboek 'De Ramp'

Delta2003

Vervolgens is er nog een tekening gevonden op internet. Ondanks dat de informatie hierin zeer waarschijnlijk uit een van bovenstaande kaarten is gehaald, is deze tekening toch toegevoegd in dit rapport, als Figuur 4.10.



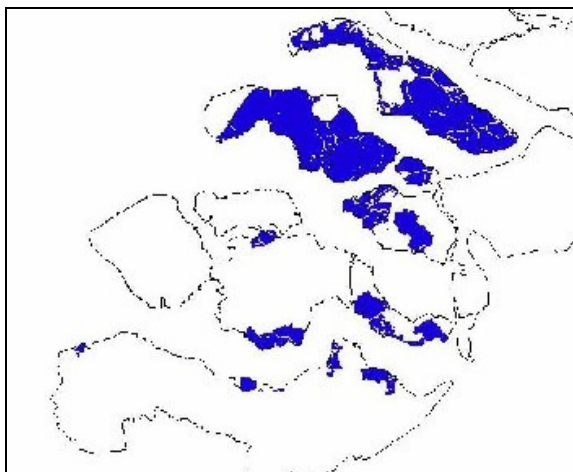
Figuur 4.10: Tekening overstroomde gebieden

Simulaties

Van de overstromingssimulaties zijn de gebieden gekleurd, waar de waterstand boven de drempelwaarden van 0.02 m is gekomen. Als deze uitvoer veel met de historische kaarten verschilt, is dat een aanwijzing dat de simulaties niet overeenkomen met de werkelijkheid. Een overzicht van alle simulatie-uitvoer is te zien in Figuur 4.11. Hierbij dient opgemerkt te worden dat in deze kaart alleen de waterstanden zijn ingevoerd van de volgende gebieden:

- Goeree-Overflakkee
- Schouwen-Duiveland
- Tholen
- Sint Philipsland
- Zuid-Beveland (met uitzondering van Walcheren)
- Zeeuws Vlaanderen

Brabant, Zuid-Holland (met uitzondering van Goeree-Overflakkee), Walcheren en Noord-Beveland zijn niet met behulp van de computer gesimuleerd.



Figuur 4.11: Overzicht overstromde gebieden uit simulaties

Visuele vergelijking

In eerste instantie zijn de kaarten (na schaling) over elkaar heen gelegd en visueel vergeleken.

Naar voren is gekomen, dat vooral de bijlage van het boek 'De Ramp' erg goed past met de overstromde oppervlakken in de overstromingssimulaties.

Digitale vergelijking

Bovenstaande kaarten zijn ook met elkaar vergeleken met behulp van een GIS-programma. Aangezien er geen digitale geografische informatie in deze kaarten aanwezig was, zijn ze handmatig geïntegreerd in het GIS-programma. Vervolgens zijn de kaarten en simulaties digitaal met elkaar vergeleken. De gebieden die overstromd zijn, hebben in elke kaart een aparte kleur. Met behulp van hetzelfde GIS-programma zijn de kleuren gescheiden en overstromde gebieden geselecteerd. In onderstaande tabel is te zien hoeveel procent de gebieden van de simulatie afwijken ten opzichte van elke kaart.

De laatste kolom bevat de oppervlakte van de overlappende gebieden / de oppervlakte van het overstromde gebied uit de overstromingssimulatie * 100%.

De CBS kaart '53 heeft absoluut de grootste overlap met de oppervlakte uit de overstromingssimulatie, maar dit wordt veroorzaakt door het feit dat het overstromde oppervlak in de kaart veel groter is dan in de overstromingssimulatie.

De Bijlage bij 'De Ramp' (Slager, 1992) komt absoluut qua grootte van overstromd gebied het meest overeen met de overstromingssimulatie, en heeft ook een grote overlap.

Deze kaart is ook het betrouwbaarst qua afkomst, aangezien deze gemaakt is op het moment dat de meeste informatie over de overstroming bekend was. In 1953 (CBS kaart '53) was dat nog niet het geval, en de tekening is waarschijnlijk alleen illustratief bedoeld.

De percentages moeten niet absoluut opgevat worden. Deze worden voor een groot deel veroorzaakt door kleine schaal- en rotatieverschillen.

Op basis van deze informatie wordt gesteld dat de overstromingssimulatie het overstromde gebied goed simuleert.

	overstroomde oppervlakte (m ²)	overlap met simulatie (m ²)	overlap simulatie / kaart (%)
Bijlage 'De Ramp'			
Figuur 4.8	465,068,646	404,055,427	86.9
Reproductie 'De Ramp'			
Figuur 4.9	525,935,755	395,339,552	75.2
Tekening			
Figuur 4.10	605,393,131	405,903,449	67.0
CBS kaart '53 Figuur 4.7	625,366,283	408,906,673	65.4
Simulatie Figuur 4.11	483,345,354	n.v.t.	n.v.t.

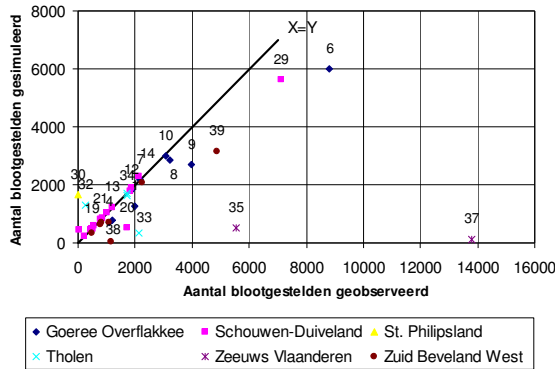
Tabel 4.3: Vergelijking simulatie oppervlakte met historische kaarten

4.4.2 Aantal aan de overstroming blootgestelde personen

Wanneer per dorp het aantal blootgestelde mensen vergeleken wordt, blijkt dat voor een aantal gemeenten in de dataset van Waarts een goede schatting oplevert. Dit betreft vooral gemeenten op Goeree-Overflakkee en Schouwen-Duiveland, eilanden waar veel gemeenten geheel zijn overstroomd. Bij andere eilanden wijken de schattingen flink af, onder andere doordat de aantallen inwoners van verkeerde dorpen geselecteerd zijn. Dit is onder andere het geval bij Terneuzen, waar geen slachtoffers gevallen zijn, maar waar het Hoek betreft.

Over de gehele set genomen kan gezegd worden dat het aantal blootgestelden overschat is (zie Figuur 4.12), waardoor de slachtofferfractie te laag uit is gekomen in de afleiding van de functies voor de Standaardmethode. Dit zou resulteren in een te laag ingeschat aantal slachtoffers. De overschatting is een verwacht resultaat, aangezien in de lijst van Jonkman niet het aantal aan de overstroming blootgestelde personen is, maar het totaal aantal inwoners per gemeente. Dit getal ligt logischerwijs gelijk aan of hoger dan het aantal daadwerkelijk blootgestelde personen.

De nieuw berekende aantallen zijn berekend met behulp van inwonergegevens en het in 1953 overstroomde gebied. Aangezien zowel de inwonergegevens als het overstroomde gebied als betrouwbaar worden gezien, wordt aangenomen dat ook het resultaat van de berekening (het aantal aan de overstroming blootgestelde personen) betrouwbaar en nauwkeurig is.



Figuur 4.12: People exposed aantal geobserveerd tegen aantal gesimuleerd

Overstroomde gemeenten zonder slachtoffers

In de nieuwe lijst met slachtofferfracties is een aantal gemeenten toegevoegd waar geen slachtoffers gevallen zijn, maar waar wel water gestaan heeft.

In Jonkman (2004) zijn niet alle getroffen gemeenten meegenomen. Het zijn echter wel punten die belangrijk zijn voor de algemene verhouding tussen slachtoffers en het aantal blootgesteld.

4.4.3 Stroomgegevens

4.4.3.1 Waterdiepte

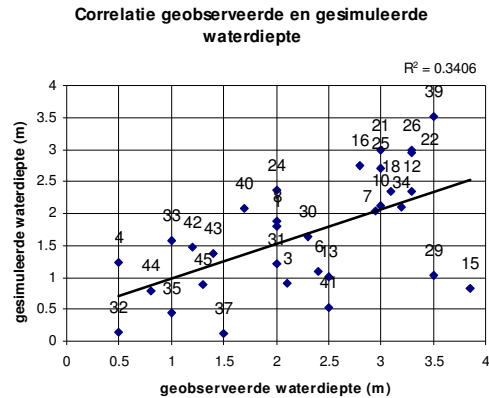
Vergelijking tussen observaties en simulatie

In de huidige methode wordt de waterdiepte gebruikt als stroomeigenschap om het aantal slachtoffers te berekenen.

In Bijlage 4.3 is een overzicht gegeven van de gemeenten waarvan zowel een observatie in 1953, alsook een overstromingssimulatie in Sobek is (Figuur 4.13). In deze figuur zijn de gemiddelde maximale waterdiepte uit de overstromingssimulatie uitgezet tegen de geobserveerde waterdiepte uit de lijst van Waarts.

De waterdiepte lijkt nauwkeurig te observeren. In dit geval is men namelijk niet alleen afhankelijk van ooggetuigen, die tijdens de ramp onder invloed van hevige emoties schattingen maken, maar heeft men achteraf kunnen constateren op constructies in het landschap hoe hoog het water gestaan heeft.

Dit is gedaan voor alle gemeenten en zo heeft Waarts representatieve waarden kunnen selecteren en berekenen. De oorsprong van deze cijfers is in veel gevallen het waterniveau uit (Rijkswaterstaat 1961), wat een betrouwbare bron lijkt. Hier is vervolgens de bodemhoogte (bepaald uit een atlas) van afgetrokken (zie ook paragraaf 4.2.1).



Figuur 4.13: Correlatie waterdiepte gesimuleerd en geobserveerd

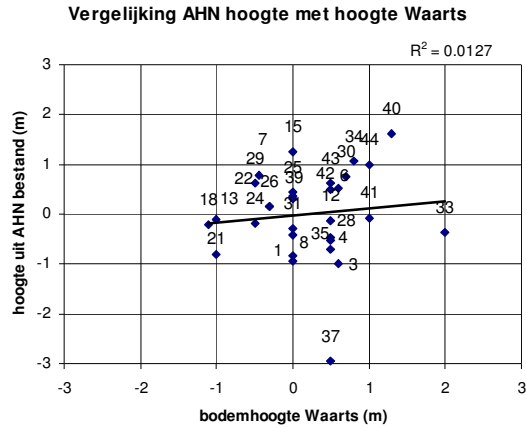
Analyse op basis van bodemhoogte en waterniveau

De gridbestanden, die gebruikt worden in de overstromingssimulatie, zijn afkomstig uit de database van het AHN. Hierin is per gridcel de gemiddelde hoogte bepaald uit de metingen die verricht zijn. Ook al wordt zoveel mogelijk ongewenste informatie (zoals huizen of bomen) uit de data gefilterd, zou een gridcel waarin veel bebouwing is, een hogere gemiddelde hoogte toegewezen krijgen ten opzichte van de werkelijke bodem, dan een gridcel waar geen bebouwing is. Dit zou verklaren dat er veel gemeenten op een hogere plaats in de polder zijn gelokaliseerd.

Dit hoeft niet het enige effect te zijn. Een historische verklaring kan zijn dat mensen op een verhoogde plaats gingen wonen, of de bodem zelf opgehoogd hebben om zich te beschermen tegen het water. Metingen ter plaatse zullen hier uitsluitsel kunnen bieden.

Het gebrek aan samenhang ($R^2=0.34$) tussen geobserveerde en berekende waterdieptes zou verklaard kunnen worden door een verschil in bodemhoogte, welke gebruikt is voor de berekening en de geobserveerde bodemhoogtes uit de lijst van onder andere Waarts. Net als voor de waterstanden is voor de plaatsen in deze lijst Waarts een gemiddelde berekend uit de hoogtebestanden van het AHN (zie voor manier van berekening paragraaf 4.3.1). Deze waarden zijn vergeleken met de waarden gegeven door Waarts.

(N.B.: verwijderde of nieuw aangelegde dijken zijn aangepast in het AHN bestand, om de situatie van 1953 zo goed mogelijk te simuleren.)



Figuur 4.14: Vergelijking bodemhoogte

Zoals uit Figuur 4.14 blijkt is de correlatie tussen de bodemhoogtes uit de lijst van Waarts en de (gemiddelde) bodemhoogtes uit het AHN bestand erg laag ($R^2=0.02$). Dit kan de oorzaak zijn van de lage correlatie tussen de waterdieptes. Opnieuw bepalen van de waterdieptes met behulp van de bodemhoogtes uit het AHN bestand zou kunnen leiden tot een betere correlatie.

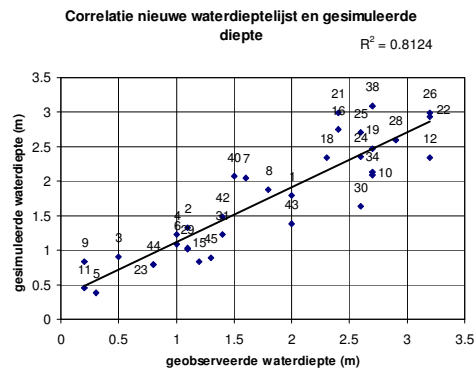
Herbepaling waterdiepten op basis van water- en bodemniveau

De waterdiepte kan bepaald worden uit water- en bodemniveau. In (Waarts, 1992) wordt vermeld dat de waterdiepten ook op deze manier bepaald zijn, aan de hand van (Rijkswaterstaat, 1961) voor het waterniveau en een atlas van Zuid-Nederland voor de bodemhoogte. Waarts heeft per gemeente, waarschijnlijk zonder berekening, een representatieve waarde geselecteerd.

Op het moment is er nauwkeurige informatie beschikbaar over bodemhoogte, waardoor de bepaling van de waterdiepte eventueel nauwkeuriger zou kunnen worden. Ook kan met GIS nauwkeuriger een gemiddelde bepaald worden.

Deze nieuwe lijst met waterdiepten kan worden vergeleken met de waterdieptes uit de overstromingssimulaties. De correlatie hiertussen is geïllustreerd in Figuur 4.15. Wat opvalt is dat de gesimuleerde diepte niet groter is dan de geobserveerde diepte plus ongeveer 0.5 m voor alle gemeenten. In formulevorm:

$$h_{\text{sim}} \leq h_{\text{obs}} + 0.5 \text{ m}$$



Figuur 4.15: Correlatie herbepaald geobserveerde diepte en gesimuleerde diepte

Uit Figuur 4.15 blijkt dat het opnieuw bepalen van de waterdieptes met behulp van het AHN bestand leidt tot een betere correlatie (een verhoging van $R^2=0.34$ naar $R^2=0.81$). Dit resultaat is te verwachten, aangezien in de overstromingssimulaties ook gebruik wordt gemaakt van dit AHN bestand. De goede correlatie tussen de (met het AHN-bestand bepaalde) geobserveerde en gesimuleerde waterdiepten betekent dat het waterniveau goed gesimuleerd wordt.

De nauwkeurigheid van de bodemhoogtes uit het AHN-bestand is groter dan die van de atlas. Hierom wordt aangenomen dat de waterdieptes, die bepaald zijn met het waterniveau uit (Rijkswaterstaat 1961) en de bodemhoogte uit het AHN-bestand, het meest betrouwbaar zijn.

4.4.3.2 Stijgsnelheid

Door Waarts is van acht gemeenten uit ooggetuigenverslagen een observatie achterhaald. In onderstaande tabel zijn deze geobserveerde waarden naast de gesimuleerde waarden gezet.

Plaats	Geobserveerde stijgsnelheid	Gemiddelde stijgsnelheid uit simulatie	Maximum stijgsnelheid uit simulatie
Brouwershaven	0.5	0.979	3.25
Burghsluis (Burgh)	16	0.237	0.35
Den Bommel	0.4	0.871	5.75
Nieuwe Tonge	6	8.823	11
Ooltgensplaat	0.4	5.873	9.5
Oude Tonge	6	3.179	9.25
Ouwerkerk kern	4	0.688	1.5
Stavenisse	10	0.157	0.25

Tabel 4.4: Overzicht geobserveerde - gesimuleerde stijgsnelheden

De informatie betreffende de stijgsnelheid komt uit gedenkboeken en ooggetuigenverslagen. Ook in het boek 'De Ramp' van Kees Slager zijn meerdere opmerkingen opgenomen, die gaan over hoe snel het water steeg.

Absolute waarden niet te vergelijken door andere wijze van berekenen

De geobserveerde waarden zijn omgerekend van schattingen van personen. Er zijn geen aanwijzingen dat daarbij in beschouwing is genomen of deze waarde representatief is voor de omgeving. In sommige gevallen kan het zo zijn dat een ooggetuige een bepaalde stijgsnelheid heeft gerapporteerd, vanuit een niet voor de hele gemeente representatieve plaats. Bijvoorbeeld vanuit een laag- of hooggelegen gebied, of vlakbij een bres. Aangezien dit voor de cijfers van alle acht gemeenten geldt, zijn deze waarden niet onderling te vergelijken.

In Tabel 4.4 kan afgelezen worden dat voor sommige gemeenten de gemiddelde stijgsnelheid vanuit de simulatie van dezelfde orde grootte is als de waargenomen waarde. In die gevallen komt de waarneming van de geselecteerde ooggetuige overeen met de simulatie.

Hieraan is geen conclusie te verbinden omtrent de representativiteit van de overstromingssimulatie voor de historische gebeurtenis, aangezien dit niet betekent dat de geobserveerde waarde in de gehele gemeente is opgetreden.

Stijgsnelheid van drie gemeenten nader beschouwd

Om toch tot een vergelijking te komen is van drie van de gemeenten de beschrijving in ooggetuigeverslagen achterhaald. Zo kan in detail gekeken worden of de beschrijving klopt met het beeld dat de overstromingssimulaties oproepen.

Burghsluis

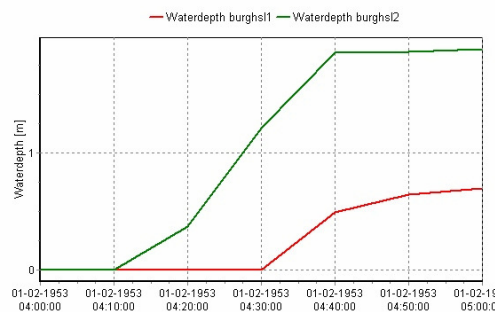
Over Burghsluis wordt vermeld dat het water in 15 minuten 3.85 m hoog stond. Dit zou een stijgsnelheid van 15.4 m/h betekenen.

Een hoge stijgsnelheid in Burghsluis kan verklaard worden doordat het een zeer kleine polder betreft, welke snel vol water kan lopen. De beschrijving lijkt echter niet geheel te kloppen.

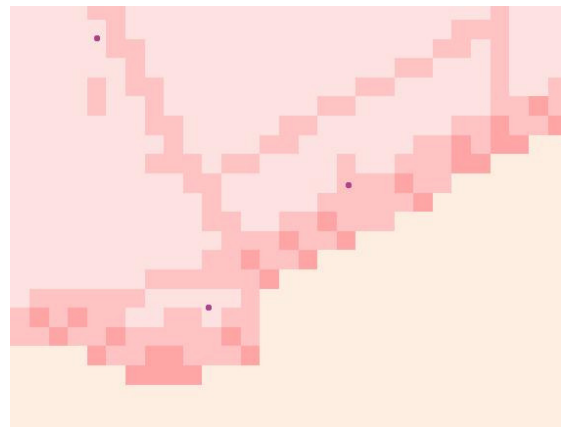
De dijk rondom de polder, waarin Burghsluis zich bevindt is maar 2 meter hoog, waardoor het onwaarschijnlijk is dat in 15 minuten ook de omliggende polders zijn volgelopen tot 3.85 m. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat de dijk in 1953 1.5 m hoger was ten opzichte van de omgeving dan nu.

In Figuur 4.16 is het verloop van de waterdiepte in twee punten bij Burghsluis te zien. Aflezen vanuit de figuur levert een maximale stijgsnelheid van $1.5\text{m}/0.5\text{h} = 3\text{ m/h}$. De berekening levert veel lagere waarden op. Dit komt doordat de inwoners gegroepeerd zijn in postcodepunten. Omdat deze op hooggelegen grond zijn gesitueerd is de stijgsnelheid volgens de berekening erg laag, terwijl het weldegelijk mogelijk is dat een deel van de inwoners een vele malen hogere stijgsnelheid te verduren heeft gekregen, zoals blijkt uit Figuur 4.16, wat de weergave van het waterstandsverloop is in punten nabij postcodepunten.

In Figuur 4.17 is de hoogteligging van de omgeving gevisualiseerd. De lichtste kleur roze geeft een hoogte van ongeveer N.A.P. -0.3 m weer en de iets donkerdere kleur een hoogte van N.A.P. +1.8 m.



Figuur 4.16: Waterdiepte verloop Burghsluis volgens overstromingssimulatie

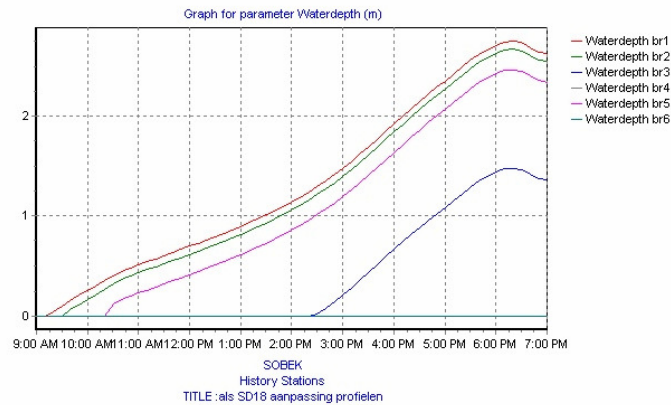


Figuur 4.17: Hoogteligging dijk rond Burghsluis

Brouwershaven

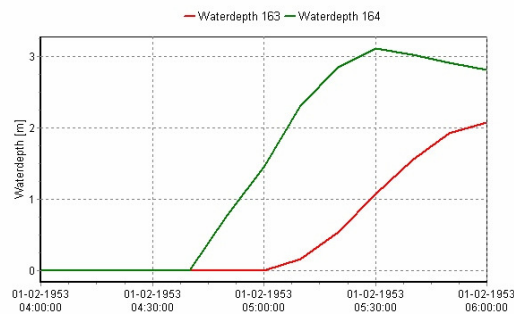
Over Brouwershaven wordt vermeld dat in 3 uur een waterdiepte van 1.5 m bereikt wordt. Deze gemeente ligt gedeeltelijk in de polder Schouwen, welke erg groot is, en waarin nog meer gemeenten liggen (zoals Kerkwerpe en Elkerzee). De laatstgenoemde plaatsen hebben een overeenkomend waterdiepteverloop. In Figuur 4.18 is dit verloop voor zes punten nabij Brouwershaven weergegeven. Duidelijk is dat de stijgsnelheid erg laag is. De onderste lijn (br3) heeft een waterstandsverloop wat gelijk is aan een stijging van 1.5 m in 3 uur, wat overeenkomt met de beschrijving van de ooggetuige. Van de overige punten is de stijgsnelheid ongeveer de

helft (0.25 m/h), wanneer deze berekend wordt over de eerste 1.5 m, maar is de helling van het waterstandsverloop daarboven wel ongeveer gelijk aan 0.5 m/h.

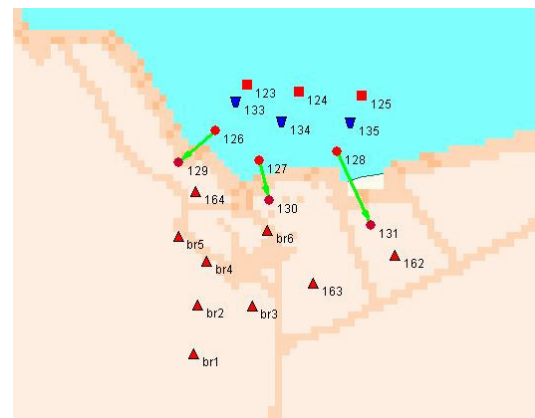


Figuur 4.18: Waterdiepte verloop Brouwershaven in polder Schouwen, volgens overstroomingssimulatie

Een ander gedeelte ligt in een kleinere polder, welke sneller is volgestroomd (zie Figuur 4.19 en Figuur 4.20). De stijgsnelheid van de bovenste lijn is ongeveer 4,5 m/h. Hierbij moet opgemerkt worden dat punt 162 (Figuur 4.20) buiten beschouwing is gelaten, aangezien in de betreffende polder geen postcodepunten liggen.



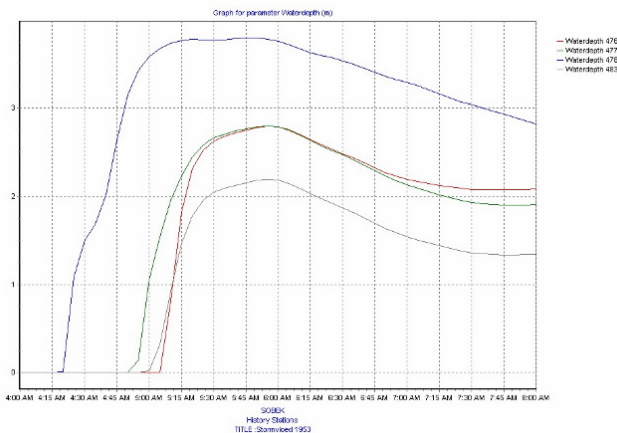
Figuur 4.19: Waterdiepte verloop Brouwershaven in kleine polders, volgens overstroomingssimulatie



Figuur 4.20: Locatie meetpunten Brouwershaven

Ooltgensplaat

Over Ooltgensplaat wordt gezegd dat de maximale diepte (van ongeveer 2 m) wordt bereikt in 5 uur. Volgens de overstroomingssimulatie gebeurt dit in 1 uur tijd. In Figuur 4.21 is dit voor vijf punten nabij Ooltgensplaat te zien. Een verklaring voor dit verschil wordt niet gevonden. Het is mogelijk dat deze observatie uit een niet representatief deel van de gemeente is gedaan, al is niet achterhaald, waar dat geweest zou kunnen zijn.



Figuur 4.21: Waterstandsverloop in Ooltgensplaat volgens overstromingssimulatie

Zo blijkt dat, ook na een nadere beschouwing van enkele gemeenten, de observaties niet goed overeenkomen met de overstromingssimulatie.

4.4.3.3 Stroomsnelheid

In de lijst Jonkman zijn geen numerieke gegevens aanwezig over geobserveerde stroomsnelheden. De oorsprong van de functie, die gebruikt wordt voor het bepalen van slachtoffers ten gevolge van stroomsnelheid is een fysische. Aangenomen is in (Jonkman 2004) dat bij een stroomsnelheid van $v > 2$ m/s en $h \cdot v > 7$ m²/s huizen zullen bezwijken en alle blootgestelde personen in dat gebied zullen komen te overlijden. Dit zou vooral voorkomen nabij bressen.

Maximale stroomsnelheid

Wanneer de gesimuleerde gegevens beschouwd worden, dan is de conclusie dat er aannemelijke waarden gevonden worden. In de meeste gevallen is de maximale stroomsnelheid 1 à 2 m/s. Deze komt voor nabij bressen, en soms in dieper gelegen gedeelten van een polder.

In werkelijkheid kan het zijn dat er lokaal grotere stroomsnelheden zijn opgetreden, bijvoorbeeld door lokale vernauwingen tussen bebouwing in. Het overstromingsmodel is echter niet geschikt op dit niveau te rekenen.

Slachtoffers door stroomsnelheid

Wanneer de Standaardmethode nogmaals gebruikt wordt om het aantal slachtoffers te berekenen, maar dan met een stroomsnelheid van 0 m/s valt op dat alleen in Serooskerke (Schouwen-Duiveland) 10 slachtoffers zijn gevallen door stroomsnelheid. In alle overige gemeenten valt geen enkele slachtoffer door deze oorzaak.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat in de standaardmethode deze formule bijna niet gebruikt wordt. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt doordat het overstromingsmodel globale stroomsnelheden berekent, in plaats van lokale (zoals in nauwe doorgangen tussen gebouwen, waar dan juist ondergraving zal optreden), waardoor deze waarden te laag uitkomen, en de grenzen van $h \cdot v = 7$ m²/s en $v = 2$ m/s niet bereikt worden.

Daarnaast bevinden postcodepunten zich geografisch in het midden van een postcodegebied. Bebouwing nabij een bres wordt zo ook gegroepeerd in het midden van een postcodegebied, waardoor de afstand tot de bres toeneemt, en de stroomsnelheid in de overstromingssimulatie ter plaatse van de bebouwing (het postcodepunt) lager zal zijn.

4.4.4 Slachtoffers

In Bijlage 4.2 is de totale lijst met berekende en geobserveerde slachtoffers naast elkaar gezet, samen met het aantal blootgestelden volgens de lijst Jonkman en de berekende aantallen met behulp van de simulaties en kaarten van het overstroomde gebied.

Grote slachtofferfracties in kleine gemeenten volgens (Jonkman 2004)

De slachtofferfracties verschillen sterk per gemeente. Geconcludeerd kan worden dat de grootste verdrinkingsfracties zijn gevallen in relatief kleine gemeenschappen. Verdrinkingsfracties van 0,4 vallen in gemeenten met 180 en 105 inwoners. Het betreft in deze gevallen ook zeer verspreide gemeenten. Mogelijke oorzaken kunnen gezocht worden in weinig tot geen vluchtmogelijkheden doordat, of die locaties niet voorhanden zijn, of er niet of te laat gewaarschuwd is, waardoor deze locaties niet bereikt konden worden. Het boek van Kees Slager vertelt namelijk over gevallen, waar mensen in buitengebieden totaal verrast werden.

Uitschieter is het dorp Nieuwerkerk, waar een grote slachtofferfractie geconstateerd is op een relatief groot aantal inwoners (slachtofferfractie van 0.16 op 1858 inwoners).

Wanneer wordt aangenomen dat de overstroomde oppervlakten, gedigitaliseerd uit de kaarten in de vorige paragraaf de werkelijkheid goed nabootsen zijn nauwkeurigere aantallen blootgestelden te berekenen. Door grote veranderingen in die aantallen veranderen ook de slachtofferfracties aanzienlijk.

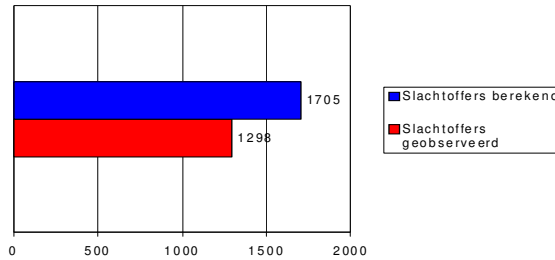
Slachtofferfractie per gebied

Het totaal aan de overstroming blootgestelde personen voor de gehele regio (Zeeland, Zuid-Holland en Brabant) is met een digitale kaart van het overstroomde gebied en een GIS-programma bepaald op 310.000 personen. De slachtofferfractie voor de gehele regio komt daarmee op $1836/310.000 \cdot 100\% = 0,6\%$.

Voor alleen het gebied waar overstromingssimulaties van beschikbaar zijn, is het aantal blootgestelde personen 59.000 en het aantal slachtoffers bedraagt daar 1298. In de beschouwde gebieden in Zeeland is de slachtofferfractie daarmee $1298 / 59.000 \cdot 100\% = 2,2\%$ en duidelijk een stuk hoger dan voor het totale overstroomde gebied. Zeeland is aantoonbaar (op basis van de slachtofferfracties) zwaarder getroffen dan de andere gebieden, wanneer het aantal slachtoffers beschouwd wordt. De overige gebieden hebben een groter aantal blootgestelde personen (inwoners van het overstroomde gebied). De slachtofferfractie betrof daar: $(1836-1298) / (310.000-59.000) \cdot 100\% = 0,2\%$.

4.4.4.1 Vergelijking per gebeurtenis

De aantallen zijn te vergelijken op verschillende schalen. De grootste schaal is het totaal aan slachtoffers per gebeurtenis. In 1953 vielen in de geselecteerde gebieden 1298 slachtoffers. Het berekende aantal komt neer op 1705. Dit betekent een verschil van 441. Relatief is dit een afwijking van 31 % ten opzichte van het geobserveerde aantal. Wanneer op kleinere schaal naar de aantallen gekeken wordt, kunnen de oorzaken van de verschillen beter geïdentificeerd worden.



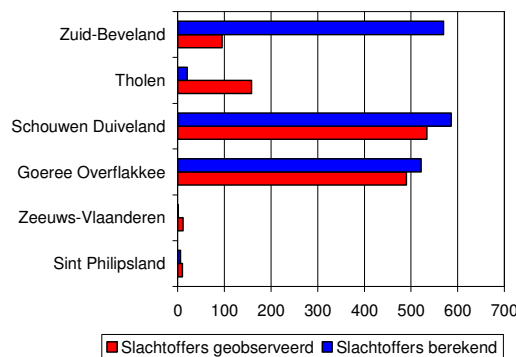
Figuur 4.22: Slachtoffersvergelijking berekend / geobserveerd voor hele gebeurtenis

4.4.4.2 Vergelijking per eiland

In Tabel 4.5 is een overzicht gegeven van zowel het berekende als het geobserveerde aantal slachtoffers per eiland.

Eiland	Slachtoffers geobserveerd	Slachtoffers berekend
Goeree-Overflakkee	490	522
Schouwen-Duiveland	534	586
Sint Philipsland	10	6
Tholen	158	20
Zeeuws Vlaanderen	11	1
Zuid-Beveland	95	570

Tabel 4.5: Berekend en geobserveerd aantal slachtoffers per eiland



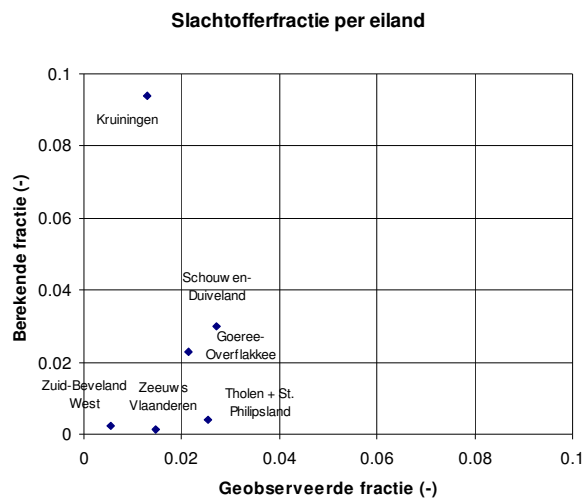
Figuur 4.23: Staafdiagram slachtofferaantallen per eiland

In het staafdiagram in Figuur 4.23 is kwalitatief duidelijk te zien dat Zuid-Beveland (verschil: 511) en Tholen (verschil: 138) de eilanden zijn met de grootste absolute verschillen en dat de aantallen van de overige eilanden redelijk overeenkomen met elkaar. De berekende slachtofferfractie op Zeeuws Vlaanderen verschilt een factor 11. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de absolute aantallen klein zijn, waardoor een kleine absolute fout een grote relatieve fout betekent.

Op gedetailleerder niveau kunnen de verschillen beter verklaard worden.

	Slachtofferfractie geobserveerd	Slachtofferfractie berekend met HIS-SSM	Aantal aan de overstroming blootgestelde personen	Gem diepte volgens simulatie (m)
Goeree-Overflakkee	0.0215	0.0230	22745	1.49
Schouwen-Duiveland	0.0272	0.0299	19108	1.95
Tholen + St. Philipsland	0.0253	0.0039	6653	1.33
Zeeuws Vlaanderen	0.0147	0.0013	749	0.34
Zuid-Beveland West	0.0054	0.0024	3339	1.05
Zuid-Beveland Kruiningen	0.0129	0.0940	5980	2.67

Tabel 4.6: Slachtofferfracties met waterdiepte per eiland



Figuur 4.24: Slachtofferfractie per eiland

Een andere benadering is een vergelijking op basis van slachtofferfracties (Tabel 4.6 en Figuur 4.24). In deze figuur is Kruiningen apart opgenomen, om aan te tonen dat de grote afwijking in dat gedeelte van Zuid-Beveland wordt veroorzaakt.

Ook hier vallen Tholen en Zuid-Beveland zoals verwacht op, maar in deze vergelijking kan nog iets anders opgemerkt worden:

- De geobserveerde fracties op de eilanden Goeree-Overflakkee en Schouwen-Duiveland worden goed benaderd.
- De geobserveerde fracties van de eilanden Tholen, Goeree-Overflakkee en Schouwen-Duiveland liggen dicht bij elkaar.
- De berekende fracties van de eilanden Sint Philipsland, Zuid-Beveland West en Zeeuws Vlaanderen liggen dicht bij elkaar.

Deze conclusies impliceren dat op de verschillende eilanden, verschillende situaties zich hebben voorgedaan. Daarnaast ontstaat ook het vermoeden dat op verschillende eilanden zich vergelijkbare situaties hebben voorgedaan, aangezien de slachtofferfracties dicht bij elkaar liggen (zoals bijvoorbeeld bij Tholen, Goeree-Overflakkee en Schouwen-Duiveland).

Vuistregel voor 3 klassen

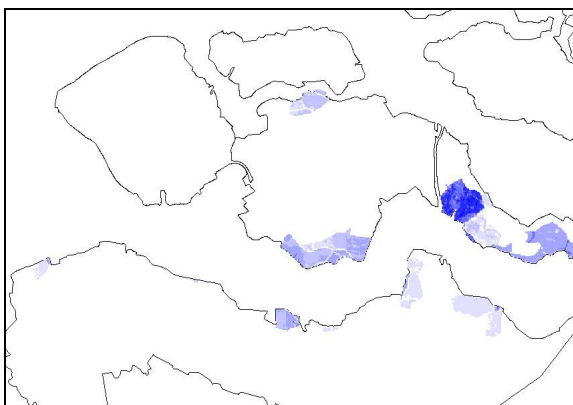
Dit kan betekenen dat, wanneer deze gebeurtenissen ontleed worden, op basis hiervan een eerste schatting gedaan kan worden. In (Jonkman 2004) wordt als globale vuistregel een slachtofferpercentage van 1 voorgesteld. Uit bovenstaande gegevens blijkt dat er waarschijnlijk 3 klassen bestaan:

1. Noord-Brabant en Zuid-Holland (met uitzondering van Goeree-Overflakkee) 0,2 %
2. Zuid-Beveland West, Kruiningen en Zeeuws Vlaanderen 0,5 % à 1,5 %
3. Goeree-Overflakkee, Schouwen-Duiveland en Tholen 2,5 % à 3 %

Deze klassen zijn op dit moment slechts kwalitatief te onderscheiden op mate van getroffenheid.

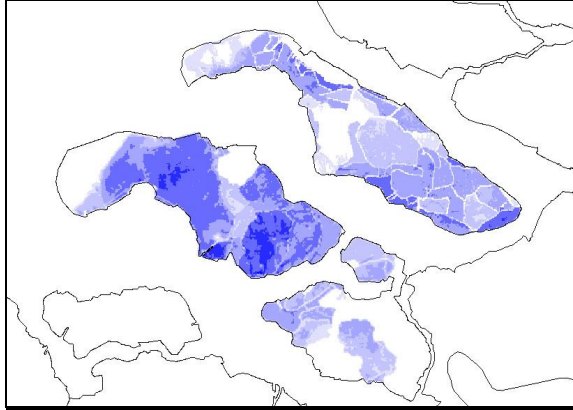
De eerste klasse is relatief licht getroffen. Hier zijn geen gegevens over opgetreden waterdiepte van beschikbaar.

Op Zuid-Beveland en Zeeuws Vlaanderen zijn sommige dorpen overstroomd (Figuur 4.25). Het gedeelte Kruiningen is zwaar, terwijl de rest relatief licht getroffen is door de overstroming. Dit komt tot uiting in de gemiddelde waterdiepte per eiland. Op Zuid-Beveland West en Zeeuws Vlaanderen was de waterdiepte relatief laag, zie Tabel 4.6. Kruiningen past niet in dit beeld. De gemiddelde waterdiepte was hier aanzienlijk (2.67 m) terwijl de slachtofferfractie laag was. Hier zal een andere oorzaak aangewezen moeten worden om dit gebied te kunnen onderscheiden van de rest. De oorzaak zal onderzocht worden in paragraaf 4.4.4.3.



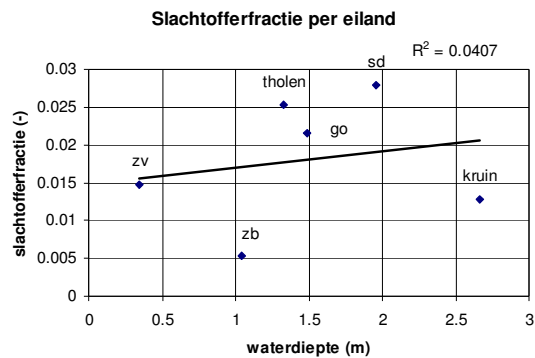
Figuur 4.25: Maximale waterdiepte op Zuid-Beveland en Zeeuws Vlaanderen

De derde klasse betreft eilanden die helemaal, of bijna helemaal overstroomd zijn (Figuur 4.26). De waterdiepte is hier gemiddeld iets groter geweest dan op de eilanden die in de lagere klassen vallen.

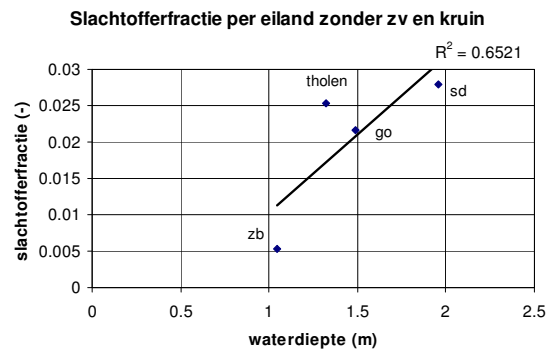


Figuur 4.26: Maximale waterdiepte op Goeree-Overflakkee Schouwen-Duiveland en Tholen

In Figuur 4.27 is de relatie tussen gemiddelde waterdiepte en de slachtofferfractie per eiland uitgezet. De verwachte relatie tussen waterdiepte en slachtofferfractie wordt duidelijk wanneer Zeeuws Vlaanderen (punt zv) en Kruiningen (kruin) worden beschouwd als outliers en weggelaten uit de figuur (zie Figuur 4.28). Op dit moment zijn deze twee punten als outlier beschouwt, op basis van de ligging van de punten. Daarnaast bestaat het vermoeden dat de situatie op Kruiningen anders is geweest dan op de andere eilanden. Zeeuws Vlaanderen is zeer licht getroffen. Door het feit dat er slechts weinigen mensen zijn blootgesteld aan de overstroming, loopt de slachtofferfractie sterk op met elk extra slachtoffer (slachtofferfractie = $\frac{\#slachtoffers}{\#blootgestelden}$, zie ook paragraaf 3.2).

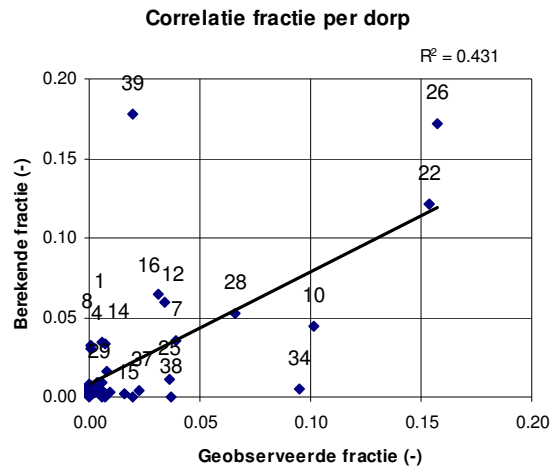


Figuur 4.27: Slachtofferfractie per eiland



Figuur 4.28: Slachtofferfractie per eiland zonder Zeeuws Vlaanderen en Kruiningen

4.4.4.3 Vergelijking per gemeente



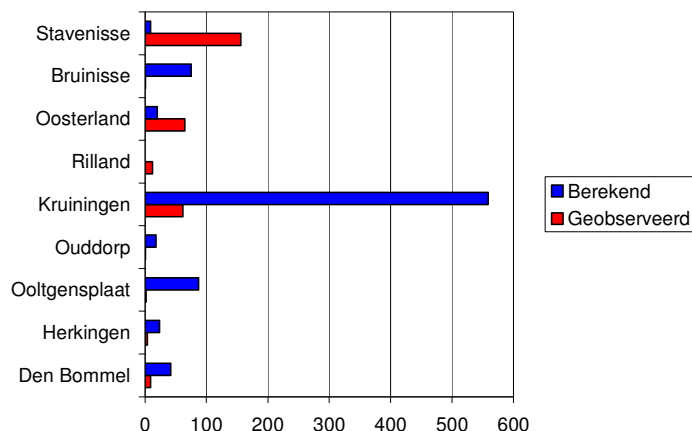
Figuur 4.29: Correlatie tussen geobserveerde en berekende fracties per gemeente

In Figuur 4.29 is de correlatie te zien tussen de met HIS-SSM berekende en de geobserveerde fracties per gemeente. Met behulp van de kleinste-kwadraten-methode is een zo goed mogelijk passende lijn geplaatst, welke een R^2 heeft van 0.431. Dit betekent dat er geen goed verband bestaat tussen geobserveerde en berekende fractie.

De plaatsen met grote relatieve en absolute verschillen zijn hieronder in Tabel 4.7 neergezet.

Plaats	Gebied	Slachtoffers geobserveerd	Slachtoffers berekend	Afwijking geobserveerd/berekend	Afwijking absoluut
Den Bommel	Goeree-Overflakkee	9	42	0.21	33
Herkingen	Goeree-Overflakkee	4	24	0.17	20
Ooltgensplaat	Goeree-Overflakkee	2	87	0.02	85
Ouddorp	Goeree-Overflakkee	1	18	0.06	17
Kruiningen	Zuid-Beveland	62	559	0.10	497
Rilland	Zuid-Beveland	12	0		12
Oosterland	Schouwen-Duiveland	65	20	3.25	45
Bruinisse	Schouwen-Duiveland	1	75	0.01	74
Stavenisse	Tholen	156	9	17.33	147

Tabel 4.7: Meest opvallende verschillen tussen berekende en geobserveerde aantallen slachtoffers per dorp



Figuur 4.30: Staafdiagram meest opvallende verschillen slachtoffers per dorp

Deze plaatsen zijn een voorselectie gebaseerd op een groot absoluut verschil: meer dan 10 slachtoffers verschil, en een groot relatief verschil: factor tussen met HIS-SSM berekend aantal en geobserveerd aantal is in deze gevallen groter dan 3 of kleiner dan $\frac{1}{3}$.

In deze tabel staan Stavenisse (verschil: 147) en Kruiningen (de gemeente) (verschil: 497) bovenaan, wanneer het gaat om absolute verschillen. De verschillen tussen de berekende en opgetreden aantallen zijn van dezelfde orde als de verschillen per eiland die in de vorige paragraaf werden bepaald. Dit kan betekenen dat de berekende aantallen van de overige gemeenten op deze eilanden gezamenlijk goed de observaties voorspellen, maar dat slechts deze twee gemeenten grote afwijkingen veroorzaken.

Om die reden worden deze twee gemeenten nader beschouwd.

Ook wekken Ooltgensplaat en Bruinisse de aandacht. Ondanks dat de verschillen in deze gemeenten kleiner zijn, zijn de relatieve verschillen respectievelijk een factor 45 en 75. De oorzaak van deze factoren wordt ook onderzocht.

Kruiningen

De plaats met het grootste absolute verschil is Kruiningen.

Zuid-Beveland, het eiland waarop Kruiningen zich bevindt, is reeds onderwerp van studie geweest, wat betreft aantal slachtoffers (Groot Zwaaftink *et al*, 2005). Ook in deze studie is de conclusie getrokken dat het aantal slachtoffers dat berekend wordt met de Standaardmethode2004 erg hoog is ten opzichte van het daadwerkelijk gevallen aantal. Als verklaring worden daar meerdere mogelijke oorzaken gegeven:

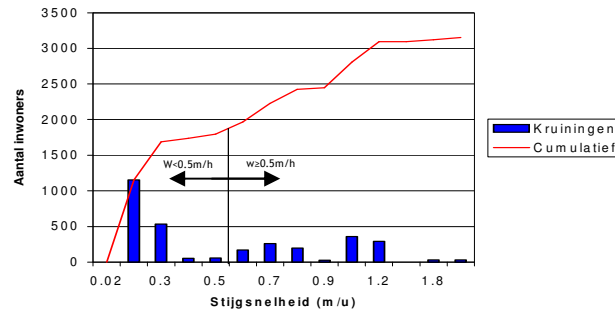
- Het werkelijke overstroomde oppervlak in 1953 was kleiner dan in de berekening.
- De werkelijk behaalde waterdiepte was kleiner dan in de berekening.
- De stijgsnelheden waren kleiner dan in de berekeningen.

Mogelijke oorzaak, gevoeligheid voor stijgsnelheid

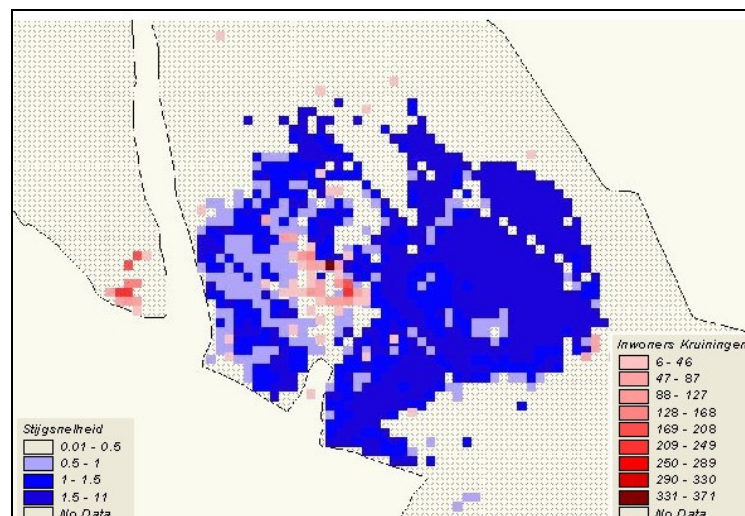
Na een nadere analyse wordt duidelijk dat het waarschijnlijker is dat de oorzaak ergens anders ligt. Dit is ook het resultaat van een analyse door Jonkman, die in een memo terug aan Haskoning stuurt, dat in het geval van Kruiningen de stijgsnelheden in grote delen van het gebied de grenswaarde van 0,5 m/h overschrijden (Figuur 4.32), waardoor de formule voor grote stijgsnelheden wordt gebruikt. Dit resulteert in grote aantallen slachtoffers. Een herberekening

die is uitgevoerd met $w < 0,5$ m/h voor het gehele gebied, resulteert in een realistischere schatting van 35 van het aantal slachtoffers (geobserveerde aantal: 62).

Wordt een herberekening uitgevoerd met $w > 0,5$ m/h dan is het berekende aantal slachtoffers 758, wat van dezelfde orde is als het berekende aantal met verdeelde stijgsnelheid. Dit toont aan dat een groot deel van de inwoners van Kruijningen, volgens de simulatie, te maken kreeg met stijgsnelheden $> 0,5$ m/u. In Figuur 4.31 is de verdeling van inwoners tegen de stijgsnelheid te zien.



Figuur 4.31: Histogram inwoners Kruijningen tegen stijgsnelheid

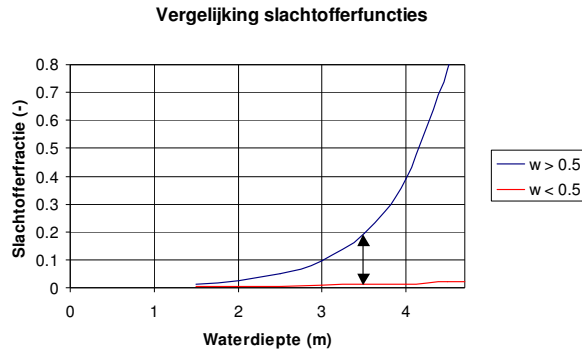


Figuur 4.32: Kaart Inwoners Kruijningen 1953 & stijgsnelheid (m/u)

Verschillen in uitkomst tussen de analyse van Groot Zwaaftink en deze studie worden verklaard door het verschillende inwonertal. In deze studie is een benadering van de inwoneraantallen uit 1953 gebruikt, tegenover de huidige inwoneraantallen die zijn gebruikt in de studie van Groot Zwaaftink. De gemiddelde diepte in Kruijningen bedraagt 3,5 m. De twee formules, gebruikt in de Standaardmethode (paragraaf 3.2.4), geven bij die diepte sterk uiteenlopende slachtofferfracties:

$$f(h)_{overige} = 1,34 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,59 \cdot 3,5} = 0,011$$

$$f(h)_{stijgsnelheid} = 1,45 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,39 \cdot 3,5} = 0,188$$



Figuur 4.33: Verschil tussen gebruikte slachtofferfuncties

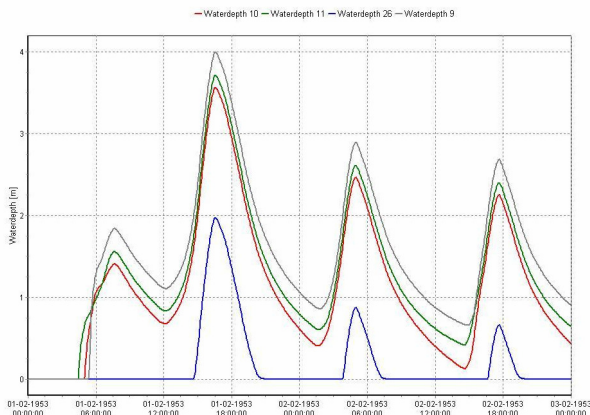
De berekende slachtofferfractie uit de simulatie met ruimtelijke verdeelde waterdiepte is ook ongeveer 0,188, wat betekent dat in dit geval, uitgaande van een stijgsnelheid groter dan 0,5 m/h de gemiddelde diepte een goede maat is om te gebruiken voor het berekenen van het aantal slachtoffers. Hiermee wordt bedoeld dat een berekening met de gemiddelde diepte ongeveer hetzelfde resultaat geeft als een berekening met een ruimtelijk variërende diepte.

Het feit dat de gebruikte formules het aantal slachtoffers niet juist voorspellen, zou kunnen liggen aan de grens van 0,5 m/h voor de stijgsnelheid. Wordt deze grens anders gekozen, dan zal het voorspelde aantal slachtoffers veranderen.

Het lijkt aannemelijk dat het grote aantal slachtoffers dat berekend wordt, veroorzaakt wordt door gebruik van deze laatste formule.

Hoge waterstand pas bij tweede vloed

Een andere oorzaak wordt gevonden in het feit dat (volgens de simulatie) de hoge waterstand die het grote aantal slachtoffers veroorzaakt in de berekening, pas plaatsvindt tijdens de tweede vloed (Waterstandsverloop in enkele punten nabij Kruijningen, zie Figuur 4.34). Hierdoor hebben inwoners van Kruijningen na de eerste vloed vermoedelijk een veiligere locatie kunnen opzoeken.



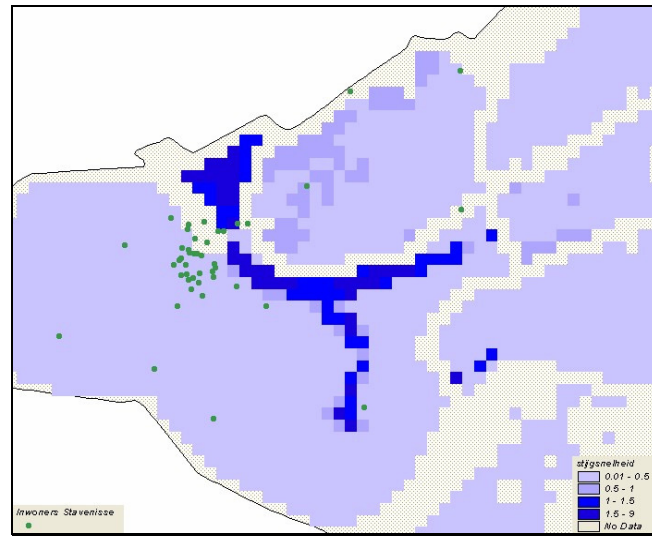
Figuur 4.34: Waterdiepte verloop volgens simulatie op 5 punten in Kruijningen

Stavenisse

In tegenstelling tot Kruijningen wordt het aantal slachtoffers in Stavenisse flink onderschat in de berekening.

In de dataset van Waarts (zie paragraaf 4.2.1) wordt voor Stavenisse een stijgsnelheid van 10 m/h aangegeven, terwijl in de simulaties de (gemiddelde) w beperkt blijft.

In Figuur 4.35 is te zien dat de meeste inwoners zich bevinden in het gebied met een stijgsnelheid lager dan 0,5 m/h. De donkerblauwe strepen die in de figuur te zien zijn, zijn stroomgoten waar de stijgsnelheid vele malen hoger is. Het aantal inwoners in die gebieden is echter beperkt, waardoor het effect van deze hoge stijgsnelheden klein is.



Figuur 4.35: Kaart inwoners Stavenisse 1953 & stijgsnelheid (m/h)

De gemiddelde diepte in Stavenisse (gemiddeld naar inwoner, volgens de simulatie) is 2.1 m wat een stuk lager is dan in Kruijningen. Het verschil in uitkomst voor slachtofferfractie tussen beide formules voor verschillende waarden van de stijgsnelheid is hier, door de kleinere waterdiepte, minder groot. De geobserveerde waterdiepte is 2.6 m.

$$f(h)_{overige} = 1,34 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,59 \cdot 2,1} = 0,005$$

$$f(h)_{stijgsnelheid} = 1,45 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,39 \cdot 2,1} = 0,027$$

De berekende fractie is $9/1645 = 0,005$, wat evenals in Kruijningen betekent dat de gemiddelde diepte een goede maat is voor het berekenen van het aantal slachtoffers, via deze methode.

Wordt de andere formule gebruikt om het aantal slachtoffers te schatten dan resulteert dat in een aantal van $0,027 \cdot 1645 = 44$ slachtoffers, wat ook veel afwijkt van het daadwerkelijke aantal.

Om tot een gelijke orde van slachtoffers te komen, dient de formule voor stijgsnelheid gebruikt te worden met een diepte van om en nabij 3 m.

Ooltgensplaat

In Ooltgensplaat wordt het aantal slachtoffers overschat. Daar valt op dat de stijgsnelheid in een groot gedeelte van die plaats boven 0,5 m/h ligt. Dit is te zien in Figuur 4.36 in de meest oostelijke hoek van Goeree-Overflakkee, waar veel inwoners van Ooltgensplaat gegroepeerd zijn in een kleine polder met erg hoge stijgsnelheid. Met de huidige berekenmethode vallen hier veel

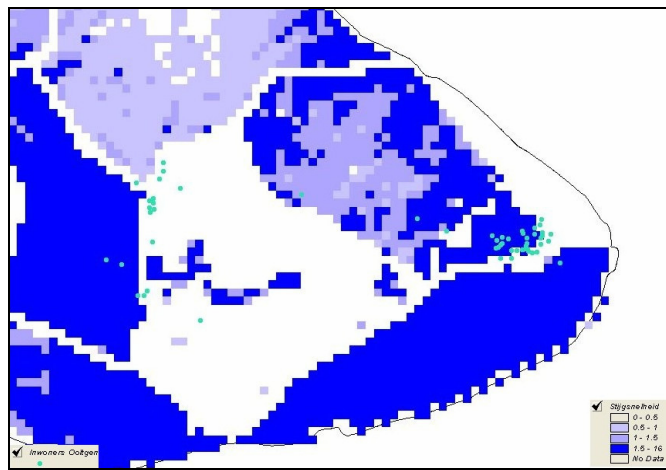
slachtoffers door de combinatie van een waterdiepte van ongeveer 2 meter en een hoge stijgsnelheid.

$$f(h)_{overige} = 1,34 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,59 \cdot 2} = 0,004$$

$$f(h)_{stijgsnelheid} = 1,45 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,39 \cdot 2} = 0,023$$

Met 2856 mensen getroffen door de overstroming zou het aantal slachtoffers respectievelijk 12 en 67 bedragen. Hieruit wordt wederom duidelijk dat de formule voor grote stijgsnelheid met de gemiddelde diepte de ruimtelijk verdeelde berekening goed benadert (67 respectievelijk 90 slachtoffers).

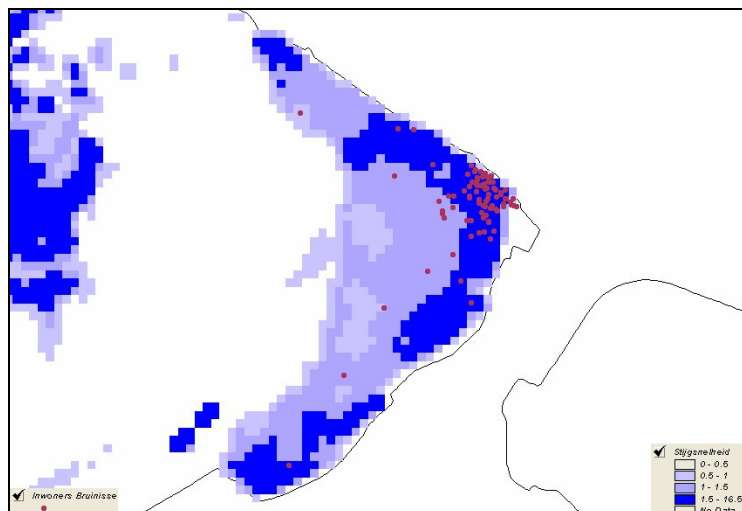
In werkelijkheid hebben deze mensen bijna allemaal aan de dood kunnen ontsnappen. Een mogelijke reden voor de afwijking tussen de berekening en het geobserveerde aantal is te vinden in de beperkte afmetingen van de polder, waardoor een veilige, hogere plek (zoals een dijk) snel gevonden is. Een andere reden kan zijn, dat de inwoners tijdig gewaarschuwd zijn (De Ramp, pagina 121), lang de tijd hadden om te vluchten, of een combinatie van dezen.



Figuur 4.36: Kaart inwoners en stijgsnelheid in 1953 in Ooltgensplaat

Bruinisse

Evenals bij Ooltgensplaat vallen in Bruinisse meer slachtoffers volgens de berekening dan in werkelijkheid gebeurd is.



Figuur 4.37: Kaart stijgsnelheid en inwoners Bruinisse

Ook hier wordt met de steile formule (grote stijgsnelheid) uit de Standaardmethode2004 het aantal slachtoffers berekend, waardoor deze te hoog uitkomt in vergelijking met de werkelijkheid. Wederom betreft het hier een kleine polder. In (De Ramp, blz. 136) wordt verteld dat Bruinisse zondagmorgen nog droog is, waardoor de mensen minder verrast waren dan in andere delen van Zeeland. Het water bereikte Bruinisse pas bij de tweede vloed.

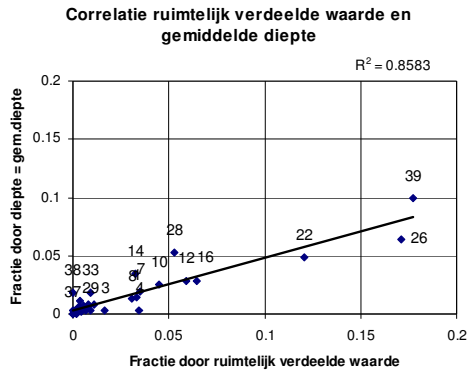
4.4.4.4 Representatieve waarde voor gebied

In deze paragraaf wordt onderzocht hoe goed de slachtofferfractie te benaderen is, door keuze van een representatieve waarde (bv. gemiddelde of maximum) voor een eigenschap (zoals diepte). Kortgezegd: welke waarde moet gekozen worden om een gebied (zoals een gemeente) zo goed mogelijk te beschrijven, wanneer het gaat om slachtofferberekening.

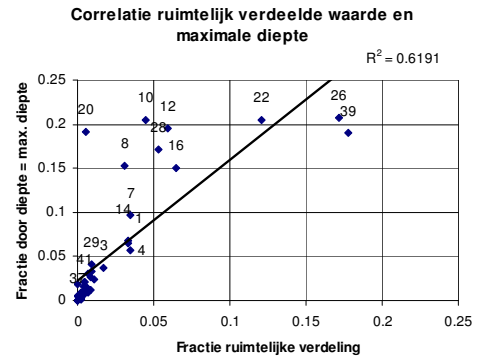
Aangezien voor de analyse van het aantal slachtoffers schaalveranderingen doorgevoerd moeten worden van een grid van 100x100m naar gemeenteniveau, moet voor elke gemeente een representatieve waarde geselecteerd worden uit de verdeling van waarden, die uit het grid naar voren komt. In hoofdstuk 4 is naar voren gekomen dat voor enkele gemeenten het gemiddelde een goede representatieve waarde is, die globaal dezelfde resultaten geeft als een grid met verschillende waarden.

In deze paragraaf wordt voor elke gemeente een berekening van het aantal slachtoffers gedaan met een ruimtelijk verdeelde waterdiepte respectievelijk stijgsnelheid.

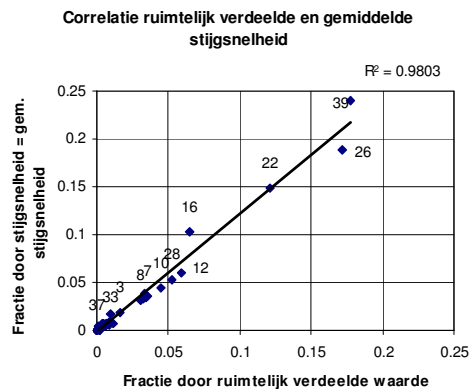
In onderstaande grafieken is de correlatie tussen de verschillende gekozen waarden te zien. Zowel voor de waterdiepte als de stijgsnelheid zijn de aantallen slachtoffers berekend met vaste waarden van het gemiddelde en het maximum in plaats van ruimtelijk verdeelde waarden (Figuur 4.38-Figuur 4.41).



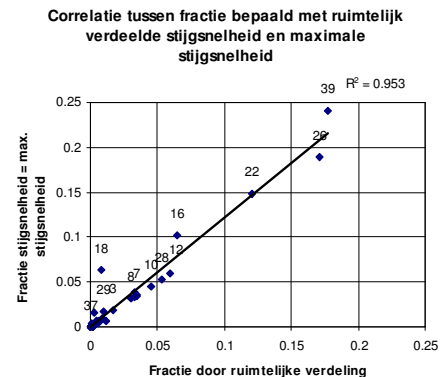
Figuur 4.38: Correlatie tussen fracties bepaald met ruimtelijk verdeelde waterdiepte en gemiddelde waterdiepte



Figuur 4.39: Correlatie tussen fracties bepaald met ruimtelijk verdeelde waterdiepte en maximale diepte



Figuur 4.40: Correlatie tussen fracties bepaald met ruimtelijk verdeelde stijgsnelheid en gemiddelde stijgsnelheid



Figuur 4.41: Correlatie tussen fracties bepaald met ruimtelijk verdeelde stijgsnelheid en maximale stijgsnelheid

Stroomsnelheid

Voor de stroomsnelheid is de berekening ook herhaald, echter is alleen het dorp Serooskerke daar gevoelig voor verandering in stroomsnelheid. Bij gebruik van de gemiddelde waarde is het aantal slachtoffers 2, bij gebruik van de maximale waarde is het aantal slachtoffers 56. Op basis van dit ene punt van vergelijking is slechts op te merken, dat geen van beide waarden de, met ruimtelijk verdeelde stroomsnelheid, berekende waarde goed benadert.

Gemiddelde waarde levert betere benadering

Voor beide variabelen (stijgsnelheid en waterdiepte) geldt dat de gemiddelde waarde de grootste correlatie heeft met de ruimtelijk verdeelde waarde. Hieruit wordt opgemaakt dat het gemiddelde een betere benadering geeft voor de ruimtelijke verdeling dan het maximum.

Het aantal slachtoffers berekend met een gemiddelde waterdiepte per gemeente en een ruimtelijk verdeelde stijgsnelheid levert een berekend aantal slachtoffers op van 931. Wordt de berekening herhaald met een gemiddelde stijgsnelheid en een ruimtelijk verdeelde waterdiepte dan is het aantal slachtoffers 2130.

4.5 Conclusie

Om het model te valideren is van alle elementen in dit model nagegaan of het de werkelijkheid goed nabootst. In paragraaf 3.2.3 is de opzet van het huidige model uiteengezet en aan de hand daarvan zijn de te valideren onderdelen bepaald.

4.5.1 Overstroomd gebied

Kleine afwijkingen door kaartverschillen

Van een aantal kaarten, waarop het in 1953 overstroomde gebied is weergegeven, is bepaald hoeveel deze overeenkomen met het overstroomde gebied uit de overstromingssimulatie. Visueel blijkt dat het overstroomde gebied goed wordt gesimuleerd.

Een digitale vergelijking levert hetzelfde resultaat. Dit wordt verklaard doordat de lokaties van de compartimenten in 1953 bekend zijn, evenals de bresdoorbraken. Gecombineerd levert dit een betrouwbaar beeld op van het overstroomde gebied

4.5.2 Aantal aan overstroming blootgestelde personen

Berekende aantallen zijn een goede benadering

Ondanks dat de geobserveerde aantallen *People-Exposed* in veel gevallen niet overeenkomen met de berekende aantallen wordt geconcludeerd dat de berekende aantallen een goede benadering zijn.

De met behulp van een GIS-programma berekende aantallen zijn gebaseerd op CBS-inwonergegevens in combinatie met kaarten, waarop het overstroomde gebied is aangegeven. Zowel de inwonergegevens als de kaarten worden als goede benadering ingeschat. Hierom wordt aangenomen dat de berekende aantallen blootgestelde personen als goede benadering gelden.

4.5.3 Overstromingskenmerken

4.5.3.1 Waterdiepte

De waterdiepte in de lijst van Waarts komt niet overeen met de gesimuleerde waarden. Deze waterdiepte is gebaseerd op een waterniveau en een bodemhoogte. Deze laatste is door Waarts geselecteerd met behulp van een atlas. Tegenwoordig zijn er nauwkeuriger methoden en blijken de waterdieptes uit de lijst Waarts niet te kloppen.

Nauwkeuriger bepaalde bodemhoogte leidt tot nauwkeurigere waterdiepte

Met behulp van het AHN bestand zijn de geobserveerde waterniveaus uit (Rijkswaterstaat 1961) opnieuw omgerekend naar geobserveerde waterdieptes.

Het AHN bestand levert een nauwkeuriger beeld op van de bodemhoogte dan de selectie uit een atlas. Door een goede correlatie tussen de opnieuw berekende geobserveerde en gesimuleerde kan gesteld worden, dat de waterdiepte (waterniveau minus bodemhoogte) goed gesimuleerd wordt.

4.5.3.2 Stijgsnelheid

Overeenkomsten tussen de stijgsnelheid uit de overstromingssimulatie en de geobserveerde waarden is niet aangetoond. Dit kan veroorzaakt worden doordat de overstromingssimulatie de stijgsnelheid onnauwkeurig berekent, de geobserveerde waarden niet representatief zijn voor de gemeente, of de ooggetuigen onnauwkeurig geobserveerd hebben.

4.5.3.3 Stroomsnelheid

Van de opgetreden stroomsnelheid zijn geen geobserveerde waarden bekend. Er is geen reden om aan te nemen dat de gesimuleerde waarden niet juist zijn. Wel moet in ogenschouw genomen worden dat het overstromingsmodel stroomsnelheden berekent op een globale manier, gemodelleerd zonder obstakels in het gebied, maar met een bepaalde ruwheid van de ondergrond. Lokale stroomsnelheden zullen groter geweest zijn, doordat het water in werkelijkheid tussen obstakels (bebouwing) door heeft moeten stromen.

4.5.4 Aantal slachtoffers

4.5.4.1 Gebeurtenisniveau

Op gebeurtenisniveau benadert de huidige methode het daadwerkelijk gevallen aantal slachtoffers redelijk goed. De verhouding is een factor 1.31, wat betekent dat op dit niveau het model voldoet aan de eisen gesteld in (Jonkman 2005), waarin hij stelt dat een factor 2 tot 5 haalbaar moet zijn.

4.5.4.2 Eilandniveau

Op eiland niveau geldt voor een aantal eilanden dat het aantal slachtoffers goed benaderd wordt, en voor een aantal eilanden juist niet. Ook valt op dat enkele eilanden duidelijk zwaarder zijn getroffen dan anderen, wat ook naar voren komt in de slachtofferfracties.

4.5.4.3 Gemeenteniveau

Wordt op gemeenteniveau naar de aantallen slachtoffers gekeken, dan valt op dat een aantal gemeenten sterke afwijkingen met de geobserveerde aantallen vertonen, en dat dezelfde gemeenten verantwoordelijk zijn voor grote afwijkingen op eilandniveau.

De aantallen slachtoffers in deze gemeenten zijn te verklaren, doordat de waterdiepte uit de overstromingssimulatie sterk afwijkt van de geobserveerde waarde (zoals bij Stavenisse), of dat de grote waterdiepte, die volgens het model de oorzaak is van de grote slachtofferfractie pas bij de tweede vloed is opgetreden, waardoor de vluchttijd groot is geweest (zoals bij Kruiningen).

Daarnaast kan ook het gebruik van twee verschillende functies voor grote en kleine stijgsnelheid als oorzaak voor de verschillen worden aangewezen. Bij grote afwijkingen tussen geobserveerde en berekende aantallen wordt het geobserveerde aantal wel goed benaderd bij gebruik van de andere functie (die voor grote, danwel kleine stijgsnelheid).

Verder wordt vermoed dat er andere factoren meespelen dan waterdiepte en stijgsnelheid, zoals grootte van de polder of tijd om te vluchten.



5 BESCHOUWING HUIDIGE METHODE

In het vorige hoofdstuk zijn de verschillende onderdelen van het model ter inschatting van het aantal slachtoffers bij een overstroming vergeleken met observaties ten tijde van de Watersnoodramp 1953. Daarnaast is ook de precieze werking en afleiding van het model bekeken.

Hieruit zijn enkele onnauwkeurigheden naar voren gekomen. Deze worden beschreven in paragraaf 5.1

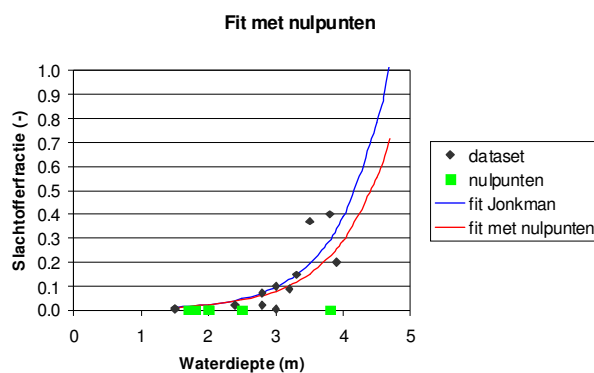
De onzekerheid die naar voren komt uit het gebruik van een beperkt aantal datapunten wordt vervolgens beschreven in paragraaf 5.2. Daar is een methode ontwikkeld om deze onzekerheid te kwantificeren.

5.1 Onnauwkeurigheden

5.1.1 Overstroomde gemeenten zonder slachtoffers

In de analyse van (Jonkman 2004) was niet onderzocht welke locaties waren overstroomd. Een aantal locaties zonder slachtoffers, die wel zijn getroffen door de overstroming, zijn daardoor niet meegenomen in de afleiding van de functies. Wanneer de berekenmethode wordt omgedraaid is niet bekend waar wel slachtoffers vallen, en waar niet. Door alleen punten mee te nemen waar slachtoffers vallen, wordt de verhouding tussen slachtoffers en het aantal blootgestelden te hoog ingeschat. Over het hele gebied zijn namelijk meer blootgestelden dan alleen in de gebieden waar slachtoffers gevallen zijn, terwijl het aantal slachtoffers wel het totale aantal betreft. Gedeeld door elkaar komt de slachtofferfractie te hoog uit.

Wordt vervolgens een schatting gemaakt door deze fractie te vermenigvuldigen met een aantal mensen dat is blootgesteld aan een overstroming, dan is niet a-priori bekend waar slachtoffers vallen, en wordt het totale aantal blootgestelde mensen meegenomen. Een te hoog ingeschat aantal zou dan het resultaat zijn.



Figuur 5.1: Fit met nulpunten

Dit is geïllustreerd in Figuur 5.1 waar de fit met (fictieve) nulpunten een lagere slachtofferfractie oplevert dan de originele fit uit (Jonkman 2004).

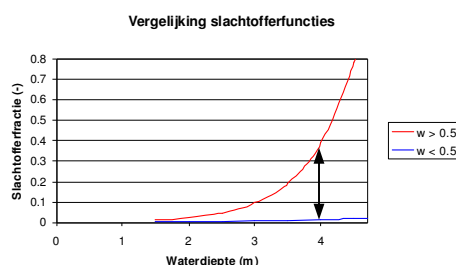
Door de manier van afleiden (kleinste-kwadraten-methode) is het ook mogelijk dat een slachtofferfunctie wordt gevonden, die bij kleine waterdiepten boven de oorspronkelijke functie

ligt en bij grotere waterdiepten eronder. Dit hangt af van het aantal nulpunten en hun bijbehorende waterdiepte.

Aangezien van gemeenten zonder slachtoffers niet bekend is wat de geobserveerde stijgsnelheid is, is niet bekend welke punten, meegenomen hadden moeten worden in de afleiding van de functie. Daarom wordt dit in Figuur 5.1 geïllustreerd met fictieve nulpunten. Hier levert de fit met (fictieve) nulpunten een lagere slachtofferfractie dan de originele fit uit (Jonkman 2004).

5.1.2 Gevoeligheid voor stijgsnelheid

Zoals bij de nadere analyse van dorpen met uitschietende aantallen berekende slachtoffers naar voren is gekomen, is de huidige methode erg gevoelig voor verschillende waarden van de stijgsnelheid. In (Jonkman 2004) is de aanname dat mensen nog kunnen vluchten (wat iets anders is dan evacueren), wanneer zij langer dan 3 uur de tijd hebben tot het water tot nekhoogte reikt (1,5 meter). Zo is de grens tussen twee verschillende formules op 0,5 m/u gezet, al zou ook een andere waarde gekozen kunnen zijn.



Figuur 5.2: Vergelijking slachtofferfuncties

De grenswaarde is niet het probleem, maar het grote verschil in uitkomst bij grotere waterdieptes (Figuur 5.2). Om dit te voorkomen dient de aanpak te veranderen.

Meerdere oplossingen zijn mogelijk:

- Splitsing op basis van stijgsnelheid verwijderen
- Meer dan 2 klassen onderscheiden
- Continue stijgsnelheid opnemen in de functie
- Andere variabele gebruiken, die wel of niet gerelateerd is aan de stijgsnelheid (Bijvoorbeeld: *time-to-wet*)

5.1.3 Stroomsnelheid globaal berekend

Door het ontbreken van gedetailleerde informatie van bebouwing in het overstromingsmodel wordt de stroomsnelheid globaal gesimuleerd. Door een versmalde doorgang tussen verscheidene gebouwen zal de stroomsnelheid sterk toenemen, waardoor muren zullen bezwijken of ondergraving zal optreden. In het Sobek model wordt de stroomsnelheid berekend, welke optreedt in een landschap zonder grote obstakels, zoals bebouwing.

Grootte gridcellen

Bij de berekening van de overstromingssimulatie wordt gebruik gemaakt van gridcellen van $100 \times 100 \text{ m}^2$. Hierdoor wordt er ook voor de overige overstromingskenmerken (zoals waterdiepte) een over dat gebied gemiddelde waarde berekend.

De gridcelgrootte zou kunnen worden aangepast, maar wanneer deze te klein wordt, zal de overstromingssimulatie lokale waarden berekenen, waardoor de inwoners (gelokaliseerd in postcodepunten) allemaal gegroepeerd worden blootgesteld aan lokale waarden.

Voor een verandering van de celgrootte is het dus ook benodigd de inwonerverdeling nauwkeuriger te maken.

5.1.4 Stijgsnelheid en stroomsnelheid gevoelig voor bodemruwheid

De overstromingskenmerken stijgsnelheid en stroomsnelheid zijn sterk afhankelijk van de in het overstromingsmodel ingevoerde bodemruwheid. In Bijlage 5 is een analyse bijgevoegd, waaruit blijkt dat een wijziging in bodemruwheid grote verschillen in stroom- en stijgsnelheid veroorzaakt.

Aangezien in de huidige methode gebruik wordt gemaakt van twee functies voor verschillende waarde van de stijgsnelheid is het bepaalde aantal slachtoffers afhankelijk van de bodemruwheid.

Daarbij is er ook een zone aangewezen waar slachtoffers vallen door stroomsnelheid. Daaruit volgt dat ook in die zone het aantal slachtoffers afhankelijk is van de ingevoerde bodemruwheid.

5.1.5 Conservatief gebruik $h \cdot v$

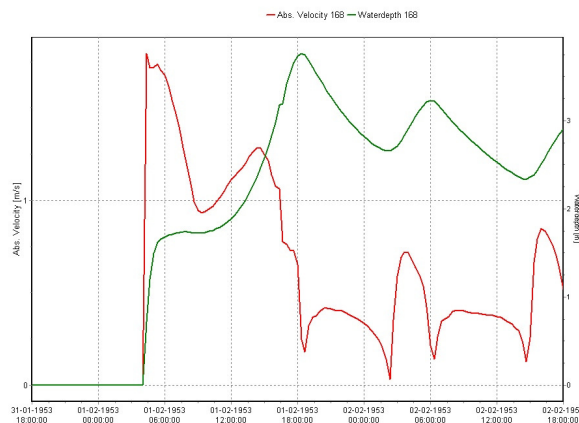
In de standaardmethode wordt gebruik gemaakt van het product van waterdiepte en stroomsnelheid om instorten van gebouwen nabij de bres te simuleren. In de berekenmethode wordt deze als volgt toegepast:

$$h_{\max} \cdot v_{\max} \geq 7m^2 / s$$

Terwijl bedoeld is:

$$(h \cdot v)_{\max} \geq 7m^2 / s$$

De maximale diepte en stroomsnelheid zullen in het algemeen niet tegelijkertijd optreden. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van enkele grafieken met globaal verloop van de stroomeigenschappen.



Figuur 5.3: Tijdsverschil tussen v_{\max} en h_{\max}

Doordat de maxima nooit tegelijkertijd plaatsvinden, is het resultaat van het product van v_{\max} en h_{\max} groter dan $(h \cdot v)_{\max}$.

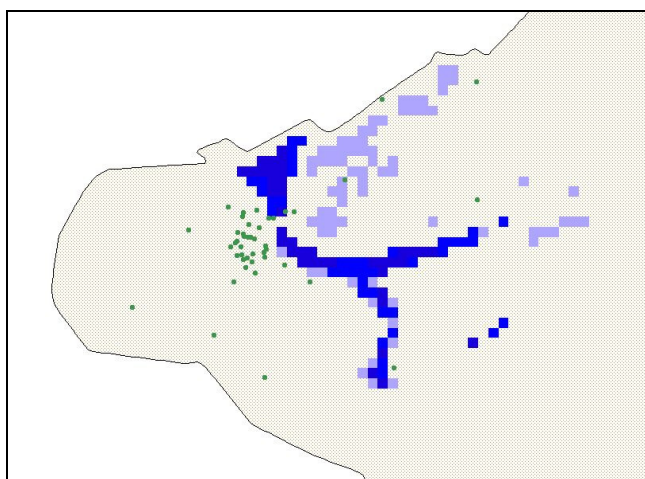
Figuur 5.3 laat zien dat het vermenigvuldigen van de maxima niet hetzelfde is als het maximum van de vermenigvuldigingen. Bovenstaande figuur geeft de situatie weer in de buurt van Serooskerke, vlakbij de enige locatie waar volgens de methode slachtoffers vallen door deze oorzaak.

5.1.6 Inwoners gegroepeerd in postcodepunten

Doordat het CBS-bestand opgebouwd is uit postcodepunten in plaats van woningen zijn alle woningen (en daarmee inwoners) van een postcode gegroepeerd in één punt. In gevallen van sterk afwijkende stroomeigenschappen levert dit sterk uiteenlopende waarden op in de slachtofferberekening.

Sommige delen van een postcode kunnen bijvoorbeeld te maken krijgen met grote stijgsnelheden, terwijl andere delen misschien wel droog blijven. Het resultaat van de berekening is dan sterk afhankelijk van de precieze locatie van het postcodepunt. Ligt dit in het droge gebied, dan is het aantal slachtoffers laag, ligt het punt in het gebied met grote stijgsnelheid en waterdiepte, dan is het aantal slachtoffers hoog, volgens de berekening.

De groene punten in Figuur 5.4 zijn postcodepunten en hebben als eigenschap een benadering van het aantal inwoners dat zich daar in 1953 bevond. De blauwe vlakken stellen gebieden voor met grote stroomsnelheid.



Figuur 5.4: Inwoners gegroepeerd in postcodepunten

De postcodepunten liggen in de buurt van het geografische midden van een postcode. Hierdoor bevindt zo'n punt zich zeer zelden in de buurt van een bres, terwijl daar daadwerkelijk huizen stonden. Hierdoor vallen in de simulatie in de gebieden nabij de bres geen slachtoffers, terwijl die daar tijdens de Watersnoodramp wel zijn gevallen.

Een ander punt is het feit dat er met aantallen inwoners gewerkt wordt. Wanneer de Standaardmethode wordt gebruikt voor gebieden, waar het aantal aanwezigen sterk afwijkt van het aantal inwoners, wordt het aantal slachtoffers verkeerd voorspeld. Hierbij moet gedacht worden aan recreërende of werkende mensen. Voor dergelijke gebieden benadert het aantal inwoners het aantal aanwezigen minder goed.

5.1.7 Windopzet in overstromingssimulatie

In het computerprogramma dat gebruikt wordt om de overstroming te simuleren wordt alleen rekening gehouden met de fysieke omgevingskenmerken als ruwheid, hoeveelheid water, zodat de stroomsnelheden en waterdieptes berekend kunnen worden. In dit programma wordt geen rekening gehouden met windopzet, wat bij een storm van enkele uren in gebieden met een

beperkte waterdiepte tot aanzienlijke hoogteverschillen kan leiden, mits de strijklengte lang genoeg is. Een formule die vaak gebruikt wordt voor het benaderen van de windopzet is:

$$i_w = c_w \cdot \frac{\rho_{lucht}}{\rho_{zeewater}} \cdot \frac{U^2}{g \cdot d} \quad (5.1)$$

waarna geldt voor een gesloten bassin (zoals de polders):

$$\eta_w = i_w \cdot \frac{F}{2} \quad (5.2)$$

Waarin

$\Delta h_w =$ windopzet (m)

$c_w =$ lucht/water wrijvingscoëfficiënt: $0.8 \cdot 10^{-3} - 3.0 \cdot 10^{-3}$

$\rho_{lucht} \cdot \rho_{zeewater} =$ dichtheid van zeewater en lucht (1030, 1.21 kg/m³)

$U =$ windsnelheid (m/s)

$g =$ zwaartekrachtversnelling (m/s²)

$d =$ waterdiepte (m)

$F =$ aangrijplengte (m)

Een handberekening levert, met representatieve waarden, die voorgekomen kunnen zijn tijdens de Watersnoodramp, waterstandsverschillen van:

$$\eta_w = \frac{1.21}{1030} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{30^2}{10 \cdot 2} \cdot \frac{2000}{2} = 0.11m$$

In (Leidraad Rivierdijken II) wordt voor gesloten gebieden een andere formule gebruikt, welke voor deze waarden op ongeveer hetzelfde resultaat uitkomt:

$$dd_h = \sqrt{c_w \cdot \rho_{lucht} / \rho_{zeewater} \cdot F \cdot \frac{u^2}{g} + h^2} - h \quad (5.3)$$

wat uitkomt op:

$$dd_h = \sqrt{2.0 \cdot 10^{-3} \cdot 1.21/1030 \cdot 2000 \cdot \frac{30^2}{10} + 2^2} - 2 = 0.10$$

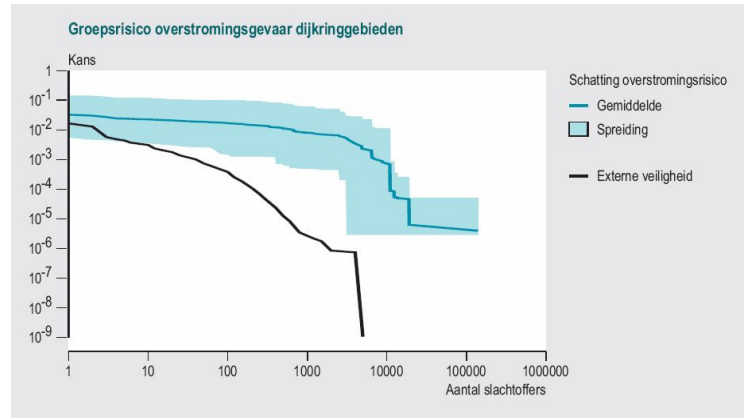
Dit betekent dat de voorspelde waterstand onder invloed van sterke wind ongeveer 11 cm groter of kleiner kan worden. Dit is een extreme waarde die kan voor komen in polders in Zeeland.

In dit voorbeeld is gerekend met een zeer hoge windsnelheid, en is de aanname gedaan dat een polder geheel is overstroomd en het water zich hetzelfde beweegt als in een meer. Door de invloed van de vele obstakels is de verwachting dat dit evenwicht zich minder snel zal vormen. Daardoor zal het waterstandsverschil onder invloed van kleiner zijn dan hierboven berekend.

5.2 Betrouwbaarheidsinterval

Het gebruik van slachtofferfuncties om slachtofferfracties voor een bepaald gebied te bepalen gaat gepaard met onzekerheid. In een model kunnen in de regel niet alle, maar slechts de meest significante, slachtofferbepalende factoren worden meegenomen. Deze onzekerheid is in het bestaande slachtoffermodel niet toegevoegd.

Voor het bepalen van de onzekerheid kan gebruik gemaakt worden van het betrouwbaarheidsinterval.



Figuur 5.5: Spreiding rond aantal slachtoffers in FN-curve (schematisch)

Het is nodig deze onzekerheid in kaart te brengen aangezien deze doorwerkt tijdens het verdere gebruik van de resultaten, zoals risico-inschattingen.

Door de hoeveelheid punten is het niet mogelijk een dergelijk interval te bepalen op basis van die punten alleen. Om die reden wordt de volgende methode voorgesteld en gebruikt.

In onderstaande resultaten wordt als voorbeeld de relatie tussen waterdiepte (bepaald met behulp van het AHN bestand) en de slachtofferfractie gebruikt.

5.2.1 Analytische bepaling van het betrouwbaarheidsinterval (gelineariseerd)

Op analytische wijze kan het betrouwbaarheidsinterval als volgt bepaald worden:

$$\hat{Y} - t_{n-2, \alpha/2} \cdot S_{\hat{Y}} \leq E(Y) \leq \hat{Y} + t_{n-2, \alpha/2} \cdot S_{\hat{Y}}$$

waar

$$S_{\hat{Y}} = S \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(X_p - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}$$

Deze formule is afgeleid voor een lineaire functie. Om deze toe te kunnen passen dient de te gebruiken functie ($y = a \cdot e^{bx}$) gelineariseerd te worden.

Hieruit volgt:

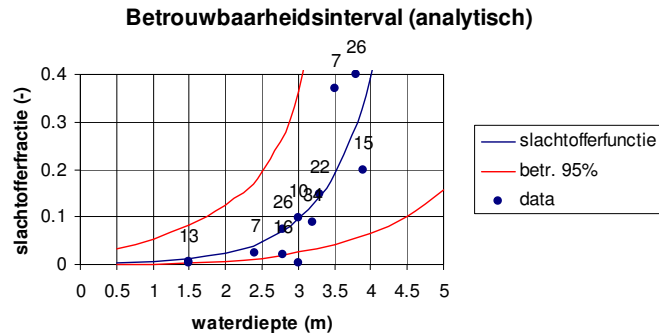
$$\ln(y) = \ln(a) + b \cdot x \quad (5.4)$$

echter:

$\ln(0) = -\infty$

De punten met een slachtofferfractie gelijk aan 0 zijn niet meegenomen in de analyse, waardoor de bepaalde betrouwbaarheidsintervallen afwijken van de daadwerkelijke. Dit is ook te zien in te zien in de figuur, waar de zowel de ondergrens als de bovengrens te hoog lijken te liggen.

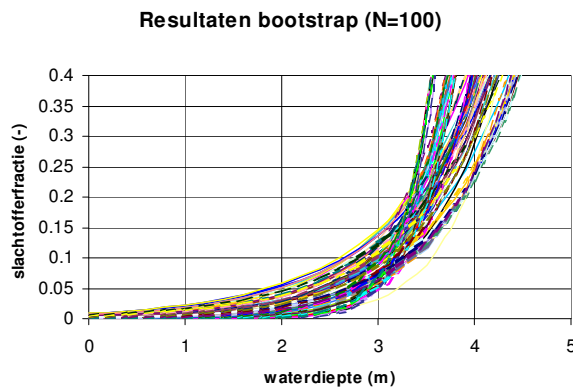
Het resultaat is dan als in Figuur 5.6.



Figuur 5.6: Betrouwbaarheidsinterval, analytisch bepaald

5.2.2 Bootstrap simulatie met kleinste-kwadraten-methode

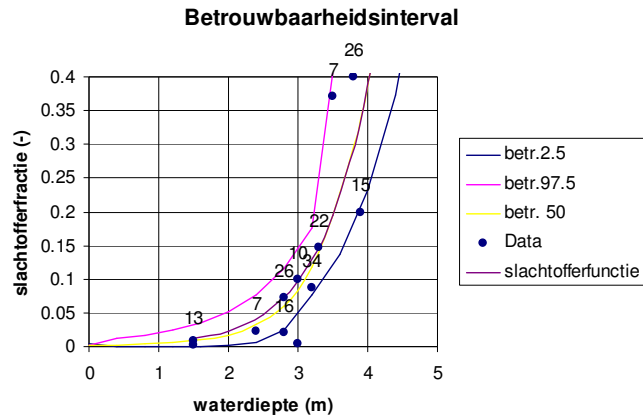
Uit de dataset van N punten worden, met teruglegging, steeds N punten geselecteerd. Dit wordt $100 \cdot N$ maal herhaald, waardoor er evenzoveel datasets beschikbaar zijn. Van al deze datasets wordt de beste fit bepaald. Vervolgens kan op basis van deze fits een interval bepaald worden, betreffende de onzekerheid van de functie. In Figuur 5.7 zijn de beste fits gevisualiseerd.



Figuur 5.7: Beste fits van gebootstrapte datasets

In Figuur 5.8 is het 95% betrouwbaarheidsinterval aangegeven, berekend op bovenstaande manier. Hierin is ook de middelste van de bootstraps ingevoegd en de beste fit van de originele dataset.

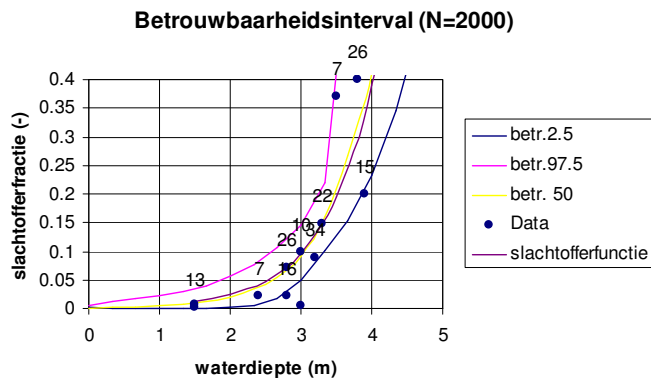
Opvallend is dat deze van elkaar verschillen.



Figuur 5.8: Betrouwbaarheidsintervallen waterdiepte (N=100)

Wordt de procedure herhaald met N=2000 dan ligt de best fit vlak tegen het 0% betrouwbaarheidsinterval (de 50% lijn).

Het grote verschil tussen de figuur met N=100 en de figuur met N=2000 (Figuur 5.9) maakt duidelijk dat deze methode vaak herhaald moet worden om betrouwbaar te zijn.



Figuur 5.9: Betrouwbaarheidsintervallen waterdiepte (N=2000)

5.2.3 Conclusie vergelijking bootstrapmethode en analytische methode

De bootstrapmethode is ter vergelijking nogmaals uitgevoerd met de data uit (Jonkman 2004). Jonkman bepaalt daarin, voor een twaalftal punten, het 95% betrouwbaarheidsinterval op andere analytische wijze en stelt formules op voor de grenzen. De formules, die genoemd worden in dat rapport komen niet overeen met de datapunten die gevonden zijn. In dit geval wordt gebruik gemaakt van de datapunten, aangezien deze betrouwbaarder lijken. De functie voor de bovengrens van 97.5 % is namelijk bijna gelijk aan de gefitte functie, wat niet realistisch lijkt.

De berekening uitgevoerd in (Jonkman 2004) kan niet worden gereproduceerd. Een vergelijking op basis van de resultaten geeft niet hetzelfde resultaat als de bovengenoemde analytische methode. De bootstrapmethode geeft nogmaals een andere oplossing.

Voor de nieuwe dataset geeft de bootstrapmethode ongeveer hetzelfde resultaat als de analytische benadering. Het nadeel van de analytische benadering is echter het feit dat door de linearisering het volgende voorkomt:

$\ln(0)=-\infty$,

waardoor die punten voor deze analyse uit de dataset gehaald moeten worden.

Op basis hiervan wordt aangeraden de betrouwbaarheidsintervallen te gebruiken, als bepaald met de bootstrapmethode.

5.3 Conclusie

Kwantitatief is het effect van het totaal van deze onnauwkeurigheden niet te bepalen. In het vorige hoofdstuk is aangegeven dat de twee formules voor verschillende stijgsnelheden zowel een te hoog als te laag aantal kunnen berekenen (respectievelijk Kruiningen en Stavenisse). Van de andere punten is ook kwalitatief aangegeven in de afgelopen paragrafen wat de effecten zijn.

Sommige onnauwkeurigheden zijn wel duidelijk van grotere invloed dan de andere. De verschillen in waterdiepte die door windopzet worden veroorzaakt zijn klein, terwijl het niet samenvallen van h_{\max} en v_{\max} in sommige gebieden grote verschillen in uitkomst kan veroorzaken.

Verder blijkt uit het vorige hoofdstuk dat voor de hele gebeurtenis het aantal slachtoffers goed benaderd wordt, maar op andere niveaus een verbetering haalbaar kan zijn. In de komende paragrafen wordt de afleiding toegelicht.

Onzekerheid van de functie door middel van het betrouwbaarheidsinterval

Door de onverklaarde variantie in slachtofferfracties is het nodig de onzekerheid in kaart te brengen. De onzekerheid van de functies is in kaart gebracht door een het betrouwbaarheidsinterval te kwantificeren door middel van de bootstrapmethode.



6 VERBETERING SLACHTOFFERFUNCTIE

In de vorige hoofdstukken is de huidige methode geanalyseerd. In dit hoofdstuk wordt geanalyseerd of een verbetering van de huidige methode, op basis van overstromingssimulaties op de computer, mogelijk is. Hiervoor wordt getracht nieuwe functies af te leiden of de bestaande functies te kalibreren. Vervolgens wordt de onnauwkeurigheid gekwantificeerd door middel van het betrouwbaarheidsinterval.

In dit hoofdstuk zullen veel plaatsnamen worden genoemd. In de figuren zijn de datapunten gekoppeld aan de gemeenten, door middel van een datalabel. De nummers corresponderen met de gemeenten, en zijn vermeld in bijlagen 6.1-6.6. In deze bijlagen is de lokatie van de gemeente op het eiland weergegeven, en is tevens een overzicht van bresdoorbraken aangegeven (groene strepen of driehoeken).

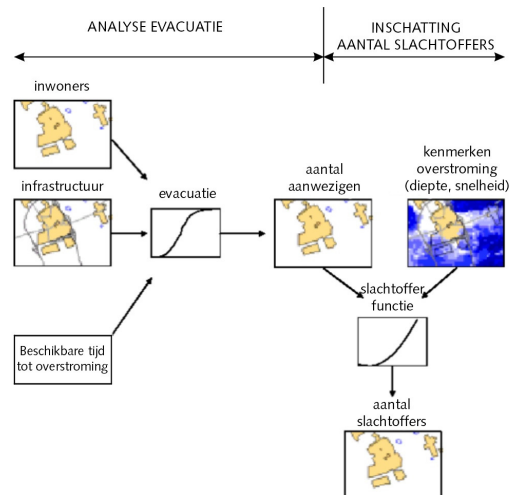
6.1 Modelvorming

6.1.1 Nederlandse methode

De geschiedenis van Nederlandse berekenmethoden herbergt verschillende functies, die allemaal in de basis dezelfde benadering van het probleem gebruiken.

Vanuit de fysische omstandigheden, die gelden tijdens de overstroming, wordt de slachtofferfractie berekend met behulp van een zogenaamde slachtofferfunctie.

Aangezien het doel in dit hoofdstuk het nauwkeuriger maken van het model is, is gekozen om dezelfde aanpak te gebruiken. Schematisch is dit uitgebeeld in Figuur 1.1, die hieronder nogmaals is ingevoegd in Figuur 6.1.



Figuur 6.1: Aanpak voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming (op basis van (Asselman 2003))

6.1.2 Combinatie van fysische en empirische achtergrond

Andere manieren om aantallen slachtoffers te berekenen, doen dit vanuit een andere inslag. Sommige methoden berekenen het aantal slachtoffers op theoretische gronden, zoals de gevolgen van stroomsnelheid en waterdiepte voor de stabiliteit van de mens of het gebouw. Andere studies leiden formules af, welke volledige op empirische basis berusten. Hierin wordt niet gezocht naar een fysische onderbouwing.

Deze studie bouwt voort op de methode, die zowel een fysische als empirische achtergrond heeft. De kenmerken van de overstroming worden gebruikt in de berekening om de Watersnoodramp van 1953 na te bootsen.

Om tot een goed resultaat te komen moet onderzocht worden in welke vorm deze overstromingskenmerken dienen te worden meegenomen (waterdiepte, stroomsnelheid of iets anders) en hoe deze gerelateerd zijn aan het aantal slachtoffers (welke functietype en welke coëfficiënten).

6.1.3 Modelleerstappen

De voorgestelde methode maakt gebruik van de relatie tussen de overstromingssimulatie en de geobserveerde slachtoffergegevens om nieuwe functies af te leiden. Vervolgens wordt de situatie tijdens de Watersnoodramp in 1953 nogmaals gesimuleerd om de berekening te controleren.

Volgens (Battjes, et al 1999) zijn gebruikelijke modelleerstappen:

- Schematisatie
- Modelformulering en opstellen model
- Validatie
- Calibratie
- Verificatie

Het te verbeteren model in dit onderzoek is van het empirische type. De schematisatie van de overstroming vindt plaats met behulp van Sobek. Vervolgens wordt een empirische relatie geprobeerd te vinden met slachtofferfracties, die optreden bij een overstroming.

Daarna zouden validatie, calibratie en verificatie moeten volgen. In dit geval kan alleen ingegaan worden op de punten validatie en calibratie.

Validatie houdt een kwalitatieve controle in, waar bij de vraag of het model plausibel is, wordt beantwoord. Dit is in hoofdstuk 4 gedaan, voor het model met de bestaande functies.

Voor verificatie zijn slachtoffergegevens benodigd van een andere overstroming in een gebied waar dit model toepasbaar is.

6.1.4 Nauwkeurigere functies voor inschatting op eilandniveau

In (Jonkman 2005) wordt gesteld dat een benadering van het aantal slachtoffers tot een factor 2 tot 5 van het daadwerkelijke aantal haalbaar moet zijn. In de vergelijking (paragraaf 4.4.4.1) tussen de berekende en geobserveerde aantallen blijkt een factor ($1705/1298 =$) 1,31 te zitten, waardoor die doelstelling gehaald is op gebeurtenis niveau. Op andere niveaus blijken voor sommige gebieden de verschillen vele malen groter te zijn. Het is wenselijk op eilandniveau het aantal slachtoffers beter te benaderen, om zo tot een betere risico inschatting te kunnen komen, en doeltreffender maatregelen te kunnen treffen.

Daarom wordt een poging ondernomen de aantallen slachtoffers met andere functies nauwkeuriger in te schatten.

Aanbevelingen die Jonkman in dezelfde memo doet zijn:

1. Verificatie van het model aan de hand van andere overstromingen

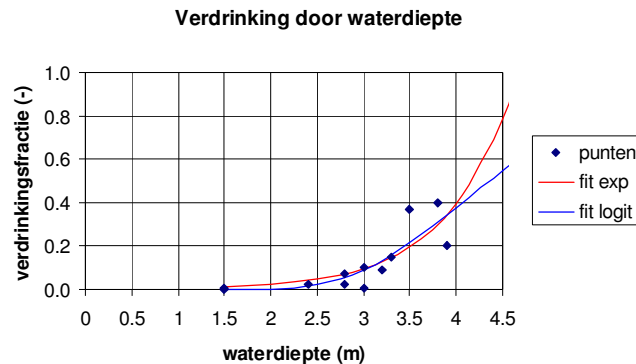
2. Verdere uitwerking van slachtofferinschattingen voor de Watersnoodramp op basis van bestaande overstromingssimulaties. Deze overstromingssimulaties bieden de mogelijkheid om lokale overstromingsomstandigheden te reconstrueren. Echter, een extra onzekerheid wordt geïntroduceerd omdat het de vraag is in hoeverre de schematisaties voor de simulaties (bresgroei, terreinmodel) overeenkomen met de situatie tijdens de Watersnoodramp.
3. Het afleiden van andere functievoorschriften op basis van de gegevens van 1953, bijvoorbeeld probit of logit functies. Deze functies hebben als voordeel dat ze asymptotisch tot sterftefractie 1 lopen, en wellicht een betere fit geven qua absolute slachtofferaantallen.

Dit onderzoek richt zich op punt 2, een nauwkeurige analyse van de bruikbaarheid van de simulaties.

Het eerste punt betreft het gebruik van andere overstromingen. Door het toevoegen van extra informatie om het gebruik van de functie generiek te maken, wordt de methode minder nauwkeurig voor de specifieke situatie in Zeeland, het gebied waar dit model voor bedoeld is. Het is wel mogelijk wanneer deze overstromingen hebben plaatsgevonden in een soortgelijk gebied met betrekking tot poldergrootte, bebouwingstype, etc.

Dit kan in een later stadium worden gedaan, om zo locatie specifieke methoden te ontwikkelen. Ook is deze informatie op het moment van schrijven niet beschikbaar.

Het derde punt is een aanname betreffende het gebruik van een ander functietype.



Figuur 6.2: Fit voor exponentiële en lognormale functie voor gegevens Jonkman

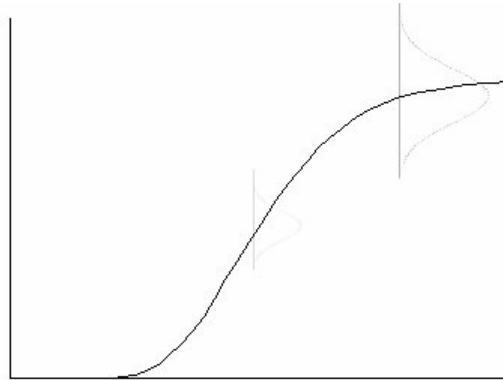
Een controle door middel van een fit probitfunctie (met $\mu=1.47$ en $\sigma=0.28$) levert een hogere R^2 ($=0.696$ tegen $R^2=0.645$ voor de exponentiële functie $f = 1.45 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1.39 \cdot h}$ uit (Jonkman 2004)) op, maar niet doordat de functie asymptotisch naar 1 loopt, zie Figuur 6.2.

Daarnaast is tijdens de analyse gebleken, dat een waterdiepte van boven 4 m weinig is voorgekomen. De functies verschillen in het gebruikte deel van het domein dus niet veel van elkaar.

Het gebruik van een dergelijk functietype behoort wel tot de mogelijkheden, maar dan op basis van het feit dat *hazard*functies in andere wetenschappen (zoals gezondheidszorg) ook op dergelijke functies zijn gebaseerd (zie paragraaf 6.3.1).

6.2 Selectie variabelen

Aangenomen is in (Jonkman 2004) dat de waterdiepte de belangrijkste variabele is bij het bepalen van het aantal slachtoffers. Het 'fitten' van het aantal slachtoffers met behulp van alleen één andere variabele geeft een minder goede correlatie. Voorgesteld wordt dan ook het aantal slachtoffers te benaderen als een functie van de waterdiepte, met om die lijn een kansverdeling. Daarnaast wordt deze lijn beïnvloed door andere minder belangrijke variabelen zoals stijgsnelheid, waarschuwingstijd, bebouwingsgegevens, etc. In Figuur 6.3 is deze benadering grafisch weergegeven. Op basis van de gegevens zal deze aanname getoetst worden.



Figuur 6.3: Schematische weergave slachtofferfunctie

Als een goede correlatie gevonden wordt, kan de functie uitgebreid worden met extra variabelen. Voor een gelineariseerde functie is de benadering als volgt:

$$y = a \cdot h + \varepsilon_1$$

$$y = a \cdot h + b \cdot w + \varepsilon_2$$

$$y = a \cdot h + b \cdot w + c \cdot t_w + \varepsilon_3$$

waarin geldt:

$$\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$$

a,b,c : constanten

h,w,t_w : variabelen (in dit voorbeeld respectievelijk waterdiepte, stijgsnelheid en aankomsttijd van het water)

6.2.1 Beperkt aantal variabelen

Door het beperkte aantal gemeenten dat overstromd is, is er een beperkt aantal punten dat gebruikt kan worden om de functie af te leiden. Theoretisch zouden er evenveel variabelen als punten in de dataset kunnen zijn (aantal variabelen gelijk aan aantal vergelijkingen).

Volgens (Lohninger 1999) raden de meeste auteurs op het gebied van data-analyse een factor 10 à 20 aan tussen het aantal variabelen en het aantal datapunten. Dit betekent voor deze studie een maximum van 2 à 4 variabelen.

6.3 Afgeleide slachtofferfunctie met behulp van overstromingssimulatie

Omschrijving gegevens	Oorsprong
Aantal blootgestelde personen	Berekend met GIS a.d.h.v. het overstroemd gebied uit de overstromingssimulatie en postcodepunten uit het CBS bestand (zie paragraaf 4.3.2)
Waterdiepte	Berekend per gemeente door een gemiddelde bodemhoogte, bepaald uit het AHN-bestand, af te trekken van het geobserveerde waterniveau (zie paragraaf 4.4.3.1)
Stijgsnelheid	Berekend met GIS uit gesimuleerde waterstanden (zie paragraaf 3.2.3).
Overige overstromingskenmerken (zoals stroomsnelheid, time-to-wet, etc.)	Berekend met GIS uit het gesimuleerde overstromingsverloop (zie paragraaf 4.3.1).
Slachtofferfractie	Berekend aan de hand van het geobserveerde aantal slachtoffers en het met GIS bepaalde aantal blootgestelden.

Tabel 6.1: Gebruikte gegevens voor afleiding van nieuwe slachtofferfunctie

6.3.1 Selectie functietype

Fysische of empirische relatie

Om een relatie tussen een variabele en de slachtofferfractie te beschrijven kan gekozen worden uit verscheidene functietypen.

Fysische relaties volgen uit het oplossen van een stelsel van procesbeschrijvende vergelijkingen.

In het geval van slachtofferfuncties wordt aangenomen dat de relatie tussen een variabele een ingewikkelde samenloop van omstandigheden beschrijft, waardoor een empirische functie gebruikt zal moeten worden.

De keuze voor een bepaald functietype kan op verschillende manieren gemaakt worden, namelijk door:

- *Goodness-of-fit*
- Fysische omstandigheden

Klein monster niet per definitie representatief voor populatie

Wanneer alleen naar de cijfers in de dataset gekeken wordt, kan op grond van de mate waarin een formule deze dataset benadert, een verdelingstype gekozen worden. Een dataset is een selectie uit een verdeling, en die selectie hoeft niet tot een representatieve beste fit te leiden voor de verdeling, aangezien dit maar een klein gedeelte is van de totale verzameling aan punten (de populatie). Wanneer nog een aantal trekkingen gedaan wordt uit de originele verdeling, kan de *goodness-of-fit* test een andere uitslag krijgen.

De voorkeur heeft het dan ook eerst het type verdeling, of een selectie van meerdere verdelingen, te bepalen op grond van fysische aspecten, en vervolgens de parameters te bepalen door met een formule de dataset zo goed mogelijk te benaderen. Hiervoor zijn verschillende methodes ontwikkeld. Er zijn verscheidene regressiemethoden. In dit onderzoek wordt gewerkt met de kleinste-kwadraten-methode.

Twee typen berekening correlatiecoëfficiënt

Tijdens het afleiden van een slachtofferfunctie zal de correlatiecoëfficiënt bepaald worden door de geobserveerde slachtofferfractie te vergelijken met het resultaat van de slachtofferfunctie waarin de gemiddelde waarde voor de gemeenten is ingevoerd. Op deze manier wordt geen gebruik gemaakt van het slachtoffermodel.

Ter controle zal in enkele gevallen de slachtofferfunctie ingevoerd worden in het slachtoffermodel, waarna de ruimtelijk verdeelde waarde zal worden gebruikt, in plaats van een gemiddelde waarde per gemeente. Het aantal slachtoffers dat daaruit naar voren komt, zal omgerekend worden naar een slachtofferfractie, waarna wederom de correlatie tussen de geobserveerde en gesimuleerde waarde kan worden bepaald.

Voor een slachtofferfunctie wordt vaak een Logit of Probit functie gebruikt.

6.3.1.1 Logit functie

Exponentiële functies zijn veel gebruikt in slachtofferfuncties, maar ook bij andere betrouwbaarheidsanalyses.

Nadelen van dit type functie zijn:

- Erg steil verloop bij grotere x-waarden
- Gaat niet door nulpunt

De exponentiële functie heeft als vorm:

$$f = e^{-\frac{h-A}{B}} \text{ met } 0 \leq h \leq A \text{ en } B < 0$$

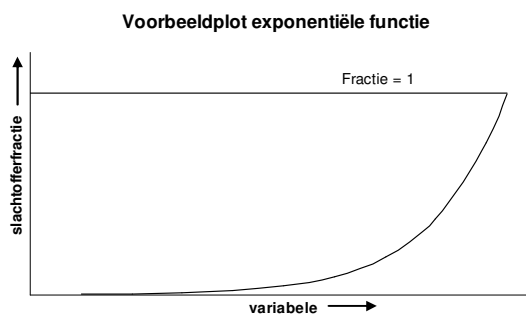
Dit kan herschreven worden in de vorm die in dit rapport gebruikt zal worden:

$$f = e^{-\frac{h}{B}} \cdot e^{\frac{A}{B}} = a \cdot e^{b \cdot h} \text{ waarin}$$

$$a = e^{\frac{A}{B}}$$

$$b = -\frac{1}{B}$$

In Figuur 6.4 is een voorbeeld van dit functietype weergegeven.



Figuur 6.4: Voorbeeldplot exponentiële functie

6.3.1.2 Probit functie

Probit functies worden nog niet veel gebruikt in slachtofferfuncties, maar wel in andere betrouwbaarheidsanalyses.

Voordelen van deze typen functies zijn:

- Gaat door nulpunt
- Gaat asymptotisch naar 1

De probit functie is de inverse cumulatieve verdelingsfunctie van de normale verdeling.

Lognormale verdelingsfunctie

Voor slachtofferfuncties lijkt de cumulatieve verdelingsfunctie van de lognormale verdeling meer geschikt. Volgens (Wikipedia, Log-normal distribution) kan een variabele lognormaal worden gemodelleerd als het beschouwd wordt als het product van veel kleine (al dan niet onafhankelijke) factoren. In het geval van slachtofferfuncties is dit het geval, aangezien tijdens een overstroming veel factoren een rol lijken te spelen bij de kans op overlijden, zoals instorten van bebouwing, maar ook de mate van risico, wat mensen nemen tijdens de overstroming.

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x)}{\sigma}\right) \text{ voor: } x \geq 0; \sigma \geq 0 \quad (6.1)$$

Waar Φ de cumulatieve verdelingsfunctie van de normale verdeling is.

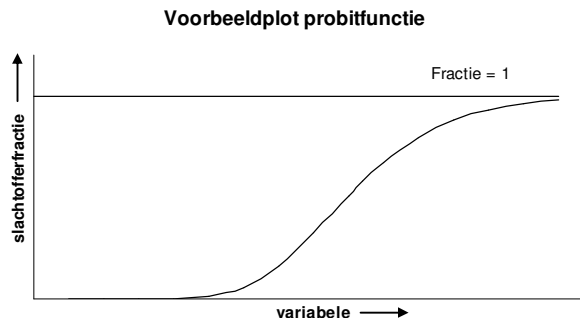
De cumulatieve verdelingsfunctie is niet te berekenen met een gesloten formule, maar wordt numeriek geïntegreerd, met behulp van:

$$f(x) = \frac{e^{-(x-\mu)^2 / (2\sigma^2)}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

In het vervolg zal deze formule als volgt worden omschreven:

$$f = LOGN(x, \mu, \sigma)$$

Een voorbeeld van dit type functie is bijgevoegd in



Figuur 6.5: Voorbeeldplot probitfunctie

6.3.1.3 Conclusie

De voorgestelde typen functies hebben verschillende eigenschappen. Zo vallen bij een exponentiele functie steeds meer slachtoffers naarmate de variabele een grotere waarde krijgt, zowel cumulatief als relatief ten opzichte van lagere waarden. Dit zou fysisch verklaard kunnen worden door het feit dat het extremer worden van een variabele leidt tot een vergroting van het aantal slachtoffers. (N.B. de afgeleide is immers ook een exponentiële functie)

Bij de probitfunctie neemt het aantal slachtoffers relatief eerst toe, waarna boven een bepaalde waarde het cumulatieve aantal nog wel toeneemt, maar relatief ten opzichte van lagere waarden, minder slachtoffers vallen. Een fysische verklaring hiervoor is dat mensen een zodanig goede schuilplaats hebben gevonden dat een groot deel niet meer gevaar loopt. De zwakkeren zullen eerst overlijden en wanneer deze zijn weggefallen zal het aantal slachtoffers minder snel toenemen.

Beide typen functies zijn mogelijk. Op basis van de eigenschappen van de functies is geen keuze te maken. Verwacht wordt dat ook op basis van *goodness-of-fit* geen goede keuze is te maken. Tijdens enkele voorlopige fitpogingen is gebleken dat de determinatiecoëfficiënt van beide functies elkaar niet veel ontlopen, wat veroorzaakt wordt door het feit dat in de lage regio's van het domein de functies op elkaar lijken.

6.3.2 Relatie geobserveerde waterdiepte en slachtofferfractie

6.3.2.1 Afleiding op basis van nieuw aantal blootgestelden

In deze paragraaf wordt gebruik gemaakt van de waterdieptes, die bepaald zijn met behulp van geobserveerde waterniveaus en bodemhoogtes uit het AHN-bestand, zoals vermeld in Tabel 6.1.

Voor enkele gemeenten is niet uit (Rijkswaterstaat 1961) bekend wat het waterniveau precies geweest is. Op deze punten is de lijst aangevuld met waterdieptes uit de simulatie.

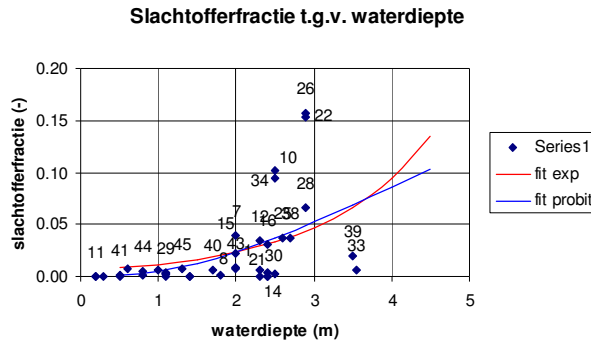
Uit vorige paragrafen blijkt dat op basis van alleen de simulaties geen relatie gevonden kan worden tussen waterdiepte en slachtofferfractie. Vermoed wordt dat de waterdiepten uit de simulatie op een aantal punten teveel afwijken van de geobserveerde waarden, waardoor er een extra onnauwkeurigheid wordt geïntroduceerd, en de relatie minder duidelijk wordt.

Deze onnauwkeurigheid wordt verwijderd, wanneer getracht wordt de relatie te vinden op basis van het aantal blootgestelde personen, dat opnieuw berekend is met behulp van GIS, en de geobserveerde waterdiepten.

Andere fracties door nauwkeuriger aantal blootgestelden

Deze aanpak verschilt van de analyse van Waarts en Jonkman, omdat:

- Het aantal blootgestelde personen met GIS is berekend. Dit wordt nauwkeuriger geacht.
- Doordat het aantal overleden personen gelijk blijft, zijn slachtofferfracties in een aantal plaatsen veranderd.



Figuur 6.6: Slachtofferfractie t.g.v. geobserveerde waterdiepte

In Figuur 6.6 is de aangevulde lijst met waterdiepten uitgezet tegen slachtofferfracties, welke berekend zijn met nauwkeurigere aantallen People-Exposed.

$$f = 5.7 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0.70 \cdot x} \text{ met } R^2 = 0,22 \quad (6.2)$$

$$f = \text{LOGN}(h, 2.92, 1.12) \text{ met } R^2 = 0.26$$

6.3.2.2 Outliers

Wat opvalt is dat er drie punten zijn, die bij een relatief hoge waterstand een lage slachtofferfractie geven. Het vermoeden ontstaat dat het hier drie outliers betreft.

Deze punten corresponderen met de gemeenten:

- Bruinisse
- Kruiningen
- Sint Maartensdijk

Bruinisse

Bruinisse (nummer 14) is een uitzonderlijk geval geweest tijdens de Watersnoodramp in 1953. Dit was de enige gemeente, welke pas bij de tweede vloed is overstroomd. In (Slager, 1992, blz. 136) wordt duidelijk dat Bruinisse op zondagmorgen nog droog is, en dat de inwoners van het dorp op dat moment op de hoogte zijn van het feit dat de rest van het eiland wel is overstroomd. Dit geeft hen volop de gelegenheid zichzelf in veiligheid te brengen.

Kruiningen

In Kruiningen (nummer 39) is een soortgelijke situatie geweest. Tijdens de eerste vloed is er een beperkte hoeveelheid water de polder ingelopen, waardoor vermoedelijk weinig gevaarlijke situaties zijn ontstaan. De waterdiepte tijdens de eerste vloed is volgens de simulaties ongeveer 1.4 m geweest.

Voor de tweede vloed, welke de extreem hoge waterstanden opleverde, kon men zich voorbereiden. Waarschijnlijk is hierdoor het aantal slachtoffers beperkt gebleven. Kruiningen is (volgens de simulatie) de gemeente met het grootste verschil tussen de waterstand tijdens de 1^e vloed en de waterstand tijdens de 2^e vloed. Dit verschil bedraagt 2.1 meter.

Sint Maartensdijk

Ook in Sint Maartensdijk (nummer 33) is de grote waterdiepte pas relatief laat bereikt. Het water dat in deze polders terecht is gekomen, is via waterschap Stavenisse en de Uiterst-Nieuwlandpolder uiteindelijk de Noordpolder ingelopen (Rijkswaterstaat 1961), waar een gedeelte van de gemeente Sint Maartensdijk zich bevindt.

Vanuit een overstromingssimulatie is berekend dat de gemiddelde tijd ongeveer 30 uur is geweest na de eerste doorbraak, totdat het water in Sint Maartensdijk een diepte van 1,5 m had bereikt. Dit heeft ervoor gezorgd dat ook de inwoners van dit dorp gewaarschuwd zijn, en allerhande maatregelen hebben kunnen treffen.

N.B. de 30 uur moet indicatief worden beschouwd, niet absoluut.

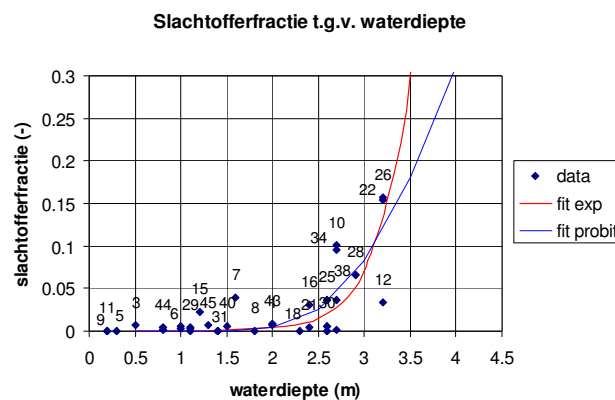
Meer outliers (op Zeeuws Vlaanderen)

De gemeenten op Zeeuws Vlaanderen zijn zeer licht getroffen. Van twee van de gemeenten, die eigenlijk wel blootgesteld zijn aan de overstroming, zijn volgens de simulatie maar ongeveer 100 mensen blootgesteld. Hierdoor is de slachtofferfractie met een grote onzekerheid omgeven, aangezien elk slachtoffer ongeveer 0.01 bijdraagt aan de slachtofferfractie. Deze gemeenten zijn Zaamslag en Vogelwaard en zullen niet worden beschouwd in de verdere analyse. Daarnaast zijn van de gemeente Hontenisse geen betrouwbare waterdieptegegevens gevonden. Hierom wordt ook deze gemeente buiten beschouwing gelaten.

6.3.2.3 Functie op basis van punten exclusief outliers

Op basis van de scatterplot en een nadere beschouwing wordt aangenomen dat deze zes punten outliers zijn, en kunnen worden weggelaten bij de afleiding van een functie om de slachtofferfractie te berekenen.

Wordt de grafiek opnieuw geplott, zonder deze outliers, dan wordt een verband tussen waterdiepte en slachtofferfractie duidelijk.



Figuur 6.7: Slachtofferfractie t.g.v. waterdiepte, zonder outliers

In Figuur 6.7 zijn de datapunten nogmaals geplott, maar nu zonder bovengenoemde outliers. Tevens zijn hier twee lijnen doorheen gefit, een exponentiële functie en een probit functie.

Een exponentiële functie: $1.01 \cdot 10^{-5} \cdot e^{2.95 \cdot h}$ met $R^2 = 0.60$ (6.3)

$f = \text{LOGN}(h, 1.4, 0.25)$ met $R^2 = 0.62$ (6.4)

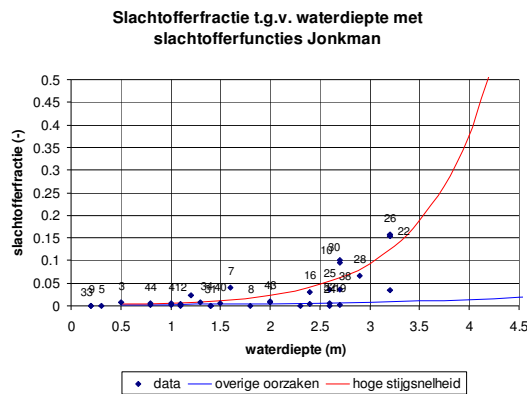
Beide functies geven een goede fit.

6.3.2.4 Vergelijking met slachtofferfuncties uit (Jonkman 2004)

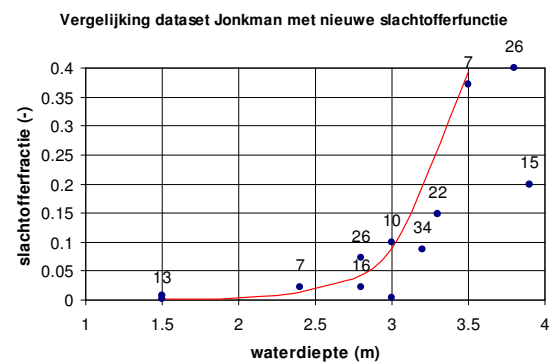
Ter illustratie zijn in Figuur 6.8 ook de functies uit (Jonkman 2004) toegevoegd. Bij kleine waterdiepte ligt de nieuwe functie onder de oude. Dit is te verklaren doordat een aantal nulpunten (gemeenten zonder slachtoffers) is toegevoegd en dat er geen scheiding meer is gemaakt tussen punten met hoge en punten met lage stijgsnelheid.

Underschatting bij lage waterdiepte, overschatting bij hoge waterdiepte

Door het in de afleiding van de slachtofferfunctie weglaten van enkele outliers, met een grote waterdiepte en een lage slachtofferfractie, is de loop van de functie sterk veranderd. In onderstaande figuren is te zien dat de nieuwe functie voor lage waterdieptes de slachtofferfractie onderschat, terwijl bij grotere waterdieptes de slachtofferfractie snel oploopt. Dit is onwenselijk gedrag van de functie. Bij een kleine afwijking in waterdiepte levert dit een groot verschil in slachtofferfractie, wat een grote onnauwkeurigheid tot gevolg heeft.



Figuur 6.8: Slachtofferfractie t.g.v. waterdiepte met slachtofferfuncties Jonkman



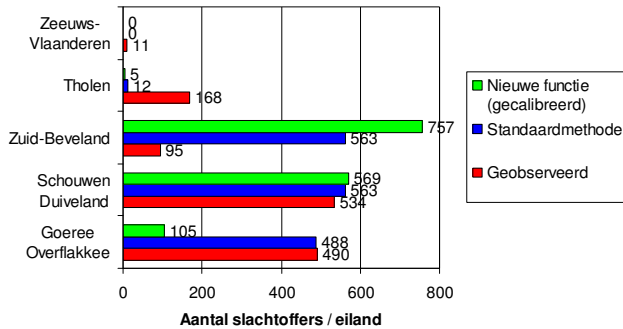
Figuur 6.9: Dataset Jonkman met nieuw bepaalde gekalibreerde exponentiële functie

Herberekening met nieuwe slachtofferfunctie in HIS-SSM

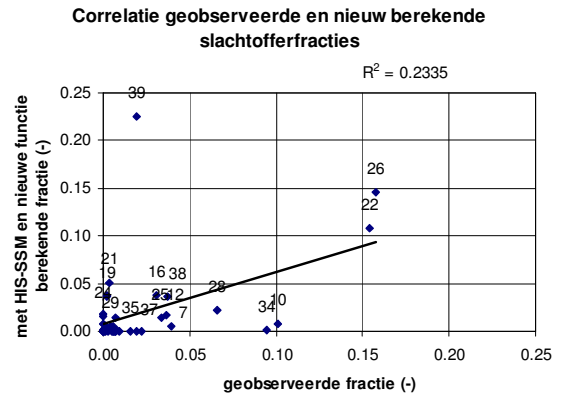
Herberekening met de nieuwe functie levert als resultaat een totaal aantal slachtoffers van 1436, wat voor de totale gebeurtenis een betere benadering is dan de functies uit (Jonkman 2004).

Uit Figuur 6.11 blijkt dat op eilandniveau de aantallen, berekend met de nieuwe functie, minder goed overeenkomen met de geobserveerde waarden dan de aantallen berekend met de functies uit de Standaardmethode.

Op gemeenteniveau is de correlatie ($R^2=0.234$, zie Figuur 6.11) met de geobserveerde waarden lager dan die van (Jonkman 2004) ($R^2=0.431$ zie Figuur 4.29).



Figuur 6.10: Vergelijking aantallen slachtoffers per eiland voor nieuwe en oude slachtofferfuncties

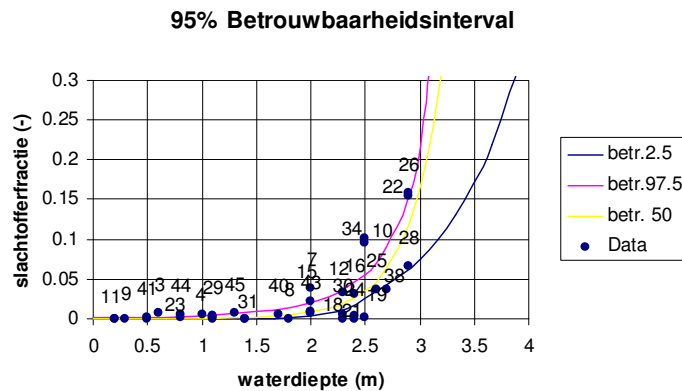


Figuur 6.11: Correlatie tussen geobserveerde en opnieuw met HIS-SSM berekende slachtofferfracties

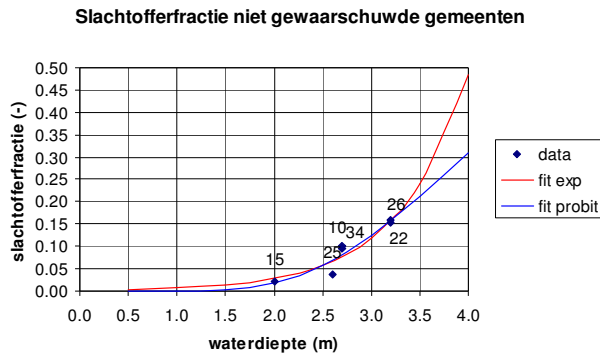
Hieruit moet geconcludeerd worden dat het splitsen naar oorzaak van overlijden met behulp van de geobserveerde stijgsnelheid een beter resultaat oplevert. De functies van (Jonkman 2004) kunnen eenvoudig gekalibreerd worden met behulp van een factor om ook op gebeurtenisniveau een beter resultaat te leveren dan de opnieuw afgeleide functie.

Betrouwbaarheidsinterval

Voor de nieuw afgeleide functie is het 95% betrouwbaarheidsinterval bepaald, op de manier die is afgeleid in paragraaf 5.2. In Figuur 6.12 is dit interval weergegeven.



Figuur 6.12: Betrouwbaarheidsinterval nieuw afgeleide functie

6.3.2.5 Slachtofferfractie zonder vluchtmogelijkheden

Figuur 6.13: Slachtofferfractie van niet gewaarschuwde gemeenten

Een andere benadering van het probleem is het gedifferentieerd invoeren van de mogelijkheden tot vluchten.

Wederom zijn er een exponentiële en een probit functie gefit:

$$f = 1,77 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,40 \cdot h}$$

$$f = \text{LOGN}(h, 1.60, 0.44)$$

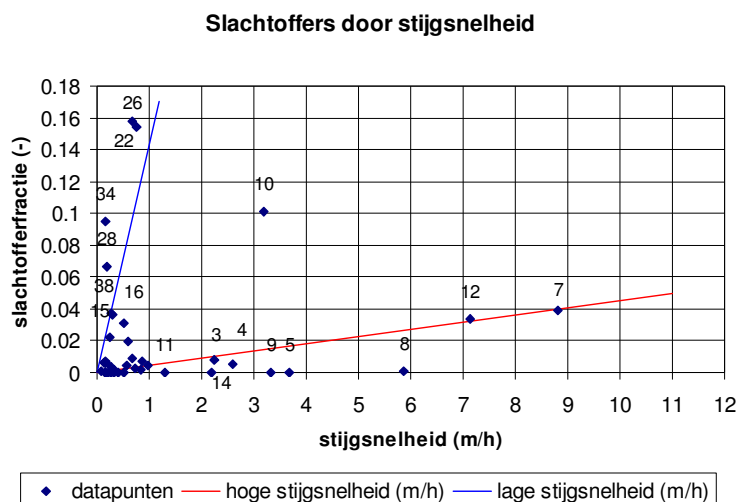
Beide functies leveren een $R^2=0.89$.

In Figuur 6.13 is van alle gemeenten, waar niet gewaarschuwd is, de slachtofferfractie uitgezet tegen de geobserveerde waterdiepte. Deze figuur stelt de kans op overlijden voor als gevolg van een overstroming, zonder dat de inwoners hebben kunnen vluchten, en geldt daarom als bovengrens.

Dat deze functie sterke gelijkenis vertoont met de slachtofferfunctie voor grote stijgsnelheid uit (Jonkman 2004) is niet toevallig. Deze functie is afgeleid op punten waar niet gewaarschuwd is, wat ook geldt voor de meeste punten waarop de functie in (Jonkman 2004) is afgeleid. Ondanks dat het aantal blootgestelden opnieuw is berekend, en de waterdiepten opnieuw zijn bepaald is de relatie ongeveer gelijk gebleven. Voor de meeste punten in deze figuur geldt overigens dat het aantal blootgestelden in die gemeenten niet veel is veranderd met de nieuwe manier van bepalen, doordat deze gemeenten geheel zijn overstroomd.

Voorgesteld wordt om het model te gebruiken met een uitgebreide vluchtschematisatie (welke op het moment niet beschikbaar is), waardoor ook de korte vluchttijd net voor de overstroming kan worden ingevoerd in het model. Op die manier zal het aantal blootgestelden wijzigen. De aanname is dat ook de slachtofferfracties in de gemeenten, waar van te voren gewaarschuwd is, op dezelfde lijn zullen komen te liggen.

6.3.3 Relatie stijgsnelheid en slachtofferfractie



Figuur 6.14: Slachtofferfractie tegen stijgsnelheid

In bovenstaande figuur zijn globaal twee gebieden te onderscheiden, één voor fracties met een grote stijgsnelheid, en één voor fracties, die opgetreden zijn bij kleine stijgsnelheden.

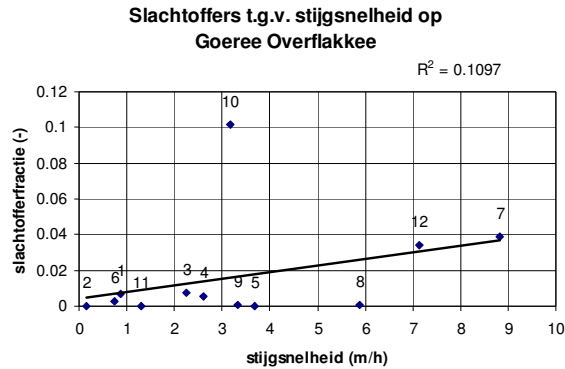
Wanneer de datapunten met grote stijgsnelheid en kleine slachtofferfractie (datapunten rond de rode lijn in bovenstaande figuur) beschouwd worden, valt op dat het alleen punten betreft van het eiland Goeree Overflakkee.

Worden de datapunten met relatief kleine stijgsnelheid en grote slachtofferfractie (datapunten rond de blauwe lijn in bovenstaande figuur) beschouwd, dan valt op dat het hier vooral punten betreft van het eiland Schouwen-Duiveland, maar ook van Tholen en Zuid-Beveland.

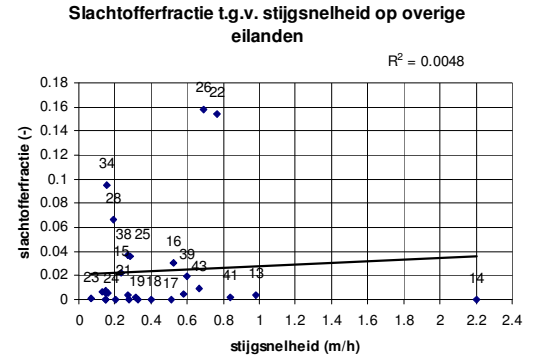
De datalabels in de figuur verwijzen naar gemeenten, welke vermeld zijn in bijlage 6.1-6.6.

6.3.3.1 Scheiden van punten naar locatie

In onderstaande figuren zijn de datapunten van Goeree Overflakkee en die van de overige eilanden in aparte figuren gezet. Wat opvalt is dat de stijgsnelheden op Goeree Overflakkee blijkbaar groter waren dan op de overige eilanden. Dit wordt vooral veroorzaakt door het feit dat de compartimenten in een aantal gevallen kleiner zijn. Vooral op Schouwen Duiveland liggen veel dorpen in het grote compartiment Waterschap Schouwen.



Figuur 6.15: Slachtofferfractie t.g.v. stijgsnelheid op Goeree Overflakkee



Figuur 6.16: Slachtofferfractie t.g.v. stijgsnelheid op overige eilanden

Wat ook opvalt is dat de slachtofferfracties niet groter zijn (in veel gevallen zelfs kleiner), ondanks de grotere stijgsnelheid.

Outlier op Goeree Overflakkee (nr 10)

Het dorp Oude Tonge heeft een hoge slachtofferfractie gekend tijdens de Watersnoodramp in 1953, terwijl de waterdiepte met 2.12 m ongeveer gelijk was aan die van Stellendam en Nieuwe Tonge (respectievelijk punten 12 en 7 in Figuur 6.15). Uit (Slager, 1992) is bekend dat het dorp niet gewaarschuwd is, en uit de simulatie blijkt dat het dorp zeer kort na het ontstaan van de eerste bres in een grote waterdiepte heeft gestaan, waardoor de vluchttijd ook kort is geweest. Dit in tegenstelling tot Stellendam, waar men om 22.00 u 's avonds al begonnen is met het plaatsen van vloedplanken (Slager, 1992) en vroeg gewaarschuwd is. Nieuwe Tonge ligt midden op het eiland, waardoor de inwoners enkele uren langer de tijd hadden zich in veiligheid te brengen, omdat de aankomsttijd van het water daardoor later was.

Zonder dit punt is de correlatie veel groter ($R^2=0.601$).

Outliers op overige eilanden

In Figuur 6.16 valt vooral punt 14 op. Dit punt staat voor het dorp Bruinisse wat pas tijdens de tweede vloed onder water is komen te staan. Hierdoor hebben de inwoners vele uren extra de tijd gehad om zichzelf in veiligheid te brengen.

De overige punten hebben allen een stijgsnelheid van minder dan 1 m/h. Een direct verband is er echter niet te vinden tussen stijgsnelheid en slachtofferfractie.

Ruwheid van groot belang voor stijgsnelheid

Gedeeltelijk wordt de oorzaak van de verschillen gevonden in verschillende waarden voor de bodemruwheid in de verschillende overstromingssimulaties. Voor het eiland Schouwen Duiveland is een constante waarde van 0.3 voor de ruwheid volgens Nikuradse gebruikt, terwijl voor de overige eilanden een ruimtelijk verdeelde waarde is ingevoerd, variërend van 0.4 voor ruraal gebied tot 10 voor stedelijk gebied.

Dit verschil levert grote variatie in stijgsnelheid op volgens de berekening van de stijgsnelheid volgens de Standaardmethode. In Bijlage 5 is de analyse en het resultaat bijgevoegd. Welk van beide waarden een betere benadering oplevert is onduidelijk.

Andere oorzaken, zoals afstand tot de bres en grootte van het stedelijk gebied spelen ook mee, waardoor niet zonder meer gezegd kan worden welke waarden representatief zouden zijn.

6.3.3.2 Scheiding op basis van mate van waarschuwing

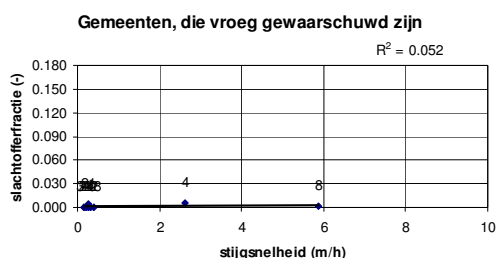
Van 26 van de 45 gemeenten op de verschillende eilanden is bekend of de inwoners daarvan gewaarschuwd zijn voordat de daadwerkelijke ramp plaatsvond. Er is een kwalitatieve scheiding gemaakt op basis van ooggetuigeverslagen, zoals: (Slager, 1992).

Met deze benadering is er in 8 gemeenten relatief veel en vroeg gewaarschuwd. Deze zijn in één categorie (gemeenten, die vroeg gewaarschuwd zijn) geplaatst. In 11 gemeenten is in lichtere mate gewaarschuwd. Deze categorie zal: "Gemeenten, die laat gewaarschuwd zijn" heten. De laatste categorie is die van gemeenten waar bijna tot helemaal niet gewaarschuwd is. De inwoners van deze gemeenten hebben zeer weinig tijd gehad om zichzelf in veiligheid te brengen. In deze categorie zijn 7 gemeenten geïdentificeerd.

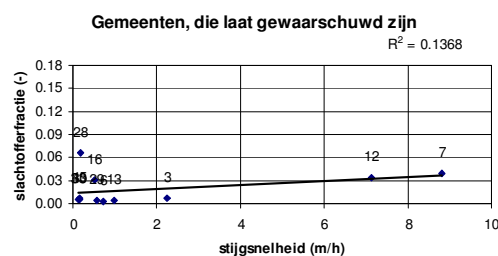
Bij de gemeenten die vroeg gewaarschuwd zijn, zijn de slachtofferfracties laag, ook al is de stijgsnelheid hoog (Figuur 6.17). In Figuur 6.18 (de gemeenten die laat gewaarschuwd zijn) laten een iets steiler verband zien. Punt 28 (Serooskerke op Schouwen-Duiveland) moet hier opgevat worden als outlier.

In (Slager, 1992) wordt melding gemaakt van het feit dat veel mensen weigerden te evacueren, waardoor punt 28 wellicht beter anders geïdentificeerd kan worden. Wordt deze uit de analyse gehaald, dan blijkt de correlatie een stuk groter ($R^2=0.645$).

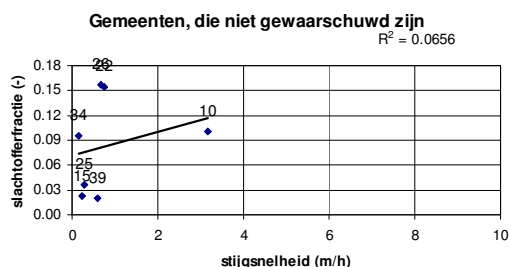
Bij de gemeenten, die niet gewaarschuwd zijn (Figuur 6.19), is een nog vele malen steiler verband te zien. Hier blijkt punt 10 (Oude Tonge op Goeree Overflakkee) een outlier te zijn. Zonder dit punt is ook hier de correlatie groter ($R^2=0.331$). Wellicht is ook hier een andere classificatie beter.



Figuur 6.17: Slachtofferfractie t.g.v. stijgsnelheid (vroeg gewaarschuwd)



Figuur 6.18: Slachtofferfractie t.g.v. stijgsnelheid (laat gewaarschuwd)



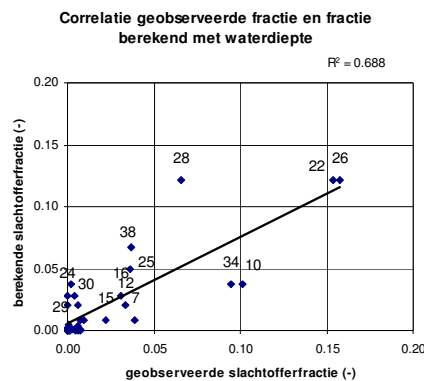
Figuur 6.19: Slachtofferfractie t.g.v. stijgsnelheid (niet gewaarschuwd)

Geobserveerde stijgsnelheid vergeleken met mate van waarschuwen

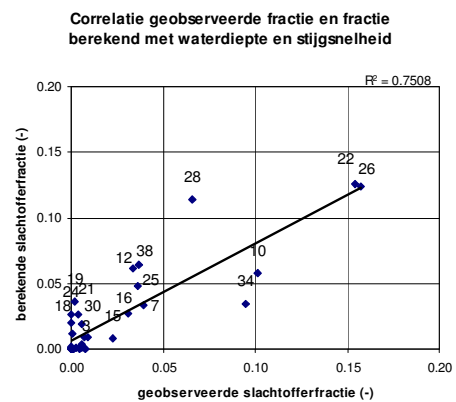
Als de mate van waarschuwen een dergelijke invloed heeft op de correlatie, ontstaat de vraag waarom in de analyse van (Jonkman 2004) deze relatie dan zo sterk is. Dit wordt verklaard wanneer van de gemeenten, waar een stijgsnelheid van geobserveerd is, beide kolommen worden vergeleken (Tabel 6.2). Hieruit blijkt dat van bijna alle gemeenten waar een hoge stijgsnelheid is geobserveerd, zeer laat of niet gewaarschuwd is. (N.B. van Den Bommel kon niet achterhaald worden in welke mate er gewaarschuwd is in die gemeente.)

Gemeente	Waarschuwing (kwalitatief)	geobserveerde stijgsnelheid (m/h)
Brouwershaven + Duivendijke	Laat	0.5
Burghsluis (Burgh)	Niet	16
Den Bommel		0.4
Nieuwe Tonge	Laat	6
Ooltgensplaat	Vroeg	0.4
Oude Tonge	Niet	6
Ouwerkerk	Niet	4
Stavenisse	Niet	10

Tabel 6.2: Vergelijking geobserveerde stijgsnelheid met mate van waarschuwen



Figuur 6.20: Correlatie tussen geobserveerde en met gemiddelde waterdiepte berekende fracties voor niet gewaarschuwde gemeenten



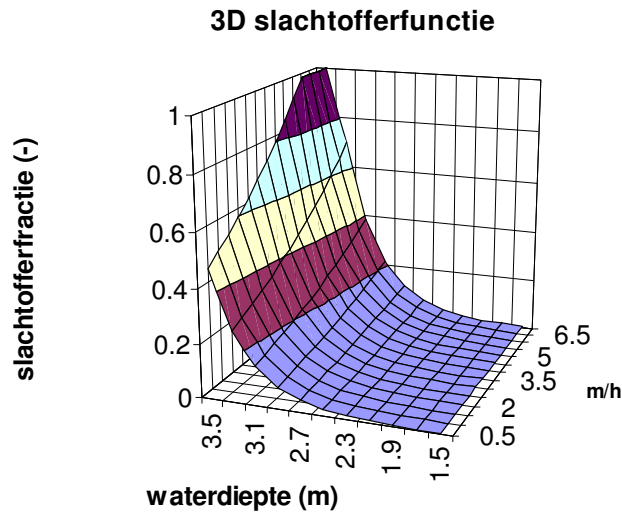
Figuur 6.21: Correlatie tussen geobserveerde en met waterdiepte en stijgsnelheid berekende fracties voor niet gewaarschuwde gemeenten

Wanneer geprobeerd wordt een functie voor de slachtofferfractie te vinden met als variabelen zowel gemiddelde waterdiepte (h) als gemiddelde stijgsnelheid (w),

$$f = 0,91 \cdot 10^{-5} \cdot e^{2,95 \cdot h} \cdot e^{0,15 \cdot w}$$

Dit levert een verbetering in correlatie op van $R^2=0.69$ naar $R^2=0.75$. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit exclusief de outliers Bruinisse, Kruijningen en Sint Maartensdijk is. De correlatie neemt af van $R^2=0.22$ (alleen waterdiepte, zie paragraaf 6.3.2.1) naar $R^2=0.19$, wanneer de outliers wel in de berekening worden meegenomen.

Het verloop van deze functie is weergegeven in Figuur 6.22.

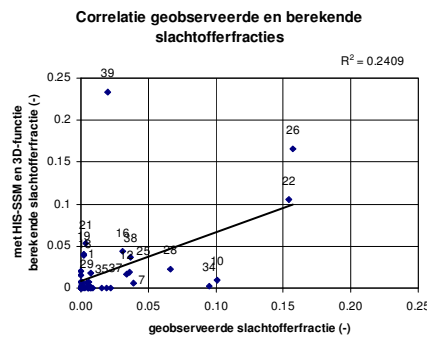


Figuur 6.22: Slachtofferfunctie t.g.v. waterdiepte en stijgsnelheid

Herberekening slachtofferfracties met HIS-SSM

Deze opnieuw afgeleide functie is ingevoerd in het programma HIS-SSM en voor alle gemeenten is nogmaals de volgens de methode voorspelde slachtofferfractie berekent.

Het resultaat (zie Figuur 6.23) is een iets hogere correlatie, dan die van de nieuwe 2D-functie (zie Figuur 6.11). Zonder outliers is de correlatie nog steeds lager dan die van de resultaten uit de Standaardmethode (Figuur 4.29).



Figuur 6.23: Correlatie tussen met HIS-SSM + 3Dfunctie berekende en geobserveerde slachtofferfracties

Wordt de correlatie per eiland vergeleken, dan geldt nog steeds dat de functies uit de Standaardmethode een hogere correlatie opleveren.

Dit wordt veroorzaakt door enkele gemeenten, die volgens de overstromingssimulatie in een gebied liggen met een hoge stijgsnelheid en waar niet is gewaarschuwd. Voorbeelden hiervan zijn Oude Tonge en Nieuwe Tonge. In deze gemeenten geven de mate van waarschuwen en de stijgsnelheid allebei reden tot een hoge slachtofferfractie. Het omgekeerde geldt voor gemeenten met lage stijgsnelheid, waar wel is gewaarschuwd (Kerkwerpe).

Gemeenten waar wel is gewaarschuwd (=lage slachtofferfractie), met een hoge stijgsnelheid worden overschat (Stavenisse, Burghsluis en Oosterland). Gemeenten waar niet is gewaarschuwd (=hoge slachtofferfractie), met een lage stijgsnelheid (Ooltgensplaat, Stellendam, Herkingen en Goedereede) worden juist onderschat.

Worden al bovengenoemde gemeenten uit de vergelijking gehaald, dan geven zowel de slachtofferfunctie uit de Standaardmethode als de nieuw afgeleide functie $R^2=0.84$.

6.3.4 Andere overstromingskenmerken

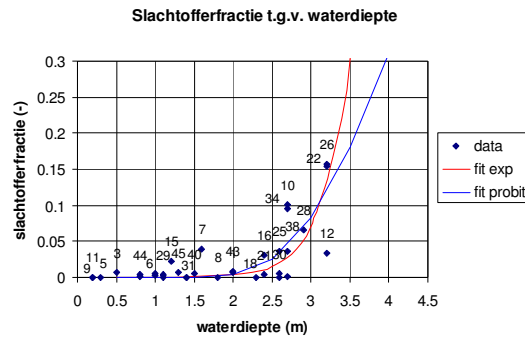
Behalve voor waterdiepte en stijgsnelheid is ook gezocht naar verbanden tussen andere overstromingskenmerken en de slachtofferfractie. In Bijlage 6.7-6.10 zijn analyses te vinden van de relatie van slachtofferfractie met:

- Waterdiepte uit overstromingssimulatie
- Waterdiepte tijdens de eerste vloed
- Stroomsnelheid
- Instorten bebouwing
- Time-to-wet
- Tijd tot 1.5m waterdiepte
- Afstand tot droog gebied
- Vereiste vluchtsnelheid

Hier is de invloed van de mate van waarschuwen waarschijnlijk te groot om een functioneel verband te ontdekken. Wel is duidelijk geworden dat deze factoren van invloed zijn, door de correlatie van de punten binnen bepaalde waarschuwingsklassen. Een functioneel verband is niet ontdekt.

6.4 Conclusie

Lijst met geobserveerde waterstanden aangevuld en nieuwe slachtofferfunctie afgeleid



In combinatie met opnieuw bepaalde slachtofferfracties, door nauwkeurigere aantallen blootgestelde personen per gemeente, bleek het mogelijk een functie door deze punten te fitten met een hoge correlatie met de geobserveerde waarden. Aangeraden wordt de exponentiële functie te gebruiken, wanneer gekozen moet worden tussen de exponentiële en de probitfunctie. Voor gebruik in het model moet deze functie nog wel aangepast worden voor de schaalverandering van gemeenteniveau naar gridcelniveau. Hiervoor dient deze gedeeld te worden door de factor 1.83 (bepaald in paragraaf 4.4.4.4), waardoor de uiteindelijk te gebruiken 2-dimensionale functie wordt:

$$f = 1.01 \cdot 10^{-5} \cdot e^{2.95 \cdot h}$$

Een herberekening van het aantal slachtoffers levert een correlatie op op basis van slachtofferfracties van $R^2=0.23$.

Het nadeel van deze formule is de grote macht van e die gebruikt wordt (2.95). Dit wordt veroorzaakt de lage fracties bij een waterdiepte van 2.5 m en enkele zeer hoge fracties bij een diepte van 3 m. Dit is duidelijk een onwenselijk effect van de slachtofferfunctie, waardoor deze bij kleine onnauwkeurigheid in de waterdiepte een grote verandering in slachtofferfractie voorspelt. Hierdoor wordt de nauwkeurigheid van het model negatief beïnvloed.

Continue stijgsnelheid in slachtofferfunctie

Opgemerkt moet worden dat de splitsing tussen grote en kleine stijgsnelheid is verwijderd.

Er is met behulp van de overstromingssimulaties een verband ontdekt tussen stijgsnelheid en slachtofferfractie.

$$f = 1,16 \cdot 10^{-5} \cdot e^{2.95 \cdot h} \cdot e^{0.15 \cdot w}$$

Deze functie levert een correlatie met de geobserveerde slachtofferfracties op van $R^2=0.24$. Het verschil in correlatie met de 2-dimensionale functie (met alleen waterdiepte als variabele) is klein. De functies uit (Jonkman 2004) leveren een correlatie op van $R^2=0.431$.

Mate van waarschuwen levert grote verschillen in slachtofferfracties

Uit pogingen andere overstromingskenmerken in de formule op te nemen is gebleken dat de mate van waarschuwen die heeft plaatsgevonden net voor of tijdens de Watersnoodramp van grote invloed is geweest op de slachtofferfracties.

Hier zijn de slachtofferfracties in dermate van afhankelijk dat het niet mogelijk bleek hier een nauwkeuriger functie voor af te leiden, dan met alleen waterdiepte en stijgsnelheid als variabele.

De sterkere correlatie van de slachtofferfracties uit de Standaardmethode met de geobserveerde slachtofferfracties wordt veroorzaakt doordat de mate van waarschuwen indirect is meegenomen in de slachtofferfuncties van de Standaardmethode. Hierdoor wordt het aantal slachtoffers in enkele gemeenten beter voorspelt, waardoor de correlatie hoger is. Bij een andere verdeling van de mate van waarschuwen, wordt vermoed dat het juist een lagere correlatie zal geven.

Vluchtmogelijkheden gedifferentieerd in model opnemen

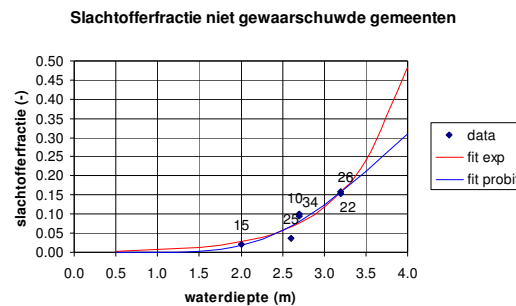
Gebleken is dat slachtofferfracties uit de nieuw afgeleide functies op basis van de gehele dataset geen verbeterde correlatie oplevert met de geobserveerde fracties. Dit wordt veroorzaakt door de grote invloed die waarschuwing op de overlevingskansen heeft. Een percentage (afhankelijk van de tijd van tevoren) van de mensen die gewaarschuwd zijn, zal een veilige plek weten te bereiken, en is derhalve niet aan de overstroming blootgesteld.

Omdat dit niet is verrekend in het aantal blootgestelden ten tijde van de Watersnoodramp in 1953, zijn de geobserveerde slachtofferfracties, in gemeenten waar gewaarschuwd is, te laag.

Voor deze benadering is een bovengrens nodig, welke is afgeleid op basis van de slachtofferfracties van gemeenten waar niet is gewaarschuwd. Deze is weergegeven in onderstaande figuur.

$$f = 1,77 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,40 \cdot h}$$

$$f = \text{LOGN}(h, 1.60, 0.44)$$





7 ANALYSE WATERSNOODRAMP NU

7.1 Verschillen in aantallen slachtoffers tussen 1953 en 2004

Met behulp van dezelfde overstromingssimulaties is berekend hoeveel slachtoffers er nu zouden vallen. Het verschil tussen de berekeningen is het aantal en de verdeling van de bevolking in het overstroomde gebied. Door de grotere correlatie van de resultaten uit Standaardmethode met de geobserveerde waarden, wordt ervoor gekozen deze methode te gebruiken in een vergelijking van Zeeland toen en nu.

Het totaal aantal slachtoffers, wanneer een gelijksoortige overstroming als in 1953 nu zou plaatsvinden komt op 2546, wat een toename inhoudt van 49%.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van gemeenten met een verschil tussen het aantal slachtoffers in 1953 en nu dat groter of gelijk is aan 10.

Locatie	Slachtoffers standaardmethode 1953	Slachtoffers standaardmethode 2004
Herkingen	24	38
Middelharnis / Sommelsdijk	16	30
Nieuwe Tonge	76	87
Ooltgensplaat	87	97
Ouddorp	18	38
Oude Tonge	135	260
Stellendam	107	229
Bruinisse	75	135
Nieuwerkerk	226	420
Ouwerkerk	99	184
Zierikzee	53	87
Stavenisse	9	19
Kruiningen	559	684

Tabel 7.1: Plaatsen met grootste toename in slachtoffers

Opvallend is dat afgezien van Stavenisse en Kruiningen alle gemeenten met grote toename zich bevinden op de eilanden Goeree Overflakkee en Schouwen-Duiveland. Verwacht wordt dat dit wordt veroorzaakt doordat deze eilanden bijna geheel zijn overstromd, en dat ook extra bebouwing daarom in het overstroomde gebied liggen.

Bij andere eilanden is zichtbaar:

- Of minder bevolkingtoename
- Of bevolkingtoename vooral in niet overstroomde gebieden

Aantal slachtoffers is toegenomen tussen 1953 en 2004

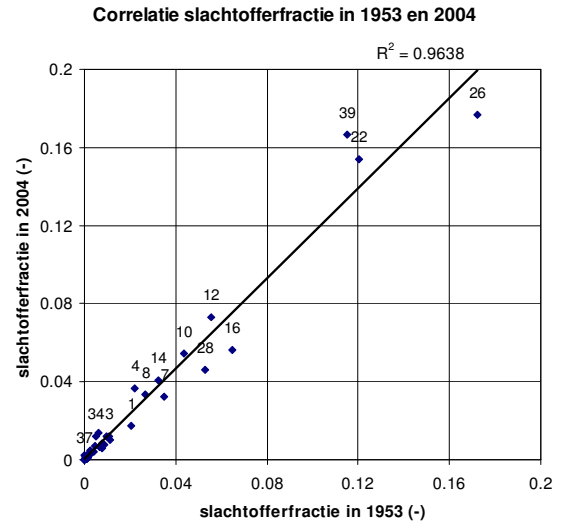
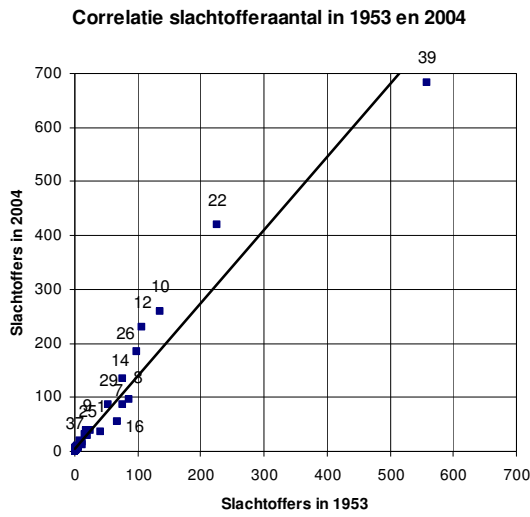
In onderstaande figuur zijn de aantallen slachtoffers per gemeente in 1953 en 2004 tegen elkaar uitgezet. Hier kan gezien worden dat in bijna alle gevallen het aantal slachtoffers in 2004 toeneemt ten opzichte van 1953. Een fitlijn door de punten heen levert een factor 1.34, waar het gemiddelde van de toenamefactoren per dorp een factor van 1.37 oplevert.

Doordat gemeenten met grote hoeveelheden inwoners een hefboomeffect hebben op het totaal aantal slachtoffers, komt het totaal hoger uit. Gemiddeld per dorp kan gezegd worden dat de gevolgen 35% zijn toegenomen in het betreffende gebied in 51jaar, wat een gemiddelde factor per jaar is van $1.37^{(1/51)} = 1.006$. Dit komt overeen met een groei van 0.6% per jaar.

Slachtofferfracties zijn toegenomen tussen 1953 en 2004

Ook de slachtofferfracties zijn toegenomen. Hiervoor zijn de berekende aantallen slachtoffers per dorp gecombineerd met inwoneraantallen in respectievelijk 1953 en 2004.

De gemiddelde slachtofferfractie is gestegen van 0.019 naar 0.023, wat een stijging is van ongeveer 17%, zie Figuur 7.2.



Figuur 7.1: Correlatie slachtofferaantal per dorp in 1953 en 2004

Figuur 7.2: Correlatie slachtofferfracties in 1953 en 2004

Dit wordt verklaard door het feit dat de bevolkingstoename vooral heeft plaatsgevonden in gebieden waar de slachtofferfractie volgens het model hoog is.

Historisch is dit te verklaren door het feit dat men vroeger zich heeft gevestigd op relatief veilige (bijvoorbeeld hoger gelegen) locaties, welke vol zijn geraakt, waarna minder veilige gebieden bevolkt werden.

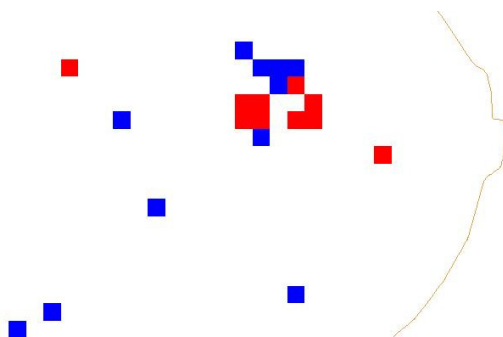
7.2 Verschillen tussen slachtofferverdeling in 1953 en 2004

Wanneer de verdeling van de slachtoffers nu wordt vergeleken met de verdeling van de slachtoffers in 1953 (volgens het model), dan valt op dat het het aantal slachtoffers aan de rand van gemeenten is toegenomen. Daarnaast is ook te constateren dat in een aantal gevallen juist het aantal slachtoffers in het midden van de gemeente is afgenomen.

Verplaatsing inwoners naar onveilige gebieden in Ooltgensplaat

Het dorp Ooltgensplaat is hiervan een goed voorbeeld. Worden de slachtofferaantallen in combinatie met de locaties waar deze zijn opgetreden, geanalyseerd, dan wordt duidelijk dat postcode punten waar in 1953 grote fractie slachtoffers zijn gevallen, dichterbevolkt zijn geworden, waardoor het aantal slachtoffers sterk is toegenomen. Delen van het dorp waar relatief lage slachtofferfracties zijn opgetreden in 1953 blijken in 2004 minder inwoners te hebben gehad. Dit impliceert dat mensen (netto) uit de veilige gebieden zijn verhuisd, en juist in de minder veilige delen zijn gaan wonen.

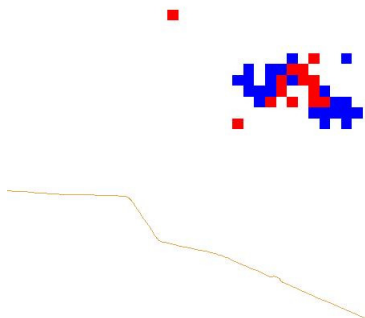
Voor dit dorp geldt dat het aantal inwoners is afgenomen van 3238 naar 2918 en het aantal slachtoffers juist is toegenomen van 87 naar 97. In Figuur 7.3 stellen de rode vlakken de lokaties voor waar in 1953 meer slachtoffers zijn gevallen dan in 2004. De blauwe vlakken stellen lokaties voor waar juist in 2004 meer slachtoffers zijn gevallen. De groep rode vlakken is het centrum van Ooltgensplaat in 1953. Hetzelfde geldt voor het dorp Oude Tonge (zie Figuur 7.4). Voor beide gemeenten geldt dat op de plaatsen waar blauwe vlakken te zien zijn, in 1953 geen postcodepunten waren gelokaliseerd en in 2004 logischerwijs wel. Voor Ooltgensplaat geldt dat er een netto verschuiving heeft plaatsgevonden van oude postcodepunten, naar minder gunstig gelegen nieuwe postcodepunten.



Figuur 7.3: Lokaties toegenomen en afgenomen slachtoffers tussen 1953 en 2004 in Ooltgensplaat

Verplaatsing en toename van inwoners in minder veilige gebieden in Oude Tonge

In Oude Tonge betreft het een combinatie van toename van inwoneraantal, en daarnaast ook een verschuiving van inwoners uit relatief veilige gebieden naar minder veilige (dieper gelegen) gebieden.



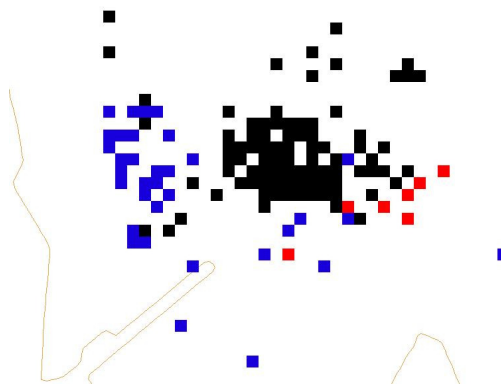
Figuur 7.4: Lokaties toegenomen en afgenomen slachtoffers tussen 1953 en 2004 in Oude Tonge

Dit geldt echter niet voor alle gemeenten in het beschouwde gebied. Zo is de situatie in het dorp Kerkwerf juist veiliger geworden. Ondanks de toename in aantal inwoners van 801 naar 893 is het aantal slachtoffers gelijk gebleven op 7. Ook de lokaties waar de slachtoffers vallen is gelijk gebleven.

Voor Ouwkerk geldt dat de toename in slachtofferaantal geheel te wijten is aan de toename van het aantal inwoners per postcodepunt. Hier geldt voor elke lokatie namelijk dat het aantal slachtoffers in 2004 hoger is dan of gelijk is aan dat in 1953, en zijn er geen nieuwe locaties bijgekomen.

Geen plaats voor nieuwe bewoners in veilige gebieden in Zierikzee

De hypothese dat veilige gebieden vol zijn geraakt, en mensen (door de toename in aantal) naar minder veilige gebieden zijn gedwongen wordt gesteund door de situatie in Zierikzee. Dit is te zien in Figuur 7.5, waar de zwarte vlakken de lokaties met postcodepunten voorstellen. In het centrum van de stad zullen in 2004 geen extra slachtoffers vallen ten opzichte van 1953, maar daarentegen is links van het oude centrum een nieuw (lager gelegen) bewoond gedeelte van Zierikzee ontstaan, waar (zowel absoluut als relatief) veel slachtoffers zullen vallen. Desondanks blijft Zierikzee, vanwege zijn hoge ligging, relatief veilig voor overstromingen, volgens het model. Het aantal slachtoffers is dan wel toegenomen van 53 naar 87, maar op een inwoneraantal van 7097 in 1953 en 10335 in 2004. Dit betekent dat het aantal slachtoffers is toegenomen met 64% terwijl het inwoneraantal is gestegen met 46%.



Figuur 7.5: Lokaties toegenomen en afgenomen slachtoffers tussen 1953 en 2004 in Zierikzee

7.3 Risicoreductie

Zoals reeds in hoofdstuk 2 gemeld kan het risico (als functie van kansen en gevolgen) verminderd worden door de kansen of de gevolgen (of beiden) te verminderen.

7.3.1 Kansreductie

Het verminderen van de kans van overstroomingen wordt al eeuwen gedaan door dijken te verstevigen, in de meeste gevallen door ze te verhogen.

Dit onderzoek richt zich niet op het ontwikkelen van veiligere waterkeringen, of het in kaart brengen van de sterkte van waterkeringen, zodat de kans van overstroomingen verminderd kan worden.

7.3.2 Gevolgenreductie

Naast het verminderen van de kans van overstromen, kan er ook voor gezorgd worden dat de schade minder groot is, wanneer een stuk land toch overstromt. Dit wordt gevolgenreductie genoemd.

Conceptueel wordt dit gedaan door te zorgen dat het water dat door (of over of onderdoor) de waterkeringen breekt minder schade aanricht. Dit wordt gedaan door waarde uit risicovolle gebieden te halen.

Praktisch betekent dit:

- Differentiatie van overstromingskansen naar waarde binnen het gebied. Dit heeft betrekking op zowel schade als slachtoffers (compartimentering).
- Evacuatie van mensen uit gebieden, die dreigen te overstromen. Dit heeft alleen betrekking op het aantal slachtoffers.

In Bijlage 7 is een aanzet voor een methode uitgewerkt, welke gebruikt kan worden voor een kosten-batenanalyse van compartimentering door middel van kernbescherming.

7.3.2.1 Koppeling schade en slachtoffers

Schade en aantal slachtoffers soms negatief gecorreleerd

Uit meerdere onderzoeken (zoals: Theunissen 2006) blijkt dat het verminderen van de gevolgen in veel gevallen een positief effect heeft op de schade, terwijl het aantal slachtoffers in sommige gevallen toeneemt. Dit wordt veroorzaakt door ofwel een verhoogde waterstand, ofwel een verhoogde stijgsnelheid, waardoor volgens de huidige berekenmethode het aantal slachtoffers sterk toeneemt, ook al verkleint het aantal getroffen personen.

Uit de analyse in dit onderzoek zijn een aantal conclusies naar voren gekomen, waar gebruik van kan worden gemaakt, om zowel het aantal slachtoffers als de schade te verminderen.

Voorbeelden hiervan zijn de drempelwaarden voor waterdiepte en aankomsttijd van het water, zoals vermeld in paragraaf 6.3.

Om een koppeling te maken tussen schade en slachtoffers moet een mensenleven uitgedrukt worden in geld. Vaak wordt gezegd dat dit lastig is, maar het gebeurt dagelijks. Elke keer wanneer een leven gered wordt, wordt daar immers een investering voor gedaan. In voorgaande hoofdstukken is de methode geanalyseerd waarmee het aantal slachtoffers ten gevolge van overstromingen kan worden geschat. Om dit aantal te verlagen zijn investeringen nodig.

Op deze manier is het mogelijk te vergelijken hoeveel geld wordt ingezet voor het redden van een mensen leven op verschillende manieren, en zo tot een uitdrukking te komen, hoeveel een mensenleven waard is (relatief, niet absoluut).

Kosteneffectiviteit van maatregelen voor het besparen van mensenlevens

In (Tengs, 1995) zijn in de bijlage meer dan 500 maatregelen opgesomd, tezamen met hun kosteneffectiviteit. Daarin is een opdeling gemaakt in meerdere categorieën, waarvan de categorie 'fatale verwonding' degene is waar verdrinking in opgenomen zal worden.

In deze categorie is de spreiding van kosten per gered levensjaar \$0-\$18.000.000.

Nu is het overstromingsrisico niet de enige bedreiging van mensenlevens in dijkkring Zuid-Holland. Om het geld van het risico van overlijden (welke omrekening discutabel is) te kunnen gebruiken voor het verkleinen van de overstromingsrisico's zal dit de economisch optimale besteding moeten zijn. Wanneer meer levensjaren gered kunnen worden met dezelfde hoeveelheid geld, maar in een andere categorie, is het verstandiger het geld daar in te zetten.

Daarnaast geldt ook nog dat een ieder recht heeft op een gelijke behandeling. In het geval van overstromingsrisico wordt dit vertaald naar een maximale kans op overlijden bij het permanent aanwezig zijn in een bepaald gebied.

Door differentiatie naar economische waarde is toch een situatie ontstaan waar in de ene polder een groter individueel risico heerst dan in de ander.

Zoals hierboven kort uiteen is gezet, is niet eenduidig te zeggen hoeveel geld er in andere gevallen wordt gereserveerd voor het redden van mensenlevens. De spreiding voor verschillende maatregelen is erg groot. In de praktijk wordt niet op basis van kosteneffectiviteit bepaald waar levensreddende maatregelen worden uitgevoerd. Zo is in de gezondheidszorg solidariteit belangrijk, en heeft iedereen hetzelfde recht op vergoedingen van (met het oog op levensjaren ook minder kosteneffectieve) ingrepen.

7.4 Conclusie Watersnoodramp Nu

Een berekening van het aantal slachtoffers wat nu zou vallen mocht dezelfde Watersnoodramp als in 1953 plaatsvinden levert als resultaat dat er 2546 slachtoffers zullen vallen, tegenover 1705 in 1953 (volgens het model). Dit betekent een stijging van 49% terwijl het aantal blootgestelden met 28% is gestegen.

Uit een nadere analyse per gemeente is gebleken dat deze grotere stijging van het aantal slachtoffers ten opzichte van het aantal inwoners plaatsvindt om 2 redenen:

- Relatief veilige gebieden zijn volgebouwd, waardoor steeds minder veilige gebieden bebouwd zullen worden, bij een toename van het aantal inwoners.
- Mensen verplaatsen zich vanuit relatief veiligere gebieden naar minder veilige gebieden.

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies (paragraaf 8.1) vermeld, die resulteren uit de analyse van het model om aantallen slachtoffers bij een overstroming te berekenen.

Daarna worden enkele aanbevelingen (paragraaf 8.2) tot nader onderzoek en verbetering van het model en de slachtofferfunctie gedaan.

In deze studie is de werking van het model ter bepaling van het aantal slachtoffers bij een grootschalige overstroming onderzocht. Uit een hindcast van de Watersnoodramp 1953 is een overzicht naar voren gekomen van welke overstromingskenmerken precies worden gebruikt, hoe deze worden ingevoerd in het slachtoffermodel en in welke mate deze overeenkomt met observaties, die zijn gedaan tijdens de Watersnoodramp in 1953. Vervolgens zijn enkele onnauwkeurigheden van het model gesignaleerd.

Uiteindelijk is de slachtofferfunctie, als onderdeel van het model, aangepast om tot een betere inschatting van het aantal slachtoffers te komen.

8.1 Conclusies

8.1.1 Vergelijking observaties Watersnoodramp 1953 met overstromingssimulaties

8.1.1.1 Overstromingskenmerken

Overstromingssimulaties met behulp van de computer voorspellen de werkelijkheid goed op de punten:

- Overstroomd gebied
- Waterdiepte

Deze eigenschappen houden verband met elkaar, doordat het waterniveau bepaalt tot op welke bodemhoogte het water reikt. Dit is van toepassing in gebieden met relatief grote hoogteverschillen.

In Zeeland betreft het vooral polders, welke omsloten worden door dijken. In die gevallen wordt het overstroomde gebied door de lokatie van dijken, in combinatie met lokaties van dijkdoorbraken. Wanneer een bres ontstaat zal in het gehele compartiment onder water komen te staan. Aangezien bekend is welke compartimenten zijn overstroomd, kan het overstroomde gebied goed gesimuleerd worden.

Een vergelijking op de punten stijgsnelheid en stroomsnelheid levert geen direct bewijs op voor al dan niet goede simulaties overeenstemmend met observaties.

Van de stroomsnelheid zijn geen observaties bekend.

Van de stijgsnelheid (snelheid waarmee het water stijgt in m/h) zijn acht observaties bekend. Deze blijken in slechts enkele gevallen overeen te komen met de overstromingssimulatie.

Daarnaast zijn de stroom- en stijgsnelheid sterk afhankelijk van de bodemruwheid, die wordt ingevoerd in de overstromingssimulatie.

Op basis hiervan moet geconcludeerd worden dat niet gezegd kan worden of de stroomsnelheid en de stijgsnelheid goed gesimuleerd worden.

8.1.1.2 Aantal aan de overstroming blootgestelde personen

De inwonergegevens, verdeeld in postcodepunten, geven in combinatie met het overstromde gebied een goede benadering van het aantal aan de overstroming blootgestelde personen. Dit aantal is berekend met behulp van een CBS-bestand met aantallen inwoners, in combinatie met kaarten van het overstromde gebied. Zo kan bepaald worden welke postcodepunten (met het aantal inwoners) zijn blootgesteld aan de overstroming.

8.1.1.3 Slachtoffers

Het bestaande model voorspelt het aantal slachtoffers tijdens de Watersnoodramp 1953 zeer goed. Op gebeurtenisniveau (in het gesimuleerde gebied) is de afwijking een factor 1.31.

Op eilandniveau is de voorspelling voor de voor een groot gedeelte overstromde eilanden (Goeree Overflakkee en Schouwen Duiveland) zowel absoluut als relatief zeer goed.

Voor de slechts gedeeltelijk overstromde eilanden wordt er zowel over- als onderschat. Dit komt omdat het slachtoffermodel voor enkele gemeenten op deze eilanden het aantal slachtoffers over- of onderschat.

In deze gemeenten is de oorzaak te vinden in het verschil in resultaat tussen de functie voor slachtoffers ten gevolge van grote stijgsnelheden en de functie voor slachtoffers ten gevolge van overige oorzaken. Ook is de aankomsttijd van het water van grote invloed gebleken, terwijl deze niet als invoer van het bestaande slachtoffermodel is opgenomen.

8.1.1.4 Instorten van bebouwing

Zoals al eerder is aangetoond in (Asselman 2005) is er een sterke correlatie tussen het instorten van bebouwing en de slachtofferfractie. Het instorten van gebouwen wordt veroorzaakt door een combinatie van een grote stroomsnelheid en een grote waterdiepte, wat resulteert in een kracht op muren van gebouwen.

Het overstromingsmodel is niet geschikt om deze relatie nauwgezet te berekenen, aangezien het overstromingsmodel de stroomsnelheid voor een homogeen gebied met een bepaalde ruwheid zonder obstakels berekent, terwijl voor het instorten van bebouwing de lokale stroomsnelheid van belang is.

8.1.2 Onnauwkeurigheden

Uit de hindcast van de Watersnoodramp van 1953 is gebleken dat het huidige slachtoffermodel enkele onnauwkeurigheden bevat.

8.1.2.1 Onvolledige set overstromde gemeenten in eerdere analyse

Zo is de huidige set functies afgeleid op een onvolledige set van overstromde gemeenten. Enkele gemeenten die wel zijn overstromd, maar waar geen slachtoffers zijn gevallen, zijn eerder niet in de analyse opgenomen, waardoor het aantal aan de overstroming blootgestelde mensen is onderschat. Dit kan leiden tot een ander verloop van de slachtofferfuncties.

8.1.2.2 Gevoeligheid voor stijgsnelheid

Daarnaast is de uitkomst van het model sterk afhankelijk van de stijgsnelheid. Dit komt omdat in het model twee functies worden gebruikt, welke voor grote waterdiepte sterk verschillen. Een klein verschil in stijgsnelheid (rond 0.5 m/h, de grenswaarde tussen de beide functies) levert een groot verschil in uitkomst.

8.1.2.3 Overstromingskenmerken sterk afhankelijk van bodemruwheid

Uit een analyse met een fictief compartiment is gebleken dat de stroom- en stijgsnelheid sterk afhankelijk zijn van de bodemruwheid. Dit resulteert in afwijkingen in de berekende slachtofferfractie.

8.1.2.4 Slachtoffers door hoge stroomsnelheid

Globale in plaats van lokale stroomsnelheid, door berekening zonder obstakels

Naast de slachtofferfuncties voor slachtoffers door grote stijgsnelheid en overige oorzaken is er een zone aangewezen, waar slachtoffers vallen door stroomsnelheid. De stroomsnelheid wordt globaal berekend. Aangezien de relatie is gebaseerd op een lokale stroomsnelheid, welke beïnvloed wordt door obstakels en door het verkleinde doorstromend oppervlak hoger is, vallen er volgens het model weinig slachtoffers door deze oorzaak.

Inwoners in schematisatie niet nabij bres door gebruik postcodepunten

Daarnaast zijn de inwoners gegroepeerd in postcodepunten, waardoor er geen inwoners in de buurt van een bres worden gemodelleerd. Juist op die lokatie is de stroomsnelheid het hoogst, en zijn, volgens ooggetuigeverslagen, de meeste slachtoffers gevallen door deze oorzaak.

Maximale stroomsnelheid en maximale waterdiepte in plaats van maximale combinatie

Een derde onnauwkeurigheid in het berekenen van het aantal slachtoffers als gevolg van grote stroomsnelheid volgt uit het feit dat de functie oorspronkelijk is gebaseerd op een maximale combinatie van waterdiepte en stroomsnelheid, terwijl in het model de maximale waterdiepte en de maximale stroomsnelheid worden gebruikt. Deze treden per definitie niet tegelijkertijd op.

8.1.2.5 Betrouwbaarheidsinterval

Met behulp van een bootstrap is het mogelijk een betrouwbaarheidsinterval te bepalen voor de te gebruiken functies. Dit betrouwbaarheidsinterval geeft de onnauwkeurigheid weer, welke volgt uit het afleiden van de slachtofferfunctie op basis van de datapunten.

8.1.3 Verbetering slachtofferfunctie

8.1.3.1 Bovengrens benadering

De mate van waarschuwen, die is opgetreden tijdens de Watersnoodramp blijkt van grote invloed te zijn op de slachtofferfractie. Hierdoor is het afleiden van een nieuwe functie op basis van de gegevens van alle gemeenten niet mogelijk. Wel kan een bovengrens voor deze slachtofferfractie aangegeven worden, welke gebruikt kan worden in een aangepast model, waar vluchtmogelijkheden in worden meegenomen.

8.1.3.2 Geen betere benadering van het aantal slachtoffers tijdens de Watersnoodramp van 1953

Het is niet mogelijk gebleken met een nieuw afgeleide slachtofferfunctie een betere benadering te geven voor het aantal slachtoffers tijdens de Watersnoodramp. De reden hiervoor is dat de mate van waarschuwen, die is opgetreden tijdens de ramp, indirect is meegenomen in de functies uit (Jonkman 2004). Deze mate van waarschuwen is voor iedere gebeurtenis anders en niet op te nemen in de overstromingssimulatie.

Het beter voorspellen van de Watersnoodramp betekent niet dat de functies uit (Jonkman 2004) een andere overstroming (al dan niet in hetzelfde gebied) beter zullen voorspellen. Hiervoor is een

verificatie nodig met behulp van een andere overstroming. Gedetailleerde informatie van andere soortgelijke overstromingen ontbreekt echter.

Een analyse van wat er gebeurd is in enkele gemeenten, onderstreept dat de mate van waarschuwen de oorzaak van het gemiddeld beter voorspellen is. Het aantal slachtoffers in gemeenten met lage stijgsnelheid, waar niet is gewaarschuwd (Stavenisse, Burghsluis en Oosterland), wordt onderschat, terwijl in gemeenten met een grote stijgsnelheid waar wel is gewaarschuwd (Ooltgensplaat, Stellendam, Herkingen en Goedereede) het slachtofferaantal juist wordt overschat. Voor enkele punten met een hoge stijgsnelheid, waar niet is gewaarschuwd, voorspelt de slachtofferfunctie uit (Jonkman 2004) de slachtofferfractie goed.

8.1.4 Zeeland nu

Meer slachtoffers door meer inwoners in het overstroomde gebied

Mocht dezelfde overstroming in het huidige Zeeland plaatsvinden, dan zal het aantal slachtoffers toenemen met 49%.

Dit wordt deels verklaard door een toename van het aantal inwoners.

Grotere slachtofferfractie door huisvesting in relatief onveilig gebied

Naast een absolute toename van het aantal slachtoffers is ook de slachtofferfractie groter geworden.

Dit is:

1. omdat mensen in de blootgestelde gemeenten, netto naar onveiligere gebieden zijn verhuisd. Bij gelijk blijvend inwoneraantal, zullen er toch meer slachtoffers vallen, volgens het model.
2. omdat door een gebrek aan ruimte in de relatief veilige gebieden, extra inwoners gedwongen worden in minder veilige gebieden te gaan wonen. Bij een toename van het aantal inwoners neemt het aantal slachtoffers in verhouding meer toe.

8.2 Aanbevelingen

Uit de conclusies volgen de aanbevelingen tot verbetering van het model.

8.2.1 Slachtoffermodel

8.2.1.1 Vluchtmogelijkheden opnemen in het model

Vluchtmogelijkheden moeten nauwkeuriger in het model worden opgenomen. In het huidige model kan worden aangegeven of bewoners van hoogbouw veilig zijn voor de overstroming of niet. Wat niet is meegenomen is de mogelijkheid van bewoners van laagbouw te vluchten naar relatief veiligere gebouwen, zoals hoogbouw.

Hiervoor kan het ontwikkelde evacuatiemodel worden gebruikt. Deze dient aangepast te worden, aangezien naar voren is gekomen dat vluchten naar relatief veiligere gebieden (in of nabij het overstroomde gebied, zoals een hoger gelegen gedeelte van de gemeente, maar ook naar sterkere bebouwing) een grote invloed heeft op de slachtofferfractie. De aankomsttijd van het water kan hierin een rol spelen. Ook kan hier worden opgenomen of de overstroming overdag of 's nachts optreedt. Dit is vermoedelijk van invloed op de vluchtmogelijkheden van de blootgestelde mensen.

8.2.1.2 Slachtofferbepalende verschillen tussen toen en nu integreren in het slachtoffermodel

Effecten, die van invloed zijn op de slachtofferfractie, welke zijn veranderd tussen 1953 en nu moeten worden onderzocht en in de slachtofferfunctie worden geïntegreerd. Hierbij moet vooral gedacht worden aan sterkere bebouwing, wat de slachtofferfractie zal doen afnemen. Andere effecten kunnen de slachtofferfractie doen toenemen.

8.2.1.3 Betrouwbaarheidsinterval vermelden

Bij vermelding van het aantal slachtoffers dient het betrouwbaarheidsinterval vermeld te worden. Het resultaat van het model (een bepaald aantal slachtoffers) is met de nodige onzekerheid omgeven. Een van de onzekerheden wordt veroorzaakt door het feit dat de functie is afgeleid uit een beperkt aantal datapunten, welke niet allen op één lijn liggen. Dit houdt in dat er andere factoren meespelen, die niet als variabele zijn opgenomen in de functie.

8.2.1.4 Aantal inwoners aanpassen naar aantal aanwezigen in het gebied

Voor gebieden met grote verschillen tussen het aantal inwoners en het aantal aanwezigen (bijvoorbeeld aantal inwoners plus aantal recreanten) moet dit gekwantificeerd worden om in het model bruikbaar te zijn. Een grotere hoeveelheid aanwezigen in het gebied, leidt tot een groter aantal slachtoffers. Wordt het aantal aanwezigen te hoog of te laag ingeschat, dan levert dit respectievelijk een over- of onderschatting van het aantal slachtoffers op.

8.2.1.5 Het slachtoffermodel gebruiken als bovengrensbenadering

Aanbevolen wordt het slachtoffermodel te gebruiken met de slachtofferfunctie voor een bovengrensbenadering, welke is afgeleid in dit rapport. Bij de berekende slachtofferaantallen moet het betrouwbaarheidsinterval in ogenschouw worden genomen. Daarnaast moet duidelijk gemaakt worden dat het een bovengrens benadering betreft, en het daadwerkelijke aantal slachtoffers zeer waarschijnlijk (door vluchtgedrag) lager zal liggen.

8.2.1.6 Het slachtoffermodel niet gebruiken als ontwerpmethode

Het wordt aanbevolen het huidige slachtoffermodel niet te gebruiken als ontwerpmethode voor gevolgenregulerende maatregelen voor slachtofferaantallen, zoals compartimenteringsdijken. Het model is geschikt om op gebeurtenisniveau een goede inschatting te geven van het aantal slachtoffers, maar voor een ontwerpmethode zijn lokale overstromingskenmerken van belang. Hiervoor is een nauwkeurige relatie tussen de slachtofferfractie en de stijgsnelheid benodigd.

Er bestaat wel degelijk een relatie met de stijgsnelheid, terwijl deze niet gekwantificeerd kon worden. Wordt het model hier wel voor gebruikt, dan wordt oneigenlijk gebruik gemaakt van de slachtofferfunctie

8.2.1.7 Onderzoek doen naar de globale bodemruwheid die wordt ingevoerd in de overstromingssimulatie.

Aangezien de stroom- en stijgsnelheid lokaal sterk afhankelijk blijken van de bodemruwheid, moet onderzocht en onderbouwd worden, welke waarden een representatief beeld geven voor een bepaald gebied.

8.2.2 Slachtofferfunctie

8.2.2.1 Vluchtmogelijkheden opnemen in het model

Wanneer de vlucht- en evacuatiemogelijkheden in het model worden opgenomen, moet de opnieuw afgeleide functie, voor gemeenten zonder waarschuwing worden gebruikt.

Van alle aan de overstroming blootgestelde gemeenten moet achterhaald worden in welke mate er gewaarschuwd is, kwalitatief danwel kwantitatief. Op basis hiervan kan een nauwkeurigere slachtofferfunctie worden afgeleid.

8.2.2.2 Relatie slachtofferfractie en stijgsnelheid aanpassen

De afhankelijkheid van stijgsnelheid in de slachtofferfunctie moet worden verfijnd. De huidige opsplitsing is vermoedelijk gedeeltelijk gebaseerd op mate van waarschuwen, waardoor deze set functies de Watersnoodramp van 1953 goed voorspelt, wat niet betekent dat dat ook het geval is voor andere overstromingen, met een andere verdeling van de mate van waarschuwen.

Hiervoor kan van alle overstroomde gemeenten tijdens de Watersnoodramp gekwantificeerd worden in welke mate er gewaarschuwd is, zodat het effect van waarschuwen op de slachtofferfractie buiten de analyse kan worden gehouden. Vervolgens kan het effect van grotere stijgsnelheid op het overlijden van mensen worden bepaald.

In combinatie met het resultaat van het onderzoek naar de invloed van de bodemruwheid op de stijgsnelheid, kan vervolgens de relatie tussen de stijgsnelheid en de slachtofferfractie worden ingevoegd in een slachtofferfunctie.

8.2.2.3 Relatie slachtofferfractie en stroomsnelheid verfijnen

De huidige berekening van slachtoffers door stroomsnelheid kan worden aangepast door een nauwkeurigere inwonerverdeling toe te voegen, en de snelheidsberekening te veranderen naar een berekening van lokale stroomsnelheid. Hiervoor moet gedetailleerde informatie over het overstroomde gebied worden verzameld, zoals lokaties van obstakels, welke het overstromingspatroon lokaal veranderen. Daarna kan met een nauwkeurigere inwonerverdeling voor dat gebied een betere schatting van het aantal slachtoffers door deze oorzaak worden bepaald.

REFERENTIES

- [1] Asselman, S.E.M.; Jonkman, S.N.; Consequences of floods: the development of a method to estimate the loss of life, Delft Cluster publication: DC1-233-7
 - [2] Asselman, N; Consequences of floods: damage to buildings and casualties, WL|Delft Hydraulics, februari 2005
 - [3] Asselman, N; HIS-simulatie Delta 2003, Maart 2003
 - [4] Baan, P; Nuchter omgaan met overstromingsrisico's, artikel in H2O, November 2003
 - [5] Baan, P.; Veiligheidsbenadering bij overstromingen: Naar meer zelfredzaamheid? ; WL|Delft Hydraulics
 - [6] Battjes, J.A.; Booij, N.; Hooimeijer, M.A.; Modelvorming, collegedictaat CTow1090 TU Delft; April 1999
 - [7] Brown, C.A.; Graham W.J., Assessing the threat to life from dam failure, Water resources Bulletin, Vol. 24 No. 6, pp. 1303-1309, 1988
 - [8] Dijkman, M; Huizinga, H.J.; Waterman, R.; Barendregt, A.; HIS Schade en Slachtoffer module versie 2.1 systeemdocumentatie, November 2004
 - [9] Doef, M.R. v.d.; Verbruggen, Mw. R. ; Manen, S.E. v.; Picaso Deel V: Berekening van schade en aantal slachtoffers; 17 augustus 2001
 - [10] De Ramp, Nationale uitgave ten behoeve van hulp aan de getroffen en van de Ramp, februari 1953
 - [11] Egmond, Prof. Ir. N.D.; Nuchter omgaan met risico's; Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) - RIVM, 2003
 - [12] Frieser, B.I.; Probabilistic Evacuation Decision Model for River Floods in the Netherlands, TU Delft / DWW, MSc. Thesis, juni 2004
 - [13] Groot Zwaaftink, M; Ledden, van M.; Heuer, L; Schade- en Slachtofferberekeningen Dijkkring 31, Royal Haskoning, 27 januari 2005
 - [14] Huizinga, H.J.; Dijkman, M.; Barendregt, A.; Waterman, R.; HIS - Schade en Slachtoffer, Module Versie 2.1 Gebruikershandleiding, november 2004
 - [15] Ijzerman, J.F.; Het modelleren en optimaliseren van dijkverhogingen, mei 2005
 - [16] Jonkman, S.N.; Overstromingsrisico's: Een onderzoek naar de toepasbaarheid van risicomaten., TU Delft / DWW, MSc Thesis, februari 2001
 - [17] Jonkman, S.N.; Loss of life caused by floods: an overview of mortality statistics for worldwide floods, Delft Cluster publication: DC1-233-6
 - [18] Jonkman, S.N.; P.H.A.J.M. van Gelder, J.K. Vrijling; Flood risk calculated with different measures, 2003
 - [19] Jonkman, S.N.; Methode voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een grootschalige overstroming. Dienst Weg- en Waterbouwkunde, mei 2004
 - [20] Jonkman, S.N.; Vergelijkingen van uitkomsten slachtofferfuncties met geobserveerde slachtofferaantallen ten gevolge van de Watersnoodramp van 1953, juni 2005
 - [21] Jonkman, S.N.; Lentz, A; Propositions for loss-of-life modelling in risk assessment, 2005
 - [22] Jonkman, S.N.; Cappendijk, P; Inschatting slachtoffers dkr. 7, 14 en 36, 2006
 - [23] Kok, M; Huizinga, H.J.; Vrouwenvelder, A.C.W.M.; Barendregt, A.; Standaardmethode2004, Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen, DWW-2005-005, november 2004
 - [24] Leidraad Rivierdijken II, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1989
 - [25] Lohninger, H; Teach/Me Data Analysis, Springer-Verlag, Berlin-New York-Tokyo, 1999
 - [26] Manual on the use of Rock in Hydraulic Engineering, CUR rapport 169, November 1994
 - [27] Noortwijk, J.M. van, et al; Overzicht van methoden voor kosten-baten-analyse voor maatregelen ter beperking van overstromingsrisico's, HKV lijn in water, april 2005
 - [28] Rijkswaterstaat, Verslag over de stormvloed van 1953, 1961
 - [29] RIZA, Kosten compartimenteringdijken, 12 september 2005
 - [30] Roos, W; Damage to buildings, Delft Cluster Rapport DC1-233-9, 2003
-

Referenties

- [31] Slager, K; De ramp, een reconstructie, 200 ooggetuigen over de watersnood van 1953, verhalen om nooit te vergeten, De koperen tuin, Goes, 1992
- [32] Tengs, T.O., et al; Five-Hundred Life-Saving Interventions and their cost-effectiveness, Risk Analysis, Vol. 15, No. 3, 1995
- [33] Tengs, T.O.; Dying to soon, how cost-effectiveness analysis can save lives, 1997
- [34] Theunissen, R; A probabilistic risk assessment of dikering IJsselmonde and the impact of compartmentation, 2006
- [35] Veiligheid Nederland in Kaart, Tussenstand onderzoek overstromingsrisico's, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005
- [36] Veiligheid Nederland in Kaart, Modelering en analyse van evacuatie, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, december 2005
- [37] Veilinga, P; Erasmus Lezing 2003, Klimaatverandering en de veiligheid van Nederland, Mei 2003
- [38] Verwijmeren, P; Gevolgen van overstromen; MSc thesis TU Delft, 2002
- [39] Vrijling J.K., van Hengel W, Houben RJ. Acceptable risk as a basis for design. Reliability engineering and System Safety 1998; 59:141-50
- [40] Vrijling J.K., van Gelder, P.H.A.J.M.; Probabilistic design in hydraulic engineering, dictaat TU Delft CT5310, augustus 2002
- [41] Vrisou van Eck, N., M. Kok, A. Vrouwenfelder, Standaardmethode Schade en Slachtoffers, december 1999 en de HIS Standaardmethode
- [42] Vrouwenfelder, A.C.W.M.; Steenhuis, C.M.; Tweede waterkeringen Hoeksche Waard. Berekening van het aantal slachtoffers bij verschillende inundatiescenario's, TNO-rapport 97-CON-R0332; februari 1997
- [43] Waarts, P.H.; Methode voor de bepaling van het aantal doden als gevolg van inundatie TNO-rapport B-91-1099, september 1992

Websites

- [44] <http://www.zeeuwsarchief.nl/strijdtegenhetwater/>; Gegevens over de Deltawerken en meerdere stormvloedten plus veel achtergrond informatie en foto's.
 - [45] <http://www.delta2003.nl/>; Webpagina waarop veel achtergrondinformatie is verzameld in het kader van de herdenking van de ramp in 2003.
 - [46] <http://www.vias.org/tmdatanaleng/>; Data analyse; On-line versie van: H. Lohninger: Teach/Me Data Analysis, Springer-Verlag, Berlin-New York-Tokyo, 1999.
 - [47] <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>; e-Handbook of Statistical Methods; National institute of Standards and Technology, VS
 - [48] <http://people.zeelandnet.nl/voeveren/>; persoonlijke pagina van een inwoner van Stavenisse over de Watersnoodramp
 - [49] http://en.wikipedia.org/wiki/Log-normal_distribution; Pagina uit online encyclopedie over de lognormale verdelingsfunctie
 - [50] <http://mathworld.wolfram.com/CorrelationCoefficient.html>; Bewijs dat R^2 de voorspelde fractie van de totale variantie is
-

VERKLARENDE WOORDENLIJST

Definities

Delta2003

Het project dat de activiteiten in het kader van herdenkingsjaar 2003 coördineerde.

Dijkkring

Een dijkkring (ook: dijkkringgebied) is een gebied dat beschermd wordt tegen buitenwater door een primaire waterkering of door hoge gronden. De dijkkring is niet de dijk om het gebied, maar het gebied dat wordt beschermd.

Dijkvak

Een homogeen onderdeel van het geheel aan primaire waterkeringen of hoge gronden dat een dijkkringgebied omsluit.

Evacuatiefactor

Fractie, waarmee aangegeven wordt welk gedeelte van de bevolking van een bepaald gebied geëvacueerd is. Deze factor is de uitkomst van een bepaalde evacuatiestrategie.

Functie

Mathematische functie waarin variabelen worden ingevoerd en een resultaat oplevert.

GIS

Geografisch Informatie Systeem

Goodness-of-fit

Maat om uit te drukken hoe goed een bepaalde functie met geschatte parameters een dataset representeert.

Grid

Raster met bepaalde informatie (zoals waterdiepte, of bodemhoogte) per cel.

Groepsrisico

Kans op een bepaald aantal slachtoffers, weer te geven in een FN curve.

Grootschalige overstroming

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

Individueel Risico (volgens VROM)

De kans op overlijden op een bepaalde plaats ten opzichte van een beschouwde activiteit, ongeacht de aanwezigheid van personen.

Maatschappelijk Risico

Maatschappelijk Risico legt het verband tussen de kans op een ongeval en het aantal slachtoffers van dat ongeval

Methode

Manier om iets uit te voeren. In de context van deze studie het geheel aan handelingen om een aantal slachtoffers te berekenen. Hieronder valt ook het verzamelen van informatie, bijvoorbeeld stijgsnelheden. Een voorbeeld van een methode is de Standaardmethode2004.

Outliers

Waarden in een dataset die sterk afwijken van de rest van de dataset, wanneer vergeleken met een functie.

Overstromingsscenario

Geheel aan gebeurtenissen bij een overstroming, zoals plaats en manier van falen van de dijkkring.

People-At-Risk

Het aantal mensen dat normaliter verblijft in het overstroomde gebied.

People-Exposed

Het aantal mensen dat zich tijdens de overstroming in het overstroomde gebied bevindt. Het verschil met *People-At-Risk* is het aantal geëvacueerde mensen.

Schematisatie

Nabootsing van een overstroming in een computerprogramma. Hierin worden waterstanden en stroomsnelheden voor verschillende tijdstappen berekend.

Slachtofferfractie / Mortaliteit

De verhouding tussen het aantal slachtoffers en de *People-Exposed*.

Slachtofferfunctie

Functie die de verhouding beschrijft tussen de kenmerken van de overstroming (zoals waterdiepte en stijgsnelheid) en de slachtofferfractie.

Standaardmethode

Geheel aan duidelijk omschreven activiteiten, die uitgevoerd dienen te worden tot een bepaald resultaat behaald is. In de context van deze studie de standaardmethode om het aantal slachtoffers in een bepaald gebied als gevolg van een bepaald scenario te berekenen.

Stijgsnelheid

De snelheid in meter per uur waarmee het water stijgt in het overstroomde gebied. In de standaardmethode wordt in de betreffende slachtofferfunctie de maximale stijgsnelheid aangehouden, gemiddeld over een minimaal behaalde diepte van 1,5 m.

Time-to-wet

Eigenschap van een beschouwde locatie, betekend: de tijd die het water nodig heeft om een beschouwde locatie te bereiken.

COMPUTER PROGRAMMA'S

Arcview

GIS programma, waarmee grid bestanden met elkaar vergeleken en aangepast kunnen worden, om bijvoorbeeld data te prepareren voor HIS-SSM.

Evacuatie Preprocessor

Programma waarmee een grid gemaakt kan worden met evacuatiefracties, zodat de *People-Exposed* berekend kan worden vanuit de *People-at-risk*.

HIS-SSM

Computerprogramma voor de berekening van de economische schade en het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming. Het programma maakt gebruik van de standaardmethode.

PC-Ring

Programma waarmee de kans op een bepaald doorbraakscenario berekend wordt voor een dijkkring. Hierin wordt niet alleen de overschrijdingskans berekend, maar de faalkans van de dijkkring.

Sobek

Programma waarmee een overstroming gesimuleerd kan worden, gegeven dat het doorbraakscenario bekend is.

Stijgsnelheid Preprocessor

Programma dat de uitvoer van het programma Sobek verwerkt en prepareert voor invoer in de HIS-SSM.

BIJLAGEN



BIJLAGEN

Bijlagen Hoofdstuk 3	Methoden en functies voor bepaling van het aantal slachtoffers	3
Bijlagen Hoofdstuk 4	Watersnoodramp 1953	5
Bijlagen Hoofdstuk 5	Onnauwkeurigheden	13
Bijlagen Hoofdstuk 6	Verbetering slachtofferfunctie	17
Bijlagen Hoofdstuk 7	Analyse Watersnoodramp Nu	33

BIJLAGEN HOOFDSTUK 3 METHODEN EN FUNCTIES VOOR BEPALING VAN HET AANTAL SLACHTOFFERS

BIJLAGE 3.1 BEREKENING CORRELATIECOËFFICIËNT

De correlatiecoëfficiënt wordt gebruikt om de ‘goodness-of-fit’ van een bepaald model weer te geven. Deze coëfficiënt kan een waarde van -1 tot +1 aannemen, waarbij -1 een volstrekt negatieve en +1 een volstrekt positieve correlatie weergeeft.

$$R = \frac{\text{COV}(x, y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Waarin:

$\text{COV}(x, y)$ = covariantie van x en y

σ_x, σ_y = standaardafwijking van x, dan wel y

Voor een bepaalde dataset wordt deze op de volgende manier berekend:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Het kwadraat van de correlatiecoëfficiënt (=de determinatiecoëfficiënt) geeft het deel van de totale variantie weer, die voorspeld wordt door het model (voor wiskundig bewijs, zie [50]).

De correlatiecoëfficiënt kan een vertekend beeld geven van de mate waarin een model de variantie voorspelt. Een correlatiecoëfficiënt van 0.7 lijkt een hoge waarde. Dit betekent echter een voorspelling van de totale variantie van minder dan de helft ($0.7^2=0.49$).

Om deze reden zal in dit rapport gebruik worden gemaakt van de determinatiecoëfficiënt (R^2). Deze coëfficiënt kan waarden aannemen van 0 tot +1.

BIJLAGEN HOOFDSTUK 4 WATERSNOODRAMP 1953

Bijlage 4.1	Aangepaste Lijst Jonkman	6
Bijlage 4.2	Berekende aantallen slachtoffers per dorp	8
Bijlage 4.3	Gesimuleerde stroomgegevens	10

BIJLAGE 4.1 AANGEPASTE LIJST JONKMAN

Gemeente	Aantal inwoners lijst Jonkman	water- diepte [m]	stijg- snelheid w [m/h]	Slachtoffers		
				stijg- snelheid	stroom- snelheid	overige
<u>Goeree-Overflakkee</u>						
Den Bommel	1993	2	0.4			9
Dirksland	n.a.					0
Goedereede	1195	2.1				6
Herkingen	1078	0.5				4
Melissant	n.a.					0
Middelharnis / Sommelsdijk	8818	2.4				17
Nieuwe Tonge	2186	2.95	6	85		
Ooltgensplaat	3212	2	0.4			2
Ouddorp	3984					1
Oude Tonge	3088	3	6	305		
Stad aan 't Haringvliet	n.a.					0
Stellendam	1883	3.3			61	
<u>Schouwen-Duiveland</u>						
Brouwershaven	1198	2.5	0.5	3		
Bruinisse	2137					1
Burghsluis (Burgh)	50	3.85	16	10		
Dreischor	1020	2.8		22	10	0
Duivendijke	n.a.					0
Elkerzee	517	3.1				0
Ellemeet	495					1
Haamstede	1715					0
Kerkwerve	801	3				3
Nieuwerkerk	1858	3.3		288		
Noordgouwe	866					1
Noordwelle	455	2				0
Oosterland	1819	3				65
Ouwerkerk	565	3.3	4	91		
Renesse	n.a.					
Serooskerke	219					15
Zierikzee	7129	3.5		23	1	0
<u>St. Philipsland</u>						
St.Philipsland	2136	2.3				10

Tholen

Poortvliet (+ Tholen)	1705	2				0
St. Annaland	268	0.5				0
St. Maartensdijk	2147	1				2
Stavenisse	1737	3.2	10	156		

Zeeuws Vlaanderen

Hontenisse (+ Grauw & Langendam)	5561	1				8
Vogelwaard	n.a.					1
Zaamslag (+ Terneuzen + Hoek)	13790	1.5				1

Zuid-Beveland

Baarland	818	1.2				0
Ellewoutsdijk (+ Driewegen)	486	1.4				3
Krabbendijke	1148					2
Kruiningen	4859	3.5			1	
Oudelande	779	0.8				3
Rilland	2253	1.7			7	5
Waarde	1104	2.5			1	
Wolphaartsdijk	n.a.	1.3				12

BIJLAGE 4.2 BEREKENDE AANTALLEN SLACHTOFFERS PER DORP

Gemeente	Slachtoffers geobserveerd	Slachtoffers standaard-methode 1953	People Exposed Lijst Jonkman	People Exposed berekend
<u>Goeree Overflakkee</u>				
Den Bommel	9	42	1993	1264
Dirksland	0	1		279
Goedereede	6	13	1195	780
Herkingen	4	24	1078	698
Melissant	0	2		427
Middelharnis / Sommelsdijk	17	16	8818	5985
Nieuwe Tonge	85	76	2186	2177
Ooltgensplaat	2	87	3212	2856
Ouddorp	1	18	3984	2698
Oude Tonge	305	135	3088	3011
Stad aan 't Haringvliet	0	1		766
Stellendam	61	107	1883	1804

Schouwen-Duiveland

Brouwershaven	3	5	1198	728
Bruinisse	1	75	2137	2292
Burghsluis (Burgh)	10	2	50	448
Dreischor	32	67	1020	1037
Duivendijke	0	5		511
Elkerzee	0	4	517	491
Ellemeet	1	3	495	493
Haamstede	0	3	1715	532
Kerkwerve	3	7	801	800
Nieuwerkerk	288	226	1858	1871
Noordgouwe	1	2	866	866
Noordwelle	0	3	455	449
Oosterland	65	20	1819	1795
Ouwerkerk	91	99	565	578
Renesse	0			842
Serooskerke	15	12	219	227
Zierikzee	24	53	7129	5645

St. Philipsland

St. Philipsland	10	6	2136	1676
-----------------	----	---	------	------

Tholen

Poortvliet (+ Tholen)	0	5	1705	1705
St. Annaland	0	3	268	1302
St. Maartensdijk	2	3	2147	325
Stavenisse	156	9	1737	1645

Zeeuws Vlaanderen

Hontenisse (+ Grauw & Langendam)	8	1	5561	508
Vogelwaard	1	0		137
Zaamslag (+ Terneuzen + Hoek)	2	0	13790	104

Zuid Beveland

Baarland	0	2	818	719
Ellewoutsdijk (+ Driewegen)	3	1	486	331
Krabbendijke	2	0	1148	54
Kruiningen	62	559	4859	3152
Oudelande	3	1	779	621
Rilland	12	0	2253	2076
Waarde	1	3	1104	698
Wolphaartsdijk	12	4		1668

BIJLAGE 4.3 GESIMULEERDE STROOMGEGEVENS

Gemeente	gemiddelde diepte	gemiddelde stijgsnelheid	gemiddelde stroomsnelheid
----------	-------------------	--------------------------	---------------------------

Goeree Overflakkee

Den Bommel	1.79	0.87	0.221
Dirksland	1.33	0.15	0.255
Goedereede	0.91	2.24	0.251
Herkingen	1.22	2.61	0.203
Melissant	0.39	3.67	0.125
Middelharnis / Sommelsdijk	1.09	0.74	0.064
Nieuwe Tonge	2.04	8.82	0.680
Ooltgensplaat	1.87	5.87	0.391
Ouddorp	0.83	3.33	0.211
Oude Tonge	2.13	3.18	0.295
Stad aan 't Haringvliet	0.46	1.30	0.105
Stellendam	2.35	7.14	0.458

Schouwen-Duiveland

Brouwershaven	1.02	0.98	0.217
Bruinisse	2.35	2.20	0.356
Burghsluis (Burgh)	0.83	0.24	0.082
Dreischor	2.75	0.52	0.635
Duivendijke	3.19	0.51	0.308
Elkerzee	2.34	0.40	0.170
Ellemeet	2.46	0.32	0.221
Haamstede	1.47	0.28	0.079
Kerkwerve	2.99	0.27	0.264
Nieuwerkerk	2.94	0.77	0.461
Noordgouwe	0.79	0.07	0.241
Noordwelle	2.36	0.21	0.192
Oosterland	2.71	0.29	0.437
Ouwerkerk	3.00	0.69	0.493
Renesse	0.96		0.056
Serooskerke	2.60	0.19	0.983
Zierikzee	1.03	0.58	0.519

St. Philipsland

St. Philipsland	1.64	0.15	0.099
-----------------	------	------	-------

Tholen

Poortvliet (+ Tholen)	1.22	0.15	0.212
-----------------------	------	------	-------

St. Annaland	0.13	0.15	0.157
St. Maartensdijk	1.57	0.13	0.230
Stavenisse	2.09	0.16	0.304

Zeeuws Vlaanderen

Hontenisse (+ Grauw & Langendam)	0.45		0.205
Vogelwaarde	0.11		0.075
Zaamslag (+ Terneuzen + Hoek)	0.13		0.144

Zuid Beveland

Baarland	1.48	0.33	0.131
Ellewoutsdijk (+ Driewegen)	1.38	0.67	0.264
Krabbendijke	3.09	0.27	0.050
Kruiningen	3.52	0.60	0.259
Oudelande	0.80		0.174
Rilland	2.08	0.16	0.271
Waarde	0.53	0.84	0.073
Wolphaartsdijk	0.89	0.15	0.085

BIJLAGEN HOOFDSTUK 5 ONNAUWKEURIGHEDEN

BIJLAGE 5.1 ANALYSE AFHANKELIJKHEID STIJGSNELHEID VAN BODEMRUWHEID

In deze bijlage wordt onderzocht in welke mate de overstromingskenmerken stijg- en stroomsnelheid afhankelijk zijn van de bodemruwheid, zoals die worden ingevoerd in het overstromingsmodel. Hiervoor wordt eerst uiteengezet welke berekening het simulatieprogramma uitvoert, waarna met behulp van een fictief compartiment kwalitatief de verschillen worden bepaald.

Het verloop van een overstroming kan beschreven worden met twee functies.

1-dimensionaal

De continuïteitsvergelijking:

$$\frac{\partial A(\zeta)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uA) = 0 \quad (5.1)$$

en de vergelijking voor behoud van impuls:

$$\frac{\partial}{\partial t}(Au) + \frac{\partial}{\partial x}(Au^2) + gA \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g \frac{Au\|u\|}{C^2 R} = 0 \quad (5.2)$$

2-dimensionaal

Deze gelden ook in een 2-dimensionale situatie:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uh) + \frac{\partial}{\partial x}(vh) = 0 \quad (5.3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(uh) + \frac{\partial}{\partial x}(u^2h) + \frac{\partial}{\partial y}(vuh) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g \frac{u\|u\|}{C^2} = 0 \quad (5.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(vh) + \frac{\partial}{\partial x}(vuh) + \frac{\partial}{\partial y}(v^2h) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g \frac{v\|u\|}{C^2} = 0 \quad (5.5)$$

waarin:

C = Chézy waarde ($m^{1/2}/s$)

debiet door bres

$$Q_{bres}(t) = \mu \cdot \Delta Z(t) \cdot B_{bres} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta Z(t)} \quad (5.6)$$

met:

μ : de contractie coëfficiënt [-]

$\Delta Z(t)$: het verval (bovenstroomse peil-drempelhoogte) [m]

$B_{bres}(t)$: de momentane bresbreedte [m]

Deze functies worden gebruikt in het computerprogramma Sobek om een overstroming numeriek te simuleren. Het analytisch oplossen van deze vergelijkingen is ondoenlijk.

Bovenstaande berekenmethode wordt gebruikt in het simulatieprogramma Sobek.

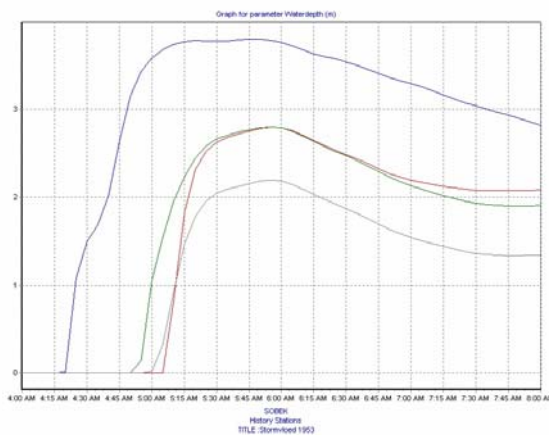
In de gebruikte overstromingssimulaties van Goeree-Overflakkee en Schouwen Duiveland wordt de ruwheid ingevoerd volgens Nikuradse, welke vervolgens wordt omgerekend naar een Chézy-waarde volgens de formule van White-Colebrook:

$$C = 18 \cdot \log\left(\frac{12 \cdot R}{k_n}\right)$$

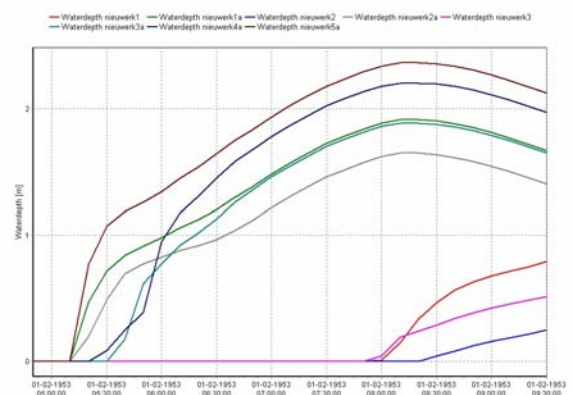
waarin:

k_n = ruwheid volgens Nikuradse

Er zijn grote verschillen tussen de stijgsnelheden op de verschillende eilanden. Dit wordt duidelijk wanneer het waterdiepte verloop op Goeree Overflakkee (Figuur 5.1) en Schouwen Duiveland (Figuur 5.2) wordt vergeleken. In elk van beide figuren is van een aantal punten rond de kern van de betreffende gemeente het waterstandsverloop gegeven.



Figuur 5.1: Waterstandverloop Ooltgensplaat (Goeree Overflakkee)



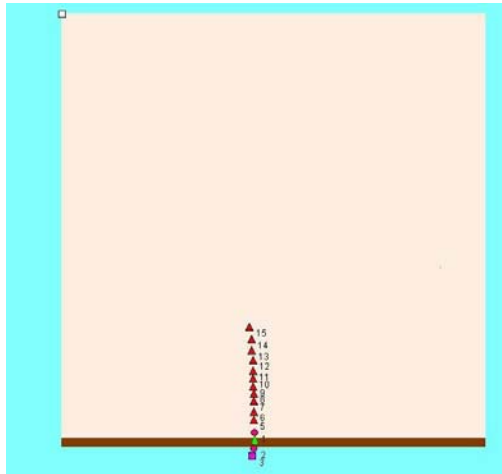
Figuur 5.2: Waterstandverloop in Nieuwerkerk (Schouwen Duiveland)

Dit zijn slechts twee plaatsen, maar beide zijn representatief voor veel gemeenten op het betreffende eiland.

Uit de gebruikte overstromingssimulatie is naar voren gekomen dat voor het eiland Schouwen Duiveland een constante ruwheid van 0.3 is gebruikt, terwijl voor de overige eilanden een ruimtelijk verdeelde ruwheid is ingevoerd, variërend van 0.4 voor ruraal gebied tot 10 voor urbaan gebied.

Een dergelijke factor levert voor de Chézy-waarde een verschil op van $\log(10/0.3) \cdot 18 = 27.4 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$.

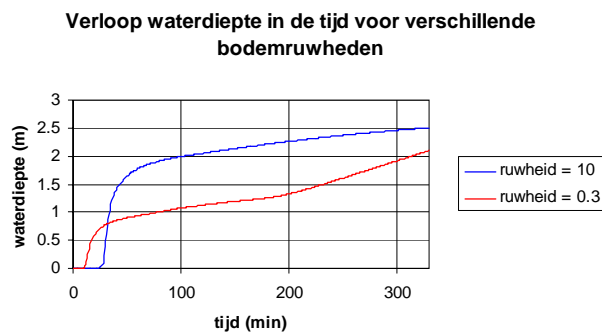
Om erachter te komen in welke mate dit invloed heeft op de stijgsnelheid, is een fictief compartiment in het simulatieprogramma ingevoerd.



Figuur 5.3: Fictief compartiment

Het water loopt het compartiment binnen bij het groene takje. Bij de rode driehoekjes wordt de waterstand geobserveerd. Elk rode driehoekje staat 100 m verder van de bres, dan het rode driehoekje met een lager nummer.

De overstromingssimulatie is een aantal maal herhaald, met verscheidene (constante) waarden voor de ruwheid. Het bresdebiet is ingesteld op $2000 \text{ m}^3/\text{s}$, en de afmetingen van het compartiment zijn $4500 \times 4500 \text{ m}^2$.



Figuur 5.4: Waterdiepte verloop in fictief compartiment bij verschillende ruwheden

Hieruit blijkt dat de stijgsnelheid volgens de berekening uit de Standaardmethode (over de eerste 1.5m) bij een waarde van 10 (Figuur 5.4) voor de ruwheid vele malen hoger is, dan bij een waarde van 0.3. Uit de figuur wordt ook duidelijk dat de waterdieptes na voldoende lange tijd (in dit geval meer dan 5 uur) elkaar benaderen. Dit is een verwacht resultaat, aangezien de bodemruwheid minder van belang is, wanneer de waterdiepte toeneemt. De maximale waterdiepte blijkt derhalve minder afhankelijk te zijn

van de bodemruwheid, wanneer de overstroming lang genoeg duurt. Dit verklaart waarom de maximale waterdiepte wel goed wordt gesimuleerd.

Welke stijgsnelheid de beste is kan hier niet uit afgeleid worden.

Al lijkt een ruimtelijke verdeling van de ruwheid nauwkeuriger, de gekozen waarden hoeven niet te leiden tot het juiste resultaat.

De eigenschappen van de overstroming zijn van elkaar afhankelijk.

Stroomsnelheid:

$$v = Q_{bres} / (h \cdot b)$$

Waterdiepte:

$$h = Q_{bres} \cdot t / A_{polder}$$

Stijgsnelheid:

$$w = \delta h / \delta t = Q_{bres} / A_{polder}$$

Waarin Q_{bres} een functie is van de buitenwaterstand, bresafmetingen en ruwheid van de bres.

Relatie bodemruwheid en maximale waterdiepte

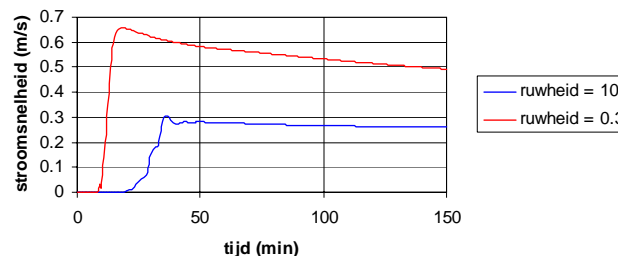
Deze afhankelijkheid impliceert dat ook de overige overstromingskenmerken hiervoor gevoelig zijn. Alleen van de maximale waterdiepte is aangetoond dat deze een sterke overeenkomst heeft met de daadwerkelijk opgetreden waarden.

Dat de maximale waterdiepte wel goed gesimuleerd wordt, wordt verklaard doordat deze in de meeste gevallen optreedt tijdens de tweede vloed, in tegenstelling tot de stroom- en stijgsnelheid. De bodemruwheid is vooral van invloed tijdens de eerste vloed, wanneer er zich nog geen water in het compartiment bevindt.

Relatie bodemruwheid en maximale stroomsnelheid

Zoals in onderstaande figuur duidelijk wordt, is ook de maximale stroomsnelheid hier sterk van afhankelijk. Zoals te verwachten is de stroomsnelheid bij grote ruwheid lager dan bij lage ruwheid. Dat de relatie tussen de ruwheid en de stroomsnelheid juist andersom is dan bij de stijgsnelheid is intuïtief te begrijpen, doordat er maar een beperkte hoeveelheid water het compartiment binnestroomt. Dit water kan stijgen of doorstromen naar een ander deel van het compartiment.

Verloop van de stroomsnelheid bij verschillende ruwheden

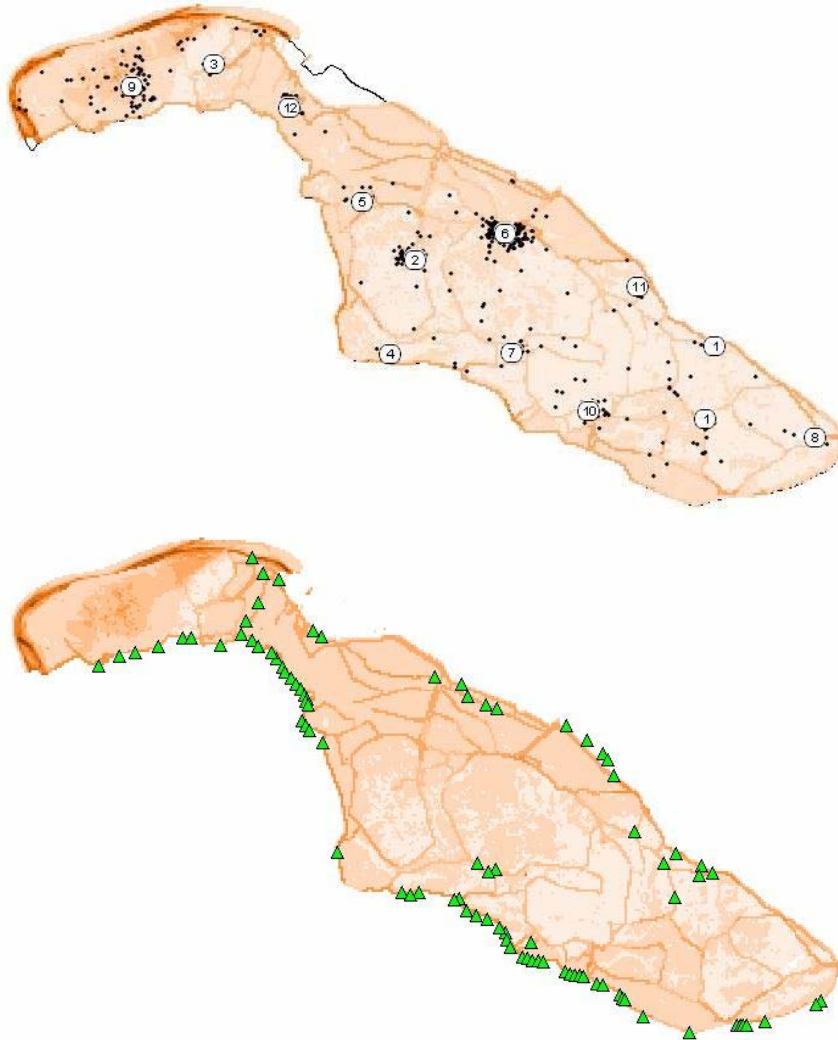


Figuur 5.5: Stroomsnelheid in fictief compartiment bij verschillende ruwheden

BIJLAGEN HOOFDSTUK 6 VERBETERING SLACHTOFFERFUNCTIE

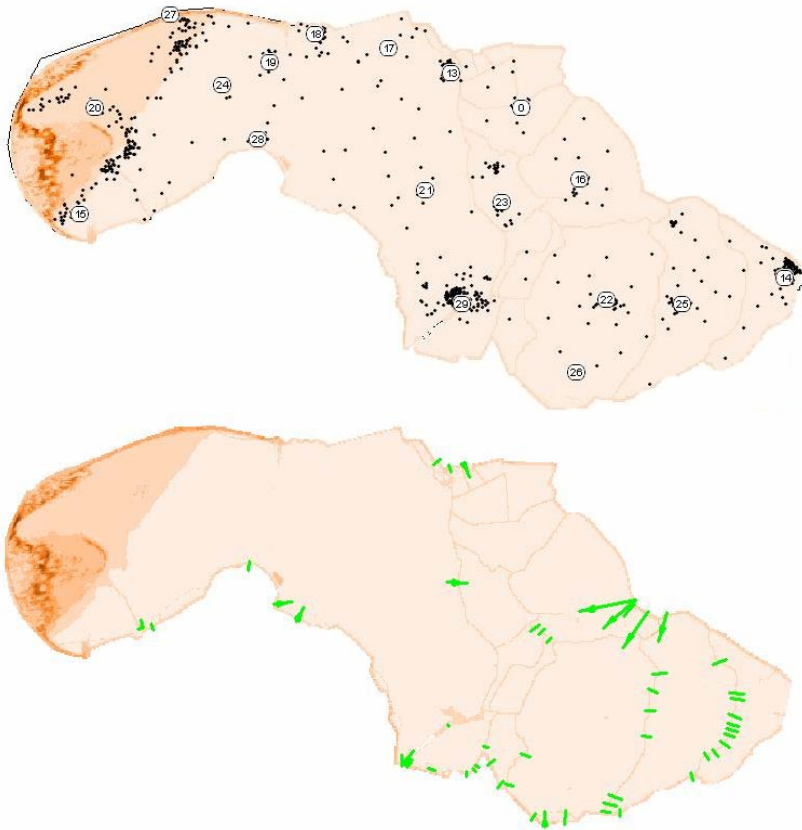
Bijlage 6.1	Overstroomde gemeenten op Goeree Overflakkee	18
Bijlage 6.2	Overstroomde gemeenten op Schouwen Duiveland	19
Bijlage 6.3	Overstroomde gemeenten op Tholen en St. Philipsland	20
Bijlage 6.4	Overstroomde gemeenten op Zuid-Beveland West	21
Bijlage 6.5	Overstroomde gemeenten op Kruiningen	22
Bijlage 6.6	Overstroomde gemeenten op Zeeuws-Vlaanderen	23
Bijlage 6.7	Relatie gesimuleerde waterdiepte en slachtofferfractie	24
Bijlage 6.8	Relatie waterdiepte eerste vloed en slachtofferfractie	26
Bijlage 6.9	Relatie stroomsnelheid en slachtofferfractie	27
Bijlage 6.10	Relatie vluchtmogelijkheden en slachtofferfractie	31

BIJLAGE 6.1 OVERSTROOMDE GEMEENTEN OP GOEREE OVERFLAKKEE



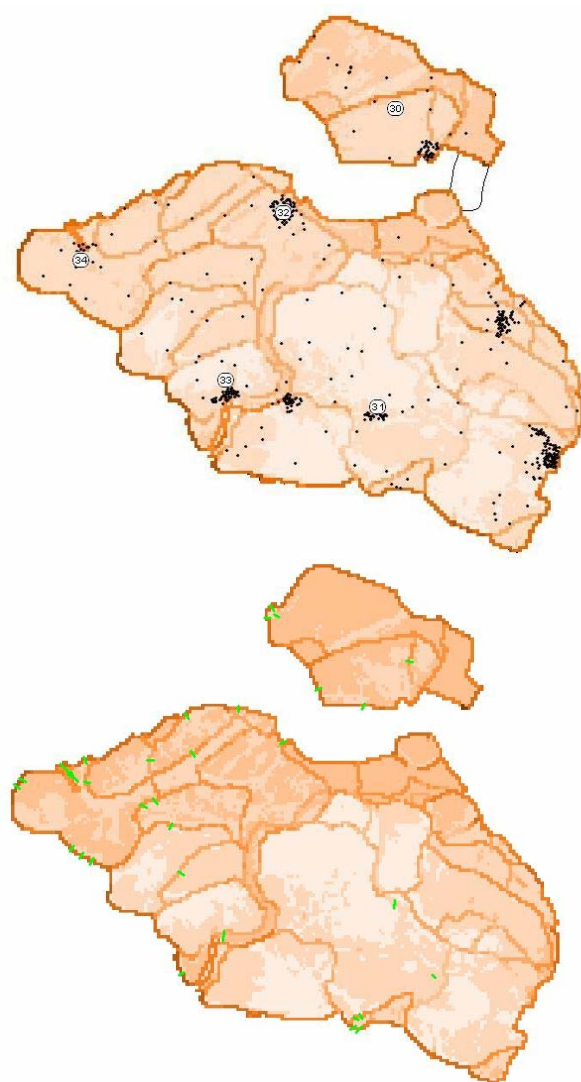
Nr.	Plaatsnaam
1	Den Bommel
2	Dirksland
3	Goedereede
4	Herkingen
5	Melissant
6	Middelharnis / Sommelsdijk
7	Nieuwe Tonge
8	Ooltgensplaat
9	Ouddorp
10	Oude Tonge
11	Stad aan 't Haringvliet
12	Stellendam

BIJLAGE 6.2 OVERSTROOMDE GEMEENTEN OP SCHOUWEN DUIVELAND



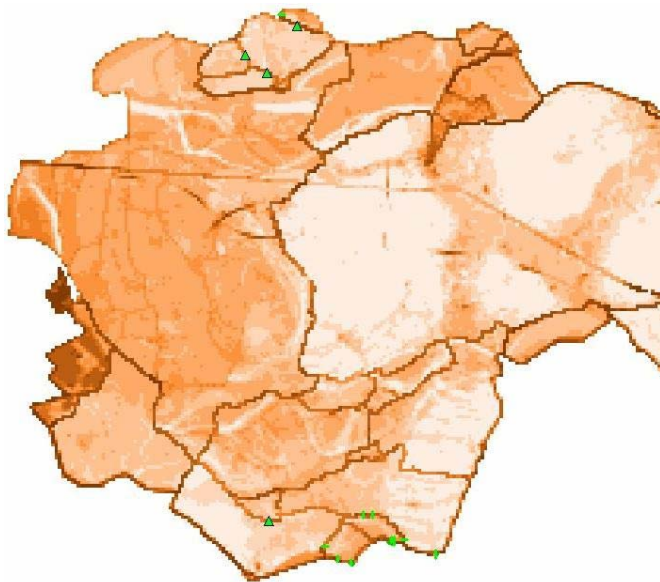
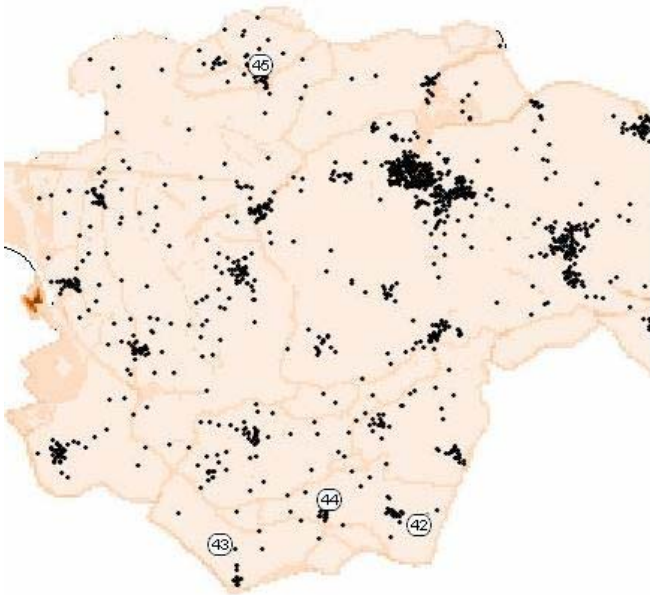
Nr.	Plaatsnaam
13	Brouwershaven
14	Bruinisse
15	Burghsluis (Burgh)
16	Dreischor
17	Duivendijke
18	Elkerzee
19	Ellemeet
20	Haamstede
21	Kerkwerve
22	Nieuwerkerk
23	Noordgouwe
24	Noordwelle
25	Oosterland
26	Ouwerkerk
28	Serooskerke
29	Zierikzee

BIJLAGE 6.3 OVERSTROOMDE GEMEENTEN OP THOLEN EN ST. PHILIPSLAND



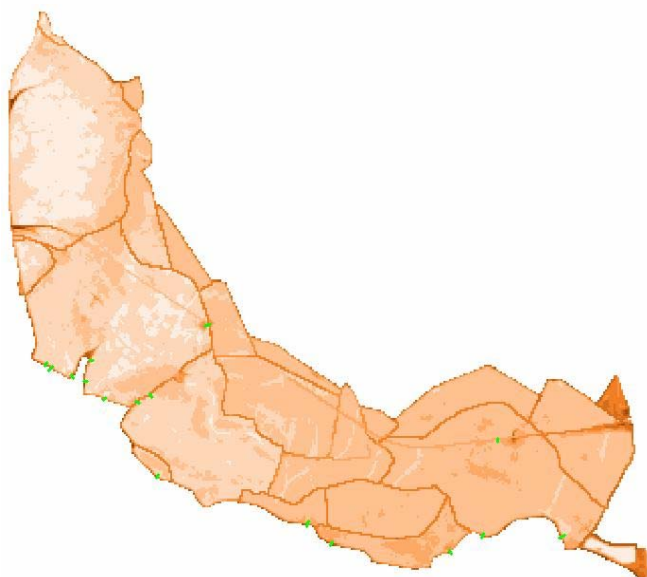
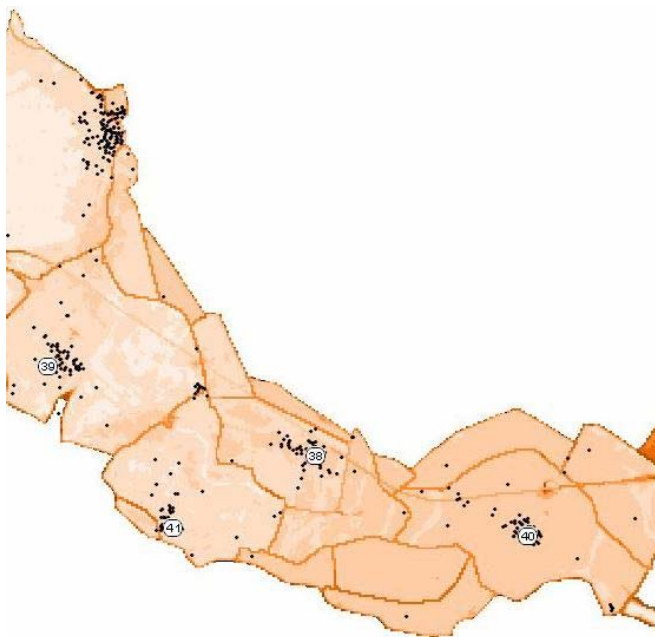
Nr.	Plaatsnaam
30	St. Philipsland
31	Poortvliet (+ Tholen)
32	St. Annaland
33	St. Maartensdijk
34	Stavenisse

BIJLAGE 6.4 OVERSTROOMDE GEMEENTEN OP ZUID-BEVELAND WEST



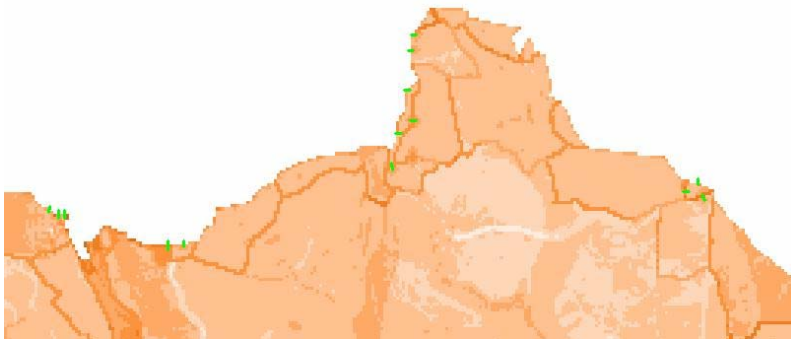
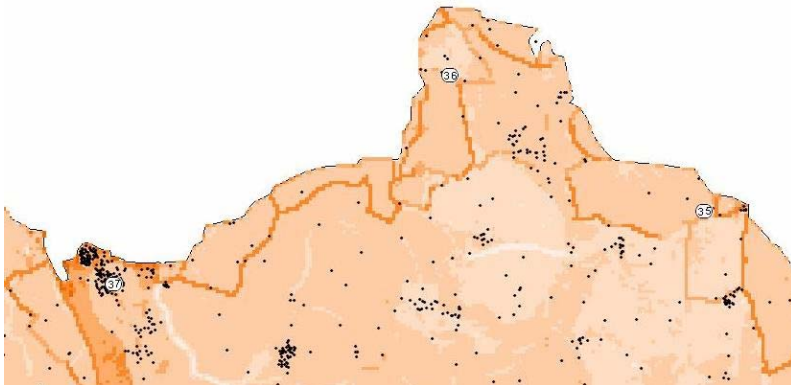
Nr.	Plaatsnaam
42	Baarland
43	Ellewoutsdijk (+ Driewegen)
44	Oudelande
45	Wolphaartsdijk

BIJLAGE 6.5 OVERSTROOMDE GEMEENTEN OP KRUININGEN



Nr.	Plaatsnaam
38	Krabbendijke
39	Kruiningen
40	Rilland
41	Waarde

BIJLAGE 6.6 OVERSTROOMDE GEMEENTEN OP ZEEUWS-VLAANDEREN

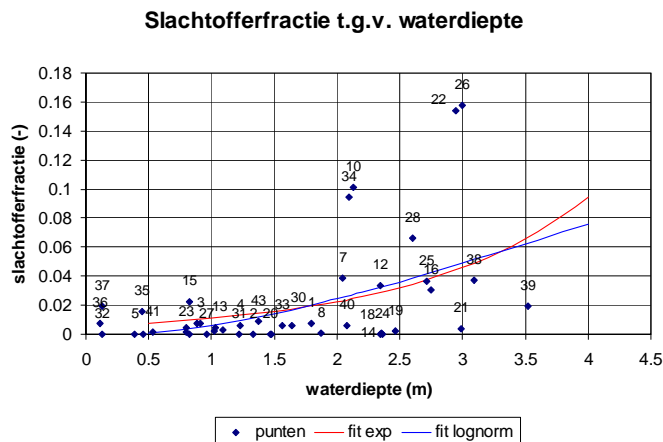


Nr.	Plaatsnaam
35	Hontenisse (+ Grauw & Langendam)
36	Vogelwaard
37	Zaamslag (+ Terneuzen + Hoek)

BIJLAGE 6.7 RELATIE GESIMULEERDE WATERDIEPTE EN SLACHTOFFERFRACTIE

Afleiding van nieuwe slachtofferfunctie

In deze paragraaf wordt gebruik gemaakt van waterdieptes die afkomstig zijn uit het gesimuleerde overstromingsverloop.



Figuur 6.1: Slachtofferfractie tegen waterdiepte met verscheidene fitlijnen

Kleinste-kwadraten-fit levert voor een exponentiële vergelijking de volgende functie op:

$$f = 0.005326 \cdot e^{0.719 \cdot x} \text{ met } R^2 = 0,1902$$

$$f = \text{LOGN}(h, 3.215, 1.278) \text{ met } R^2 = 0.2146$$

Onderverdeling in klassen

Wat opvalt in Figuur 6.1 is dat tot een waterdiepte van ongeveer 2 m de slachtofferfractie maximaal 0.022 bedraagt. Bij een waterdiepte groter dan 2 m loopt het maximum direct op tot 0.1 met uitschieters tot 0.157.

Wordt de waterdiepte in twee klassen onderscheiden ($h \leq 2$ m en $h > 2$ m) dan leveren de gemiddelden van de twee klassen een betere fit op dan de bovenstaande formules.

Voor klasse 1 ($h \leq 2$ m) is het gemiddelde: 0.0049 en voor klasse 2 ($h > 2$ m): 0.0435.

Dit levert een $R^2=0.2593$.

Dit impliceert een onderverdeling in klassen. Pogingen om tot een betere fit te komen, leveren geen resultaat. Zowel exponentiële, lognormale als lineaire functies geven een R^2 van 0.259.

De waarden voor een diepte kleiner dan of gelijk aan 2 meter blijken negatief gecorreleerd te zijn. Dit is fysisch niet verklaarbaar. Om de functie tevens door het nulpunt te laten gaan wordt gekozen voor een lineaire functie van $h=0$ m tot $h=2$ m met $f=0.0035 \cdot h$, welke door het nulpunt gaat en een determinatiecoëfficiënt oplevert van $R^2=0.255$.

Voor de hoogste klasse is eveneens een betere fit niet mogelijk. Het is mogelijk om een exponentiële, lognormale of lineaire functie op de laagste klasse aan te laten sluiten, maar doordat deze allen een slechte fit opleveren, zullen andere oorzaken hier doorslaggevend zijn.

Opgemerkt moet worden dat de grens van 2 meter onderhevig kan zijn aan verandering. Met deze dataset lijkt deze grens duidelijk, echter is het aantal punten beperkt en kan door de statistische

onzekerheid de grens ook lager liggen. Een fysische verklaring is dat deze diepte een “dodelijke diepte” voorstelt.

Voor- en nadelen van onderverdeling in klassen

Het voordeel van het gebruik van klassen is het verschil in *goodness-of-fit*. Voor een kleine waterdiepte ($h < 2$ m) is de benadering goed. In gebieden waar een groot deel van het gebied een waterdiepte heeft die kleiner dan 2 m is, zal de afwijking procentueel echter groot zijn, aangezien in bovenstaande figuur ook enkele punten te zien zijn met een vele malen grotere slachtofferfractie dan de functies aangeven, ook al is het absolute verschil klein.

De aanname is dat voor grotere waterdiepten andere factoren de overhand nemen.

Er zijn ook nadelen aan verbonden. Door invoering van een andere variabele boven een bepaalde grensdiepte zullen de formules niet op elkaar aansluiten. Het belang hiervan moet niet overschat worden. De onzekerheden in het bepalen van aantallen slachtoffers zijn groot, waardoor het aansluiten van de formules niet noodzakelijk is. Grote verschillen in uitkomsten dienen wel te worden vermeden.

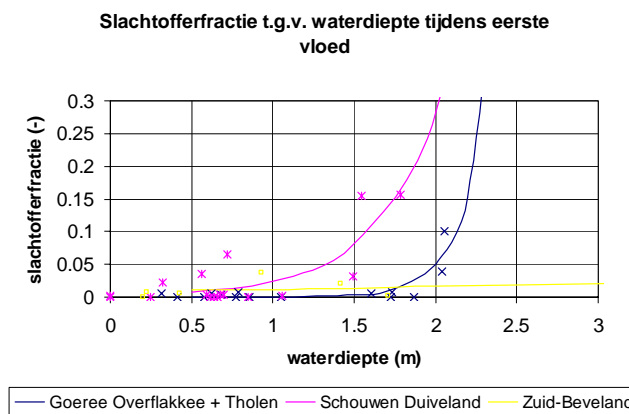
BIJLAGE 6.8 RELATIE WATERDIEPTE EERSTE VLOED EN SLACHTOFFERFRACTIE

Van een aantal locaties is bekend dat de hoge waterstand pas is opgetreden tijdens de tweede vloed. Logischerwijs kan vermoed worden dat het vele uren later optreden van een hoge waterstand meer mogelijkheden tot vluchten oplevert. Om deze reden wordt voor alle locaties dezelfde procedure herhaald om zo voor alle gemeenten de waterdiepte tijdens de eerste vloed te bepalen (volgens de overstromingssimulaties).

Ook hier is geen verband te ontdekken voor de gehele gebeurtenis, maar per eiland levert het fitten goede correlaties op, zie Figuur 6.2.

Daarnaast is te zien dat Schouwen Duiveland bij lagere waterstand hoge slachtofferfracties bereikt dan op Schouwen Duiveland. Op Goeree Overflakkee en Tholen ligt de dodelijke diepte volgens de overstromingssimulaties 0.5 tot 1.0 m hoger. Op Zuid-Beveland zijn geen hoge slachtofferfracties voorgekomen, waardoor een vergelijking op dit punt niet mogelijk is.

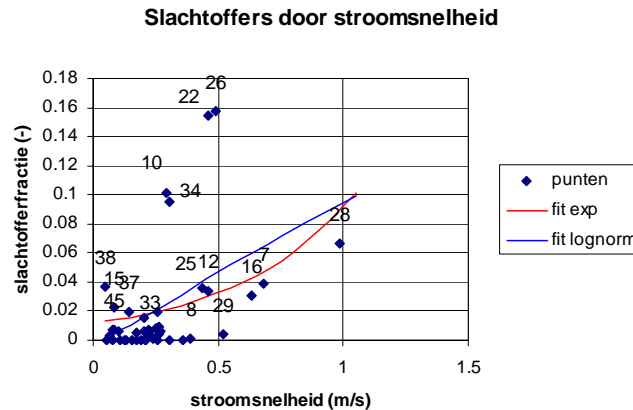
Gezocht is naar fysische oorzaken die dit kunnen verklaren, maar het frappante is dat volgens de simulatie de stijgsnelheid op Goeree Overflakkee vele malen hoger was dan op Schouwen Duiveland. Logischerwijs is dat een gevolg van een groter bresdebiet, wat kan betekenen dat er meer en/of grotere bressen zijn geweest op Goeree Overflakkee, dan op de andere eilanden.



Figuur 6.2: Slachtofferfractie a.g.v. waterdiepte tijdens eerste vloed, per eiland

BIJLAGE 6.9 RELATIE STROOMSNELHEID EN SLACHTOFFERFRACTIE

6.9.1 Stroomsnelheid



Figuur 6.3: Slachtofferfractie uitgezet tegen gemiddelde stroomsnelheid

Er blijkt een matige relatie te zijn tussen stroomsnelheid en slachtofferfractie, zoals gezien kan worden in Figuur 6.3. Met de kleinste-kwadraten-methode is gezocht naar functies die het beste fitten. De resultaten zijn:

Een exponentiële functie: $f = 0.0155 \cdot e^{2.073 \cdot v}$ met $R^2 = 0.156$ (6.1)

$f = LOGN(v, 2.50, 1.91)$ met $R^2 = 0.256$

Ook hier (net als bij stijgsnelheid als variabele) zijn meerdere lijnen zichtbaar, waar de mate van waarschuwing de onderscheidende factor blijkt.

6.9.2 Instorten bebouwing

In (Roos et al, 2003) wordt het instorten van bebouwing als gevolg van een overstroming geschematiseerd.

Hiervoor worden er vergelijking afgeleid, gebaseerd op hydrodynamische en hydrostatische druk, welke resulteren in krachten en momenten op bebouwing. Daarnaast treden er ook krachten op als gevolg van golven en drijvend afval wat tegen de bebouwen stoot.

Om de optredende krachten te berekenen is een gedetailleerde overstromingssimulatie nodig, evenals gegevens (funderingstype, sterkte, hoogte) over de bebouwing.

Hydrodynamische kracht op bebouwing wordt als volgt berekend:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_w \cdot v^2 \cdot h$$

waarin:

F_w = hydrodynamische kracht per meter breedte (N/m)

C_D = drag-coëfficiënt

ρ_w = waterdichtheid (kg/m³)

v = stroomsnelheid (m/s)

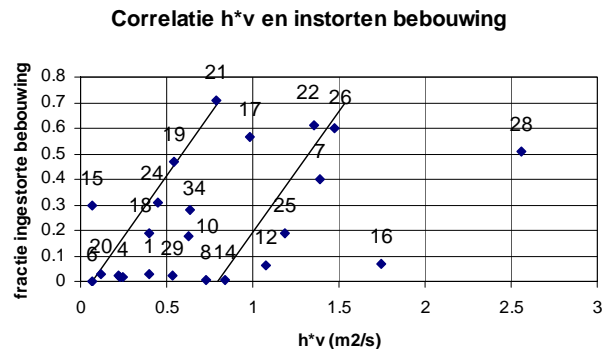
h = waterdiepte (m)

het moment, als gevolg van deze kracht ten opzichte van de onderkant van een aan de onderkant ingeklemde muur is dan:

$$M_w = \frac{1}{4} \cdot C_D \cdot \rho_w \cdot v^2 \cdot h^2$$

Om het instorten te simuleren zou behalve de belasting ook de stabiliteit van de constructie in de schematisatie moeten worden meegenomen.

Door een gebrek aan data wordt in deze analyse echter alleen de belasting beschouwd. Deze wordt versimpeld naar het product tussen h en v, zoals ook in (Jonkman 2004) is gedaan.

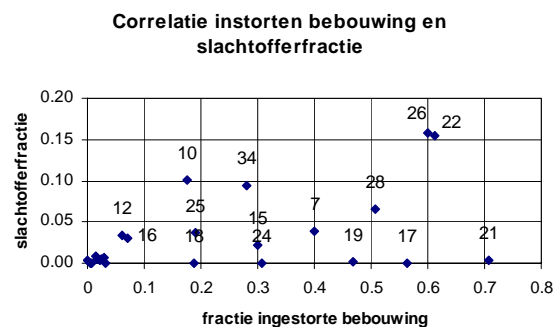


Figuur 6.4: Relatie h*v tegen fractie ingestorte huizen

Zoals in bovenstaande figuren te zien is, is de relatie tussen h*v en het instorten van gebouwen niet sterk voor geheel het dorp. Dit betekent niet dat er geen relatie is, deze dient echter gezocht te worden boven een bepaalde drempelwaarde. De huidige drempelwaarde van $7\text{m}^2/\text{s}$ lijkt echter te hoog, aangezien deze bijna niet optreedt tijdens de berekening van het aantal slachtoffers, terwijl in de praktijk vele huizen zijn ingestort. Een ander deel van het probleem is dat de methode werkt met postcodepunten, waardoor huizen die feitelijk in de buurt van de bres staan, gegroepeerd worden in een postcodepunt verder van de bres af.

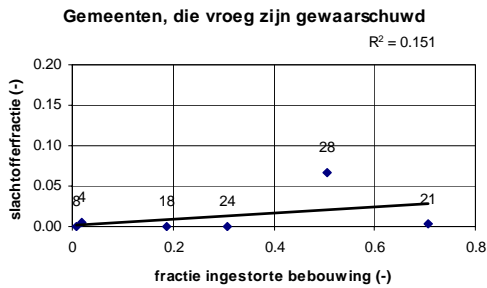
In Figuur 6.4 zijn twee lijnen getekend, welke indicatief moeten aangeven wat het verwachte verband is tussen h*v en de fractie ingestorte bebouwing. Het vermoeden bestaat dat deze lijn opschuift naar mate de (gemiddelde) sterkte van de bebouwing in een gemeente toeneemt. De drempelwaarde voor het instorten van gebouwen is dan groter. Deze lijnen kunnen ook steiler of minder steil verlopen. Deze helling is afhankelijk van de verdeling van sterkte van gebouwen binnen gemeentes. Zijn er relatief veel sterke gebouwen, maar ook enkele minder sterke, dan zal de helling minder steil zijn.

Waarschijnlijk moet er dus gedifferentieerd worden naar bebouwingstype of funderingstype, zoals ook gebeurd is in (Roos 2003). Deze informatie is echter niet beschikbaar voor het gebied dat is getroffen tijdens de Watersnoodramp in 1953.

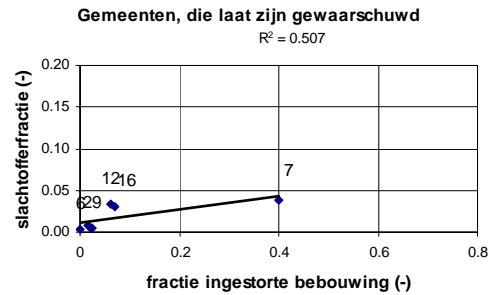


Figuur 6.5: Relatie fractie ingestorte huizen tegen slachtofferfractie

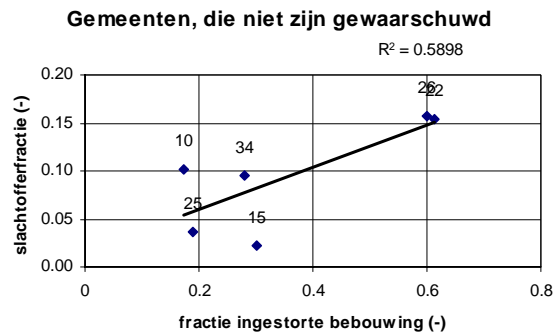
Wanneer de fractie ingestorte bebouwing wordt uitgezet tegen de slachtofferfractie (zie Figuur 6.5) zijn er enkele lijnen te ontdekken. Deze blijken veroorzaakt te worden door de mate waarin gewaarschuwd is. Worden de punten kwalitatief gescheiden in drie groepen, dan kunnen drie lijnen onderscheiden worden (zie Figuur 6.6 - Figuur 6.8). In Figuur 6.6 is de correlatie laag, wat veroorzaakt wordt door punt 28 (Serooskerke). Evenals bij de stijgsnelheid analyse, wordt dit punt hier op basis van het weigeren te evacueren van de inwoners als reden aangegeven. De overige punten hebben allen een slachtofferfractie < 0.006 , waardoor Serooskerke als outlier beschouwd kan worden. De conclusie die hieruit getrokken kan worden, is dat waarschuwen een sterk levensreddend effect heeft, ook al is het enkele uren voor de daadwerkelijke ramp.



Figuur 6.6: Relatie fractie ingestorte huizen tegen slachtofferfractie (vroeg gewaarschuwd)



Figuur 6.7: Relatie fractie ingestorte huizen tegen slachtofferfractie (laat gewaarschuwd)

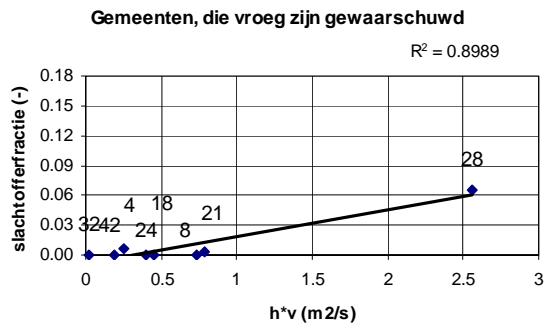


Figuur 6.8: Relatie fractie ingestorte huizen tegen slachtofferfractie (niet gewaarschuwd)

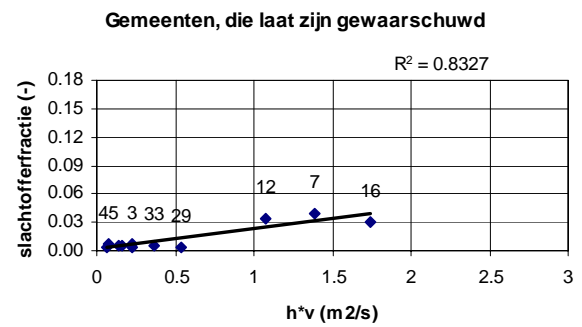
Dezelfde relatie is ook te vinden wanneer h^*v en de slachtofferfractie worden vergeleken (zie Figuur 6.9 - Figuur 6.11). De correlatie tussen h^*v en de slachtofferfractie is duidelijk groter dan de correlatie tussen de fractie ingestorte huizen en de slachtofferfractie. Hieruit kan geconcludeerd worden dat, of:

- de informatie met betrekking tot het instorten van huizen onnauwkeurig is.
- mensen overleden zijn ten gevolge van h^*v zonder dat het instorten van bebouwing daar een rol in heeft gespeeld.
- een combinatie van bovengenoemde twee punten.

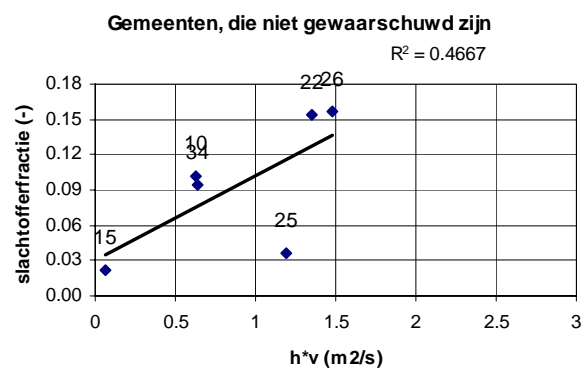
Alleen bij gemeenten, die niet gewaarschuwd zijn, is de correlatie lager, al is dit verschil minimaal.



Figuur 6.9: Relatie h^*v tegen slachtofferfractie (vroeg gewaarschuwd)



Figuur 6.10: Relatie h^*v tegen slachtofferfractie (laat gewaarschuwd)

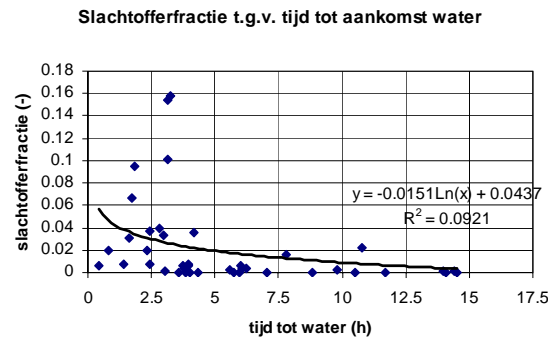


Figuur 6.11 Relatie h^*v tegen slachtofferfractie (vroeg gewaarschuwd)

Het aantal punten in de laatste 3 figuren is groter dan in de eerste 3. Dit is omdat niet voor elke gemeente bekend is hoeveel huizen er zijn ingestort, terwijl de slachtofferfractie en h^*v wel voor iedere gemeente bekend zijn. De toename in correlatie wordt niet alleen veroorzaakt door deze extra punten. Ook wanneer dezelfde punten gebruikt worden als in Figuur 6.6 - Figuur 6.8 is de correlatie groter. De extra punten zijn echter toegevoegd omdat meer punten een nauwkeuriger resultaat opleveren.

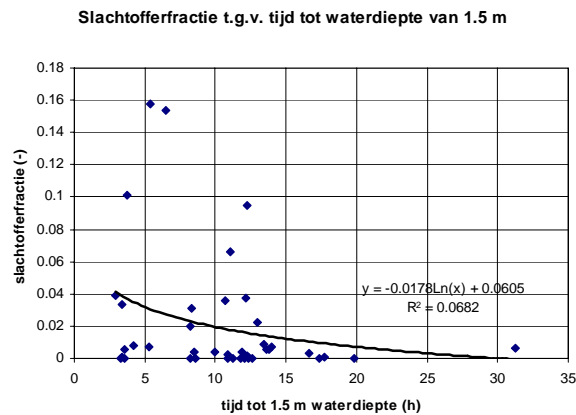
BIJLAGE 6.10 RELATIE VLUCHTMOGELIJKHEDEN EN SLACHTOFFERFRACTIE

6.10.1 Time to wet



Figuur 6.12: Relatie time-to-wet tegen slachtofferfractie

6.10.2 Tijd tot 1,5 m waterdiepte

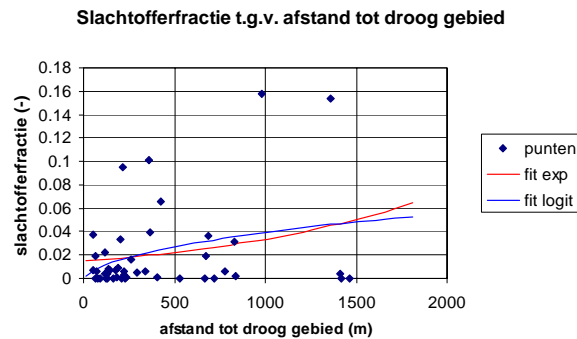


Figuur 6.13: Gemiddelde tijd per plaats na dijkdoorbraak tot 1,5 m waterdiepte

Er lijkt geen cumulatief functioneel verband te zijn tussen de tijd tot een bepaalde waterdiepte bereikt wordt na een dijkdoorbraak en de slachtofferfractie. De staart van de verdeling (15 - 30 uur) weerspiegelt een logisch effect: wanneer het water er erg lang over doet inwoners te bereiken, vallen er bijna geen slachtoffers.

In de eerste 15 uur is wel een verband te ontdekken voor de maximale waarden. Dit zou betekenen, dat de tijd tot 1.5 m waterdiepte wel degelijk invloed heeft op het aantal slachtoffers, maar dat andere overstromingskenmerken een verlagend effect hierop heeft. Een 3-dimensionale fit met een andere variabele is niet gevonden.

6.10.3 Afstand tot droog gebied



Figuur 6.14: Slachtofferfractie bij afstand tot droog gebied

De vergelijking $f = 0.0147 \cdot e^{0.00082 \cdot x}$ geeft een fit van $R^2 = 0,296$ (6.2)

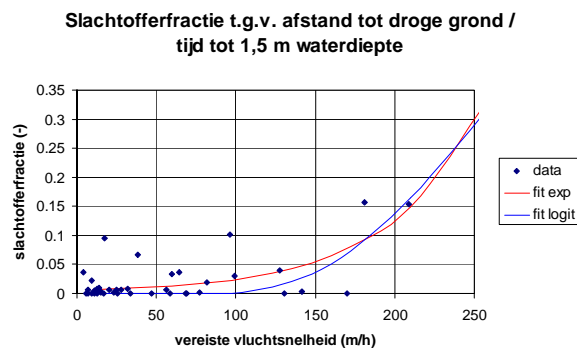
$f = LOGN(v,14.26,4.18)$ geeft een fit van $R^2 = 0,317$

Hierbij wordt opgemerkt dat deze functies slechts betekenis hebben bij afstanden tot enkele kilometers.

De afstand waar de probitfunctie namelijk een fractie van 0.5 geeft is $e^{14.26} = 1.56 \cdot 10^6$ m, wat qua afstand te vergelijken is met midden in een oceaan.

Verder wordt er getwijfeld aan de fysische relatie tot het vallen van slachtoffers. Veel mensen vluchtten volgens ooggetuigenverslagen niet naar een droog gebied, maar zochten de hoogte op, zoals zolders of een hogere plek in het dorp, welke niet per definitie droog is gebleven.

6.10.4 Vereiste vluchtsnelheid



Figuur 6.15: Grafiek vereiste vluchtsnelheid

De vergelijking $f = 0.0056 \cdot e^{0.0149 \cdot v}$ geeft een fit van $R^2 = 0,433$. (6.3)

$f = LOGN(v,6.09,0.67)$ geeft een fit van $R^2 = 0,352$.

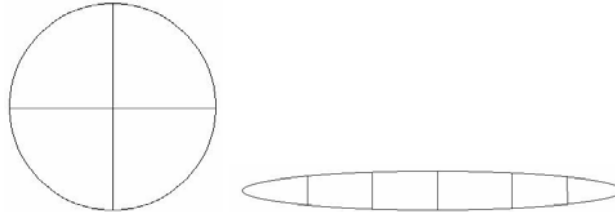
Samen met de resultaten voor de afstand tot droge grond en tijd tot een waterdiepte van 1,5 m betekent dit dat ze elkaar versterken. De fit blijft echter matig, wat onvoldoende is, wanneer ook de twijfel met betrekking tot fysische effecten wat betreft de afstand tot droge grond wordt meegenomen. Uit ooggetuigenverslagen is immers gebleken dat slechts een klein deel van de aan de overstroming blootgestelde personen heeft geprobeerd te vluchten. Daarnaast lijkt de snelheid erg laag; wandelen gebeurt met een snelheid van zo'n 5 á 6 km/h.

BIJLAGEN HOOFDSTUK 7 ANALYSE WATERSNOODRAMP NU

BIJLAGE 7.1 GEVOLGENREDUCTIE DOOR COMPARTIMENTERING

7.1.1 Verkleinen van compartimenten

Lijnelementen toevoegen



Figuur 7.1: Twee concepten lijnelementen in compartimenten

Ook bij het toevoegen van lijnelementen moet de verhouding, tussen gemaakte kosten en bespaard risico, optimaal zijn.

De kosten van de dijken kunnen we schrijven als:

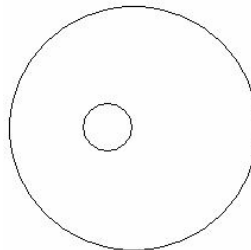
Kosten dijk = Aantal dijken * gemiddelde lengte * kosten / lengte

Bespaard risico = gemiddelde waarde / m² * (Oppervlakte polder * kans op overstroom - oppervlakte compartiment * kans op overstroom)

In Figuur 7.1 zijn voor de meest simpele concepten het aantal dijken en de lengte van deze aangegeven. In beide gevallen zijn de lengtes gelijk, en kan het aantal en de juiste plaats van de secundaire keringen bepaald worden. De dijken worden het meest efficiënt aangelegd wanneer ze de waarde van de gebieden zo gelijk mogelijk verdelen, zodat het bespaarde risico optimaal is, en de kosten van aanleg van de dijken zo laag mogelijk is.

Kernbescherming

In deze paragraaf wordt het insluiten van waardevolle gebieden beschouwd. Deze gebieden dienen niet te grenzen aan water, zodat het risico hier in alle scenario's verminderd kan worden, en het betreffende compartiment niet als eerste zal volstromen, maar pas wanneer de secundaire kering heeft gefaald. In deze conceptuele fase wordt dit type als cirkel om een kern voorgesteld.



Figuur 7.2: Concept kernbescherming

Financiële afweging

De Contante Waarde van een jaarlijkse investering naar een oneindige tijdshorizon kan als volgt herschreven worden:

$$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^i} = \frac{1}{1+r} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^i} = \frac{(1+r)^{-1}}{1-(1+r)^{-1}} = \frac{1}{r} \quad (7.1)$$

waarin:

$$\sum_{i=0}^{\infty} z^i = 1 + z + z^2 + \dots + z^{\infty} = \frac{1}{1-z} \text{ met } 0 \leq z < 1 \quad (7.2)$$

In dit geval is de investering het jaarlijkse risico dat bespaard is, oftewel de risicovermindering. Compartmentering is rendabel wanneer:

$$\text{Kosten} \leq (\text{risico_zonder} - \text{risico_met}) / (\delta - \gamma) \quad (7.3)$$

Waarin:

Kosten = kosten van de dijk

risico_zonder = het totaal risico van het toekomstige dijkkringgebied zonder dijk

risico_met = het totaal risico waarbij de dijk wel is aangelegd

δ = disconteringsvoet [-] = 4% per jaar,

γ = economische groei [-] = 2% per jaar,

Wanneer de kosten dus kleiner of gelijk zijn aan het bespaarde risico over een oneindige tijdshorizon is de investering financieel rendabel.

Daar komt echter het aantal bespaarde (of extra) slachtoffers bij.

Doordat de vergelijking tussen kosten en slachtoffers niet te maken is, wordt dit als een bonus effect meegenomen. Neemt het aantal slachtoffers toe, dan wordt de investering niet gedaan.

Het betreft hier dus een financiële afweging.

De kosten van een dijk worden ingeschat op $350 + 700 \cdot X$ euro per meter lengte, waarin x de verhoging van de dijk in meters is. Deze formule is afgeleid uit grafieken in (RIZA, 2005).

De lengte van de dijk is gekoppeld aan de waarde van het ingesloten gebied:

Waarde ingesloten gebied: $A \cdot f(A)$

Met $A = f(r)$

r = straal

Lengte dijk: $2 \cdot \pi \cdot r$

Zodat waarde ingesloten gebied = $f(L/(2 \cdot \pi)) \cdot f(f(L/(2 \cdot \pi)))$

Zodat kosten dijk = $(350 + 700 \cdot x) \cdot L$

x = hoogte dijk

Risico_zonder = constant

Risico_met = $f(x)$

Waarde van het ingesloten gebied

De bovenvermelde functies zijn te combineren om tot een enkele functie te komen voor de totale kosten, welke geminimaliseerd dient te worden. Hiervoor dient de waarde van het in te sluiten gebied nog numeriek bepaald te worden. Dit kan gedaan worden met de schademodule uit de HIS-SSM. Door vanuit het centrum van een gemeente, afhankelijk van de straal, de beschermde waarde te bepalen is via deze afhankelijkheid de optimale plaats te bepalen voor een compartimenteringdijk.

Naar mate deze straal groter wordt, wordt de bebouwingsdichtheid van het te beschermen gebied lager. Het punt waar het bespaarde risico het meest boven de $x=y$ lijn ligt, is het ontwerppunt. Dit is hetzelfde punt als waar de totale kosten een minimum bereiken.

Bovenstaande figuur is samengesteld door een berekening uit te voeren met representatieve waarden voor:

- Kosten voor dijk: $350 + 700 \cdot x$ per m (met x = ophoging in m)
- Hoogte dijk: 4,5 m
- Verminderde overstromingskans: $1/1.000$
- Waarde beschermd gebied: € 20 - € 500 / m^2 (afhankelijk van bebouwingsdichtheid)
- δ = disconteringsvoet [-] = 4% per jaar,
- γ = economische groei [-] = 2% per jaar,

Onderhoud

De kosten van het onderhouden van een dijkvak zijn afhankelijk van:

- Lengte dijk
- Hoogte dijk
- Type bekleding
- Aanwezigheid van andere kunstwerken

In Nederland is 3565 kilometer waterkeringen, wat per jaar ongeveer € 100.000.000 kost. Dit betekent: € 100.000.000 / 3565 = € 28.000 per kilometer waterkering per jaar.

In (RIZA 2005) worden de onderhoudskosten per jaar geschat op 1% van de aanlegkosten, wat betekent dat het onderhoud in dit geval ongeveer € 35.000 per kilometer per jaar zou kosten.

Beide schattingen lijken aan de hoge kant.

In de eerste schatting betreft het een schatting per kilometer waterkering, wat inhoudt dat ook kunstwerken anders dan dijken erin zijn opgenomen. Aangenomen wordt dat deze een zwaardere last in de kosten meedragen.

De tweede schatting betreft 1% van de aanlegkosten, welke in dit geval erg hoog zijn, in vergelijking met de aanlegkosten, die in (RIZA 2005) zijn berekend.

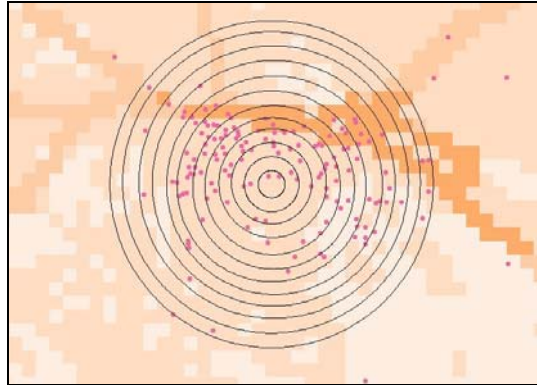
Bovenstaande schattingen veroorzaken een dermate zware last op de begroting dat het aanleggen van een secundaire kering onrendabel wordt. Onderhoudskosten van € 5.000 - € 10.000 per kilometer per jaar lijken redelijker. Dit komt overeen met 1% van de kosten van 1 m dijkverhoging, waardoor een variant op de schatting uit (RIZA 2005) aangehouden wordt.

7.1.2 Casestudy Middelharnis/Sommelsdijk

Middelharnis/Sommelsdijk (op het eiland Goeree-Overflakkee) is geselecteerd, om de reden dat deze plaatsen samen een zeer compacte opbouw hebben, waardoor veel waarde beschermd kan worden. Daarnaast is de polder er omheen niet zeer diep, waardoor dijken niet hoog dienen te worden aangelegd, en derhalve de investering niet te groot zal zijn, in relatie tot het bespaarde risico. Er is dus gezocht naar een locatie, waarvan verwacht wordt dat deze geschikt is voor dit type compartimentering.

Gebruik maken van bestaande voorzieningen, zoals verhoogd liggende wegen

Vlak ten zuiden van Middelharnis en Sommelsdijk loopt de N215 (niet opgenomen in figuur). Eventueel kan deze gebruikt worden als onderdeel van de secundaire kering, die voor ogen wordt gehouden. Hierdoor kan de benodigde investering lager uitvallen.



Figuur 7.3: Waardevolle gebieden met verschillende stralen Sommeldijk / Middelharnis (Arcview GIS)

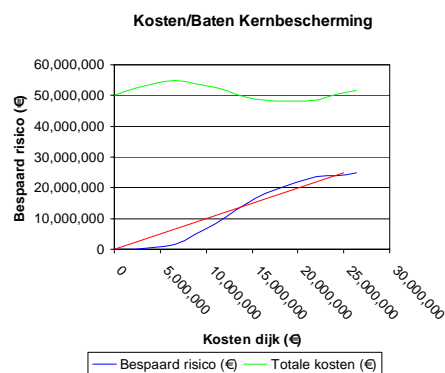
Voor gebieden met verschillende groottes is bepaald (met behulp van de Standaardmethode 2004) wat de waarde maximaal zal zijn. Deze cijfers zijn opgenomen in Tabel 7.1. In Figuur 7.3 is aangegeven voor welke cirkelvormige gebieden met verschillende stralen dat is gedaan.

straal (m)	waarde van gebied (M €)
100	€ 0.38
200	€ 31.87
300	€ 93.97
400	€ 263.57
500	€ 446.79
600	€ 695.91
700	€ 906.99
800	€ 1,053.99
900	€ 1,173.61
1000	€ 1,281.99
1100	€ 1,294.70
1200	€ 1,342.75

Tabel 7.1: Waarde ingesloten gebied

Secundaire kering in dunbevolkt gebied bouwen

Om de secundaire kering te kunnen bouwen dienen er waarschijnlijk enkele opstallen te worden verwijderd. De kosten van het opkopen van deze opstallen dienen worden opgeteld bij de overige kosten. De orde van grootte ligt in miljoenen euro's, zoals afgelezen kan worden uit de verschillen tussen de gebieden met een straal van 1100 m en 1000 m (M€ 1,281.99 - M€ 1,294.70 = M€ 12.71



Figuur 7.4: Kosten / baten compartimenteringdijk

In deze casestudy is uitgegaan van een dijkhoogte van 5 m. De omliggende (primaire) waterkeringen zijn minimaal 4.45 m hoog, waardoor deze compartimenteringdijk de kans en daarmee ook het risico voor dit gebied daadwerkelijk zal verminderen.

Het optimale punt in Figuur 7.4 (laagste totale kosten) komt overeen met een straal van de compartimenteringdijk van ongeveer 900 m bij een investering van ongeveer € 20.000.000.

Onderhoudskosten verkleinen helling van het bespaarde risico

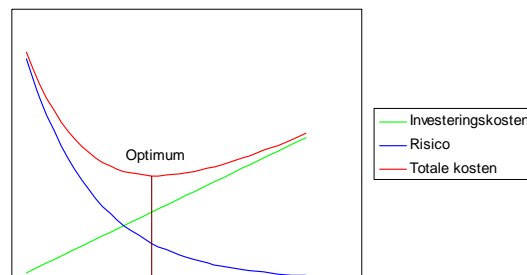
Het meenemen van onderhoudskosten zal ervoor zorgen dat de lijn van het bespaarde risico iets naar beneden wordt getrokken. Bij een grotere straal van de dijkkring en dus bij een grotere investering is de lijn verder naar beneden getrokken dan bij lagere investeringen, doordat de onderhoudskosten afhankelijk zijn van de lengte van de dijkkring. Hierdoor zal de optimale grootte van de dijkkring bij hoge kosten, lager liggen dan bij lage kosten, ofwel de helling van de grafiek zal afnemen.

Opgemerkt moet worden dat het bespaarde risico hier bepaald is aan de hand van het maximale schadebedrag. Dit is niet realistisch, aangezien deze maximale schade niet zal optreden. Een verificatie is nodig aan de hand van verschillende optredende scenario's, met bijbehorende kansen en gevolgen. Zo kan een realistisch beeld van het bespaarde risico worden gegeven. (N.B. onder onderhoudskosten vallen ook de kosten voor inspectie en beheer)

Dijksterkte en bespaard risico dienen iteratief bepaald te worden

Om de juiste parameters te bepalen, dient het bespaarde risico als gevolg van een aangelegde ringdijk iteratief bepaald te worden.

Het aanleggen van een dijk met een bepaalde sterkte, heeft tot gevolg dat er een risico wordt bespaard. Hiervan dient de optimale configuratie gevonden te worden.

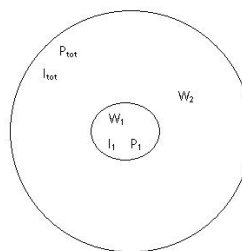


Figuur 7.5: Bepaling optimale dijksterkte

Compartimentering als onderdeel van een set maatregelen

Daarnaast dient de ingreep onderdeel te zijn van de set meest effectieve maatregelen. Volgens (Theunissen 2006) is de investering met de steilste helling de investering, die als eerste gemaakt dient te worden.

Dit is niet per definitie waar, in het geval van maatregelen, die van invloed zijn op de effectiviteit van elkander. Dit is onder andere van toepassing bij compartimentering.



Figuur 7.6: Verdeling van waarde, kansreductie en investering in polder met subcompartment

In Figuur 7.6 is schematisch weergegeven wat de eigenschappen van een compartiment zijn, met betrekking tot risico's op overstroming. Er bevindt zich een dijk omheen, welke een bepaalde investering kost, maar welke ook een risicoreductie oplevert.

Aangezien risicoreductie voor gebied 2 tevens risicoreductie voor gebied 1 oplevert (gebied 1 bevindt zich binnen de dijk van gebied 2), kan zich hier een speciaal geval voordoen, waar de investering met het steilste verloop niet de verstandigste investering is.

Hiervoor dienen enkele formules gedefinieerd te worden:

helling = R / I

I_1, I_{tot} = investering in een bepaald gebied (door het aanleggen van een waterkering)

R = $P \cdot W$ / rentevoet = risicoreductie omgerekend naar oneindige tijdshorizon

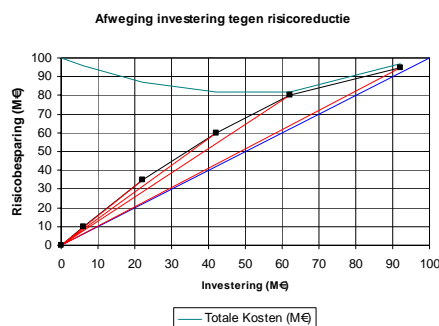
P_1, P_{tot} = kansreductie door aanleg van een waterkering

W = schade die optreedt bij de overstroming (met verkleinde kans)

Volgens (Jonkman 2001) is een investering rendabel wanneer:

helling > 1

In Figuur 7.7 is te zien dat de laatste maatregel niet genomen moet worden, aangezien de helling kleiner is dan 1. Het totaal aan maatregelen is nog rendabel (rode lijn), echter niet optimaal (groene lijn).



Figuur 7.7: Helling van set maatregelen

Stel nu dat ingrijpen in gebied 1 de steilste maatregel is, oftewel:

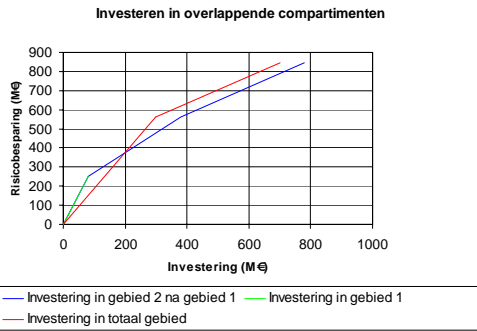
$$(P_1 \cdot W_1 / (\delta - \gamma)) / I_1 > (P_{tot} \cdot W_{tot} / (\delta - \gamma)) / I_{tot}$$

Investering met steilste helling niet per definitie de beste investering

Ingrijpen in gebied 2 is na ingrijpen in gebied 1 minder rendabel geworden. De risicoreductie is immers afgenomen en de kosten blijven gelijk, waardoor de helling minder steil wordt. Het geval kan zich voordoen dat de helling kleiner dan 1 is geworden, waardoor deze investering helemaal niet meer rendabel is.

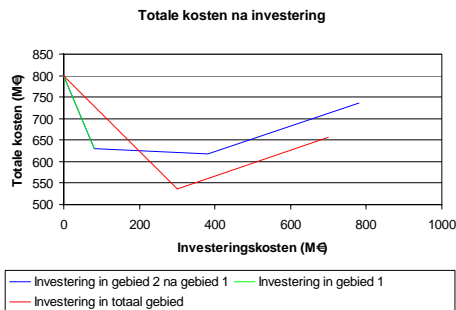
Andersom is ook het geval. Wanneer eerst is ingegrepen in gebied 2, dan wordt ingrijpen in gebied 1 minder rendabel. De beslissing dient genomen te worden op basis van welke economisch optimaal is, niet welke begint met de steilste maatregel. Hiervoor is het dus nodig te bepalen welk van alle sets maatregelen economisch optimaal is. Bij N kernen die beschermd dienen te worden zijn er 2^N mogelijkheden.

In de praktijk wordt verwacht dat het niet vaak voor zal komen dat een kernbescherming de steilste maatregel is, aangezien primaire keringen vaak aangelegd zijn op bijna economisch optimale hoogte en kernbeschermingen vanaf maaiveld opgebouwd zullen moeten worden.



Figuur 7.8: Alternatieve investeringen bij overlappende gebieden

Zoals in Figuur 7.8 is te zien, is er een scenario te bedenken, welke is berekend met representatieve waarden, waar een eerste investering zorg draagt voor het onrendabel zijn van een tweede investering. Dit wordt duidelijk wanneer de cijfers uit bovenstaande figuur worden omgezet naar totale kosten (risico + investeringskosten). Hieruit blijkt dat, ook al heeft de eerste investering een steiler verloop, de andere set maatregelen economisch beter is. (N.B. dit is een conceptueel voorbeeld, met fictieve cijfers.)



Figuur 7.9: Totale kosten overlappende compartimenten

Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de steilste investering betrekking heeft op de kernbescherming, waardoor door locatiekeuze deze investering een erg steil verloop kan krijgen. Investeren in de omliggende (primaire) dijkkring wordt hierdoor juist minder steil, omdat de investering een verbetering van een lange dijk betreft, terwijl het beschermde gebied kleiner is geworden (doordat er een secundaire kering in ligt, heeft de primaire kering op de totale dijkkring minder risicobesparing). Het resultaat is dat het bespaarde risico in beide gevallen gelijk is, maar dat in één geval geïnvesteerd is, in zowel een secundaire als een primaire kering, terwijl investeren in alleen de primaire kering bijna dezelfde risicobesparing oplevert.