

Het meenemen van aankomsttijden in de analyse van slachtoffer risico's



Het meenemen van aankomsttijden in de analyse van slachtofferisico's

Auteur(s)

Karin de Bruijn

Bart Maas

Het meenemen van aankomsttijden in de analyse van slachtofferisico's




Opdrachtgever	RWS-WVL-
Contactpersoon	Durk Riedstra
Referenties	-
Trefwoorden	Slachtofferisico's, aankomsttijd

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	07-01-2022
Projectnummer	11206793-008
Document ID	11206793-008-ZWS-0005
Pagina's	55
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Karin de Bruijn	Bart Maas

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Karin de Bruijn	Ben van Kester	Bianca Peters	
				

Samenvatting

In het kader van de kennisalliantie slachtoffers en evacuatie is in 2021 onderzoek gedaan naar mogelijkheden om aankomsttijden mee te nemen in de berekening van slachtofferrisico's.

Om te komen tot een geschikte methode is eerst literatuur over bestaande slachtofferfuncties en modellen in de Westerse wereld geanalyseerd en is een review gedaan van informatie over recente historische events in het buitenland en naar de watersnoodramp van 1953. Vervolgens is als methode geadviseerd om de aankomsttijd te vertalen naar een vluchtfractie en deze mee te nemen in de slachtofferanalyse. Aangezien de vluchtfractie onzeker is, is gekozen voor het geven van een hoge en lage waarde voor de vluchtfractie. De vluchtfractie is vervolgens toegepast op een scenario en op alle doorbraakscenario's van de dijkringen 43 en 48 waarbij het effect gegeven is van de vluchtfractie op gevaarlijke plekken, slachtofferaantallen en waarden van het Lokaal Individueel Risico van een buurt.

Het onderzoek laat zien dat:

- 1 Aankomsttijd een belangrijke factor is die meegenomen dient te worden in slachtofferrisicoanalyse. In alle bekeken buitenlandse methoden en modellen wordt aankomsttijd meegenomen.
- 2 Het meenemen van aankomsttijd biedt meerwaarde wanneer deze ruimtelijk gedifferentieerd wordt beschouwd en dus rekening gehouden wordt met verschillen in aankomsttijd op verschillende locaties binnen het getroffen gebied. Het effect van aankomsttijd kan daarom meegenomen worden door deze te vertalen in een ruimtelijk gedifferentieerde vluchtfractie.
- 3 Aangezien de exacte waarde van de vluchtfractie niet bekend is, is hier gewerkt met een hoge en een lage vluchtfractie. De hoge vluchtfractie is gebaseerd op de evacuatiefractieboom die geldig is voor het rivierengebied. De lage fractie is een meer behoudende vluchtfractie.

Uit de resultaten van de toepassing van deze vluchtfractie op dijkkring 43 en 48 is te concluderen dat:

- Het gebruik van de vluchtfractie veel effect heeft op slachtofferaantallen van doorbraakscenario's waarbij de aankomsttijd van het water in gebieden met veel inwoners langer dan een dag is. In dijkkring 48 namen de slachtofferaantallen horend bij de doorbraken in het Duitse deel van de dijkkring met maar liefst 57-87% procent af.
- Het gebruik van de vluchtfractie leidt tot een beter inzicht in wat meest gevaarlijke locaties zijn: Het onderscheid tussen locaties die snel diep worden en een korte aankomsttijd hebben, en locaties met vergelijkbare karakteristieken met een lange aankomsttijd komt nu beter naar voren.
- De LIR waarden van buurten waarbij de LIR bepaald werd door doorbraakscenario's met een lange aankomsttijd lager worden.
- Het meenemen van de aankomsttijd alleen invloed heeft op de LIR-eis van de normtrajecten als de buurt met de grootste LIR waarde (de bepalende buurt) een grote aankomsttijd heeft in belangrijke overstromingssscenario's.

Op basis van de resultaten worden de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Het is belangrijk om aankomsttijden mee te nemen in de analyse van slachtofferrisico's, omdat het verwaarlozen ervan kan leiden tot een overschatting van de slachtofferrisico's. Dit kan voor het riviereengebied door het gebruik van de vluchtfractie zoals weergegeven in Tabel 4.1. Door het gebruik van een positieve en behoudende vluchtfractie kan een indruk gekregen worden van het effect op gevaar en op slachtofferaantallen, maar is duidelijk dat resultaten alleen binnen een bandbreedte gegeven kunnen worden.
2. Het is mogelijk om de huidige vluchtfracties beter te onderbouwen. Hiervoor zijn meerdere opties voorgesteld in de aanbevelingen.
3. Ook voor het overgangsgebied, de meren en voor kustgebieden kunnen vluchtfracties afgeleid worden.
4. Crisismanagers kunnen informatie over aankomsttijden bij bepaalde scenario's (e.g. een doorbraak langs de Bovenrijn, of een doorbraak in normtraject X gebruiken om locatie-specifieke handelingsopties te geven.
5. Het is aan te bevelen de normtrajecten in het riviereengebied langs te lopen en te bepalen of er normtrajecten zijn waarvan de norm bepaalt wordt door de LIR-eis en of de bepalende buurt voor die LIR-eis overstromingsscenario's heeft met een lange (meer dan 24 of 48 uur) aankomsttijd. Als dit zo is, dan is het aan te raden om voor die normtrajecten de LIR waardes ook te bepalen rekening houdend met aankomsttijden.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Achtergrond	8
1.2	Het bepalen van mortaliteit en slachtofferaantallen	8
1.3	Doel	9
1.4	Aanpak	9
1.5	Leeswijzer	10
2	Slachtofferfuncties en modellen gebruikt in het buitenland	11
2.1	Overzicht methoden voor slachtofferbepaling	11
2.2	Het belang en gebruik van aankomsttijd in buitenlandse slachtoffermodellen	15
3	Case-analyses	16
3.1	Literatuuranalyse: factoren die mortaliteit bepaalden in historische events	16
3.2	Overstroming in New Orleans door de orkaan Katrina (2005)	17
3.2.1	Kenmerken overstroming	17
3.2.2	Slachtoffers en bepalende factoren	19
3.2.3	Het belang van aankomsttijd	21
3.3	Overstroming in Houston door orkaan Harvey (2017)	21
3.3.1	Kenmerken overstroming	21
3.3.2	Slachtoffers en bepalende factoren	21
3.3.3	Het belang van aankomsttijd	22
3.4	De Vendee overstromingen door de orkaan Xynthia (2010)	22
3.4.1	Het belang van aankomsttijd	22
3.5	De Watersnoodramp in Zuidwest Nederland (1953)	22
3.5.1	Kenmerken van de overstroming	22
3.5.2	Het belang van aankomsttijd	23
3.6	Conclusies uit de analyse van historische overstromingen	25
4	Het meenemen van aankomsttijd in Nederland	26
4.1	Aanpak	26
4.2	Resultaten voor dijkkring 48	29
4.2.1	Beschrijving van het gebied	29
4.2.2	Effect van het meenemen van aankomsttijd voor een doorbraak bij Spijk bij maatgevende condities (1/1250 afvoer)	30
4.2.3	Overzicht alle scenario's	33
4.3	Dijkkring 43	35
4.3.1	Beschrijving van het gebied	35
4.3.2	Effect van het meenemen van aankomsttijd voor een doorbraak bij Bemmel bij maatgevende condities (1/1250 afvoer)	36

4.3.3	Overzicht alle scenario's	39
4.4	Discussie van de resultaten voor dijkkring 43 en 48	40
5	Conclusies en aanbevelingen	43
5.1	Samenvattende conclusies	43
5.2	Aanbevelingen	44
6	Referenties	46
A	Informatie over enkele buitenlandse slachtoffer-modellen	49
A.1	De Kay and McClelland (1993)	49
A.2	Huram (Peng and Zhang, 2012a,b)	49
A.3	Modellen en referenties	50
B	Gebruikte faalkansen voor dijkkring 43 & 48	51
C	De huidige standaard slachtofferfuncties	52
D	Aanpassen evacuatiefractieboom	53

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

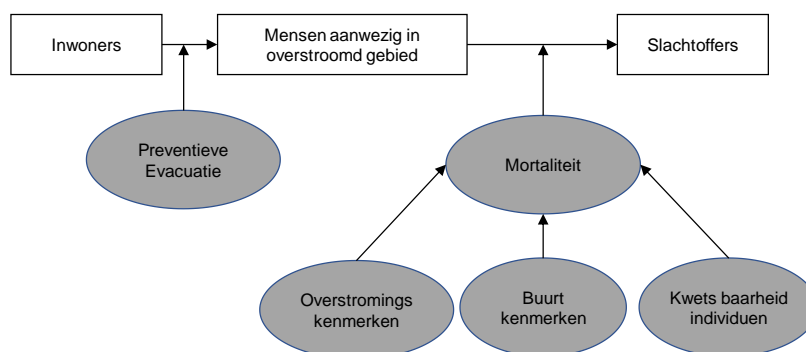
Ter ondersteuning van het waterveiligheidsbeleid en het crisismanagement is een kennisalliantie opgericht die onderzoek doet naar slachtofferrisico's en evacuatie. In de afgelopen jaren is een onderzoeksagenda opgesteld, een database ontwikkeld met gegevens over recente overstromingen in de wereld en is onderzoek gedaan aan mortaliteitsfuncties, huissterkte, waarschuwing en evacuatie. In 2020 is gewerkt aan storylines en "evacuatiebomen" en is het onderzoek van de afgelopen jaren vertaald naar aanbevelingen voor waterveiligheidsbeleid, en crisismanagement. Deze aanbevelingen zijn in werksessies in december 2020 gedeeld met beleidsmakers en kennismanagers. Ook zijn de aanbevelingen gebruikt voor het aanscherpen van de agenda van de kennisalliantie (De Bruijn & Kolen, 2020). Op basis van de aanbevelingen uit 2020 wordt dit jaar doorgewerkt aan het verbeteren van kennis over mortaliteit en evacuatie ter ondersteuning van het waterveiligheidsbeleid en crisismanagement.

In het werk van 2020 kwam duidelijk naar voren dat het effect van aankomsttijd op slachtofferaantallen en mortaliteit groot kan zijn. Op dit moment wordt geen rekening gehouden met aankomsttijden in slachtofferrisicoanalyses. Hierdoor worden soms gebieden onterecht als gevaarlijk aangemerkt, is het ook voor veiligheidsregio's lastig om rekening te houden met aankomsttijd in evacuatiestrategieën en kan het zijn dat slachtofferrisico's worden overschat. Ook kan het Lokaal Individueel Risico, een maat voor slachtofferrisico die gebruikt is bij het bepalen van de normen van de waterkeringen, te hoog zijn ingeschat door het verwaarlozen van de aankomsttijd. Zowel voor het bepalen van slachtofferrisico's voor waterveiligheidsbeleid als voor het verbeteren van crisismanagement is een beter inzicht in het effect van aankomsttijden op slachtofferrisico's dus van belang.

In het voorliggende onderzoek is daarom geprobeerd een methode op te stellen waarmee aankomsttijden meegenomen kunnen worden bij het bepalen van slachtofferrisico's.

1.2 Het bepalen van mortaliteit en slachtofferaantallen

Om slachtofferaantallen ten gevolge van een bepaalde overstroming te bepalen wordt bepaald welk deel van de inwoners niet op tijd geëvacueerd is en wordt van deze achtergebleven inwoners de mortaliteit bepaald (zie Figuur 1.1). Met evacuatie bedoelen we hier het verlaten van het gebied voordat de overstroming plaatsvindt. Het maakt hierbij niet uit of dat naar een shelter buiten het overstroomde gebied is, of naar een andere veilige locatie.



Figuur 1.1. Stappen en factoren welke een rol spelen bij het bepalen van het aantal slachtoffers (De Bruijn et al., 2010)

In de huidige werkwijze wordt geen rekening gehouden met de mogelijkheid van vluchten nadat een dijk gebroken is. Sommige gebieden ver van de bres overstromen echter pas dagen na de doorbraak zodat uit die gebieden ook na doorbraak nog een groot deel van de mensen kan vluchten. Het is al we bekend dat deze aankomsttijd van het water relevant is (zie bijvoorbeeld Jonkman (2007) p.42, 47 en De Bruijn & Slager (2013)).

De tijd tussen het moment van doorbraak en het moment dat de overstroming een woning bereikt, de aankomsttijd. Deze is vaak onzeker en verschilt per overstromingsscenario. Ook is het onzeker hoe die extra tijd bijdraagt aan de evacuatie- en vluchtmogelijkheden. Hoe effectief deze extra tijd is, hangt af van of en hoe snel bekend is dat er een dijk gebroken is en van de handelingsmogelijkheden van de inwoners. Wel is duidelijk dat een gebied waar het binnen een uur diep is, gevaarlijker is dan een gebied waar het dagen duurt voordat het water aankomt. Het niet meenemen van die extra tijd leidt dan tot een overschatting van het slachtofferisico.

De mogelijkheden van het benutten van extra aankomsttijd zijn afhankelijk van hoeveel tijd nodig is om veiligheid te bereiken. Deze tijd hangt af van wegcapaciteit in verhouding tot het aantal mensen, de weersomstandigheden en het gedrag van mensen. De wegcapaciteit kan afnemen door bijvoorbeeld ongelukken, omgewaaide bomen, of door afsluiting voor hulpverleners, of door verkeer uit andere gebieden. Het gedrag van mensen, dus hoe snel mensen vertrekken, welke richting ze kiezen en de verdeling over de beschikbare capaciteit is ook van invloed. In dit onderzoek wordt niet in detail ingegaan op de benodigde tijd maar wordt uitgegaan van beschikbare informatie uit eerder gedraaide verkeersmodellen. In de discussie worden de implicaties hiervan op de resultaten besproken.

1.3 Doel

Het doel van het onderzoek is: Het ontwikkelen van een methode waarmee het effect van aankomsttijden op slachtofferisico's meegenomen kan worden.

1.4 Aanpak

We stellen voor om de aankomsttijd mee te nemen bovenop de evacuatiefractie. In de evacuatiefractie worden alleen mensen geteld die al voor de doorbraak het gebied verlaten hebben. Door de aankomsttijd mee te nemen worden ook mensen meegenomen die zich in veiligheid kunnen brengen na doorbraak, maar voordat het water hun woning heeft bereikt.

Om te komen tot een geschikte methode is eerst de bestaande literatuur geanalyseerd. Hierbij is gekeken naar bestaande slachtofferfuncties en modellen in de Westerse wereld en naar recente historische events in het buitenland en naar de watersnoodramp van 1953. Op basis van deze literatuuranalyse zijn conclusies getrokken met betrekking tot mogelijkheden voor het meenemen van het effect van de aankomsttijd in de slachtofferanalyse. Vervolgens is een aantal opties voor het meenemen van aankomsttijd beschouwd en is de meest kansrijke optie verder uitgewerkt. De geïnventariseerde opties zijn:

- 1 Door de aankomsttijd op te tellen bij de evacuatielijktijd en op basis hiervan de evacuatieboom aan te passen. Deze evacuatieboom is ook gebruikt om de verwachtingswaarde voor de evacuatiefractie vast te stellen ten behoeve van de projecten 'Waterveiligheid in de 21^{ste} eeuw' en Deltaprogramma Waterveiligheid (zie Maaskant *et al.*, 2009a);
- 2 Met een vluchtfractie. Aangezien het effect van aankomsttijd onzeker is wordt een hoge en lage schatting uitgewerkt.

De resultaten zijn vertaald naar aanbevelingen voor hoe aankomsttijd meegenomen kan worden in slachtofferisicoanalyse in Nederland.

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van slachtoffermodellen en functies in het buitenland en in hoofdstuk 3 worden recente overstromingen beschreven om te kijken of daaruit lessen kunnen worden getrokken met betrekking tot het belang van aankomsttijd en de wijze waarop aankomsttijd meegenomen kan worden. In hoofdstuk 4 worden mogelijke methoden geïnterpreteerd en wordt het gebruik van een vluchtfractie uitgewerkt. De vluchtfracties worden toegepast op overstromingsscenario's in dijkkring 48 (Rijn en IJssel) en dijkkring 43 (Tieler- en Culemborgerwaard). Tenslotte worden in hoofdstuk 5 conclusies getrokken en aanbevelingen gegeven.

2 Slachtofferfuncties en modellen gebruikt in het buitenland

2.1 Overzicht methoden voor slachtofferbepaling

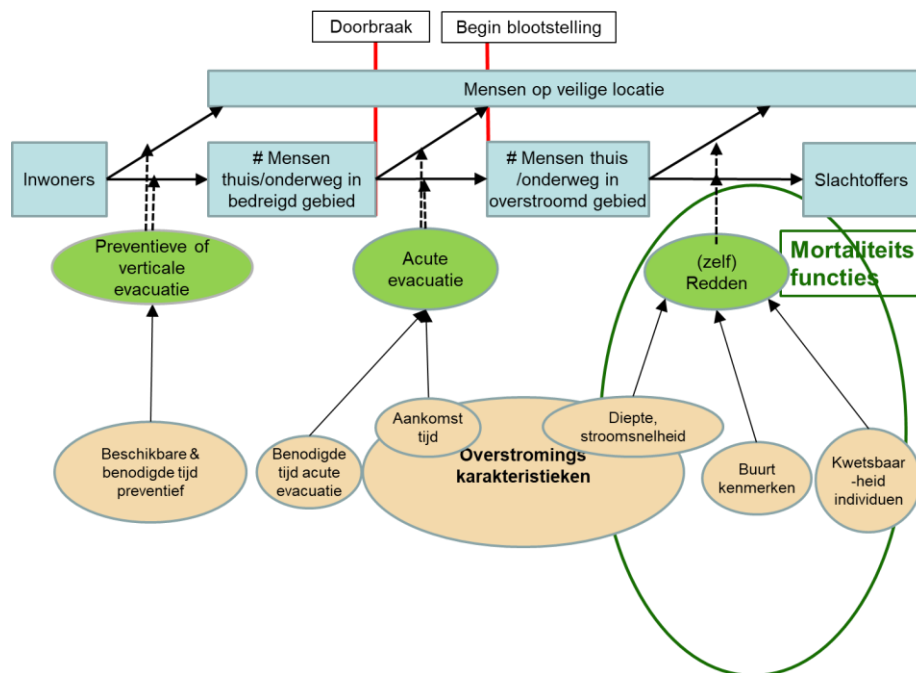
Er zijn verschillende landen en instituten waar slachtoffers door overstromingen bepaald worden en meegenomen in risicoanalyses of beleid. Hiervoor zijn methoden en modellen ontwikkeld. In dit hoofdstuk worden deze internationaal beschikbare modellen en methoden op hoofdlijnen besproken en wordt vervolgens geanalyseerd of en hoe aankomsttijd een rol speelt in de slachtofferanalyse. Tenslotte worden lessen getrokken voor de Nederlandse aanpak voor slachtofferanalyse.

Het aantal slachtoffers bij een overstroming hangt af van het aantal mensen dat blootgesteld wordt en de mortaliteit van die blootgestelde mensen.

Het aantal mensen dat blootgesteld wordt aan overstroming is afhankelijk van het aantal inwoners en het aantal mensen dat zich in veiligheid kan brengen voordat de overstroming hen bereikt. Het aantal mensen dat blootgesteld wordt, is dus afhankelijk van de evacuatiemogelijkheden, vluchtmogelijkheden en het vluchtgedrag van mensen welke weer bepaald wordt door bijvoorbeeld, waarschuwing, communicatie en voorbereiding, capaciteit van het wegennet, gedrag van mensen en het weer. De mortaliteit onder de achterblijvers is onder andere afhankelijk van hun conditie, de overstromingskarakteristieken en de veiligheid van de plek waar ze zich bevinden (in een woning, of buiten).

De belangrijkste factoren gevonden in de literatuur zijn samengevat in Figuur 2.1. Dit schema lijkt op Figuur 1.1 maar bevat ook de component met de aankomsttijd. De factoren zijn: (Di Mauro *et al.*, 2012; Jonkman *et al.*, 2016; Jonkman, 2007; De Bruijn & Klijn, 2009):

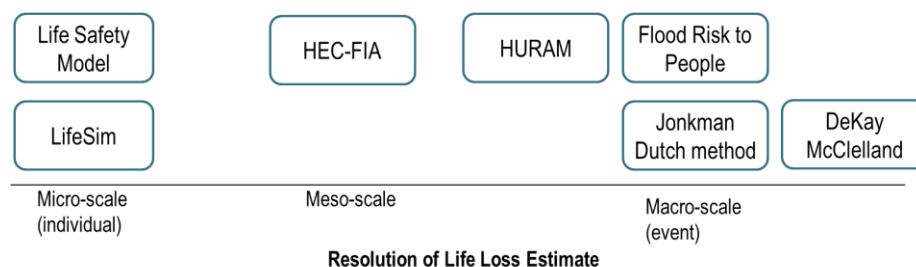
- Beschikbare en de benodigde tijd voor evacuatie voordat de dijk breekt;
- De benodigde tijde voor acute evacuatie of vluchten. Deze wijkt af van de tijd die nodig is om preventief te evacueren: immers na doorbraak is beter bekend welk gebied overstroomd zal raken en welke gebieden veilig blijven.
- Overstromingskarakteristieken (waterdiepte, stroomsnelheid, aankomsttijd, stijgsnelheid, en in sommige gevallen ook: drijfvuil of temperatuur van het water).
- Gebiedskarakteristieken die de mogelijkheden voor vluchten en schuilen bepalen: huissterkte, aanwezigheid van hoge verdiepingen, afstand tot veilige locatie.
- Kwetsbaarheid van de individuen: voorbereiding (kennis van het gebied en de bedreiging, gedrag), individuele gezondheid (leeftijd, gezondheid, zelfredzaamheid), communicatie, aanwezigheid van transport.



Figuur 2.1 Geavanceerd schema voor slachtofferanalyse rekening houdend met aankomsttijd : in blauw de status van mensen, in groen de processen en in oranje de belangrijkste factoren die het succes van de processen bepalen. De acute evacuatie, het vluchten tussen het moment van doorbraak en het moment van blootstelling is nieuw en is waar dit onderzoek zich op richt.

Om te berekenen hoeveel van de mensen die zich in het overstromd gebied bevinden komen te overlijden, en hoeveel mensen in veiligheid gebracht kunnen worden of zichzelf redden, worden slachtofferfuncties gebruikt. Deze geven de mortaliteit als functie van overstromingskarakteristieken (zie groene cirkel). De vorm van de functies hangt af van de buurtkenmerken en individuele kwetsbaarheid.

In bestaande slachtoffermodellen worden deze factoren op verschillende manieren meegenomen. Er zijn modellen op microschaal, op meso-schaal en op macro-schaal waarin de fysische processen en de toestand van individuen heel precies of meer gegeneraliseerd wordt beschouwd (zie Figuur 2.2). Een helder overzicht is gegeven in Di Mauro *et al.* (2012). Micro-schaal methoden modelleren individuen, hun gezondheidsstatus en gedrag terwijl macro-schaalmodellen de kenmerken van de hele bevolking beschrijven. Mesoschaal modellen liggen daar tussen in. Macro-schaalmodellen worden toegepast op grote gebieden, terwijl micro-schaalmodellen normaal toegepast worden op kleine dorpen of buurten. Voorbeelden van microschaalmodellen zijn het Life Safety Model van BC Hydro (Canada) (Johnstone *et al.*, 2005); en LifeSim (Aboutalata and Bowles, 2008) (Figuur 2.2 en bijlage A).



Figuur 2.2 Overzicht modellen (voor referenties zie hieronder en bijlage A)

Naast kwantitatieve methoden om slachtofferaantallen of mortaliteit te bepalen zijn er ook kwalitatieve methoden die inzicht geven in gevaarlijke en/of kwetsbare plekken ten behoeve van bijvoorbeeld ruimtelijke ordening of crisismanagement.

De 'Risky Places methode' van de Bruijn & Klijn (2009) is zo'n methode. Overigens kunnen deze plekken ook bepaald worden met kwantitatieve methoden en indicatoren (De Bruijn *et al.*, 2015): hierin zijn gevaarlijke en kwetsbare plekken gegeven op basis van het Lokaal Individueel Risico en het Lokaal Schade Gevaar. Deze indicatoren combineren verschillende karakteristieken van gevaar zoals diepte, aankomsttijd, stijgsnelheid en stroomsnelheid tot enerzijds een gevaar voor personen (kans om te overlijden) en anderzijds een bedreiging voor woningen. De gevaarlijke plekken kaart geeft deze waarden voor alle locaties, onafhankelijk van het aantal mensen of woningen die daadwerkelijk aanwezig zijn. Dergelijke kaarten zijn nuttig voor bijvoorbeeld risicozonering, ruimtelijke ordening of in combinatie met de locatie van mensen, voor crisismanagement.

De modellen 'Flood Risk to People', 'Lifesim' en het 'Life Safety Model' worden in meer detail toegelicht. Voor de overige worden referenties gegeven in bijlage A.

Flood risk to people

Deze methode is ontwikkeld door DEFRA en de Environment Agency in het Verenigd Koninkrijk en aangepast in het EU FLOODsite Project (HR Wallingford *et al.*, 2006; Priest *et al.*, 2007). De methode bepaalt:

- Het gevaar (De Hazard Rating HR), op basis van: waterdiepte stroomsnelheid en drijfvuil
- Gebiedskwetsbaarheid (Area Vulnerability AV) op basis van de effectiviteit van de waarschuwingen, de aankomsttijd en gebouwtypes
- De kwetsbaarheid van de bevolking: (People Vulnerability) op basis van het aantal chronisch zieken, gehandicapten en mensen ouder dan 75.

De aankomsttijd is hier een expliciete factor. De aankomsttijd kan een lage, matige of hoge bijdrage aan het risico hebben (zie Figuur 2.3 hieronder). De aankomsttijd heeft een medium bijdrage als deze ongeveer een uur bedraagt. Is het water er binnen een uur, dan is de bijdrage groot en is het water er minder snel, dan is de bijdrage laag. De bijdrage van aankomsttijd (speed of onset) samen met andere factoren bepaalt de totale score voor de 'gebiedskwetsbaarheid. De korte aankomsttijd die hier als drempelwaarde wordt gehanteerd hangt samen met de korte tijd die nodig is om een veilige locatie te bereiken: in het algemeen zijn in Engeland de overstromde gebieden niet zo uitgestrekt en zijn hoger gelegen locaties nabij. De precieze onderbouwing van de drempelwaarde van een uur, of het kiezen van drie klassen is niet bekend.

Parameter	1 - Low risk area	2 - Medium risk area	3 - High risk area
Speed of onset	Onset of flooding is very gradual (many hours)	Onset of flooding is gradual (an hour or so)	Rapid flooding
Nature of area	Multi-storey apartments	Typical residential area (2-storey homes); commercial and industrial properties	Bungalows, mobile homes, busy roads, parks, single storey schools, campsites, etc.
Flood warning	Score for flood warning = $3 - (P1 \times (P2 + P3))$ where P1 = % of Warning Coverage Target Met P2 = % of Warning Time Target Met P3 = % of Effective Action Target Met		
Area Vulnerability (AV) = sum of scores for 'speed of onset', 'nature of area' and 'flood warning'			
Ref: FD2321/TR1 Table 4.4			

Figuur 2.3 Overzicht van de parameters gebruikt om de Area Vulnerability te bepalen in de 'Risk to People' methode.

Lifesim

Lifesim is een agent-based methode die individuen volgt tijdens het hele proces van waarschuwen en evacueren¹ voor en tijdens de overstroming. Om de mortaliteit van van individuen te bepalen worden de slachtofferfuncties van McClelland and Bowles (1999) gebruikt. In de methode worden overstromingskarakteristieken (diepte, stroomsnelheid, aankomsttijd) als input gevraagd. Evacuatie wordt gesimuleerd en ook de status van gebouwen en voertuigen wordt bijgehouden. Lifesim berekent de mortaliteit van de blootgestelde personen en de directe schade aan woningen en voertuigen. Door individuen te volgen kan Lifesim gebruikt worden om locaties te identificeren waar mensen het meest in gevaar zijn, of deze nu op de weg rijden, zich buiten in de open lucht, of in een gebouw bevinden.

Life Safety model

Het Life Safety Model (LSM) is een agent-based model waarin het gedrag van ieder individu en van ieder gebouw wordt gemodelleerd. Het model is ontwikkeld voor het analyseren van doorbraken van stuwdammen maar is ook al toegepast op doorbraken van dijken en voor het bepalen van slachtoffers van tsunami's (Di Mauro *et al.*, 2012; Lumbroso *et al.*, 2011; 2021). In het LSM wordt voor iedere individu, gebouw en auto de status bijgehouden en de uitwisseling van informatie tussen individuen, en de interactie tussen individuen en de overstroming wordt gesimuleerd. Het model is daarmee geschikt om bijvoorbeeld verbeterde waarschuwingen, extra evacuatie routes of variaties in de response tijd van mensen na waarschuwing op slachtofferaantallen te bepalen. Het LSM is gevalideerd voor een aantal historische damdoorbraken (Lumbroso *et al.*, 2021). Lumbroso *et al.* (2021) laten zien dat als er een waarschuwing was gegeven in het geval van de doorbraak van de Brumadinhou tailings dam, het aantal slachtoffers veel lager zou zijn geweest, zelfs als de waarschuwing pas gegeven was op het moment dat de dam brak. De uitkomsten zijn specifiek voor de onderzochte overstroming, maar laten wel zien dat ook LSM het effect van waarschuwing, aankomsttijd en evacuatie meeneemt als bepalende factor voor het bepalen van slachtofferaantallen.

¹ In Lifesim wordt met evacuatie bedoeld: het verlaten van het bedreigde gebied. De term wordt gebruikt voor zowel het vertrekken voor, als tijdens de overstroming. De term wordt niet gebruikt voor inwoners die schuilen op een hogere droge verdieping of andere veilige locatie binnen het overstroomd gebied.

2.2 Het belang en gebruik van aankomsttijd in buitenlandse slachtoffermodellen

In alle modellen en methoden die in westerse landen gebruikt worden, wordt bij het bepalen van slachtofferaantallen rekening gehouden met aankomsttijd.

In macro en sommige meso-schaalmodellen wordt de aankomsttijd expliciet meegenomen als factor: Als de aankomsttijd lang genoeg is om een veilige locatie te kunnen bereiken voordat blootstelling optreedt, worden de slachtofferaantallen of mortaliteit als heel klein of zelfs als nul gekozen. Wanneer de aankomsttijd te kort is om effectief te reageren en veilig gebied te bereiken, wordt gerekend met een grotere waarde voor gevaar of mortaliteit. Deze aanpak is voor de hand liggend en ook relevant voor Nederland.

In micro-schaalmodellen, of agent-based modellen wordt de verspreiding van de waarschuwing, de evacuatie en het voortschrijden van de overstroming gemodelleerd en wordt de aankomsttijd onderdeel van de modellering. Dit gebeurt bijvoorbeeld in het Life Safety model en Lifesim.

Een groot verschil tussen Nederland en het buitenland is dat in het buitenland vaak in een of enkele uren een veilige locatie bereikt kan worden. In Nederland kan dit ook het geval zijn, maar bij overstromingen vanuit hoofdwaters waarvoor grote gebieden met veel inwoners bedreigd worden is de verwachting dat veel meer tijd nodig is om alle mensen in veiligheid te brengen. De absolute waarden waarbij in buitenlandse modellen gerekend wordt zijn door de verschillen in bedreigd gebied, waterdieptes en context niet direct over te nemen in de Nederlandse methode.

Het modelleren van het effect van aankomsttijd in agent-based modellen is voor Nederland vaak lastiger, omdat deze modellen veel data en rekenkracht vragen zeker voor de gebieden die in Nederland bedreigd worden. Het is wel aan te bevelen om een casestudie te doen met een agent-based model om zo te zien wat volgens het model en de daarin meegenomen aannames het effect van aankomsttijd op slachtofferaantallen is en wat belangrijke factoren zijn die dit effect bepalen. Op basis daarvan kunnen keuzes over de vluchtfractie (zie hoofdstuk 4) mogelijk nog beter onderbouwd worden.

3 Case-analyses

3.1 Literatuuranalyse: factoren die mortaliteit bepaalden in historische events

Een aantal wetenschappers heeft op basis van historische overstromingen onderzoek gedaan naar factoren die de mortaliteit van overstromingen beïnvloeden. De belangrijkste artikelen hierover worden hieronder samengevat en er worden conclusies uit getrokken met betrekking tot de rol van aankomsttijd.

Jonkman (2007) heeft een aantal buitenlandse overstromingen bekeken waaronder de Japanse overstromingen veroorzaakt door storm surges in 1959, 1981, en 1999, de overstroming van 1991 in Bangladesh veroorzaakt door een cycloon, de overstroming van 1981 in Zuid-Afrika en de watersnoodramp van 1953. Op basis van die overstromingen concludeerde hij dat de belangrijkste factoren die bijdragen aan de mortaliteit van overstromingen zijn:

- Factoren die het mogelijk maken om effectief te handelen en veilig gebied te bereiken, zoals: het tijdstip en de kwaliteit van waarschuwingen, het tijdstip waarop de overstroming optreedt (dag/nacht), de aanwezigheid en nabijheid van veilige gebouwen of shelterlocaties, de veiligheid die de eigen woning biedt.
- Overstromingskarakteristieken: waterdiepte, stroomsnelheid, stijgsnelheid van het water, aankomsttijd.
- Kwetsbaarheid van de mensen (gezondheid, leeftijd etc.).

MCClelland and Bowless (1999) bestudeerden de oorzaak van slachtoffers en vonden dat de meeste mensen omkwamen bij flashfloods of kustoverstromingen, omdat die vaak plotseling optreden en de stroomsnelheden en golven vaak gevaarlijker zijn dan bij rivieroverstromingen. Vaak vallen veel slachtoffers bij overstromingen waarin gebouwen instorten of veel schade ontstaat. Zij benoemen 41 oorzaken waarvan de meest voorkomende zijn:

- beknelt of bedolven komen te zitten door instorting van gebouwen of door drijfvuil;
- onderwater beknelt komen te zitten in een gebouw;
- onderwater worden getrokken door een onderstroming of zinkend voorwerp (boot, matras, of debris dat als vlot wordt gebruikt);
- onder water vast komen te zitten door een huis, paal, boom, hek, of bijvoorbeeld een rots;
- niet kunnen zwemmen door sterke stroming of vermoeidheid;
- bedolven worden door sediment of modder veroorzaakt door de overstroming.

Hij heeft ook overlevenden geïnterviewd en naar hun strategie gevraagd. De meeste mensen geven aan dat ze overleefden door te vluchten naar heuvels, een hogere verdieping, of zelfs op tafels, of in bomen.

Ashley & Ashley (2008) bestuderen de USA database met data van 1959 tot 2005 en vonden ook dat de meeste slachtoffers vallen bij flashfloods, dijkdoorbraken en damdoorbraken. Veel mensen kwamen om doordat ze het gevaar onderschatten en probeerden door water te rijden of lopen. Gedrag is dus ook belangrijk. Dit wordt bevestigd door Jonkman & Kelman: veel mensen nemen onnodige risico's en komen daardoor om.

Bouwer & Jonkman (2017) geven opnieuw aan dat de mortaliteit bij overstromingen het hoogst is bij flashfloods, daarna bij kustoverstromingen en minder hoog bij rivieroverstromingen. Zij laten ook zien dat de mortaliteit bij overstromingen veroorzaakt door een storm surge is afgenomen ten opzichte van een aantal decades geleden. Er worden meer mensen getroffen door overstromingen, maar er zijn minder slachtoffers. Dit komt waarschijnlijk door de verbetering in voorspellings- en waarschuwingen en in betere sheltermogelijkheden.

Al deze analyses laten zien dat wanneer mensen zich in veiligheid kunnen brengen, de mortaliteit lager is. Hiertoe is meer kans bij rivieroverstromingen dan bij flashfloods en kustoverstromingen, omdat flashfloods en kustoverstromingen vaak onverwacht optreden, er minder tijd is om te handelen en omdat deze gepaard gaan met meer geweld (grotere stroomsnelheden, meer drijfvuil, grotere kans op instortende gebouwen). De artikelen gaan niet specifiek in op aankomsttijd.

In de volgende paragrafen worden een aantal buitenlandse overstromingen beschreven en wordt de rol van aankomsttijd besproken. Vervolgens wordt de overstroming van 1953 en de rol van aankomsttijd daarin bediscussieerd en tenslotte worden conclusies getrokken over wat hiervan geleerd kan worden met betrekking tot de Nederlandse aanpak.

3.2 Overstroming in New Orleans door de orkaan Katrina (2005)

3.2.1 Kenmerken overstroming

Op 29 augustus 2005 trof de orkaan Katrina de staat Louisiana en de stad New Orleans. De orkaan veroorzaakte hele hoge waterstanden op Lake Pontchartrain en die leiden tot doorbraken van kades en dijken waardoor grote delen van de stad onder water kwamen te staan (De Bruijn, 2006). De schade was ongeveer 20 miljard dollar en in de staat Louisiana kwamen meer dan 1100 mensen om, waaronder een groot aantal in New Orleans (Jonkman *et al.*, 2009).

New Orleans ligt aan de Mississippi. De oude delen liggen op de hogere locaties aan de rivier, terwijl de uitbreidingen in de moerassen rond de stad hebben plaatsgevonden en dus veel lager liggen.

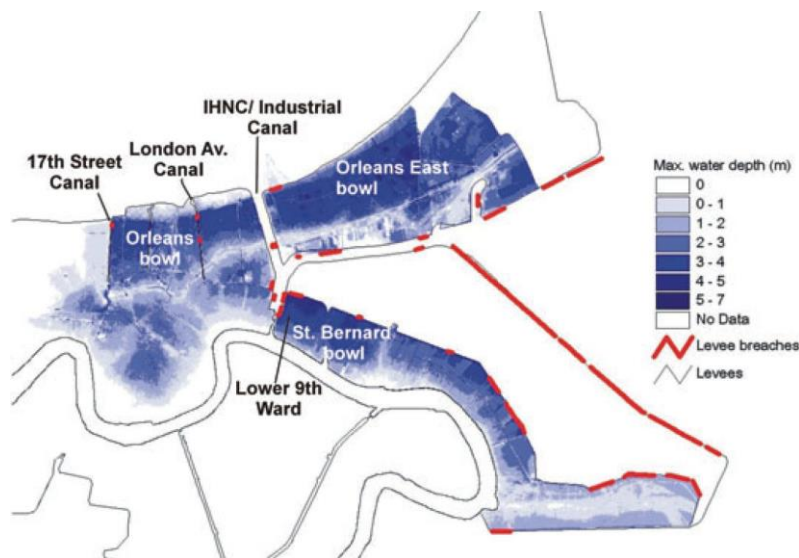


Figuur 3.1 Ligging van New Orleans (bron: Jonkman *et al.*, 2009).

In de twee dagen voor de overstroming zijn waarschuwingen uitgegaan en is eerst een evacuatieadvies, en vervolgens een evacuatiebevel afgegeven. Ongeveer 1,1 miljoen mensen, wat neerkomt op zo'n 80 a 90% van de bevolking van Louisiana was al geëvacueerd voordat de orkaan aan land kwam.

In het gebied wonen ook kwetsbare mensen, zoals mensen in verzorgingstehuizen. De verzorgingshuizen moesten snel de moeilijke beslissing nemen om te evacueren of zich ter plekke voor te bereiden op de orkaan. Uiteindelijk zijn 21 tehuizen geëvacueerd voordat de overstroming plaatsvond, 36 tehuizen hebben zich voorbereid om ter plekke de orkaan te doorstaan (Jonkman *et al.*, 2009). Ook zijn er shelters ingericht in de stad waar mensen terecht konden. Naar schatting 72.000 mensen waren nog in de stad toen de orkaan aankwam. Van die 72.000 mensen schuidden er ongeveer 10.000-15.000 of 26.000 in de Superdome, een stadion dat was aangewezen als shelterlocatie (de schattingen verschillen per bron) (Jonkman, 2009).

Tijdens de orkaan kwamen de waterstanden in Lake Pontchartrain sterk omhoog waardoor op grote schaal overtopping en doorbraak optrad van de keringen waarbij een groot deel van de stad onderliep. De eerste huizen stroomden al onder ongeveer 2 uur voordat de orkaan aan land kwam. Later in de ochtend braken de dijken langs de zuidelijke arm van het Industriekanaal waardoor het water met grote snelheid en kracht de St Bernard bowl (het zuidelijke gebied van de stad) instroomde met rampzalige gevolgen. Vooral de Lower 9th Ward, het gebied dat direct achter de doorbraaklocatie lag werd zwaar getroffen. Uiteindelijk is een groot deel van de stad onder water gekomen (zie Figuur 3.2). Het duurde ongeveer 40 dagen om de stad weer droog te krijgen.



Figuur 3.2. Overzicht van het overstroomd gebied, de waterdieptes en dijkdoorbraaklocaties (Jonkman *et al.*, 2009)

Direct kwamen grote reddingsoperaties op gang en werden mensen gered van zolders en daken. Ook patiënten en personeel uit ziekenhuizen en verzorgingshuizen moesten met spoed gered worden uit ondergelopen gebieden.

In 5 dagen werden ongeveer 62,000 mensen gered met boten en helikopters. Veel mensen die uit het water gered werden, zijn naar de Superdome en het Convention Center gebracht. Hierdoor werden deze shelters erg vol. In de shelters kregen de mensen te maken met honger, dorst en ontstond er een sfeer van wanhoop. In de grote shelters zijn tenslotte doden gevallen door onrust en gebrek aan goede voorzieningen.

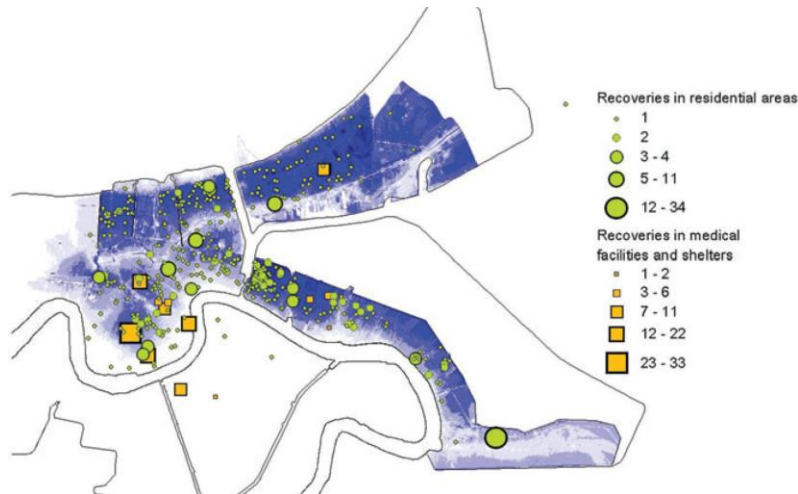
Pas op donderdag 1 september, 3 dagen nadat Katrina aan land kwam, begonnen de eerste bussen mensen te evacueren vanuit de Superdome naar veiligere locaties. De evacuatie vanuit de shelter Convention Center begon nog een dag later.

3.2.2 Slachtoffers en bepalende factoren

Jonkman *et al.* (2009) hebben met behulp van gegevens van 771 slachtoffers de omstandigheden die leidden tot de dood geanalyseerd. De locaties waar lichamen zijn gevonden zijn gegeven in Figuur 3.3.

Ongeveer 53% van de slachtoffers is in huis overleden, met name in huizen met slechts één verdieping die niet verhoogd waren aangelegd, of minder dan 3 voet (ongeveer 1m) waren verhoogd. Ongeveer 20% is overleden in een ziekenhuis in het getroffen gebied en 10% in een verzorgingstehuis. Van 7% van de slachtoffers is het lichaam buiten aangetroffen en is de locatie van overlijden niet bekend. 3% van de mensen is omgekomen in een public shelter (Super Dome en Convention Center) en nog eens 3% is omgekomen in een ander gebouw zoals een kerk of school waarin ze toevlucht hadden gezocht.

Een derde kwam om door slechte (gezondheids) zorg tijdens de overstroming. Zo'n 19% hiervan kwam om buiten het overstroomd gebied. Twee derde van de slachtoffers is omgekomen door de fysieke omstandigheden van de overstroming zelf, de meeste hiervan door verdrinking. Deze verdrinking heeft zowel buiten als binnenshuis slachtoffers geëist. Ook zijn mensen omgekomen door contact met drijfvuil en door instortende woningen. Bovendien zijn er lichamen aangetroffen op niet-overstroomde verdiepingen. Het meest waarschijnlijk is dat deze mensen omgekomen zijn door de slechte omstandigheden waarin ze verkeerden (uitdroging, stress, hartaanval) en/of gebrek aan medicijnen. De meeste slachtoffers zijn gevonden in de buurt van de bressen en in gebieden met grote waterdieptes. Vooral in de Lower 9th Ward in de St. Bernard Bowl zijn veel slachtoffers gevallen. Dit gebied werd direct na de doorbraak in korte tijd heel diep en de stroomsnelheid was er groot. In dit gebied ligt ook het St Rita's verzorgingstehuis waar 31 slachtoffers zijn gevonden.



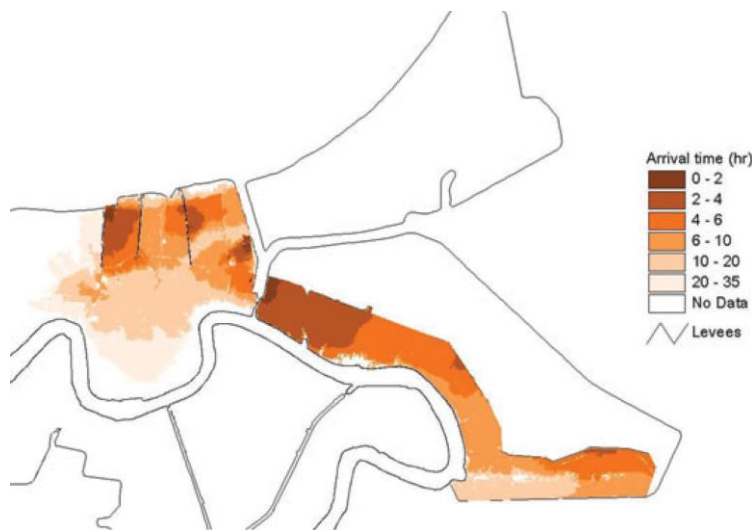
Figuur 3.3. De locatie waar lichamen zijn gevonden weergegeven op een kaart van het overstroomd gebied (bron: Jonkman *et al.*, 2009).

Relatie met overstromingskarakteristieken

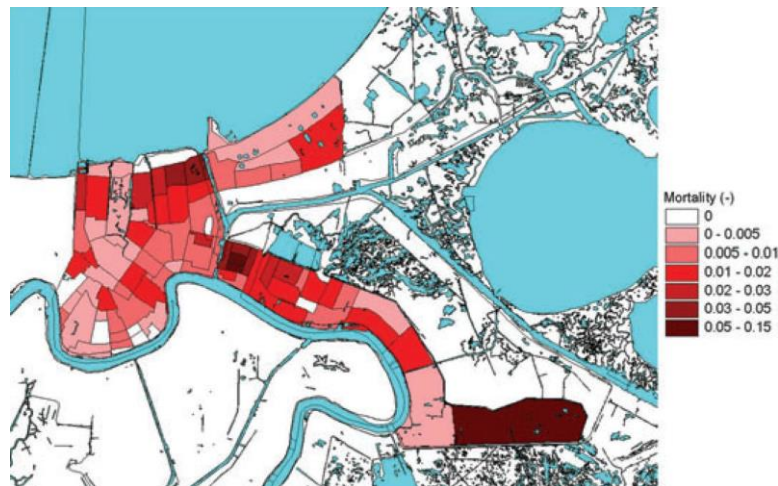
Er is een simulatie van de gemaakt op basis van de US Geological Survey, dijkhoogte en doorbraaklocaties van het LSU Hurricane Center en Amerikaanse rapporten (De Bruijn, 2006). Met behulp van deze simulaties is gezocht naar relaties tussen de overstromingskarakteristieken waterdiepte, stroomsnelheid, stijgsnelheid, aankomsttijd en energie (diepte maal stroomsnelheid) en mortaliteit.

Op basis van de resultaten zijn mortaliteitsfuncties afgeleid waarin voor de zone waarin het product van de diepte en stroomsnelheid groter is dan $5 \text{ m}^2/\text{s}$ een mortaliteit van 0,053 is gevonden (de breachzone) en voor het overige gebied een relatie is afgeleid tussen de waterdiepte en de mortaliteit (Jonkman *et al.*, 2009). In dit gebied is de mortaliteit 1% bij ongeveer 1,8m en 2% bij 3m diepte. De meeste gebieden werden tussen de 1 en 3m diep.

Jonkman *et al.* (2009) hebben geen onderzoek gedaan naar de relatie tussen aankomsttijd en slachtoffers. Uit Figuur 3.4 en Figuur 3.5 is op te maken dat in de gebieden met een aankomsttijd kleiner dan 6 uur de mortaliteit hoger is dan in andere gebieden, met uitzondering van de gebieden waar veel mensen zijn omgekomen in shelters door de slechte omstandigheden daar. De gebieden met een korte aankomsttijd waren in dit event ook gevaarlijk vanwege andere factoren: ze zijn niet alleen snel ondergelopen, maar zijn ze ook erg diep geworden en in de Lower 9th Ward was ook de kracht van het water groot (het product van de diepte en de stroomsnelheid was lokaal groter dan $5 \text{ m}^2/\text{s}$).



Figuur 3.4. Aankomsttijd van het water (Jonkman *et al.*, 2009).



Figuur 3.5. Mortaliteit per buurt. De hoge mortaliteit in het zuidoostelijke gebied wordt veroorzaakt door 30 doden in een verzorgingshuis dat in dit gebied ligt. De hoge mortaliteit in het midden en zuiden van het gebied ten noorden van de Mississippi wordt veroorzaakt door de hoge slachtofferaantallen in de shelters en ziekenhuizen daar (zie ook Figuur 3.3).

3.2.3 Het belang van aankomsttijd

Dit event is lastig te gebruiken als bewijs voor het belang van aankomsttijd, maar weerspreekt dit belang ook niet. De gebieden met een korte aankomsttijd waren gevaarlijk, maar dit kwam niet alleen door de korte aankomsttijd. De absolute waarden van de aankomsttijd zijn niet direct naar Nederland te vertalen: immers deze Amerikaanse stad is niet vergelijkbaar met een Nederlandse dijkkring. De woningen zijn anders (in de Lower 9th Ward woonden veel mensen in trailers), het gedrag van mensen is anders en de sociale situatie van degenen die niet zijn geëvacueerd is ook onvergelykbaar met die in een gemiddelde Nederlandse plaats.

3.3 Overstroming in Houston door orkaan Harvey (2017)

3.3.1 Kenmerken overstroming

Orkaan Harvey kwam op 25 augustus 2017 in Texas aan land als een categorie 4 storm met wind tot ongeveer 200 km/uur. Het bijzondere aan deze orkaan was echter niet de wind, of de storm surge aan de kust, maar de enorme hoeveelheid regen die de orkaan meebracht. Tussen 25 en 31 augustus zijn neerslag totalen gemeten die hoger waren dan 1000 mm. In Cedar Bayou is zelfs een 3-daagse regensom van 1318 mm geregistreerd (Jonkman *et al.*, 2018). De overschrijdingskans van deze neerslag is geschat op een eens in de 9000 jaar neerslag. De omvang van het gebied waar de neerslag viel was ook groot.

Door deze enorme neerslaghoeveelheden overstroomde een groot gebied in Houston. De kreken en rivieren in het gebied konden deze hoeveelheden water niet aan, zeker niet omdat ook de zee hoger stond door de storm surge van de orkaan. Het grootste deel van het gebied viel na 24 tot 48 uur weer droog. In sommige gebieden duurde het dagen tot weken voordat het water weg was. De overstroming was de ergste overstroming ooit voorgekomen rond Houston.

De gevolgen van deze overstroming waren enorm. Ongeveer 80.000 woningen kregen te maken met waterdieptes groter dan 50 cm. Meer dan 120.000 mensen zijn gered door professionele of vrijwillige hulpverleners (FEMA, 2017).

Voor zover bekend en opgenomen in de database van Jonkman *et al.* (2017) kwamen er ongeveer 70 mensen om als direct gevolg van de overstroming. Er was geen verplichte evacuatie afgekondigd omdat het gebied dichtbevolkt is en de kans op ongelukken te groot en de haalbaarheid van tijdige evacuatie te laag was ingeschat. De mensen was gezegd thuis te blijven en zich voor te bereiden. Tijdens het event zijn wel enkele gevaarlijke gebieden alsnog geëvacueerd.

3.3.2 Slachtoffers en bepalende factoren

Jonkman *et al.* (2018) heeft de factoren en de omstandigheden onderzocht die leiden tot de dood van deze 70 mensen. Zij beschrijven dat de slachtoffers verspreid vielen in een groot gebied.

Vrijwel alle slachtoffers zijn verdronken (57 van de 70: 81%). Veel mensen verdronken op het moment dat ze probeerden door water te rijden of op het moment dat ze uit de auto stapten terwijl die zich in stromend water bevond (21 van de 57). Veel mensen die omgekomen zijn probeerden een stroom water over te steken met de auto. Zes mensen verdronken doordat hun boot omsloeg terwijl zij probeerden mensen uit overstroomde huizen te redden. Van 16 van de 57 verdronken mensen zijn de omstandigheden die leidden tot hun dood onbekend. Hun lichaam is buiten aangetroffen.

De slachtoffers die niet zijn verdronken zijn omgekomen door elektrocutie (4 mensen), of door gebrek aan medische behandeling (deze mensen waren afhankelijk van dialyse, medicijnen voor astma of behandeling vanwege hartproblemen; 4 mensen). Enkele mensen kwamen om door auto ongelukken, omgewaaide bomen of infectie met vervuild water (in totaal 3).

Er zijn voor zover bekend, geen mensen verdronken in woningen of omgekomen doordat woningen instortten.

3.3.3 **Het belang van aankomsttijd**

Voor dit event speelt aankomsttijd geen grote rol. De overstroming werd veroorzaakt door lokale regen. De mensen waren gewaarschuwd. De mensen die omgekomen zijn, zijn vaak mensen die op weg zijn gegaan naar veilige gebieden en daarbij probeerden door water te rijden. Er waren geen berichten over mensen die in files stonden en daar blootgesteld werden aan een golf van water of stijgend water. De aankomsttijd speelde hier dus maar een beperkte rol.

Dit event is voor deze studie dan ook minder relevant. Als Nederland zouden we hiervan kunnen leren dat als communicatie werkt, helder gecommuniceerd moet worden om niet door water te rijden, om thuis te blijven, en wat de verwachte overstromingsduur ongeveer is: immers veel gebieden vielen na een dag al weer droog en werden niet heel diep. Indien bewoners betere informatie hadden gehad, hadden ze wellicht een andere keuze gemaakt. Zij moesten een afweging maken tussen het risico om thuis te blijven en vast komen te zitten, of te proberen veilig gebied te bereiken, maar het risico lopen om onderweg te verdrinken.

3.4 **De Vendee overstromingen door de orkaan Xynthia (2010)**

In februari 2010 overstroonden delen van de Franse Westkust (de Vendee) door hoge golven en waterstanden veroorzaakt door de orkaan Xynthia. De orkaan kostte 47 mensen het leven, waarvan 41 omkwamen door verdrinking. Alle slachtoffers vielen in de Vendee en de Charente Maritime.

De gebeurtenis is geanalyseerd door Vinet *et al.* (2012) en Boudou *et al.* (2016), Creach *et al.* (2015) en Lumbroso en Vinet (2011). Zij hebben de omstandigheden en oorzaken van de slachtoffers bekeken. Vanwege storm waren de mensen langs de kust gewaarschuwd om thuis te blijven. Veel slachtoffers vielen door verdrinking in hun eigen woning. Deze woningen stonden buitendijks of vlakbij een dijk, hadden slechts één verdieping en sommigen hadden rolluiken voor de ramen en deuren die niet omhoog gingen vanwege de elektriciteitsuitval. De mensen zaten gevangen. De waterdiepte nam zeer snel toe, de mensen zaten opgesloten in het donker en konden zich niet in veiligheid brengen.

3.4.1 **Het belang van aankomsttijd**

De aankomsttijd was meestal zeer kort. De mensen hadden geen kans om zich in veiligheid te brengen. Bovendien was vooraf gewaarschuwd voor storm en werd aangeraden vooral thuis te blijven vanwege de extreme storm die voorspeld was. Het belang van aankomsttijd is uit dit event dan ook niet goed af te leiden.

3.5 **De Watersnoodramp in Zuidwest Nederland (1953)**

3.5.1 **Kenmerken van de overstroming**

In 1953 viel een zware storm met een ongunstige windrichting samen met springtij. Het KNMI heeft zaterdagmiddag een waarschuwing uitgestuurd per telegram voor gevaarlijk hoog tij met een piek om 5.00 's morgens.

Helaas waren maar weinig dorpen geabonneerd op deze waarschuwingsservice waardoor vrijwel niemand gewaarschuwd was voordat de eerste doorbraken optraden. Al om 2.00 's nachts, ruim voor de waterstand op zijn hoogst was, stroomde op verschillende plaatsen water over de dijk. Op veel plaatsen in Zeeland en op de Zuid-Hollandse eilanden zijn die nacht de dijken doorgebroken. Door de storm trok het water zich bij eb minder goed terug. De tweede vloedperiode kwam de waterstand nog hoger, en zijn er meer binnendijken doorgebroken. Grote delen van zuidwest Nederland raakten overstroomd.

De mensen waren niet gewaarschuwd en konden ook moeilijk gewaarschuwd worden: de dijken braken in de nacht van zaterdag op zondag. De radio's zonden niet uit vanwege de zondagsrust, en weinig mensen hadden een telefoon. In de dorpen die pas bij de tweede vloedperiode getroffen werden, waren de mensen wel gewaarschuwd. Bij die tweede vloed, 12 uur later kwam het water veel verder. Veel mensen die toen pas overstroomden konden gelukkig op tijd een veilig heenkomen bereiken.

Door de overstromingen zijn 600.000 mensen getroffen in de provincies Zeeland, Zuid-Holland en Noord-Brabant. 1836 mensen kwamen om, waarvan 1796 tijdens de eerste twee dagen van de overstroming en 40 personen daarna.



Figuur 3.6 Overstroomde gebieden in de provincies Zeeland, Zuid-Holland en Brabant gedurende de Watersnood van 1953. Grijs gekleurde polders zijn overstroomd.

3.5.2 Het belang van aankomsttijd

De meeste slachtoffers zijn gevallen in gemeentes waar geen waarschuwingen werden gegeven en die de eerste vloedperiode onderliepen, in dorpen die 's nachts onderliepen, en op locaties waar het water snel steeg tot grotere dieptes en waar de kwaliteit van de woningen slecht was. In gemeentes waar de dieptes kleiner waren of waar meer tijd beschikbaar was, zijn geen slachtoffers gevallen (Van de Hengel, 2006; Jonkman, 2007).

De meeste slachtoffers vielen buiten: omdat ze in hun woning niet veilig waren zaten ze op het dak, of probeerden via dijken of wegen een veilige locatie in hun dorp te bereiken en werden overvallen door het water.

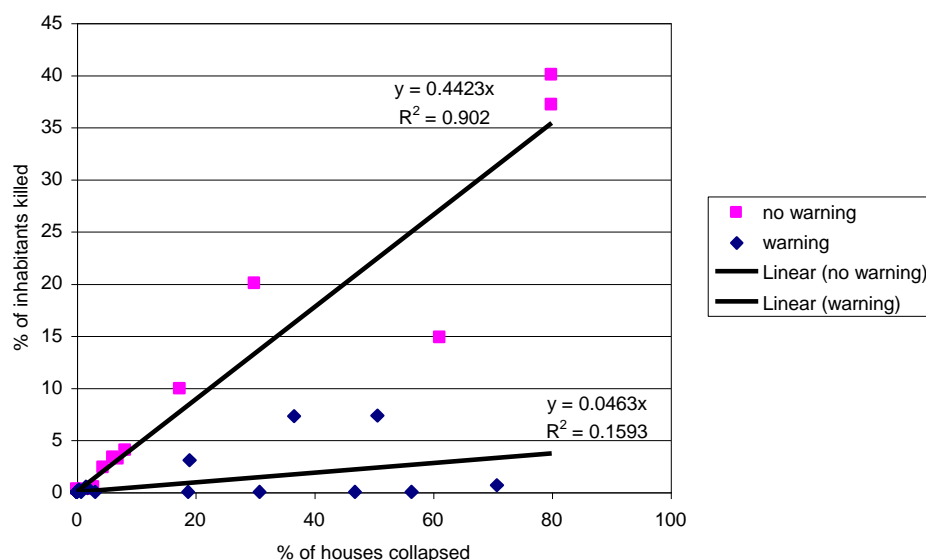
Er is geen analyse gedaan naar het effect van aankomsttijd op slachtoffers. Wel is er gekeken naar het effect van aankomsttijd op de relatie tussen instortende huizen en slachtoffers (Asselman, 2005). Deze analyse wordt hier samengevat omdat deze nuttig is voor het nadenken over het effect van aankomsttijd.

Slager (1992) beschrijft dat in het gehele gebied vooral de arbeiders zwaar getroffen zijn, meer nog dan de rijkere mensen. Veel ingestorte huizen zijn arbeiderswoningen, gebouwd met enkel steens bakstenen muren van slechte kwaliteit. In Zuid-Holland was 98% van alle ingestorte woningen dit soort type woningen (Slager, 1992) (zie ook Tabel 3.1). Veel slachtoffers woonden in een ingestort huis.

Asselman (2005) vond een sterke relatie tussen het instorten van huizen en het aantal slachtoffers per gemeente voor gemeentes die niet gewaarschuwd waren. Asselman ging er hierbij vanuit dat gemeentes die bij de tweede overstroming getroffen werden, een waarschuwing hadden gekregen. De relatie tussen het percentage ingestorte woningen en het slachtofferpercentage is sterk voor gebieden die in de eerste golf getroffen zijn. Voor gebieden die de tweede golf onderliepen is deze relatie minder duidelijk (zie Figuur 3.7). Dit kan het effect van aankomsttijd zijn.

Tabel 3.1 Ingestorte woningen zoals gerapporteerd voor de overstroomde gebieden in Zuid-Holland (Slager, 1992)

Categorie	Aantal ingestort	% van het totaal
Grote woningen	1	0.1
Grote boederijen	8	0.5
Middenklasse woningen	14	0.8
Kleine boederijen	15	0.9
Arbeiderswoningen	1649	98
Totaal	1687	100



Figuur 3.7 De relatie tussen het percentage ingestorte woningen en het percentage inwoners van een gemeente dat omgekomen is bij de Watersnoodramp in 1953 voor de gemeentes op Goeree en Schouwen Duiveland. Er is onderscheid gemaakt tussen gemeentes die tijdens de eerste vloedperiode getroffen zijn en niet gewaarschuwd waren, en gemeentes die bij de tweede vloedperiode overstroomd zijn en daardoor wel gewaarschuwd waren (bron: Asselman, 2005).

Er zijn nog meer aanwijzingen te vinden in Slager (1992) voor het belang van aankomsttijd: Zo is Bruinisse pas bij de tweede vloed overstroomd. De inwoners waren op de hoogte dat de rest van het eiland wel overstroomd was op zondagochtend en konden zichzelf in veiligheid brengen. Er werd 1 slachtoffer geobserveerd, terwijl bij berekeningen met de slachtofferfuncties 75 slachtoffers zijn berekend (Van de Hengel, 2006). Ook in Kruiningen en Sint Maartensdijk was er veel tijd tussen de dijkdoorbraak en het bereiken van een grote waterdiepte. Ook in die gemeentes zijn er relatief weinig slachtoffers gevallen. Naast de langere waarschuwingstijd kan echter ook het feit dat de tweede vloedperiode overdag optrad bijgedragen hebben aan het veel beperkte aantal slachtoffers bij die vloedgolf.

3.6 Conclusies uit de analyse van historische overstromingen

De hier bekeken gebeurtenissen zijn totaal verschillend, maar hebben allemaal geleid tot veel slachtoffers. De omstandigheden die leidden tot deze slachtoffers verschillen sterk. Naast waterdiepte en stroomsnelheid speelden ook andere factoren een rol, zoals:

- gedrag (rijden door water in Houston leidde tot slachtoffers),
- voorzieningen en omstandigheden in shelters (Katrina)
- of de eigen woning een veilige plek biedt (in onveilige woningen vielen veel slachtoffers: lage woningen waar mensen in opgesloten zaten in de Vendee, trailers in New Orleans, arbeiderswoningen in 1953) .

De artikelen waarin factoren worden benoemd die een rol spelen bij mortaliteit noemen aankomsttijd als relevante factor: Het reduceert de slachtofferaantallen als de tijd voldoende groot is om een veilige locatie te bereiken. Op basis van de bestudeerde cases kan echter geen conclusie getrokken worden over het belang van de aankomsttijd voor Nederlandse overstromingen. De watersnood van 1953 geeft wel aanwijzingen dat de aankomsttijd van belang kan zijn, maar dit event is niet meer representatief voor de huidige situatie.

4 Het meenemen van aankomsttijd in Nederland

4.1 Aanpak

Om te komen tot een voorstel voor de wijze waarop in Nederland aankomsttijden meegenomen kunnen worden in slachtofferanalyse zijn in eerste instantie twee opties bekeken:

- 1 Het meenemen door de aankomsttijd op te tellen bij de evacuatie tijd;
- 2 Het ruimtelijk gedistribueerd meenemen door de aankomsttijd te relateren aan vluchtmogelijkheden.

De eerste optie komt in feite neer op het vergroten van de fractie inwoners die zich in veiligheid kan brengen. Nu is die fractie gelijk aan de evacuatiefractie. In deze optie zou daar de fractie van de bevolking die zich na doorbraak in veiligheid kan brengen bij worden opgeteld. Om de verwachte evacuatiefractie te bepalen is een evacuatieboom opgesteld met daarin de kans dat respectievelijk 4, 3, 2 of 1 dag voor doorbraak besloten wordt tot evacuatie en de kans dat de evacuatie goed, matig of slecht verloopt. Voor deze 12 scenario's is gekeken wat de bijbehorende evacuatiefractie is, gegeven bestaande informatie uit verkeersmodellen voor het betreffende gebied, of de betreffende regio. Ook is de kans op een onverwachte doorbraak waarbij de evacuatiefractie nul is ingeschat. De gewogen gemiddelde evacuatiefractie van deze 13 scenario's is vervolgens gebruikt als evacuatiefractie. Het is mogelijk om deze boom aan te passen door rekening te houden met de tijd na doorbraak (zie annex D).

Een groot verschil tussen evacuatie voor en na doorbraak is echter, dat na doorbraak de onzekerheid over de doorbraaklocatie en het doorbraakmoment kleiner zijn. Dit betekent dat bedreigde gebied veel zekerder en vaak kleiner is en dat geprioriteerd kan worden wat het proces efficiënter kan maken. Echter, ook het gedrag van mensen kan veranderen: het kan zijn dat nu de dijk gebroken is, mensen sneller reageren op de oproep om te vertrekken, of dat er paniek ontstaat. Deze verschillen kunnen zowel leiden tot een grotere of kleinere efficiëntie bij vluchten (na doorbraak) ten opzichte van evacuatie (voor doorbraak).

Deze methode laat niet toe, dat de informatie over de ruimtelijke verschillen van de aankomsttijd meegenomen wordt op een manier waaruit naar voren komt welke locaties meer en minder gevaarlijk zijn. De ruimtelijke informatie van aankomsttijd wordt bij het gebruik van een evacuatieboom, niet gerelateerd aan waar mensen wonen, of waar de mortaliteit het hoogst is. Dit is een groot nadeel van deze methode. Het effect van een langere aankomsttijd ter plaatse van de meest dichtbevolkte gebieden is immers groter dan het effect van een langere aankomsttijd in de minst dichtbevolkte gebieden. Het effect van aankomsttijd wordt bij het gebruik van een homogene boom voor het gehele gebied niet goed meegenomen. Om die reden is deze aanpak niet verder uitgewerkt.

Optie 2: het meenemen van de aankomsttijd in een ruimtelijk gevarieerde vluchtfractie
Wanneer er meer tijd beschikbaar is om een veilige locatie te bereiken, zullen er minder slachtoffers vallen. In alle internationale modellen en ook bij de bestudeerde events is het belang van het meenemen van de vluchtfractie vanwege dit effect beschreven (zie hoofdstuk 2 en 3). Het is echter moeilijk te bepalen hoe groot het effect van meer tijd precies zal zijn. Er zijn immers maar weinig overstromingen in gebieden die op Nederland lijken qua gevaar, wegnen en maatschappij. Ook de Nederlandse maatschappij in 1953 en het vluchtgedrag van toen zijn niet meer representatief voor de huidige maatschappij en het verwachte gedrag.

Om die reden zijn twee aannames gedaan die een ondergrens en een meer realistische waarde representeren. Er is hierbij nog geen onderscheid gemaakt tussen gebieden op basis van gebiedskarakteristieken, omdat daar nu nog de gegevens voor ontbreken. Het lijkt eenvoudiger om in geval van een doorbraak uit een dunbevolkt gebied te vertrekken dan uit een dichtbevolkt gebied, maar in de dichtbevolkte gebieden zijn vaak meer wegen, en is de omvang van het overstroomd gebied vaak kleiner door allerlei compartimenterende dijken, wegen en spoorlijnen. De mensen in het overstroomde gebied zijn daar na het afleggen van een kleinere afstand al veilig, terwijl in een landelijk gebied soms grotere afstanden afgelegd moeten worden om veilige gebieden te bereiken. Zonder goede verkeersmodellen en kennis van gedrag van mensen is het lastig om gefundeerd onderscheid te maken tussen verschillende gebieden. Om deze reden worden algemene aannames gedaan, waarbij wel gekeken is naar de uitkomsten van verkeersmodellen die gedraaid zijn voor de evacuatiefractieboom (Maaskant *et al.*, 2009b). Wanneer er meer gedetailleerde kennis aanwezig is over de tijd die nodig is voor een buurt om buiten het bedreigde gebied² te komen, kan de vluchtfractie nauwkeuriger bepaald en meegenomen worden.

Wanneer een dijk breekt, zal getracht worden de mensen die direct bedreigd worden te waarschuwen en te adviseren over hoe ze het beste kunnen handelen. Niet iedereen zal deze waarschuwing direct krijgen, of er direct naar handelen. Om die reden is aangenomen dat het gevaar voor mensen die snel blootgesteld worden aan water niet of nauwelijks afneemt. De vluchtfractie voor gebieden die binnen 3 a 6 uur onderlopen is dan ook zeer laag geschat. Inwoners die meer dan 2 dagen de tijd hebben kunnen, behalve bij storm, in principe allemaal op tijd het gebied verlaten. In de evacuatiefractieschattingen voor het rivierengebied waarbij de evacuatie niet wordt geremd door storm is 2 dagen voldoende om alle inwoners uit de hele dijkkring te kunnen evacueren. In dit geval gaat het niet om het de hele dijkkring, maar slechts het gebied bedreigd bij de doorbraak die opgetreden is en is dus het te evacueren aantal personen kleiner, en is soms het veilig gebied dichterbij. Dit maakt het vertrouwen in een hoge vluchtfractie voor gebieden waar meer dan 2 dagen tijd is voordat het water aankomt groot.

Een casestudie in Dordrecht in 2020 liet zien dat bij een doorbraak aan de zuidzijde slechts een klein deel van het eiland overstroomt. De stad Dordrecht blijft grotendeels droog (De Bruijn & Kolen, 2020). Voor doorbraak, wanneer de doorbraaklocatie nog niet bekend is, zal indien besloten wordt tot evacuatie mogelijk het gehele eiland geëvacueerd worden. Wanneer de dijk gebroken is, kan met spoed in ieder geval het direct door deze doorbraak bedreigde gebied aangemaand worden om te vertrekken, terwijl de urgentie voor de rest van het eiland minder kan zijn.

Er kunnen redenen zijn waardoor mensen toch niet kunnen of willen vertrekken, ook niet als de dijk gebroken is en er voldoende tijd is om te vertrekken. Daarom is ook voor gebieden met een aankomsttijd van meer dan 48 uur niet gekozen voor de aanname dat iedereen op tijd vertrokken is, maar is een fractie van 0,8 of 0,9 aangehouden (zie Tabel 4.1).

Hoeveel mensen binnen 24 uur het gebied kunnen verlaten is moeilijker in te schatten. Dit zal per gebeurtenis verschillen en ook afhangen van andere factoren zoals het weer, het tijdstip waarop de dijk breekt, of er paniek of samenhangigheid overheerst en of bijvoorbeeld de elektriciteit en communicatie nog functioneren. Om die reden is voor het gebied met aankomsttijden tussen 6 en 48 uur een groter verschil aangehouden tussen de lage en de hoge schatting voor de vluchtfractie.

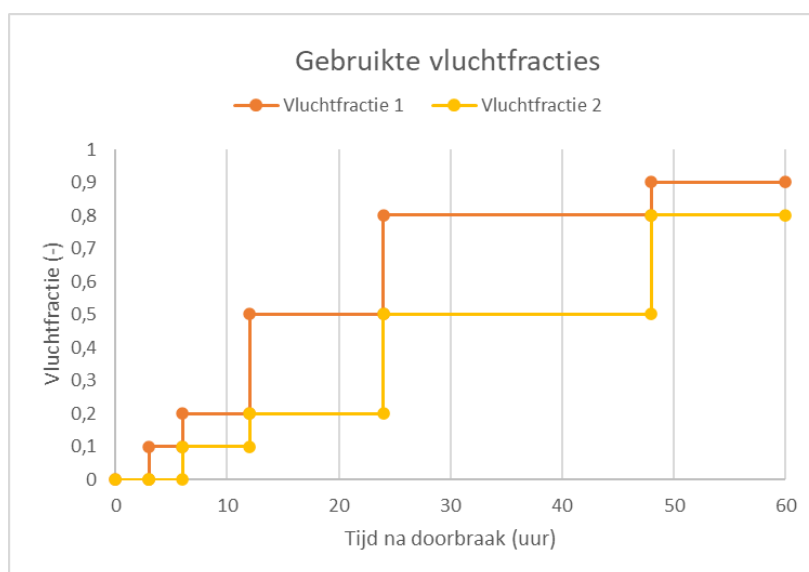
² Hier wordt met bedreigde gebied bedoeld: het gebied dat dreigt onder te lopen door de doorbraak die opgetreden is. Voordat de doorbraak optreedt is een groter gebied bedreigd: immers dan is nog niet duidelijk waar de dijk kan breken.

De hoge fractie past bij de evacuatiefractieboom voor het bovenrivierengebied: Daarin is de fractie van de inwoners die op tijd veilig gebied kan bereiken wanneer er een dag voor doorbraak besloten wordt tot evacuatie ingeschat als 85%, met als range 66-96%. De lage vluchtfractie is conservatief gekozen. Overigens gelden de evacuatiefracties in de evacuatiefractieboom wanneer 90% van de bevolking wil evacueren en op weg gaat. Voor de vluchtfractie zal een hogere waarde bereikt kunnen worden wanneer een groot deel van de bevolking al preventief geëvacueerd is en de wegen dus rustig zijn. De hier gebruikte waarden passen meer bij een situatie waarin de meeste mensen nog in het gebied aanwezig zijn, op het moment dat de dijk breekt.

De gebruikte fracties zijn weergegeven in Tabel 4.1 en Figuur 4.1. Deze fracties zijn bedoeld voor gebruik in het rivierengebied voor situaties waarin storm de evacuatie niet hindert.

Tabel 4.1 De waardes die aangenomen zijn voor de hoge en lage vluchtfractieschatting

Aankomsttijd (uur)	Vluchtfractie 1 (hoge schatting)	Vluchtfractie 2 (lage schatting)
0-3	0	0
3-6	0.1	0
6-12	0.2	0.1
12-24	0.5	0.2
24-48	0.8	0.5
> 48	0.9	0.8



Figuur 4.1 De gebruikte vluchtfracties als functie van de aankomsttijd van het water in uren

Het testen van de implicaties van deze vluchtfracties

Binnen deze studie wordt het effect van het meenemen van de aankomsttijd voor het berekenen van het lokaal individueel risico (LIR) en slachtofferaantallen getest in dijkkring 48 (Rijn en IJssel) en 43 (Betuwe/Tieler- en Culemborgerwaarden). Voor beide dijkringen is eerst gekeken naar een individueel dijkdoorbraak scenario en vervolgens is een overzicht gegeven van de effecten voor alle overstromingsscenario's.

In dit rapport is voor beide dijkeringen het doorbraakscenario met de grootste slachtofferaantallen beschreven in meer detail. Dit zijn de scenario's met een doorbraak bij Spijk in dijkkring 48 en bij Bommel in dijkkring 43.

De besproken vluchtfracties worden als factor geïmplementeerd in de huidige LIR en slachtofferberekeningen. Verder wordt met zowel de huidige faalkans als de trajectnorm voor 2050 gerekend. Om het LIR voor de gehele dijkkring te bepalen, is de LIR bijdrage van de afzonderlijke scenario's bepaald en zijn deze vervolgens gewogen opgeteld. De analyse is gedaan met en zonder rekening te houden met aankomsttijd, zodat het effect duidelijk naar voren komt.

4.2 Resultaten voor dijkkring 48

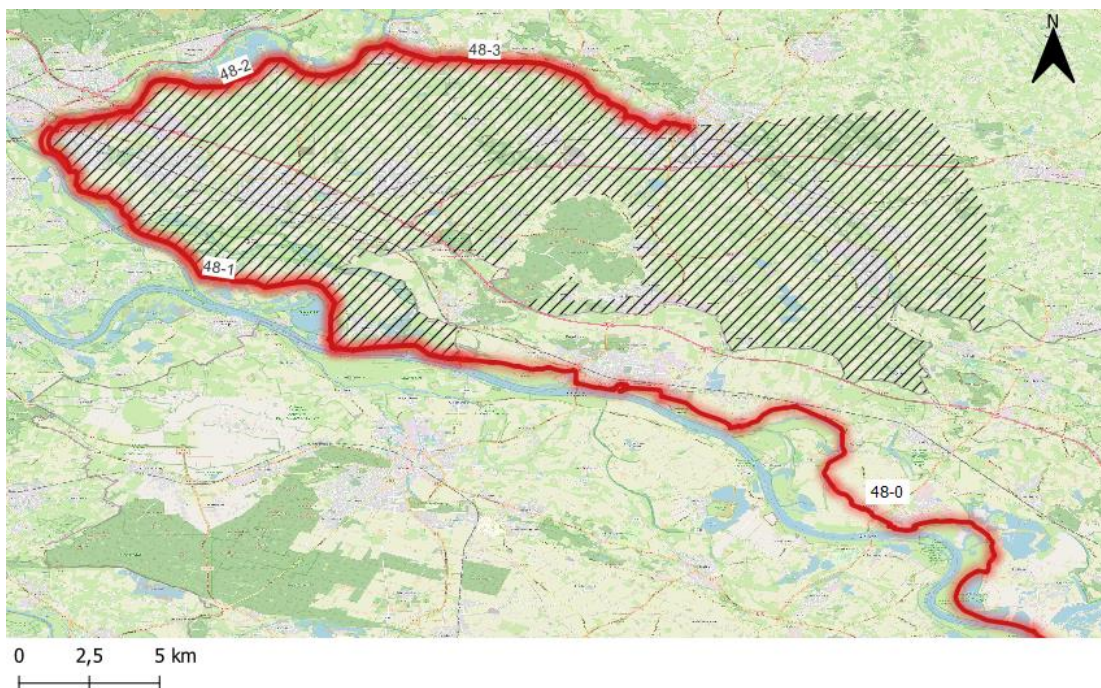
4.2.1 Beschrijving van het gebied

Dijkkring 48 wordt bedreigd door overstromingen als gevolg van doorbraken van dijken langs de Rijntakken Niederrhein/Bovenrijn, Pannerdens Kanaal en IJssel en door doorbraken van de dijken langs de Oude IJssel. Een deel van de dijkkring ligt in Duitsland. De dijken die het gebied beschermen zijn opgedeeld in vier normtrajecten: Het Duitse deel langs de Niederrhein (48-0), het Nederlandse deel langs de Bovenrijn en het Pannerdens Kanaal (48-1), het deel langs de IJssel (48-2) en het deel langs de Oude Rijn (48-3) (Zie Figuur 4.2).

De dijkkring helt enigszins van zuid naar noord en van oost naar west. In de dijkkring ligt een opstuwing uit de laatste ijstijd (het Montferland). Deze blijft droog bij overstromingen. Het overstromingspatroon bij een doorbraak hangt sterk af van de locatie van de doorbraak: Bij doorbraken van keringen langs de Bovenrijn loopt een groot deel van het gebied onder, bij doorbraken van de dijken langs de IJssel wordt vooral het noordelijk deel bedreigd en bij doorbraken van de keringen van de Oude IJssel is het overstroomd gebied beperkt tot het deel vlak langs de Oude IJssel.

In het zuiden ligt het Rijnstrangengebied. Dit gebied hoorde tot de jaren vijftig bij de rivier. Het is dunbevolkt, en bevat grienden, water- en moerasvegetaties en maakt deel uit van het natuurreservaat De Gelderse Poort. Dit gebied wordt bij een dijkdoorbraak erg diep en kan ook snel diep worden.

In het gebied liggen een aantal grotere plaatsen zoals Westervoort, Duiven en Zevenaar. Deze liggen van oorsprong op iets hogere gebieden in de dijkkring, maar de nieuwere wijken liggen in de omliggende iets lagere delen. In het Nederlandse deel van de dijkkring wonen ongeveer 120.000 mensen. In het Rijnstrangengebied wonen ongeveer 11.000 mensen. De oudere boerderijen staan er op terpen. De plaats Pannerden ligt op een voormalig eilandje aan de westelijke rand van dit gebied en heeft ongeveer 2500 inwoners. Ook de dorpen Aerdt, Herwen, Tolkamer, Lobith en Spijk liggen in dit gebied. De inwoners kunnen dijkkring 48 verlaten via de A12 over de brug over de IJssel naar Velp of via de A12, A18 of diverse N-wegen en kleine wegen richting het noordoosten of richting het oosten (Duitsland). Behalve bij Velp zijn er ook bruggen bij Westervoort (over de IJssel) en bij Emmerich (over de Bovenrijn).

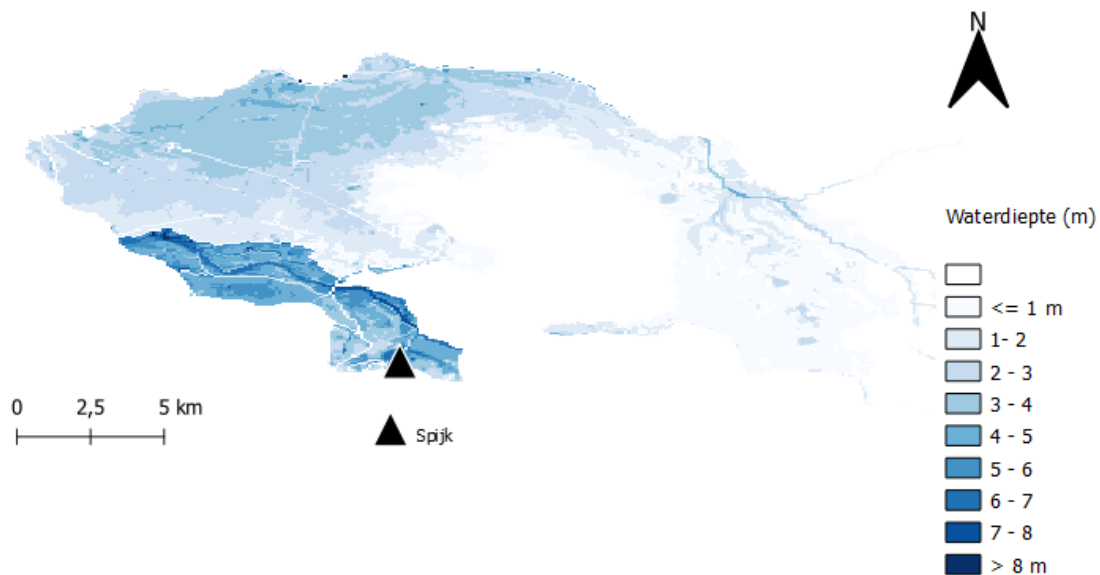


Figuur 4.2 Overzichtskartaal van dijkkring 48 met normtrajecten. Onderliggende kaart: OpenStreetMap

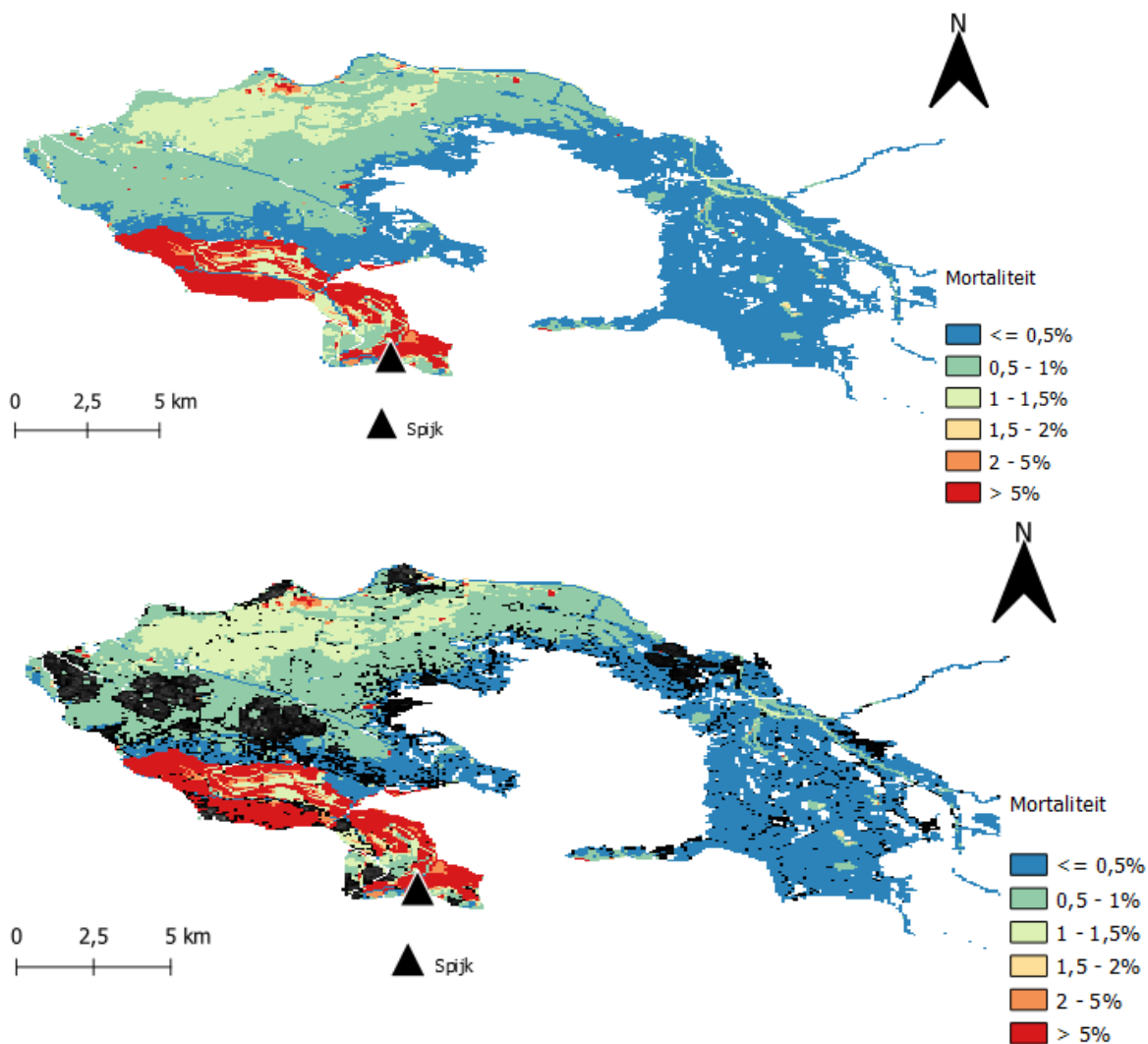
Volgens het evacuatieplan van de Veiligheidsregio Gelderland Midden (versie 2020) verwacht de Veiligheidsregio ongeveer 3 dagen voor het optreden van de piek van het hoogwater een voorspelling van die piek te krijgen met een onzekerheid van 25 cm. Ook verwachten ze van het waterschap informatie te krijgen over zwakke plekken in de dijk. Op basis van die informatie wordt een besluit tot evacuatie genomen. Voor evacuatie van de mensen uit dijkkringen in Gelderland is volgens de veiligheidsregio ongeveer 2.5 dag nodig. Modelberekeningen laten zien dat bij optimale verdeling van de mensen over de diverse wegen en uitgangen, evacuatie een dag duurt, terwijl in een situatie waarin inwoners naar de dichtstbijzijnde uitgang gaan de evacuatie 2 dagen duurt. Dit rapport richt zich niet op evacuatie voor doorbraak, maar kijkt naar de tijd die er is na doorbraak.

4.2.2 Effect van het meenemen van aankomsttijd voor een doorbraak bij Spijk bij maatgevende condities (1/1250 afvoer)

Indien de dijk breekt bij Spijk stroomt eerst het Rijnstrangengebied snel en diep vol. Vervolgens stroomt het water over de Rijnstrangendijk naar het noorden en wordt een groot deel van de dijkkring bedreigd. De mortaliteitskaart geeft het gevaar het beste weer: hierin is het effect van waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid gecombineerd. De meest gevaarlijke plekken bij dit scenario zijn die in het Rijnstrangengebied. De hogere gebieden waar Zevenaar, Westervoort en Duiven op liggen zijn minder gevaarlijk doordat de waterdieptes en stijgsnelheden daar kleiner blijven. Het aantal slachtoffers dat in die steden valt is toch nog aanzienlijk, doordat de bevolkingsdichtheid daar groter is dan elders in de dijkkring. Figuur 4.3 geeft de maximale waterdiepte weer, en Figuur 4.4 de berekende mortaliteit en locatie waar slachtoffers vallen waarbij nog geen rekening gehouden is met aankomsttijden.



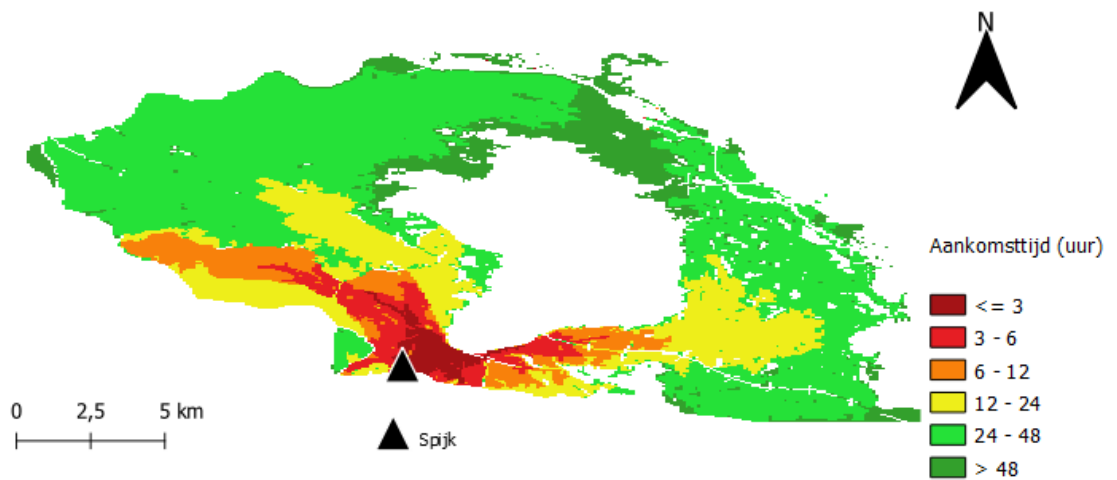
Figuur 4.3 Maximale waterdiepte horend bij dijkdoorbraak te Spijk.



Figuur 4.4. Mortaliteit (in kleur) en b. mortaliteit in kleur met daaroverheen de locatie van slachtoffers (in zwart) horend bij dijkdoorbraak te Spijk.

Het effect van het meenemen van aankomsttijd

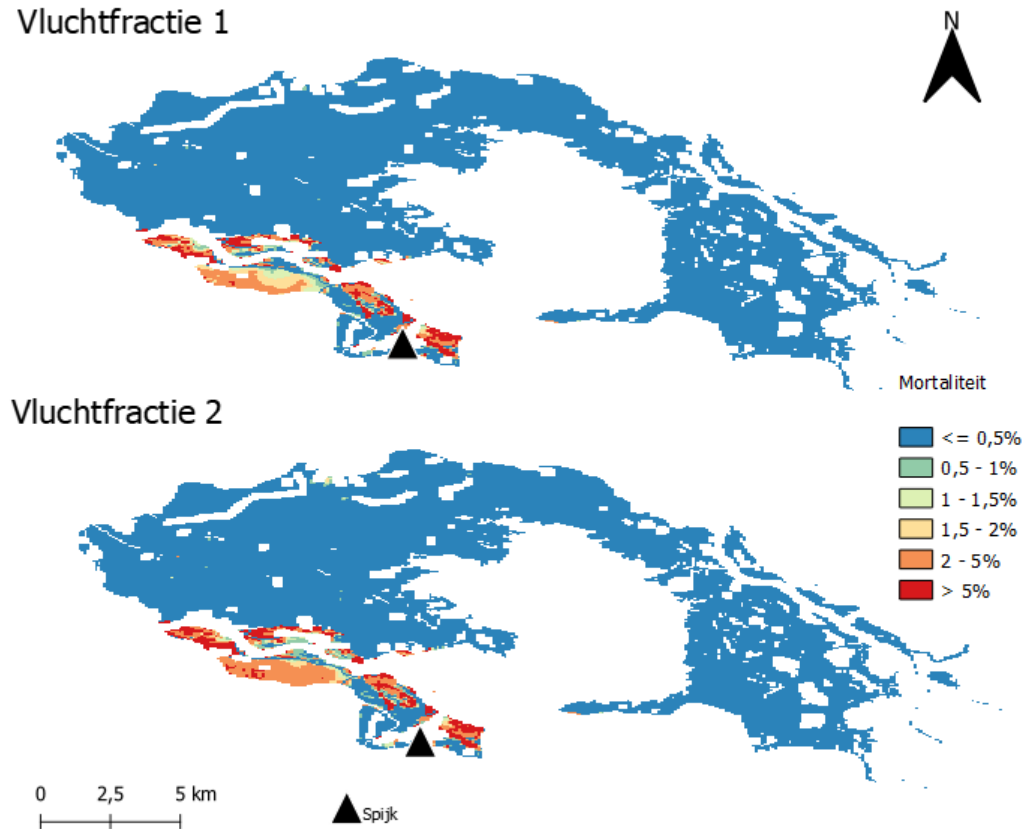
Figuur 4.5 laat de aankomsttijdenkaart zien. Het is duidelijk dat bij een doorbraak bij Spijk eerst het Rijnstrangengebied volloopt en dat pas daarna het noordelijk deel te maken krijgt met de overstroming.



Figuur 4.5 Aankomsttijd horend bij een dijkdoorbraak te Spijk

Figuur 4.6 geeft het effect van de vluchtfractie op het gevaar in het gebied weer. In deze figuur wordt als het ware de mortaliteit van de achterblijvers (de mensen aanwezig op het moment dat de dijk breekt) getoond als het product van de kans om blootgesteld te worden (1 minus de vluchtfractie) en de mortaliteit van de achterblijvers. De figuren laten duidelijk zien dat het gevaar kleiner is daar waar de aankomsttijd groot is en waar de vluchtmogelijkheden dus beter zijn. In de Rijnstrangen, het meest gevaarlijke gebied met een korte aankomsttijd, heeft het meenemen van de vluchtfractie nauwelijks effect op de mortaliteit van de achterblijvers. Het grote verschil tussen figuur 4.4 en figuur 4.6 laat zien dat het effect van het meenemen van de vluchtfractie op de mortaliteit van de achterblijvers groot is. Het verschil tussen de figuren berekend bij gebruik van de hoge en lage vluchtfractie is beperkt. Dit komt doordat een heel groot gebied een aankomsttijd langer dan 24 uur heeft, of korter dan 6 uur. De verschillen zijn voor die tijdsuren niet zo groot als voor de zone met de aankomsttijd tussen de 6 en 24 uur.

Vluchtfractie 1



Figuur 4.6 Mortaliteit van achterblijvers (mensen aanwezig op het moment dat de dijk breekt) berekend als het product van de kans om blootgesteld te worden (1 – de vluchtfactor) en de mortaliteit van blootgestelden (blootgestelden zijn hier: aanwezigen in het overstroomd gebied) voor hoge (1) en lage (2) vluchtfractie (de gebruikte vluchtfracties zijn gegeven in Tabel 4.1).

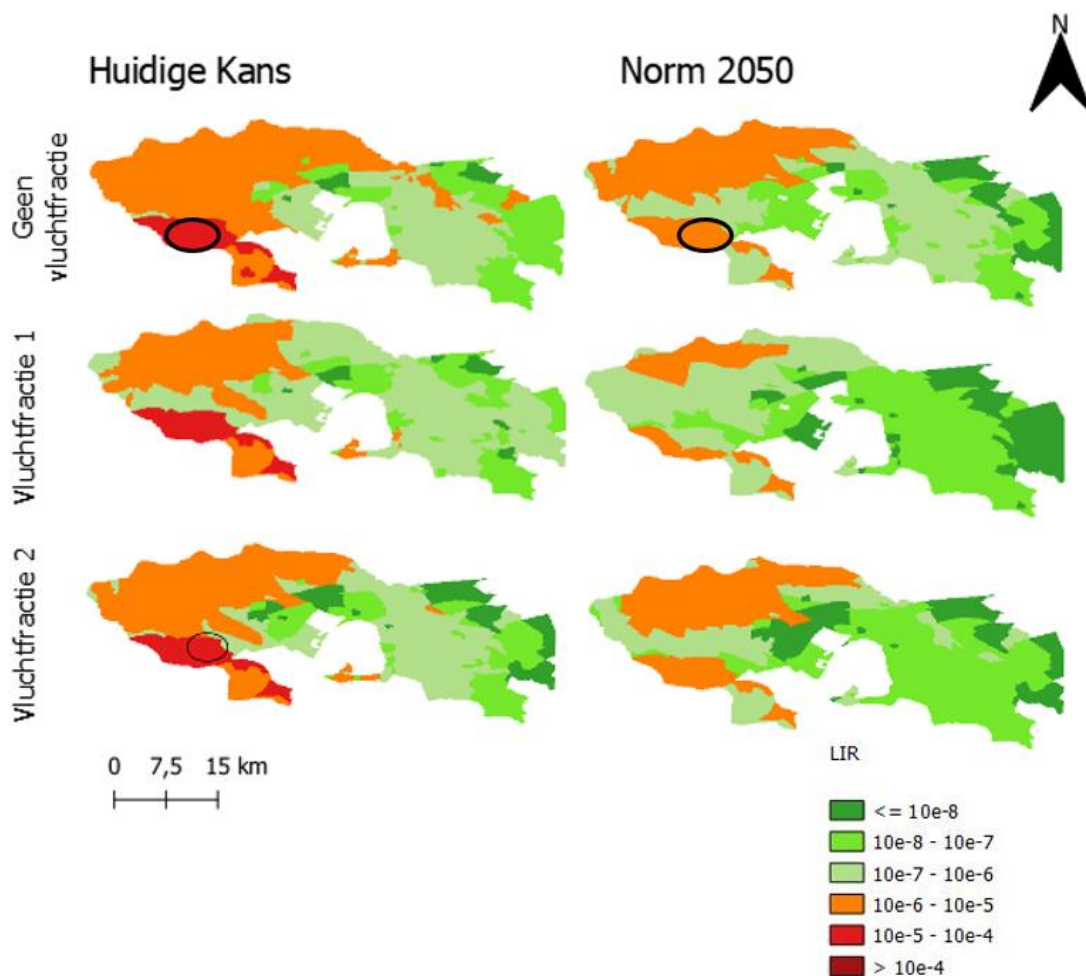
Er worden voor dit scenario 975³ slachtoffers berekend wanneer geen rekening gehouden wordt met evacuatie en 429 met evacuatie (uitgaande van de ondergrens van de verwachtingswaarde van 56%⁴). Wanneer de vluchtfractie wordt meegenomen reduceert dit aantal verder tot 148 en 256 bij respectievelijk de hoge en lage vluchtfractie. Dit grote effect van de vluchtfractie is te verklaren uit de lange aankomsttijd in de plaatsen Duiven, Zevenaar en Westervoort waar de meeste mensen in dit gebied wonen. De aankomsttijd is hier meer dan 24 uur.

4.2.3 Overzicht alle scenario's

Figuur 4.7 geeft de LIR kaarten aan voor zowel de huidige situatie als de situatie in 2050 (wanneer alle dijken aan de normen voldoen) zonder vluchtfractie en met beide vluchtfracties.

³ Deze getallen zijn bepaald met het Schade en Slachtoffermodel "HIS-SSM" en de inwonerkaart die daarin is opgenomen. Deze is ook gebruikt bij de berekeningen t.b.v. de nieuwe normen. Momenteel is het "Standaard Schade en Slachtoffermodel "SSM2017" de standaard. Hierin zijn geactualiseerde inwonergrids opgenomen die voor dit scenario leiden tot iets hogere slachtofferaantallen. De slachtofferfuncties in beide modellen zijn identiek.

⁴ De evacuatiefractieboom is in Kolen *et al.* (2013) aangepast met behoudende schattingen voor de verschillende scenario's: de non-response is vergroot, de kans dat 3 dagen voor doorbraak besloten wordt om te evacueren is op 0 gesteld en de kans op beslissing 2 dagen vooruit is verkleind. De kans op een beslissing 1 dag voor doorbraak is juist vergroot. Ook zijn de uitkomsten van de verkeersmodellen naar beneden bijgesteld. Hierbij is een 'ondergrens voor de verwachtingswaarde' van 56% gevonden. Dit getal is gebruikt in de berekeningen die ten grondslag liggen aan de normen, en daarom hier overgenomen.



Figuur 4.7 De resulterende LIR kaarten voor verschillende vluchtfracties voor dijkkring 48 (zie tabel 4.1 voor de gebruikte vluchtfracties)

Tabel 4.2 De LIR waarde van de buurt met de hoogste LIR waarde voor verschillende vluchtfracties

	Huidige kans	Norm 2050
Zonder vluchtfractie	$7,04 \cdot 10^{-5}$	$4,76 \cdot 10^{-6}$
Vluchtfractie 1	$5,19 \cdot 10^{-5}$	$3,32 \cdot 10^{-6}$
Vluchtfractie 2	$5,64 \cdot 10^{-5}$	$4,15 \cdot 10^{-6}$

Figuur 4.7 laat zien dat het meenemen van de vluchtfractie niet leidt tot een totaal ander inzicht in wat de meest gevaarlijke plekken zijn. In alle gevallen springt het Rijnstrangengebied en de gebieden aan de noordzijde tegen de IJsseldijk eruit. Wel zijn de locaties rond Zevenaar minder gevaarlijk wanneer de vluchtfractie wordt meegenomen. In 2050 voldoen alle gebieden aan de LIR-eis (LIR kleiner dan 10^{-5})⁵. In 2050 springt het Rijnstrangengebied er minder uit dan in de huidige situatie, doordat de normen van de dijken langs de Bovenrijn streng zijn en dus de bijdrage van de doorbraken langs de Bovenrijn kleiner is. De verschillen tussen beide vluchtfracties zijn het sterkst in het centrale gebied net boven het Rijnstrangengebied.

⁵ We zijn hierbij voor het Duitse normtraject uitgegaan van een faalkans van 1/10.000. De kans op een doorbraak van het Duitse deel onder de aanname dat de dijk goed onderhouden is en aan de norm voldoet is niet geheel bekend. De hier gebruikte aanname is ook in andere studies gebruikt (zie bv. Kolen et al., 2021).

De aankomsttijd daar ligt ook inderdaad tussen de 6 en de 48 uur. De verschillen leiden niet tot een sterk andere LIR-eis: immers de meest bepalende buurt ligt in het Rijnstrangengebied waar de verschillen tussen de situatie met en zonder vluchtfractie beperkt zijn.

Tabel 4.3 geeft voor alle breslocaties het verwachte aantal slachtoffers bij doorbraak bij maatgevende omstandigheden. De tabel geeft het aantal zonder rekening te houden met evacuatie, het aantal waarbij wel gerekend is met evacuatie (met de ondergrens van de verwachtingswaarde van 56%), en de getallen passend bij de hoge en lage vluchtfractie (zie Tabel 4.1 voor de vluchtfracties).

De getallen met en zonder vluchtfractie verschillen relatief het meest bij doorbraken in Duitsland. Dit komt doordat bij doorbraken in Duitsland het lang duurt voordat het water bij de steden en plaatsen in Nederland aankomt. De verschillen tussen de beide vluchtfracties zijn beperkt. De reductie is qua orde van grootte gelijk voor beide vluchtfracties voor alle scenario's behalve voor Spijk.

Tabel 4.3 Overzicht van de resulterende slachtofferaantallen van de breslocaties van dijkkring 48. De kolommen reductie 1&2 geven het effect van de desbetreffende vluchtfractie ten opzichte van situatie met alleen evacuatie weer.

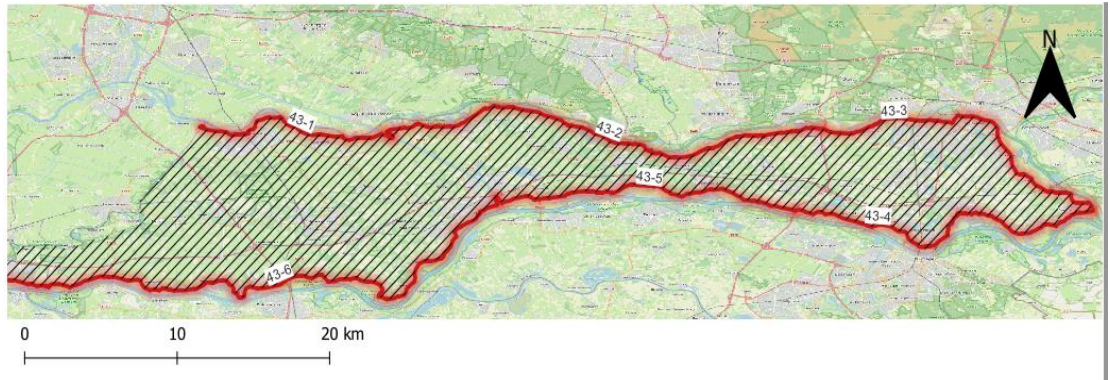
Traject	Scenario's	Geen evacuatie	Met evacuatie	Vluchtfractie 1		Vluchtfractie 2	
				#	Reductie (%)	#	Reductie (%)
48-0	Duitsland 1	741	326	65	80	139	57
	Duitsland 2	549	242	33	86	66	73
	Duitsland 3	614	270	37	86	73	73
	Duitsland 4	647	285	37	87	77	73
	Duitsland 5	721	317	43	86	90	72
	Duitsland 6 (Bislich)	581	256	33	87	66	74
48-1	Spijk	975	429	148	66	264	38
	Gravenwaardsedam	335	147	148	0	148	0
	Herwen	403	177	115	35	131	26
	Kandiagemaal	6	3	3	0	3	0
	Loo	593	261	191	27	226	13
48-2	Giesbeek	326	143	143	0	143	0
48-3	Bres-48-3	40	18	11	38	12	32

4.3 Dijkkring 43

4.3.1 Beschrijving van het gebied

Dijkkring 43, de Tieler- en Culemborgerwaard, is centraal gelegen in het riviereengebied en omgeven door riviertakken. Er liggen 170 km aan primaire waterkeringen rond de dijkkring. Aan de noordzijde wordt het dijkkringgebied begrensd door de Nederrijn en Lek, aan de oostzijde door het Pannerdens Kanaal en aan de zuidzijde door de Waal. Aan de westzijde wordt de dijkkring begrensd door de Diefdijk: de dijk die dijkkring 43 scheidt van dijkkring 16 (de Alblasserwaard). De dijk rond de dijkkring is onderverdeeld in zes normtrajecten (zie Figuur 4.8). De dijkkring wordt in noord-zuidrichting doorsneden door het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) en in oost-westrichting door de Linge. De helling helt van oost naar west.

Het westelijke deel is hierdoor het meest gevaarlijk. Dijkdoorbraken ten oosten van het ARK bedreigen ook het deel ten westen van het ARK.

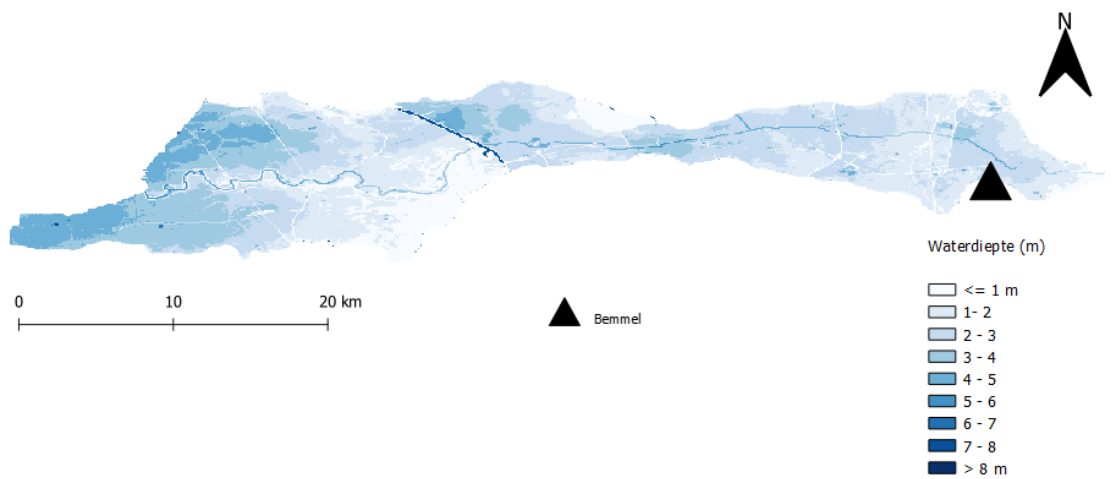


Figuur 4.8 Overzichtskartaal dijkkring 43 met normtrajecten. Onderliggende kaart: OpenStreetMap

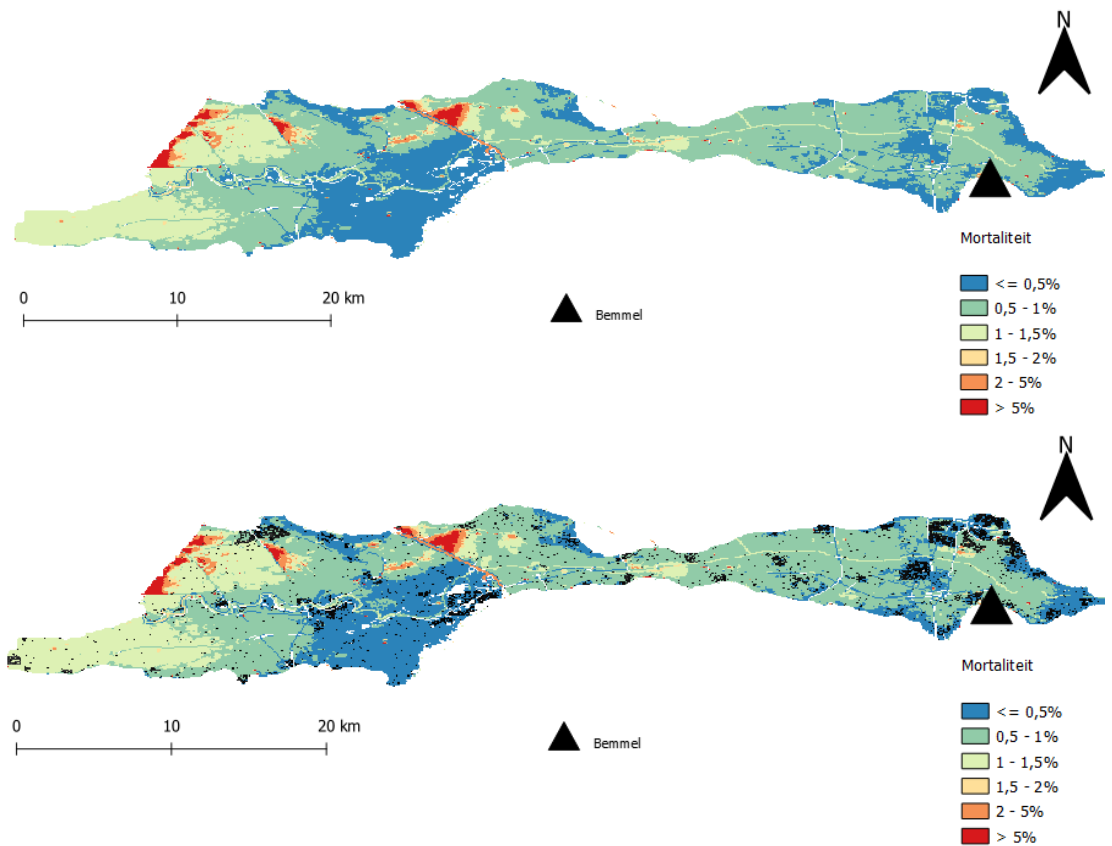
Het dijkkringgebied heeft een oppervlakte van circa 66.000 ha en telt ongeveer 330.000 inwoners. Met name het oostelijk deel van het dijkkringgebied is sterk verstedelijkt met plaatsen zoals Arnhem-Zuid, Elst, Huissen en Bemmell. Daarnaast liggen verspreid door het dijkkringgebied nog enkele relatief grote plaatsen zoals Tiel, Geldermalsen, Culemborg en Gorinchem-Oost. Verder kenmerkt dit gebied zich door grasland en akkerbouw, met veel fruitteelt en boomteelt op de oeverwallen en tuinbouw op de stroomruggen. Uitvalswegen om de dijkkring te verlaten zijn de rijkswegen A2, A15, A50 en A235 en diverse N-wegen. Doordat het dijkkringgebied aan drie kanten wordt begrensd door water zijn de vluchtroutes gelimiteerd door de aanwezige bruggen.

4.3.2 Effect van het meenemen van aankomsttijd voor een doorbraak bij Bemmell bij maatgevende condities (1/1250 afvoer)

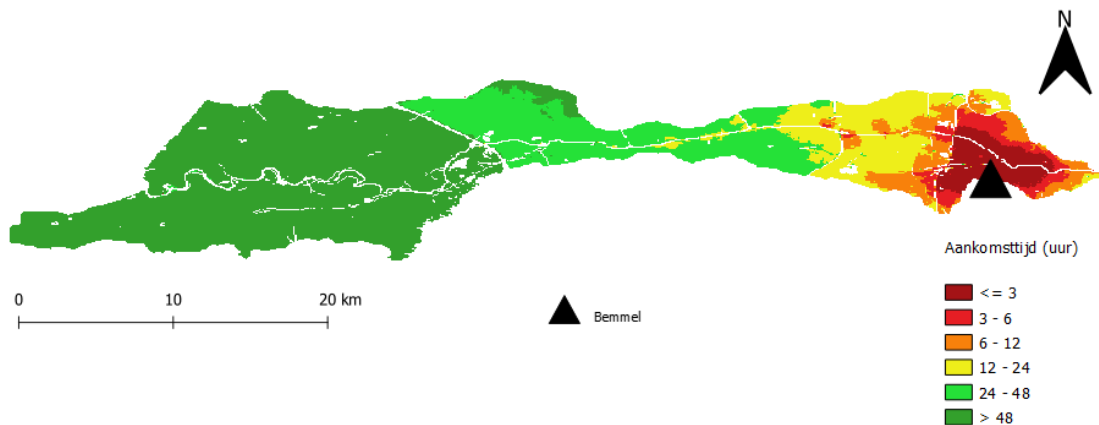
Dijkdoorbraaklocatie Bemmell ligt aan de Waal in het zuidoosten van dijkkring 43, zie Figuur 4.9. Bij een eventuele dijkdoorbraak te Bemmell stroomt het water vanuit de Waal van oost naar westelijke richting. De grootste waterdieptes worden verwacht net ten oosten van het ARK en in het westelijke deel tegen de Diefdijk aan (Figuur 4.9). Deze gebieden komen overeen met het gebied waar de grootste mortaliteit verwacht wordt (zie Figuur 4.10). Op deze locaties met hoge mortaliteit vallen nauwelijks slachtoffers, doordat daar weinig mensen wonen. De slachtofferclusters vallen grotendeels samen met de dorpen en steden binnen de dijkkring. Het totaal aantal slachtoffers dat wordt berekend wanneer geen rekening gehouden wordt met aankomsttijd bedraagt 1367 en wanneer evacuatie wel wordt meegenomen: 601 (met evacuatiefractie van 56%).



Figuur 4.9 Maximale waterdiepte na dijkdoorbraak te Bommel

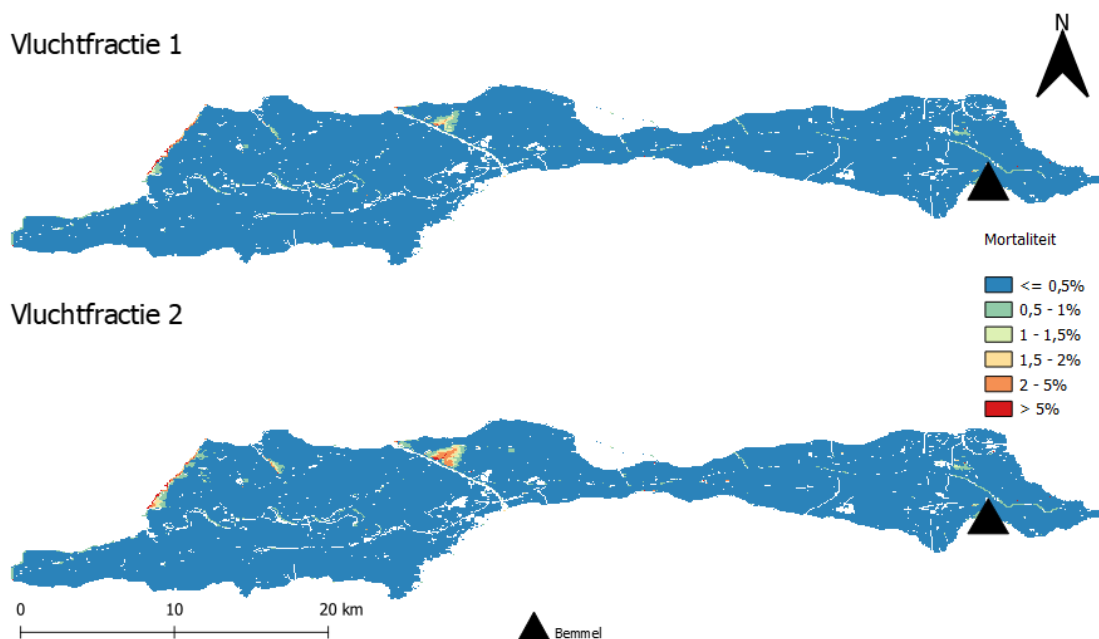


Figuur 4.10 Mortaliteit (boven) en mortaliteit in combinatie met de locatie van slachtoffers in zwart (onder) corresponderend met en dijkdoorbraak te Bommel (zonder vluchtfractie).



Figuur 4.11 Aankomsttijden en locatie van slachtoffers horend bij dijkdoorbraak te Bommel

In Figuur 4.11 is duidelijk te zien dat bij een doorbraak te Bommel het water zich snel over de lager gelegen gebieden in het oostelijk deel verspreidt (< 3 uur). Vervolgens stroomt het water in westelijke richting tot aan het ARK. Na meer dan 48 uur komt ook het westelijke deel onder water te staan. Door de aankomsttijden te vertalen naar een vluchtfractie (Tabel 4.1) kan het effect van de aankomsttijd meegenomen worden in de slachtofferschattingen en gevaarkaarten. Zoals in Figuur 4.12 te zien is, is het gevaar (de mortaliteit vermenigvuldigd met '1 min de vluchtfractie') in het westelijke deel veel kleiner dan wanneer de vluchtfractie niet wordt meegenomen. Echter de gebieden langs de Diefdijk hebben nog steeds een relatief hoge waarde door de stijgsnelheid die daar erg hoog is. Het effect op deze mortaliteitskaart is dus groot, het verschil tussen beiden vluchtfracties is in het algemeen beperkt.



Figuur 4.12 Mortaliteit van achterblijvers (mensen aanwezig op het moment dat de dijk breekt) berekend als het product van de kans om blootgesteld te worden ($1 - \text{de vluchtfactor}$) en de mortaliteit van blootgestelden (blootgestelden zijn hier: aanwezigen in het overstromd gebied) voor hoge (1) en lage (2) vluchtfractie (de gebruikte vluchtfracties zijn gegeven in Tabel 4.1).

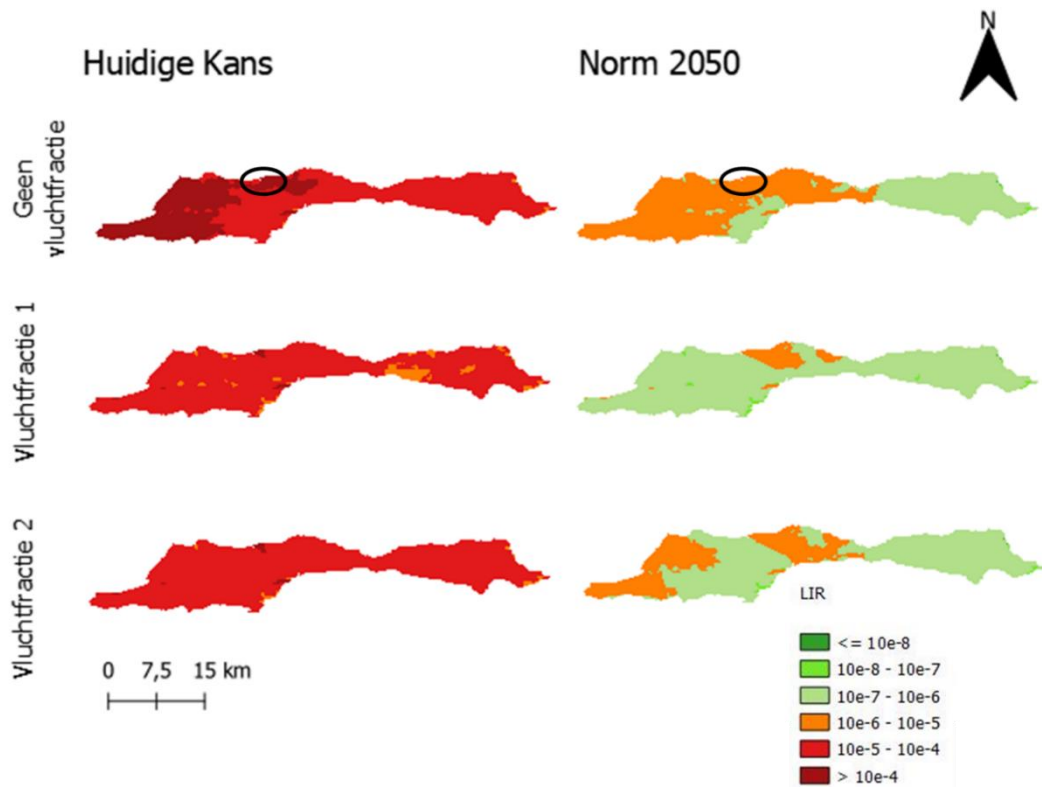
Het aantal slachtoffers berekend met respectievelijk de hoge en lage vluchtfractie is 354 en 261. De reductie door het gebruik van de vluchtfractie is dus groot (59 en 43 %) (zie Tabel 4.4).

4.3.3 Overzicht alle scenario's

Figuur 4.13 geeft de LIR kaarten voor zowel de huidige situatie als de situatie in 2050 (wanneer alle dijken aan de normen voldoen) zonder vluchtfractie en met beide vluchtfracties. Het effect op de LIR waardes is groot: het verschil op buurt niveau is in een groot gebied ongeveer een factor 10, waarbij het gebruik van de hoge vluchtfractie in iets lagere LIR waardes resulteert dan het gebruik van de lage vluchtfractie. De LIR-waarde van de buurt met de maximale waarde daalt met een factor van ongeveer 2.

De schattingen voor de huidige overstromingskansen zijn voor deze dijkring erg groot (Opgenomen in Bijlage C). Hierdoor zijn ook de LIR waardes in de huidige situatie erg groot. In de toekomst zijn de LIR waardes veel lager. Met name het gebied net ten oosten van het ARK en net ten oosten van de Diefdijk springen er dan uit als gevaarlijke gebieden. Het effect van het meenemen van de vluchtfractie is het grootst in de Tieler- en Culemborgerwaard. Het verschil tussen beide vluchtfracties is ook groot.

Het effect op slachtofferaantallen is gegeven in Tabel 4.5. Het meenemen van de vluchtfractie heeft een groot effect op de slachtofferaantallen. Dit komt doordat bij de doorbraken ten oosten van het Amsterdam Rijnkanaal de aankomsttijd in de Tieler- en Culemborgerwaard lang is en bij doorbraken van de Lekdijk de aankomsttijd van de gebieden ten zuiden van de Linge aanzienlijk is. Bij doorbraken bij Tiel-West in het uiterste westen van gebied zijn de aankomsttijden veel korter en is het effect van het meenemen van de vluchtfractie dus ook kleiner.



Figuur 4.13 Resulterende LIR kaarten voor verschillende vluchtfracties voor dijkring 43. Omcirkeld is de buurt met de hoogste LIR-waarde.

Tabel 4.4 Waardes van de buurt met de hoogste LIR waarde bij verschillende vluchtfracties voor de huidige situatie en voor 2050

	Huidige kans	Norm 2050
Zonder vluchtfractie	$8,72 \cdot 10^{-4}$	$1,14 \cdot 10^{-5*}$
Vluchtfractie 1	$3,70 \cdot 10^{-4}$	$4,84 \cdot 10^{-6}$
Vluchtfractie 2	$5,50 \cdot 10^{-4}$	$7,37 \cdot 10^{-6}$

*In DPV is voor deze berekening een handmatige correctie uitgevoerd. De betreffende buurt wordt beïnvloed door een plasje met een zeer hoge mortaliteit. Deze is niet relevant (het is water) en is in DPV handmatig verwijderd.

Tabel 4.5 Overzicht van de resulterende slachtofferaantallen van de breslocaties van dijkkring 43. De kolomen reductie 1&2 geven het effect van de desbetreffende vluchtfractie ten opzichte van situatie met alleen evacuatie weer

Traject	Scenario's	Geen evacuatie	Met evacuatie	Vluchtfractie 1		Vluchtfractie 2	
				#	Reductie (%)	#	Reductie (%)
43-1	TP Culemborg	376	165	57	66%	78	53%
	TP Ravenswaaij	395	174	48	72%	77	56%
43-2	TP Marijkesluis	418	184	85	54%	107	42%
	TP EckEnWielARK	506	223	70	69%	92	59%
	TP Kesteren	442	194	38	80%	64	67%
	TP Heteren	396	174	44	75%	59	66%
43-3	TP Elden	956	421	169	60%	219	48%
	TP Malburgen	962	423	253	40%	291	31%
	TP Angeren	817	359	100	72%	161	55%
43-4	TP Bemmelm	1367	601	247	59%	340	43%
	TP Oosterhout	860	378	103	73%	165	56%
43-5	TP IJzerdoorn	662	291	100	66%	155	47%
	TP Bernhardsluis	513	226	81	64%	119	47%
43-6	TP Tiel-west	1006	443	295	33%	351	21%
	TP Haften	699	308	115	63%	154	50%

4.4 Discussie van de resultaten voor dijkkring 43 en 48

In de vorige paragrafen is het effect van aankomsttijd meegenomen door deze te vertalen in een vluchtfractie. Hiervoor zijn vluchtfracties beschouwd: een vluchtfractie die past bij de evacuatieboom zoals gebruikt in de evacuatiebomen in de projecten die de discussie over normen ondersteunden (Maaskant *et al.*, 2009a), en een meer behoudende vluchtfractie. Het effect van de vluchtfractie op slachtofferaantallen, gevaarlijke plekken, de LIR kaart en de LIR-eis voor het normtraject is beschouwd.

De resultaten van dijkkring 43 en 48 laten zien dat het meenemen van de aankomsttijd veel invloed heeft op de resulterende slachtofferaantallen van doorbraakscenario's waarbij de aankomsttijd van het water in gebieden met veel inwoners langer dan een dag is. Ook leidt het tot een beter inzicht in wat meest gevaarlijke locaties zijn:

Het onderscheid tussen locaties die snel diep worden en een korte aankomsttijd hebben, en locaties met vergelijkbare karakteristieken met een lange aankomsttijd komt nu beter naar voren. Dit kan helpen bij het bepalen van mogelijke evacuatiestrategieën in de koude fase en het is cruciale informatie in de warme fase. De resultaten laten ook zien dat het effect sterk verschilt per doorbraaklocatie. De LIR kaart met de LIR waarden per buurt, waarin de bijdrage van alle relevante overstromingsscenario's is gecombineerd tot een totale LIR waarde, verandert ook voor al die buurten waarbij de LIR bepaald werd door doorbraakscenario's met een lange aankomsttijd. De LIR waarden van de buurten in een dijkkring zijn ten behoeve van het bepalen van de normen van de waterkeringen vertaald naar LIR-eisen aan de keringen. De kans op doorbraak van een normtraject moet zodanig beperkt zijn, dat geen enkele buurt beschermd door die kering een LIR waarde heeft groter dan 10^{-5} per jaar.

Het meenemen van de aankomsttijd zou alleen invloed hebben op de LIR-eis van de normtrajecten als de buurt met de grootste LIR waarde (de bepalende buurt) een grote aankomsttijd heeft in belangrijke overstromingsscenario's.

De gepresenteerde uitkomsten zijn natuurlijk gevoelig voor de gekozen vluchtfracties voor verschillende aankomsttijden. Omdat de precieze vluchtfractie horend bij een bepaalde aankomsttijd onzeker is, is gewerkt met een hoge en lage vluchtfractie. De onzekerheid over het effect van aankomsttijd is het grootst in gebieden met een aankomsttijd tussen de 6 en 48 uur. Wanneer de aankomsttijd kleiner is, is de invloed waarschijnlijk beperkt en wanneer de aankomsttijd groter is, is de invloed zeker groot. De twee vluchtfracties verschillen dan ook het meest voor die range van aankomsttijden. De gebruikte vluchtfracties zijn ruwweg gebaseerd op de evacuatiefractieboom voor rivierengebieden. Dit betekent dat ze gelden indien bij doorbraak de meeste inwoners nog in het gebied aanwezig zijn. Wanneer een groot deel al preventief is geëvacueerd, kan waarschijnlijk een groter deel van de achtergebleven inwoners alsnog vluchten dan waar hier vanuit gegaan is. De beide vluchtfracties leiden voor veel gevallen tot resulterende LIR waarden en slachtofferaantallen van dezelfde orde van grootte. Echter voor sommige doorbraakscenario's zijn de verschillen tussen beide vluchtfracties groot.

De aankomsttijd zelf is per doorbraakscenario verschillend en wordt ook bepaald door de aannames die in de modellen van het doorbraakscenario gedaan zijn. Zo kan uitgegaan zijn van standzekerheid van regionale keringen en obstakels. Wanneer zo'n kering toch breekt, kan de aankomsttijd van de gebieden erachter afnemen. Daarbij moet wel opgemerkt worden dat het meer waarschijnlijk is dat keringen breken wanneer er veel water tegen aan staat of overheen stroomt, dan op een veel eerder moment. Ook wanneer een kering niet stand-zeker is en wel breekt, zal de kering de verspreiding van het water bij overstroming wel eerst remmen en zal de aankomsttijd van de gebieden achter de kering dus groter zijn dan van de gebieden voor de kering.

De onzekerheid in slachtofferaantallen en LIR waarden is niet alleen afhankelijk van de onzekerheid in de vluchtfractie en aankomsttijd. Ook de evacuatiefractie verschilt per gebeurtenis en is variabel en bovendien gebaseerd op aannames over gedrag en verkeer die onzeker zijn. Bovendien is het gedrag van mensen zeer moeilijk te voorspellen. Voor de LIR waarden zijn tenslotte de faalkansen van keringen erg belangrijk en de onzekerheid hierover bedraagt zeker een factor 10. De identificatie van meer en minder gevaarlijke plaatsen, de orde van grootte getallen van slachtoffers horend bij bepaalde doorbraakscenario's, de noodzaak om aan sommige keringen hogere eisen te stellen dan aan andere en inzicht in de mogelijkheden om sommige gebieden niet te kunnen evacueren voordat het water aankomt en andere wel is echter cruciaal zelfs als de absolute waarden slechts binnen een bandbreedte te bepalen zijn.

Het is dus van belang om aankomsttijd mee te nemen. De beslissingen waarvoor dit relevant kan zijn, zijn:

- Voor evacuatiebesluiten en crisismanagement: kennis over gevaarlijke gebieden (dun- en dichtbevolkt) en gebieden waar potentieel veel slachtoffers vallen en de handelingsopties daar is doorslaggevend voor besluiten over al dan niet evacueren of voor het advies om ofwel thuis te blijven, ofwel te vluchten nadat een dijk gebroken is. Ook al is de exacte vluchtfractie niet te voorspellen, de verschillen in aankomsttijd en in gevaar is wel duidelijk en inzicht hierin kan leiden tot betere en meer gebiedsspecifieke adviezen.
- Voor de keringen waarvan de norm bepaald is door de LIR-eis en de meest bepalende buurt een locatie heeft met in de doorslaggevende doorbraakscenario's een lange aankomsttijd kan mogelijk de LIR eis lager uitvallen. Dit kan van invloed zijn op de keuze voor een bepaalde normklasse en/of leiden tot overwegen van een zogenaamde 'slimme combinatie' (een beperktere dijkversterking in combinatie met maatregelen in crisismanagement of ruimtelijke ordening om zo aan de LIR-eis van 10^{-5} te voldoen).

Er wordt in dit onderzoek geen advies gegeven met betrekking tot het al dan niet evacueren, vluchten of thuis blijven. Een dergelijk advies valt buiten de scope van dit onderzoek. Er is vanuit gegaan dat een groter aantal mensen zich in veiligheid kan brengen wanneer de aankomsttijd lang is, dan wanneer de aankomsttijd kort is. Zoals beschreven in De Bruijn & Kolen (2020) kan het risicovol zijn om te vertrekken van huis op zoek naar een veilige locatie: Immers, in een woning zijn mensen veiliger dan buiten indien ze getroffen worden door water. Veiligheidsregio's zullen daarom goed bewust moeten zijn van regionale verschillen en onzekerheden in bijvoorbeeld de duur om veilig gebied te bereiken, en de aankomsttijd van het water. In dit onderzoek is voor evacuatie gerekend met een verwachtingswaarde: een gemiddelde uit vele scenario's. In gunstige scenario's zal vrijwel iedereen geëvacueerd kunnen worden en bij een onverwachte doorbraak zal vrijwel niemand geëvacueerd zijn. De verwachtingswaarde is een gemiddelde hiervan. Na doorbraak kan een deel van de mensen alsnog het gebied verlaten. Dit deel is groter in gebieden waar het langer duurt voordat het gebied nat wordt. In dit onderzoek is gekeken naar het effect van het meenemen van deze aankomsttijd zonder te oordelen over of en hoe dit in adviezen aan de bevolking het beste kan worden meegenomen. In vervolgonderzoek kan daar voor bepaalde scenario's wel naar gekeken worden. Deze methode sluit aan bij de berekeningen zoals gedaan ten behoeve van het onderbouwen van de normen.

In dit onderzoek wordt voor alle inwoners gerekend met dezelfde mortaliteit en wordt geen onderscheid gemaakt tussen mensen die zich binnen of buiten bevinden. Wanneer veel mensen zich binnen bevinden op een veilige locatie, zal de mortaliteit waarschijnlijk lager uitvallen dan waar hier mee gerekend is. Er is hier gerekend met de standaardmortaliteitsfuncties van Maaskant *et al.* (2009b). Deze zijn voornamelijk gebaseerd op de overstroming van 1953. De meeste slachtoffers vielen toen buiten of in instortende woningen. Wanneer de meeste mensen zich binnen op een droge verdieping bevinden, zal de mortaliteit waarschijnlijk lager zijn dan hier bepaald.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Samenvattende conclusies

Conclusies uit de review van buitenlandse modellen en eerdere overstromingen

Aankomsttijd is een belangrijke factor die meegenomen dient te worden in slachtofferrisicoanalyse. In alle bekeken buitenlandse methoden en modellen wordt aankomsttijd meegenomen. In grovere modellen wordt het meegenomen als factor, in gedetailleerde agent-based modellen wordt met aankomsttijd rekening gehouden doordat individuen gevolgd worden waarbij bijgehouden wordt of en wanneer zij in water terecht komen. Wanneer aankomsttijd wordt meegenomen als factor wordt de beschikbare tijd na het begin van de overstroming vergeleken met de benodigde tijd voor mensen om een veilige locatie te bereiken. Deze benodigde tijd is afhankelijk van het gebied en het type overstroming.

Uit de geanalyseerde gebeurtenissen en op basis van de literatuur review van papers waarin factoren die het aantal slachtoffers bepalen is geconcludeerd dat aankomsttijd een belangrijke factor kan zijn, maar dat andere factoren en de context (het gebied, type overstroming, tijdstip en gedrag) dominant zijn en vaak de vergelijking met Nederland lastig maken. In het algemeen zijn flashfloods gevaarlijker dan andere typen overstromingen en kustoverstromingen door storm-surge zijn vaak dodelijker dan overstromingen vanuit rivieren. Een deel van het verschil in gevaar tussen typen overstromingen is te verklaren door verschil in aankomsttijd: deze is heel kort bij flashfloods en meestal ook bij kustoverstromingen en soms veel langer bij rivieroverstromingen. De verschillen worden echter ook veroorzaakt door verschillen in stroomsnelheid en waterdiepte en door de kracht van drijfvuil en sediment die bij flashfloods erg groot kan zijn. Bovendien is de waarschuwingstijd bij flashfloods meestal veel korter dan bij de andere typen overstromingen.

Uit de geanalyseerde overstromingen in het buitenland blijkt dat aankomsttijd niet altijd relevant is. Bij overstromingen veroorzaakt door neerslag is de aankomsttijd geen relevant begrip (bv. bij de overstroming van Houston door de regen gebracht door de orkaan Harvey). Een bepalende factor voor de gebeurtenis in de Vendee was de onveiligheid van de woningen waarin geschuid werd en bij Houston was gedrag (rijden door water) een belangrijke factor. In 1953 zijn in de dorpen die getroffen tijdens de tweede vloedperiode relatief minder mensen omgekomen dan bij de eerste vloedperiode. De aankomsttijd zal hier aan bijgedragen hebben. Het feit dat de tweede vloedperiode overdag was, terwijl de eerste in het donker optrad kan daar ook aan bijgedragen hebben.

Er zijn geen absolute getallen te vinden in de literatuur of in historische events waaruit af te leiden is wat het exacte effect van aankomsttijd op slachtofferaantallen is, wel is het duidelijk dat internationaal gebruikelijk is om aankomsttijd wel te beschouwen. Wanneer aankomsttijd niet wordt meegenomen kan het slachtofferaantal overschat worden en kunnen minder goed locatiespecifieke adviezen worden gegeven.

Conclusies over de aanpak

Het meenemen van aankomsttijd biedt meerwaarde wanneer deze ruimtelijk gedifferentieerd wordt beschouwd en dus rekening gehouden wordt met verschillen in aankomsttijd op verschillende locaties binnen het getroffen gebied. In hoofdstuk 4 is daarom het effect van aankomsttijd meegenomen door deze te vertalen in een vluchtfractie. Aangezien de exacte waarde van de vluchtfractie niet bekend is, is hier gewerkt met een hoge en een lage vluchtfractie.

De hoge vluchtfractie is gebaseerd op de evacuatiefractieboom die geldig is voor het rivierengebied. De lage fractie is een meer behoudende vluchtfractie. De onzekerheid over de vluchtfractie is het grootst in gebieden met een aankomsttijd tussen de 6 en 48 uur. Wanneer de aankomsttijd korter dan 6 uur is, zal de invloed klein zijn en wanneer de aankomsttijd langer is, is de invloed vrijwel zeker groot. De verschillen tussen beide vluchtfracties zijn dan ook het grootst voor de gebieden met aankomsttijden tussen de 6 en de 48 uur. De gebruikte vluchtfracties zijn bedoeld voor het rivierengebied en gegeven in Tabel 4.1.

Het is lastig om zo'n vluchtfractie goed te onderbouwen, daarom is het belangrijk om een boven- en ondergrens te hanteren, en om te kijken naar het doel waarvoor de berekening gedaan wordt: gaat het om het kiezen van een bepaalde normklasse, om de keuze voor maatregelen of om het identificeren van de meest gevaarlijke locaties. De precieze vraag of het besluit dat voorligt bepaalt de benodigde nauwkeurigheid. Aangezien doorbraken van dijken in Nederland en in gebieden die op Nederland lijken zeer zeldzaam zijn en gebeurtenissen vaak heel specifiek, blijft het waarschijnlijk lastig om vluchtfracties goed te onderbouwen. Hetzelfde geldt voor mortaliteitsfuncties en evacuatiefractieschattingen. Dit neemt niet weg dat met de huidige functies en schattingen goed in beeld gebracht kan worden wat de orde van grootte van slachtofferaantallen is, en wat de meer en minder gevaarlijke plekken zijn horend bij bepaalde doorbraakscenario's.

Uit de resultaten van de toepassing van deze vluchtfractie op dijkkring 43 en 48 is te concluderen dat:

- Het gebruik van de vluchtfractie veel effect heeft op slachtofferaantallen van doorbraakscenario's waarbij de aankomsttijd van het water in gebieden met veel inwoners langer dan een dag is. In dijkkring 48 namen de slachtofferaantallen horend bij de doorbraken in het Duitse deel van de dijkkring met maar liefst 57-87% procent af.
- Het gebruik van de vluchtfractie leidt tot een beter inzicht in wat meest gevaarlijke locaties zijn: Het onderscheid tussen locaties die snel diep worden en een korte aankomsttijd hebben, en locaties met vergelijkbare karakteristieken met een lange aankomsttijd komt nu beter naar voren.
- De LIR waarden van buurten waarbij de LIR bepaald werd door doorbraakscenario's met een lange aankomsttijd lager worden.
- Het meenemen van de aankomsttijd alleen invloed heeft op de LIR-eis van de normtrajecten als de buurt met de grootste LIR waarde (de bepalende buurt) een grote aankomsttijd heeft in belangrijke overstromingssscenario's.

5.2 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten worden de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Het is belangrijk om aankomsttijden mee te nemen wanneer slachtofferschattingen gedaan worden omdat het verwaarlozen ervan kan leiden tot een overschatting van de slachtofferschattingen. Dit kan voor het rivierengebied door het gebruik van de vluchtfractie zoals weergegeven in Tabel 4.1. Door het gebruik van een positieve en behoudende vluchtfractie kan een indruk gekregen worden van het effect op gevaar en op slachtofferaantallen, maar is duidelijk dat resultaten alleen binnen een bandbreedte gegeven kunnen worden.
2. Het is ook belangrijk om de huidige vluchtfracties beter te onderbouwen. Hiervoor zijn meerdere opties:
 - a Er kan een casestudie gedaan worden met een agent-based model om zo te zien wat volgens het model en de daarin meegenomen aannames het effect van aankomsttijd op slachtofferaantallen is en wat belangrijke factoren zijn die dit effect bepalen.

- Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen bijvoorbeeld een situatie waarin al een groot deel van de bevolking is geëvacueerd en een situatie waarin dat niet het geval is. Bij zo'n casestudie zou samengewerkt kunnen worden met een interdisciplinair team met daarin ook verkeerskundigen, gedragswetenschappers, communicatiedeskundigen en experts van de veiligheidsregio en IFV.
- b Er kan vervolgens een expertsessie georganiseerd worden met verkeerskundigen, gedragsexperts en mensen van veiligheidsregio's om de resultaten te delen en bespreken en te relateren aan verschillende gebieden in Nederland.
 - 3 Ook voor het overgangsgebied en de meren en zelfs voor kustgebieden kunnen vluchtfracties afgeleid worden. Hierbij dient onderscheid gemaakt te worden tussen situaties met en zonder zware en storm en kunnen ook de evacuatiebomen voor die gebieden als startpunt gebruikt worden.
 - 4 Crisismanagers kunnen informatie over aankomsttijden bij bepaalde scenario's (e.g. een doorbraak langs de Bovenrijn, of een doorbraak in normtraject X gebruiken om locatie-specifieke handelingsopties te geven of om evacuatie uit bepaalde gebieden te stoppen of juist vluchten uit gebieden na een dijkdoorbraak prioriteit te geven boven evacuatie uit een groter gebied. Hierbij is het belangrijk te voorkomen dat mensen onderweg getroffen worden door overstroming. Het meenemen van onzekerheden in aankomsttijden en vluchtfracties en het behouden van ruime marges is daarom noodzakelijk (Kolen et al., 2021). Het optimale advies is per gebied en per situatie verschillend.
 - 5 Voor de evaluatie van de normen is het aan te bevelen de normtrajecten in het rivierengebied langs te lopen en te bepalen of er normtrajecten zijn waarvan de norm bepaalt wordt door de LIR-eis en of de bepalende buurt voor die LIR-eis overstromingsscenario's heeft met een lange (meer dan 24 of 48 uur) aankomsttijd. Als dit zo is, dan is het aan te raden om voor die normtrajecten de LIR waardes ook te bepalen rekening houdend met aankomsttijden.

6 Referenties

- Aboulata MA, Bowles DS (2008). LIFESim: a tool for estimating and reducing life-loss resulting from dam and levee failures. Proceedings of the Association of State Dam Safety Officials "Dam Safety 2008" Conference, Indian Wells, CA.
- Asselman, N. (2005). *Consequences of floods. Damage to buildings and casualties*. Rapport Q3668, WL| Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.
- Boudou, M., Lang, M., Vinet, F., Coeur, D. (2016). *Lessons from analysing mortality from six major flood events in France (1930-2010)*. E3S Web of Conferences 7, 06005 (2016). DOI: 10.1051/e3sconf/20160706005
- Bouwer, L.M., Jonkman, S.N. (2017). Global mortality from storm surges is decreasing. *Environ. Res. Lett.* 13 014008. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa98a3>
- Creach, A., Pardo, S., Guillotreau, P. *et al.* The use of a micro-scale index to identify potential death risk areas due to coastal flood surges: lessons from Storm Xynthia on the French Atlantic coast. *Nat Hazards* 77, 1679–1710 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1669-y>
- De Bruijn, K.M. & Kolen, B. (2020). *Rapportage kennisalliantie slachtofferrisico's en evacuatie 2020. Storylines en evacuatiebomen voor Dordrecht en de Gelderse Vallei*. Deltares Project 11205235-007. Deltares, Delft.
- De Bruijn, K. M., F. Klijn, B. van de Pas & C. T. J. Slager (2015). *Flood fatality hazard and flood damage hazard: combining multiple hazard characteristics into meaningful maps for spatial planning*. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 15 1297-1309
- De Bruijn, K.M. (et al.). (2010). *Casualty risks in the discussion on new flood protection standards in the Netherlands*. In: De Warchien D. et al. (eds.). *flood recovery, innovation and response II* Wessex Institute of Technology, Southampton.
- De Bruijn K.M. & Klijn F. (2009). Risky places in the Netherlands: a first approximation for floods. *Journal of Flood Risk Management* 2009, 2, (1), 58–67.
- De Bruijn, K.M. & Slager, K. (2013). *Mortality functions in the flood impact module. Sensitivity analysis and discussion*. Project 1207814-005. Deltares, Delft, The Netherlands.
- De Bruijn K.M. (2006). Improvement of casualty functions based on data of the flooding of New Orleans. WL Delft Hydraulics Report Q3668, Deltares, Delft.
- Di Mauro M., De Bruijn K.M., Meloni M. (2012). Quantitative methods for estimating flood fatalities: Towards the introduction of loss-of-life estimation in the assessment of flood risk. *Nat. hazards*, 63, 1083-1113. DOI 10.1007/s11069-012-0207-4.
- Di Mauro, M., De Bruijn, K.M. (2011). Application and validation of mortality functions. *Journal of Flood Risk Management*, 5(2) pp.92-110. DOI:10.1111
- DeKay ML, McClelland GH (1993) Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood. *Risk Anal* 13 (2): 193-205.

FEMA (2017). *Historic Disaster Response to Hurricane Harvey in Texas*, <https://www.fema.gov/news-release/2017/09/22/historic-disaster-response-hurricane-harvey-texas>, last access: 1 December 2017

Gerritsen, H. (2005). What happened in 1953? The Big Flood in the Netherlands in retrospect. *Phil. Trans. R. Soc. A* (2005) 363, 1271–1291. doi:10.1098/rsta.2005.1568

HEC-FIA: Website: [HEC-FIA 2.2 Downloads \(army.mil\)](#)

HEC-Llfesim: website: [LifeSim \(army.mil\)](#) (website geraadpleegd in december 2021).

HR Wallingford, FHRC and Risk & Policy Analysts (2006). *Flood risks to people phase 2. The flood risks to people methodology*. Flood and Coastal defence R&D programme. London, UK: DEFRA, 2006.

Jonkman, S.N.k, Godfroy, M., Sebastian, A., Kolen, B. (2018). Brief communication: Post-event analysis of loss of life due to hurricane Harvey. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/nhess-2017-436>.

Jonkman, S.N., Maaskant, B., Boyd, E., Levitan, M.L. (2009). Loss of life caused by the flooding of New Orleans after hurricane Katrina: Analysis of the relationship between flood characteristics and mortality. *Risk Analysis* (29). 5. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2008.01190.x

Jonkman, S.N. (2007), Loss of life estimation in flood risk assessment, Theory and applications. PhD thesis TU Delft.

Johnstone WM, Sakamoto D., Assaf H, Bourban S (2005) Architecture, modelling framework and validation of PC hydro's virtual reality life safety model. In: Vrijling et al. (eds) *Proceedings of the international symposium on stochastic hydraulics*, 23-24 May 2005, Nijmegen, the Netherlands.

Kolen, B., Maaskant, B., Terpstra, T. (2013). *Evacuatieschattingen Nederland. Addendum*. PR2753.10, HKV Lijn in Water, Delft.

Lumbroso D.M., Sakamoto D., Johnstone W.M., Tagg, A.F. and Lence B. (2011). The development of a Life Safety Model to estimate the risk posed to people by dam failures and floods, *Dams and Reservoirs Journal of the British Dam Society*, 21(1), 31-43

Lumbroso, D., Davison, M., Body, R., Petkovse, G. (2020). Modelling the Brumadinho tailings dam failure, the subsequent loss of life and how it could have been reduced. *NHESS* 21, 21-37, 2021. DOI: 10.5194/nhess-21-21-2021.

Lumbroso, D.M., Vinet, F. (2011). A comparison of the causes, effects and aftermaths of the coastal flooding of England in 1953 and France in 2010. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 2321–2333. doi:10.5194/nhess-11-2321-2011

Maaskant, B., Kolen, B., Jongejan, R., Jonkman, S.N. en Kok, M. (2009a). *Evacuatieschattingen Nederland*, HKV Lijn in water, 2009. PR1718. Lelystad.

Maaskant, B., Jonkman, S.N., Kok, M. (2009b). Analyse slachtoffer aantallen VNK-2 en voorstellen voor aanpassingen van slachtofferfuncties. HKV Lijn in Water Rapport PR1669.10 (In Dutch).

Maaskant, B. (2007). Research on the relationship between flood characteristics and fatalities-based on the flooding in New Orleans caused by hurricane Katrina. Msc. Thesis., May 2007. Delft University of Technology.

McClelland & Bowles (1999). Life-loss estimation: What can we learn from case histories? *ANCOLD Bulletin* 113:75-91, December 1999.

Peng, M., and Zhang, L.M. (2012a). Analysis of human risks due to dam break floods – part 1: a new model based on Bayesian networks. *Nat Hazrds*. Doi: 10.1007/s11069-012-0275-5

Peng, M., and Zhang, L.M. (2012b). Analysis of human risks due to dam break floods – part 2: application to Tangjiashan landslide dam failure. *Natural Hazards* (2012): 64 1899-1923. DOI: 10.1007/s11069-012-0336-9.

Priest, S., Wilson, T., Tapsell S., Penning-Rowell E., Viavattene C, Fernandez-Bilbao A. (2007). Building a model to estimate risk to life for European flood events – final report. *Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies, FLOODsite*.

Slager, K. (1992), *De ramp – een reconstructie – 200 ooggetuigen over de watersnood van 1953, verhalen om nooit te vergeten* (in Dutch). Goes: De koperen tuin.

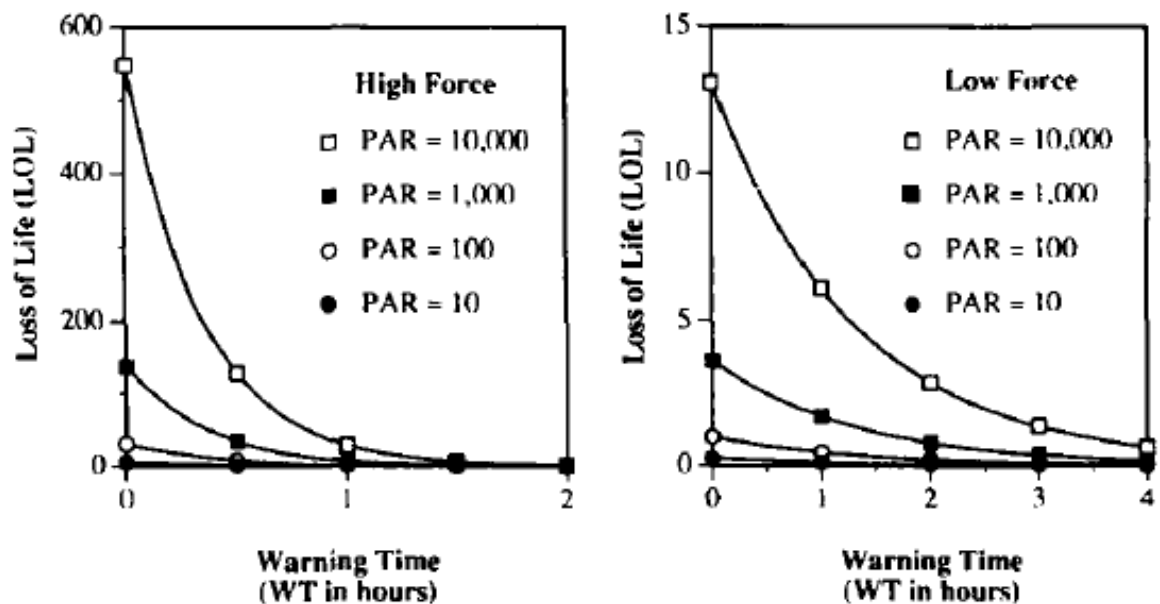
Van den Hengel, D. (2006). *Slachtoffers bij overstromingen. Analyse van een slachtoffermodel aan de hand van de watersnoodramp van 1953 en overstromingssimulaties*. Msc Thesis. Delft University of Technology (In Dutch).

Vinet, F., Lumbroso, D., Defossez, S. *et al.* A comparative analysis of the loss of life during two recent floods in France: the sea surge caused by the storm Xynthia and the flash flood in Var. *Nat Hazards* **61**, 1179–1201 (2012). <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9975-5>

A Informatie over enkele buitenlandse slachtoffermodellen

A.1 De Kay and McClelland (1993)

Dit is een van de eerste pogingen om slachtofferaantallen door overstromingen te schatten. De methode is gebaseerd op slechts twee parameters: waarschuwingstijd en 'force' (energie/intensiteit of kracht van het water). Door regressieanalyse is het verband van deze parameters met slachtofferaantallen bepaald. De relatie is toegepast op schaal van overstromingen, niet op lokale schaal. Van het totale overstroomde gebied wordt de PAR (Population at risk) bepaald, de intensiteit van de overstroming (high/low) en de waarschuwingstijd. Vervolgens wordt het aantal slachtoffers bepaald als gegeven in de formule onder de functies. High force overstromingen zijn in dit geval overstromingen die gebouwen doen instorten. De grafieken laten zien dat het aantal slachtoffers naar nul nadert als de waarschuwingstijd langer wordt dan ongeveer 5 uur.



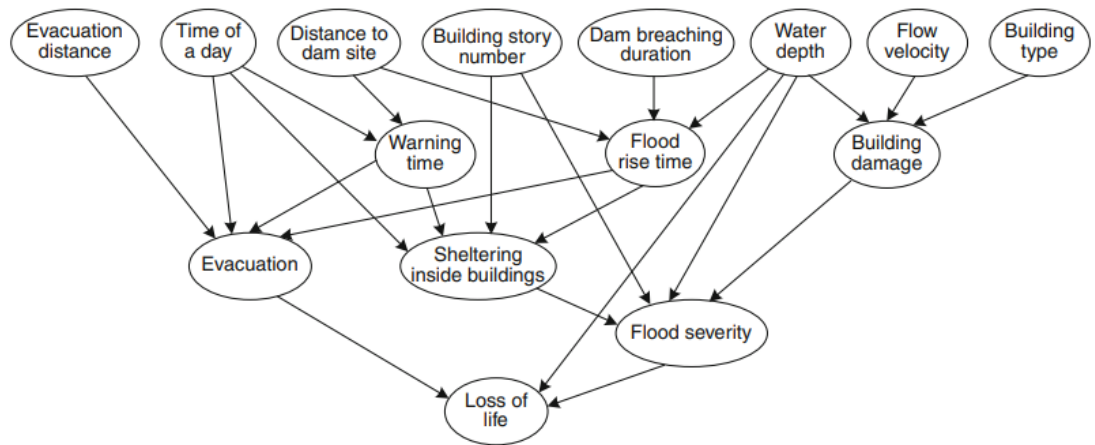
$$LOL_{HF} \approx 0.075(PAR_{HF}^{0.56})e^{[-2.982(WT_{HF})+3.79]}$$

$$LOL_{LF} \approx 0.075(PAR_{LF}^{0.56})e^{[-0.759(WT_{LF})]}$$

A.2 HURAM (Peng and Zhang, 2012a,b)

HURAM is een Bayesiaans netwerk model dat relaties tussen factoren analyseert en onzekerheden meeneemt. Het wordt toegepast op schaal van regio's of zones met een gelijke hazard (product van diepte en stroomsnelheid). Er worden verschillende factoren onderscheiden en ook aan elkaar gerelateerd. De afstand tot de dam is direct gerelateerd aan de aankomsttijd en in dit model ook aan de waarschuwingstijd.

De waarschuwingstijd in verhouding met de evacuatieafstand geeft hier de evacuatiefractie. De aankomsttijd is dus meegenomen. Dit model is niet gemakkelijk over te nemen in de Nederlandse situatie aangezien het gebaseerd is op lokale gegevens.



Peng, M., and Zhang, L.M. (2012). Analysis of human risks due to dam break floods – part 2: application to Tangjiashan landslide dam failure. *Natural Hazards* (2012): 64 1899-1923. DOI: 10.1007/s11069-012-0336-9.

A.3 Modellen en referenties

Referenties:

- Hec-FIA: [HEC-FIA 2.2 Downloads \(army.mil\)](https://www.army.mil/hec-fia/) (geraadpleegd December 2021)
- Hec-Lifesim: [LifeSim \(army.mil\)](https://www.army.mil/lifesim/) (website geraadpleegd in december 2021).
- HURAM: Peng and Zhang (2012a, b)
- Jonkman – Dutch method: Jonkman (2007)

B Gebruikte faalkansen voor dijkkring 43 & 48

Bron:

Gebruikte kans gebaseerd op Kans uit VNK uit Overzicht_Scenarios.xls

Norm 2050 gebaseerd op Ondergrenswaarde in wet uit Factsheet normering primaire waterkeringen

Dijkkring 43

Traject	Gebruikte faalkans	Norm 2050
43-1	1/456	1/10.000
43-2	1/475	1/3000
43-3	1/296	1/10.000
43-4	1/111	1/10.000
43-5	1/92	1/10.000
43-6	1/112	1/10.000

Dijkkring 48

Traject	Gebruikte faalkans	Norm 2050
48-0	1/10.000	1/10.000
48-1	1/608	1/10.000
48-2	1/1018	1/3000
48-3	1/2670	1/3000

C De huidige standaard slachtofferfuncties

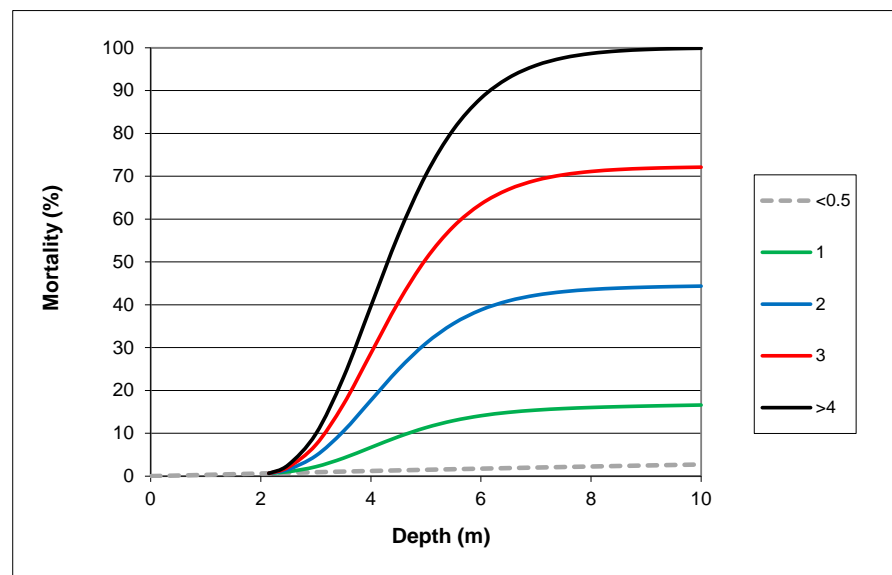
De slachtofferfuncties die nu gebruikt zijn, zijn gegeven in Maaskant *et al.* (2009) en grotendeels gebaseerd op de Watersnoodramp. De functies geven de relatie tussen overstromingskarakteristieken waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid. Zoals uitgelegd in paragraaf 1.2 wordt de aankomsttijd hierin niet meegenomen.

In Nederland worden slachtofferfuncties gebruikt om de overstromingskarakteristieken te relateren aan de mortaliteit. Alle andere relevante factoren zijn hierin niet expliciet meegenomen. Dit betekent dat aangenomen is dat deze al in de functies zijn verdisconteerd.

Er zijn 3 slachtofferfuncties (Maaskant *et al.*, 2009b):

1. voor de breszone: een zone met grote stroomsnelheid en veel energie van slechts 100 of een paar 100 m nabij de bres;
2. voor de zone met snel stijgend water: hierin worden veel slachtoffers verwacht omdat hier mensen verrast kunnen worden door het water. Deze zone is waar de stijgsnelheid van 2 cm tot 1.5m gemiddeld groter is dan 4m/uur;
3. voor de overige zone waarin stijgsnelheid niet relevant is: hier is de stijgsnelheid kleiner dan 0.5m /uur over de eerste 1.5m.

Er is ook een overgangszone waarin zowel derde als tweede functie een rol spelen: hier is de stijgsnelheid nog relevant maar minder dan in de zone met snel stijgend water. In deze zone wordt de mortaliteit geïnterpoleerd tussen die horend bij de functies voor de zone met snel stijgend water en die horend bij de overige zone.



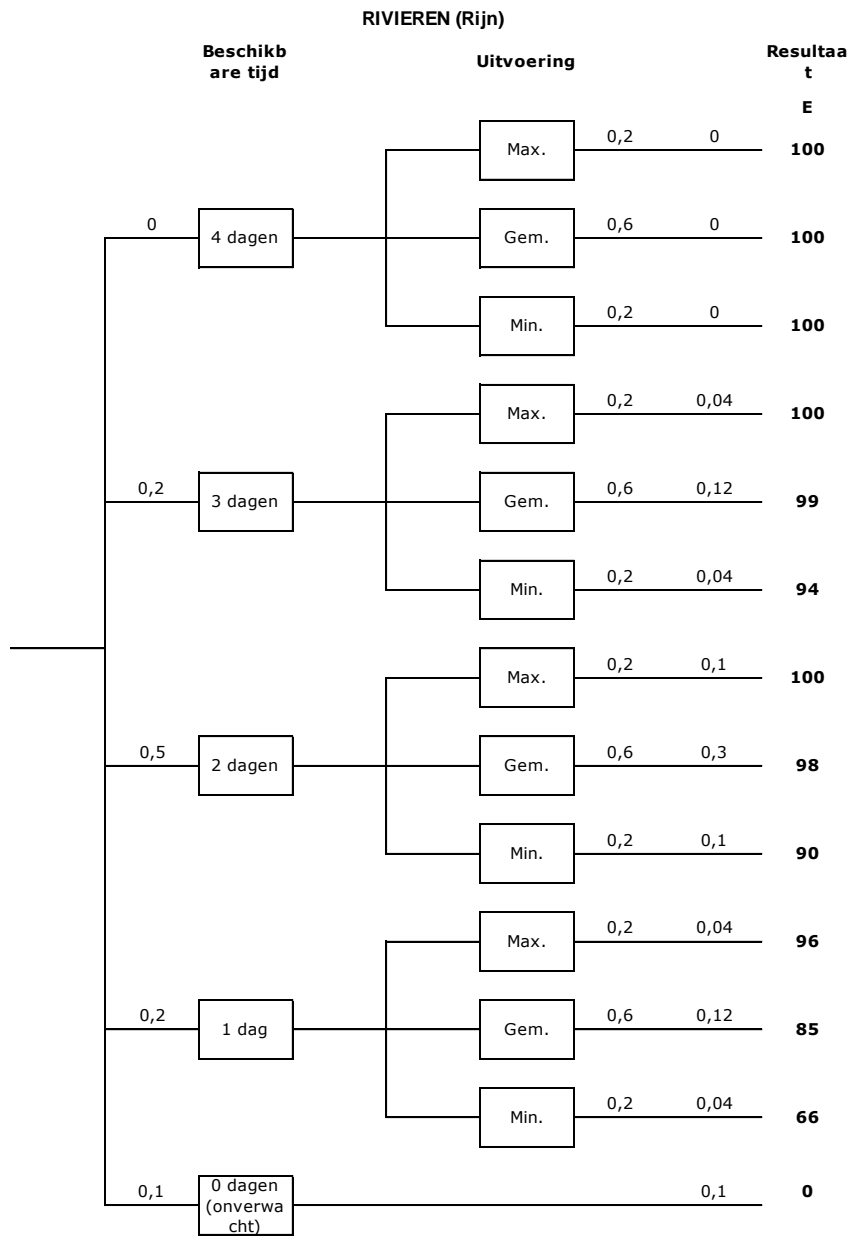
Figuur C.1. De relatie tussen waterdiepte en mortaliteit volgens de slachtofferfuncties voor verschillende stijgsnelheden (< 0,5; 1 ; 2; 3; en meer dan 4m per uur)

D Aanpassen evacuatiefractieboom

Het is mogelijk om te bepalen welke fractie van de inwoners een aankomsttijd heeft van 1, 2, 3 of 4 dagen in de verschillende overstromingsscenario's, deze scenario's te wegen en daarmee een nieuwe gemiddelde evacuatiefractie verwachtingswaarde te bepalen voor het gehele gebied.

Het is ook mogelijk om per overstromingsscenario een zone te identificeren met een aankomsttijd groter dan 24 uur, groter dan 48 uur en groter dan 72 uur en voor alle zones een aparte boom uit te werken en de resultaten toe te kennen aan alle locaties in de zone en vervolgens voor alle overstromingsscenario's samen te nemen voor alle locaties. Aangezien de aankomsttijd per scenario zal verschillen, kan dit vrij rekenintensief worden en leiden tot lastig te communiceren resultaten.

Het gebruik van dezelfde evacuatie tijden voor vluchten is discutabel: immers wanneer er een dijk gebroken is, zal het gedrag van mensen veranderen. Ook kan het te evacueren gebied kleiner worden als niet de gehele dijkkring bedreigd is en kan er geprioriteerd worden binnen het gebied omdat duidelijker is welk gebied acuut gevaar loopt. Dit is veel lastiger en onzekerder wanneer de dijk nog niet gebroken is. Bovendien zijn de evacuatiefracties horend bij de takken van de boom bepaald bij de aanname dat vrijwel iedereen in de dijkkring of zelfs in meerdere dijkringen probeert te evacueren. Bij een doorbraak kan het zijn dat een groot deel van de mensen al geëvacueerd is en dat het vluchten van de laatste mensen daardoor gemakkelijker verloopt. Evacuatie zal dus mogelijk anders verlopen dan vluchten en daarom is het niet mogelijk om zomaar de getallen uit de evacuatieboom over te nemen. De evacuatieboom kan natuurlijk wel gebruikt worden om een indruk te krijgen van de tijd die nodig is om alle mensen uit het gebied te laten vertrekken.



Figuur D.1. Evacuatieboom voor het bovenrivierengebied (Maaskant et al., 2009a)

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl