

Lessen uit zomerhoogwater 2021 voor slachtofferanalyses

Beschouwing van slachtofferfuncties en de achtergronden ten opzichte van event-informatie



Lessen uit zomerhoogwater 2021 voor slachtofferanalyses

Beschouwing van slachtofferfuncties en de achtergronden ten opzichte van event-informatie

Auteur(s)

Ben van Kester

Bart Maas

Lessen uit zomerhoogwater 2021 voor slachtofferanalyses

Beschouwing van slachtofferfuncties en de achtergronden ten opzichte van event-informatie

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	de heer D. Riedstra
Referenties	Referenties
Trefwoorden	Trefwoorden

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	17-02-2023
Projectnummer	11208034-008
Document ID	11208034-008-ZWS-0003
Pagina's	56
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Ben van Kester	
	Bart Maas	

Inhoud

1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond	6
1.2	Relevantie	6
1.3	Doel van 2022	6
1.4	Aanpak	6
1.5	Leeswijzer	7
2	Beschrijving zomerhoogwater 2021	8
2.1	Algemeen overstromingsverloop	8
2.2	België	12
2.2.1	Verloop	12
2.2.2	Schade	12
2.2.3	Slachtoffers en evacuatie	13
2.3	Duitsland	14
2.3.1	Verloop	14
2.3.2	Schade	16
2.3.3	Slachtoffers en evacuatie	17
2.4	Nederland	19
2.4.1	Verloop	19
2.4.2	Schade	21
2.4.3	Slachtoffers en evacuatie	22
3	Bestaande uitgangspunten slachtofferfuncties	24
3.1	Bestaande methodes voor slachtofferbepaling in Nederland	24
3.2	Achtergrond van de verschillende slachtofferfuncties	27
3.2.1	De breszone:	27
3.2.2	Zone snel stijgend water:	28
3.2.3	Zone met zeer langzaam stijgend water	28
3.2.4	Discussie en aanbevelingen bij voorgaande slachtofferfuncties	29
3.2.5	Gedifferentieerde (PBL) functies: Onderscheid naar de locatie en toestand van getroffen	30
4	Links met andere producten: Flood Fatality Database & Evacuatiegedrag Zuid-Limburg	31
4.1.1	Flood fatality database (2017 - 2019)	31
4.1.2	Evacuatiegedrag van individuele personen tijdens de overstromingen in Limburg	31
5	Beschouwing bestaande slachtofferfuncties ten opzichte van waarnemingen zomerhoogwater	32
5.1	Gebouwsterkte en mortaliteit	32
5.1.1	Link instorting en slachtoffers	33
5.1.2	Constructieve kenmerken en locatie	33
5.1.3	Link met Nederlandse gebouwen	34

5.1.4	Conclusies gebouwsterkte, instorting en mortaliteit	35
5.2	Mortaliteit en overstromingskenmerken	35
5.2.1	Duitsland: Ahrdal (district Ahrweiler)	36
5.2.1.1	Mortaliteit op basis van slachtofferfuncties (Altenahr)	36
5.2.1.2	Situatie slachtoffers	39
5.2.2	België: Vesdredal	41
5.2.2.1	Mortaliteit op basis van slachtofferfuncties	42
5.2.2.2	Situatie slachtoffers	42
5.2.3	Nederland: Geuldal (Valkenburg)	43
5.2.4	Synthese: Overeenkomsten tussen de drie landen	43
5.2.4.1	Locatiekenmerken	43
5.2.4.2	Waarschuwing	44
5.2.4.3	Moment van waarschuwen	44
5.2.4.4	Evacuatie	44
5.2.4.5	Kwetsbaarheid	44
6	Discussie	45
7	Conclusies	47
8	Referenties	48
A	Database en GIS producten	53
A.1	Database slachtoffers	53
A.2	Database ingestorte huizen	53
A.3	GIS omgeving	54
B	Tijdslijn Evacuatie	55

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Dit rapport is opgesteld onder de vlag van de Kennisalliantie slachtoffers en evacuatie. Deze alliantie is in 2017 opgericht om de kennis over slachtoffers en evacuatie bij overstromingen te vergroten. De kennisalliantie werkt samen aan de volgende twee onderwerpen:

- 1 Het ontwikkelen van kennis over de effectiviteit van evacuatie en het komen tot aanbevelingen om deze effectiviteit te vergroten.
- 2 Het ontwikkelen en toepasbaar maken van (nieuwe) kennis over de mortaliteit en het aantal slachtoffers van overstromingen.

Dit rapport richt zich met name op het tweede onderwerp, het verbeteren van inzicht in de mortaliteit bij overstromingen en de berekening van slachtofferaantallen.

1.2 Relevantie

Kennis over de effectiviteit van evacuatie en slachtofferrisico's is belangrijk voor waterveiligheidsbeleid, crisismanagement en ruimtelijke ordening. Zo wordt kennis over evacuatie en slachtofferrisico's gebruikt in de normering van de Nederlandse waterkeringen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) en wordt kennis over evacuatie en gevaarlijke plekken gebruikt bij crisismanagement. De inzet bij ruimtelijke ordening krijgt recent veel aandacht, mede door een groeiend besef dat de grenzen van de maakbaarheid van ons fysische systeem zichtbaar worden (Deltares, BoschSlabbers & Sweco, 2021)(Minister van Infrastructuur en Waterstaat, kamerbrief 25-11-2022).

1.3 Doel van 2022

De extreme neerslag en overstromingen van juli 2021 (ENW, 2021) hebben veel impact gehad in Duitsland, België en Nederland. Het hoogwater heeft tot verlies van mensenlevens geleid en tot enorme schade aan gebouwen. Ook zijn er allerlei noodmaatregelen getroffen. Gezien het enorme leed en de schadelast van dergelijke extreme neerslag en overstromingen is het belangrijk ervan te leren en kennis te vergaren om waar mogelijk de impact van dergelijke gebeurtenissen in de toekomst te beperken.

Deze rapportage richt zich met name op het verzamelen van data en informatie van het hoogwater die relevant is voor kennisontwikkeling over slachtofferrisico's en mortaliteit. De waargenomen relevante informatie wordt vervolgens vergeleken met de gebruikelijke slachtofferfuncties en de gegevens die gebruikt zijn voor het afleiden daarvan. Het doel is het verkennen van de mogelijkheden voor verbetering van de inzichten over slachtofferrisico's op basis van de extreme neerslag en overstromingen van juli 2021.

1.4 Aanpak

Deze rapportage bevat drie elementen. De eerste is een beschrijving van het zomerhoogwater van juli 2021. Vervolgens worden de voor Nederland gehanteerde en gebruikelijke uitgangspunten en functies bij de (model)berekening van verwachte slachtoffers en getroffen personen toegelicht. Hierbij is met name aandacht voor de elementen en informatie die met empirische gegevens van het hoogwater van '21 vergeleken kunnen worden.

Vervolgens wordt specifieke informatie over mortaliteit, waarschuwingen, aankomsttijd en evacuatie van het hoogwater vergeleken met de uitgangspunten en functies vergeleken om te komen tot aanbevelingen voor de verbetering van de berekening van slachtoffers.

Een voorbehoud is dat de informatie voor deze rapportage noodzakelijkerwijs vooral uit openbare bronnen is verkregen. Vanwege lopende juridische procedures in België en Duitsland zijn veel partijen, waaronder kennisinstellingen en universiteiten, terughoudend in het delen van gegevens. Veel informatie is daarom verzameld vanuit publiek ontsloten overheidswebsites en databases, nieuwsitems en nieuwsfoto's. Vooraf is dit risico van een beperkte en ongestructureerde gegevensbasis geïdentificeerd en onderkend, maar is besloten dat het voor de kennisalliantie toch voldoende kansrijk is waar mogelijk lessen te trekken op basis van de informatie die wel verzameld is.

Ter ondersteuning van deze rapportage zijn gelijktijdig twee Excelbestanden en een gekoppeld GIS-project ontwikkeld. Een database bevat de ruimtelijke spreiding van slachtoffers in België en Duitsland en de ander bevat de ruimtelijke spreiding van ingestorte huizen met foto's. Deze twee databases zijn ook gevisualiseerd in een GIS-project. Hierin is de verzamelde data gebundeld en gestructureerd, met verwijzingen naar de bronbestanden. De GIS-omgeving is ontwikkeld voor dit rapport, maar zeker ook waardevol voor toekomstige analyses en datawaarborging. Een verdere toelichting is te vinden in bijlage A.

1.5 Leeswijzer

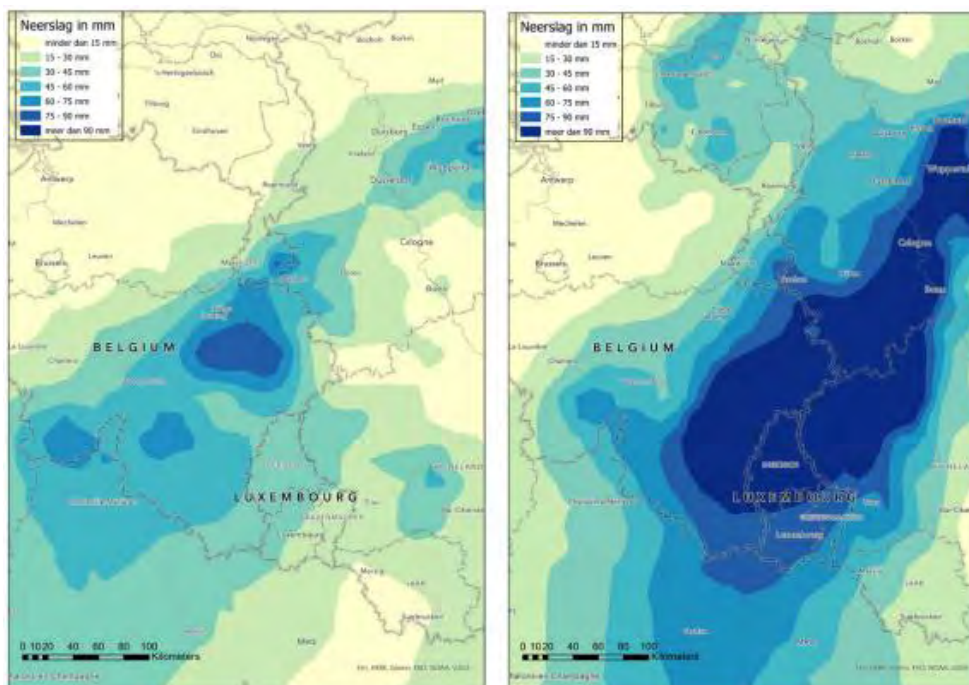
Achtergrond, relevantie, doel en aanpak zijn beschreven in hoofdstuk 1. In hoofdstuk 2 wordt het hoogwater van juli 2021 beschreven. Vervolgens worden de uitgangspunten en achtergronden van de bestaande slachtofferfuncties beschreven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 beschrijft enkele eerdere producten en bevindingen van de kennisalliantie. In hoofdstuk 5 wordt vervolgens de informatie over gebouwsterkte en mortaliteit zoals verzameld beschreven en vergeleken met de uitgangspunten, achtergronden en aanbevelingen uit de voorgaande hoofdstukken. Hoofdstukken 6 en 7 beschrijven de discussie en conclusies. Als belangrijkste bijlagen zijn twee databases en een GIS-omgeving opgenomen, welke als aparte producten opgeleverd worden.

2 Beschrijving zomerhoogwater 2021

In juli 2021 zijn delen van België, Duitsland, Luxemburg en Zuid-Nederland (Limburg) getroffen door extreme regenval met grootschalige overstromingen met zeer veel schade en getroffen tot gevolg. In België en Duitsland zijn ook dodelijke slachtoffers te betreuen, waarbij het totaal aantal dodelijke slachtoffers volgens de laatste cijfers is vastgesteld op 228 personen (189 in Duitsland, 39 in België). De totale schade voor de drie landen samen wordt geschat op meer dan 40 miljard euro (~11 miljard verzekerings schade) (ENW, 2021; Kreienkamp et al., 2021; Mohr et al., 2022). In dit hoofdstuk wordt eerst het algemene overstromingsverloop geschetst gevolgd door een meer gedetailleerde beschrijving per regio.

2.1 Algemeen overstromingsverloop

Op 13 en 14 juli 2021 was er sprake van een zogenaamde 'koudeput' boven Zuid-Limburg, de Ardennen en de Eifel. Deze 'koudeput', een lagedrukgebied met koude luchtbel in de bovenlucht, kon grote volumes vochtige lucht aantrekken wat resulteerde in deze extreme neerslag gebeurtenis. Het zwaartepunt van dit lagedrukgebied lag boven de Ardennen en Eifel (Figuur 2.1). De maximale neerslaghoeveelheid in Nederland viel in de omgeving van Ubachsberg waar een totaal van 182 mm werd gemeten over de twee dagen. Dit is vergelijkbaar met de maximaal gemeten neerslag in België en Duitsland, echter viel het in België en Duitsland wel over een veel groter gebied (ENW, 2021). Doordat het terrein daarnaast in België en Duitsland gekenmerkt wordt door heuvelslandschap met laaggelegen dorpen en steilere en nauwere rivierdalen vergeleken met Nederland leidde er toe dat de gevolgen daar vele malen groter zijn geweest. Door de steile hellingen had de neerslag geen tijd om goed te infiltreren wat zorgde voor grote volumes afstroming richting de rivieren en beken. Voor een uitgebreidere toelichting over de meteorologische situatie wordt er verwezen naar o.a. ENW (2021) en Kreienkamp et al. (2021).

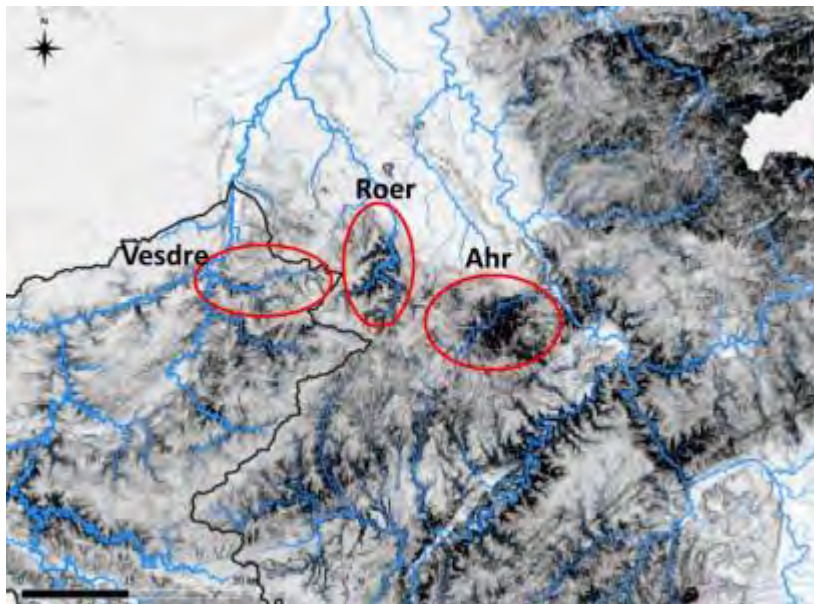


Figuur 2.1 Dagsom neerslag (mm) voor 13 (links) en 14 juli (rechts), afgeleid uit E-OBS Data. Bron: ENW (2021)

Wanneer grote hoeveelheden neerslag vallen hoeft dat nog niet per definitie tot verwoestende overstromingen te leiden. Of dat wel of niet zal gebeuren is afhankelijk van meerdere externe factoren. Hieronder zijn vier genoemd die kunnen bijdragen aan een versnelde toevoer naar de rivieren:

- Steile hellingen en nauwe dalen in het gebied;
- Weinig vegetatie;
- Ondoordringbare ondergrond;
- Verzadigde bodems door eerdere neerslag.

Vooraf het eerste en vierde punt hebben een grote rol gespeeld bij het ontstaan van de grote afvoerpieken in de lokale waterlopen. Enkele dagen voor 13 juli was het al regenachtig en koud weer. Hierdoor waren de grond en vegetatie grotendeels verzadigd en was er weinig infiltratie en evapotranspiratie mogelijk (Deltares, 2021). Daarnaast hebben de rivieren in de Ardennen en de Eifel een sterk uitgesleten rivierdal o.a. Vesdre (België), Roer en Ahr (Duitsland) (Figuur 2.2). Doordat er weinig retentietijd was in grote delen van de stroomgebieden verzamelde alle oppervlaktestroming zich tegelijkertijd in de rivieren. Dit resulteerde in een zeer snelle toename van de waterstand en afvoer tot verrassing van de benedenstrooms gelegen dorpen (Figuur 2.3). De schade varieert tussen gebieden van ondergelopen kelders tot volledig weggespoelde huizen. De grootste infrastructurele schade is opgetreden in het dal van de Ahr.

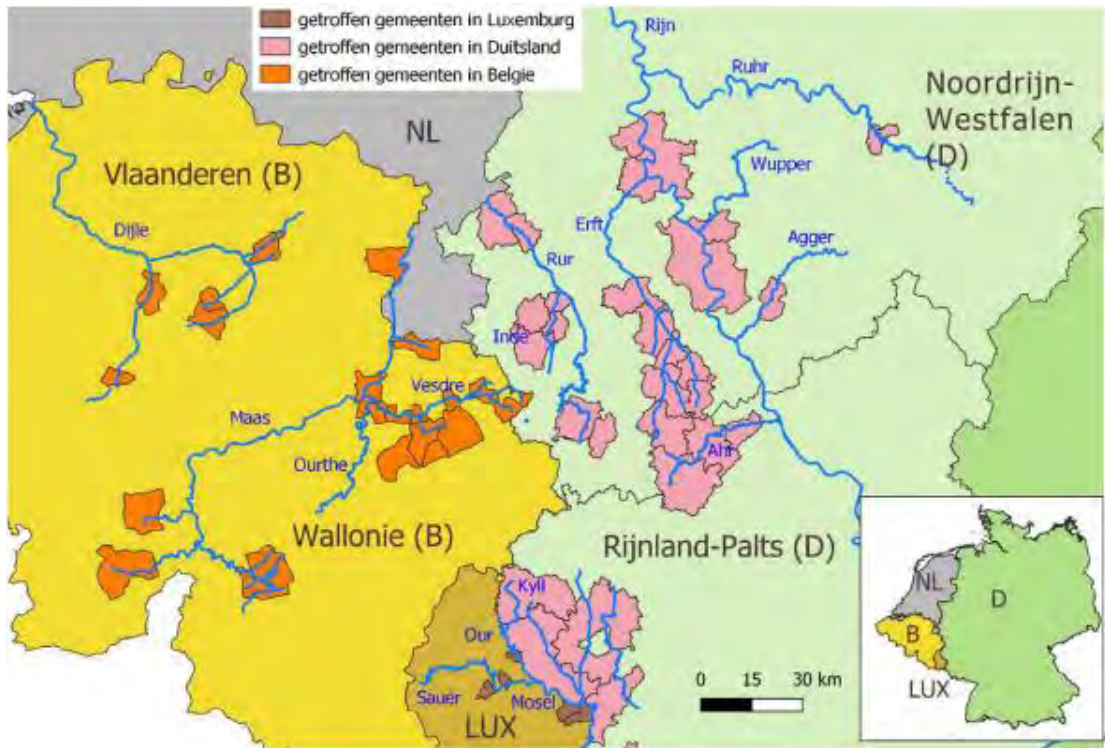


Figuur 2.2 Reliëf kaart van zwaarst getroffen gebied met de belangrijkste rivieren weergegeven. Hoe donkerder de kleur hoe steiler de helling. Bron: Deltares (2021)

In grote delen van het stroomgebied van de Maas en Rijn bereikten de rivieren in deze periode de grootste afvoeren sinds de start van de metingen (Figuur 2.4). De afvoer in de Ahr, Erft en Maas lag 1,2 tot 9 keer hoger dan de daarvoor hoogst gemeten historische afvoer (Mohr et al., 2022). Voor de Ahr en Vesdre worden deze afvoeren geschat op een terugkeertijd van eens in de 400 jaar. De afvoergolf wordt beschreven als een snelstromende afvoergolf met een steile piek. De stijgsnelheid in de Ahr was het meest extreem en wordt geschat op zo'n 0,75 m/uur met een maximum stijgsnelheid van ongeveer 2 m/uur (in totaal ~9 m in 12 uur) (afgeleid uit Mohr et al., 2022).

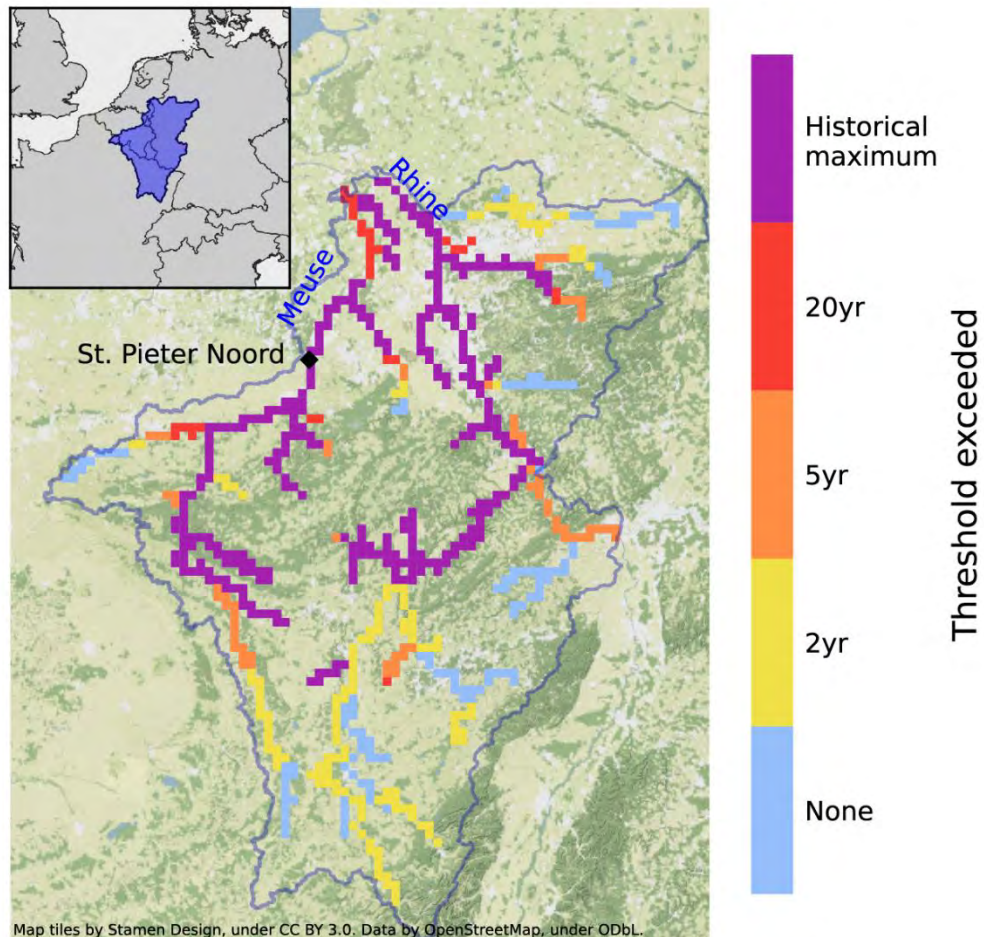
Wanneer het overstromde gebied wordt vergeleken met de overstromingskaarten van de EU Floods Directive blijkt dat het meest extreme scenario nog een onderschatting is gebleken van het werkelijk overstromde gebied (ENW, 2021).

Figuur 2.5 geeft een vergelijking tussen Nederland, België en Duitsland weer op de overstromingskarakteristieken als verzameld door ENW (2021). In de volgende paragrafen zal in meer detail ingegaan worden op de omstandigheden, schade en slachtoffers per land.



Figuur 2.3 Overzichtskaat van getroffen gemeente in Nederland, België, Duitsland en Luxemburg en de daarbij horende rivieren. Bron: ENW (2021).

Maximum threshold exceeded from 11 to 31 July 2021



Data source: EFAS Credit: Copernicus EMS/ECMWF Reference Period: 1991-2020

Figuur 2.4 Terugkeertijd van maximale rivierafvoer in stroomgebieden van de Maas en Rijn vergeleken met de periode 1991-2020. Bron: Copernicus EMS/ECMWF (<https://climate.copernicus.eu/esotc/2021/flooding-july>)

	NED	BEL	DUI
Regenval (48u)	> 150 mm, lokaal 182 mm	170 – 190 mm	> 160 mm (tot 224 mm in 24 uur)
Meest getroffen rivieren en gebieden	Valkenburg, Geul	Pepinster (Verviers), Vesdre	Ahr (Ahrweiler) Erft (Euskirchen)
Steilheid rivieren	< 1%	8 – 10% in Wallonië	Gemiddeld 14% in de Ahr
Overstromingskarakteristieken in meest getroffen gebieden	Snel stromende golf van –0,5 meter diep (Valkenburg)	Snel stromende vloedgolf enkele meters diep, modderstromen over land	Snel stromende vloedgolf (soms tot eerste verdieping reikend), modderstromen
Waarschuwingen	13 juli code oranje voor Limburg 14 juli code rood	12 juli code geel voor Wallonië, 14 juli code rood	12 juli neerslag voorspelling 200 mm, lokale waarschuwingen

Figuur 2.5 Vergelijking van de overstromingskarakteristieken tussen Nederland, België en Duitsland. Uitsnede van Tabel 8.1 uit ENW (2021)

2.2 België

2.2.1 Verloop

In België was de totale neerslagsom extreem hoog. In grote delen van Wallonië is er tussen de 170 en 190 mm gemeten binnen een periode van 48 uur. Door de heuvelachtige en sterk uitgesleten topografie had de neerslag geen tijd om te infiltreren en stroomde deze direct af naar de rivier. De rivieren in de Ardennen hebben hierdoor in een korte tijd enorme hoeveelheden afgevoerd. Dit zijn snel reagerende systemen waardoor de waterstanden en afvoeren ook erg snel kunnen oplopen. De rivieren, de Amblève, de Ourthe en de Vesdre, waren niet in staat dergelijke hoeveelheden af te voeren, met grootschalige overstromingen in de dalen tot gevolg. Het totaal overstroomde gebied bedroeg 9670 hectare (96,7 km²) waarvan het grootste deel in de Vesdrevalllei (Wallonië, 2022). In totaal zijn 80% van alle Waalse gemeenten (209 van totaal 262) in meer of mindere mate getroffen (Wallonië, 2022).

In de nacht van 13 op 14 juli begon het water in de Waalse rivieren te stijgen. Rond het middaguur gaven veel meetstations hun laatste meetresultaat door, waarna ze stopten te functioneren vanwege defecten of omdat de waterstand/afvoer het meetbereik oversteeg. De waterstand steeg gestaag door tot omstreeks middernacht, waarna de stijging versnelde. De stijging zette door tot het begin van de volgende avond (17:00u op 15 juli). Hierna begon de waterstand te dalen.

In het getroffen gebied staan 27 stations waar de waterstand en/of afvoer wordt gemeten (Hydrométrie en Wallonie, 2022). Vanwege de defecten en het beperkte meetbereik zijn er geen metingen van de extreme hydraulische condities. Zeimetz et al. (2021) heeft op basis van de beschikbare fysische en meteorologische data voor al deze meetstations de maximale waterstand en afvoer bepaald. Voor alle rivieren geldt dat de hydraulische condities in juli 2021 extremer waren dan het voorgaande historisch maximum. In de zwaar getroffen Vesdrevalllei wordt uitgegaan van een piekafvoer van tussen de 410 m³/s (Verviers) en 660 m³/s (Chaufontaine Pisc), met een waterdiepte (t.o.v. rivierbed) van meer dan 5 m. Normale zomer afvoeren variëren hier tussen de 0,5 – 5 m³/s en heeft een mediane waterdiepte van 0,6 m (Hydrométrie en Wallonie, 2022). Deze afvoer was dus meer dan honderd keer meer dan een normale zomerafvoer.

In het gebied bevinden zich meerdere stuwmeren die ook als retentiegebied gebruikt worden. Nog altijd bestaat er een discussie of het stuwmeer bij Eupen al eerder geloosd had moeten worden om meer bergingscapaciteit te realiseren. Tijdens het hoogwater was hierdoor niet de maximale retentiecapaciteit beschikbaar, waardoor de afvoerpiek minder sterk verlaagd kon worden (Grenzecho, 2021).

2.2.2 Schade

De totale schadepost voor het Waals gewest is een jaar na de overstromingen geschat op 2,8 miljard euro (Wallonie, 2022). Honderden gebouwen zijn ingestort of zo zwaar beschadigd dat deze naderhand gesloopt moesten worden (Dewals, 2021). In totaal hebben bijna 50.000 gebouwen schade opgelopen. Ook infrastructuur raakte in grote mate beschadigd: onder andere meer dan 200 bruggen moesten worden hersteld, veel spoorlijnen zijn ontregeld geraakt en kilometers aan gas, drinkwater en elektriciteitsnetwerken werden vernietigd. Veel van de kritieke infrastructuur werd binnen enkele weken hersteld (Koks et al., 2022). Deze grote infrastructurele schade resulteerde in niet alleen materiele schade maar ook immateriële schade doordat het leven van vele mensen hierdoor zwaar ontregeld raakte.

De steden Verviers en Pepinster, beide gelegen in de Vesdrevalllei, werden het zwaarst getroffen. Hier zijn tientallen huizen ingestort of onherstelbaar beschadigd geraakt (Figuur 2.6). Het dorp Pepinster is extra zwaar getroffen toen hier de afvoerpieken van de Vesdre en Hoëgne gelijktijdig samenvloeiden. Vervolgens is door opstuwning vanwege bruggen lokaal de waterstand nog enkele meters verder opgelopen (Blog KU Leuven, 2021).



Figuur 2.6 Schade aan huizen in Pepinster (Vesdrevalllei).

2.2.3 Slachtoffers en evacuatie

Vanuit België zijn nog weinig gegevens openbaar gemaakt over waar en in welke omstandigheden slachtoffers gevallen zijn. In dit rapport wordt uitgegaan van de officiële cijfers zoals gepubliceerd door de Waalse overheid in juli 2022 (Wallonië, 2022). De overstromingen in Wallonië veroorzaakte 39 dodelijke slachtoffers. Naar schatting zijn zo'n 100.000 mensen getroffen.

Tabel 2.1 Aantal slachtoffers in België

Provincie	Aantal Slachtoffers
Luik	38
Namen	1
Totaal	39¹

De VRT (Belgische publieke omroep) heeft een tijdlijn van evacuatie opgesteld:

- Op dinsdag 13 juli werd voor de gehele Ardennen code oranje afgegeven, met waarschuwingen voor wateroverlast.
- De volgende ochtend (14 juli) is dit omgezet in code rood voor de regio. Rond 13:00 uur werden de eerste preventieve evacuaties in de Luikse gemeentes Balen, Eupen, Chaudfontaine en Limburg aanbevolen.

¹ Slachtoffers als direct gevolg van de overstromingen opgemaakt door de Waalse overheid 1 jaar na de overstromingen: <https://www.wallonie.be/fr/actualites/inondations-de-juillet-2021-bilan-et-perspectives> bezocht op: 22-11-2022

- Ongeveer vijf uur later, rond 18:00 uur, werden er evacuatieën aanbevolen in de gemeentes Verviers, Pepinster en Trooz. Rond dit tijdstip was het echter voor de meeste inwoners al niet meer redelijkerwijs mogelijk om hun huis te verlaten door het snel stijgende water. Deze mensen werden daarom verzocht verticaal te evacueren.
- Doordat het water nog bijna 24 uur door zou stijgen, zaten veel mensen de gehele dag vast in of op hun huis voordat zij gered konden worden.

2.3 Duitsland

2.3.1 Verloop

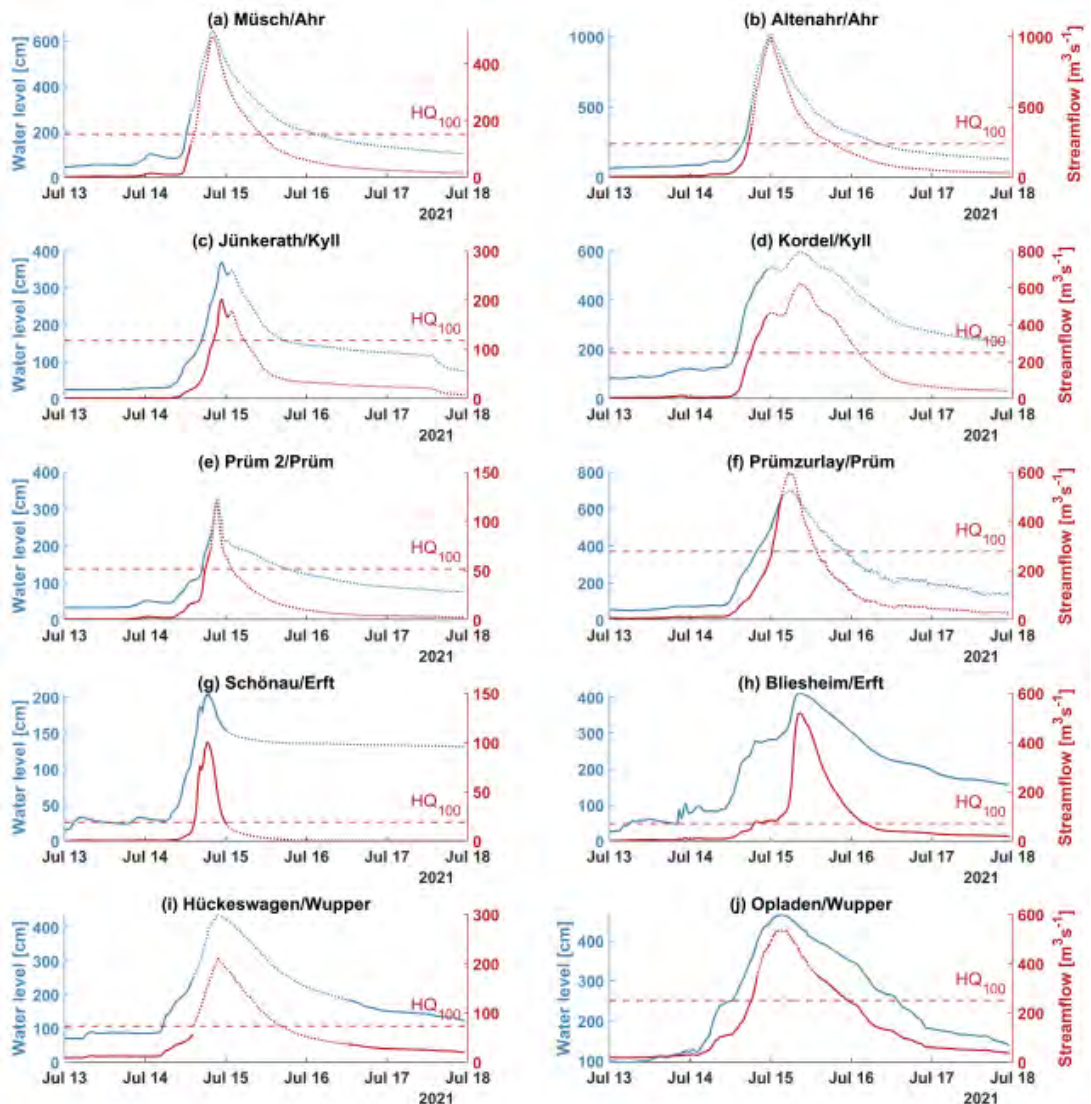
De grote hoeveelheid neerslag die op 13 en 14 juli viel in de deelstaten Rheinland-Pfalz (RLP) en Nordrhein-Westfalen (NRW) had grote gevolgen in de regio. De dorpen in de stroomgebieden van de Ahr (RLP) en de Erft (NRW) zijn het zwaarst getroffen (zie Figuur 2.3). Voor alle rivieren in het gebied geldt dat de hydraulische condities zoals gemeten in juli 2021 extremer zijn dan ooit eerder is gemeten (Tabel 2.2).

Zoals in paragraaf 2.1 is beschreven bestaat het gebied uit sterk uitgesleten rivierdalen waar regenwater snel afstroomt. Dit resulteerde op 14 juli in zeer snel stijgende waterstanden in de rivieren de Ahr, Erft, Kyll, Prüm en Wupper, zoals te zien in Figuur 2.7. In dit figuur zijn de gemeten en berekende (gestippelde lijn) waterstanden en afvoeren weergegeven. Voor de hoogwaterpieken zijn geen directe metingen beschikbaar, daarom zijn deze berekend in Mohr et al. (2022). Dit was nodig omdat door het hoogwater vele meetstations defect geraakt zijn of omdat de opgelegde QH-relaties niet meer voldeden door morfologische veranderingen in het rivierbed of door het opstuwings veroorzaakt door bijvoorbeeld verstoppingen nabij bruggen. Momenteel wordt er nog verder onderzoek gedaan naar de waterstands- en afvoerextremen waar het niet goed mogelijk was deze te meten. Voor de methode achter de bepaling van de afvoerextremen wordt verwezen naar Mohr et al. (2022).

De in Figuur 2.7 beschouwde rivieren (m.u.v. de Wupper) ontspringen in het gebied waar de meeste neerslag is gevallen. Dit resulteerde in een vergelijkbare vorm van de afvoergolf bij het bovenstroomse meetstation (Figuur 2.7a, c, e, g). Verder benedenstrooms werd de golf iets breder maar nam ook de waterstand/afvoer sterk toe door toestroom van kleine zijrivieren en afstroming van neerslag. Dit resulteerde in een verschil van hydraulische condities tussen de verschillende stroomgebieden, een van de factoren waardoor ook de gevolgen per stroomgebied verschillen.

In de ochtend van 14 juli (08:00u – 12:00u) begon de waterstand te stijgen waarna vervolgens binnen 12 uur de piek bereikt werd. Na deze piek daalde de waterstand geleidelijk over een periode van 24 uur, waarna de overstroming voorbij was. In het benedenstroomse deel van de stroomgebieden was de stijging het meest extreem, met als meest extreme van alle het benedenstroomse deel van de Ahr. Hier steeg de waterstand met zo'n 10 meter naar een piek van 10,6 m nabij het dorp Altenahr. Dit komt neer op een gemiddelde stijgsnelheid van 0,8 m/uur, met maxima van tegen de 2 m/uur. De hydraulische extremen waren hier 3 tot 4 maal groter dan de bepaalde 1:100 overschrijdingskans. In de Erft waren de hydraulische condities zelfs 5 tot 7 maal hoger dan die bij een 1:100 overschrijdingskans. Voor alle beschouwde rivieren geldt dat deze overstroming de bekende historische extremen met een veelvoud heeft overschreden (Tabel 2.2). Dat de waterstand nu zoveel hoger was dan voorgaande historische extremen komt ook vanwege afnemende ruimte voor het afvoeren van water. De komst van steeds meer bebouwing en obstructies en een afname van de ruimte die beschikbaar is voor de Ahr hebben bijgedragen aan de ernst van deze overstroming.

Er zijn geen meetgegevens voor de stroomsnelheden beschikbaar. Op basis van videobeelden is te zien dat de stroomsnelheden zeer hoog waren (Polizei Rheinland-Pfalz/SWR, 2021b). De inschattingen lopen uiteen tussen de 2-4 m/s en tot 6 m/s nabij vernauwingen.



Figuur 2.7 Tijdsree van waterstand (blauw) en debiet (rood) voor meetstations in de Ahr, Kyll, Prüm, Erft en Wupper (13-07-2021 - 17-07-2021). De doorgetrokken lijnen geven de meetwaarden weer, de gestippelde lijnen zijn gereconstrueerd op basis van data van lokale autoriteiten. De gestippelde horizontale lijn geeft de 1:100 overschrijdingsfrequentie voor het debiet weer. Uit Mohr et al. (2022)

Tabel 2.2 Vergelijking tussen de historische extreme hoogwater, 1:100 overschrijdingskans en hoogwater 2021 voor vijf rivieren in de Eifel. Uit Mohr et al. (2022)

Gauge name	Basin size (km ²)	Measuring period (years)	Previous historical extreme			Statistical extreme	Flood event in July 2021			
			Date	Max. W (cm)	Max. Q (m ³ s ⁻¹)	HQ ₁₀₀ (m ³ s ⁻¹)	Peak time (UTC)	Max. W (cm)	Max. Q (m ³ s ⁻¹)	Peak factor (-)
Ahr river basin^a										
Müsch	353.2	1973–2019	02 June 2016	273	132	152	14 July 20:15	ca. 650	ca. 500	ca. 3.3
Altenahr	749.0	1946–2019	02 Feb. 2016	371	236	241	15 July 00:00	984–1019	ca. 1000	ca. 4
Kyll river basin^a										
Jünkerath	175.6	1973–2019	17 Dec. 1974	266	129	118	14 July 22:45	ca. 370	ca. 200	ca. 1.7
Kordel	816.3	1968–2019	26 Jan. 1995	481	218	248	15 July 08:30	ca. 600	ca. 600	ca. 2.5
Prüm river basin^a										
Prüm 2	53.2	1976–2019	07 Feb. 1984	126	43.5	51.6	14 July 21:15	ca. 330	ca. 120	ca. 2.3
Prümzurley	576.1	1973–2019	03 Jan. 2003	492	252	278	15 July 05:30	ca. 700	ca. 600	ca. 2
Erfit river basin^b										
Schönau	31.9	1972–2020	16 Mar. 1988	129	17.5	19	14 July 18:50	ca. 200	ca. 100	ca. 5.2
Bliesheim	604.2	1965–2020	31 May 1984	247	56.2	71	15 July 08:45	ca. 400	ca. 500	ca. 7.3
Wupper river basin^c										
Hückeswagen	163.2	1987–2020	28 Dec. 1994	272	64	73	14 July 21:40	ca. 430	ca. 200	ca. 2.9
Opladen	606	1950–2020	23 Sept. 1957	306	219	250	15 July 02:45	ca. 460	ca. 530	ca. 2.1

^aOperator and data provider: Water administration of Rhineland-Palatinate (www.lfu.rlp.de, last access: 9 May 2022)

^bOperator and data provider: Ertfverband (www.ertfverband.de, last access: 9 May 2022)

^cOperator and data provider: Wupperverband (www.wupperverband.de, last access: 9 May 2022)

2.3.2 Schade

Het hoogwater heeft in het gebied geleid tot veel schade. De totale schade voor Duitsland wordt momenteel geschat op meer dan 30 miljard euro waarvan 8,2 miljard aan verzekeringsschade (GDV, 2022). Veel kritieke infrastructuur zoals wegen, bruggen, spoorlijnen en elektriciteitskabels zijn verwoest, met grootschalige maatschappelijke ontwrichting tot gevolg. Ook honderden huizen zijn ingestort of onbewoonbaar geworden. De (im)materiële schade was het grootst in het Ahrdal, waar de hydraulische condities ook het meest extreem waren.

In het district Ahrweiler (Ahrdal) zijn op 14 juli minstens 467 gebouwen weggevaagd, waarvan zo'n 200 huizen (SWR, 2021c). Eerste schattingen van het CEMS kwamen uit op een aantal van 738 verwoestte huizen, op basis van satelliet analyses enkele dagen na de overstroming. Vanwege de diep ingesneden topografie is de meeste infrastructuur dicht langs de rivier gebouwd. Naar schatting zijn er meer dan 3000 gebouwen beschadigd geraakt als direct gevolg van de overstromingen. Het gehele getroffen gebied bevat naar schatting zo'n 15.000 panden. Dit betekent dat zo'n 20% van alle gebouwen beschadigd geraakt is. Het grootste deel van de schade was waterschade op de begane grond. Bij de verwoestte huizen zien we vooral het bezwijken van gevels. Bij huizen gebouwd aan de buitenbocht van de rivier gaat het voornamelijk om ondergraving van de funderingen waardoor de gebouwen instabiel zijn geworden (zie Figuur 2.8).

Het merendeel van de zwaar beschadigde infrastructuur was gebouwd op de natuurlijke overstromingsvlaktes van de Ahr. Door de ligging van deze infrastructuur in de vlakte kan de rivier niet vrijelijk overstromen met als gevolg verdere opstuwing en extra schade. Het was daarbij niet alleen het stromende water, maar juist de combinatie van het water met andere materialen die door de rivier werden meegevoerd (bomen, grote stenen, auto's etc.) dat tot veel schade leidde.



Figuur 2.8 Zwaar beschadigde huizen in district Ahrweiler langs de oevers van de Ahr. Boven: Verwoest huizenblok in Mayschoß; links: Grotendeels weggeslagen gevel in Schuld; rechts: Ondergraving van fundering in Altenahr.

2.3.3 Slachtoffers en evacuatie

Van de getroffen landen is Duitsland het zwaarst getroffen. In totaal zijn er 189 doden gevallen, verdeeld over vijf deelstaten (zie Tabel 2.3). Opnieuw ligt het zwaartepunt in het district Ahrweiler (RLP). In totaal zijn in het district zo'n 42.000 mensen getroffen, zo'n 75% van de totale bevolking in het district. Van hen zijn er 134 (van de totaal 189 slachtoffers in heel Duitsland) omgekomen en raakte 766 mensen gewond (SWR, 2021c). 106 van de 134 slachtoffers waren ouder dan 60 jaar (79%). Ook zijn in deze slachtofferaantallen vier zelfmoorden als gevolg van de overstromingen opgenomen. Dit brengt het aantal slachtoffers als direct gevolg van de overstromingen op 130 personen in het district (en voor heel Duitsland op 185 personen). Het is op het moment van schrijven niet mogelijk om met beschikbare informatie iets te zeggen over waar de slachtoffers zich bevonden en hoe zij zich gedroegen kort voor hun overlijden.

Uit ooggetuigenverhalen komt vooral naar voren dat de mensen werden verrast door het snel stijgende water. Gedurende de dag zijn er door meerdere instanties waarschuwingen uitgegeven voor extreme rivierafvoer in de deelstaten RLP en NRW. De gegeven waarschuwingen hebben de uiteindelijke hydraulische condities onderschat. Het overstromingswaarschuwningsniveau voor de regio werd aan het begin van de avond verhoogd naar het hoogste niveau (17:17u lokale tijd). Rond deze tijd werd voor de regio Ahrweiler een crisisteam samengesteld dat moest beslissen over eventuele evacuatie.

Om 23:09u wordt door dit team een evacuatieboodschap uitgestuurd, voor de benedenstroomse dorpen. Hierin werd vermeld dat iedereen binnen 50 m van de Ahr moest evacueren. Op dat moment piekte de afvoergolf bovenstrooms al bijna. De mensen die bovenstrooms woonden werden sterk geadviseerd om hun huis niet meer te verlaten, maar naar een hogere verdieping te gaan (SWR, 2021a; Die RheinPfalz, 2021). Zoals te zien is in Figuur 2.9 was dit niet altijd houdbaar, waardoor vele mensen het dak op gingen en vanaf daar gered moesten worden.

Na de overstroming heeft de Duitse krant Deutschlandfunk een analyse² gedaan over de crisisberichtgeving in RLP en NRW. Hieruit kwam naar voren dat met name in RLP veel waarschuwingsberichten de inwoners niet hebben bereikt.

Tabel 2.3 Aantal slachtoffers per bundesland (Uit Thieken et al. 2022)

Bundesland	Aantal slachtoffers
Rheinland-Pfalz	135
Noordrijn-Westfalen	49
Beieren	2
Saksen	2
Baden-Württemberg	1
Totaal	189

² <https://www.deutschlandfunk.de/warmeldungen-vor-der-flut-kommunikation-zwischen-behoerden-100.html>



Figuur 2.9 Maximale waterstanden van historische hoogwaters en hoogwater 2021 op de gevel van huis in Dernau (regio Ahrweiler).

2.4 Nederland

2.4.1 Verloop

Een belangrijk fysisch verschil van Nederland, specifiek het Limburgse landschap, ten opzichte van België en Duitsland is dat er veel minder reliëf in het landschap zit. Zoals besproken in de vorige secties heeft de sterk ingesleten topografie een belangrijke rol gespeeld bij het creëren van de extreme hydraulische condities in de rivieren en beken in België en Duitsland.

In Nederland resulteerde de grote neerslaghoeveelheden in hoogwater in de Maas en haar zijrivieren. De afvoerpiek in de Maas bereikte op 15 juli 22:00 uur meetstation Eijsden, waar de maximale afvoer gemeten werd op 3179,44 m³/s en een waterstand van 50,64 m +NAP (RWS Waterinfo, 2022). Dit is het hoogste afvoerniveau/waterstand ooit op de Maas bij meetstation Eijsden en de overschrijdingskans wordt geschat tussen de 1:100 en 1:200 jaar te liggen. Verder benedenstrooms werden er lagere waterstanden gemeten dan tijdens de eerdere hoogwaters van 1993 en 1995. Deze lagere waterstand verder benedenstrooms zijn vooral toe te schrijven aan uitgevoerde maatregelen die hebben gezorgd voor (meer) topvervlakking. Waar de golf bij Eijsden nog een zeer spitse vorm had werd deze verder benedenstrooms steeds breder met een lagere piekwaterstand tot gevolg (ENW, 2021). De topvervlakking heeft er waarschijnlijk voor gezorgd dat de wateroverlast benedenstrooms beperkt is gebleven.

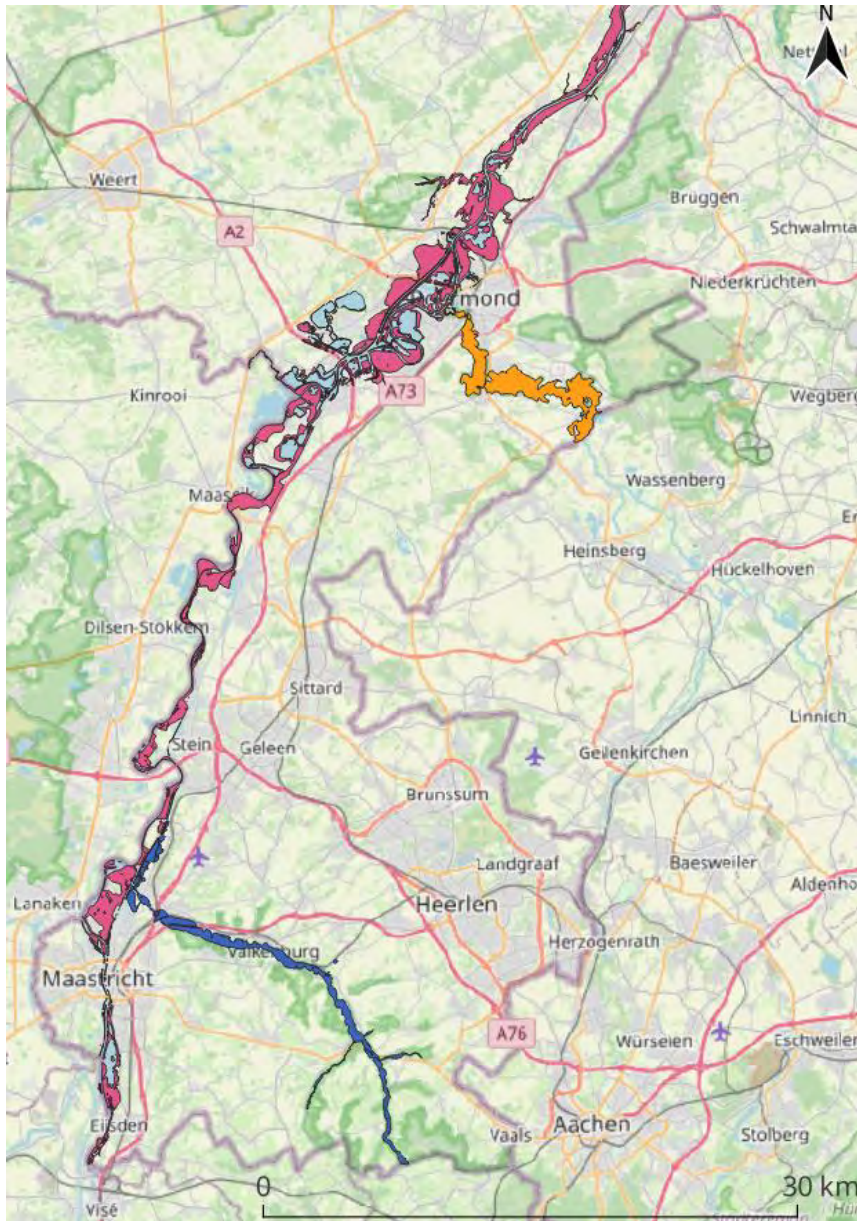
Van de zijrivieren is langs de Geul, de Geleenbeek en de Roer de meeste overlast ontstaan. Deze beekdalen zijn snel-reagerende systemen, de neerslag resulteerde hier dus snel in extreme afvoeren met name in de Geul en de Geleenbeek. In de nacht van 14 op 15 juli bereikte beide beken hun maximale afvoer. Voor de Geul is deze in Asselman et al. (2022) bepaald op 135 m³/s ter hoogte van Valkenburg waarna deze nog zo'n 15 uur hoog bleef op zo'n 120 m³/s. In perspectief, de gemiddelde afvoer van de Geul is gelijk aan 4 m³/s. De herhalingsstijd voor de Geul werd geschat op meer dan 1:100 jaar. In de Geleenbeek werd de hoogste waterstand eerder bereikt dan in de Geul (14 juli 12:00u) en gemeten op 90 m +NAP wat samenhangt met een verwachte overschrijdingskans van 1:100.

Het hoogwater op de Roer kwam later dan de eerdergenoemde beekdalen omdat de Roer circa 165 km bovenstrooms ontspringt in de Eifel. Aangezien de Roer relatief weinig verhang heeft en bestaat uit natuurlijke overstromingsvlakten werden de hoogste afvoeren op de Roer pas in de nacht van 16 op 17 juli gemeten (~300 m³/s). Hier wordt geschat dat dit een herhalingsstijd van tussen de 1:100 en 1:1000 betrof (ENW, 2021).

De primaire waterkeringen langs de Maas en regionale waterkeringen langs de zijrivieren hebben het hoogwater goed doorstaan op enkele kleine piping-incidenten na. De belasting is zeer groot geweest, op sommige plekken kwam deze zelfs in de buurt van het ontwerpniveau van de kering (Asselman en van Heringen, 2023).

Overstromingen

De grootste overstromde gebieden zijn te vinden langs de Maas, de Geul en de Roer. Het overstromde gebied is weergegeven in Figuur 2.10. Met name in het Geuldal, waar het centrum van Valkenburg het zwaarst getroffen werd, was de overstromingssituatie kritiek. Waterdieptes in het centrum bedroegen daar ongeveer 1,25 m (van Heeringen et al., 2022). De stroomsnelheden in de Geul waren naar verwachting tussen 1,5 en 2 m/s en deze liepen op sommige locaties op tot meer dan 2,5 m/s. In de straten rondom de Geul werden lokaal waterdieptes van 1 à 2 m bereikt met een gemiddelde stijgsnelheid van 0,5 m/uur (Slager, In prep).

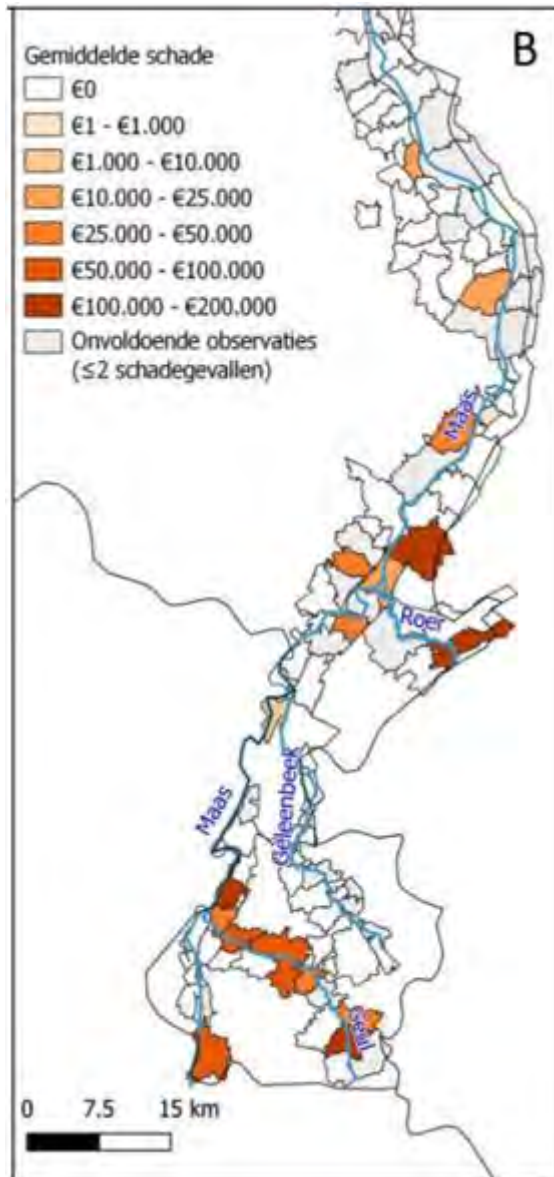


Figuur 2.10 Overstroomd gebied langs de Maas (roze), de Geul (blauw) en de Roer (oranje)

2.4.2 Schade

De Nederlandse overheid schatte in juli 2022 dat de daadwerkelijke schade, inclusief kosten die overheden (gemeenten, waterschappen, RWS) hebben gemaakt, uitkomt op zo'n half miljard euro (Volkskrant, 2022). Dit is in lijn met de eerste schattingen kort na de ramp toen de totale schade tussen de 350 – 600 miljoen euro werd geschat. Deze schatting werd gemaakt op basis van berekeningen van de standaardmethode voor schadebepaling (SSM2017), ervaringen en internationale bronnen.

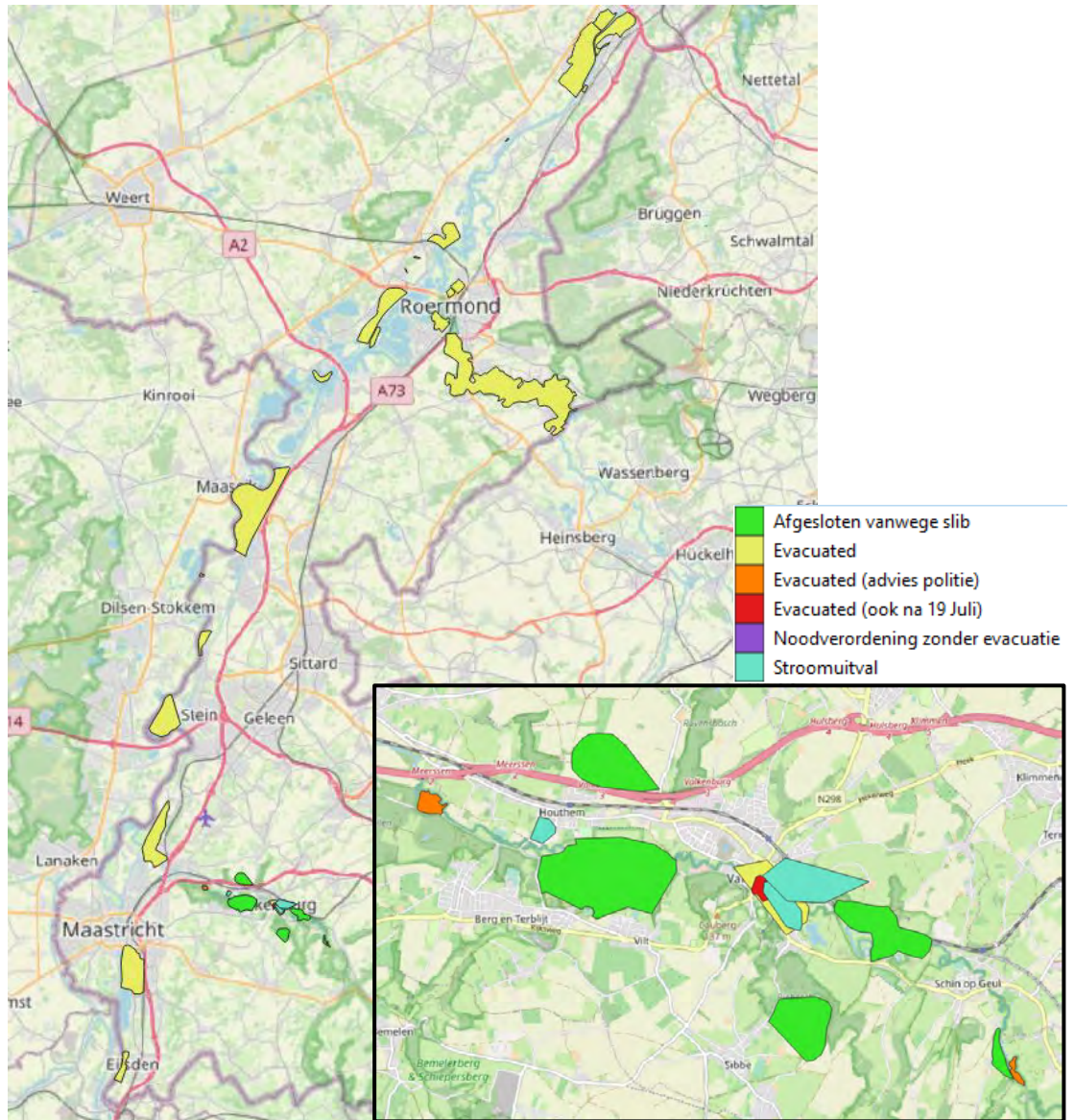
De meeste schade is terug te vinden in het Geuldal en langs de Roer (Figuur 2.11). Zo'n 40% van de tot nu toe uitgekeerde schade (26,4 M€) is toegekomen aan de mensen in het Geuldal (Figuur 2.11).



Figuur 2.11 Gemiddelde schade per huishouden per postcodegebied (Slager, 2023)

2.4.3 Slachtoffers en evacuatie

In Nederland zijn geen slachtoffers gevallen als gevolg van de overstromingen in Zuid-Limburg. In totaal zijn er zo'n 5000 mensen getroffen door het hoogwater (ENW, 2021). Wel zijn mensen langs de Maas uit voorzorg geëvacueerd (Figuur 2.12). In het zwaarder getroffen Geuldal (Valkenburg) zijn op 14 juni overdag al verschillende locaties geëvacueerd, met name zorginstellingen en campings dicht langs de Geul. Echter werden in de nacht van 14 op 15 juli vele mensen langs de Geul verrast door het stijgende water. Veel van deze mensen hebben uiteindelijk tijdens de overstromingen het gebied verlaten. Voor de gebieden waar tot evacuatie is overgegaan is een tijdelijk opgesteld en gepubliceerd in ENW (2021), opgenomen in bijlage B van dit rapport.



Figuur 2.12 Ruimtelijke spreiding van noodverordeningen. Data beschikbaar in ENW (2021) (<https://data.4tu.nl/collections/5660032/1>) .

3 Bestaande uitgangspunten slachtofferfuncties

Dit hoofdstuk zal de bestaande slachtofferfuncties toelichten en de uitgangspunten die erachter zitten inzichtelijk maken. Ook wordt stilgestaan bij enkele aanbevelingen die gedaan zijn bij het afleiden van de functies.

3.1 Bestaande methodes voor slachtofferbepaling in Nederland

Slachtofferfuncties spelen een belangrijke rol in overstromingsrisicobeheer in waterveiligheidsbeleid, ruimtelijke ordening en crisisbeheersing in Nederland. Zo worden slachtofferfuncties-berekeningen gebruikt om voor de normering van primaire waterkeringen middels het LIR (lokaal individueel risico) invulling te geven aan een basisbeschermingsniveau, het "gelijkheids criterium" (Ministerie Infrastructuur en Milieu, 2016). Als norm is namelijk vastgesteld dat in iedere buurt in Nederland het LIR maximaal 1×10^{-5} mag bedragen. Ook voor de aanvullende eisen vanuit economisch perspectief (MKBA) en voor andere overwegingen zoals groepsrisico wordt het slachtofferfuncties gebruikt in de bepaling. Inzichten over kansen op slachtoffers zijn daarnaast ook bruikbaar voor ruimtelijke ontwikkeling, bijvoorbeeld om te voorkomen dat op gevaarlijke plekken gebouwd wordt. Ook voor crisismanagement is het belangrijk goed te begrijpen welke omstandigheden bepalend zijn voor het optreden van dodelijke slachtoffers. Zo kan voorafgaand aan en tijdens een (dreigende) overstroming de beschikbare capaciteit en het materieel optimaal ingezet worden om de gevolgen van een (dreigende) overstroming te beperken.

Om te berekenen hoeveel slachtoffers in een gebied te verwachten zijn bij een overstromingsscenario, worden als water-gerelateerde parameters de waterdiepte, stijgsnelheid en stroomsnelheid gebruikt. Deze worden gecombineerd met het aantal mensen dat na evacuatie achterblijft in het gebied ((1 minus evacuatiefractie) maal inwonersaantal), en de kans dat diegenen die achtergebleven zijn overlijden als gevolg van de overstroming (mortaliteit).

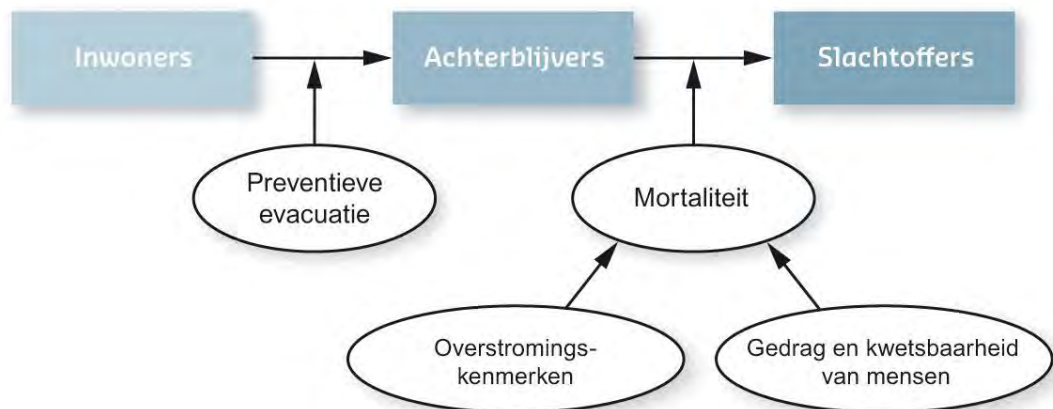
De water-gerelateerde kenmerken worden over het algemeen gegenereerd wanneer met modellen overstromingssimulaties gemaakt worden. Het zijn overigens niet de enige factoren die van invloed zijn op het vallen van slachtoffers. Ook het al dan niet voorkomen van golven, het seizoen, de buiten- en/of watertemperatuur, het al dan niet voorkomen van een storm, de waterkwaliteit, drijfvuil, de aankomsttijd (hoe lang het duurt tot de overstroming een locatie bereikt) en menselijk gedrag zijn van invloed op de gevolgen van overstromingen. Deze parameters worden echter bij de berekening van gevolgen normaal gesproken niet expliciet meegenomen.

Voor berekeningen van overstromingsgevolgen wordt in Nederland vaak de Schade- en Slachtoffer Module 2017 gebruikt (SSM-2017³). Deze applicatie kan op basis van de uitvoer van een overstromingsmodel met de waterdiepte, stijgsnelheid en stroomsnelheid de bijbehorende gevolgen berekenen (schade, getroffen, slachtoffers, getroffen kwetsbare objecten).

³ <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/aanleg-onderhoud/aanleg-onderhoud/schade-slachtoffer/>

Dit rapport is met name gericht op het identificeren en meewegen van factoren die van invloed zijn op het ontstaan van slachtoffers. Die factoren zijn weergegeven in Figuur 3.1. Het aantal slachtoffers is met name afhankelijk van (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016):

- Het aantal inwoners in het getroffen gebied
- Het verloop van de evacuatie voorafgaand aan een dijkdoorbraak.
- De mortaliteit van de achterblijvers, die afhankelijk is van:
 - Het overstromingsverloop (aankomsttijd, stijgsnelheid, stroomsnelheid, maximale waterdiepte).
 - Het gedrag van mensen in het overstroomde gebied, huissterkte, de effectiviteit van reddingsacties, hoeveel mensen naar veiliger plekken weten te vluchten en de kwetsbaarheid van achterblijvers (bijv. gezondheid, leeftijd, gebiedskennis).



Figuur 3.1 Overzichtsweergave van factoren die van invloed zijn op slachtofferaantallen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016).

Het is vaak niet mogelijk al deze factoren te gebruiken, omdat daarvoor simpelweg geen gegevens zijn. Daarom moeten vereenvoudigingen en aannames gedaan worden. Zo wordt bijvoorbeeld het aantal inwoners per postcodegebied gebruikt, zijn er voor verschillende regio's in Nederland evacuatieschattingen gemaakt en is de kans op 1, 2, 3 of 4 dagen beschikbare tijd en ook de kans op een onvoorziene overstroming met behulp van expert schattingen benaderd (Maaskant et al., 2009).

De mortaliteitsberekeningen waarmee op basis van de overstromingskenmerken bepaald kan worden hoeveel van de achterblijvers naar verwachting slachtoffer worden zullen hieronder in detail worden beschreven. Omstandigheden als gedrag waaronder vluchten, mogelijkheden veilig te schuilen binnen het overstroomde gebied, huissterkte en de kwetsbaarheid van achterblijvers worden veelal niet expliciet meegenomen in de huidige praktijk, omdat verondersteld wordt dat deze reeds impliciet opgenomen zijn in de bestaande mortaliteitsfuncties. Voor achtergronden bij de functies en de gebruikte data die ingezet worden voor beleidsmatige analyses zoals de normering wordt verwezen naar Jonkman (2007) en Maaskant (2009). Daarnaast bestaan ook ruimtelijk gedifferentieerde functies zoals beschreven in Pleijter en Kolen (2016). Hierop wordt ingegaan in 3.2.5.

Hieronder zal per functie worden toegelicht wat deze beschrijft en welke gegevens gebruikt zijn om de functie af te leiden. De functies zijn met name afgeleid op basis van de watersnoodramp van 1953. Dit was een stormevent, waarbij in de nacht grootschalige overstromingen op zijn getreden waardoor veel mensen verrast werden en veel gebouwen zijn ingestort. Die omstandigheden zijn relevant, omdat door deze factoren niet expliciet te maken maar impliciet te laten er een mate van vergelijkbaarheid verondersteld wordt met toekomstige overstromingen voor die impliciete factoren.

Er zijn naast deze functies ook functies die differentiëren naar de toestand en locatie van getroffenen, zogenaamde gedifferentieerde slachtofferfuncties (Kolen, Maaskant en Pleijter, 2014). Deze worden vervolgens ook beschreven.

De basis van vier functies waarvan er drie zijn weergegeven zijn in Figuur 3.2 (uit De Bruijn en De Grave, 2022) :

1. De breszone: de zone met zeer grote stroomsnelheden en veel energie. In deze zone is het product van diepte en stroomsnelheid groter dan 7 m²/s en de stroomsnelheid groter is dan 2 m/s. In deze zone ontstaat soms een diep kolkgat (een wiel) en kunnen woningen instorten. Voor deze zone wordt de mortaliteit op 1 (of 100%) gesteld. Deze functie is vooral gebaseerd op literatuuronderzoek (Jonkman, 2007)

$$F_D = 1$$

2. De zone met snel stijgend water (zwart): Dit betreft de zone waarin de waterdiepte in minder dan 23 minuten stijgt van 0,02 m naar 1,5 m diepte (of: waarbij de stijgsnelheid over de eerste 1,5 m gemiddeld groter is dan 4 m/uur):

$$F_D(h) = \Phi_N \left(\frac{\ln(h) - \mu_N}{\sigma_N} \right) \quad F_D(h) = \Phi_N \left(\frac{\ln(h) - \mu_N}{\sigma_N} \right)$$

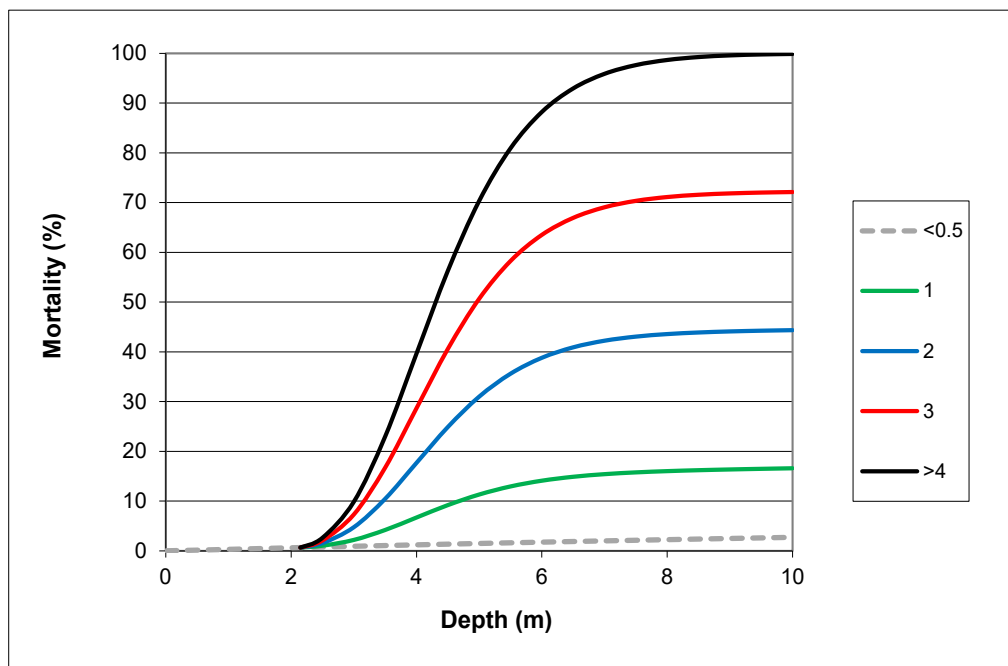
$$\mu_N = 1,46 \quad \sigma_N = 0,28 \quad \mu_N = 7,60 \quad \sigma_N = 2,75$$

3. Zone met zeer langzaam stijgend water (grijs): Dit betreft de zone waarin de waterdiepte na 3 uur nog geen 1,5 m bedraagt. De stijgsnelheid is hier dus kleiner dan 0,5 m/uur over de eerste 1,5 m waterdiepte.

$$F_D(h) = \Phi_N \left(\frac{\ln(h) - \mu_N}{\sigma_N} \right)$$

$$\mu_N = 7,60 \quad \sigma_N = 2,75$$

4. De overgangszone (groen, blauw, rood): In deze zone ligt de stijgsnelheid tussen 0,5 en 4 meter per uur. Hiervoor wordt de mortaliteit lineair geïnterpoleerd tussen de zones met snel en zeer langzaam stijgend water op basis van de waarde voor stijgsnelheid. Dit is weergegeven voor 3 tussenliggende stijgsnelheden in Figuur 3.2.



Figuur 3.2 De in SSM2017 gebruikte mortaliteitsfuncties. Op basis van de overstromingskenmerken wordt tussen deze functies lineair geïnterpoleerd. (De Bruijn en van Kester, 2015)

3.2 Achtergrond van de verschillende slachtofferfuncties

In Jonkman (2007) worden bovenstaande functies in detail toegelicht en onderbouwd. In dit hoofdstuk is per functie samengevat wat deze beschrijft en hoe deze onderbouwd is. De achtergronden en onderbouwing van de functies zijn relevant aangezien factoren die impliciet onderdeel zijn van de functies hierdoor vergelijkbaar verondersteld worden met de situatie en omstandigheden die gebruikt zijn voor het afleiden van de functies. Concreet betekent dat bijvoorbeeld dat verondersteld wordt dat bij een nieuw hoogwater mensen niet goed bereikt kunnen worden (dat kon in 1953 immers ook moeilijk). Of dat bij vergelijkbare omstandigheden net zo veel mensen zouden overlijden vanwege instorting van gebouwen als in bijv. 1953, ondanks constructief sterkere bebouwing. Dit laatste punt is ook door Jonkman (2007) al beschreven.

In het algemeen is de vraag hoe vergelijkbaar omstandigheden in het heden zijn met de omstandigheden van ~70 jaar geleden. Sindsdien zijn naast nieuwe communicatiemogelijkheden en sterkere gebouwen ook operationele hoogwater-waarschuwingssystemen waardoor eerder en effectiever gewaarschuwd kan worden. Ook zijn mensen enerzijds mogelijk minder omgevingsbewust en zelfredzaam maar anderzijds wel mobieler, en zijn bevolkingsdichtheid en ruimtelijke spreiding veranderd.

Daarbij is ook noemenswaardig dat veel van de datapunten achter de functies voor snel stijgend water en zeer langzaam stijgend water storm-events zijn (Typhoon Muroto 1934, Typhoon Jane 1950, Watersnood 1953 (Nederland en Verenigd Koninkrijk), Ise Bay Typhoon 1959 en Hurricane Betsy 1965) terwijl de functies ook voor rivieroverstromingen toegepast worden.

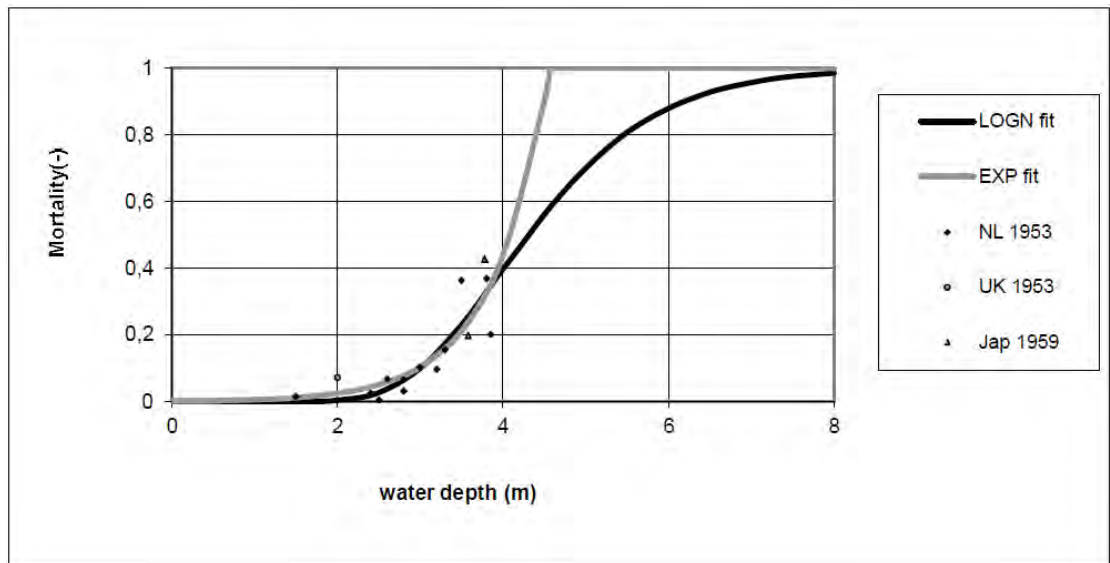
3.2.1 De breszone:

De achtergrond van de mortaliteitsfunctie voor de breszone is literatuur rond stabiliteit van mensen en gebouwen. Met name vanwege de volledige instorting van huizen en shelters en de overstromingsomstandigheden die het voor mensen onmogelijk maken buiten gebouwen te verblijven of te vluchten naar veilige hoger gelegen gebieden.

Vandaar ook dat in deze omstandigheden uit wordt gegaan van de hoogst mogelijke mortaliteit van 1 (of:100%). Deze aanname is enigszins conservatief, omdat ook in extreme omstandigheden zoals nabij de bres er enige kans is te overleven.

3.2.2 Zone snel stijgend water:

Snel stijgend water kan mensen verrassen en ze kunnen opgesloten raken in lagere verdiepingen of kelders. Het gevaar is vooral groot als het water snel stijgt en de waterdiepte groot wordt, omdat ook hoger gelegen verdiepingen dan kunnen overstromen, omdat gebouwen bij dergelijke omstandigheden kunnen instorten en omdat instorting van gebouwen gevaarlijk is voor mensen die zich in en nabij gebouwen bevinden. De basis van deze functie is met name de Watersnoodramp in Nederland (1953; 12 locaties) en het Verenigd Koninkrijk (1953; 1 locatie), en Japan (1959; 2 locaties). De datapunten waarop deze functie gebaseerd is zijn weergegeven in Figuur 3.3.



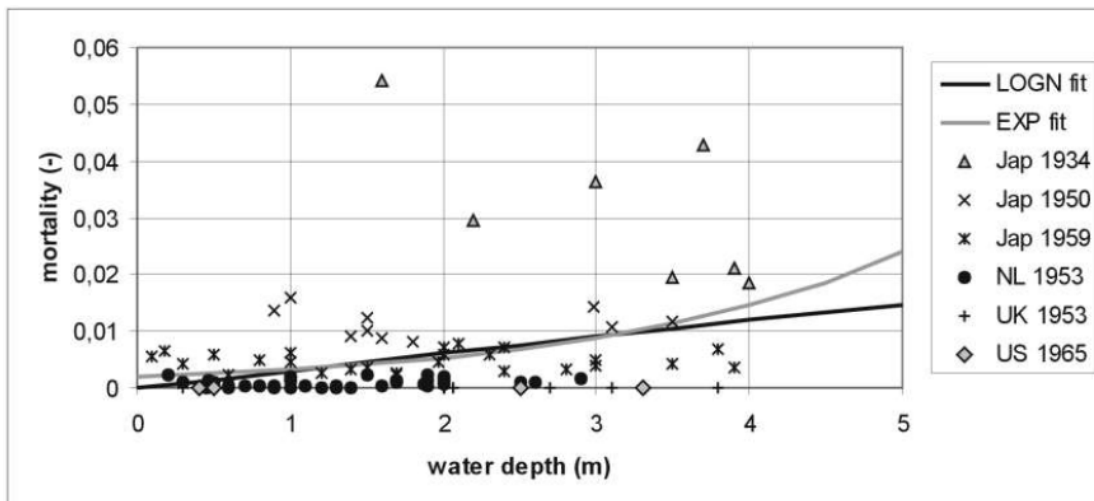
Figuur 3.3 Relatie tussen mortaliteit en waterdiepte voor gebieden met een hoge stijgsnelheid (lognormale fit wordt gebruikt in de standaard Nederlandse functies). ($R^2 = 0,76$) (Jonkman, 2007)

In 1953 was de aankomsttijd vaak kort op plaatsen waar de stijgsnelheid groot was. Deze twee factoren hingen dus met elkaar samen. Voor dit event volstaat het dus om één van de twee factoren (in de praktijk nu stijgsnelheid) te gebruiken om gevaarlijke plekken te identificeren. In andere gebieden en events waar de aankomsttijd lang is maar de stijgsnelheid hoog, kan de bijbehorende mortaliteit er echter wel anders uitzien.

Ook de bouw kwaliteit van gebouwen waarin geschuid wordt is erg belangrijk. Slager (1992) concludeert dat veel slachtoffers vielen vanwege instorting. Asselman (2005) heeft deze relatie ook gevonden en beschreven. Vooral voor events en locaties waar niet gewaarschuwd is voorafgaand aan een overstroming is gebouwsterkte een belangrijke factor in mortaliteit (van Kester en de Bruijn, 2015).

3.2.3 Zone met zeer langzaam stijgend water

Voor het afleiden van de functie voor zeer langzaam stijgend water zijn onderstaande datapunten (zie figuur Figuur 3.4) gebruikt. Bij langzaam stijgend water is het beter mogelijk om tijdens de overstroming een veilige plaats te bereiken en is instorting minder waarschijnlijk. Overlijden komt vooral voor indien mensen al verzwakt zijn, indien mensen niet in staat zijn een veilige plaats te bereiken of indien zij langdurig in het overstroomde gebied of in een shelter moeten verblijven.



Figuur 3.4 Relatie tussen mortaliteit en waterdiepte voor gebieden met zeer langzaam stijgend water. ($R^2=0,09$) (Jonkman, 2007)

3.2.4 Discussie en aanbevelingen bij voorgaande slachtofferfuncties

De voorgaande drie functies en hun basis zijn destijds door de maker van een aantal commentaren en aanbevelingen voorzien, namelijk:

- Een veilige bestemming en waarschuwing is van groot belang. Daar waar tijdig gewaarschuwd kon worden is de mortaliteit in de zone met zeer langzaam stijgend water merkbaar lager. Daar waar de mortaliteit zeer hoog was (Japan, 1934) is slecht of niet gewaarschuwd. Voor de zone met snel stijgend water was in de data geen voorbeeld beschikbaar waar preventief geëvacueerd is of enkele uren voor de overstroming gewaarschuwd is.
- Daar waar overstromingen leiden tot instorting en dus verlies van een veilige schuilplaats is de mortaliteit hoog. Vooral bij onverwachte en ernstige overstromingen zoals de watersnoodramp in 1953 is gebouwssterkte een belangrijke oorzaak geweest van de hoge mortaliteit. Dit is in overeenstemming met mortaliteit bij andere oorzaken van instorting zoals door aardbevingen of windbelasting.
- Er wordt ook een slachtofferfunctie voor Nederland op basis van instorting afgeleid voor de zone met snel stijgend water en de zone met zeer langzaam stijgend water. Met name in de zone met snel stijgend water is de correlatie tussen instorting en mortaliteit groot ($R^2=0,73$). Vervolgens is de toegenomen gebouwenkwaliteit (57% beter (Asselman, 2005)) gebruikt om een nieuwe functie af te leiden voor Nederland (lognormale functie met $\mu_n 1,68$ en $\sigma_n 0,37$). Hier bleek echter niet goed mogelijk een relatie tussen waterdiepte of stroomsnelheid en instorting af te leiden, waardoor alsnog geen functies afgeleid zijn waarmee op basis van overstromingskenmerken instorting en vervolgens mortaliteit bepaald kan worden.

Uit onderzoek blijkt dat in 1953 veel slachtoffers vielen door instorting van huizen. Uit onderzoek naar de gebouwssterkte blijkt echter dat de kans dat moderne betonnen huizen instorten veel kleiner is, wat tot lagere mortaliteitswaarden kan leiden. Ook modernere en snellere manieren om te waarschuwen en informeren zullen naar verwachting tot lagere mortaliteitswaarden leiden, en ook in gebieden met aankomsttijden in de orde van meerdere dagen vallen lagere mortaliteitswaarden te verwachten gezien de grote hoeveelheid tijd om na het ontstaan van een bres veilig het gebied te verlaten.

De inzichten uit literatuur en bevindingen in onderzoek dat binnen de kennisalliantie is uitgevoerd worden in dit rapport vergeleken met de praktijk zoals waargenomen tijdens het hoogwater van Juli 2021 in Duitsland, België en de Nederlandse provincie Limburg. Zo wordt bijvoorbeeld gekeken of de waargenomen mortaliteit aansluit op de verwachtingen gegeven de waterdiepte, stijgsnelheid en stroomsnelheid, of instorting van huizen inderdaad in modernere gebouwen waaronder betonnen constructies niet of pas veel later optreed, en of die instorting inderdaad sterk gecorreleerd is aan hogere mortaliteitswaarden.

3.2.5 Gedifferentieerde (PBL) functies: Onderscheid naar de locatie en toestand van getroffen

In deze aanpak (HKV, 2016) wordt zoals de titel beschrijft onderscheid gemaakt naar locatie en toestand van de getroffen. Er wordt onderscheid gemaakt in slachtoffers:

- bij preventieve evacuatie
- die tijdens evacuatie getroffen worden
- in schuilplaatsen
- onder thuisblijvers, waarbij voorbereid en niet voorbereid worden onderscheiden

De mortaliteitswaarde is per groep verschillend. Bij preventieve evacuatie wordt uitgegaan van 0,001% en 0,05% als mortaliteit voor de mensen die in een schuilplaats getroffen worden. Voor mensen die tijdens evacuatie getroffen worden wordt verondersteld dat de getroffene 5x kwetsbaarder is dan het gemiddelde van het gehele getroffen gebied, waardoor het mortaliteitspercentage ook 5x hoger zal zijn. Voor de categorie “Thuisblijvers” wordt uitgegaan van de huidige slachtofferfuncties als in Jonkman (2007) en Maaskant et al. (2009).

Dit onderscheid draagt bij om verschillende ruimtelijke strategieën te testen. Met beter inzicht in de locatie en toestand van getroffen maakt het mogelijk om het effect van verschillende ruimtelijke evacuatie strategieën te berekenen en toetsen.

Het genoemde rapport beveelt aan om de omstandigheden waarbij slachtoffers vallen vast te leggen en op te slaan in een database. Deze database is inmiddels gebouwd en online⁴. Die aanbeveling wordt opgevolgd, en de gegevens die verzameld zijn van het hoogwater van juli 2021 zullen aan deze database worden toegevoegd.

⁴ <http://floodfatalities.tudelft.nl/floodfatality/>

4 Links met andere producten: Flood Fatality Database & Evacuatiegedrag Zuid-Limburg

Zoals genoemd in de inleiding is in 2016 de kennisalliantie opgericht voor het vergaren en verbeteren van kennis rondom slachtoffers en evacuatie bij overstromingen. In 2017 een database voor slachtoffer- en evacuatiegegevens ontwikkeld, waarna er in de vijf opeenvolgende jaren steeds een nieuw aspect binnen de kennisvraag behandeld is. Hieronder worden de database en het onderzoek naar evacuatiegedrag in Limburg uit 2022 kort beschreven.

4.1.1 Flood fatality database (2017 - 2019)

In 2017 is als eerste project van de Kennisalliantie een Flood Fatality database (<http://floodfatalities.tudelft.nl/floodfatality/>) opgezet. In de opvolgende jaren is de database verder ontwikkeld en gevuld en zijn er recente events toegevoegd. Deze database is gevuld met data van recente en toekomstige overstromingen in met name westerse gebieden (met en zonder slachtoffers). Deze eventdatabase is beoogd om beantwoording van toekomstige (en al in kaart gebrachte) onderzoeksvragen en slachtofferanalyses te ondersteunen met nieuwe gegevens die door de kennisalliantie maar ook door partners en onafhankelijke gebruikers is toegevoegd.

De database dient als basis voor de kennisalliantie en kan gebruikt worden om een antwoord te vinden op de vraag *in welke omstandigheden slachtoffers vallen* en hoe crisismanagement, waarschuwingen en crisiscommunicatie hierin een rol spelen. Daartoe bevat de database informatie over de overstromingskarakteristieken, voorbereiding, waarschuwing & communicatie, evacuatie, gebiedskenmerken, en schade en slachtoffers. De gegevens van het hoogwater van juli 2021 die in dit rapport gepresenteerd zijn zullen ook aan deze database worden toegevoegd zodat deze door ons en anderen gebruikt kunnen worden in toekomstig onderzoek.

4.1.2 Evacuatiegedrag van individuele personen tijdens de overstromingen in Limburg

In 2022 is binnen de kennisalliantie door Rudolph, van den Berg en Kolen (2022) met name op basis van interviews in kaart gebracht wat de ervaringen van verschillende individuen waren tijdens het hoogwater. Hierin wordt onder andere geconcludeerd dat inclusieve (toegankelijke, begrijpelijke en bruikbare) informatie en waarschuwen belangrijk is, dat het effectief is specifiek aandacht te besteden aan kwetsbare mensen en groepen (zoals mensen met fysieke en mentale gezondheidsklachten) en de inzet van buurt- en mantelzorgnetwerken om deze mensen in veiligheid te brengen. Voor een volledige weergave van de bevindingen zie Rudolph, van den Berg en Kolen (2022).

De relevantie van deze conclusies wordt onderschreven door de informatie in de rest van dit rapport. Zo is de mortaliteit in België en Duitsland hoog onder kwetsbare groepen, en nog hoger daar waar beperkte capaciteit was bij (mantel)zorgers om hen te helpen. Ook is de mortaliteit hoger geweest daar waar waarschuwingen niet of pas toen de omstandigheden al levensbedreigend waren zijn afgegeven. Verder had risicobewustzijn tot minder gevaarlijk gedrag kunnen leiden, waarmee de mortaliteit onder de groep mensen die fysiek en mentaal geen verhoogde kwetsbaarheid heeft kan worden verlaagd.

5 Beschouwing bestaande slachtofferfuncties ten opzichte van waarnemingen zomerhoogwater

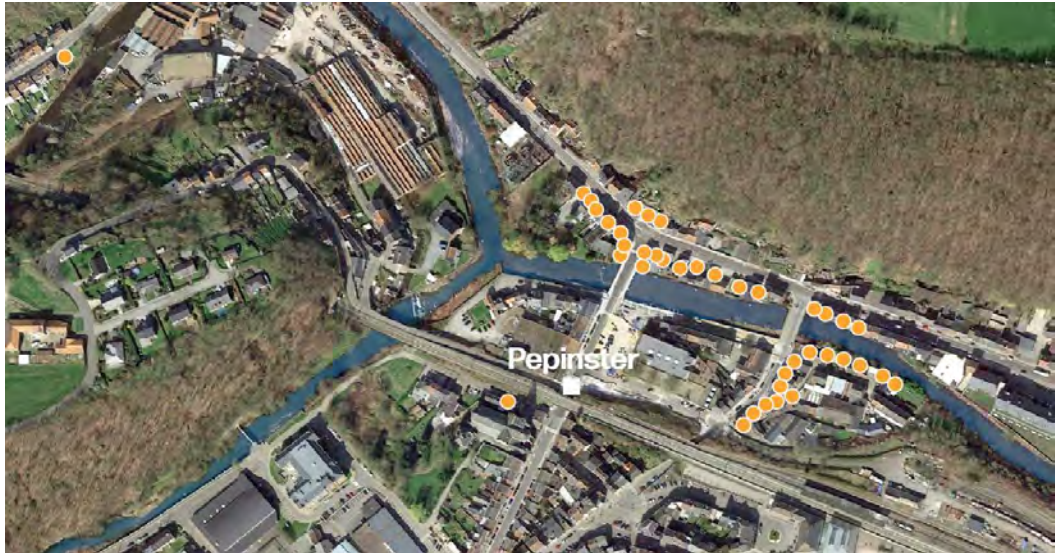
Met behulp van informatie over slachtoffers, schade en overstromingskenmerken van het zomerhoogwater 2021 wordt er in dit hoofdstuk een link gelegd met de huidige Nederlandse schade en slachtofferfuncties. Op basis van de beschikbare informatie is er gekozen om te focussen op twee relaties: de relatie tussen instorting en mortaliteit en de algemene overstromingskenmerken (waterdiepte, stijgsnelheid, stroomsnelheid) en mortaliteit. Waar informatie beschikbaar is gekomen over andere factoren die relevant zijn voor de mortaliteit is deze ook beschreven.

5.1 Gebouwsterkte en mortaliteit

Op basis van openbaar beschikbaar beeldmateriaal is een overzicht gemaakt van ingestorte huizen in de zwaarst getroffen regio's. Dit zijn district Ahrweiler (Duitsland) en het Vesdredal (België). Hier is gekeken naar de locatie, het type bouw en waar mogelijk het proces van instorting van het huis. Daarnaast is er ook gekeken naar de status en type bouwstijl van omliggende huizen die niet ingestort zijn. Momenteel bestaat deze verzameling uit 15 gelocaliseerde punten voor Duitsland en 7 voor België (zie bijlage A.2). Hierin zijn geen huizen opgenomen die wel zwaar beschadigd zijn geraakt maar niet zijn ingestort.

Op basis van satellietdata van voor en na de overstromingen is goed te zien dat er op veel locaties inmiddels huizen gesloopt zijn of aangewezen zijn om gesloopt te worden. In Figuur 5.1 is het voorbeeld van het Belgische dorp Pepinster gegeven. Hieronder toegelicht middels een citaat uit VRT van 24 juli 2021:

Een schrijnend voorbeeld van slachtoffers die door instorting van huizen om het leven zijn gekomen komt uit Pepinster: *“Buurvrouw Paulette (84) voelde zich met de overstromingen niet meer veilig in haar flat. Arlette (73) heeft zich dan maar over Paulette ontfermd. Toen ook Arlettes appartement te gevaarlijk werd, zijn ze samen gevlucht naar de trappenhal van het gebouw. Hoog genoeg voor het water, maar dat was buiten de stabiliteit van het gebouw gerekend. Door de hevige stroom van het water is eerst het huis van de burens en daarna hun gebouw ingestort.”* – [VRT 24-07-2021](#)



Figuur 5.1 Locatie van zwaar beschadigde huizen die als gevolg van de overstromingen gesloopt dienen te worden. Pepinster, België. Bron: <https://www.vrt.be/vrtnews/nl/2021/07/30/burgemeester-pepinster-beveelt-afbraak-van-50-tal-woningen-na-zw/>

5.1.1 Link instorting en slachtoffers

Door het combineren van de ruimtelijke instortingsdata met de hoeveelheid slachtoffers per gemeente is de link tussen instortingen en mortaliteit geanalyseerd. Dit is terug te vinden in de meegeleverde GIS-omgeving (Bijlage A.3). Hieruit komt geen eenduidige relatie tussen instorting en hoge mortaliteit naar voren. Er zijn gemeenten met een hoge mortaliteit en veel ingestorte gebouwen, hoge mortaliteit met weinig ingestorte gebouwen en lage mortaliteit met veel ingestorte gebouwen.

Een voorbeeld hiervan is het Duitse dorp Schuld. Hier zijn vier instortingen bekend, echter zijn hier geen slachtoffers gevallen. Andersom geldt voor de plaats Bad Neuenahr-Ahrweiler. Hier zijn wel 69 slachtoffers gevallen, maar in het dorp zelf zijn zover bij ons bekend geen gebouwen ingestort. In België zijn echter voorbeelden waar het wel blijkt dat slachtoffers juist daar vielen op locaties waar veel gebouwen zijn ingestort.

Het voorbeeld voor Pepinster (paragraaf 5.1) is het enige bekende geval waar personen als direct gevolg van instorting zijn overleden. Voor Duitsland is er (vrijwel) geen openbare informatie over de doodsoorzaken van individuen. Hierdoor is het voor veel gevallen niet te zeggen waar de persoon zich op moment van overlijden bevond. In België is dit voor meerdere gevallen wel naar buiten gebracht via de media. Het kan dus zo zijn dat er in Duitsland weldegelijk mensen om het leven zijn gekomen als direct gevolg van instorting, echter is dit met de beschikbare data niet te bevestigen of uit te sluiten.

5.1.2 Constructieve kenmerken en locatie

Alle bij ons bekende ingestorte huizen staan binnen een afstand van 100 m van de Ahr of Vesdre. Het grootste deel staat zelfs binnen 50 m van de rivier (16 van 22, zie GIS). Ook valt op dat de meeste ingestorte huizen zich op de oorspronkelijke overstromingsvlakte van de rivier of nabij vernauwingen bevonden. Deze overstromingsvlaktes bevinden zich aan de binnenbocht van de rivier en bieden ruimte voor bebouwing. Doordat deze overstromingsvlakte lager liggen dan de gronden aan de buitenbocht zal bij de waargenomen waterstanden de rivier aan de binnenzijde eerder buiten haar oevers treden. Hierdoor zal er meer energie en ook puin over de overstromingsvlakte zijn getransporteerd wat resulteert in de bovenstaande observatie.

De corresponderende bouwtype is als volgt:

Tabel 5.1 Type bouwstijl van ingestorte huizen en huizen in omgeving

Type bouw	Ingestorte gebouwen	Naastgelegen niet ingestorte gebouwen
Vakwerk	1	0
Houtskelet	2	0
Enkelsteens metselwerk	7	5
Dubbel/Meersteens metselwerk	3	6
Betonbouw/metselwerk ⁵	4	7
Prefab	0	0
Anders	0	0
Niet te zeggen	5	4

Tabel 5.2 Voorkomen van soort instorting

Type instorting	Voorkomen instorting
Instorting gevel (uit het vlak bezwijken)	10
Instorting dak	1
Ondergraving fundering	3
Volledig ingestort	8
Anders	0

Op de foto's is te zien dat vaak individuele huizen zijn ingestort. De huizen die er omheen staan zijn dan vaak wel beschadigd maar niet ingestort. Het is niet goed mogelijk om op basis van foto's te bepalen wat het exacte bouwtype van deze omliggende huizen is. Op basis van gebouwkennis en het analyseren van meerdere vergelijkbare huizen is er een inschatting gemaakt. Hieruit komt naar voren dat voor het merendeel van de huizen geldt dat het ingestorte huis minder sterk was dan de omliggende huizen (bijvoorbeeld vakwerk houtskeletbouw tussen betonnen gebouwen). Op basis van de beschikbare informatie is er geen eenduidige link te leggen tussen het type bouw en het type van instorting. De locatiet.o.v. de rivier en specifieke lokale kenmerken lijken hierin bepalender dan het type bouw. Op plaatsen waar veel drijfvuil is waargenomen komt instorting door het uit het vlak bezwijken van wanden logischerwijs wel vaker voor, vanwege de extra belasting van de wand door het drijfvuil.

5.1.3 Link met Nederlandse gebouwen

Nederland heeft over het algemeen een andere bouwstandaard dan dat bij de ingestorte huizen in Duitsland en België te zien is. Het gebruik van spouwmuren en bouwen op heipalen wordt in Nederland bijvoorbeeld breed toegepast, met name in het overstroombare laaggelegen gebied. Dit zorgt voor extra stabiliteit en sterkte in de fundering en wanden. Bij de analyse van instortingen is in België één geval van constructieve schade opgemerkt in een metselwerkwooning met spouwmuur vergelijkbaar met de Nederlandse bouwstijl, maar hier was geen sprake van instorting of overlidensrisico ten gevolge van instorting.

⁵ Het is op basis van beeldmateriaal niet altijd te zeggen welk constructiemateriaal gebruikt is

De ingestorte huizen zullen naar alle waarschijnlijkheid niet veel in Nederland staan. 7 ingestorte huizen werden geclassificeerd als “enkelsteensmetselwerk”. Dit valt te vergelijken met de ingestorte huizen in Zeeland tijdens de Watersnoodramp (1953), ondanks vaak een geringere muurdikte in Zeeland destijds. Van de huizen die rondom de ingestorte huizen wordt op basis van beeldmateriaal ervan uitgegaan dat deze van een betere bouwkwaliteit zijn. Ondanks dat deze op ongeveer dezelfde locatie stonden, en dus op hoofdlijnen vergelijkbare hydraulische condities hebben doorstaan, zijn deze niet ingestort.

In de Nederlandse Delta zijn omstandigheden waarin langdurig zeer hoge stroomsnelheden en waterdieptes voorkomen vaak erg lokaal. Deze kunnen bijvoorbeeld voorkomen dichtbij een bres. Daar kan instorting dus zeker voorkomen. Op meer afstand van de bres zijn de omstandigheden die leiden tot instorting van moderne bouw minder waarschijnlijk en zal instorting naar verwachting weinig voorkomen (Asselman, 2005, Jonkman 2007).

5.1.4 **Conclusies gebouwsterkte, instorting en mortaliteit**

De combinatie van de locatie en de gebouwsterkte is bepalend voor de kans op instorting. Op basis van het beeldmateriaal is met name het door water meegenomen puin (bomen, rotsen, auto's etc.) in combinatie met het snelstromende water de grootste oorzaak van schade aan de huizen en instorting. Groot puin dat door de rivier wordt meegevoerd en aan de binnenbocht van de rivier wordt neer gelegd. Dit kan verklaren dat de meeste ingestorte huizen in de binnenbocht van de rivier stonden. Een goed voorbeeld hiervan is de ravage in het Duitse dorp Schuld in het Ahrdal. Een combinatie van ligging/locatie en geluk/pech zijn dus in grote mate bepalend voor het al dan niet instorten van gebouwen.

In de beschouwde data is voor twee slachtoffers vastgesteld dat zij om het leven gekomen zijn als direct gevolg van instorting van het pand waarin zij aan het schuilen waren. Voor de overige slachtoffers (waar de doodsoorzaak bekend is) die in hun huis zijn omgekomen was de doodsoorzaak verdrinking omdat ze niet naar een veilige hogere verdieping of dak konden komen.

Op basis van de beschikbare data is het dus onmogelijk een duidelijke relatie te leggen tussen instorting en mortaliteit en constructieve eigenschappen en kans op instorting. Hogere mortaliteitswaarden komen voor met en zonder instorting, en zowel stevige als kwetsbare constructies zijn ingestort. Een combinatie van zeer lokale kenmerken, gebouw-specifieke kenmerken en geluk of pech lijken belangrijke factoren te zijn.

Voor een volledig beeld van de beschouwde instortingen wordt verwezen naar bijlagen A.2 en A.3 en de bijbehorende bestanden.

5.2 **Mortaliteit en overstromingskenmerken**

In de huidige mortaliteitsfuncties is de combinatie van stijgsnelheid, waterdiepte en stroomsnelheid bepalend voor de mortaliteit. In deze paragraaf wordt gepoogd aan de hand van voorbeelden uit het Ahrdal, Veldredal en Zuid-Limburg deze functies toe te passen op de daadwerkelijke gebeurtenissen. Deze gebieden zijn namelijk het zwaarst getroffen van het respectievelijke land en voor deze gebieden is ook de meeste informatie voorhanden. Ook wordt gekeken naar locaties waar meer of minder slachtoffers gevallen zijn dan verwacht en of er factoren aan te wijzen zijn die hieraan ten grondslag liggen.

5.2.1 Duitsland: Ahrdal (district Ahrweiler)

In het Ahrdal zijn in totaal 130 (134)⁶ personen overleden als direct gevolg van de overstromingen. Naar schatting zijn er zo'n 42.000 mensen getroffen op een totale bevolking van 57.500 mensen (SWR, 2021c; RLP, 2021a). Dit komt neer op een gemiddelde mortaliteit van 0,3% verspreid over het 90 km lange Ahrdal. Van de slachtoffers was zo'n 80% 60 jaar of ouder.

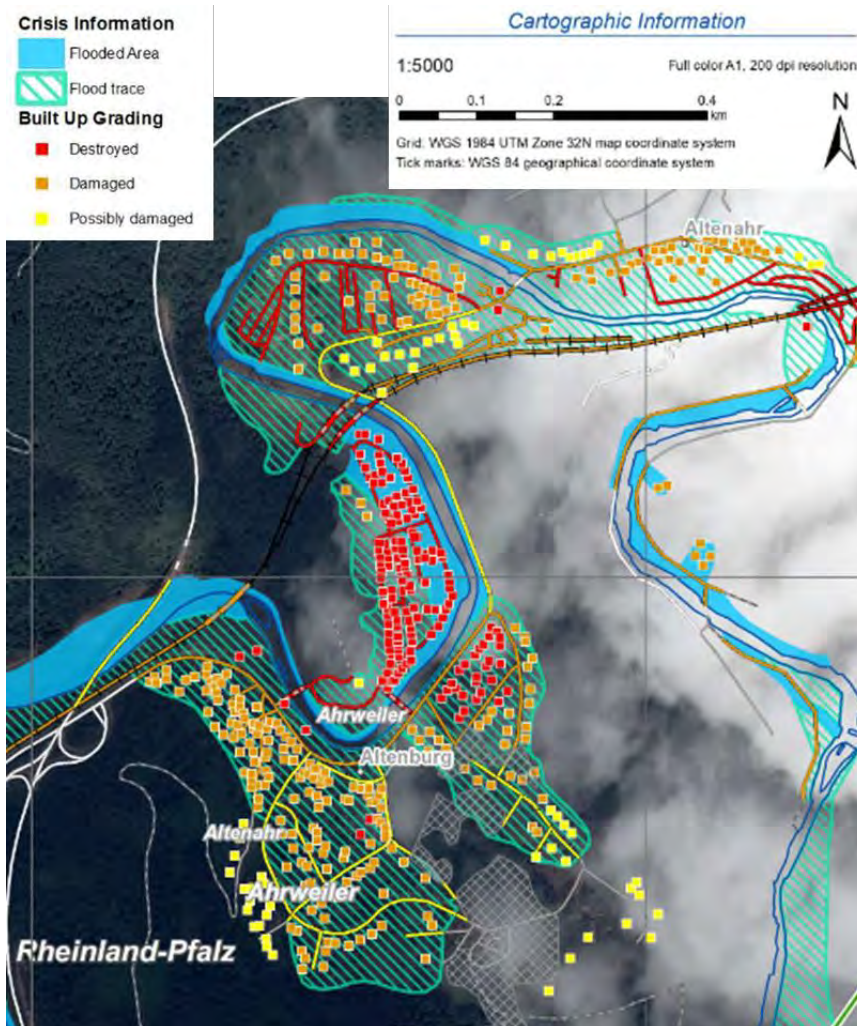
Dat er zoveel mensen getroffen zijn kan worden toegewezen aan met name twee factoren: 1) het te laat waarschuwen en 2) de locaties van de gebouwen waar deze mensen verbleven. Pas op 14 juli om 23:09u werd de eerste oproep tot evacueren gedaan. Deze was gericht aan de benedenstroomse dorpen (Bad Neuenahr-Ahrweiler en Sinzig) en had als boodschap dat iedereen die zich binnen 50 m van de Ahr bevond moest evacueren. Op dat moment bereikte het water verder bovenstrooms in de vallei al bijna het hoogste punt. De mensen die bovenstrooms woonden kregen het advies om hun huis niet meer te verlaten, maar naar een hogere verdieping te gaan (SWR, 2021a; Die RheinPfalz, 2021).

Na het hoogwater is er door het staatsbureau voor statistiek een studie gedaan waarin bepaald is hoeveel mensen er binnen een afstand van 200 m van de Ahr wonen. Aan het begin van het jaar woonden in totaal ongeveer 57.500 mensen in de 17 Ahr-gemeenschappen, van wie ongeveer 14.700 op minder dan 200 meter van de Ahr wonen (26%). Minstens een kwart van de inwoners van deze gemeenschappen werd alleen al door de nabijheid van de Ahr zwaar getroffen. In Bad Neuenahr-Ahrweiler (ca. 6900) en in Altenahr en Sinzig (elk ca. 1200) is het aantal mensen dat nabij de rivier woont het hoogst. Aan het begin van het jaar woonde ongeveer 95% van de inwoners op minder dan 200 meter van de rivieroever. In de gemeenten Müsch (80%) en Fuchshofen (77%) woont ook de meerderheid van de inwoners heel dicht bij de rivier. Uiteraard lopen inwoners die buiten een straal van 200 m van de Ahr wonen nog steeds gevaar bij een komend hoogwater (RLP, 2022a).

5.2.1.1 Mortaliteit op basis van slachtofferfuncties (Altenahr)

De gemiddelde mortaliteit voor het Ahrdal is 0,3%, echter zijn de fysische condities niet overal hetzelfde in het gehele dal. Daarom wordt hier verder ingezoomd op de gemeente Altenahr. In dit zwaar getroffen dorp woont 64% van de mensen binnen 200 m van de rivier van de totaal 1592 inwoners (RLP, 2022b). In totaal zijn hier als gevolg van het hoogwater 10 personen om het leven gekomen (SWR, 2021). Dit komt neer op een mortaliteit van 0,6% (uitgaande dat alle inwoners getroffen zijn). Dat is twee keer zo veel als gemiddeld in het Ahrdal. Figuur 5.2 geeft de omvang en schatting van de impact van de overstroming weer voor Altenahr. Deze inschatting is door het CEMSR gemaakt op basis van satellietdata daags na de overstroming. Figuur 5.4 geeft een beter beeld van de ruimtelijke omvang van het overstromt gebied op basis van een overstromingskaart met een afvoergolf anderhalf keer groter dan de 1:100 afvoer in de Ahr (HQ-extrem).

⁶ Vier van de in totaal 134 slachtoffers zijn naderhand omgekomen door zelfdoding maar worden in de officiële telling bij het totaal gevoegd. Voor een inschatting van de mortaliteit worden deze personen echter niet meegenomen omdat ze niet zijn omgekomen als direct gevolg van de overstroming.



Figuur 5.2 Getroffen gebied rondom Altenahr. Deze kaart geeft het overstroomde gebied weer. Ook is er op basis van satellietbeelden een schatting gemaakt van de (mate van) beschadigde infrastructuur. Deze kaart is een uitsnede van EMSR517_AOI15_GRA_MONIT01_r1_RTP04_v3. Deze kaarten zijn vervaardigd door Copernicus EMSR⁷

Overstromingskenmerken

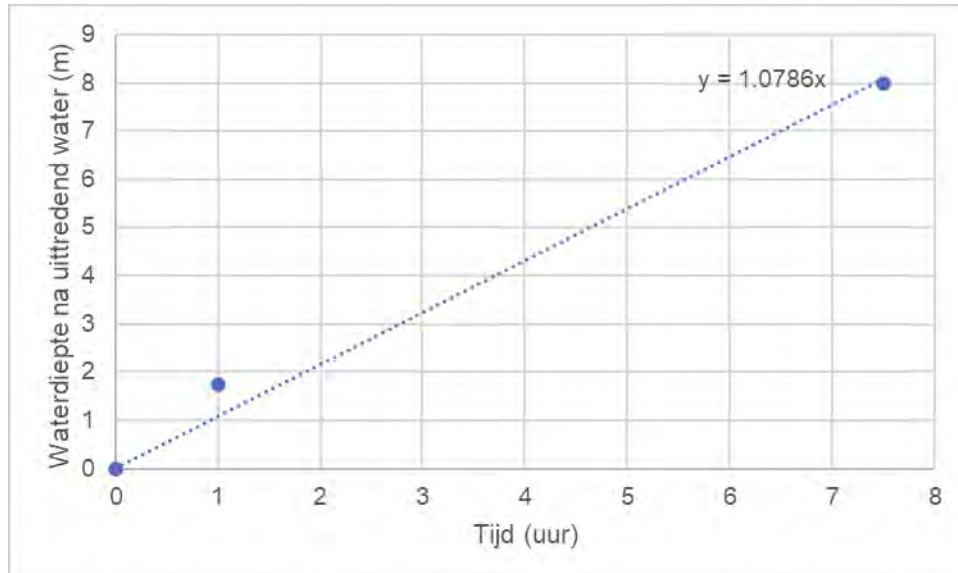
In Mohr et al. (2022) zijn ter hoogte van Altenahr, met behulp van modelberekeningen, de afvoergolven bepaald (Figuur 2.7). De piek was namelijk niet geregistreerd door de aanwezige meetapparatuur omdat de waterstanden en afvoer het meetbereik overstegen. De piek van de afvoergolf werd uiteindelijk bepaald op 10,8 m (waterdiepte) met een bijbehorende afvoer van $\pm 1000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Bij de huidige mortaliteitsfuncties wordt uitgegaan van de stijgsnelheid van de eerste 1,5 m na doorbraak/uittredend water. Uit een reconstructie van de ZDF is bepaald dat bij een waterstand van 2,8 m de Ahr buiten haar oevers trad ter hoogte van Altenahr en werden de eerste huizen getroffen (datapunt X=0; Y=0 in Figuur 5.3) (ZDF, 2022). De stijgsnelheid buiten de rivier zal licht lager zijn dan in de Ahr zelf vanwege het grotere stroomvoerend oppervlak, echter gezien het nauwe dal rond de Ahr op deze locatie (150-200 m) kan ervan uitgegaan worden dat de stijgsnelheid in het dal en de rivier vergelijkbaar zijn. Met behulp van bovenstaande methode is bepaald dat voor de eerste 1,5 m waterstandstijging vanaf 2,8 m waterdiepte [2,8 tot 4,3m], de stijgsnelheid zo'n **1,75 m/uur** betrof.

⁷ <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR517>

Het tweede datapunt in Figuur 5.3 ($X=1$; $Y=1,75$) representeert de waterdiepte 1 uur nadat het water buiten de Ahr trad.

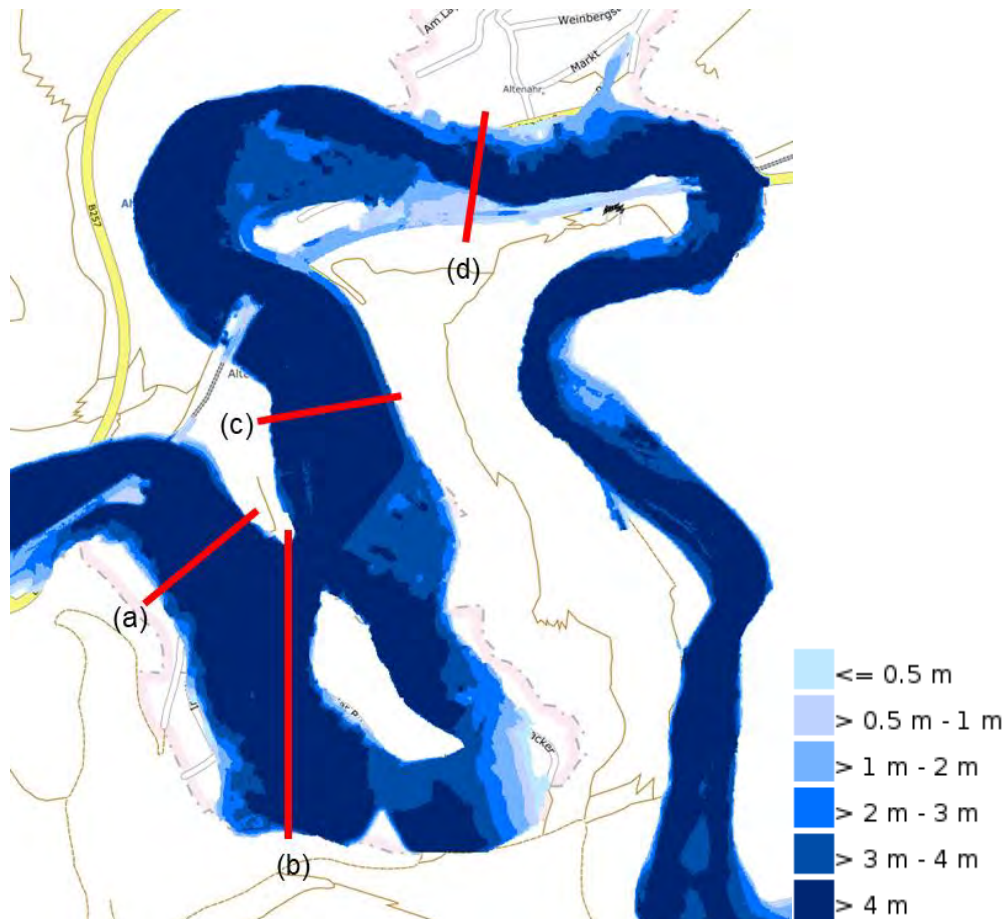
De maximale waterdiepte nam toe tot 10,8m. Dit zorgde voor een maximale waterstand tegen de gevels van de huizen van ± 8 m. Bij panden verder van de rivier af zal deze waterstand lager hebben gelegen door de vorm van het dal (Figuur 5.5). Over de gehele periode dat het water steeg was er buiten de oevers een stijging van zo'n 8 m over een periode van 7.5 uur wat neerkomt op een gemiddelde stijgsnelheid van 1,1 m/uur.



Figuur 5.3 Bepaling van stijgsnelheid periode na uittredend water is waargenomen nabij Altenahr.

Uitgaande van de gebruikte mortaliteitsfuncties in het overgangsgebied als weergegeven in Figuur 3.2 zal de verwachte mortaliteit tussen de 0% (ver van de rivier, waterdiepte <2 m) en 30% (dichtbij de rivier, waterdiepte 8 m) moeten liggen, uitgaande van een stijgsnelheid van 1,75 m/uur. Zoals te zien is in Figuur 5.5 is aan weerszijde van de Ahr de overstromingsvlakte geheel overstroomd met waterdieptes variërend tussen de 5 en 10 m. In het dal is er weinig hoogteverschil waardoor zowel huizen dichtbij als verder ver van de rivier getroffen zijn. Dichterbij de rivier waren de stroomsnelheden echter wel hoger waardoor de totale energie van het water tot meer schade en slachtoffers heeft geleid. Figuur 5.6 geeft een schatting van de ruimtelijke verdeling van de mortaliteit nabij Altenahr weer op basis van de gehanteerde slachtofferfuncties.

Mortaliteitsberekeningen op basis van stroomsnelheid, stijgsnelheid en waterdiepte met de functies uit Jonkman (2007) leiden tot grote gebieden met mortaliteitspercentages van 5 tot 30%, een groot verschil met de empirisch waargenomen 0,6%. De onder en bovengrens worden grotendeels bepaald door de combinatie van stijgsnelheid en waterdiepte. De stijgsnelheid zal in de lager gelegen delen hoger hebben gelegen. Bij waterdieptes variërend tussen de 2 en 6 m neemt de mortaliteit sterk toe, hoe hoger de stijgsnelheid, hoe groter deze toename (Figuur 3.2). In Figuur 5.5 is te zien dat de waterdieptes voornamelijk tussen de 4 en 8 m lagen. In combinatie met de stijgsnelheden tussen de 1,1 en 1,75 m/uur blijkt dat met het gebruik van de slachtofferfuncties dit resulteert in een sterke overschatting van de daadwerkelijke mortaliteit. Ondanks dat het grootste deel van de bebouwing in de 5 – 30% mortaliteit zone terug te vinden is de werkelijke mortaliteit beperkt gebleven tot 0.6% (Figuur 5.6). In deze regio zijn echter geen signalen dat er tijdens de overstroming huizen zijn ingestort, waardoor veel mensen in hun huis op een hogere verdieping uiteindelijk veilig waren.



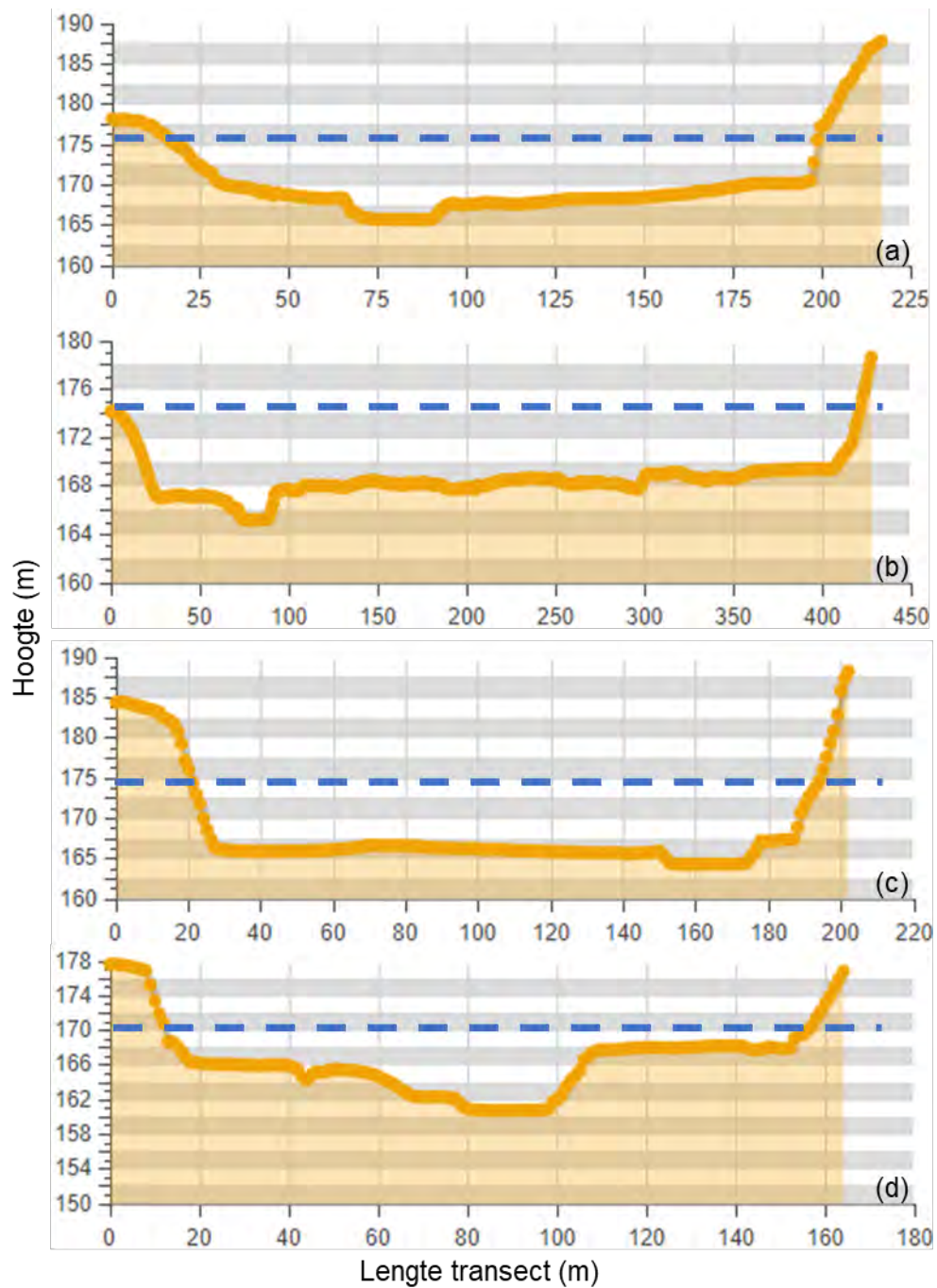
Figuur 5.4 Overstroomt gebied Ahrdal op basis van HQ-extreme scenario van hoogwassermanagement RLP. Het HQ-extrem scenario duidt een overstromingsafvoer aan die overeenkomt met ongeveer 1,5 keer het afvoervolume van een HQ100. <https://hochwassermanagement.rlp-umwelt.de/servlet/is/200041/>

5.2.1.2 Situatie slachtoffers

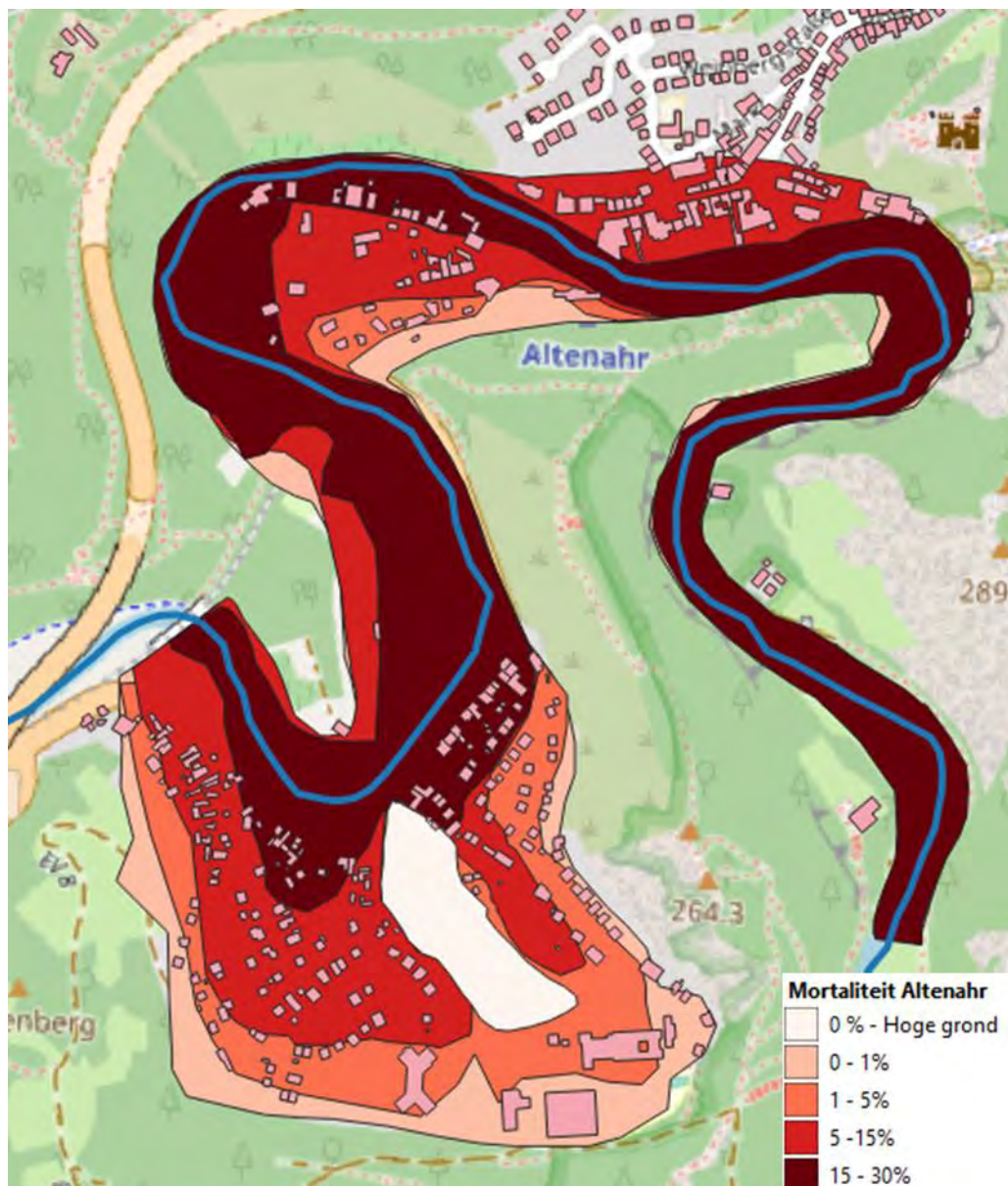
In het Ahrdal kwam de oproep tot evacueren zeer laat (14 juli 23:09u), hierdoor was het grootste deel van de inwoners tijdens de overstromingen thuis en/of onderweg. De uitgegeven waarschuwingen hebben achteraf gezien de situatie onderschat waardoor veel mensen verrast werden door het stijgende water (SWR, 2021a).

De twee meest voorkomende doodsoorzaken zijn mensen die onderweg waren en verrast werden door de kracht van het water en mensen die in hun huis zijn verdrongen. In Duitsland zijn geen berichten naar buiten gekomen waarin expliciet gemaakt is dat de oorzaak van het overlijden instorting van het pand was waarin zij zich bevonden.

Een voorbeeld van de tweede doodsoorzaak vond plaats in Sinzig, nabij de monding van de Ahr. Hier zijn 12 bedlegerige personen omgekomen die op de begane grond woonden van een verzorgingstehuis. Deze personen waren niet in staat om zelf naar boven te gaan. De enige verzorger die nacht, verantwoordelijk voor beide huizen van de faciliteit, kon niet elke bewoner die hulp nodig had naar een hogere verdieping helpen voordat het water het huis binnendrong en 12 personen verdrongen. Deze personen representeren 9% van de gevallen slachtoffers in het Ahrdal (en 6% voor heel Duitsland).



Figuur 5.5 Dwarsdoorsnedes van het Ahrdal op vier locaties rondom Altenahr. De blauw gestreepte lijn geeft de maximale waterstand in het dal weer als berekend in Mohr et al. (2022). De locaties van de dwarsdoorsnedes zijn weergegeven in Figuur 5.4



Figuur 5.6 Inschatting van ruimtelijke verdeling mortaliteit Altenahr, op basis van mortaliteitsfuncties (Figuur 3.2), overstromingsdieptes in Figuur 5.4 en Figuur 5.5 en beschikbare hoogtekarten.

5.2.2 België: Vesdredal

De Waalse overheid gaat er vanuit dat er ongeveer 100.000 personen getroffen zijn door de overstromingen 14 en 15 juli. Van hen zijn er in totaal 39 personen om het leven gekomen waarvan 38 slachtoffers zijn gevallen in het Vesdredal (Wallonië, 2022). De plaatsen Verviers (15) en Pepinster (10) zijn daarin het zwaarst getroffen. Er zijn geen cijfers beschikbaar over het aantal getroffen personen per gemeente. Aangezien de waarschuwingen en oproep tot evacuatie voor Verviers en Pepinster pas op het moment kwamen dat het water al door de straten stroomde, wordt er vanuit gegaan dat alle inwoners getroffen zijn. Uit onderzoek van de Universiteit van Luik (gepresenteerd op DRR Conference (27-10-2022)) blijkt dat in Verviers 17% en in Pepinster 67% van alle gebouwen getroffen zijn. Wanneer dit wordt doorvertaald naar het aantal getroffen personen, met de aanname dat de inwoners evenredig verspreid zijn over de plaats, komt dit voor Verviers neer op ± 9.000 en Pepinster ± 6.000 personen. Voor beide plaatsen komt dit dan neer op een mortaliteit van ongeveer 0,15%. Dit is bijna viermaal groter dan de mortaliteit over het totale getroffen gebied in België: 0,04%.

5.2.2.1 Mortaliteit op basis van slachtofferfuncties

De overstromingskenmerken voor België zijn ten tijde van deze studie nog niet beschikbaar. Hierdoor is het lastiger om een vergelijkbare analyse te doen als in de vorige paragraaf voor het Ahrdal is uitgevoerd. Op basis van beeldmateriaal en ooggetuigenverslagen kan uitgegaan worden dat de waterdieptes buiten de oevers van de Vesdre ongeveer 2 à 3 m geweest moeten zijn (tot het raamkozijn op de eerste verdieping). Dit geldt voor de dorpen Pepinster en Verviers. Dit is in lijn met de berekende waterdieptes van de Vesdre in Zeimetz et al. (2021) waar een maximum van meer dan 5 m in de rivier werd bepaald. Ooggetuigen spreken van een razendsnelle stijging van de waterstand op 15 juli tussen 2 en 3 uur 's nachts (VRT, 2021). Dit moment valt samen met de laatste meetresultaten van het meetstation Verviers, waar op dat moment een waterstand van 2,31 m werd gemeten. Over het laatst beschikbare uur kan een stijgsnelheid van ongeveer 0,25 m/uur worden bepaald. Dit komt overeen met de stijgsnelheid verder benedenstroom bij het meetstation Chaudfontaine Pisc (Hydrométrie en Wallonie, 2022). Doordat de meetstations gedurende het hoogwater niet gemeten hebben is niet met zekerheid te zeggen of de stijgsnelheid hierna nog is toegenomen. Op basis van ooggetuigenverhalen is dit namelijk wel de verwachting aangezien sommige spreken van een "tsunami". Op basis van beeldmateriaal kan een inschatting gemaakt worden van stroomsnelheden door de straten van Pepinster. Op de beelden is een stroomsnelheid van rond de 1-2 m/s in de straten en 3-4 m/s in de rivier waargenomen.

Uitgaande van de bovenstaande kan op een vergelijkbare manier als voor Altenahr de mortaliteit voor het gebied Verviers/Pepinster bepaald worden. Gebruikmakend van Figuur 3.2 kan een schatting voor de mortaliteit gegeven worden. Deze komt neer op een bandbreedte tussen de 0,1 en 2%. Grotendeels bepalend hiervoor is de lage gemeten stijgsnelheid. De daadwerkelijke mortaliteit valt binnen een redelijke bandbreedte voor dit gebied. Voor meer definitieve uitspraken is meer informatie nodig over de lokale overstromingskenmerken

5.2.2.2 Situatie slachtoffers

De meeste slachtoffers zijn gevallen in het gebied waar pas tegen de avond de evacuatieoproep uitging (70%). Op dat moment stond op de meeste plaatsen (Verviers, Pepinster en Trooz) het water al te hoog om het gebied goed te kunnen verlaten. Hierdoor waren mensen genoodzaakt om verticaal te evacueren. Daarnaast was het grootste deel van de gevallen slachtoffers 60 jaar of ouder en/of verminderd zelfredzaam. Het precieze aantal is om privacy redenen niet te achterhalen vanuit openbare bronnen.

Van 15 personen is achterhaald waar en hoe zij slachtoffer zijn geworden van de overstromingen. De meest voorkomende doodsoorzaak is verdrinking wanneer mensen onderweg waren/tijdens evacuatie. In Pepinster zijn 10 personen slachtoffer geworden van de overstromingen. Tenminste 3 personen zijn tijdens de evacuatie overleden nadat de boot waarop zij zich bevonden was omgeslagen. Daarnaast is van twee personen bekend dat zij omgekomen zijn door instorting van het huis waarin zij zich tijdens de overstroming bevonden. De VRT heeft van meerdere personen de doodsoorzaak achterhaald en beschreven in het volgende [Artikel](#)⁸ van 24 juli 2021.

Het gevaar van onderweg zijn tijdens hoogwater wordt onderschreven door het verhaal van Yannick (52). Na een noodkreet van zijn dochter besloot hij op zijn quad naar haar toe te gaan en werd onderweg overvallen door het water en overleed.

⁸ <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2021/07/23/slachtoffers-overstromingen/>

5.2.3 Nederland: Geuldal (Valkenburg)

In Nederland zijn geen slachtoffers gevallen als gevolg van de overstromingen, een mortaliteit van 0%. Na de overstromingen zijn met de toen bekende overstromingskenmerken berekeningen in SSM2017 uitgevoerd. Op basis van de invoerdata werden ~7 slachtoffers berekend en een mortaliteit variërend tussen de 0,1 en 2%.

In het afgelopen jaar zijn er inmiddels meerdere studies uitgevoerd die inzichten geven in de daadwerkelijke overstromingskenmerken gefocust rondom Valkenburg (e.g. Asselman et al., 2022; Van Heeringen et al., 2022; Slager, in prep.). De overstromingskenmerken die hier uit naar voren kwamen zijn opgenomen in Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Overstromingskenmerken Valkenburg

	Max	Gemiddeld
Afvoer	135 m ³ /s	120 m ³ /s (gem. van piek)
Waterdiepte (buiten rivier)	2 m	1 m
Stijgsnelheid (buiten rivier)	1,5 m/uur (lokaal)	0,5 m/uur
Stroomsnelheid (buiten rivier)	1,5 m/s	0,5-1 m/s

Wanneer bovenstaande overstromingskenmerken op dezelfde manier worden toegepast als in de voorgaande paragrafen kan er uitgegaan worden van een mortaliteit tussen de 0,1 en 1%. ENW (2021) schrijft over de getroffen en het volgende:

Ongeveer duizend mensen zijn in Valkenburg blootgesteld aan de overstroming en hebben pas na de overstroming het gebied verlaten. In twee wijken van Valkenburg is de stroom uitgevallen en ondanks dat deze wijken niet waren overstroomd, is wel besloten tot evacuatie omdat het onleefbaar dreigde te worden. Onbekend is hoeveel mensen daadwerkelijk gehoor hebben gegeven aan de evacuatie. In Valkenburg heeft geen grootschalige evacuatie plaatsgevonden voorafgaand aan de overstroming; hier hebben mensen na het hoogwater vooral op eigen kracht en soms met hulp van hulpverleners het gebied verlaten. Vanaf 15 juli zijn verschillende noodverordeningen afgegeven in getroffen gebieden in het Geuldal.

In Slager (2023) is er een uitgebreide casestudie verricht naar kans op verdrinking in Valkenburg. Hierbij is gebruikt gemaakt van een 1D-2D SOBEK model voor het Geulstroomgebied. Hieruit kwam naar voren dat voor de meeste plekken in Valkenburg de mortaliteitsfractie tussen de 0,1-1% lag. Op plekken direct langs de Geul was de mortaliteitsfractie echter relatief hoog was (tot bijna 5%).

5.2.4 Synthese: Overeenkomsten tussen de drie landen

In deze synthese worden voor belangrijke overstromingsfactoren de overeenkomsten tussen de drie landen gekoppeld. De lessen die wij hier uit kunnen leren worden verder toegelicht in de discussie.

5.2.4.1 Locatiekenmerken

Lokale elementen blijken erg bepalend in de mortaliteit, instorting en voor hoge producten van waterdiepte en stroomsnelheid. De zwaarst getroffen infrastructuur was gesitueerd dicht langs de rivieren en nabij vernauwingen. Met name bruggen hebben voor obstructie gezorgd wat bovenstrooms de waterstand verder heeft doen toenemen. Daarnaast speelt de topografie van het dal een grote rol voor de uiteindelijke hydrodynamische kenmerken en de aangerichte schade.

De locaties waar slachtoffers gevallen zijn hebben echter een minder sterke relatie met de fysische kenmerken. In algemene zin zijn er drie soorten doodsoorzaken aan te wijzen:

- 1 Onderweg en verrast door het water;
- 2 Verdronken in huis;
- 3 Instorting/geraakt door puin.

Meerdere mensen zijn bijvoorbeeld ook tijdens de evacuatie verdronken, toen de hoogwaterpiek al voorbij was. Tevens heeft risicovol gedrag tijdens de overstromingen ook geleid tot meerdere slachtoffers. Een belangrijke conclusie hieruit is dat naar voren komt dat voor de slachtoffers in Duitsland en België het onderweg gevaarlijker was dan wanneer zij thuis bleven.

5.2.4.2 Waarschuwing

In alle drie de landen bereikte de uitgegeven waarschuwingen de mensen niet goed of geven de waarschuwingen de ernst van de situatie niet goed weer. De waarschuwingen werden verspreid via social media, radio en TV. In Duitsland werd later op de avond ook het lokale alarmsysteem gebruikt. Voor de gebieden die uiteindelijk het zwaarst getroffen zijn bleek de situatie ernstig onderschat, waardoor veel mensen overvallen werden door het water.

5.2.4.3 Moment van waarschuwen

Zowel de Ahr, de Vesdre als ook de Geul zijn snel reagerende systemen. Vanaf het moment dat deze buiten hun oevers traden verspreidde het water zich in hoog tempo.. Mensen hadden weinig tot geen tijd om te evacueren of te vluchten. Er is dus spraken geweest van te laat waarschuwen Omdat in alle drie de gebeurtenissen spraken was van een “flash-flood” is de term aankomsttijd niet van toepassing. Hierbij valt wel op dat ondanks het zeer snelle stijgen van het water bij dit event de mortaliteit in de praktijk lager ligt dan op basis van de functies berekend is.

5.2.4.4 Evacuatie

Voor evacuatie geldt grotendeels hetzelfde als voor de waarschuwingen. Preventieve evacuaties werden in alle drie de landen wel degelijk uitgevoerd. Echter zijn niet alle locaties die achteraf gezien gevaarlijk waren toen aangemerkt voor preventieve evacuatie. Dit is goed terug te lezen voor de casussen in het Ahrdal, waar pas werd opgeroepen tot evacuatie op het moment dat bovenstrooms al de hoogste waterstanden werden bereikt. In België is ook in het aantal slachtoffers goed te zien waar mensen preventief geëvacueerd zijn. In de middenloop van de Vesdre (Verviers/Pepinster/Trooz) werd pas op het laatste moment opgeroepen tot evacuatie terwijl de dorpen boven- en benedenstrooms dit al 4 uur eerder gedaan werd. Ook in Nederland is dit terug te zien. Hier heeft preventieve evacuatie voornamelijk plaatsgevonden langs de Maas. Echter zijn juist de mensen in het Geuldal het zwaarst getroffen.

5.2.4.5 Kwetsbaarheid

In zowel Duitsland als België was het grootste deel van de slachtoffers 60 jaar of ouder en/of verminderd zelfredzaam. In lijn met aanbevelingen uit Kolen, Rudolph en van den Berg (2022) kan deze kwetsbare groep mogelijk beter geïnformeerd en ondersteund worden. In deze kwetsbare groep is de potentie om levens te redden immers groot. Het valt dan ook aan te bevelen extra aandacht te geven aan het ondersteunen van kwetsbare groepen en verminderd zelfredzamen. In Kolen, Rudolph en van den Berg (2022) zijn hiervoor enkele aanknopingspunten opgenomen.

6 Discussie

Deze studie naar oorzaken van slachtoffers in het jaar na de grootschalige overstromingen is misschien te vroeg uitgevoerd. Vanuit overheden, universiteiten en kennisinstellingen zijn weinig gegevens beschikbaar gekomen die concreet zijn in oorzaken en omstandigheden rond slachtoffers. Daardoor is vrijwel deze gehele rapportage gestoeld op openbare artikelen en beeldmateriaal, aangevuld met stukken uit de eigen organisatie en Nederlandse partnerorganisaties (RWS, HKV, TuDelft, ENW). De verzamelde data is binnen dit project wel gebundeld in databases en met bronverwijzingen voor toekomstige toepassing en uitbreiding. In de discussie wordt opeenvolgend ingegaan op mortaliteit, instorting, drijfvuil, en de vergelijkbaarheid van overstromingskenmerken.

Uit de beschikbare data is niet eenduidig vast te stellen hoe groot het effect van instorting is op de waargenomen mortaliteit. Er zijn zowel locaties waar meerdere instortingen bekend zijn, maar geen slachtoffers zijn gevallen en andersom. Om hier beter inzicht in te krijgen is het gemeentelijk niveau te grofmazig, hier dient naar de specifieke individuele gevallen gekeken worden. In de beschikbare data is er één gebeurtenis bekend waarbij personen om het leven zijn gekomen als direct gevolg van instorting. Door de beperkte openheid rond de doodsoorzaken van slachtoffers is het niet uit te sluiten dat er toch meer vergelijkbare gevallen zijn.

Of gebouwen instorten of niet hangt van meerdere factoren af. Veel van de factoren die bepalend zijn voor instorting zijn in het in juli overstroomde gebied anders dan in Nederland gebruikelijk is. Ondanks dat het aannemelijk is en door meerdere studies onderschreven is dat de gebouwsterkte in Nederland ten opzichte van de gebouwsterkte zoals gebruikt in de slachtofferfuncties sterk is toegenomen en de instortingskans voor veel locaties in Nederland naar verwachting beperkt is, kan deze stelling op basis van de openbare gegevens (voornamelijk foto's en verhalen) en de andere bouwstijl en overstromingsomstandigheden niet goed onderbouwd worden voor Nederland.

Drijfvuil heeft zichtbaar voor veel schade gezorgd en heeft bijgedragen aan instorting. In de huidige (Nederlandse) slachtofferfuncties wordt er niet expliciet rekening gehouden met meegevoerd puin tijdens overstromingen. Echter naar alle waarschijnlijkheid heeft de belasting van het meegevoerde puin gezorgd voor veel instortingen. De omvang van het drijfvuil blijkt uit de enorme afzettingen in de binnenbochten (depositiezone) van de Ahr. Zo is er veel puin achtergebleven bijvoorbeeld de dorpen Schuld en Dernau. In Nederland, zeker in de lager gelegen gebieden van Nederland, zijn de fysische omstandigheden uiteraard anders dan in het Ahrdal en Veddredal, waardoor het minder waarschijnlijk is dat er in deze omvang drijfvuil meegenomen wordt. Echter zou dit onder uitzonderlijke omstandigheden wel kunnen gebeuren binnen de breszone, waar stroomsnelheden (en dus energie) hoog zijn.

De overstromingen die in Duitsland en België zijn gebeurd, kunnen als flash-floods beschouwd worden. Bij flash-floods dient voor effectieve gevolgberekening ook energie als parameter mee genomen te worden in de slachtoffer/schade functies. Ook de aanwezigheid van puin kan een extra parameter zijn. In Di Mauro, de Bruijn & Meloni (2012) zijn verschillende functies beschreven die aansluiten op dergelijke omstandigheden. In de Nederlandse standaardfuncties wordt energie niet expliciet als parameter meegenomen, al is het product van waterdiepte en stroomsnelheid een variant hierop.

De overstromingsverlopen waar de Nederlandse slachtofferfuncties (Jonkman, 2007) voor worden gebruikt verschillen sterk van de situatie die zich heeft voorgedaan in Duitsland en België. In deze functies wordt er uitgegaan van een aanwezigheid van een bres, waarna een gebied (dijkkring) volloopt. Zoals hierboven genoemd kan deze gebeurtenis gezien worden als een flash-flood.

Door de Nederlandse slachtofferfuncties in deze omstandigheden in Duitsland toe te passen bleek dat deze de mortaliteit sterk overschatten. In België en Nederland viel de daadwerkelijke hoeveelheid slachtoffers wel binnen de voorspelde bandbreedte. Dit verschil lijkt teruggevoerd te kunnen worden naar de hoge stijgsnelheden die zich in Duitsland hebben voorgedaan. Hieruit lijkt dat de stijgsnelheid een te zwaar aandeel heeft in de voorspelling van de mortaliteit. Of dit ook geldt wanneer er dergelijke hoge stijgsnelheden in een groter gebied waargenomen worden valt op voorhand niet te zeggen. Het updaten van slachtofferfuncties op basis van de in dit rapport verzamelde informatie is dan ook niet mogelijk.

7 Conclusies

Het doel van dit project is het leren van het hoogwater van juli 2021 over de omstandigheden waarin slachtoffers vallen en het verzamelen van relevante openbare informatie. Hiervoor is gekeken naar de gebruikelijke water-parameters waterdiepte, stijgsnelheid en stroomsnelheid, maar ook naar andere zaken als waarschuwingen, evacuatie, gebouwsterkte en gebouwkenmerken, afstand tot de rivier en afstand tot veilig gebied en de kwetsbaarheid van de slachtoffers. Het is ondanks dat veel informatie is opgehaald uitdagend gebleken om onomstotelijke conclusies te trekken en tot concrete verbeteringen te komen voor de berekening van overstromingsslachtoffers in Nederland.

Wat wel is waargenomen of geconcludeerd kan worden is:

- Dat veel slachtoffers zijn gevallen wanneer zij buiten overvallen worden door het water, of tijdens hun evacuatie of vluchtpoging overvallen worden door het water. Dit strookt met de mortaliteitswaarden in de gedifferentieerde slachtofferfuncties.
- Bij slachtoffers die binnenshuis gevallen zijn, is de meest voorkomende doodsoorzaak verdrinking doordat deze personen opgesloten raakte en/of niet naar een hogere verdieping konden.
- Dat het tijdig waarschuwen een effectieve maatregel was om slachtoffers te beperken. Slachtoffers zijn vooral gevallen waar niet of zeer laat is gewaarschuwd. Dat betekent dat indien waarschuwingen en handelingsperspectief dagen of uren voorafgaand aan een hoogwater gecommuniceerd kunnen worden dat tot minder slachtoffers zal leiden dan functies berekenen.
- Dat de in Nederland gebruikelijke slachtofferfuncties voor het hoogwaterin met name Duitsland uitkomen op een overschatting van het aantal slachtoffers ten opzichte van de waarnemingen. Voor Nederland en België waren deze reken/modelresultaten wel in de verwachte bandbreedte zoals in de praktijk is waargenomen.
- Dat een groot aandeel van de gevallen slachtoffers tot een kwetsbare groep behoort. Het betreft vaak om ouderen en mensen die verminderd zelfredzaam zijn. Specifieke aandacht voor het voorkomen van slachtoffers in deze kwetsbare groepen is waarschijnlijk een effectieve maatregel.
- Dat er ook slachtoffers zijn die met name overlijden vanwege risicovol gedrag. Advies over hoe te handelen en het vergroten van risicobewustzijn kan bij deze groep effectief zijn om hun risico's te reduceren.
- Dat instorting van gebouwen vooral gerelateerd kan worden aan specifieke lokale omstandigheden van het water, de locatie en eigenschappen van het gebouw en de impact van drijfvuil samen met geluk/pech. Een sterke relatie tussen instorting en constructiesysteem is niet waargenomen. Wel is ernstige schade bij houtskeletbouw en vakwerk minder vaak gezien ten opzichte van gehele instorting, terwijl meersteens bouw en vooral prefab/betonbouw soms ondanks ernstige schade niet volledig is bezweken.
- Ondanks dat de functies op gebiedsniveau goede indicatie geven van gevaarlijke omstandigheden en slachtofferaantallen, blijkt ook in deze studie dat locatiespecifieke kenmerken en toevalligheden in de praktijk in een grote mate bepalend zijn voor het voorkomen of uitblijven van slachtoffers.

8 Referenties

Asselman, N., K. van Heeringen, J. de Jong, T. Geertsema (2022) Juli 2021 overstrooming en wateroverlast in Zuid-Limburg; Eerste bevindingen voor Valkenburg, Geulmonding, Roermonding en Eygelshoven 11207700-000-ZWS-0019, 26 april 2022

Asselman en van Heringen (2023) Een watersysteemanalyse – wat leren we van het hoogwater van juli 2021, Deltares

Asselman, N. (2005). Consequences of floods: Damage to buildings and casualties (p. 3668). Delft, The Netherlands: WL Delft Hydraulics Report Q.

Van Heeringen, K., N. Asselman, J. Beersma, A. Overeem, S. Philip (2022) Analyse overstrooming Valkenburg; Watersysteemevaluatie Waterschap Limburg 11207700-000-ZWS-0014, 26 april 2022

De Bruijn, K.M. & Kolen, B. (2020). Rapportage kennisalliantie slachtofferisico's en evacuatie 2020. Storylines en evacuatiebomen voor Dordrecht en de Gelderse Vallei. Deltares Project 11205235-007. Deltares, Delft.

De Bruijn, K.M. & Slager, K. (2013). Mortality functions in the flood impact module. Sensitivity analysis and discussion. Deltares Project 1207814-005. Deltares, Delft, The Netherlands

De Bruijn, K.M. & Maas, B.F (2022). Het meenemen van aankomsttijden in de analyse van slachtofferisico's. Deltares Project 11206793-008-ZWS-0005. Deltares, Delft

De Bruijn, K.M. & van Kester (2015), Possibilities to improve flood fatality functions for the Netherlands, Deltares.

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.

Deltares, BoschSlabbers & Sweco (2021), Copyright © Deltares 2021. Op Waterbasis; grenzen aan de maakbaarheid van ons water- en bodemsysteem

Deltares (2021) Hoogwater op rivieren. <https://www.deltares.nl/nl/issues/hoogwater-op-rivieren/> Bezocht: 22-11-2022

Deutschlandfunk (2021) Kommunikation zwischen Behörden und Sendern lückenhaft. <https://www.deutschlandfunk.de/warmmeldungen-vor-der-flut-kommunikation-zwischen-behoerden-100.html> Bezocht: 22-11-2022

ENW (2021) Hoogwater 2021 Feiten en Duiding. Expertise Netwerk Waterveiligheid. Versie 2, 20 september 2021. Met bijdragen van TU Delft, Deltares, Wageningen University, Erasmus MC, HKV, Universiteit Utrecht, IVM, VU, KNMI, Universiteit Twente

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

Maaskant, B. (2007). Research on the relationships between flood characteristics and fatalities – Based on the flooding in New Orleans caused by hurricane Katrina. MSc These. May 2007.

Mohr, S., Ehret, U., Kunz, M., Ludwig, P., Caldas-Alvarez, A., Daniell, J. E., Ehmele, F., Feldmann, H., Franca, M. J., Gattke, C., Hundhausen, M., Knippertz, P., Küpfer, K., Mühr, B., Pinto, J. G., Quating, J., Schäfer, A. M., Scheibel, M., Seidel, F., and Wisotzky, C.: A multi-disciplinary analysis of the exceptional flood event of July 2021 in central Europe. Part 1: Event description and analysis, Nat. Hazards Earth Syst. Sci.

Thieken, A. H., Bubeck, P., Heidenreich, A., von Keyserlingk, J., Dillenaar, L., and Otto, A. (2022) Performance of the flood warning system in Germany in July 2021 ± Insights from affected residents, EGUSphere [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2022-244>

Dewals, Benjamin; Erpicum, Sébastien; Piroton, Michel; Archambeau, Pierre (2021) Extreme floods in Belgium. The July 2021 extreme floods in the Belgian part of the Meuse basin. In: Hydrolink 2021/4. Madrid: International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR). S. 104-107. <https://www.iahr.org/library/hydrolink?hid=412>.

GDV (2022) GDV: Naturgefahrenreport 2022. Die schaden-Chronik der deutschen Versicherer, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., <https://www.gdv.de/resource/blob/105828/0e3428418c45df91f7ee5f280a5a9bff/download-naturgefahrenreport-2022-data.pdf> . Bezocht: 07-12-2022

Grenzecho (2021) Hat man an der Eupener Wesertalsperre nicht rechtzeitig reagiert? [Hat man an der Eupener Wesertalsperre nicht rechtzeitig reagiert? - GrenzEcho](#) . Bezocht: 09-12-2022

Hydrométrie en Wallonie (2022) <https://hydrometrie.wallonie.be/home.html> Bezocht: 22-09-2022

Jonkman (2007), Loss of life estimation in flood risk assessment; theory and applications, Proefschrift, TU Delft.

Jansen, L. (2019) Structural damage to Dutch terraced houses due to flood actions. Master Thesis TU Delft.

Kreienkamp, F., Philip, S. Y., Tradowsky, J. S., Kew, S. F., Lorenz, P., Arrighi, J., ... Wanders, N. (2021). Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021.

Kolen, B., B. Maaskant, G. Pleijter (2014) Gedifferentieerde slachtofferfuncties; differentie van slachtofferfuncties naar toestand en locatie ten behoeve van ruimtelijke analyses op gebied van waterveiligheid. HKV PR2704.20

Ministerie Infrastructuur en Milieu, Slootjes, N. en van der Most, H. (2016), Achtergronden bij de normering van de primaire waterkeringen in Nederland : hoofdrapport, 28 juni 2016

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016), *Hoofdrapport: Achtergronden bij de normering van de primaire waterkeringen in Nederland*, 28 juni 2016

RLP (2022a) Modellrechnungen: Bevölkerung, Gebäude und Betriebe in unmittelbarer Nähe zur Ahr. <https://www.statistik.rlp.de/de/link/betroffene/> Bezocht: 25-11-2022

RLP (2022b) Bevölkerungsstand 2021, Kreise, Gemeinden, Verbandsgemeinden <http://www.statistik.rlp.de/de/regional/geowebdienste/bevoelkerung/>

RWS Waterinfo, 2022 :<https://waterinfo.rws.nl/#!/nav/index/> Bezocht 03-10-2022

Roggenkamp T. & J. Herget (2014): Reconstructing peak discharges of historic floods of the River Ahr, Germany. Erdkunde Vol. 68 · No. 1. 49-59

Rudolph, van den Berg en Kolen, (2022) Evacuatiegedrag van getroffen en tijdens de overstromingen in Limburg in juli 2021, HKV rapport PR3591.60

Slager, K (in Prep) Gevolgen overstromingen Limburg; Inventarisatie en duiding. Project 11207700-007 Deltares, Delft, The Netherlands.

SWR (2021a) Flutkatastrophe in Rheinland-Pfalz – Ein Dossier. <https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/dossier-hochwasser-flut-katastrophe-rheinland-pfalz-102.html> Bezocht: 13-09-2022

SWR (2021b) Polizei-Videos aus der Flutnacht im Ahrtal erstmals veröffentlicht <https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/koblenz/polizeihubschrauber-videos-zeigen-ausmass-der-flutkatastrophe-100.html> . Bezocht: 01-12-2022

SWR (2021c) Noch 2 Vermisste - Aktuelle Daten und Fakten. STAND 24.11.2022 <https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/flut-in-ahrweiler-so-gross-ist-der-schaden-104.html>

VRT (2021) Tijdslijn: de zondvloed in de Vesder-vallei, van toen tot nu. <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2022/07/08/tijdslijn/> . Bezocht: 07-12-2022

Westrik, L. (2019) Building strength and flood facilities. Master Thesis TU Delft.

Wallonië (2022) Inondations de juillet 2021: bilan et perspectives. <https://www.wallonie.be/fr/actualites/inondations-de-juillet-2021-bilan-et-perspectives#> Bezocht: 22-11-2022

ZDF (2022) Die Flut der Ahr in 3D. Die Animation zeigt die unvorstellbare Wasserwand im Juli 2021. <https://www.zdf.de/nachrichten/heute-journal/er-flut-ahr-3d-100.html> Bezocht 22-11-2022

Zeimetz, F. Launay, M. Bourqui, P. Calixte, E. Fallon, C. Teller, J. 2021. Analyse independante sur la gestion des voies hydrauliques lors des intemperies de la semaine du 12 juillet 2021. Lot 1 - factualisation. Stucky. <https://henry.wallonie.be/files/Documents/211011%20->

[%20Rapport%20synth%C3%A8se%20analyse%20inondations%20Wallonie%20juillet%202021%20-%20Stucky.pdf](#) Bezoekt: 07-12-2022

A Database en GIS producten

Hieronder wordt voor elk aangeleverd product een korte toelichting gegeven waarin uitgevoerde stappen en gemaakte keuzes worden toegelicht.

A.1 Database slachtoffers

Deze database is gevuld met het aantal gevallen slachtoffers als gevolg van het hoogwater. Op basis van openbare bronnen is achterhaald hoeveel en in welke regio slachtoffers gevallen zijn. De belangrijkste bron voor het achterhalen van slachtoffers per regio zijn lokale en regionale nieuwsberichten geweest. Ook is er een begin gemaakt met het documenteren van individuele slachtoffergevallen. Deze is op moment van uitlevering nog niet compleet en kan in vervolg worden uitgebreid. Ook zijn de slachtoffers in België hierin oververtegenwoordigd aangezien er in Duitsland nauwelijks persoonlijke details naar buiten worden gebracht.

In de GIS omgeving zijn nu alleen nog de slachtoffers per gemeente gevisualiseerd en niet de persoonlijke cases. Bij de persoonlijke cases zijn waar mogelijk ook de gedetailleerde overstromingskenmerken opgenomen en de precieze locatie en omstandigheden van overlijden.

A.2 Database ingestorte huizen

Om inzicht te krijgen in de relatie tussen bouwsterke en mortaliteit is gefocust op het verzamelen van ingestorte huizen. Zowel in Duitsland als België zijn er panden ingestort tijdens het hoogwater. Door de locatie van deze panden te achterhalen wordt inzicht gegenereerd in karakteristieken waar huizen instorten en ook vooral waar niet. Zoeken in artikelen en Google Afbeeldingen. Locatie verifiëren op basis van satelliet beelden en beschrijvingen. Alle panden zijn voorzien van een afbeelding ter onderbouwing van de gemaakte keuzes.

Per ingestort pand zijn verschillende criteria vastgelegde en gedocumenteerd op basis van beschikbaar beeldmateriaal en beschrijvingen. Per ingestort pand is gekeken naar de locatie, type bouw en type instorting van het huis. Daarnaast is er ook gekeken naar de status en type bouwstijl van omliggende huizen die niet ingestort zijn. Momenteel bestaat deze verzameling uit 15 gelokaliseerde punten voor Duitsland en 7 voor België. Hierin zijn geen huizen opgenomen die wel zwaar beschadigd zijn geraakt maar niet zijn ingestort. Op basis van satellietdata van voor en na de overstromingen is goed te zien dat er op veel locaties inmiddels huizen gesloopt zijn of aangewezen zijn om te slopen.

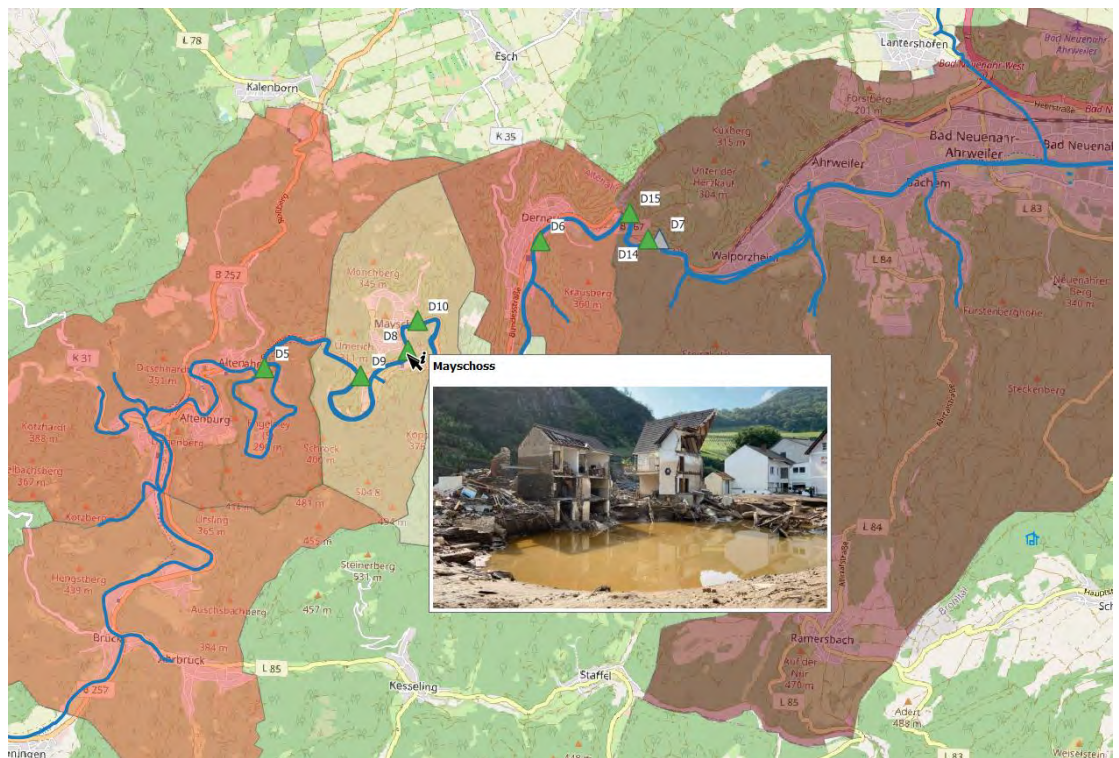
Record ID	Land	Stad	Rivier	X	Y	Locatie Exact?	Adres	Type bouw	Type schade	Status huizen buurt	Type bouw buurt	Datum	Bron	Foto
1 D1	Duitsland	Schuld	Ahr	6.8840954	50.4457196	Ja	Hauptstrasse 21 (Restaurant Finetta)	Betonbouw/metselwerk	Volledig ingestort		Betonbouw/metselwerk	15-7-2021	https://www.welt.de/print-k/deutschland/plus212580377/Hochwasser-in-Schuld-Eines-Ger-Blick-auf-denn-Die-zeilung.de/region/aus-den-lokalisierungen/kreis-schweizer_artikel,wien-naech-einem-bombenangriff-im-zersetzten-allein-schuld-verschollen-menschen-das-15-7-2021-unfassbare-zu-beg-	
2 D2	Duitsland	Schuld	Ahr	6.8881173	50.4461828	Ja	Ahrstrasse 28	Vakuerk	Instorting gevel		Betonbouw/metselwerk	15-7-2021		
3 D3	Duitsland	Schuld	Ahr	6.887096	50.4463002	Ja	Ahrstrasse 12	Betonbouw/metselwerk	Ondergraving fundering		Betonbouw/metselwerk	15-7-2021		
4 D4	Duitsland	Schuld	Ahr	6.8859862	50.4461075	Neer		Eenklesteens metselwerk	Instorting gevel		Betonbouw/metselwerk		https://www.morgenpost.de/vermischtes/artikel,20210708-hochwasser-ahrschuld-allein-schuld-verschollen-menschen-das-15-7-2021-unfassbare-zu-beg-	
5 D5	Duitsland	Altenahr	Ahr	6.9963883	50.5165189	Ja	Tunnelstrasse 39	Betonbouw/metselwerk	Ondergraving fundering		Betonbouw/metselwerk		https://www.youtube.com/watch?v=4d4qur1nabp	

Figuur 8.1 Uitsnede uit Exceldatabase voor ingestorte huizen

A.3 GIS omgeving

Bovenstaande Exceldatabases zijn gevisualiseerd in een GIS omgeving. Hierin is de verzamelde data gebundeld en gestructureerd, met verwijzingen naar de gebruikte bronbestanden. Deze GIS-omgeving is in principe ontwikkeld ter ondersteuning en ondersteuning van deze rapportage. Echter door de beschikbare informatie ruimtelijk te ordenen is de GIS-omgeving ook waardevol voor toekomstige analyses en datawaarborging.

Voorbeeld van GIS omgeving. De rode vlakken zijn de gemeentes waaraan het aantal slachtoffers is gekoppeld. In blauw is de Ahr en de groen en blauwe driehoeken representeren de ingestorte huizen.



Figuur 8.2 Uitsnede uit GIS-omgeving ingezoomd op Ahrdal

B Tijdlijn Evacuatie

Uit ENW (2021)

	Opschaling en Besluiten	Waarschuwingen aan publiek	Evacuatie en terugkeer	Optreden wateroverlast	Gebruikte waterstandverwachtingen en inschattingen dijkssterkte
12 juli		VR Waarschuwing waterveilig (vrijen) voor hoogwater in bekken en Maas KNMI Code geel voor extreme regenval op 13 juli			<p>Bij waterschap is er discussie over betrouwbaarheid RWS verwachtingen omdat de afvoer van de bekken niet is meegenomen. Dit heeft geleid tot de keuze om zelf eigen waterstandverwachtingen op te stellen op basis van de verwachte (en de levingsgrens) van de peilafvoer bij Borghaten en een standaard afvoergoet.</p> <p>Op basis van deze waterstandverwachtingen is voor de Maas en de mondingen van de bekken een inventarisatie naar zwakke plekken en het bedrijfs gebied uitgevoerd. Deze inventarisatie is in de loop van de tijd geüpdatet.</p> <p>Dit heeft geleid tot een klassieke indeling van gebieden die mogelijke overstromen (moed) de veilig zijn (groen) en die onveilig zijn (geel).</p>
13 juli	22:30 Scenario ontwikkeling voor buffers en bekken over 48 uur	VR Herhaling waarschuwing voor hoogwater bekken en Maas 21:00 KNMI Code oranje voor zwaar regenval	VR Mogelijke evacuatie campings langs Geul conform draaiboek vanwege hoogwater		
14 juli	14:00 RBT Veiligheidsregio (VR) Limburg Zuid naar GRP 4 20:30 RBT Veiligheidsregio (VR) Limburg Noord naar GRP 4	WS Lijfstander langs maas kunnen inschieten 17:30 KNMI Code rood voor zwaar regenval	VR Evacuatie campings langs Geul Eind van de dag is camping Willebrord	15:10 WS Waterhulter de Dem overstromt mogelijk 22:45 Overstroming Valkenburg begint	
15 juli	11:00 RBT Zuid: Opstellen noodverordeningen en eerste evacuatie 17:00 RBT Instellen noodverordeningen voor evacuatie en ambulance Nacht RBT Noord Besluit evacuatie ziekenhuis Venlo (in overleg met Ziekenhuis) 11:00 ROTS: Volgende capaciteit voor opvang beschikbaar nauwelijks bereikt	11:00 VR Oproep tot zelfredzaamheid van inwoners (ook voor evacuatie)	5:30 Evacuatie van 2 (niet overstromende) wijken in Valkenburg zonder stroom 11:30 Evacuatie van 2 wijken rondom Hamboek nabij Roermond 17:30 Geïsoleerde evacuatie gebieden langs de Maas (zie kader voor details) 9:00 Start evacuatie Ziekenhuis Venlo (door Ziekenhuis zelf)	5:30 Piek waterstand in Valkenburg treedt op 11:00 Enxex: stroomuitval in 70% (veelal overstromende) woningen in Valkenburg 17:30 Water is weg uit Valkenburg	<p>Update inventarisatie op basis van meest recente verwachting van de peilafvoer. Deze is via flexibel vertaald naar van de waterstanden uitgaande van een reguliere afvoergoet (opbrei yem niet meegenomen).</p> <p>Daarwaart is rekening gehouden met de actuele en verwachte dijkssterkte op basis van het voorspelde H10, inspecties en expertise.</p>
16 juli	16:30 RBT Zuid: Besluit voor evacuatie rode en gele gebieden o t v risico inventarisatie 23:30 RBT Besluit om RWS waterstandsverwachtingen te volgen			9:00 Peilafvoer bij Borghaten	15:30 Update inventarisatie uitgaande van de RWS bericht H07 (alleen relevant voor Limburg Noord vanwege verloop afvoer). Dit heeft niet geleid tot andere risicoschattingen
17 juli	20:00 Besluit om ook in de nacht koringen te inspecteren met focus op 23 trajecten met verhoogd risico (met hulp van Rode Kruis vanwege juridische aspecten en beperkte capaciteit)		22:30 Handelingsperspectief voor terugkeer is opgesteld voor Waterveilig verklaard van een gebied	16:00 Peilafvoer bij Venlo	9:30 Update inventarisatie uitgaande van de RWS bericht H09. Rode gebieden: van 8 naar 4, de overige vier zijn geel geworden. Gele gebieden: van 8 naar 12
18 juli			19:00 Ziekenhuis is weer in gebruik en wordt weer opgestart. 21 juli operatiebeveiligd	17:30 Peilafvoer bij Gennep	9:30 Update inventarisatie uitgaande van de RWS bericht H12. Rode gebieden: van 4 naar 0. Gele gebieden: van 12 naar 1. Bij de Hockeyvelden (Roermond) is overlast opgetreden.
19 juli	Noodverordeningen vervallen				
20 juli	Afshaling Limburg Zuid naar GRP 0				
21 juli	Afshaling Limburg noord naar GRP 0				

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