

Hoogwater 2021 Feiten en Duiding





Auteur: Task Force Fact Finding hoogwater 2021
Foto voorpagina: Sluis Sambeek, bron: J. Simissen.
Versie / uitgave: versie 2, 20 september 2021

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Samenvatting	8
Summary: the 2021 floods in the Netherlands - Facts and preliminary assessment	12
1 Inleiding	16
2 Meteorologie en hydrologie	20
2.1. De meteorologische situatie	20
2.2. De neerslagverdeling en overschrijdingskansen	22
2.3. Neerslag- en afvoerverwachtingen	24
2.4. Afvoerstatistiek	26
2.5. Afvoerstatistiek volgens het GRADE instrumentarium	28
2.6. De rol van klimaatverandering	29
2.7. Conclusies	31
2.8. Slotopmerkingen	32
2.9. Referenties	33
3 Rivierkunde	34
3.1 Hoe heeft het hoogwater zich verplaatst door het stroomgebied in Nederland?	34
3.1.1 Maximale waterstanden, moment van optreden en overstroomd gebied	34
3.1.2 Maximale afvoeren	37
3.1.3 Topvervlakking	37
3.2 Het hoogwater in historisch perspectief	38
3.2.1 Opgetreden maximale waterstanden langs de Maas	38
3.2.2 Overschrijdingskansen van opgetreden maximale waterstanden	39
3.3 Morfologische veranderingen	42
3.3.1 Zomerbed van de Maas	42
3.3.2 Oevers en uiterwaarden van de Maas	44
3.3.3 Zijbeken van de Maas	45
3.4 Het hoogwater en plasticvervuiling	45
3.5 Conclusies	47

3.6	Slotopmerkingen	48
3.7	Referenties	49
4	Functioneren waterkeringen	52
4.1	Overzicht	52
4.2	Dijkhoogtes en overloop van de dijk bij Aasterberg	54
4.3	Situatie bij Meerssen/Bunde	55
4.4	Wel achter een dijk: Sint Annakapel	56
4.5	Bres bij hockeyvelden Concordia (Roermond)	57
4.6	Zandmeevoerende wel bij een kunstwerk: keersluis Roer	59
4.7	Stuw bij Bosscherveld (Maastricht)	60
4.8	Slotopmerkingen	60
4.9	Referenties	62
5	Schade door overstroming	64
5.1	Introductie	64
5.2	Fysieke schade	68
5.3	Bedrijfsuitval en uitval van infrastructuur	70
5.4	Voorstel voor nader onderzoek	72
5.5	Slotopmerkingen	73
5.6	Referenties	73
6	Gezondheidseffecten	76
6.1	Gezondheidseffecten van de wateroverlast in Limburg	76
6.1.1	Introductie	76
6.1.2	Methode	78
6.2	Resultaten	78
6.2.1	Gezondheidseffecten algemeen	78
6.2.2	Waterkwaliteit en drinkwatervoorziening	80
6.2.3	COVID-19	83
6.3	Slotopmerkingen	85
6.4	Referenties	87
7	Evacuatie en noodmaatregelen	90
7.1	Inleiding	90
7.2	Het verloop van de evacuatie	93
7.2.1	Tijdslijn Evacuatie	94

7.2.2	De dreiging: inventarisatie zwakke plekken waterkeringen en bedreigd gebied	98
7.2.3	Besluitvorming en uitvoering	99
7.3	Beheer- en Noodmaatregelen	104
7.3.1	Voorziene beheermaatregelen (demontabele keringen)	104
7.3.2	Keuzes over noodmaatregelen	105
7.3.3	Uitvoering Noodmaatregelen	106
7.3.4	Zelfredzaamheid bij uitvoering noodmaatregelen	108
7.4	Slotopmerkingen	109
7.5	Referenties	111
8	Overstromingen in België, Luxemburg en Duitsland	112
8.1	België	113
8.1.1	Schade	115
8.1.2	Informatie uit veldbezoeken	116
8.1.3	Voorspelling en disseminatie	116
8.2	Duitsland	117
8.2.1	Schade	118
8.2.2	Informatie uit veldbezoeken	120
8.2.3	Voorspelling en disseminatie	123
8.3	Luxemburg	123
8.3.1	Schade	123
8.3.2	Voorspelling en disseminatie	124
8.4	Vergelijking met overstromingsrisico kaarten EU floods directive	124
8.5	Vergelijking Nederland, Duitsland, België, Luxemburg	125
8.6	Slotopmerkingen	126
8.7	Referenties	127
9	Slotwoord	132
	Colofon	134
	Lijst Figuren	138
	Lijst Tabellen	142
	Bijlagen	144
	Bijlagen bij hoofdstuk 2	144

A.1	Ontwikkeling van meteorologische situatie in beeld	144
A.2	Herhalingstijden van piekafvoer voor stroomgebieden volgens verschillende methoden	146
Bijlagen bij hoofdstuk 3		147
B.1	Hydraulica Maas	147
B.1.1	Maximale waterstanden	147
B.1.2	Gemeten waterstanden in de tijd	150
B.1.3	Vergelijking met historische hoogwaters	152
B.1.4	Voorspelbaarheid waterstanden	156
B.1.5	Topvervlakking	157
B.1.6	Retentiewerking	158
B.1.7	Overstroomd gebied	161
B.1.8	Kaart maximale afvoeren	162
B.1.9	Vergelijking met betrekkinglijnen	162
B.1.10	Afvoer door sluis Ternaaien	164
B.2	Hydraulica regionale rivieren	166
B.2.1	Maximale waterstanden en waterstanden met een overschrijdingskans van 1:100 en 1:1000 per jaar	166
B.2.2	Figuren waterstandsverloop	172
B.2.3	Decimeringswaarde langs de Geul	173
B.2.4	Normeringskaart regionale wateroverlast	174
B.3	Morfologie	175
B.3.1	Erosiekuilen Grensmaas	175
B.3.2	Stroomsnelheden Grensmaas	179
B.3.3	Fijne zandlagen Grensmaas	182
B.3.4	Locaties Oevererosie	186
B.3.5	Locaties zandafzettingen uiterwaarden	190
B.3.6	Erosie en bankvorming Oude Maas / Geleenbeek	192
B.4	Plasticvervuiling	195
B.4.1	Meetmethoden	195
B.4.2	Resultaten	196
Bijlagen bij hoofdstuk 4		198
C.1	Bergingsgebied De Dem (Hoensbroek)	198
C.2	Bergingsgebied Ransdaal (Schin op Geul)	198
C.3	Doorbraak nooddijk Horn	200
C.4	Veiligheid Roertunnel A73	200
C.5	Industrieterrein met Designer Outlet Roermond	201

C.6	Inzetbaarheid retentiebekkens Bossche Broek	202
C.7	Amertak bij Made: ontbrekende bestorting, vrees voor piping	203
C.8	Uiltaatwerk Zeven Ellen Waterlaat bij Horn	204
	Bijlagen bij hoofdstuk 5	206
D.1	Bijlage: Verdiepende info bij het hoofdstuk schade	206
	Bijlagen bij hoofdstuk 8	207
E.1	Overzicht van gerapporteerde schade en slachtoffers in België en Duitsland	207

Samenvatting

Aanleiding

In juli 2021 zijn grote delen van Limburg getroffen door hevige regenval en overstromingen. Ook delen van België en Duitsland overstromden met zeer veel schade en verlies aan mensenlevens tot gevolg. Dit betrof een extreme en ongeëvenaarde gebeurtenis met enorme impact. Daarom is naar aanleiding van de overstromingen deze verkenning uitgevoerd om een eerste stap te maken om beschikbare informatie over deze gebeurtenis te verzamelen en analyseren. Het onderzoek is uitgevoerd door een breed consortium (TU Delft, Deltares, HKV Lijn in Water, VU Amsterdam, Universiteit Utrecht, KNMI, WUR, Erasmus MC en Universiteit Twente) in opdracht van het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW). Waterschap Limburg en Rijkswaterstaat hebben hun medewerking verleend middels onder andere het aanleveren van informatie, begeleiden van veldbezoeken en interviews. Een overstroming heeft effect op de hele maatschappij. Daarom zijn niet alleen hydrologische en civieltechnische onderwerpen beschouwd, maar ook de maatschappelijke gevolgen van overstromingen, de crisisrespons en de gezondheidseffecten.

Meteorologie en hydrologie

Op dinsdag en woensdag 13 en 14 juli 2021 was er sprake van uitzonderlijk zware neerslag in Belgische, Duitse en Nederlandse delen van de stroomgebieden van de Maas en Rijn, die op veel plaatsen leidde tot overstromingen van de (zij)rivieren. De opgetreden 1- en 2-daagse neerslaghoeveelheden (160 – 180 mm in 2 dagen) en afvoeren van de rivieren zijn zeer zeldzaam, en zeker in het zomerseizoen. Voor zowel neerslag als piekafvoeren is de kans veel kleiner dan direct uit de meetreeksen kan worden afgeleid, en wordt geschat op kleiner dan 1:100 tot 1:1000 per jaar. Enige dagen van tevoren voorafgaand werden al grote hoeveelheden neerslag voorspeld; afvoerverwachtingen werden tot kort voor de gebeurtenis naar boven bijgesteld. Zonder de metingen van juli 2021 kon de neerslaggenerator van het GRADE instrumentarium de 2-daagse neerslagsom zoals die is opgetreden niet genereren. GRADE wordt gebruikt voor de bepaling van de afvoerstatistiek en daarmee de ontwerpafvoeren op de grote rivieren in het huidige en toekomstige klimaat. Een recent verschenen KNMI rapport geeft aan dat de kans op een gebeurtenis als deze is toegenomen als gevolg van klimaatverandering, maar de kwantitatieve schattingen van de klimaatbijdrage aan de kans op zo'n gebeurtenis loopt uiteen van +20% tot een factor 9 ten opzichte van het klimaat zonder menselijke invloed.

Rivierkunde

De piekafvoer op de Maas bij Eijsden en een aantal zijrivieren is de hoogste afvoer ooit gemeten. Waterstanden op de Maas zijn benedenstrooms van Roermond lager dan tijdens eerdere hoogwaters en ook lager dan op basis van eerdere modelberekeningen was verwacht. Dit komt onder meer door de uitvoering van Maaswerken, maar ook door sterke topvervlakking die samen hing met de spitse golfvorm. De kansen van optreden van de gemeten waterstanden bedraagt ongeveer 1:200 per jaar op de Maas bij Borgharen en neemt, door topvervlakking, af tot een kans van optreden van 1:15 per jaar bij Gennep. Ook in de zijrivieren varieert de overschrijdingskans van de gemeten waterstanden sterk. Op veel plaatsen langs de Geul, de Geleenbeek en de Roer wordt de kans van voorkomen geschat op 1:100 tot 1:1000 per jaar. Het hoogwater heeft ook geresulteerd in morfologische veranderingen. Zo heeft het opbreken van de pleisterlaag op de Grensmaas geresulteerd in meerdere diepe erosiekuilen (3 meter diepte of meer). Ook heeft oevererosie plaatsgevonden en zijn grote hoeveelheden zand op de oevers afgezet. Het hoogwater levert ook een grote bijdrage aan het transport van door het water meegevoerde materialen waar onder plastic. Van alle plastic dat in een gemiddeld jaar door de Maas wordt getransporteerd, is 95% nu binnen 2 dagen verplaatst.

Waterkeringen

De primaire waterkeringen hebben de hoge belasting goed doorstaan. Op verschillende plekken in het systeem zijn incidenten opgetreden. Deze zijn beschreven in overzicht en in detail in dit rapport. Dit betreft onder meer zand-meevoerende wellen (uitspoeling van het zand onder de dijk), overloop bij Aasterberg en schade aan de stuw bij Bosscherveld nabij Maastricht. De in de media gerapporteerde dijkdoorbraak bij Meersen en Bunde bleek in werkelijkheid een waterstroom uit de Geul via een op dat moment niet gekarteerde duiker. Hier wordt nog nader onderzoek naar uitgevoerd. Twee lokale (niet-primaire of regionale) keringen zijn doorgebroken: een nooddijk bij Horn en een kering nabij Roermond.

Schade

Er is veel overlast en schade ontstaan in het overstroomde gebied in Nederland. Naar schatting bevinden zich meer dan 2.500 woningen, 5.000 inwoners en zo'n 600 bedrijven in het direct overstroomde gebied. Met de standaardmethode voor schadebepaling (SSM2017), ervaringen, en op basis van internationale bronnen, wordt de totale schade op dit moment geschat in de orde van € 350 – 600 miljoen. Inboedel en opstalschade aan woningen en bedrijven, bedrijfsuitval, schade aan infrastructuur en landbouw zijn de grootste schadeposten. De variatie in schade van verschillende woningen en bedrijven is zeer groot. De geschatte schade voor het totaal overstroomde gebied is duidelijk groter dan bij de overstromingen van 1993 en 1995 (omgerekend naar prijspeil 2021: ongeveer € 200 miljoen resp. € 125 miljoen, excl. schade door bedrijfsuitval); met dien verstande dat bij de recente overstroming de meeste schade niet langs de Maas, maar langs de zijrivieren van de Maas (m.n. Geul) heeft plaatsgevonden. Om de hoge variatie in (bedrijfs)-schade nader te onderzoeken wordt voorgesteld bovenstaande schattingen uiteindelijk te verbeteren met de

schade-gegevens van verzekeraars en de WTS (Wet Tegemoetkoming Schade bij Rampen). Verder wordt aanbevolen om dit jaar nog een gestructureerde vragenlijst middels een grote steekproef in het gebied af te nemen om meer te leren van ervaren wateroverlast en schade, herstel, effectiviteit van genomen risicoreductie maatregelen, evacuatiegedrag en compensatie.

Evacuaties en noodmaatregelen

Circa 50.000 mensen, verspreid over veel plaatsen in het gebied waaronder Valkenburg, Maastricht, Roermond en Venlo, zijn geëvacueerd. Langs de Geul, met name in Valkenburg, is men niet preventief geëvacueerd voorafgaand aan het hoogwater. Uitzondering hierop zijn enkele campings en 193 mensen uit zorginstellingen. Het overige deel van de inwoners in overstroomd gebied is geëvacueerd na de overstroming. Langs de Maas zijn de meeste mensen succesvol geëvacueerd voor het verwachte moment van mogelijk dijkfalen. Uiteindelijk zijn er geen dodelijke slachtoffers gevallen en heeft het grootste deel van de mensen tijdig gehoor gegeven aan de evacuatie-oproep. Bij de oproep tot evacuatie en ook het plaatsen van noodmaatregelen om te beschermen tegen een overstroming is zelfredzaamheid gestimuleerd, en dit werkte goed. Het aantal mensen dat gered is door hulpdiensten is beperkt, ook onder de mensen in Valkenburg. Alhoewel deze reddingen veel media-aandacht krijgen lijken de meeste mensen op eigen kracht het gebied te hebben verlaten. Naast de geplande beheermaatregelen uitgevoerd door het waterschap langs de Maas (veelal demontabele keringen) zijn er diverse noodmaatregelen genomen door vrijwilligers met aanwijzingen van professionals. Aan de basis voor de besluitvorming over evacuatie en noodmaatregelen lag een risico-inventarisatie. Deze inventarisatie is frequent bijgewerkt als er nieuwe informatie beschikbaar was. In de afwegingen over maatregelen heeft men een prioritering opgesteld waarbij de veiligheid van mens en dier voorop stond, en het testen en vaccineren vanwege Corona tijdelijk op prioriteit 2. Voor de evacuaties langs de Maas was er veel onzekerheid over de afvoer. Er is zowel gekeken naar de verwachte afvoer als de bovengrens in de verwachting. Dat betekent dat maatregelen zijn genomen voor gebieden waar een verhoogde kans was op een overstroming om de veiligheid van mens en dier zo goed mogelijk te borgen.

Gezondheidseffecten

De belangrijkste door gezondheidsmedewerkers (via een vragenlijst) gerapporteerde gezondheidsklachten bij patiënten zijn psychische klachten zoals stress, bezorgdheid en angst. Daarnaast werd een toename van patiënten met klachten van gastro-enteritis, respiratoire klachten, en infecties van de huid gerapporteerd. Kinderen en ouderen werden benoemd als risicogroepen en de belangrijkste oorzaken van arbeidsverzuim waren psychische klachten. De impact op de drinkwaterwinning was bij Dunea gering, maar bij Evides en WML substantieel. Zowel chemische als microbiologische verontreinigingen in het water van de Maas en bij de overstroomde winputten bij de Eyserbeek hebben de inname tijdelijk gestopt. Door de natte en niet zo warme zomer was de reservecapaciteit toereikend om onderbrekingen in de drinkwaterlevering te voorkomen. De provincie Limburg heeft de hoogste COVID-19 risk ratio van de provincies in Nederland, en dat betekent dat Limburg de grootste toename heeft gehad in het aantal nieuwe coronavirus gevallen na de wateroverlast.

Het overstroomde Valkenburg aan de Geul heeft een risk ratio van ruim vijf (en zit in de top 5 van Limburg), en dat suggereert dat de wateroverlast hier mogelijk (deels) heeft bijgedragen aan de coronavirus verspreiding. De verschillen zijn echter niet significant en de effecten zijn mogelijk alleen lokaal en op beperkte schaal opgetreden.

Gevolgen in België, Luxemburg en Duitsland

In de zijrivieren van de Maas in België en de Rijn in Duitsland en Luxemburg is over een veel groter gebied dan in Nederland extreem veel neerslag gevallen in korte tijd. De regen viel in heuvelachtig gebied en kwam vrijwel direct tot oppervlakkige afvoer en verzamelde zich via de kortste weg in de rivieren. De aan de rivier gelegen dorpen onderaan de hellingen in de nauwe rivierdalen van de Vesdre, Ahr en Sauer zijn zwaar beschadigd of volledig verwoest. Ook aan infrastructuur is grote schade aangebracht. Honderdduizenden inwoners zijn getroffen, meer dan 200 dodelijke slachtoffers zijn geteld, tientallen miljarden euro's aan schade is geschat. In België en Duitsland is de schade het grootst. Alleen in deze landen zijn slachtoffers gevallen. Hier was de situatie meer catastrofaal dan in Nederland, onder meer door de grotere neerslaghoeveelheden en de steilere – sneller afstromende – rivieren.

Tot slot

Gelet op de snelle doorlooptijd, de capaciteit van het projectteam, en het nog niet beschikbaar zijn van meer gedetailleerde evaluaties en modelstudies wordt benadrukt dat dit een eerste verkenning betreft.

Vervolgstudies en evaluaties zullen volgen en bijdragen om een totaalbeeld te krijgen van de oorzaken en gevolgen van de overstromingen. Samenwerking in internationaal verband met de Maas- en Rijnsoeverstaten is hierbij evident. Op basis van de vervolgevaluaties kunnen alle betrokken partijen lessen trekken voor de toekomst en – waar nodig - aanpassingen en verbeteringen doen, bijvoorbeeld aan het riviersysteem, de waterkeringen, ruimtelijke ordening of op organisatorisch vlak. Dat hier voortvarend mee aan de slag dient te worden gegaan behoeft geen nadere toelichting; wateroverlast en hoogwater zullen ons in de toekomst bezig blijven houden, maar mogen ons nooit verrassen door een tekort in lerend vermogen.

Summary: the 2021 floods in the Netherlands - Facts and preliminary assessment

Context

In July of 2021, large areas in the province of Limburg in the Netherlands were affected by extreme rainfall and floods. Also large parts of particularly Belgium and Germany were flooded, which led to high damages, losses and hundreds of casualties. The floods are considered an extreme event with enormous impact and an exploratory fact finding study has therefore been conducted to collect and analyse information. A broad consortium of knowledge institutes participated in this effort: Delft University of Technology, Deltares, HKV Consultants, VU Amsterdam, University of Utrecht, KNMI, Wageningen University and Research, Erasmus MC and University of Twente. The project was commissioned and supported by the Dutch Expertise Network Flood Risk (ENW). The regional water authority Limburg and Rijkswaterstaat (Directorate General of Infrastructure and Water) contributed by providing information, accompanying field visits and participating in interviews. As flooding impacts all parts of a community, this fact finding study not only includes hydrological and civil engineering topics; attention is also given to the societal impacts of the floods, evacuation and response and the health impacts from the floods.

Meteorology and hydrology

The exceptional July 2021 precipitation in parts of the Belgian, German and Dutch catchments of the Meuse and Rhine river led to excessive water levels and flooding at many locations. Precipitation accumulated to 160 to 180 mm in two days over a large region. Similar heavy precipitation events in this area are rare and furthermore have never been registered in the summer season. The probability of occurrence is much smaller than can be directly derived from observations of past events, although a combination of measurements from past event with a large ensemble of model simulations indicates the probability of the Meuse two-day rainfall and peak discharge is on the order of 1:100 to 1:1000 per year. Precipitation forecasts days in advance indicated a high chance of excessive rainfall in the area, whereas peak discharge forecasts were only adjusted upwards just before the flooding events began. Without the July 2021 measurements, the precipitation generator in the GRADE instrument (the toolkit to assess long term discharge statistics and safety design standards) could not reproduce the observed peak flows. A recent event attribution study by the World Weather Attribution program (including the Dutch meteorological institute KNMI) indicates that historical climate change has contributed to an increased likelihood of this event, but the uncertainty range of this assessment is large, indicating a climate contribution ranging from +20% to a 9-fold probability increase relative to a preindustrial climate state.

River system

Recorded peak discharges on the Meuse at Eijsden and regional tributaries were the highest ever recorded. Waterlevels on the Meuse downstream of Roermond were lower than in previous peak events and also lower than would be expected based on available model results. The lower water levels result from implementation of the large scale room for the rivers programme, 'Meuse Works', as well as a strong flood wave flattening in the downstream parts of the system. The probability of occurrence of the recorded water level is around 1:200 per year for the Meuse at Borgharen and decreases to 1:15 per year downstream at Gennep. In the tributaries in Limburg the probabilities of occurrence of the recorded water levels vary widely: at many locations along the rivers Geul, Geleenbeek and Roer, probabilities are estimated to be between 1:100 and 1:1000 per year. The floods have also resulted in morphological changes. The armor layer in the bed of 'Grensmaas' broke up and resulted in multiple erosion pits with depths of at least 3 m. Riverbank erosion is observed and large quantities of sand were deposited on the banks. The floods also led to the transport of large amount of debris; 95% of the volume of plastic that is normally transported in a whole year was transported over 2 days.

Flood defences

The main flood defences along the Meuse river in the Netherlands performed well and did not breach. At some locations, incidents have been reported and an overview of all incidents with further description is provided in the report. The most prominent incidents were sand-boils (related to backward piping erosion underneath an embankment), overflow of an embankment at Aasterberg and damage to a weir at Bosscherveld, near Maastricht. During the event, the media reported on a dike breach at Meerssen and Bunde, however, after further investigation, it is concluded that this was not a dike breach but water coming from the Geul river and surfacing from an old and unmapped buried culvert. Two local (neither non-primary nor regional) flood defences breached: an emergency embankment at Horn and an embankment close to Roermond.

Damage

The floods in the Netherlands led to severe economic damage and losses in the affected area. A first estimate shows that more than 2.500 houses, more than 5.000 inhabitants and around 600 businesses are affected. With the Dutch standard Flood Damage and Loss Model (SSM2017), and based on figures from international literature, the total damage in the Netherlands is estimated in the order of € 350 – 600 million. Physical damage to houses and businesses, business interruption, damage to infrastructure and crop losses are the most significant. The observed damage to individual structures (residential and commercial) is highly variable. The estimated damage in the affected area is clearly larger than for the river floods in 1993 and 1995 (converted to 2021 prices: around € 200 million and € 125 million, respectively, excluding damage due to

business interruption). It is important to note is that the largest damages and losses occurred in the regional rivers, mainly in the Geul floodplain, while in 1993 and 1995 most damage and losses were recorded in the main Meuse floodplain. To further improve the estimates, it is recommended to validate these with actual damage reports from insurance companies and information acquired for the implementation of the national Act “Compensation of damage due to disasters” (WTS). Furthermore, an extensive survey in the affected area could help to get further insight in the experienced damages, recovery, response, effectiveness of risk-reduction measures and compensation.

Evacuations and emergency measures

Around 50,000 people along the flooded rivers have been evacuated. Along the river Geul, specifically in Valkenburg, most people were not evacuated before the flood arrived, with the exception of some campgrounds and 193 people in health care institutions. Along the river Meuse, most people were evacuated before the arrival of the peak discharge. Finally, no fatalities were reported in the Netherlands and the majority of the people evacuated themselves. The evacuation message was aimed at self-rescue of the inhabitants, which was successful. The number of people rescued by emergency services was limited, also in the severely flooded city of Valkenburg. Emergency measures, such as the placement of sand bags, were coordinated by professionals but often executed by the local residents. Information from experts from the national and regional water authorities has been used to inform communication on evacuation and emergency measures. In the decision-making process, measures were prioritized to save lives of people and animals, first and Covid-19 restrictions as second. The expected discharge for the Meuse river was uncertain for a long time and changed several times. Based on flood forecasts, measures were taken for areas with a higher flood probability in order to safeguard the lives of people and animals as much as possible.

Health impacts

The majority of healthcare workers – around two thirds - reported an increase of patients with psychological complaints (i.e. stress, concerns, and anxiety). In addition, some healthcare workers reported an increase of patients with gastroenteritis, respiratory complaints, and skin infections. Children and elderly were reported as risk groups and psychological symptoms were the main cause of absence from work. The impact of the floods on the drinking water extraction for the Dunea water supplier was limited, but substantial for suppliers Evides and WML. The drinking water well of the Maas and Eyserbeek were temporarily closed due to chemical and microbiological contamination. The reserve capacity was sufficient to prevent shortages of drinking water supplies, also due to the wet and mild summer. The province Limburg had the highest COVID-19 risk ratio among provinces of the Netherlands and also had the largest increase of new cases after the floods. The flooded municipality Valkenburg aan de Geul showed a risk ratio of >5 (and is within the top 5 of Limburg), suggesting that the floods may have contributed to SARS-CoV-2 transmission. However, the differences appear to be small and may have only occurred locally.

Flood impacts in Belgium, Luxembourg and Germany

Extreme rainfall was experienced simultaneously in a large area that included several tributaries of the Meuse in Belgium and the Rhine in Germany and Luxembourg. Due to the hilly terrain, the rain runoff immediately entered the rivers. Several villages in narrow valleys close to the Vesdre, Ahr and Sauer rivers were heavily affected and partially destroyed. Infrastructure (buildings, bridges, road, rail) was completely washed away. Hundreds of thousands of inhabitants were affected and more than 200 people died. The damage is estimated to be in the order of tens of billions of euros. In Belgium and Germany, damage and losses were the largest and only in these countries were fatalities recorded. The flood event in these countries was catastrophic, amongst others due to even larger rainfall amounts, steeper terrain and fast-flowing rivers.

Closing remarks

Given the short time period available, limited capacity of the project team and the fact that more detailed evaluations and model studies are not yet available, it is emphasized that this is a preliminary exploration. Follow-up studies and evaluations will follow and contribute to get a more complete insight in the causes and consequences of the floods. Given the transboundary nature of floods in this region, international and river-basin wide cooperation is crucial. Based on follow-up evaluations, all concerned stakeholders can draw lessons for the future and – where needed – adapt and improve the river system, flood defences, flood warning, spatial planning and governance. This learning process should start today: new floods will come but should never be allowed to surprise us with something we could have learned from past events.

1 Inleiding

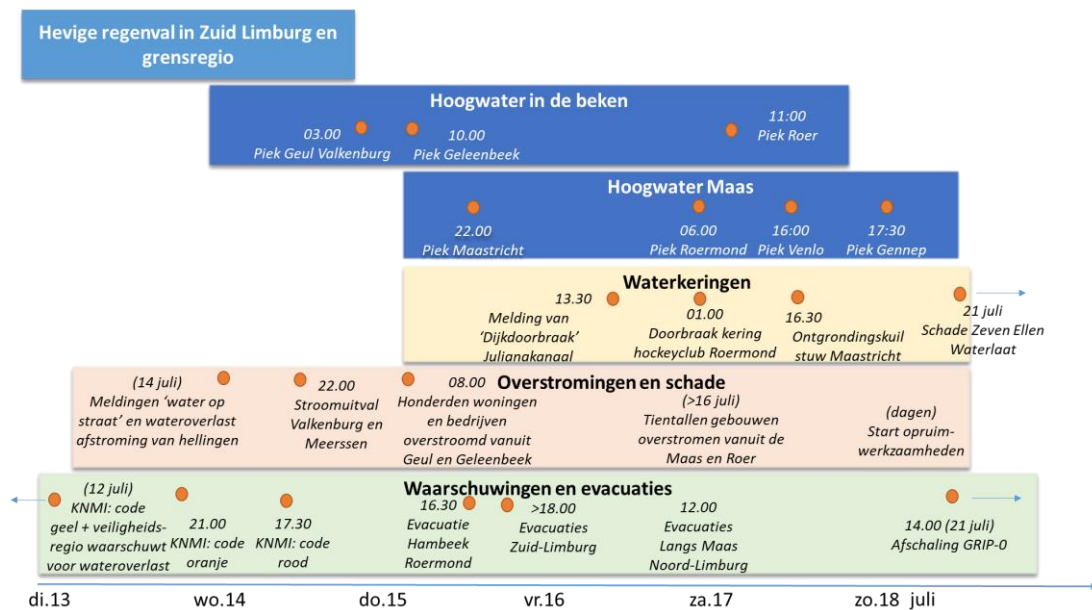
In juli 2021 zijn grote delen van Limburg getroffen door hevige regenval en overstromingen. Ook delen van België en Duitsland overstromden met zeer veel schade en verlies aan mensenlevens tot gevolg. Dit betrof een extreme en unieke gebeurtenis met enorme impact.

Daarom is naar aanleiding van de overstromingen voorliggende fact finding studie opgezet om een eerste stap te maken om beschikbare informatie over deze gebeurtenis te verzamelen en analyseren. Dit is gedaan in navolging van eerdere studies naar oorzaken en gevolgen van overstromingen in het buitenland, zoals die na de overstromingen van New Orleans, na orkaan Katrina (2005), rivieroverstromingen in Thailand (2011) en Duitsland (2013). De inzichten uit deze vorige studies zijn waar mogelijk gebruikt voor vervolgevaluaties, en om lessen te leren om het Nederlandse waterveiligheidsbeleid te versterken, bv. op kennis over waterkeringen en faalmechanismen, gevolgen van overstromingen en crisisbeheersing.

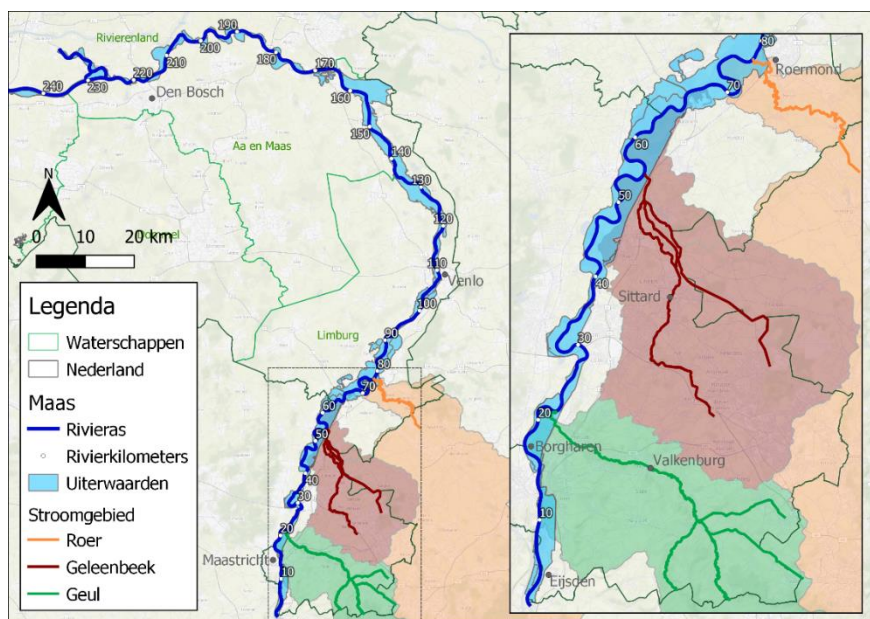
De voorliggende studie naar de overstromingen in de zomer van 2021 is in korte tijd uitgevoerd (eind juli tot begin september 2021). De studie heeft zich gericht op het verzamelen, documenteren en analyseren van feitelijke en voornamelijk technische gegevens. Het betreft nadrukkelijk geen evaluatie van beleid, organisaties, of een voorstel voor een nieuw plan voor het gebied voor de toekomst.

In deze studie is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van publiek toegankelijke informatie. Daarbij is ook contact geweest en informatie uitgewisseld met betrokken overheidsorganisaties zoals Waterschap Limburg en Rijkswaterstaat. Daarnaast zijn door leden van het projectteam direct na de overstromingen diverse veldbezoeken uitgevoerd om waarnemingen in het veld te doen en gegevens te verzamelen. De meeste aandacht is uitgegaan naar de overstromingen en effecten in eigen land. Daarnaast is op beknoptere wijze ook aandacht besteed aan de overstromingen in België en Duitsland.

Een overstroming heeft effect op de gehele maatschappij. Daarom zijn niet alleen hydrologische en civieltechnische onderwerpen beschouwd, maar ook de maatschappelijke gevolgen van overstromingen, de crisisrespons en de gezondheidseffecten en relatie met het regionale verloop van de Covid-19 pandemie. Deze onderwerpen komen aan bod in de verschillende hoofdstukken in dit rapport (zie kader hieronder). Figuur 1.1 geeft een eerste tijdslijn van enkele belangrijke en kenmerkende gebeurtenissen op het gebied van regenval, rivieren, waterkeringen, schade en crisisbeheersing. Figuur 1.2 bevat een overzichtskaart van de Maas en de stroomgebieden van de Roer, Geleenbeek en Geul.



Figuur 1.1: Algemene tijdslijn met enkele kenmerkende gebeurtenissen tijdens het hoogwater in juli 2021. Dit betreft geen volledig overzicht meer informatie over deze en andere gebeurtenissen is gegeven in de betreffende hoofdstukken



Figuur 1.2: Overzichtskarta van het Nederlandse traject van de Maas en de stroomgebieden van de Roer, Geleenbeek en Geul.

Kader: opbouw en hoofdstukken rapport taskforce fact finding hoogwater 2021

Hoofdstuk 1: Inleiding

Hoofdstuk 2: Meteorologie en hydrologie

Hoofdstuk 3: Rivierkunde

Hoofdstuk 4: Functioneren waterkeringen

Hoofdstuk 5: Schade door overstroming

Hoofdstuk 6: Gezondheidseffecten

Hoofdstuk 7: Evacuatie en noodmaatregelen

Hoofdstuk 8: Overstromingen in België, Luxemburg en Duitsland

Hoofdstuk 9: Slotwoord

De resultaten van dit rapport zijn gepresenteerd tijdens een afsluitend symposium op 9 september 2021. Ook zijn dit rapport en enkele belangrijke overzichtskaarten – van het overstroomde gebied en een overzicht van het functioneren van waterkeringen – op interactieve wijze beschikbaar gemaakt via de website [Publicaties - ENWinfo](#), en opgeslagen in het 4TU research data archief. Bij het rapport zijn bijlagen opgenomen die meer informatie geven over de verschillende deelonderwerpen.

Gelet op de snelle doorlooptijd, de capaciteit van het projectteam, en het nog niet beschikbaar zijn van meer gedetailleerde evaluaties en modelstudies wordt benadrukt dat dit een eerste verkenning betreft. Vervolgstudies en evaluaties zullen nodig zijn om een totaalbeeld te krijgen van de oorzaken en impacts van de overstromingen. Deze zullen ook een basis vormen om lessen te trekken voor de toekomst en – waar nodig - aanpassingen en verbeteringen te doen, bijvoorbeeld aan het riviersysteem, de waterkeringen, ruimtelijke ordening of op organisatorisch vlak.

De inzichten en bevindingen in dit rapport zijn tot stand gekomen op basis van informatie die in de weken na het hoogwater beschikbaar was (juli – begin september 2021). Op grond van vervolgstudies en evaluaties – onder meer door betrokken autoriteiten – kunnen nieuwe inzichten ontstaan in de beschreven situaties.

Organisatie en inbedding

De studie is uitgevoerd door een consortium van Nederlandse experts van diverse kennisinstellingen en organisaties: TU Delft, Deltares, HKV Lijn in Water, VU Amsterdam, Universiteit Utrecht, KNMI, WUR, Erasmus MC en Universiteit Twente. De betrokken experts zijn vermeld aan het eind van dit rapport. De projectleiding is uitgevoerd door TU Delft en Deltares.

De studie is uitgevoerd in opdracht van het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW). Dit is een onafhankelijk kennisnetwerk van specialisten in waterveiligheid dat gevraagd én ongevraagd overheidsorganisaties adviseert over vraagstukken op het gebied van waterveiligheid. Daarnaast beoogt het ENW om relevante ontwikkelingen op het gebied van waterveiligheid te volgen en hierover informatie te verzamelen en delen. In dit kader heeft het ENW ook deze studie naar deze voor Nederland unieke gebeurtenis mogelijk gemaakt.

2 Meteorologie en hydrologie

Op dinsdag en woensdag 13 en 14 juli 2021 was er sprake van uitzonderlijk zware neerslag in de Belgische, Duitse en Nederlandse delen van de stroomgebieden van de Maas en Rijn, die op veel plaatsen leidde tot overstromingen van de (zij)rivieren. De opgetreden 1- en 2-daagse neerslaghoeveelheden en afvoeren van deze rivieren zijn zeldzaam, en zeker in het zomerseizoen. Voor zowel neerslag als piekafvoer is de jaarlijkse kans van optreden¹ veel kleiner dan direct uit de beschikbare meetreeksen kan worden afgeleid, en wordt geschat op één op een paar honderd tot een paar duizend voor sommige deelgebieden. In het weekend voorafgaand werden al grote hoeveelheden neerslag voorspeld; kort voor de gebeurtenis zijn deze naar boven bijgesteld. Een 2-daagse neerslagsom zoals die is opgetreden kan niet worden gegenereerd met de neerslaggenerator in de huidige versie van het instrumentarium (GRADE) dat gebruikt wordt voor de bepaling van de afvoerstatistiek in het huidige en toekomstige klimaat. Een recent verschenen studie van onder meer KNMI geeft aan dat de kans op een gebeurtenis als deze is toegenomen als gevolg van klimaatverandering, maar de kwantitatieve schattingen van de verandering van die kans lopen uiteen van +20 tot +800% ten opzichte van het klimaat zonder menselijke invloed.

2.1. De meteorologische situatie

Ten tijde van de zware regenval rond 13 en 14 juli in oostelijk Zuid-Limburg, de Ardennen en de Eifel bevond zich een zogenoemde 'koudeput' in de omgeving, een lagedrukgebied met een koude luchtbel in de bovenlucht. Anders dan bij 'normale' lagedrukgebieden wordt een koudeput niet vergezeld van een frontensysteem, maar kan – zeker wanneer het systeem een grote omvang heeft – vochtige lucht aantrekken uit een groot domein.

In de bovenlucht snoert zo'n koudeput zich af van de straalstroom. Het is dan als het ware een op zichzelf staand systeem met grote temperatuurverschillen tussen het oppervlak en de bovenlucht, die energie levert voor sterke convectie en neerslagvorming. Figuur 2.1 toont de afsnoering en de aanvoerrichting van vochtige lucht op 14 juli. Bijlage A.1 toont de opbouw van de meteorologische situatie en de aanvoerroutes van de vochtige lucht die in het gebied uitregende voor verschillende aanvoerhoogtes. Doordat het systeem is afgesneden van de straalstroom wordt het alleen nog voortbewogen door (relatief langzame) luchtstroming in de onderste luchtlagen. De depressie kwam vast te liggen tussen een blokkerend hogedrukgebied boven

¹ Vaak wordt voor overschrijdingskans ook de term "herhalingstijd" (in jaren) gebruikt, die een gemiddelde kans op optreden van eens per zoveel jaar weergeeft.

Oost-Europa aan de ene kant, en een groot hogedrukgebied boven de centrale Atlantische Oceaan aan de andere kant.

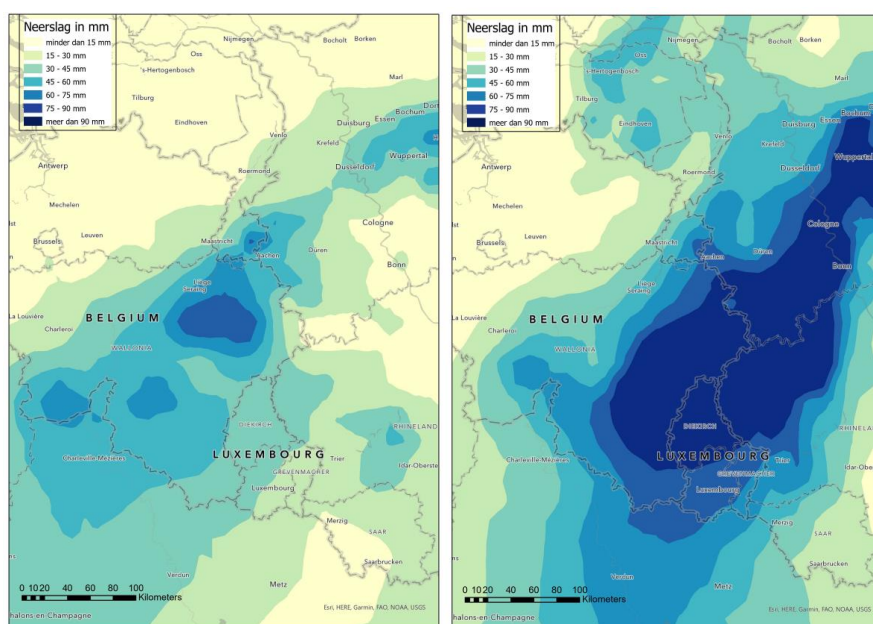
Lucht uit een groot gebied circuleerde rondom het lagedrukgebied en in de richting van de koude put, ging daar omhoog door de temperatuurgradiënt, koelde af en regende uit. Het systeem werd steeds van nieuw vocht voorzien door aanvoer vanuit een groot deel van Europa. In de dagen voor 14 juli draaide de aanvoerrichting van westelijk naar zuidelijk, en op grotere hoogte bleef de aanvoer uit Oost-Europa en het Middellandse Zeegebied komen. In de lagere luchtlagen (waar de meeste waterdamp zich bevindt) kwam echter een aanvoer vanuit de Baltische regio tot stand (Figuur 2.1), die zeer vochtig was door de hoge temperatuur van het zeewater en omliggend landgebied door een voorafgaande hittegolf in die regio. Een afsnoerende koudeput is in de zomer geen ongebruikelijke situatie in de regio. De stagnerende positie en de daarmee samenhangende opgetreden hoge neerslagsommen (zie volgende paragraaf) zijn dat wel (pers.comm. Rob Groenland, KNMI). Recente zomerse overstromingen in het gebied van de Oder (1997) en de Elbe (2002 en 2013) werden veroorzaakt door andere meteorologische situaties: in de Oder was er sprake van een aantal kort opeenvolgende voorbijtrekkende depressies, terwijl de neerslag in het Elbe in beide jaren vanuit het Middellandse Zeegebied naar de Alpen werd getransporteerd.



Figuur 2.1: Meteorologische situatie op 14 juli 2021, inclusief een indicatie van de aanvoerroute van vochtige lucht in verschillende luchtlagen. Getoond zijn de 700 hPa drukverdeling (contouren) en een momentopname van de neerslagradar om 12 UTC van de achtereenvolgende dagen. "Nabij oppervlak" is de laag onder 900 hPa, terwijl "Midden atmosfeer" de luchtlag tussen 900 en 700 hPa aangeeft. Resultaten voor alle dagen tussen 11 en 15 juli, en details van de aanvoerbanen van vochtige lucht voor verschillende aanvoerhoogtes staan in Bijlage A.1.

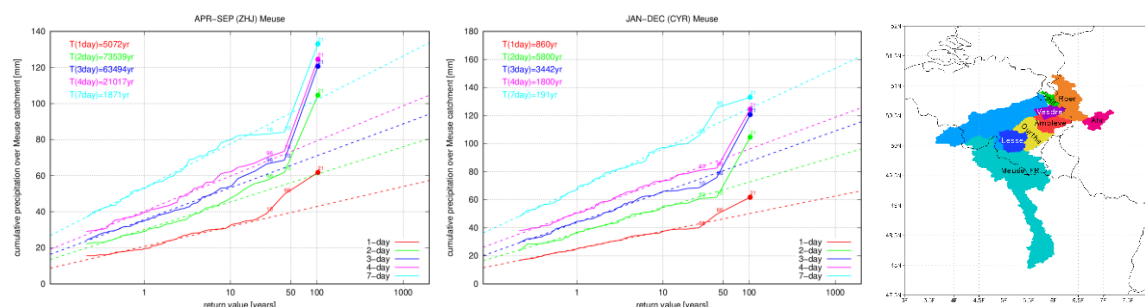
2.2. De neerslagverdeling en overschrijdingskansen

Figuur 2.2 toont de neerslagsommen in de dagen op en rond 13 en 14 juli. In het oostelijke deel van Zuid-Limburg viel de meeste neerslag in Nederland, met 48-uurs waarden voor 13 en 14 juli van 158 mm in Schaesberg en 182 mm in Ubachsberg. De meeste neerslag in de regio viel op 14 juli en vooral in België en Duitsland



Figuur 2.2: Dagsom neerslag (mm) voor 13 en 14 juli, afgeleid uit de E-OBS data set. Resultaten voor alle dagen tussen 11 en 15 juli staan in Bijlage A.1.

De neerslaghoeveelheid in dit gebied is uitzonderlijk, zeker voor het zomerhalfjaar. Volgens de KNMI/STOWA/HKV neerslagstatistiek (Stowa, 2019) is de overschrijdingskans van de gemeten 48-uurs som voor Schaesberg ca 1:1000 jaar. De bepaling van zulke kleine kansen is echter zeer onzeker: de opgetreden hoeveelheden zijn voor veel locaties absolute records in de meetreeks van ruim 100 jaar, waardoor de gebeurtenis ver in het extreme bereik van de gebruikte statistische modellen ligt.



Figuur 2.3: Extreme-waardenverdeling van neerslag in het stroomgebied van de Maas bovenstrooms van Borgharen voor (links) het zomerhalfjaar, en (midden) het kalenderjaar, voor verschillende accumulatie-intervallen (van 1 tot 7 dagen) op basis van E-OBS data. Getrokken lijnen en symbolen tonen de waarnemingen; de rechte gestippelde lijnen tonen de Gumbel-verdelingen. Rechts de gebieden waarvoor herhalings tijden zijn gerapporteerd in Tabel 2.1.

Figuur 2.3 toont de extreme-waardenverdeling van de opgetreden neerslag in het Maasstroomgebied op basis van een Gumbelverdeling. Bijlage A.2 geeft de herhalings tijden van 2-daagse neerslagsommen die hieruit zijn afgeleid voor verschillende deelstroomgebieden van de Maas. Vooral de stroomgebieden in het oosten van de regio hebben extreem veel neerslag gekregen. Voor de Maas bovenstrooms van Borgharen is de herhalings tijd van de opgetreden neerslag in het zomerhalfjaar >10.000 jaar. Voor de meeste deelgebieden komt extreme neerslag vaker voor in de winter dan in de zomer. Neerslag in het zomerhalfjaar heeft daarom doorgaans een langere herhalings tijd (of kleinere overschrijdingskans) dan voor het hele kalenderjaar.

Tabel 2.1: Herhalings tijden (jaar) van opgetreden 48-uurs som neerslag in aangegeven stroomgebieden van Figuur 2.3, berekend voor het zomerhalfjaar en het kalenderjaar. Herhalings tijden zijn berekend met een Gumbelverdeling op basis van de E-OBS dataset. Berekenende resultaten zijn afgerond.

Gebied	Zomerhalfjaar	Kalenderjaar
Maas	>10.000	5.800
Geul	1.500	1.000
Roer	1.800	540
Ambleve	>100.000	>100.000
Lesse	>10.000	9.400
Ahr	>10.000	3.800
Ourthe	>10.000	>10.000
Vesdre	>10.000	>10.000
Meuse FR	450	50

Door de natuurlijke grilligheid van de neerslagverdeling is de bepaling van de herhalings tijd voor relatief kleine stroomgebieden (zelfs die van de Maas als geheel) zeer onzeker. Een recente publicatie van het World Weather Attribution programma (WWA, 2021) - zie ook verderop in dit hoofdstuk - schat dat de 2-daagse gebeurtenis zoals die in het Maasstroomgebied is opgetreden voor de meeste gebieden in het grote gebied

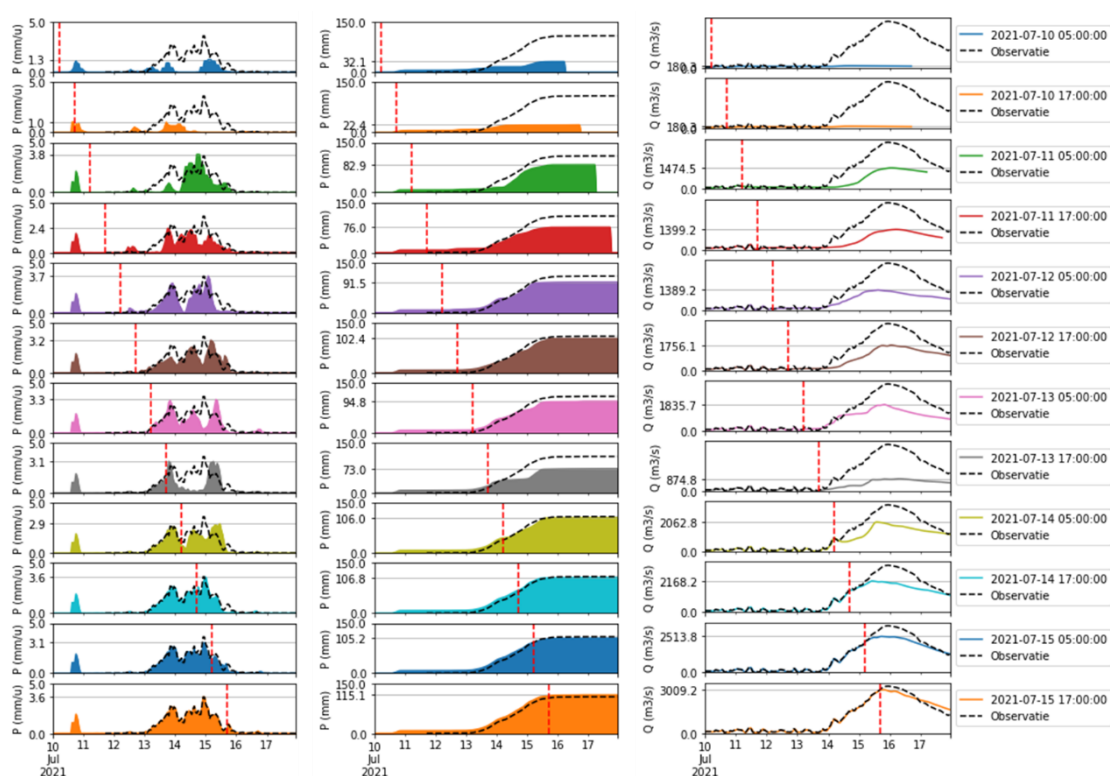
tussen de Alpen en Nederland een overschrijdingskans heeft van eens per ca 300 jaar . Deze schatting is met een iets andere statistische methode uitgevoerd dan de Gumbelverdeling in Figuur 2.3, maar is robuuster doordat meer gegevens (van een groter gebied) zijn gebruikt voor de statistische extrapolatie.

2.3. Neerslag- en afvoerverwachtingen

Waarschuwingen voor extreme neerslag en grote rivierafvoeren zijn gebaseerd op neerslag-afvoerverwachtingen. Verschillende systemen zijn hiervoor operationeel binnen de verantwoordelijke organisaties, met verschillende meteorologische en hydrologische modellen, ruimtelijke resoluties, gebruik van gegevens en waarschuwingsthresholds. Rijkswaterstaat maakt de afvoer- en waterstandsverwachtingen voor de Maas. Voor de zijrivieren maken de waterschappen de afvoer- en waterstandsverwachtingen. Er is geen systematische vergelijking uitgevoerd tussen de kwaliteit van de voorspellingen van de verschillende systemen, maar een representatieve evaluatie hiervan is wel uitgevoerd voor de Maas. Figuur 2.4 toont resultaten die voorafgaand en tijdens de gebeurtenis zijn gegenereerd door het operationeel waarschuwingssysteem van RWS.

De verwachtingen die zijn afgegeven op 10 juli gaven nog geen indicatie van grote neerslaghoeveelheden, maar vanaf 11 juli is er duidelijk sprake van vooruitzichten van extreme neerslag in het gebied. De neerslaghoeveelheid en bijbehorende piekafvoer zijn echter meermaals naar boven bijgesteld tot vlak voor en tijdens de 2-daagse neerslaggebeurtenis. De piekafvoer (ongeveer 3260 m³/s bij Sint Pieter in de avond van 15 juli) is systematisch onderschat tot een aantal uren voor de opgetreden piek, toen de meeste regen al gevallen was. Vergelijkbare resultaten zijn gevonden voor verwachtingen van deelgebieden bovenstrooms van Borgharen. Het is mogelijk dat voorspellingssystemen die kansverwachtingen produceren deze piekafvoer al eerder binnen de voorspelde kansverdeling hebben weergegeven, maar dat is nog niet onderzocht.

Het waterschap Limburg maakt de afvoer- en waterstandsverwachtingen voor de Roer en de Geul. De applicatie voor de Geul was rondom het hoogwater niet actief vanwege onderhoudswerkzaamheden. Tijdens het hoogwater is door hydrologen van het waterschap ingeschat dat het Geulmodel dit soort extremen niet goed zou kunnen simuleren, en er is om die reden geen actie ondernomen om het oude systeem weer snel in de lucht te brengen. Het voorspelsysteem voor de Roer heeft wel goed gefunctioneerd. Ten tijde van het hoogwater heeft het hydrologische meetnetwerk van waterschap Limburg behoorlijk goed gefunctioneerd (op enkele uitgevallen meetpunten na) waardoor er goed overzicht bestond van de gebeurtenissen. De informatie over de actuele neerslag was echter van onvoldoende kwaliteit. Het aantal neerslagmeters in het gebied is beperkt, en het real-time KNMI radarproduct onderschatte de neerslagvolumes met circa een factor drie (Imhoff et al., 2021).



Figuur 2.4: Evaluatie van de voorspelde neerslag en piekafvoer voor het Maasstroomgebied bovenstrooms van Borgharen. Op elke rij is een nieuwe voorspelling weergegeven met intervallen van 12 uur (bovenste rij: initialisatie op 10 juli 5:00 lokale tijd; onderste rij 15 juli 17:00 lokale tijd). Waargenomen neerslag per uur (linker kolom), cumulatieve neerslag (midden kolom) en afvoer bij Borgharen (rechter kolom) zijn weergegeven met zwarte stippellijnen; voorspellingen aangevuld met waarnemingen voor de periode voorafgaand aan de voorspelling zijn gekleurde vlakken. Voorspellingen zijn geproduceerd met het RWSoS systeem met COSMO-EU meteorologische en Delft-FEWS hydrologische verwachtingen, en geïnitieerd op het moment aangegeven door de verticale rode stippellijn.

De waterschappen Aa en Maas en De Dommel konden tijdig anticiperen door onder andere de Aa en de Dommel bovenstrooms van Eindhoven zoveel mogelijk via het Wilhelminakanaal af te laten voeren en zo het systeem bij Den Bosch zo veel mogelijk te ontlasten. Met behulp van hun gezamenlijk hoogwater voorspelsysteem (BOS Brabant) kon tijdig worden vastgesteld dat er geen problemen zouden ontstaan.

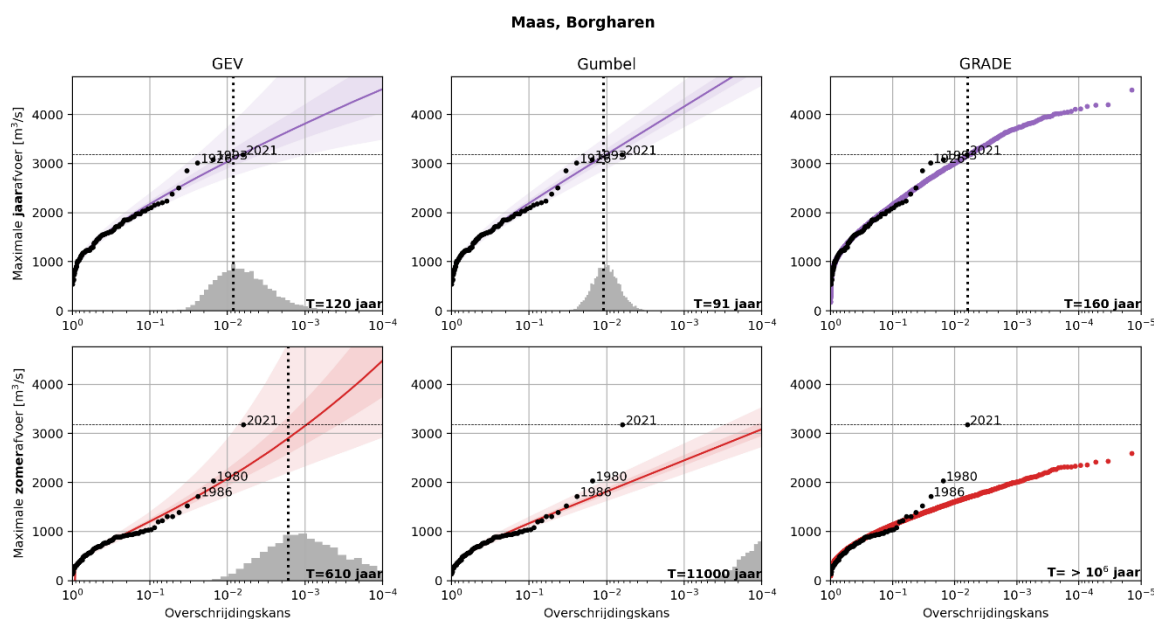
2.4. Afvoerstatistiek

Afvoeren van de Maas en nevenrivieren worden bepaald door de verdeling van de neerslag in ruimte en tijd, de hydrologische voorgeschiedenis van de stroomgebieden (met name de bergingscapaciteit) en de gebiedskarakteristieken (topografie en aanwezige dammen en reservoirs). De WWA studie besteedt enige aandacht aan het gegeven dat het natte voorjaar de infiltratiecapaciteit van de stroomgebieden enigszins heeft beperkt. De ruimtelijke variatie van de maximale bergingscapaciteit in de onverzadigde zone is erg groot (varieert in de WWA analyse tussen vrijwel 0 en 75mm op lokale schaal). De relatief natte bodems hebben waarschijnlijk een klein effect gehad op de hoeveelheid afgevoerde neerslag: het regende te hard om een substantieel deel van de neerslag in de bodem te infiltreren. Bergingsreservoirs die in lager gelegen delen van het Maasstroomgebied zijn ingezet hebben mogelijk wel tot een aftopping van de afvoerpiek geleid (zie verder sectie 3.1.2).

De overstromingen hebben met name in de stroomgebieden van de Ahr en in de oostelijke Belgische deelgebieden tot grote schade geleid door de hoge afvoerpiek en het korte tijdsbestek waarin deze tot stand kwam. Dit is deels veroorzaakt door de ligging van het neerslaggebied (zie Figuur 2.2), en deels door het steile terrein. Zo heeft de Ahr een gemiddeld hellingpercentage van 14%, de stroomgebieden in Oost België 8 tot 10%, en de Geul en Roer 6%.

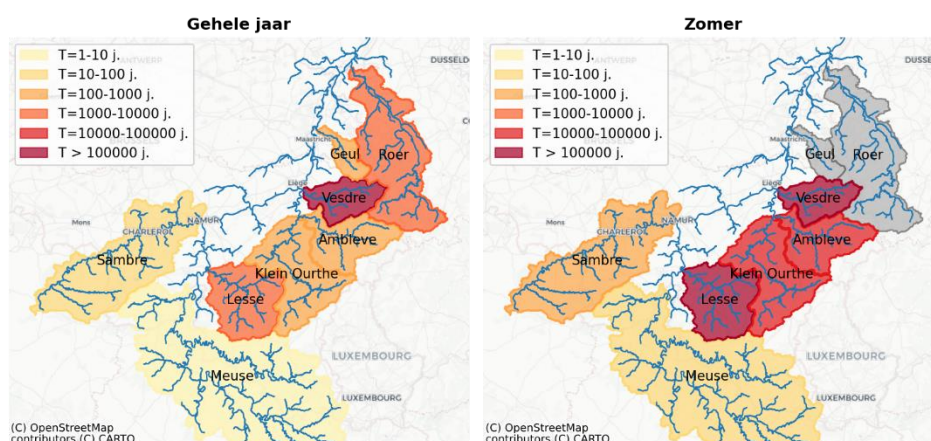
De herhalingstijd van de afvoerpiek in de verschillende stroomgebieden van de Maas is berekend met verschillende statistische modellen (zie Figuur 2.5 voor de Maas). Net als voor de herhalingstijd van de 2-daagse neerslagsom (Figuur 2.3) is gebruik gemaakt van een Gumbelverdeling, een extreme-waardenverdeling zonder kromming in de staart wordt gefit door de (half)jaarmaxima van de historische meetreeks. Daarnaast is een Generalized Extreme Value (GEV) verdeling gebruikt die wel een vormparameter bevat waarmee de extremen in de staart van de verdeling beter gefit kunnen worden. Tenslotte is gebruik gemaakt van het GRADE instrumentarium, waarin een synthetische tijdreeks van dagelijkse neerslag wordt samengesteld uit de historische dagsommen, die als input wordt gebruikt voor fysische afvoerberekeningen (zie ook sectie 2.5).

Wanneer de gemeten afvoer wordt vergeleken met de jaarmaxima geven de drie gebruikte modellen een vergelijkbare overschrijdingskans van 1:100 à 1:200 jaar. Maar voor de zomerperiode zien we dat de herhalingstijd substantieel groter is, en extreem groot voor de Gumbelverdeling en GRADE. De onzekerheid hiervan is echter groot. De GEV-verdeling geeft een veel hogere schatting (1:600 voor zomerhalfjaren) maar het betrouwbaarheidsinterval van de fit is groot (tussen ca. 1:100 en 1:10.000 jaar).



Figuur 2.5: Extreme waarden verdeling voor de piekafvoer van de Maas bij Borgharen Dorp, bepaald met een Generalized Extreme Value (GEV) verdeling (links), een Gumbelverdeling (midden) en het GRADE instrumentarium (rechts) op basis van de maximale afvoer in een kalenderjaar (bovenste rij) en het zomerhalfjaar (onderste rij). De kleur-arcering geeft het betrouwbaarheidsinterval van de extreme waarde verdelingen weer (2.5-97.5% en 25-75%), en de histogrammen de kansverdeling van de herhalingsjijd van de 2021 piekafvoer (zie tekst). De beste schatting van de herhalingsjijd is weergegeven in elk panel.

Figuur 2.6 geeft de herhalingsjijd van de gemeten afvoerpiek in het zomerhalfjaar van de verschillende stroomgebieden weer, geschat met de Gumbelverdeling. Bijlage A.2 toont de resultaten voor andere statistische modellen en voor het kalenderjaar. Voor de afvoer van de Vesdre bij Chaudfontaine was geen meetwaarde beschikbaar omdat de afvoergolf buiten het meetbereik kwam, en is op basis van FEWS berekeningen een waarde van 520 m³/s geschat. Voor zowel de Roer als de Geul gaven de waterstandsmetingen gecombineerd met een waterstand-afvoer relatie geen betrouwbaar beeld van de afvoer. Voor de Roer is tijdens het hoogwater handmatig (door het waterschap) een afvoer van 270 m³/s gemeten. Dit besloeg echter maar een deel van het stroomprofiel, dus mogelijk is de totale afvoer nog hoger. Voor de Geul is een dergelijke meting niet uitgevoerd, en is de geregistreerde afvoer (en dus de berekende overschrijdingsfrequentie) waarschijnlijk een onderschatting. Duidelijk is te zien dat met name de oostelijke deelstroomgebieden van de Maas een extreme afvoerpiek hebben gehad.

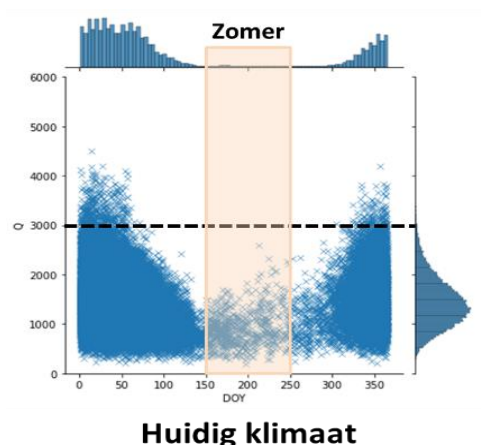


Figuur 2.6: Herhalingstijd van de gemeten piekafvoer voor de verschillende stroomgebieden voor (links) het gehele kalenderjaar en (rechts) het zomerhalfjaar met een Gumbelverdeling (zie ook Bijlage A.2). In grijs gekleurde gebieden is de herhalingstijd niet te bepalen door onvolkomenheden in afvoermetingen.

2.5. Afvoerstatistiek volgens het GRADE instrumentarium

GRADE is het standaard instrumentarium van RWS voor de berekening van overschrijdingskansen van extreme afvoeren van de Maas bij Borgharen en de bovenstroomse deelstroomgebieden. Een synthetische reeks van 50.000 jaar is geconstrueerd op basis van de historische neerslag/temperatuur waarnemingen (Figuur 2.7). Hierbij is de in juli 2021 opgetreden neerslaggebeurtenis niet gebruikt. In de uitvoer van het GRADE instrumentarium wordt de gemeten piekafvoer regelmatig overschreden, maar nooit in de zomerperiode.

Bij wijze van proef is een GRADE neerslagreeks gegenereerd die is gebaseerd op een historische tijdreeks waarin de extreme neerslag van juli 2021 is opgenomen. Deze aanpassing van het instrumentarium heeft een groot effect op de extreme neerslag met een lange herhalingstijd, wat een sterke gevoeligheid van de neerslaggenerator voor de toevoeging van een enkele extreme meetwaarde illustreert. De implicaties van deze analyse moeten nog worden geëvalueerd



Figuur 2.7: Verdeling van de berekende piekafvoer bij Borgharen over de jaarkalender op basis van 50.000 jaar GRADE berekeningen voor het huidige klimaat. De zwarte stippellijn geeft bij benadering de gemeten afvoer op 15 juli 2021 weer. De histogrammen aan de bovenzijde tonen het aantal keer dat deze afvoer wordt overschreden.

2.6. De rol van klimaatverandering

Een toename van de extreme neerslagintensiteit in deze regio is in lijn met de bevindingen van het recente IPCC 6^e Assessment Report (IPCC, 2021), en met de KNMI'14 klimaatscenario's. Tussen 1960-1991 en 1991-2020 steeg in de zomer de temperatuur in De Bilt toe met 1.3°C, de neerslag in Nederland nam 13% toe, en het aantal dagen met minstens 20 millimeter neerslag met 25%. De hoeveelheid vocht in de lucht in de zomer is sinds 1951 in Nederland met zo'n 8% toegenomen. Extreme neerslag boven een bepaalde drempelwaarde neemt in Europa sterker toe per graad opwarming dan gemiddelde neerslag.

Het World Weather Attribution programma, waarin onder andere het KNMI actief participeert, heeft onlangs een berekening gepresenteerd van de mate waarin de historische en toekomstige klimaatrends bijdragen aan de kans op 1- of 2-daagse neerslagsom zoals is opgetreden in het getroffen gebied. Daarbij is gebruik gemaakt van meetreeksen², regionale klimaatmodel simulaties en berekeningen met hoge resolutie modellen die convectieve (neerslag)processen expliciet representeren.

In de metingen voorafgaand aan de juli 2021 neerslaggebeurtenis geaggregeerd voor het Maasstroomgebied is geen duidelijke trend in extreme neerslag te zien. Daarom geven de waarnemingen op zichzelf geen

² Op basis van een methodologie waarin een exponentieel verband tussen globaal gemiddelde temperatuur en extreme neerslag is aangenomen in de gebruikte extreme waarden-verdeling, geïnspireerd op de fysische relatie tussen luchttemperatuur en vochtinhoud

grondslag voor de veronderstelling dat klimaatverandering in dit gebied de kans op vergelijkbare gebeurtenissen beïnvloedt. Toevoeging van historische modelsimulaties verkleint de onzekerheidsmarge enigszins, maar de gezamenlijke analyse geeft voor dit gebied nog steeds geen bewijs dat klimaatverandering de kans op een vergelijkbare gebeurtenis heeft vergroot of verkleind³. Modelprojecties voor de toekomst geven in het algemeen een veel kleinere onzekerheidsmarge⁴ en wijzen op een toename op de kans op de opgetreden neerslag met 0 tot 30% als de opwarming doorzet.

Tabel 2.2: Samenvatting van de hoofdconclusies van de WWA klimaat-attributie studie. De weergegeven getallen geven een bandbreedte van de fractie waarmee klimaatverandering de kans op de opgetreden zomerneerslag heeft beïnvloed (de kansverhouding). Resultaten zijn gegeven voor de 24- en 48-uurs som in het zomerhalfjaar zoals waargenomen in het betreffende gebied. De "synthese" betreft een uitspraak op basis van de combinatie van waarnemingen en model-resultaten, terwijl "projecties" gebaseerd is op modelprojecties voor toekomstige veranderingen. Zie referentie 1

Gebied en periode	Synthese (waarnemingen + modellen)	Projecties (modelprojecties toekomst)
Maasstroomgebied		
48-uurssom	0.4 - 3	1.0 – 1.3
Tussen Alpen en Nederland		
24-uurssom	1.2 - 9	1.2 – 1.4
48-uurssom	1.5 - 7	1.1 – 1.4

In de recente geschiedenis heeft er echter een aantal grote zomerse overstromingen in rivieren in Noord-West Europa plaatsgevonden (Oder 1997, Elbe 2002 en 2013). De meteorologische situaties van deze gebeurtenissen verschilden van die in juli 2021 (zie sectie 2.1), maar ook bij die gebeurtenissen was de gevallen neerslag zeer extreem en was de overschrijdingskans moeilijk te bepalen. Om de robuustheid van de conclusies over de overschrijdingskans en de invloed van klimaatverandering daarop te vergroten heeft WWA de analyses ook uitgevoerd voor 14 vierkante deelgebieden tussen de Alpen en Nederland. De kans op een neerslaghoeveelheid die vergelijkbaar is met de neerslag in het Maasstroomgebied gemiddeld over deze 14 deelgebieden wordt geschat op 1:400 voor de opgetreden 24-uurs som, en 1:300 voor de 2-daagse neerslagsom. De bijdrage van klimaatverandering aan deze kans is nog steeds zeer onzeker, maar de resultaten wijzen op een significante toename van de kans op opgetreden dagsommen met +20 – 800% als

³ De invloed van klimaatverandering op de kans op de opgetreden neerslaghoeveelheid wordt uitgedrukt als een kansverhouding, die de verhouding tussen de kans op deze neerslag met en zonder klimaatverandering weergeeft. Een waarde < 1 betekent dat klimaatverandering deze kans heeft verkleind; bij een waarde > 1 zorgt klimaatverandering voor een grotere kans op deze neerslag.

⁴ Gebruik van modelprojecties voor toekomstig klimaat hebben een kleinere onzekerheidsmarge omdat ze (a) geen rekening houden met systematische verschillen tussen waarnemingen en modellen, en (b) er meerdere realisaties van een tijdvak worden gebruikt (waarmee de ruis van natuurlijke variabiliteit wordt onderdrukt) zoals waargenomen in het betreffende gebied. De "synthese" betreft een uitspraak op basis van de combinatie van waarnemingen en model-resultaten, terwijl "projecties" gebaseerd is op modelprojecties voor toekomstige veranderingen.

gevolg van de historische opwarming (zie Tabel 2.2). Ook voor de toekomstige modelprojecties wijzen de resultaten op een systematische vergroting van de neerslagintensiteit van extreme neerslag in deze regio.

In een warmer klimaat bevat en transporteert de atmosfeer meer vocht, en dit vergroot de hoeveelheid water die er voor een gegeven tijdsinterval potentieel uit kan regenen. Klimaatverandering leidt echter ook tot een verandering van de verticale opbouw van de atmosfeer (die van belang is voor de intensiteit van individuele buien). Daarnaast leiden grote veranderingen van de temperatuurverdeling over het aardoppervlak tot een verandering van de circulatiepatronen, wat ook een effect heeft op de frequentie van (extreme) neerslag. Ook het recente IPCC AR6 rapport signaleert een vergrote kans op extreme neerslag in deze klimaatregio. De mate waarin klimaatverandering leidt tot stagnerende of persistente weerregimes die verantwoordelijk zijn voor grote meerdaagse neerslaghoeveelheden, of tot verschuiving van de seizoenscyclus van deze weerregimes is echter nog onduidelijk en onderwerp van een toenemend aantal wetenschappelijke studies.

2.7. Conclusies

De meteorologische situatie zoals die zich in de periode tussen 11 en 15 juli 2021 heeft voltrokken heeft in grote delen van het stroomgebied van de Maas en Rijn tot neerslaghoeveelheden zonder precedent geleid. Dergelijke circulatiesystemen komen in deze regio in de winter vaker voor dan in de zomer, maar ook vergeleken met de gemeten neerslag in zomer én wintermaanden was er in veel deelgebieden sprake van een absoluut record. De piekafvoer van de Maas bij Borgharen en St.Pieter liggen vlakbij of zelfs boven de afvoer waarop de dijken zijn ontworpen, maar in diverse deelstroomgebieden zijn afvoeren veel groter geweest dan ooit gemeten. De herhalingstijd van deze gebeurtenis voor het zomerhalfjaar is moeilijk kwantitatief vast te stellen en hangt sterk af van statistische aannames over de onderliggende extreme waardenverdeling. De statistische neerslaggenerator in de huidige versie van het GRADE instrumentarium, dat afvoerstatistiek voor het huidige en toekomstige klimaat afleidt, kon een vergelijkbaar extreme zomerneerslag niet construeren.

Een groot deel van het gebied met extreme neerslag bevond zich in Duitsland en België. Door het steile heuvelland met ondoorlatend gesteente en het samenvallen van afvoerpieken uit diverse zijrivieren leidde de extreme neerslag in sommige Duitse en Belgische stroomgebieden tot ongeëvenaarde afvoerpieken die voor veel slachtoffers en schade hebben gezorgd.

De meteorologische en – in mindere mate – hydrologische verwachtingen gaven een aantal dagen voor 13 juli al een indicatie voor extreme neerslag en afvoer. De afvoerwachtingen zijn in de aanloop naar het hoogwater herhaaldelijk naar boven bijgesteld, zelfs tot op het moment dat de grootste hoeveelheid neerslag

al was gevallen. Betere neerslagverwachtingen zullen waarschijnlijk leiden tot een verbetering van de afvoerverwachtingen en waarschuwingen.

De korte reeks waarnemingen en modelprojecties, en het relatief kleine stroomgebied van de Maas maken het vrijwel onmogelijk om een eenduidig verband tussen lokale extreme neerslagintensiteit en historische opwarming vast te stellen. Wanneer gebruik wordt gemaakt van een samengestelde dataset voor een grotere regio tussen de Alpen en Nederland is een duidelijk positief effect van opwarming op de neerslagintensiteit aangetoond, maar is er nog sprake van een grote onzekerheidsmarge.

2.8. Slotopmerkingen

De grote onzekerheid waarmee overschrijdingskansen van extreme neerslag en afvoer bepaald kunnen worden voor kleine stroomgebieden beperkt de toepasbaarheid van probabilistische risicobenaderingen voor deze extremen. De manier waarop informatie over zeldzame gebeurtenissen en gevolgen gebruikt kan worden in risicoanalyses, bijvoorbeeld door gebruik van “low-likelihood high-impact” storylines, moet verder worden verkend.

Bij de bepaling van deze kansen kan het beschouwde domein op verschillende manieren worden gedefinieerd, zowel in ruimte als in tijd. De kans op een extreme neerslaggebeurtenis voor het Maasstroomgebied is anders voor zomerperioden dan voor het hele kalenderjaar. De vergelijking van lokale overschrijdingskansen met kansen op vergelijkbare extremen in andere Noordwest-Europese regio's levert een robuustere schatting op, en geeft ook een scherpere beschrijving van de rol van klimaatverandering. De implicaties van deze aanvullende temporele en ruimtelijke beschouwingen moeten nader worden verkend.

Daarnaast zijn er een aantal aanbevelingen op te tekenen voor nader onderzoek naar de onderliggende processen, gebruikte data en ontwikkelde modelsystemen:

- Meer kennis over de (meteorologische of hydrologische) achtergrond van de substantiële bijstelling van de afvoerverwachting is nodig om de waarschuwingssystemen te verbeteren.
- Zonder de neerslagwaarneming van juli 2021 in de GRADE database was het onmogelijk om de opgetreden hoogwater situaties in de zomer goed te reproduceren. Gevoeligheidsstudies met de neerslaggenerator maken duidelijk dat het instrumentarium gevoelig is voor een individuele extreme gebeurtenis. De implicaties van deze eigenschap van GRADE op de voorspelde grootte van extreme afvoeren moet worden geëvalueerd.
- De bijdrage van klimaatverandering aan de kans op een hoogwater zoals dat van juli 2021 in deze fact-finding legt niet bloot welke fysische processen hier een rol in spelen. Met is nog onduidelijk in hoeverre mondiale opwarming kan bijdragen aan een verandering van de kans op (persistente)

circulatiepatronen die verantwoordelijk zijn voor deze extreme zomerneerslag. Dit inzicht is van belang voor de analyse van toekomstige overstromingsrisico's.

2.9. Referenties

Imhoff, R., Brauer, C., van Heeringen, K.-J., Leijnse, H., Overeem, A., Weerts, A., and Uijlenhoet, R. (2021): A climatological benchmark for operational radar rainfall bias reduction, Hydrol. Earth Syst. Sci., 25, 4061–4080, <https://doi.org/10.5194/hess-25-4061-2021>.

IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Stowa (2019). Neerslagstatistiek en -reeksen voor het waterbeheer 2019.

<https://www.stowa.nl/publicaties/neerslagstatistiek-en-reeksen-voor-het-waterbeheer-2019>

WWA (2021). Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during Juli 2021. <https://www.worldweatherattribution.org/heavy-rainfall-which-led-to-severe-flooding-in-western-europe-made-more-likely-by-climate-change/>, pp. 51

3 Rivierkunde

Tijdens de hevige neerslag in België, Duitsland en Nederland is het regenwater snel naar de regionale rivieren en de Maas gestroomd, waarna deze rivieren buiten hun oevers traden. Dit hoofdstuk beschrijft de hydrodynamische feiten (afvoeren, waterstanden, overstroomd gebied), plaatst dit in perspectief door vergelijking met onder meer eerdere hoogwaters, benoemt de morfologische veranderingen en sluit af met de plasticvervuiling als gevolg van het hoogwater.

3.1 Hoe heeft het hoogwater zich verplaatst door het stroomgebied in Nederland?

3.1.1 Maximale waterstanden, moment van optreden en overstroomd gebied

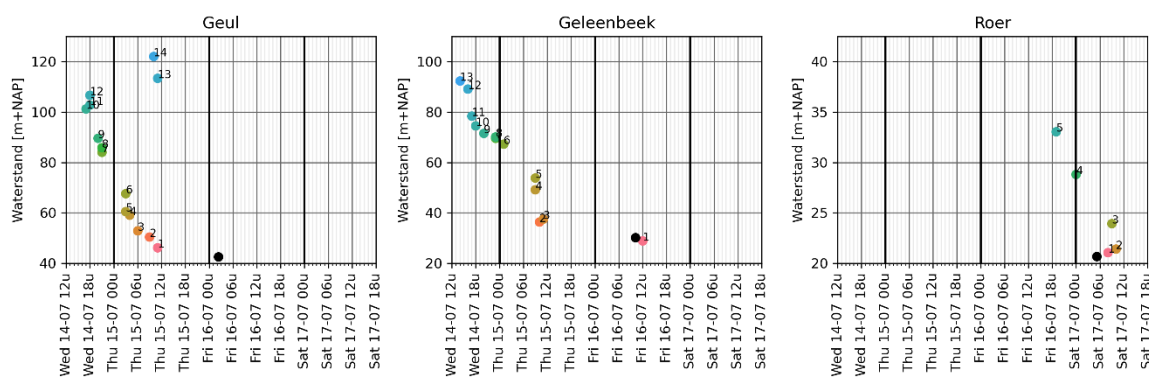
In het vorige hoofdstuk is ingegaan op de gevallen neerslag en de afvoer die dit heeft gegeven op de Maas bij de landsgrens bij Eijsden. Voor de hoogte en de timing van de piekwaterstanden benedenstrooms langs de Maas is echter niet alleen de maximale⁵ afvoer bij Eijsden van belang, maar ook de vorm van de afvoergolf (de duur van het hoogwater) en de omvang en timing van de afvoer uit de zijrivieren in Nederland.

Enkele belangrijke zijrivieren van de Maas in Nederland zijn (van bovenstrooms naar benedenstrooms) Geul, Geleenbeek, Roer, Swalm, Neerbeek en Niers. In deze *fact finding* focussen we op de beekdalen van de Geul, de Geleenbeek en de Roer, waarlangs de meeste overlast heeft plaatsgevonden (zie Figuur 1.2). De maximale waterstanden in de beekdalen van de Geul en Geleenbeek vonden plaats rond woensdagavond 14 juli en donderdagochtend 15 juli (zie Figuur 3.1). Beide beekdalen zijn snel reagerende systemen, waarvan het stroomgebied voor het grootste deel in Nederland ligt. De Nederlandse Roer beslaat de laatste tientallen kilometers van een circa 165 km lange rivier, waardoor het enige tijd duurt voordat de hoogwatergolf het Nederlandse deel van de Roer bereikt. Bij de Roer werden de hoogste waterstanden daardoor ook pas later gemeten (tussen vrijdagavond 16 juli en zaterdagochtend 17 juli).

Op het Nederlandse traject van de Maas (tussen Eijsden en Keizersveer) was de totale looptijd van de afvoergolf 113 uur (bijna 5 dagen). De piek bereikte Eijsden op 15 juli om 22:00, Roermond op 17 juli 6:00 en Venlo op 17 juli 16:00. De hoogst gemeten waterstand bij andere stations en de bijbehorende tijden zijn opgenomen in appendix B.1. Figuur 3.1 toont de hoogste gemeten waterstanden in de zijrivieren en het tijdstip

⁵ Onder maximaal verstaan we de hoogste afvoer of waterstand die is opgetreden tijdens dit hoogwater.

waarop deze gemeten zijn. Bij de Geul valt op dat de hoogste waterstanden in het bovenstroomse deel (station 13 Epenermolen en 14 Cottessen) later optreden dan bij de benedenstrooms gelegen meetstations, doordat hier de tweede piek van het hoogwater hoger uitvalt. Bij de Roer wordt de topwaterstand bij de monding in de Maas eerder bereikt dan bovenstrooms. Dit komt doordat de Maas eerder piekte dan de Roer.



Figuur 3.1: Moment en hoogte van de topwaterstand op de Geul, Geleenbeek en Roer. De stations behorend bij de nummers zijn terug te vinden in Bijlage B2.1. De zwarte punten geven het moment en de hoogte van de waterstand bij het meetstation in de Maas nabij de uitmonding van de zijrivier in de Maas.

Om na te gaan of de gemeten waterstanden overeenkomen met de waterstanden die verwacht zouden worden op basis van standaard modelberekeningen, is gebruik gemaakt van betrekkinglijnen⁶ (Rijkswaterstaat, 2020). Deze analyse is opgenomen in Bijlage B.1.9.. Op de Grensmaas blijken de waterstanden tot 60 cm hoger dan verwacht, vermoedelijk ten gevolge van beperkingen aan de modellering (verschil in bodem- of vegetatieruwheid, of in de bodemligging). Ditzelfde speelt vermoedelijk rondom station Well op de Zandmaas. Vanaf de Plassenmaas worden de waterstanden lager dan verwacht ten gevolge van topvervlakking (zie sectie 3.1.3).

Bijlage B.1.4 gaat in op de voorspelde waterstanden en op hoe de nauwkeurigheid daarvan zich ontwikkelde in relatie tot de tijd (zichtlengte). Door de onzekerheid in de voorspelling van de verwachte afvoer was bij de bovenstroomse stations (zoals Eijsden) de waterstandsvoorspelling 24 uur voor het piekmoment nog één meter te laag.

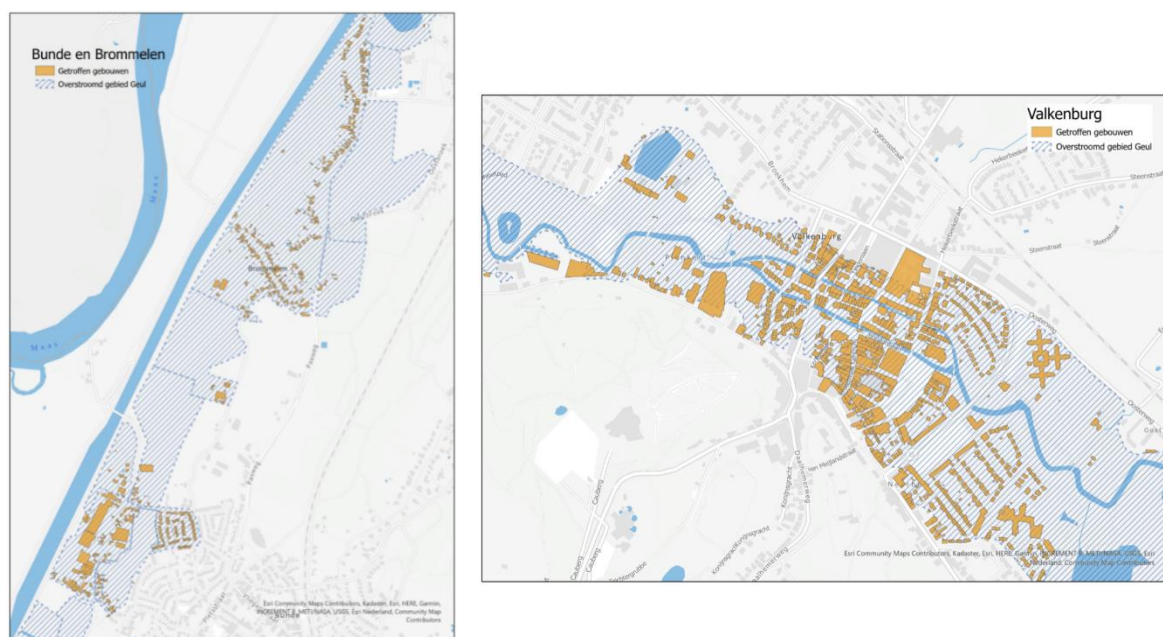
Voor de Maas en de zijrivieren in Nederland zijn met gebundelde krachten kaarten opgesteld van het overstroomde gebied en is een indicatieve waterdiepte berekend voor deze overstroomde gebieden. De gebruikte methode staat beschreven in Bijlage B.1.7. Onderstaande kaarten (Figuur 3.2 en Figuur 3.3) toont

⁶ Een betrekkinglijn is te gebruiken als een relatie tussen een waterstand (en afvoer) bij Sint Pieter Noord en een verwachtingswaarde van de maximale waterstand op de rivieras van de gehele Maas.

een voorbeeld voor de gebieden rond Meerssen, Bunde en Valkenburg. Aangegeven zijn het overstroomde gebied in de Geul en de waterdiepte in de uiterwaarden van de Grensmaas. De kaarten zijn toegepast bij het kwantificeren van de overstromingsschade (hoofdstuk 5) en opgenomen als aparte bijlagen.



Figuur 3.2: Overstroomde gebieden ter hoogte van de monding van de Geul in de Maas.



Figuur 3.3: Getroffen en overstroomde gebieden: 'Bunde, Brommelen en Westbroek' en 'Valkenburg' vanuit de Geul (de Maas is ook buiten de oevers getreden – dat is op deze kaarten niet zichtbaar gemaakt)

3.1.2 Maximale afvoeren

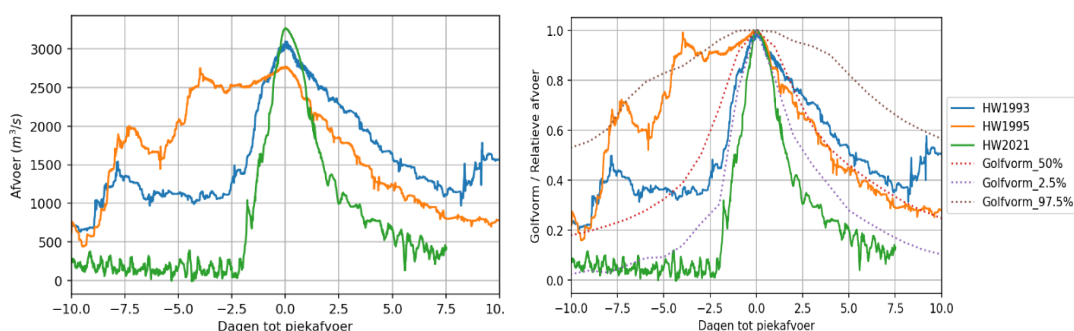
De maximale afvoeren op de Maas en grotere zijdelingse instromingen hierop zijn weergegeven op de kaart in Bijlage B.1.8. Alle genoemde afvoeren zijn geschat op basis van beschikbare data. Ook de afvoer op de Maas te St. Pieter (nu geschat op 3260 m³/s) wordt nog gevalideerd op basis van ADCP-metingen en wordt daardoor in de appendix met een onzekerheidsband gegeven (tussen 3200 en 3400 m³/s).

De afvoer op de Geul en de Roer was zeer hoog en wordt ingeschat op respectievelijk ordegrrootte 100 m³/s en 270 m³/s (zie sectie 2.4). De som van de inkomende afvoeren is daarmee gelijk aan ongeveer 10% van de totale Maas-afvoer en daarmee kleiner dan de geschatte topvervlakking (zie sectie 3.1.3). De instroming van de Geul was vrijwel gelijktijdig met de piek van het hoogwater. De piek van de afvoergolf op de Roer viel na de afvoerpiek op de Maas. Omdat de afvoer op de Roer lang hoog was heeft deze wel bijgedragen aan de piekafvoer op de Maas. Via het kanaal van Ternaaien kwam tijdens het hoogwater naar schatting 200 m³/s Nederland binnen ten gevolge van onderhoudswerkzaamheden bij stuw Monsin en een tijdelijke verlaging van de drempel bij de derde sluiskolk van Ternaaien (zie Bijlage B.1.10).

3.1.3 Topvervlakking

Zoals uit bovenstaande analyse blijkt, waren de waterstanden op veel plaatsen langs de Maas lager dan verwacht. Topvervlakking heeft hierbij waarschijnlijk een belangrijke rol gespeeld. Topvervlakking is het verschijnsel dat een afvoergolf, terwijl deze zich in stroomafwaartse richting voortplant, steeds verder afvlakt. De piekafvoer neemt daardoor af en waterstanden in de benedenloop van de rivier blijven lager. Het effect van topvervlakking op de Maas in Nederland kan relatief groot zijn, maar is sterk afhankelijk van de golfvorm (De Jong & Asselman, 2019).

De afvoergolf die bij Eijsden het land binnen kwam was zeer spits. Figuur 3.3 (links) vergelijkt de golf met de historische hoogwaters van 1993 en 1995, waaruit blijkt dat de golf dan wel hoger is dan de eerdere hoogwaters maar ook een veel spits karakter heeft. Dit valt extra op omdat tot 2 dagen voor de hoogwaterpiek de rivier nog reguliere zomerse afvoeren had (lager dan 300 m³/s). In de rechter figuur van Figuur 3.3 zijn de afvoergolven genormaliseerd. Doordat de piekafvoer in alle gevallen gelijk wordt gesteld aan 1 worden verschillen in de vorm van de afvoergolf duidelijk zichtbaar. In De Jong & Asselman (2019) zijn op basis van de database aan afvoergolven uit het project GRADE (Hegnauer et al., 2014) naast de gemiddelde golfvorm (zoals gebruikt in WBI) ook een zeer spitse golf en zeer stompe golf afgeleid. Hieruit blijkt dat het hoogwater 2021 spits was dan het 2,5% percentiel.



Figuur 3.4: Vergelijking van de afvoergolf met de hoogwaters van 1993 en 1995 (links). En na normalisering (rechts) ook met de golfvormen gemiddeld (50% percentiel), spits (2.5% percentiel) en stomp (97.5% percentiel) uit het project GRADE (Hegnauer et al, 2014).

De vervorming van de spitse afvoergolf valt op te maken uit metingen. Uit de analyse in Bijlage B.1.5 blijkt dat de duur van het hoogwater steeds langer wordt (4 uur bij Maastricht; 9 uur bij Roermond) en de stijgsnelheid van het water rond de piek steeds lager (10 cm per uur bij Maastricht, 5 cm per uur bij Roermond). Ten gevolge van de spitse afvoergolf is de piekafvoer dermate afgenomen dat op de Bedijkte Maas de waterstanden circa 0,6 m lager zijn dan bij een gemiddelde golfvorm (De Jong & Asselman, 2019). Retentiegebieden en andere gebieden met een bergende functie leveren een belangrijke bijdrage aan de topvervlakking langs de Maas. Tijdens het hoogwater is in Nederland het retentiegebied Lateraalkanaal-West (LKW) bij Roermond ingestroomd (zie Bijlage B.1.6). De maximale afvoeronttrekking is geschat op 35-60 m³/s (zuidelijk bekken) en 60-120 m³/s (noordelijk bekken). Waarschijnlijk heeft dit de waterstanden bij Roermond met 5 à 10 centimeter verlaagd, en verder benedenstrooms met 10 à 20 centimeter. Het is onzeker of het noordelijk bekken al vóór de afvoerpiek vol was, of pas erna. Als dit al voor de piek plaatsvond, zijn de effecten op de waterstand benedenstrooms van Roermond kleiner dan hier genoemd. Overigens stond op de noordelijke inlaat veel begroeiing, wat de instroom vertraagt en in dit geval een onbedoeld positief effect heeft gehad.

3.2 Het hoogwater in historisch perspectief

3.2.1 Opgetreden maximale waterstanden langs de Maas

Het hoogwater 2021 was een zeldzame gebeurtenis met (waarschijnlijk) het hoogst gemeten afvoerniveau ooit bij Sint Pieter / Borgharen. Echter, de waterstanden waren bij veel meetstations minder hoog dan het hoge water in 1993 en 1926 (zie Tabel 3.1). De spitse golfvorm en de uitgevoerde maatregelen binnen het programma Maaswerken leiden op veel plekken tot lagere waterstanden langs de Maas tijdens het hoogwater 2021 t.o.v. eerdere hoogwaters. Bij enkele meetlocaties als Eijsden, Maaseik en Well dorp waren de waterstanden van het hoogwater 2021 hoger dan de hoogwaters in 1993 en 1995 (zie Bijlage B.1.3 voor een

uitgebreidere vergelijking). Het piekafvoerniveau bij Sint Pieter was ongeveer 3260 m³/s en heeft in het huidige klimaat een overschrijdingskans van circa 1:100 à 1:200 in een jaar. De overschrijdingskans van dit afvoerniveau in de zomer is veel kleiner.

Tabel 3.1: Maximale waterstanden voor enkele meetstations langs de Maas voor verschillende hoogwaters. In 1926 waren minder meetlocaties ingericht dan vandaag de dag, waardoor bij enkele stations de maximale waterstand mist. De piekafvoer van 1993 en 1995 is bij Borgharen, en van 2021 is de huidige inschatting bij St. Pieter.

rkm	naam	Jan 1926 3000 m ³ /s	Dec 1993 3039 m ³ /s	Jan 1995 2761 m ³ /s	Juli 2021 3260 m ³ /s
2.6	Eijsden	-	50.45	50.16	50.64
16	Borgharen-dorp	46.1	45.9	45.71	45.23
52.7	Maaseik	-	29.5	29.44	30.17
67.3	Heel boven	23.6	22.81	22.69	22.78
85.1	Heel beneden	21.55	20.52	20.59	20.49
107.5 ⁱ	Venlo	18.8	18.35	18.55 ⁱ	18.01
132.1	Well Dorp	-	15.34	15.43	15.48
145.0 ⁱⁱ	Sambeek boven	14.53	13.92	14.02	13.77
177.0 ⁱⁱⁱ	Grave-beneden	10.95	10.39	10.45	9.47
203.3	Lith-dorp	7.75	6.32	6.54	5.79

i voor de hoogwaters 1926,1993 en 1995 was de locatie van meetstation Venlo rivierkilometer 108.1

ii voor het hoogwater 1926 was de locatie van meetstation Sambeek boven rivierkilometer 145.9

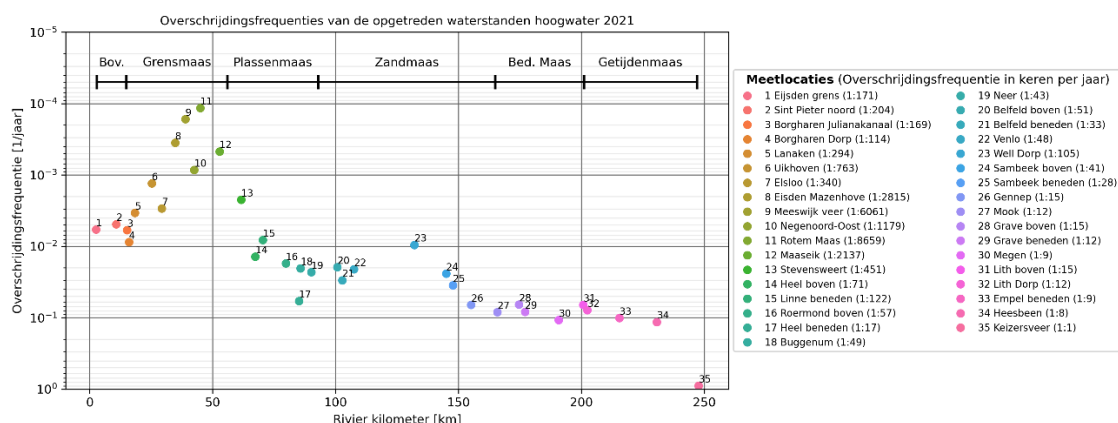
iii voor de hoogwaters 1926,1993 en 1995 was de locatie van meetstation Grave-beneden rivierkilometer 176.0

3.2.2 Overschrijdingskansen van opgetreden maximale waterstanden

Maas

In de praktijk worden voor waterbeheer- en waterveiligheidsanalyses langs de Maas overschrijdingskansen van waterstanden geschat met behulp van probabilistische Hydra-modellen. Statistische analyses van historisch gemeten waterstanden langs een rivier worden bemoeilijkt door inhomogeniteiten in de meetreeks, zoals de Maaswerken en bodemerosie, waarbinnen Hydra-modellen rekening wordt gehouden. Op basis van de afvoerstatistiek bij Borgharen (Deltares, 2017) en een database met modelresultaten van waterstanden bij verschillende piek afvoerniveaus (Deltares, 2016), kan de frequentie van waterstanden langs de Maas worden afgeleid. Uitgangspunten voor modelberekeningen leiden onontkomelijk tot waterstandsverschillen tussen modelresultaten en werkelijk opgetreden hoogwaters. De analyse geeft wel een beeld van de geschatte overschrijdingskansen van opgetreden waterstanden langs de Maas, zoals deze in de praktijk (zoals het beoordelings- en ontwerpinstrumentarium) worden gehanteerd (zie Figuur 3.5). Bij Borgharen (dorp) werd een waterstand van NAP+45,23 m bereikt, een stand die een overschrijdingskans van circa 1:200 per jaar heeft. Langs de Grensmaas zijn de waterstanden een stuk extremer, tot wel een overschrijdingskans van 1:10.000 per jaar. Deze kleine kansen lijken een gevolg van uitgangspunten in de gebruikte modellen als bodemligging

en bodemruwheid.⁷ Verder benedenstrooms neemt de overschrijdingskans verder toe (minder extreem) tot circa 1:50 in een jaar bij Venlo en 1:15 in een jaar bij Gennep als gevolg van topvervlakking.



Figuur 3.5: Overschrijdingsfrequenties⁸ van maximaal opgetreden waterstanden langs de Maas (uitgangspunten: huidige klimaat en WBI2017-database). Bij de kansbepaling is geen rekening gehouden met kennisonzekerheden (statistische- en modelonzekerheden).

Regionale zijrivieren

Voor wateroverlast door overstrooming vanuit regionale oppervlaktewateren heeft de provincie normen⁹ gesteld in de Omgevingsverordening Limburg. Het waterschap is de beheerder van de regionale wateren en toetst of aan deze normen wordt voldaan. Voor deze wateren bepaalt het waterschap de overschrijdingskansen van maximale waterstanden en optredende inundatie patronen en vergelijkt deze met de norm. De opgetreden maximale waterstanden behorend bij verschillende overschrijdingskansen zijn te vinden in Bijlage B.2.10. De overschrijdingskansen van de opgetreden waterstanden in de beekdalen zijn als volgt samen te vatten:

- In het Geuldal zijn de maximale waterstanden veelal enkele decimeters tot maximaal één meter hoger geweest dan de berekende waterstanden met een overschrijdingskans van 1:100 per jaar (in het huidige klimaat). Bij de Geul zijn geen waterstanden met een overschrijdingskans van 1:1000 per jaar bekend, maar de overschrijdingskans van de opgetreden waterstanden zal tussen de 1:100 en 1:1000 per jaar hebben gelegen.
- In het beekdal van de Geleenbeek variëren de kansen van voorkomen langs de verschillende (sub)beken. Bij de Caumerbeek in Heerlen (zijtak in het bovenstroomse deel van de Geleenbeek) waren de opgetreden waterstanden circa 1-2 meter hoger dan de berekende waterstanden met een

⁷ In de gebruikte fysische Hydra-database zijn enkele maatregelen opgenomen die in werkelijk nog niet zijn uitgevoerd.

⁸ Hydra-NL berekent overschrijdingsfrequenties uit welke in toepassingen wordt benaderd door de overschrijdingskans in een jaar voor voldoende kleine overschrijdingsfrequentie (kleiner dan 1:10 per jaar). In dit figuur zijn ook hogere overschrijdingsfrequenties als 1:1 per jaar, waarbij niet gesproken wordt over kans maar frequentie.

⁹ Uitgedrukt in de kans dat het peil van het oppervlaktewater het niveau van het maaiveld overschrijdt. De hoogte van deze norm hangt af van de te verwachten schade bij deze overstrooming.

- overschrijdingskans van 1:100 per jaar. Langs het bovenstroomse gedeelte van de Geleenbeek, bij Brommelen en Laar, komen de waterstanden ongeveer overeen met de berekende waterstanden met een overschrijdingskans van 1:100 per jaar. Verder benedenstrooms bij Daniken, Munstergeleen en Susteren ligt de overschrijdingskans tussen de 1:10 en 1:50 per jaar. Lokaal zijn er uitschieters (zowel hoge als lage overschrijdingskansen) wat mogelijk komt door een afwijkende modelschematisatie ten opzichte van de werkelijkheid door bijvoorbeeld stremming van de afvoer door vuil, andere neerslagafstroming (verschil in bodeminfiltratie) of interactie met het stedelijk riool.
- Waar de beekdalen in het heuvellandschap (Geul en Geleenbeek) steil zijn en snel reageren, vormt het Roerdal een natuurlijk overstromingsgebied waarbinnen de Roer zich in het landschap heeft ingesneden en een relatief klein verhang heeft. Vergelijking van de opgetreden waterstanden langs de Roer met de berekende waterstanden van 1:100 en 1:1000 per jaar laat zien dat de opgetreden waterstanden grotendeels hiertussen vallen.

In het beekdal van de Geul zijn dorp- en stadscentra gevestigd (als Valkenburg, Meerssen, Schin op Geul en Gulpen) waarbij de rivier relatief smal is en weinig ruimte heeft. Rond deze plekken is de decimeringswaarde¹⁰ hoger en neemt de waterstand bij grotere afvoer meer toe dan in het landelijk gebied tussen de bebouwde kernen (zie Bijlage B.2.3). In de verstedelijkte gebieden kan de bergings- en afvoercapaciteit alleen aangepast worden met ingrijpende kostbare maatregelen. Voor veel bebouwde kernen in het Heuvelland Zuid-Limburg, zoals langs de Geul, is daarom een beschermingsnorm van 1:25 in een jaar gekozen (zie Bijlage B.2.4.0 voor de normeringskaart o.b.v. de Omgevingsverordening Limburg 2014). Dat is lager dan de norm voor de meeste bebouwde kernen (1:100 per jaar) die geldt langs regionale wateren elders in Limburg en de rest van Nederland (Provinciale Staten van Limburg, 2015). Deze afwijkende norm is gekozen op grond van een kosten-baten analyse, waarbij het bleek dat voor een aantal Zuid-Limburgse kernen het niet kosteneffectief is om een strengere norm dan 1:25 per jaar vast te stellen. De opgetreden waterstanden tijdens het hoogwater 2021 waren extremer dan de normsituatie waarop het watersysteem ingericht zou moeten zijn (zowel voor de niveaus die horen bij 1:25 en 1:100 per jaar). Feitelijk betekent dit dat deze gebeurtenis binnen het huidige geaccepteerde risico op wateroverlast valt.

¹⁰ De decimeringswaarde is een maat voor de helling van de (waterstands)frequentielijn, waarbij het vergroten van de waterstand met de decimeringswaarde een waterstand oplevert die een factor 10 hogere terugkeertijd heeft. Het is een maat die inzicht geeft in de gevoeligheid van waterstanden en is vergelijkbaar met de steilheid van de QH-kromme.

3.3 Morfologische veranderingen

3.3.1 Zomerbed van de Maas

Tijdens een hoogwater nemen de stroomsnelheden in de Maas toe en daarmee de bodemschuifspanning en de sedimenttransportcapaciteit. Als de sedimenttransportcapaciteit varieert van locatie tot locatie leidt dat tot erosie en sedimentatie. De sedimenttransportcapaciteit is vooral afhankelijk van de stroomsnelheid en de samenstelling van het sediment. Hoe hoger de stroomsnelheid en hoe fijner het sediment, hoe groter het sedimenttransport. Tijdens het hoogwater waren de stuwen op de Maas in Nederland en België volledig geopend¹¹. Dit betekent dat ze tijdens dit hoogwater het sedimenttransport in de Maas minimaal belemmerden.

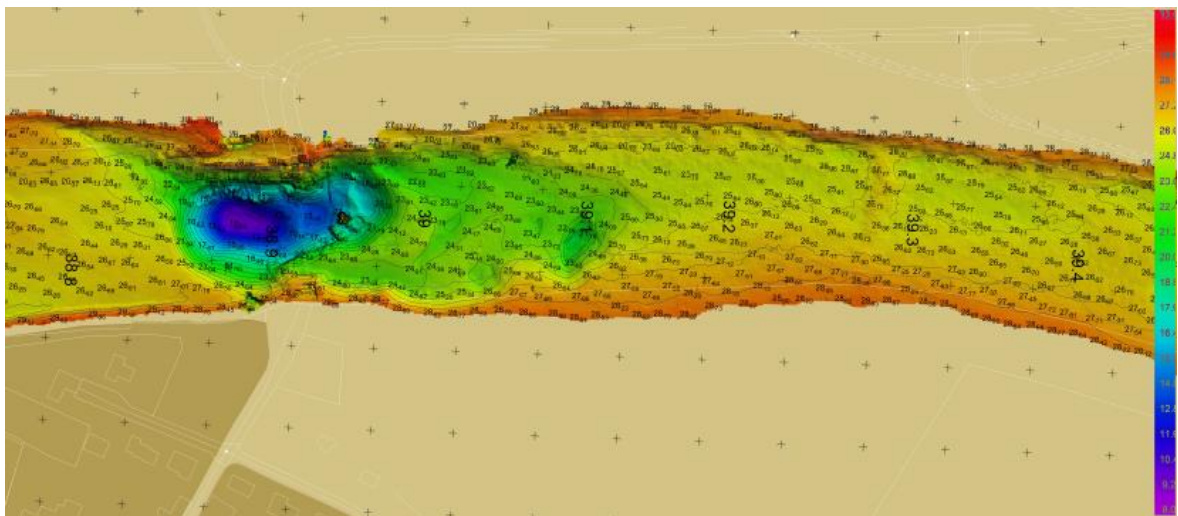
Direct na het hoogwater zijn door de meetdienst van Rijkswaterstaat (RWS CIV) multibeam-peilingen van de bodem van het zomerbed uitgevoerd¹². De verschillen met eerdere peilingen brengen de morfologische veranderingen als gevolg van het hoogwater goed in beeld. De grootste morfologische veranderingen zijn opgetreden op de Grensmaas tussen stuw Borgharen (rkm 15.4) en Roosteren (rkm 52.4). Daarom wordt de Grensmaas hieronder apart besproken.

Grensmaas

Op de Grensmaas zijn gedurende het hoogwater op een kort traject van rkm 34 tot 40 op tenminste 22 locaties erosiekuilen ontstaan van 3 meter diep of meer. Vier van die erosiekuilen zijn zelfs meer dan 10 meter diep. Figuur 3.6 toont een voorbeeld van de erosiekuil ter plaatse van het veer Berg-Meeswijk. Bijlage B.3.1 geeft de locaties van de erosiekuilen op het traject Maasband-Grevenbicht. Er is ook een tabel opgenomen met de erosiekuilen die tot schade of risico's hebben geleid (o.a. gevaar voor de stabiliteit van bestorting en veerstoepen of onvoldoende dekking op leidingen). Opgemerkt wordt dat de ontgrondingskuilen op zijn getreden in het zomerbed van de Maas. Beschadiging van de stortebedden benedenstrooms van de stuwen moet nog worden geverifieerd, maar er zijn daar en bij andere obstakels geen grote schades door erosie opgetreden.

¹¹ Nuancering is dat stuw Monsin bij Luik in onderhoud was en 4 van de 6 openingen waren afgesloten. Daar staat tegenover dat de stuw bij Lixhe (op de grens met Nederland) voor het eerst tijdens een hoogwater wel geheel geopend was.

¹² Voor de Grensmaas kon het traject km 23.9-24.6, km 27.9-43.0 en lokaal bij Roosteren worden gepeild in de periode 18 tot en met 29 juli. Daarna waren de waterdiepten te laag om de rest van de Grensmaas in te meten. De gestuwde trajecten van de Maas zijn volledig gepeild (Bovenmaas en Maas benedenstrooms van km 56.5 (Ohé en Laak)).



Figuur 3.6: Bodemhoogte erosiekuil bij Berg (bron: RWS CIV). Paars is lage bodem, rood hoog. Water stroomt van links naar rechts.

De diepe erosiekuilen zijn ontstaan door de volgende samenloop van omstandigheden:

1. Zeer hoge stroomsnelheden in de gehele Grensmaas tot lokaal wel 4-5 m/s, zie Bijlage B.3.2. Deze snelheden waren lokaal zelfs hoger dan in 1993 en 1995.
2. De lokale aanwezigheid van fijne zanden onder een dunne grindlaag. Na het opbreken van de afpleisterlaag en mobiel worden van de dunne grindlaag, kon het fijne zand makkelijk eroderen (zie Bijlage B.3.3.).

Naast de erosie in bovengenoemd traject zijn er ook aanzandingen in de hoofdgeul meer benedenstrooms in de Grensmaas opgetreden, bijvoorbeeld bij Grevenbicht en Roosteren (meer dan 2 meter aanzanding).

Gestuwde Maas

In de Bovenmaas (stuwpannd Borgharen) en benedenstrooms van de Grensmaas zijn na het hoogwater ook peilingen door RWS-CIV uitgevoerd. Het eerste beeld is dat de morfologische veranderingen veel kleiner zijn dan op de Grensmaas. De veranderingen zijn lokaal van aard en komen vooral voor in de buurt van bruggen en stuwcomplexen, bestaande uit beperkte bodemerosie ter plekke en sedimentatie benedenstrooms. De veranderingen leveren vooralsnog geen stabiliteitsproblemen voor constructies op.

3.3.2 Oevers en uiterwaarden van de Maas

Oevererosie

Langs de gehele Maas zijn gevolgen van de hoge stroomsnelheden op de oevers zichtbaar. Luchtfoto-analyses zullen een overzicht geven van alle erosielocaties. In augustus 2021 is door de Wageningen Universiteit (WUR), in samenwerking met RWS, veldwerk uitgevoerd om de zandafzettingen op de Maasuiteerwaarden in kaart te brengen (zie ook hieronder). Als daarbij verse oevererosie werd gevonden zijn de locaties daarvan genoteerd. Dat overzicht is uiteraard niet volledig en geeft geen informatie over de grootte van de erosie, maar bevestigt wel het beeld dat op veel locaties oevererosie is opgetreden. Weer was de erosie op de Grensmaas het grootst. De steilranden van de nieuwe oevers tonen aan dat de oevers in belangrijke mate uit kleiig materiaal bestaan, waarin ook horizontale zand- en grindlagen voorkomen. Dat grovere materiaal is dus ook in de Maas terecht gekomen en kan benedenstrooms zijn neergeslagen. In Bijlage B.3.4 zijn de gevonden locaties langs de Maas weergegeven met enige foto's.

Uiterwaardsedimentatie

Van 16 tot en met 27 september is een team van de WUR de uiterwaarden van de Maas afgegaan om de zandafzettingen op de uiterwaarden in kaart te brengen. De gegevens moeten nog worden uitgewerkt, maar locaties met grote zandafzettingen zijn uit het onderzoek al wel aan te geven. Deze liggen vooral in de Grensmaas, zoals te zien is op de kaarten in Bijlage B.3.5. In de kaarten zijn ook de locaties van de diepe erosiekuilen aangegeven en het valt op dat grote zandafzettingen bij Negenoord en Grevenbicht benedenstrooms van de erosiegaten liggen. Het gevonden sediment is ook fijn van samenstelling al moet de korrelgrootteverdeling nog worden bepaald. Ook bij Bosscherveld zijn grote zandafzettingen gevonden. Dit betreft zand dat vermoedelijk vanuit België in suspensie is aangevoerd.

Benedenstrooms van de Grensmaas zijn de gevonden zandafzettingen op de uiterwaarden veel minder dik en uitgebreid. Ook lijken de afgezette volumes op de Bedijkte Maas belangrijk lager dan gevonden in 1995 (Sorber, 1997). Reden daarvoor is naar verwachting dat (1) de topafvoeren op de Bedijkte Maas in dit hoogwater belangrijk lager waren dan in 1995, (2) de duur van het hoogwater veel korter was dan in 1995 en, mogelijk, (3) dat er in de zomer veel meer vegetatie (natuurlijk of gewassen) op de oevers aanwezig was, waardoor minder water en met minder kracht naar de uiterwaarden stroomde en dus ook minder sediment meenam.

De meeste afzettingen werden gevonden in binnenbochten en bij verlaagde uiterwaarden, bijvoorbeeld bij Ooijen-Wanssum.

3.3.3 Zijbeken van de Maas

In de zijbeken leidde de hevige neerslag ook tot grote afvoeren en overstromingen. Of daarbij ook grote morfologische veranderingen zijn opgetreden, is niet goed bekend. De Lidar-opnamen van het Waterschap Limburg (16 en 17 juli 2021) lijken niet op grote bochtafsnijdingen of oevererosies te wijzen.

Enige grote morfologische veranderingen zijn opgemerkt in de Geul net benedenstrooms van de duiker onder het Julianakanaal en bij de Geleenbeek als deze is overgegaan in de Oude Maas. De foto's in Bijlage B.3.6 laten de oevererosie en bankvorming in de Oude Maas zien.

3.4 Het hoogwater en plasticvervuiling

Door de WUR is, op basis van waarnemingen vanaf bruggen en langs de rivier, onderzocht wat de impact is van de Maas-overstroming in juli 2021 op het transport en de accumulatie van plasticafval in en langs de Maas. De gebruikte methode is beschreven in Bijlage B.4

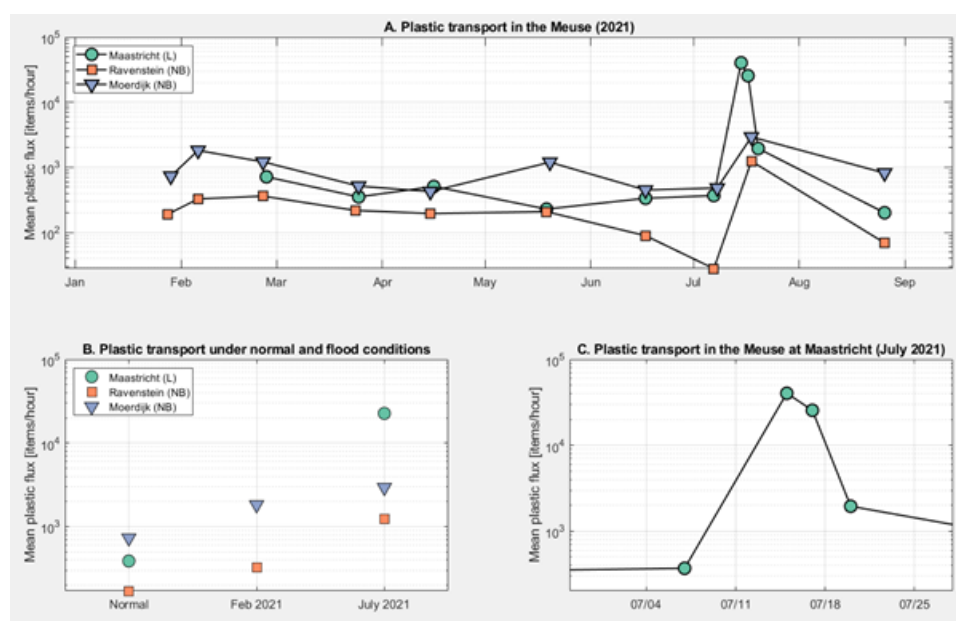
Overstroming leidt tot sterke toename van plastictransport in de rivier

In Maastricht, Ravenstein en Moerdijk is een duidelijke piek in plasticflux geobserveerd tussen 15-18 juli (Figuur 3.7). De grootste piek is gemeten in Maastricht, met een maximale flux van 40,000 #/uur en een gemiddelde van 22,000 #/uur. Deze waarde is 60 keer zo hoog als de gemiddelde plasticflux tijdens normale rivierafvoer. In Ravenstein is een piek van 1,200 #/uur gemeten, wat 7 keer hoger is dan tijdens normale afvoer (170 #/uur), en 2 keer hoger is dan tijdens de afvoerpiek in februari 2021 (330 #/uur). Dichtbij de riviermond in Moerdijk was de piek flux 2,900 #/uur, wat 4 keer zo veel is als tijdens normale afvoer (730 #/uur), en 2 keer zo veel als tijdens de afvoerpiek in februari (1,800 #/uur).

De gemeten plasticflux vertoont geen gradiënt langs de rivier; de flux was het hoogst in Maastricht, gevolgd door Moerdijk en Ravenstein. Dit suggereert dat: (1) niet alle plastics direct in zee stromen, maar dat een deel wordt afgezet op oevers of onderweg blijft hangen, en (2) veel plastic ook in Nederland in de rivier terechtkomt tussen Ravenstein en Moerdijk.

De gemeten plasticfluxwaarden zijn overigens van gelijke grootte als wat normaal alleen in Aziatische rivieren wordt gemeten (Vietnam, Indonesië, Maleisië; van Calcar & van Emmerik, 2019). In Maastricht is de piek zelfs dicht bij gemeten waarde in Manila (Filippijnen), een van de hoogst gemeten waarden ooit wereldwijd. Bij Maastricht is op meerdere dagen het plastictransport gemeten. We schatten in dat de plasticflux tijdens de zes dagen van de hoogwatergolf gelijk is aan 95% van het jaarlijkse plastictransport tijdens een normaal jaar. De metingen benadrukken de belangrijke rol die overstromingen spelen in het mobiliseren, transporteren en

verspreiden van plastics in riviersystemen, en laten zien dat afvoeren met hogere herhalingstijden gepaard gaan met hogere plasticflux van meer diffuse bronnen.



Figuur 3.7: A. Maandelijks gemeten plastictransport in de Maas, B. gemiddeld transport tijdens normale omstandigheden, tijdens de hoogwatergolf in februari en tijdens de hoogwatergolf in juli, C. plastictransport in Maastricht tijdens de hoogwatergolf.

Normaal is 90% van het drijvend zwerfafval plastic (van Emmerik et al., 2020). Tijdens de hoogwatergolf was dit 82-85%, wat te verklaren is door extra gemobiliseerde voorwerpen, zoals houten hekken, autobanden en ijskasten. Onder normale omstandigheden worden vooral single-use voorwerpen en zacht plastic, zoals voedselverpakkingen, aangetroffen in de Maas (35%). Tijdens het hoogwater bestond het plastic vooral uit grotere en hardere voorwerpen (36%). In dit geval waren dit meestal geen single-use items, zoals bijvoorbeeld afvalbakken, wasmanden en bierkratten. In de riviermond is echter meer zacht plastic gevonden (56%) tijdens het hoogwater dan tijdens normale omstandigheden (34%), wat zou kunnen komen door plastics die bij hoogwater weer zijn losgekomen uit vegetatie.

Tien keer zoveel afval op de rivieroever na de overstroming

Op drie van de vier oeverlocaties is het aantal gevonden afval items per 100 meter direct na de overstroming, ruim tien keer zo hoog als de hoeveelheid afval die op deze locaties wordt aangetroffen onder normale rivierafvoeren (Bijlage B4.1). Niet alleen bevond het afval zich in en tussen de oevervegetatie direct naast de rivier, ook in bomen en struiken die normaal boven het waterniveau staan, troffen we grote hoeveelheden

zwerfvuil aan. In een van de bomen vonden we maar liefst 92 items en een struik had zelfs 103 items ingevangen. Het belangrijkste verschil in de samenstelling van het gevonden afval op de oevers is het percentage zachte plastic fragmenten en vochtige doekjes (zie Bijlage B.4.2 voor de top tien categorieën). Na de overstroming bestaat meer dan 64% van het gevonden afval uit deze twee categorieën, terwijl ze onder normale omstandigheden slechts ~12% van het afval beslaan. Stukken piepschuim, die normaal gesproken het meest worden gevonden, staan verrassend genoeg niet in de top tien van de gemeten items na de overstroming. Dit kan verklaard worden door het grote drijfvermogen van piepschuim, waardoor het gemakkelijk ge(re)mobiliseerd en getransporteerd kan worden tijdens verhoogde rivier stroomsnelheden. Daarnaast waren de plastic voorwerpen die na de overstroming op de rivieroevers werden gevonden doorgaans groter en intacter vergeleken met de meer beschadigde, modderige en verweerde stukken plastic die er normaal aangetroffen worden. Het leek erop dat een groot deel van het afval zeer recent in het milieu terecht was gekomen.

3.5 Conclusies

- De piekafvoer op de Maas bij Eijsden en een aantal zijrivieren is de hoogste afvoer ooit gemeten. Toch zijn waterstanden op de Maas benedenstrooms van Roermond lager dan tijdens eerdere hoogwaters en ook lager dan op basis van standaardmodelberekeningen zou worden verwacht. Het verschil t.o.v. eerdere hoogwaters komt door de uitvoering van Maaswerken, maar ook door sterke topvervlakking die samen hing met de spitse golfvorm.
- De overschrijdingskans van de gemeten waterstanden bedraagt ongeveer 1:200 per jaar op de Maas bij Borgharen en neemt, door topvervlakking, af tot 1:15 per jaar bij Gennep. Langs het traject van de grensmaas loopt de overschrijdingskans op tot een 1:10.000 per jaar bij Rotem. Ook in de zijrivieren varieert de overschrijdingskans van de gemeten waterstanden sterk. Op veel plaatsen langs de Geul, de Geleenbeek en de Roer wordt de overschrijdingskans van waterstanden geschat op 1:100 tot 1:1000 per jaar.
- Het hoogwater heeft geresulteerd in morfologische veranderingen. Zo heeft het opbreken van de pleisterlaag op de Grensmaas geresulteerd in meerdere diepe erosiekuilen op plekken waar fijne zandlagen dicht onder het oppervlak aanwezig zijn. Ook heeft oevererosie plaatsgevonden en zijn grote hoeveelheden zand op de oevers en uiterwaarden afgezet.
- Het hoogwater levert ook een grote bijdrage aan het transport van plastic. Metingen suggereren dat de plasticflux tijdens de zes dagen van de hoogwatergolf in juli 2021 gelijk is aan 95% van het jaarlijkse plastictransport tijdens een normaal jaar.

3.6 Slotopmerkingen

- Gegevens van dit hoogwater (en volgende hoogwaters) kunnen gebruikt worden voor het valideren van de hydrodynamische modellen. Kalibratie van de hydraulische modellen van de Maas gebeurt nu nog op basis van data uit 1993/1995. Sindsdien is er veel veranderd in de rivier. Voor regionale modellen geldt dat het huidige hoogwater ver buiten het gekalibreerde bereik valt. De beschikking over goed gekalibreerde en gevalideerde modellen is essentieel, onder meer voor de hoogwatervoorspelling, het bepalen van hydraulische randvoorwaarden en voor het verkennen van de effectiviteit van mogelijke maatregelen. Aandachtspunten bij de validatie zijn de werkelijk aanwezige vegetatie (in de zomer meer begroeiing op akkers en vegetatie vol in het blad), afvoeren van de zijrivieren, morfologische veranderingen (erosie en sedimentatie van bodem en oevers en timing daarvan), stremming van de afvoer door vuil, en het effect van onder andere het niet volledig kunnen strijken van de stuw Sambeek.
- Bij frequentieanalyses van waterstanden langs de Maas en zijrivieren worden onzekerheden en uitgangspunten voor verschillende modellen gekozen/aangenomen. We bevelen aan om de uitgangspunten in deze modellen opnieuw te beschouwen in het perspectief van het afgelopen hoogwater. Bepaalde parameters als hydraulische ruwheden van hoofdgeul en uiterwaarden, obstructies van drijvend vuil, laterale toestromingen, falen van regelwerken en kunstwerken (e.g. stuw Sambeek en Monsin) en grote morfologische veranderingen spelen mogelijk een belangrijke rol voor de optredende waterstanden. Ook wordt aanbevolen om te reflecteren op het geaccepteerde risico op wateroverlast in de zijrivieren en hoe instanties en inwoners handelen op deze extreme gebeurtenissen waar het watersysteem niet op ingericht is.
- Onderzoek naar de processen die leiden tot het aansnijden van de fijne zanden onder de afpleisterlaag in de Maas, hoe groot de kans hierop is en wat de effecten ervan zijn. Zowel voor de Grensmaas als de Zandmaas, waar ook fijne zanden dicht onder het rivierbed liggen. Hierbij moet onderscheid worden gemaakt naar: (1) effecten tijdens hoogwater, de erosiesnelheid i.r.t. stromingsbelasting en opbouw en eigenschappen van de ondergrond; (2) effecten na hoogwater. De stabiliteit van de bodem, maar ook de oever moet worden beschouwd (voorbeeld diepe erosie na oevererosie bij de leiding op km 36.27). Om in te kunnen schatten of maatregelen nodig zijn om verdere uitschuring te voorkomen of dat de kuilen naar verloop van tijd door aanvoer van grover sediment stabiliseren is tevens meer inzicht nodig in de grensafvoer waarboven transport van verschillende sedimentfracties start en de sedimentbalans van de Maas en haar zijrivieren.
- Aanbevolen wordt om onderzoek te doen naar de herkomst van het plastic en naar locaties waar grote hoeveelheden plastic worden afgezet. Kennis hierover is essentieel om emissies te beperken en om de schade van plastic voor mens en milieu tegen te gaan. Om maatregelen te kunnen nemen

om de uitstroom van plastic naar zee te beperken is meer inzicht nodig in het belang van hoogwaters in vergelijking tot gemiddelde dagelijkse omstandigheden

3.7 Referenties

Biermann, L., Clewley, D., Martinez-Vicente, V., & Topouzelis, K. (2020). Finding plastic patches in coastal waters using optical satellite data. *Scientific reports*, 10(1), 1-10.

De Jong, J.S., Asselman, N. (2019) Topvervlakking Maas - Het effect van golfvormen, bergingsgebieden en rivierverruiming. Deltares rapport 11203684-003-ZWS-0002.

Deltares, 2015. Basisstochasten WTI-2017. Statistiek en statistische onzekerheid. Houcine Cbab. Kenmerk 1209433-012-HYE-0007, juni 2017.

Deltares (2017). WAQUA Productieberekeningen Bovenrivieren Maas. Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017. Ron Agtersloot en Andries Paarlberg. Kenmerk 1220082-001-HYE-0012. November, 2016.

Provinciale Staten van Limburg (2015). Provinciaal Waterplan 2016-2021. Samen werken aan water

Hegnauer, M., Beersma, J.J., Van den Boogaard, H.F.P., Buishand, T.A., Passchier, R.H. (2014). Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins: Final report of Grade 2.0

Meijer D.G. en J. Vieira da Silva (2007): Gemeenschappelijke Maas te Lanaken en Maasmechelen: Zuidelijke sector, Rivierkundige en grondwaterstudie van de geplande ingrepen, Deelrapport 5: Scenarioberekeningen. Rapport 10198.5 – DSW/05-13, Meander Advies en Onderzoek in samenwerking met Haskoning België, juli 2007.

Meijer D.G., J. Lambeek en J.D. van der Werff ten Bosch (2011): Inventarisatie en interpretatie ondergrondgegevens Maas. Eindrapportage C03021.910426.0100, Arcadis in samenwerking met Deltares, 23 december 2011.

Meijer, D.G. en R.C. Agtersloot (2020): Stroomsnelheden in de Gemeenschappelijke Maas - Verslag hydraulisch modelonderzoek. Rapport P0010.23 / 107.02, Agtersloot Hydraulisch Advies en RiQuest, 18 december 2020.

Rijkswaterstaat (2020). Betrekkingslijnen 2020-2021

Sorber, A.M. (1997): Oeversedimentatie tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995, RIZA rapport 97.015.

Tasseron, P., van Emmerik, T., Peller, J., Schreyers, L., & Biermann, L. (2021). Advancing Floating Macroplastic Detection from Space Using Experimental Hyperspectral Imagery. *Remote Sensing*, 13(12), 2335.

Van Calcar, C. J., & Van Emmerik, T. H. M. (2019). Abundance of plastic debris across European and Asian rivers. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124051.

Van Dongen, B. en D. Meijer (2008): Zomerbedveranderingen van de Maas (1889-2007). Rapport 10314/4500103893, Meander advies en onderzoek.

Van Emmerik, T., Kieu-Le, T. C., Loozen, M., van Oeveren, K., Strady, E., Bui, X. T., ... & Tassin, B. (2018). A methodology to characterize riverine macroplastic emission into the ocean. *Frontiers in Marine Science*, 5, 372.

Van Emmerik, T., Roebroek, C., De Winter, W., Vriend, P., Boonstra, M., & Hougee, M. (2020). Riverbank macrolitter in the Dutch Rhine–Meuse delta. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104087.

Van Emmerik, T., & de Lange, S. (2021). Pilot monitoring drijvend zwerfafval en macroplastics in rivieren. Wageningen University & Research.

Van Velzen, E.H. & P. Jesse (2005) Extreme hoogwaters in de zomer, iets om rekening mee te houden? RIZA Werkdocument 2005.189x

Wegman C (2019): Dikte afdeklaag fijne zanden – Maas. Memo in het kader van project Duurzaam beheer rivierbodem van Witteveen + Bos en HKV voor RWS WVL.



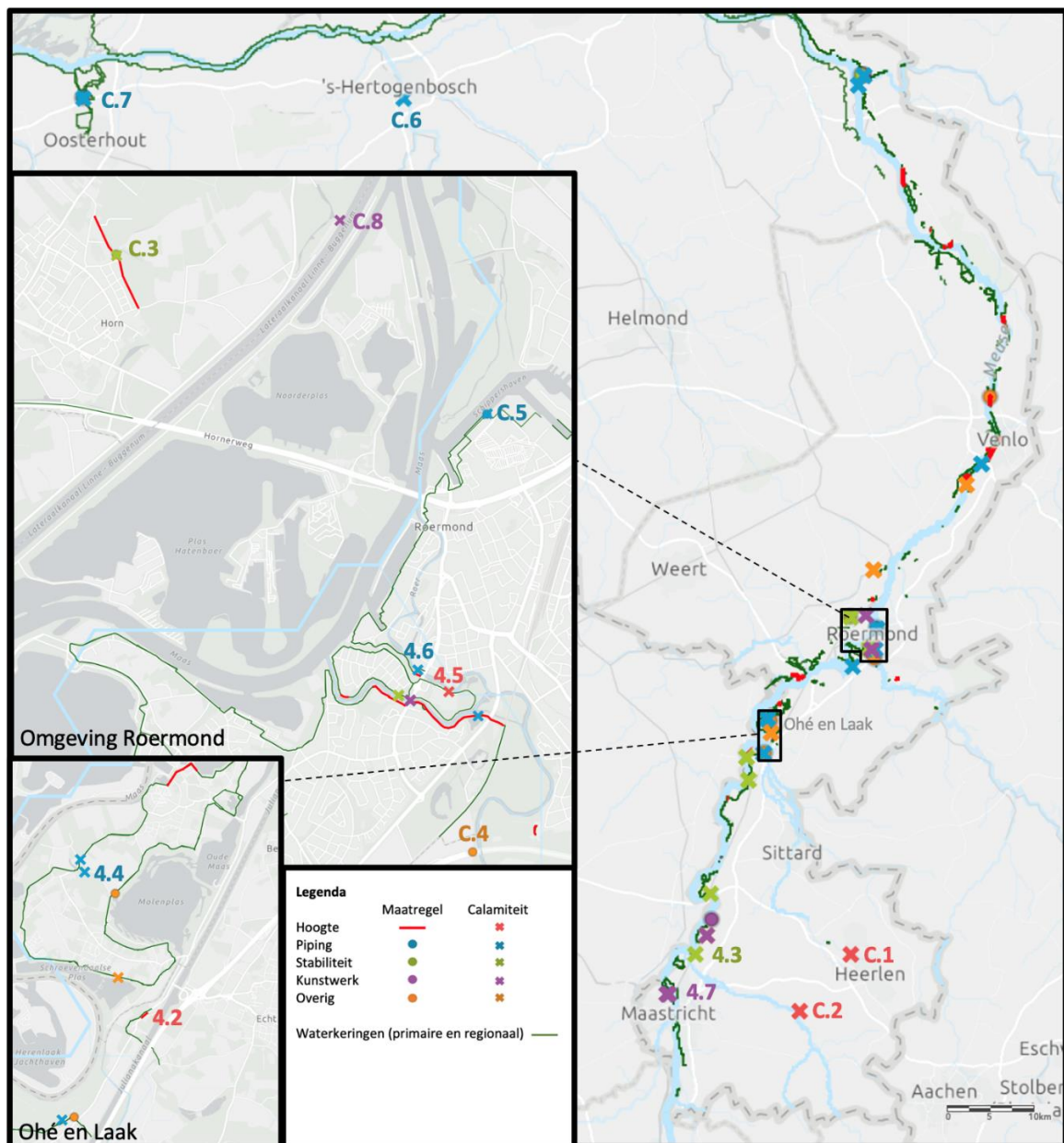
4 Functioneren waterkeringen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het functioneren van de waterkeringen tijdens het hoogwater langs de Maas en enkele zijrivieren binnen Nederland. Onder waterkeringen wordt hierbij alles verstaan wat geacht wordt water te keren, zoals dijken, stuwen, sluizen, keermuren, schotbalken en zandzakken. De focus ligt hierbij op de primaire en regionale waterkeringen, die vooral langs de Maas en de Roer aanwezig zijn. De bevindingen in dit hoofdstuk en bijbehorende bijlagen zijn tot stand gekomen op basis van veldbezoeken door het onderzoeksteam, informatie van Waterschap Limburg, Rijkswaterstaat en het Calamiteitenteam Waterkeringen, en – ter aanvulling – informatie uit de media.

4.1 Overzicht

Tijdens de gebeurtenissen in juli zijn de waterkeringen belast door een uitzonderlijk hoge belasting, op sommige plekken is zelfs de hoogste waterstand ooit opgetreden (zie hoofdstuk 3). Op grote schaal zijn daarom aanvullende maatregelen genomen zoals de plaatsing van zandzakken. Op de kaart in Figuur 4.1 zijn alle locaties aangegeven waar maatregelen zijn genomen met betrekking tot de waterkeringen, met onderscheid naar de hoofdreden voor deze maatregelen. Uit deze kaart blijkt echter ook dat op veel plaatsen de aanwezige waterkeringen goed hebben gefunctioneerd zonder dat er aanvullende maatregelen nodig waren. Er zijn op een aantal plekken wel incidenten gebeurd, zoals wellen achter dijk, of problemen bij kunstwerken. De in de kaart genummerde locaties zijn belicht in dit hoofdstuk en bijlage C1-C8, in grote lijnen in de volgorde waarin de beschreven situaties zijn opgetreden.

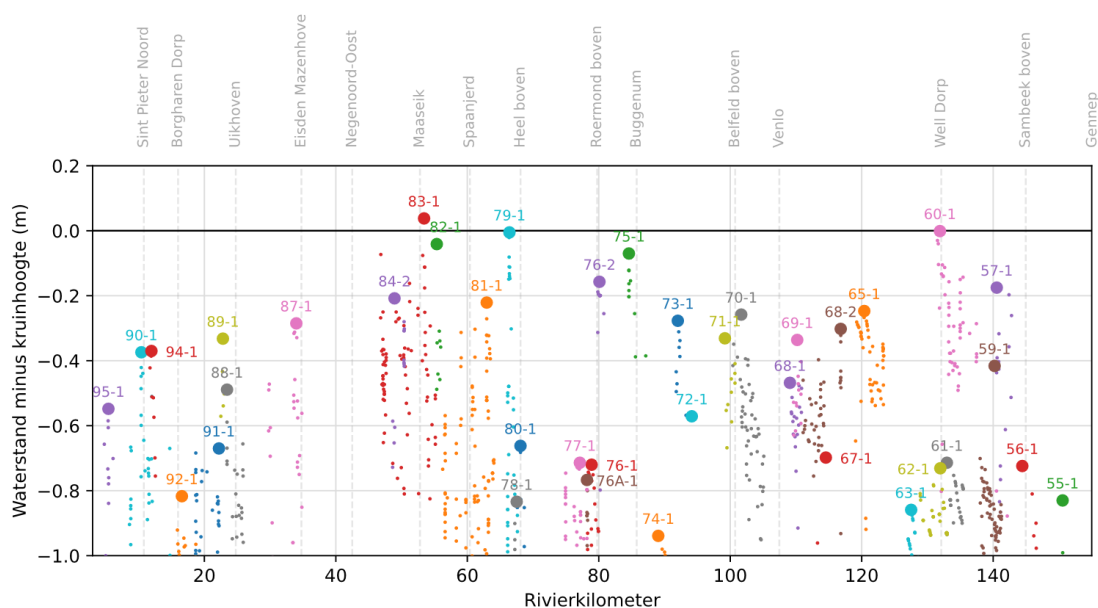
Uit het overzicht komt duidelijk naar voren dat er op veel plaatsen waar maatregelen zijn genomen er geen falen is opgetreden. Dit heeft mede te maken met het feit dat de uiteindelijke maximale afvoer wat kleiner was dan in de scenario's waar rekening mee gehouden werd op de momenten waarop tot deze maatregelen besloten werd. Verder heeft de betrekkelijke windstilte tijdens de piek van de hoogwatergolf een gunstige rol gespeeld, hierdoor was er nauwelijks sprake van opwaaiing en golfslag. Toch was op enkele plaatsen, bijvoorbeeld aan de noordkant van Aasterberg, de waterstand enkele centimeters hoger dan de dijk en is de enkele rij zandzakken daar zeker van nut geweest. Daarnaast zijn er ook veel waterkeringen waar géén maatregelen zijn genomen, omdat daarbij de (terechte) verwachting bestond dat deze het hoogwater zouden kunnen weerstaan. In de primaire waterkeringen langs de Maas zijn geen dijkdoorbraken opgetreden. Wel is bij Roermond een bres ontstaan in een lokale (niet-regionale) dijk, waardoor het gebied erachter onder water kwam te staan (zie beschrijving in sectie 4.5). Verder is in Horn een door bewoners gemaakte nooddijk bezweken, Bijlage C3.



Figuur 4.1: Overzicht van locaties bij waterkeringen waar actie is ondernomen vanwege het hoogwater. De nummers verwijzen naar de paragrafen in dit hoofdstuk of de bijlage met aanvullende beschrijvingen met betrekking tot de waterkeringen. N.B. Het aanbrengen van tijdelijke schotbalken, sluiten van coupures en dergelijke maatregelen is niet in dit overzicht opgenomen, omdat deze onderdeel vormen van de hoogwaterkering (deze zijn bij laagwater alleen afwezig). Ook zijn niet alle noodmaatregelen die door bewoners getroffen zijn in de kaart opgenomen, omdat deze informatie op dit moment niet beschikbaar is.

4.2 Dijkhoogtes en overloop van de dijk bij Aasterberg

Zoals aangegeven in de inleiding waren de waterkeringen over het algemeen hoog genoeg voor de opgetreden waterstanden. Dit blijkt ook uit Figuur 4.2, waarin de kruinhoogte en de waterstand zijn vergeleken voor de dijktrajecten langs de Maas tussen de Nederlandse grens en Gennep. Het meest kritieke punt is telkens dikker weergegeven. Hierbij is op te merken dat er kleine verschillen tussen deze figuur en de werkelijk opgetreden situatie mogelijk zijn als gevolg van veranderingen sinds de inmeting voor AHN3 en lokale verschillen tussen model en werkelijkheid.

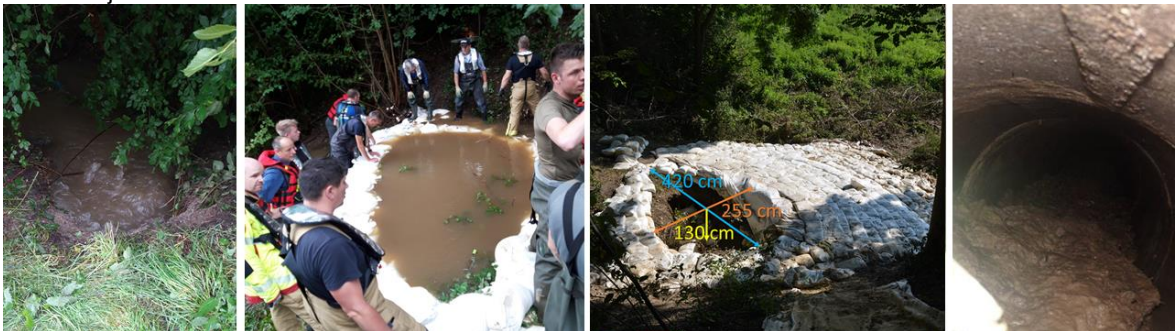


Figuur 4.2: Verschillen tussen kruinhoogte afgeleid uit AHN3 en gemodelleerde waterstanden voor alle dijktrajecten langs de Maas tussen de Nederlandse grens en Gennep.

Het buurtschap Aasterberg wordt beschermd door dijktraject 82. Tijdens de piek van het hoogwater op de Maas, ter plaatse op vrijdag 16 juli, kwam de waterstand nabij de noordkant van dit kleine dijktraject hoger dan de kruin van de dijk (anders dan de voorgaande figuur zou doen vermoeden). Op de achter de dijk hooggelegen weg waren tijdig zandzakken geplaatst, waardoor een overstroming van het gehele omdijkte gebied werd voorkomen. De inwoners waren geëvacueerd (Limburg, 2021a).

4.3 Situatie bij Meerssen/Bunde

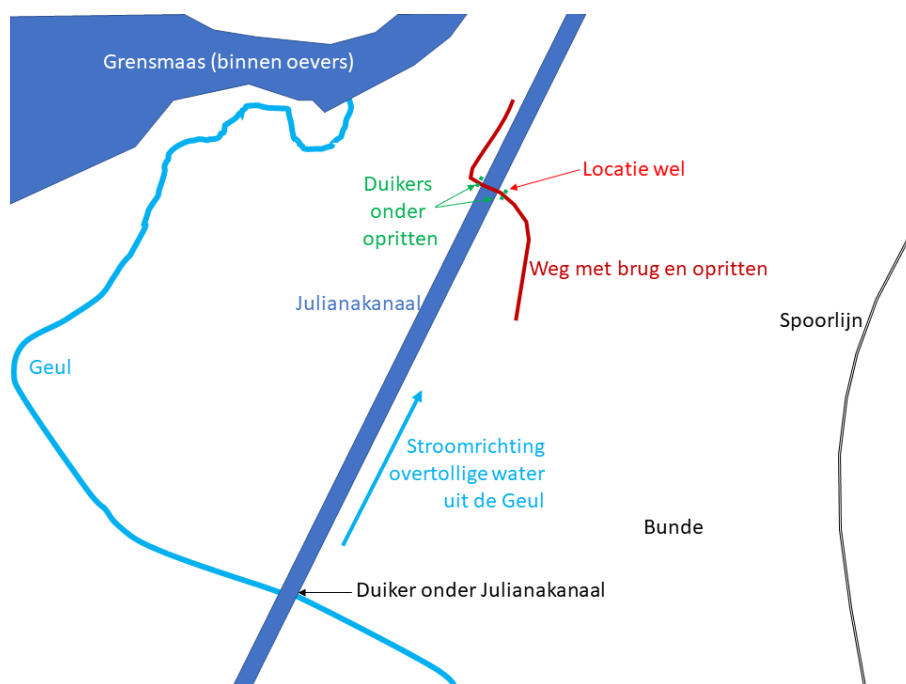
Op vrijdagmiddag 16 juli brachten diverse media het bericht dat bij Meerssen of bij Bunde een dijk was doorgebroken (1Limburg, 2021b) - (RTL Nieuws, 2021) - (De Telegraaf, 2021) . Bij nader inzien bleek het te gaan om een forse sedimentvoerende waterstroom waarmee ook grind werd uitgespoeld, net ten noorden van de oprit naar de brug over het Julianakanaal bij Bunde, zie Figuur 4.3 en Figuur 4.4. Deze waterstroom, die werd aangezien voor een wel, is in allerijl ruim een meter opgekist, door de inzet van circa 3000 zandzakken, waarmee de situatie gestabiliseerd werd. Aanvankelijk werd gedacht dat de dijk langs het hier hooggelegen Julianakanaal op bezwijken stond door lekkage vanuit het kanaal of vanuit de Maas. Het ging echter om water uit de Geul, zie Figuur 4.3. Figuur 4.4: Situatieschets rond brug Bunde. Omdat dit niet allemaal door de duiker onder het Julianakanaal kon, stroomde dit langs de oostzijde van het Julianakanaal naar het noorden¹³. Bij de opritten naar de bruggen bij Bunde en Geulle stroomde het vervolgens om de oprit heen, en ook door de daar oorspronkelijk aangelegde duikers. Bij Bunde was die echter bedekt geraakt en niet opgenomen bij de digitalisering van de legger, zodat de waterstroming die uit deze duiker kwam aanvankelijk verkeerd werd geïnterpreteerd als afkomstig uit de ondergrond ("een wel"). Dat hier een duiker lag, werd een week later ontdekt bij een nader onderzoek naar deze locatie.



Figuur 4.3: Situatie bij Bunde, met achtereenvolgens voorafgaand aan effectieve maatregelen (foto Bertram de Rooij, WUR/Brandweer Gelderland Midden), gestabiliseerde wel (foto Hoite Detmar, Rijkswaterstaat), wel met afmetingen na droogvallen, de betonnen duiker waar het water uit kwam (foto Anton van der Meer, Deltares).

In de middag van 16 juli zijn de bewoners geëvacueerd en werd ook het treinverkeer door Bunde stilgelegd. 's Avonds is het Calamiteitenteam Waterkeringen van Rijkswaterstaat en de waterschappen ingeschakeld geweest om op basis van door de Kustwacht gemaakte infraroodbeelden vast te stellen of de situatie veilig verklaard kon worden. Dit bleken echter gewone beelden te zijn (geen infrarood), waarbij bovendien delen van de waterkering ontbraken, zodat op basis van deze beelden geen aanvullend veiligheidsoordeel kon worden gegeven.

¹³ Er zijn meldingen van bewoners dat delen van Bunde, Brommelen en Westbroek een dag eerder – 15 juli - al door water uit de Geul overstromden



Figuur 4.4: Situatieschets rond brug Bunde.

4.4 Wel achter een dijk: Sint Annakapel

Een belangrijk faalmechanisme voor dijken betreft piping (onderloopsheid). Hierbij resulteert een waterstandverschil over de dijk in uitspoelend zand – een zogenaamde zandmeevoerende wel. Bij de waterkeringen langs de Maas zijn meerdere zandmeevoerende wellen opgetreden. In de meeste gevallen zijn deze tijdens het hoogwater gevonden en opgekist met zandzakken. Hierbij wordt met de zandzakken als het ware een muur rondom de wel gemaakt, waardoor het waterpeil in de wel, aan de landzijde van de waterkering, hoger komt te staan zodat het waterstandsverschil tussen het buitenwater en de wel afneemt en de drijvende kracht achter de uitspoeling van zand wordt verkleind.

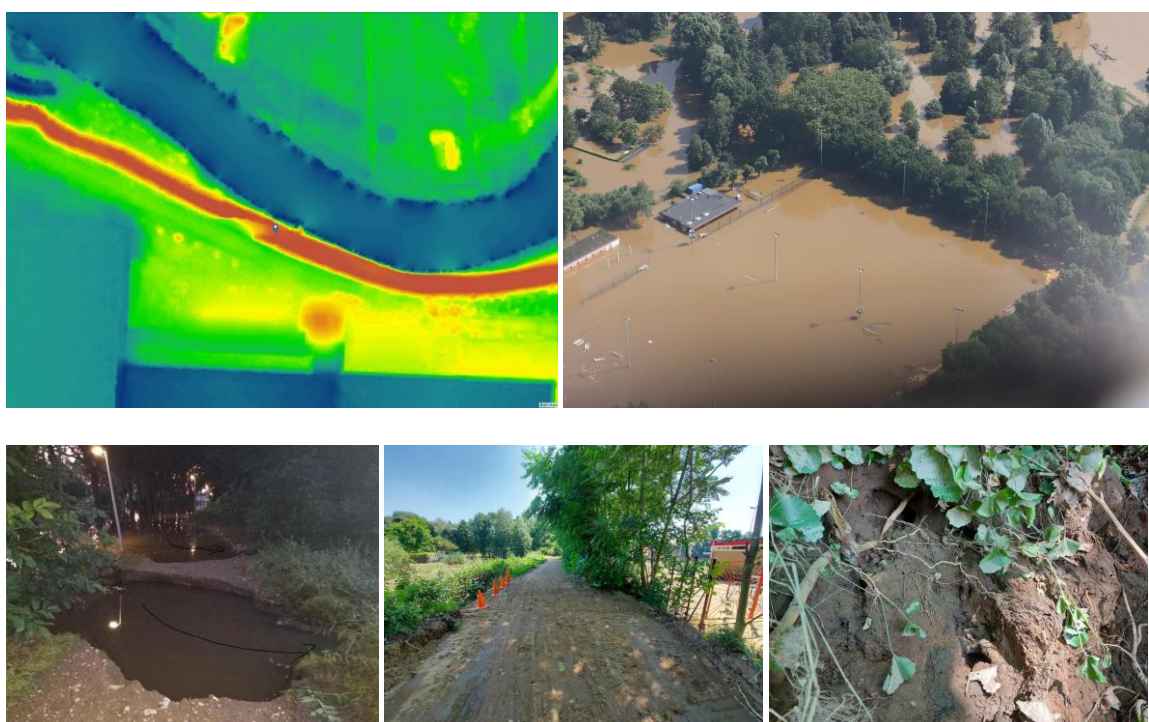
Een wel bij Ohé en Laak, ter hoogte van de St. Annakapel, is pas ontdekt nadat het water was gezakt. Deze 120 cm grote zandkrater lag op circa 100 m van de dijk, in een vanwege grindwinning in het verleden laaggelegen gebied, zie Figuur 4.5. Het maximale verval over de wel is hier circa 4 m geweest. De diepe ligging, zeer doorlatende ondergrond en de aanwezigheid van een oude stroomgeul onder de dijk maakt deze locatie extra gevoelig voor het ontstaan van kwel en eventueel piping. Nader onderzoek naar de lokale bodemopbouw moet uitwijzen waar het zand vandaan komt, en of hier aanvullende versterkingsmaatregelen tegen piping nodig zijn.



Figuur 4.5: Links: zandmeevoerende wel bij de St. Annakapel na het hoogwater. Het afgezette zand is relatief fijn. Rechts: maaiveldniveau in de omgeving van de wel (AHN3), de dijken zijn aangegeven met een groene lijn – de dijk nabij de wel loopt van de linkerrand iets onder het midden naar de rechterbovenhoek en de andere dijk ligt in de rechteronderhoek.

4.5 Bres bij hockeyvelden Concordia (Roermond)

Tussen de Roer en de Hambeek, ten oosten van de Bisschop Lindanussingel, liggen de velden van de Roermondse Hockeyclub Concordia, zie ook Figuur 4.6. Het gaat hier om een onbewoond omdijkt gebied, waaraan geen specifieke waterveiligheidseisen worden gesteld. Deze dijk valt in de categorie 'overige' in de legger van Waterschap Limburg en kent derhalve geen veiligheidsclassificatie zoals de primaire en regionale waterkeringen. Hier is een circa 2 m brede bres in de dijk ontstaan, nadat een iets lageregelegen deel van de kruin (zie Figuur 4.6 linksboven) overstroomde. De kruinhoogte bedraagt hier NAP + 21,10 tot + 21,20 m, terwijl de maximale waterstand NAP + 21,43 m bedroeg, zoals bleek uit metingen en vloedmerken op de nabijgelegen keersluis ten westen van de Bisschop Lindanussingel, in een situatie waarbij er amper sprake was van stroming omdat de keersluis gesloten was.



Figuur 4.6: Linksboven: Hockeyvelden Concordia: plaatselijk verlaagde kruin bij eerste overlooplocatie, situatie voor de overstroming (AHN3), Rechtsboven: luchtfoto zaterdag 17 juli 11:15 – de dijk met bres ligt vlak achter het clubgebouw en de blauwe container tussen de bomen, Linksonder: situatie bij terugstromen met vooraan de uitgeschuurde locatie van de lagere kruin en daarachter de breslocatie (foto David Knops, HKV), Midden onder: gedichte bres, Rechtsonder: gaten in dijktafval op circa 100 m vanaf de breslocatie.

Deze maximale stand werd pas zaterdagochtend 17 juli rond 10:00 uur bereikt (zie ook Figuur 4.6 rechtsboven), terwijl de waterstand op 17 juli kort na middernacht al aan de kruin staat en om 1:16 uur al een filmpje van overloop op Facebook werd gedeeld (Facebook, 2021). De bres is pas later ontstaan, op korte afstand van de locatie met de verlaagde kruinhoogte (zie Figuur 4.6 linksonder en midden onder), maar of dit al gebeurd is voordat de kruin ter plaatse overstroomde is onbekend. Het is mogelijk dat graverijen door dieren een rol hebben gespeeld bij het verzwakken van de kering en het ontstaan van de bres: op meerdere plaatsen in het dijktafval zijn gaten gevonden van enkele centimeters doorsnede, mogelijk van woelmuizen. De hockeyvelden hebben bijna 2 meter onder water gestaan. Deze dijk valt in de categorie 'overige' in de legger van Waterschap Limburg en kent derhalve geen veiligheidsclassificatie zoals de primaire en regionale waterkeringen.

4.6 Zandmeevoerende wel bij een kunstwerk: keersluis Roer

Bij de gesloten keersluis in de Roer in Roermond, ten westen van de Bisschop Lindanussingel, werd op zaterdag 17 juli om 3:15 's nachts een melding gedaan van een wel in de hoek aan de benedenstroomse zijde. De wel voerde grof zand en grind mee. Een half uur later is een eerste ring van zandzakken gelegd (zie Figuur 4.7), die 3 tot 4 lagen hoog is opgekist. Dit leidde tot stabilisatie van de situatie. 's Middags was er weer meer uitstroom van water en zand en is er verder opgekist tot een hoogte van 60 à 80 cm, hetgeen voldoende bleek bij het maximaal optredende verval van ruim 1,6 m. Naderhand werd aan de hoogwaterzijde een slechte aansluiting van de bovenbouw van de sluisconstructie op de bovenkant van de damwand geconstateerd, de verwachting is dat het water mede hierlangs gemakkelijker door de sluis kon stromen met de welvorming tot gevolg. Deze keersluis was gesloten om te voorkomen dat de binnenstad van Roermond gevaar zou lopen. Alle afvoer uit de Roer moest daardoor worden afgevoerd via de zuidelijker gelegen Hambeek, zie detailkaart 'Roermond-Zuid' in Figuur 4.1. Op deze locatie is eind jaren '90 een extra bypass aangelegd, de 'Groene Rivier', ten westen van deze keersluis. De inzet daarvan werd echter niet voldoende veilig bevonden vanwege de staat van de waterkering aan de noordkant van deze bypass (1Limburg, 2021c).



Figuur 4.7: Keersluis Roer, met achtereenvolgens afgezet zand en grind bij de eerste zandzakken (foto Guido van Rinsum, Witteveen+Bos), opkisting op 17 juli om 4:30 uur (foto Guido van Rinsum, Witteveen+Bos), opkisting op 17 juli rond 20:00 uur (foto Guido van Rinsum, Witteveen+Bos), de slechte aansluiting van de sluisconstructie op de bovenkant van de damwand aan de hoogwaterzijde.

4.7 Stuw bij Bosscherveld (Maastricht)

Binnen het stroomgebied van de Maas ligt tussen Maastricht en Borgharen de ingang van het Julianakanaal, met de stuw van Borgharen vrijwel direct stroomafwaarts van dit splitsingspunt. Parallel daaraan ligt de bypass Bosscherveld, waarin een vaste stuw is opgenomen. Deze stuw bestaat uit een gronddam met een steenbekleding aan de benedenstroomse zijde. Bovenop de dam staat een stalen rand van circa 15 cm hoogte, bestaande uit verankerde elementen van elk 4 m lengte. Ongeveer in het midden van dam bleek bij het dalen van de waterstand één van deze stalen elementen verdwenen. Erachter zat een erosiegat van ongeveer 15 m breed en tot circa 1,5 m diep. Dit werd zichtbaar in de middag van zaterdag 17 juli, toen de afvoer over de stuw al aanzienlijk verminderd was. Er is besloten tot een acute noodreparatie, waarvoor ook het leger is ingezet (Limburg, 2021d) vanwege de slechte bereikbaarheid van de locatie met materieel, zie Figuur 4.8.

Ondanks dat er geen sprake was van acuut gevaar, mede omdat het water binnen het systeem van de Grensmaas zou blijven, is toch besloten tot acute reparatie vanwege het denkbare vervolgscenario. Dit bestond uit verdere vergroting van het erosiegat, waardoor de kruin zou kunnen verzakken, waarna ook verdere erosie van de gronddam in zijdelingse richting zou kunnen optreden. Vervolgens zou de bereikbaarheid voor reparatie nog veel problematischer kunnen worden. Tegelijkertijd zou het stuwpeil bij Borgharen, dat ook van belang is voor het Julianakanaal, dan niet meer regelbaar zijn. Overigens is deze schade op dezelfde plaats als een eerdere schade, een kleine tien jaar geleden. De reparatie van destijds lijkt een zwakke plek te hebben gevormd. Verder lijkt de detaillering van de verankering van de stalen rand, met een eenvoudig verwijderbare borgpen, gevoelig voor vandalisme.



Figuur 4.8: Stuw bij Bosscherveld: noodreparatie met assistentie van het leger (foto Wilbur van Beijnen, Rijkswaterstaat), overzicht kering na reparatie (vloedmerken nog zichtbaar bij de begroeiing op de achtergrond), detail verankering stalen rand.

4.8 Slotopmerkingen

De belasting op de primaire en regionale waterkeringen is zeer hoog geweest en kwam op sommige plekken in de buurt van het niveau waarop deze ontworpen zijn – en het systeem heeft over het algemeen goed gefunctioneerd. Dit gegeven kan als bewezen sterkte worden meegenomen in de veiligheidsbeoordeling van

de keringen. Hierbij moet wel de relatief korte duur van het hoogwater worden meegenomen, evenals de genomen noodmaatregelen. Een algemene vergelijking tussen de beoordeling of toetsing van het systeem en de opgetreden incidenten en hoogtetekorten lijkt ook nuttig. Voor het faalmechanisme piping zijn vervolganalyses wenselijk om de opgetreden zandmeevoerende wellen in relatief grof zand en grind beter te kunnen begrijpen en verklaren met rekenmodellen, die hiertoe mogelijk verbeterd dienen te worden.

Een algemene les die uit de gebeurtenissen getrokken kan worden betreft de informatievoorziening. Het bleek erg belangrijk om de informatie beschikbaar te hebben over de toestand van de keringen op basis van inspecties en toetsingen, locaties waar aanvullende maatregelen het meest nodig zijn, maar ook compleetheid ten aanzien van de componenten van het systeem – zoals met name bij de waterstroming bij het Julianakanaal bij Bunde naar voren is gekomen. Daarom wordt aanbevolen om de kennis over de objecten van, in en rond waterkeringen (en infrastructuur in het algemeen) beter op orde te brengen en goed toegankelijk te maken. In vergelijking met de situatie ten tijde van de dijkverzakking bij Stein (2004) en het incident met de naftaleiding bij Born (2014) is er op dit gebied overigens al veel verbeterd. Daarbij wordt ook aanbevolen om de gegevens met een ervaren beheerder kritisch door te nemen op juistheid en compleetheid. Kritische beoordeling van de beschikbare gegevens met behulp van gedegen vakkennis had ook de ongerustheid bij de in de bijlage beschreven situaties bij de Roertunnel, 's-Hertogenbosch en Made kunnen vermijden. Tijdens het hoogwater hebben observaties in het veld met verschillende bronnen een belangrijke rol gespeeld. Bij de situatie rond Bunde kwam daarbij wel naar voren dat de incomplete videobeelden van de kering onvoldoende bruikbaar waren, naar verwachting had met volledig dekkende infraroodbeelden wel een complete beoordeling gegeven kunnen worden.

Twee van de gegeven beschrijvingen (waarvan één in de bijlage) houden verband met slechte aansluitingen bij 'harde' keringen: de keersluis in de Roer en de ontruiming van het gebied bij de Designer Outlet, beide in Roermond. Hier kan bij inspectie en beoordeling extra aandacht aan worden besteed, ook elders bij aansluitingen van en op constructies.

Voor drie locaties wordt een kritische beschouwing van de huidige situatie aanbevolen, die ook breder zal kunnen worden toegepast: de detaillering van de stuw bij Bosscherveld, het uitlaatwerk van de Zeven Ellen Waterlaat en het retentiebekken De Dem bij Hoensbroek. Tijdens de hevige regenval bleken verschillende retentiebekkens in het heuvelland te overstromen, waarbij sommige ook op doorbreken leken te staan. Door een robuust ontwerp (bijvoorbeeld een erosiebestendige overlaatconstructie met voldoende capaciteit) kan een doorbraak tijdens de situatie en daarmee een calamiteit worden voorkomen. Ook voor de bouw van nooddijken kunnen op basis van het falen van de nooddijk bij Horn lessen worden geleerd (zie bijlage C.3).

De voorgaande zaken kunnen allemaal al tijdens de 'koude fase' worden voorbereid en uitgevoerd om zo de hoogwaterbescherming nog verder te verbeteren.

4.9 Referenties

1Limburg (2021a) : www.1limburg.nl/spannende-uren-roosteren-eerste-dijk-aan-het-overstromen

1Limburg (2021b) : www.1limburg.nl/groot-alarm-om-lek-dijk-bij-bunde

1Limburg (2021c) : www.1limburg.nl/openen-hoogwaterbypass-roermond-was-te-gevaarlijk

1Limburg (2021d) : www.1limburg.nl/lekkende-stuwdam-maastricht-verstevigd-door-leger

1Limburg (2021e) : www.1limburg.nl/stutten-bassin-hoensbroek-mislukt-omwonenden-gewaarschuwd

Facebook (2021) : www.facebook.com/100063680285097/videos/pcb.198868955579113/201837798548529
toegankelijk via www.facebook.com/rhc.concordia

RTL Nieuws (2021) : www.rtlnieuws.nl/nieuws/nederland/artikel/5242171/dijk-meerssen-doorgebroken-wijk-onder-water

De Telegraaf (2021) : www.telegraaf.nl/nieuws/901301291/live-dijk-bij-meerssen-doorgebroken-geen-tijd-meer-voor-evacuatie

YouTube (2021a) : www.youtube.com/watch?v=BBbsEahtjOU

YouTube (2021b) : www.youtube.com/watch?v=0P9TnCwcfk



5 Schade door overstroming

Tijdens de periode van extreme neerslag en hoogwater in juli 2021 is in Limburg veel overlast en schade ontstaan in het overstroomde gebied. In dit hoofdstuk wordt op basis van het overstroomde gebied, voor verschillende posten de schade geschat. Dit betreft zowel fysieke schade doordat materialen kapot gaan en schade als gevolg van bedrijfsuitval. Uiteindelijk is een eerste vergelijking gemaakt met schadegetallen van het Maas hoogwater in 1993 en 1995. De in dit hoofdstuk gepresenteerde schattingen zijn gebaseerd op openbaar beschikbare informatie. Vanwege grote onzekerheden is nu een bandbreedte aangehouden. De bepaling van daadwerkelijk opgetreden totale schade kan door analyse van opgenomen schaderapporten en vragenlijsten verder worden verbeterd.

5.1 Introductie

De gevolgen van overstromingen op de maatschappij zijn veelal groot, en de overstromingen in de zomer van 2021 in Limburg, Duitsland en België zijn daarop geen uitzondering. In dit hoofdstuk beperken we ons tot de schade in Nederland, waar ook veel schade is opgetreden. In tegenstelling tot Duitsland en België heeft de overlast in Nederland geen directe slachtoffers geëist, maar de omstandigheden waren op bepaalde locaties langs de Geul zo extreem dat dit wel had gekund. Met extreme omstandigheden bedoelen we grote stroomsnelheden, waterdieptes van meer dan 1,5 meter en grote stijgsnelheden van het water.

Ondernemer uit Valkenburg: “Het water stroomde waanzinnig snel. Ik ben er doorheen gelopen, want ik woon hier 500 m vandaan, aan de andere kant van het water. Het water was middelhoog en ik voelde de stroming tegen mijn benen komen en ik dacht: wegwezen, want als je hier valt, dan kom je er niet meer levend uit.”

De overstromingen hebben geleid tot fysieke schade aan objecten en gewassen en ook tot andere typen schade zoals bedrijfsuitval. Ook zijn er gevolgen die minder gemakkelijk meetbaar zijn en niet in geld uit te drukken zoals stress en verlies van persoonlijke bezittingen met emotionele waarde. De verschillende gevolgen worden in dit hoofdstuk zo goed als mogelijk in beeld gebracht. Tabel 5.1 geeft een overzicht van de typen schaden die onderscheiden worden.

Tabel 5.1: Indeling van gevolgen van overstroming.

	Monetair waardeerbaar	Niet-monetair waardeerbaar
Fysieke schade	Kapitaalverlies (woningen, inboedel, gewassen, auto's, fabrieken, gebouwen, inventaris) en schoonmaakkosten	Slachtoffers, stress, ecosystemen, vervuiling, monumenten, cultuurverlies
Bedrijfsuitval	Verlies uit productiestilstand, inkomensverlies en onderbreking van infrastructuur	Sociale verstoring, emotionele schade en overlast door onderbreking van infrastructuur

Deze paragraaf beschrijft de factoren die bepalend waren voor de schade en geeft ook een korte vergelijking met de hoogwaters van 1993 en 1995 in Limburg. In de volgende paragrafen wordt eerst in detail ingegaan op de directe fysieke schade in Limburg en daarna op de schade door bedrijfsuitval en indirecte gevolgen van schade aan infrastructuur.

Factoren die de gevolgen van het hoogwater beïnvloed hebben

De belangrijkste factor die bij deze gebeurtenis heeft geleid tot de grote schade was vanzelfsprekend de enorme hoeveelheid regen die gevallen is in Limburg, de Ardennen en Eifel. Deze neerslag en de afstroming van de hellingen leidden tot veel overlast zoals gewasschade en schade aan woningen en tuinen. Zowel de zijrivieren Geul, Geleenbeek en Roer als de Maas kregen hierdoor extreem hoge waterstanden en afvoeren en traden buiten hun oevers. De schade door overstroming vanuit de kleinere zijrivieren, en dan met name de Geul, was in deze gebeurtenis ernstiger dan langs de Maas.

De ernst van de schade verschilt per locatie en is afhankelijk van de overstromingskarakteristieken en de kwetsbaarheid van het getroffen gebied. In dit geval waren vooral de waterdiepte, aankomsttijd en soms ook de stroomsnelheid bepalend. De schade is het hoogst in de dorpen en steden langs de Geul en verschilt sterk per bedrijf of woning. De duur van de overstroming was in het algemeen kort (1 dag), maar de hersteltijd is lang voor gebouwen die een lange droogtijd hebben. De droogtijd hangt af van het type gebouw (zoals type vloer en muur). Het type gebouw bepaalt daarmee niet alleen de directe fysieke schade, maar ook de schade door bedrijfsuitval. In het gebied konden sommige ondergelopen horecaondernemingen al weer na 2 weken open, terwijl anderen pas in januari (6 maanden) verwachten weer open te gaan. De bedrijfsuitval is overigens ook afhankelijk van de beschikbaarheid van vakmensen en aannemers in het gebied; en diverse bronnen bevestigen dat dit beperkend is.

Met uitzondering van dat enkele bruggen in Valkenburg verwoest zijn, viel schade aan nutsvoorzieningen en transportinfrastructuur mee: er was wel uitval, maar in het algemeen duurde deze minder dan een dag. Doordat de nutsvoorzieningen en de bereikbaarheid niet of kort verstoord waren, konden reparaties direct starten. De korte uitvaltijd van nutsvoorzieningen heeft de gevolgen van de overstroming dus beperkt.

Ondernemer in Bunde: veel onzekerheid over schade

Lyliane Cortenraad is, samen met haar man John, ondernemer aan de Meerstraat in Bunde en dit is hun verhaal: "We zijn overrompeld door het hoogwater, we hadden dat nog nooit eerder meegemaakt. Het water bleef maar stijgen en stijgen, dat gaf heel veel emotie, en we kregen NL alerts dat we moesten evacueren vanwege de (achteraf gezien zogenaamde) dijkdoorbraak. Ondanks de mooie berichten van de overheid was er niemand die ons ondersteunde bij de evacuatie, het leek wel of ze de Meerstraat waren vergeten. Het huis is overstroomd, maar er is vooral veel schade in de loods waar ons materiaal stond."

Van de verzekering hebben ze inmiddels te horen gekregen dat ze de schade niet vergoeden: "Van de verzekering kregen we te horen dat de schade van enkele tonnen euro's niet zullen worden vergoed. Uit de brief: "uitgesloten is bedrijfsschade veroorzaakt door overstroming ten gevolge van het bezwijken of overlopen van dijken, kaden, sluizen, oevers of andere waterkeringen, ongeacht of deze overstroming werd veroorzaakt door storm".

Lyliane: "En daar zit je dan, we hebben ons bedrijf in de afgelopen decennia stukje bij beetje opgebouwd, en het lijkt wel dat we dit in een dag kwijt zijn geraakt. Maar we gaan wel met goede moed door!"



De schade is ook beïnvloed door het seizoen waarop deze gebeurtenis plaatsvond: deze neerslag viel in de zomer. Doordat deze mate van wateroverlast en overstromingen zeker in de zomer niet verwacht worden, waren de inwoners en overheden minder voorbereid en hadden inwoners bijna geen tijd om inboedel te verplaatsen. Daarnaast hadden overheden minder tijd om noodmaatregelen te treffen of evacuaties te ondersteunen. De voorspellingen en waarschuwingen kwamen in het Geuldal zeer laat of helemaal niet. Ook is de schade aan landbouw, campings, en recreatieterreinen hoger doordat in de zomer veel gebieden langs rivieren en beken in gebruik zijn, terwijl in de winter meer rekening wordt gehouden met mogelijke hoogwater.

Vergelijking met de hoogwaters van 1993 en 1995

In december 1993 en januari 1995 kreeg Limburg ook met overstromingen te maken in het buitendijkse gebied van de Maas. Een groot verschil met de gebeurtenis in de zomer 2021 is dat langs de zijrivieren van de Maas (zoals de Geul en de Roer) toen veel minder schade is opgetreden. De topafvoer van de Maas bij Borg-haren was tijdens deze zomer 2021 vergelijkbaar de top afvoer in december 1993 en januari 1995 (zomer 2021: 3260 m³/s; december 1993: 3120 m³/s; januari 1995: 2861 m³/s). De schade langs de Maas in 1993 en

1995, zoals dat geschat is door de schade-experts, is weergegeven in Tabel 5.2.: De schade in 1993 is geschat op 250 miljoen gulden en in 1995 op 165 miljoen gulden. In deze bedragen is geen bedrijfsuitvalschade opgenomen.

Inwoner van Meerssen: “Het was heel erg. (...) Maar uiteindelijk was onze schade maar materieel. Als we naar Duitsland of België kijken, valt het in het niets”

Deze bedragen kunnen worden omgezet naar euro's van 2021: bij gemiddelde groei en inflatie van 2% per jaar tussen 1993 en 2021, en de conversiefactor van gulden naar euro's (1 euro = 2,20 gulden), bedraagt de schade van in 1993 in totaal 201 miljoen euro, en de schade van 1995 in totaal 126 miljoen euro. De Wet Tegemoetkoming Schade (WTS) was in 1993 en 1995 nog niet van toepassing (dat is sinds 1998), maar het merendeel van de schade is destijds wel door het Rijk vergoed.

Tabel 5.2: Schade als gevolg van overstromingen langs de Maas in 1993 en 1995 (10⁶ gulden en 10⁶ euro 2021).

	December 1993	Januari 1995
Particulieren (woningen, auto's, caravans/vakantie huizen, tuinen)	96,5	40,7
Land en Tuinbouw	19,4	20,9
Bedrijven	74,0	62,2
Instellingen	2,6	2,1
Overheid (gebouwen, rivierinfrastructuur, nutsvoorzieningen, opruiming, hulpverlening)	61,3	39,1
Totaal (in 10⁶ gulden)	253,8	165
Totaal (in 10⁶ euro 2021)	201	126

In het vervolg van dit hoofdstuk maken we onderscheid tussen directe fysieke schade en schade door uitval en ook tussen de gevolgen langs de Maas, Geul en Roer.

Ondernemer in Vlodrop: “We wonen hier al jaren langs de Roer en hebben het water nog nooit zo hoog gezien. Door 2 rijen bigbags en geleende pompen van het waterschap hebben we onze bezittingen gelukkig net droog kunnen houden.”

5.2 Fysieke schade

Op basis van het overstroomde gebied is het aantal getroffen woningen, inwoners, bedrijven, infrastructuur en landgebruik bepaald (zie Tabel 5.3). In het stroomgebied van de Geul zijn de meeste woningen, inwoners en bedrijven getroffen. Langs de Maas is er de hoogste landbouwschade, omdat op zo'n 40% van het overstroomde landbouwgebied, oogsten als verloren worden beschouwd. Dit voorlopige overzicht is voornamelijk gebaseerd op een zo goed mogelijke bepaling van het overstroomde gebied, gecombineerd met gedetailleerde, actuele GIS-registraties (o.a. BasisRegistratiePercelen 2019, Basisregistratie Adressen en Gebouwen 2021, Risicokaart.nl 2019 en Rijksmonumenten 2019). Het overstroomde gebied langs de Geleenbeek is lastig op basis van de bronnen met enige zekerheid vast te stellen en is nu buiten deze analyse gehouden. Er zijn vele meldingen over wateroverlast bij het waterschap binnengekomen; dit betreft water en modder in woningen beneden aan de hellingen, overal verspreid in Zuid-Limburg. Het overzicht met exacte locaties is lastig compleet te krijgen op basis van op dit moment beschikbare bronnen.

Tabel 5.3: Aantal getroffen inwoners, objecten en instellingen in overstromd gebied.

Categorie	Geul	Roer	Maas	Totaal
Woningen	2.000 – 2.400	60 – 75	300 – 400	2.360 – 3.000
Inwoners	3.840 – 4.160	60 – 120	500 – 600	4.400 – 4.880
Bedrijven	390 – 400	10 – 15	190 – 200	590 – 615
Landbouw (ha)	700 – 725	925 – 975	9.500 – 10.000	12.000 – 12.500
- grasland	73%	54%	60 %	59%
- akkerland	27%	46%	40 %	41%
Kwetsbare instellingen	78	8	72	158
Zorg / onderwijs	12 / 5	0 / 0	2 / 0	14 / 5
IED-installaties	0	0	1	1
Rijksmonumenten*	60	8	68	136
RWZI	1	0	1	2

* Rijksdienst van Cultureel Erfgoed had eind juli al meer dan 35 meldingen van getroffen rijksmonumenten binnengekregen

Om de schade in deze studie te schatten, is in eerste instantie gebruik gemaakt van de regionale en buitendijkse module van de Standaardmethode 2017 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen (Deltares, 2017). In dit model zijn de laatste inzichten en kennis over schade- en slachtofferschattingen opgenomen. Voor de overstroomde gebieden is een indicatief waterdieptegrid afgeleid op basis van modelresultaten. Grootste schades worden berekend aan woningen, bedrijven en (lokale) infrastructuur (zie Tabel D.1.1 in Bijlage D1).

Het totaal aan **fysieke schade** in het overstroomde gebied wordt met dit schademodel op zo'n **€ 300 miljoen – € 375 miljoen** geschat, met de meeste schade in de stedelijke kernen in het Geuldal. Fysieke schade elders (langs Geleenbeek, gebouwen onderaan hellende gebieden) wordt in deze verkenning op **€ 25 - 75 miljoen** geschat.

Er bestaat nog geen eenduidig beeld over de exacte schade die de overstromingen tot gevolg hadden. Inventarisaties vanuit verschillende partijen, zoals verzekeraars en de overheid (zie textbox "Compensatie van schade") zijn nog niet afgerond. Een eerste quickscan door RVO (RVO, 2021) gaf een schatting (*maximaal mogelijke directe, materiële schade en kosten*) begin augustus die neerkwam op ruim 1,8 miljard schade, o.a. gebaseerd op een ruwe schatting van 230.000 getroffen woningen en ruim 60.000 getroffen bedrijven. Verzekeraars maakte begin augustus bekend dat ze bijna 13.000 schadeclaims uit Limburg hadden (Verbond van Verzekeraars, 2021). De meeste claims kwamen uit Valkenburg (Geul), Heerlen (Geleenbeek) en Meerssen (Geul en Maas) en betroffen hoofdzakelijk schade aan woningen en voertuigen van particulieren (~90% van de claims).

Inwoner van Valkenburg: "We zijn maar met kleren aan boven in bed gaan liggen. We hebben de eerste tijd niemand gezien. Ik werd om 6.00 's ochtends wakker, om drie uur 's middags waren de mensen van de reddingsbrigade de eerste die wat kwamen doen: ons met een bootje ophalen".

Compensatie van schade

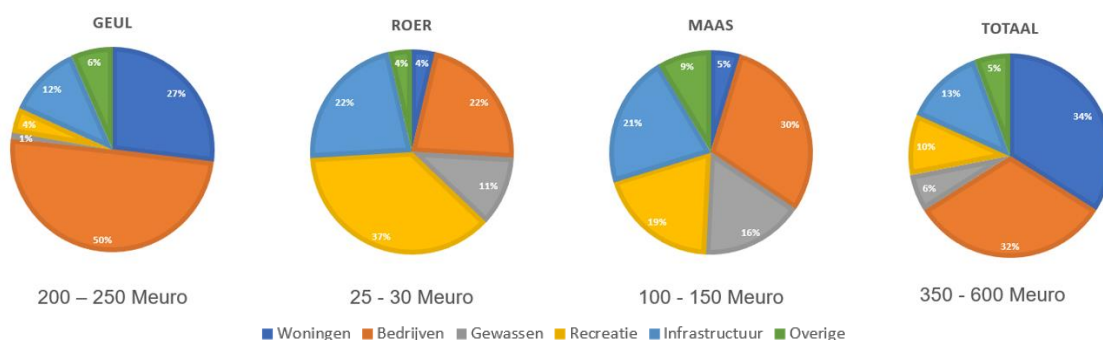
Schade door het hoogwater kan deels worden vergoed door verzekeraars via de inboedel-, opstal- of (all-risk) motorvoertuigverzekeringen, door de overheid die een tegemoetkoming in niet-verzekerde schade kan verschaffen via de 'Wet Tegemoetkoming Schade bij Rampen', en het rampenfonds. Schade aan woningen en bedrijfspanden veroorzaakt door extreme regenval en schade aan woningen door het overlopen van beken valt doorgaans onder de verzekeringsdekking, maar kan voor grote klanten van het type polis afhangen (NRC, 2021) en dus niet verzekerd zijn. Schade aan voertuigen is voor neerslag en overstroming gedekt door allrisk en cascoverzekeringen maar niet als alleen een WA dekking is afgesloten. Op 13 augustus heeft het kabinet de voorwaarden van de schaderegeling voor de tegemoetkoming in onverzekerde schade gepubliceerd (Rijksoverheid, 2021). Het rampenfonds heeft een tegemoetkoming van 1.000 euro aan gedupeerde huishoudens toegezegd (Nationaal Rampenfonds, 2021).

5.3 Bedrijfsuitval en uitval van infrastructuur

Bedrijfsuitval ontstaat doordat bedrijven tijdelijk niet (volledig) functioneren na een overstroming. Dit kan bijvoorbeeld een winkel, kantoor of horeca onderneming zijn die tijdelijk gesloten is totdat het gebouw en de inventaris hersteld zijn. Deze gevolgen kunnen optreden binnen en buiten het overstroomde gebied. We focussen ons hier op de verliezen binnen het overstroomde gebied. Bedrijfsuitval is vooral ontstaan langs de Geul: bijvoorbeeld in Valkenburg zijn veel horecabedrijven en winkels getroffen. Naast bedrijfsuitval door fysieke schade aan inboedel en gebouw, heeft er ook een bepaalde mate van lokale maatschappelijke ontwrichting plaatsgevonden ten gevolge van kortstondige uitval van kritieke infrastructuur. Er is bijvoorbeeld enkele dagen stroomuitval geweest in Valkenburg. Over het algemeen zijn de uitval van elektriciteit of transport (e.g. door uitval van wegen of bruggen) of cascadowerking beperkt.

Ondernemer uit Valkenburg: “Apparaten die we ooit met 10 man naar binnen hebben gedragen, stonden aan de andere kant van de zaak. Alle inboedel moest eruit, en is er inmiddels uit. En nu drogen... Met wishful thinking ben ik half september weer open, maar reëel is 1 oktober. Het seizoen is dan voorbij. Hoe het er nu naar uit ziet zijn we wel verzekerd voor de inventaris, maar niet voor de bedrijfsuitval. En dat is ook een zware maandelijkse kostenpost, met veel personeel en huur. En we hadden al de corona. Dus we moeten nog een keer opnieuw beginnen.”

Het geschatte aantal getroffen bedrijven is rond de 600, waarvan ongeveer 25% zich bevinden langs de Maas, en ongeveer 70% langs de Geul. De onzekerheid in de geschatte bedrijfsverliezen is groot, en ligt tussen de € 15 miljoen en € 135 miljoen. Deze schattingen zijn gebaseerd op de verliezen per bedrijf zoals gepresenteerd in Thieken et al. (2016). In Thieken et al. (2016) worden verliezen gepresenteerd van bedrijven aan de hand van een grootschalige enquête na verschillende (vergelijkbare) overstromingen in Duitsland in 2013. De lage schatting is gebaseerd op de mediaan van gerapporteerde bedrijfsverliezen (€ 15.000) uit Thieken et al. (2016), en de hoge schatting is gebaseerd op de door Thieken et al. gemiddelde van gerapporteerde verliezen (€ 137.287). Deze grote spreiding reflecteert de onzekerheden in de duur van herstel voor verschillende bedrijven, hun specifieke inkomsten en de mate waarin de verschillende bedrijven geraakt zijn. In Figuur 5.1 zijn de totale schattingen in een diagram opgenomen.



Figuur 5.1: Eerste schattingen van fysieke schade plus bedrijfsuitvalschade voor de verschillende gebieden. In het totaalplaatje is een schatting van schade van woningen onderaan hellende gebieden verspreid door Limburg en schade langs de Geleenbeek met een bandbreedte toegevoegd.

Op het hoofdwegennet zijn verschillende locaties die voor kortere of langere duur gestremd zijn geweest. De duur van de stremming, voor zover bekend, varieert van een aantal uur (bijvoorbeeld de A2 tussen knooppunten Kerensheide en Kruisdonk) tot een aantal dagen (op de A79). In de ochtendspits van donderdag 15 juli ontstond ca. 50 km file door wegafsluitingen en hinder door water op de weg. Het spoor van Maastricht naar Luik is enkele dagen gesloten geweest, omdat het spoor bij Eijsden - nabij de Belgische grens, onder water stond. Ook het spoor van Weert naar Roermond en van Maastricht naar Sittard is korte tijd gesloten geweest, wat heeft geresulteerd in gestremd treinverkeer op deze routes. Scheepvaart is stilgelegd om het risico op ongelukken door drijfvuil te beperken. De kosten horend bij deze stremmingen zijn moeilijk te schatten en niet inbegrepen bij de in dit hoofdstuk genoemde schadebedragen.

De stroomvoorziening en vooral vaste internet, bel-en televisie-verbindingen zijn tijdens het hoogwater op verschillende locaties uitgevallen. Een geschat aantal van 6.000-7.000 huishoudens is hierdoor getroffen. Binnen enkele dagen is de stroomvoorziening door Enexis en de telecomaandieners weer hersteld (Enexis en KPN, 2021). In Valkenburg viel op vrijdag een grote straatkast van KPN, die zo'n 700 klanten bedient, uit. Ook een aantal kleinere straatkasten, voor minder dan 65 klanten per kast, stonden onder water. Op andere locaties leidde stroomuitval na enige tijd ook tot telecomuitval. Dit kwam vooral omdat de noodaccu's leeg waren en er niet op tijd een noodaggregaat geplaatst kon worden. Door schade aan bruggen en verschuivingen van bruggen en ondergrond ontstonden ongeveer 5 glasvezel- en 100 koperkabel storingen. Bij glasvezel was genoeg redundantie om storingen te voorkomen, bij koperkabels werden per storing maximaal enkele tientallen klanten geraakt, omdat de uitval plaatsvond in de haarvaten ('last mile') van het systeem. Als gevolg van overstroming en of stroomuitval waren er problemen in vijf masten. Het gevolg was een tijdelijke dip in de dekking van het mobiele netwerk. Door de redundantie in het netwerk konden radioplanners van KPN door 'tunen' van de overgebleven masten snel weer voor volledige dekking zorgen.

5.4 Voorstel voor nader onderzoek

Dit hoofdstuk heeft eerste inschattingen van de schade en maatschappelijke gevolgen van het hoogwater gegeven. De inzichten die hiermee zijn verkregen roepen vragen op voor verdere verdieping. Uit gedetailleerdere informatie over de wateroverlast en schade, evenals de genomen risicoreductiemaatregelen door overheden, huishoudens en bedrijven kunnen lessen getrokken worden voor het beleid.

Een onderdeel van het beoogde vervolgonderzoek is het uitzetten van een vragenlijst in de gebieden die getroffen zijn door het hoogwater of dreigden te overstromen, en waar evacuatie plaatsvonden. Hiervoor is een conceptvragenlijst ontwikkeld.¹⁴ Deze vragenlijst heeft het doel om de volgende vier hoofdthema's nader te onderzoeken: (1) ervaren wateroverlast en schade; (2) genomen risicoreductiemaatregelen; (3) evacuatiegedrag; (4) compensatie. Het huidige concept van de vragenlijst is gericht op huishoudens, maar kan afhankelijk van de scope van het vervolgonderzoek aangepast worden voor bedrijven. Het doel is om een zo groot mogelijke representatieve steekproef met de vragenlijst te bereiken.

De volgende inzichten kunnen per thema van de vragenlijst worden verwacht:

- Verschillende vragen zijn gericht op ervaren waterstanden, schadecategorieën en -bedragen, en stress. Antwoorden op deze vragen geven informatie over de maatschappelijke gevolgen van het hoogwater en de herstelduur. De gegevens over waterstanden en schades kunnen daarnaast worden gebruikt voor het updaten en kalibreren van hydrologische- en overstromingsschademodellen. Deze modellen staan vaak aan de basis van het adviseren van het waterbeheer in Nederland. Echter zijn beperkte gegevens beschikbaar om deze modellen te toetsen omdat overstromingen in Nederland gelukkig nauwelijks voorkomen.
- Vragen over genomen risicoreducerende maatregelen om schade van het hoogwater te beperken, worden gebruikt om te analyseren hoeveel schade deze maatregelen hebben voorkomen en hoe dit afhangt van o.a. waterdieptes en stroomsnelheden. Door de intenties om deze maatregelen in de toekomst te meten, evenals mogelijke verklarende factoren van risicoreductiegedrag (bijv. crisiscommunicatie, risicoperceptie en de verwachte effectiviteit en kosten van de maatregelen), worden inzichten verschaft in hoe huishoudens al dan niet voorbereidingen treffen op overstromingen.
- Het evacuatiegedrag wordt nader onderzocht om in kaart te brengen welke personen wel of juist niet kozen voor evacuatie. Door achterliggende redenen hiervoor te analyseren, kan beleid worden gemaakt om een hoge evacuatiebereidheid bij een mogelijk toekomstige overstroming te bewerkstelligen.

¹⁴ De concept vragenlijst is online in te zien via deze link:
https://www.researchgate.net/publication/354117940_Vragenlijst_over_overstromingen_Limburg_conceptversie

- De vragenlijst zal verwachtingen en ervaringen van respondenten ten aanzien van de compensatie en de afwikkelingsduur van de compensatie in kaart brengen.

5.5 Slotopmerkingen

Er is veel overlast en schade ontstaan in het overstroomde gebied in Nederland. Naar schatting bevinden zich meer dan 2.500 woningen, 5.000 inwoners en zo'n 600 bedrijven in het direct overstroomde gebied. Met de standaardmethode voor schadebepaling (SSM2017), ervaringen, en op basis van internationale bronnen, wordt de totale schade op dit moment geschat in de orde van **€ 350 – 600 miljoen**. In de bandbreedte zitten wellicht ook posten die nog niet bekend zijn. Inboedel en opstalschade aan woningen en bedrijven, bedrijfsuitval, schade aan infrastructuur en landbouw zijn de grootste schadeposten. De variatie in schade van verschillende woningen en bedrijven is zeer groot. De geschatte schade voor het totaal overstroomde gebied is duidelijk groter dan bij de overstromingen van 1993 en 1995 (omgerekend naar prijspeil 2021: ongeveer € 200 miljoen resp. € 125 miljoen, excl. schade door bedrijfsuitval); met dien verstande dat bij de recente overstroming de meeste schade nu niet langs de Maas, maar langs de zijrivieren van de Maas (m.n. Geul) heeft plaatsgevonden. Om de hoge variatie in (bedrijfs)-schade nader te onderzoeken wordt voorgesteld bovenstaande schattingen uiteindelijk te verbeteren met de schade-gegevens van verzekeraars en de WTS (Wet Tegemoetkoming Schade bij Rampen. Verder wordt aanbevolen om dit jaar nog een gestructureerde vragenlijst middels een grote steekproef in het gebied af te nemen om meer te leren van ervaren wateroverlast en schade, herstel, effectiviteit van genomen risicoreductie maatregelen, evacuatiegedrag en compensatie.

5.6 Referenties

RVO (2021). Quick Scanrapport overstromings-en regenvalschade in Limburg en het onbedijkte deel langs de Maas in Noord-Brabant juli 2021

NRC (2021). [Limburgse zorg zucht onder financiële nasleep watersnood: 'Wij dachten dat we goed verzekerd waren' - NRC](#)

Rijksoverheid (2021). <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/afhandeling-schade-wateroverlast-limburg-en-noord-brabant/nieuws/2021/08/13/kabinet-presenteert-schaderegeling-wateroverlast-limburg-en-noord-brabant>

Nationaal rampenfonds (2021). <https://nationaalrampenfonds.nl/media/files/306-giro-777-stelt-loket-voor-aanvraag-gift-1000-euro-door-geduceerden-watersnood-limburg-vanaf-vrijdag-open.pdf>

Deltares (2017). Standaardmethode 2017 Schade en slachtoffers als gevolg van overstromingen. https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/132789/11200580-004-hye-0002-r-standaardmethode_2017_schade_en_slachtoffers_als_gevolg_van_overstroming.pdf



6 Gezondheidseffecten

Overstromingen kunnen grote effecten hebben op de gezondheid. Deze variëren in de tijd en worden veroorzaakt door blootstelling aan vervuild overstromingswater, maar ook door evacuaties. In dit hoofdstuk onderzoeken we de gevolgen van de wateroverlast op COVID-19 en andere gezondheidseffecten.

6.1 Gezondheidseffecten van de wateroverlast in Limburg

6.1.1 Introductie

Natuurrampen kunnen vele doden en gewonden veroorzaken, grote gebieden onbewoonbaar maken, en hebben grote economische gevolgen (ECDC, 2021). Naast deze directe gevolgen kunnen zijn er ook gevolgen voor de gezondheid die variëren in tijd ((Messner & Meyer, 2006). Meerdere groepen gezondheidsrisico's pieken op verschillende momenten in de tijd na een overstroming en kunnen lang aanhouden (Alderman et al., 2012)). Ze kunnen worden geclassificeerd als acute, korte termijn (dagen na een ramp) en lange termijn (weken tot maanden na het begin van de ramp) gezondheidseffecten.

Acute gevolgen voor de gezondheid treden op als de overstroming zich verspreidt en terwijl het land onder water staat. Als eerste zijn dit sterfgevallen door verdrinking en ongevallen, dit is in 2021 in Nederland gelukkig voor zover bekend niet gebeurd. Dan komen de risico's van onderkoeling en wonden die veroorzaakt zijn door losgeslagen objecten. Daarnaast zorgen overstromingen voor stress bij de betrokkenen. Mensen zijn enorm geschrokken, er zijn zorgen over vermisten, en onzekerheid over de duur van de overstroming, maar ook om de eerste levensbehoeften. Niet iedereen kan terecht bij familie of kennissen en sommige ontheemden worden centraal opgevangen (Tong, 2017).

Op de korte termijn is er kans op buikpijn en diarree, als gevolg van het binnenkrijgen van verontreinigd water, evenals griep- en verkoudheidsklachten mogelijk veroorzaakt door huidcontact met vervuild water en inhalatie van kleine druppeltjes (De Man et al., 2016; Mulder et al., 2019). Het overstromingswater kan verontreinigd raken met ziekteverwekkers als riolen, rioolwaterzuiveringsinstallaties of landbouwstallen met mest overstromen. Hier is ook voor gewaarschuwd op de websites van GGD [Limburg-Noord](#) en [Zuid Limburg](#). In Europa zijn uitbraken van onder andere leptospirose, *Cryptosporidium*, *Escherichia coli*, *Campylobacter jejuni*, *Giardia lamblia*, *Salmonella*, *Leishmania*, *Legionella*, Hepatitis A, norovirus, en Tahyna virus

gerelateerd aan eerdere overstromingen (Brown & Murray, 2013; Suk et al., 2020). De mate waarin uitbraken optreden wordt mede bepaald door het seizoen en onderliggende factoren zoals de achtergrond incidentie in de populatie. Vervuiling door overstorten heeft grotere gevolgen als ook de drinkwatervoorziening besmet raakt (Suk et al., 2020). Gastro-enteritis is in Nederland met name een risico voor ouderen, kleine kinderen en mensen met een verstoord immuunsysteem, omdat zij bij gastro-enteritis sneller uitdrogen. Genoemde verkoudheids- en buikklachten verschijnselen kunnen ook ontstaan tijdens opruimwerkzaamheden en door direct contact met het overstromingswater (De Man et al., 2016). Ook kunnen er huidirritaties voorkomen wanneer de huid in contact is geweest met chemisch verontreinigd overstromingswater, bijvoorbeeld als een opslag van chemische afval overstroomt, maar ook door infecties. Een andere korte termijn gezondheidseffect is de verspreiding van besmettelijke ziekten, zoals luchtweginfecties veroorzaakt door SARS-CoV-2. Deze kunnen ontstaan door samenscholing van mensen, zoals bijvoorbeeld in een tijdelijke opvang.

Op de lange termijn heeft een overstroming verhoogde risico's op langdurige psychische problemen (Fernandez et al., 2015). De stress, angst en onzekerheid over de situatie zijn vanaf het begin van een overstroming van invloed op de psychische gezondheid van de getroffen en kunnen op termijn leiden tot langdurige problematiek zoals depressies en angststoornissen (Bei et al., 2013; Stanke et al., 2012). Na de opluchting over het overleven volgt vaak een tweede periode van stress wanneer mensen terugkeren naar hun woning en geconfronteerd worden met de aangerichte schade (Munro et al., 2017). Daarnaast kunnen secundaire stressoren, zoals een gebrekkige infrastructuur, ontwrichte gemeenschap en (falende) herstelwerkzaamheden, de psychosociale weerslag van overstromingen verlengen (Chung et al., 2017). Daarnaast kunnen dieren die een hogere plek hebben opgezocht tijdens de overstroming, zoals een zolder, ziekten overbrengen. Bijvoorbeeld urine en uitwerpselen van ratten kunnen ziekteverwekkers bevatten die voor de mens een risico zijn. Naarmate het klimaat in Nederland warmer wordt, zullen we in de toekomst ook rekening moeten houden met een toename van ziekten die door muggen worden verspreid. In de huizen kan op de nog natte muren schimmels groeien; zowel in de overstroomde delen van huizen en gebouwen, als elders, door optrekkend vocht. De schimmels kunnen luchtweginfecties veroorzaken en voor ademhalingsproblemen zorgen (Barbeau et al., 2010). Verder is er ook een gevaar voor koolstofmonoxide vergiftiging in niet goed geluchte ruimtes doordat verwarmingstoestellen kapot of beschadigd zijn geraakt. Wanneer gezondheidsinfrastructuur is aangetast, kan dit op lange termijn leiden tot een toename van de gezondheidsrisico's. Bijvoorbeeld als medicatie bij apotheken niet aangevuld kan worden, er minder capaciteit voor nieuwe ziektegevallen is, of tijdelijk verminderde zorg beschikbaar is in ziekenhuizen of andere zorginstellingen¹⁵.

15 Limburgse zorg zucht onder financiële nasleep watersnood: 'Wij dachten dat we goed verzekerd waren' - NRC.
<https://www.nrc.nl/nieuws/2021/08/09/limburgse-zorg-zucht-onder-financiele-nasleep-watersnood-wij-dachten-dat-we-goed-verzekerd-waren-a4054215>

6.1.2 Methode

Gezondheidseffecten algemeen

Een vragenlijst over gezondheidseffecten van overstromingen (ontwikkeld in 2020 voor Bangladesh) is aangepast aan de Nederlandse situatie en door twee huisartsen en een bedrijfsarts geëvalueerd. De [vragenlijst](#) is via GGD Zuid-Limburg en Veiligheidsregio Limburg Noord verspreid onder huisartsen en bedrijfsartsen in de regio. Hoewel het voor bedrijfsartsen nog vrij vroeg is om een effect te kunnen rapporteren (zij zien mensen meestal pas 4-6 weken na ziekmelding), hebben toch ook enkelen van hen de vragenlijst ingevuld.

Waterkwaliteit

De rapportage met bevindingen is opgesteld door Evides, in samenwerking met Dunea en Waterleiding Maatschappij Limburg (WML).

SARS-CoV-2 verspreiding

De COVID-19 risk ratio is bepaald door middel van quasi-Poisson regressie in R versie 4.1.0 op de database met aantal gedetecteerde coronavirus gevallen per dag per gemeente (data.rivm.nl). De risk ratio geeft de ratio tussen de SARS-CoV-2 incidentie voor (28-6-2021 t/m 14-7-2021) en na (15-7-2021 t/m 1-8-2021) de overstromingen.

6.2 Resultaten

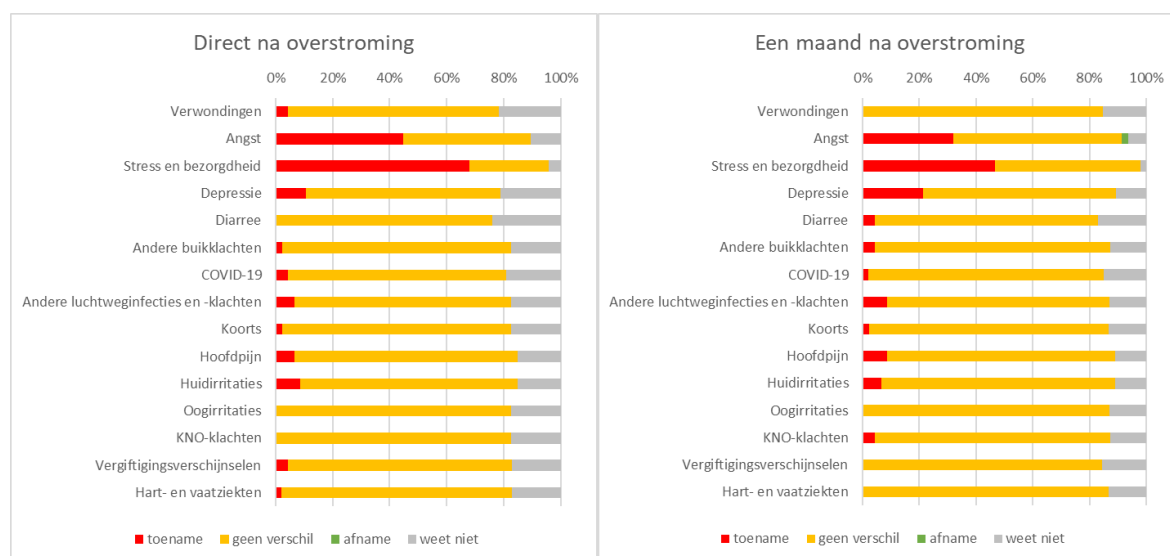
6.2.1 Gezondheidseffecten algemeen

Op 30 augustus was de online vragenlijst door 48 mensen ingevuld: 32 huisartsen, 5 medewerkers van een huisartsenpraktijk, 6 bedrijfsartsen, en 5 medewerkers van een GGD. De respondenten waren afkomstig uit zuidelijk (30), midden (6) en noordelijk (10) Limburg. Ongeveer een derde van hen (18) had zelf in meer of mindere mate last ondervonden van de overstroming, drie respondenten zijn zelf geëvacueerd. Volgens een grove schatting¹⁶, zou de vragenlijst hiermee theoretisch iets zeggen over ruim 77 000 mensen.

Als belangrijkste gezondheidseffecten werden voornamelijk psychosociale klachten genoemd (32 keer), variërend van stress en verdriet tot klachten lijkend op PTSS. Daarnaast werden maag/darmklachten en -infecties (4 keer genoemd), luchtweginfecties (3) waaronder een geval van overlijden na longontsteking, en infecties van de huid en slecht genezende wonden (2). Sommigen maakten zich zorgen over vervuiling in de omgeving (3), zoals de waterkwaliteit en mogelijke vervuiling in huizen. Ook secundaire klachten werden

16 Vanaf 2028 geldt de rijksnorm van 2095 patiënten per praktijk (volgens landelijke Huisartsenvereniging op www.Lhv.nl). We gaan ervan uit dat de 32 huisartsen en 5 medewerkers in verschillende praktijken werkzaam waren.

genoemd zoals gewrichtsproblemen en spierpijn door veel sjouwen, toename van insecten en verminderde toegang tot gezondheidszorg, waaronder thuiszorg. Figuur 6.1 laat zien bij welke gezondheidsklachten een toename (of afname) gezien werd direct na de overstroming en een maand later. Daarbij springen de psychische klachten eruit: twee derde (68%) van de respondenten rapporteerden een toename van stress en bezorgdheid bij patiënten direct na de overstroming, en 45% angst. Deze percentages waren gedaald tot respectievelijk 47% en 32% een maand later, nog steeds vrij hoog. Depressie werd juist vaker gerapporteerd: 11% van de respondenten zag een toename direct na de overstroming maar een maand later lag dat percentage op 21% (Figuur 6.1).



Figuur 6.1: Resultaten vragenlijst (30/08/21, n=47): toename van gezondheidsklachten na de overstroming.

De meeste respondenten (16) verwachtten in de toekomst niet meer gezondheidseffecten, 13 lieten zich er niet over uit of wisten het niet. Van de 11 die wel vervolgklachten verwachtten, noemden sommigen (8) psychosociale klachten als angst, depressie, burn-out en PTSS bij mensen die getroffen zijn: “Herbelevingen angstige momenten maar ook regelmatig doordat mensen objecten hebben verloren die niet te vervangen zijn (bijv. foto’s).” Dit kan vooral toeslaan wanneer “de overlevingsmodus weer uitgeschakeld wordt”, en zal sterker kunnen zijn naarmate overstromingen vaker voorkomen. Nieuwe stress kan ook ontstaan door afwikkeling van schade- en herstelprocessen. Anderen wezen op de risico’s van infecties als legionella. Het was de meeste ondervraagden niet duidelijk of gezondheidseffecten van overstromingen in Nederland systematisch worden bijgehouden en zo ja, waar (HP-zone en ‘in het dossier’ werden genoemd).

Twee-derde van de respondenten (33 van 48) zagen geen arbeidsverzuim als gevolg van gezondheidsklachten gerelateerd aan de overstroming. Degenen die dat wel zagen, noemden vooral (15 keer) angst, stress, bezorgdheid en depressie als voornaamste klachten. Dit kan leiden tot slecht slapen en moeheid. Daarnaast waren verwondingen en COVID-19 redenen voor verzuim, evenals overbelaste spieren en gewrichten. Enkelen noemden ook verzuim om praktische redenen (dan meestal calamiteitenverlof), zoals evacuatie, opruimen en herstelwerkzaamheden, anderen helpen (inclusief mantelzorg), veel moeten regelen of “thuis gebleven omdat je een huis vol water niet kunt achterlaten”. De respondenten hadden meestal geen idee hoe lang de mate hiervan is. Dit wordt bemoeilijkt doordat sommige mensen zich gedeeltelijk ziek melden. Daarnaast kunnen mensen minder productief zijn tijdens hun werkuren.

Als specifieke kwetsbare groepen voor gezondheidseffecten werden ouderen en kinderen genoemd. Bij de ouderen kan de herinnering aan een eerdere watersnood voor extra stress zorgen, maar ook is soms het sociale netwerk verdwenen doordat kinderen niet meer in de streek wonen en dus geen opvang kunnen bieden. De respondenten zagen een duidelijk verband tussen de mate waarin mensen getroffen waren en het voorkomen en de ernst van de klachten. Daarnaast zagen ze dat degenen met “minder mogelijkheden”, bijvoorbeeld door weinig financiële ruimte en het ontbreken van een sociaal vangnet, meer last hadden van de overstroming. Ook werd vermeld dat langdurige onzekerheid door COVID-19 tot een verminderde psychische belastbaarheid heeft geleid. Voor hen en voor mensen het daarvoor net konden redden was “De onverwachte levensbedreiging en de beschadiging van huis en haard en woonomgeving ... de (letterlijke) druppel die de klachten veroorzaakt.” Enkele respondenten maakten zich zorgen dat kwetsbare groepen relatief hard getroffen zijn door de overstromingen, waardoor ze nog kwetsbaarder en onzekerder geworden zijn. Dit vergroot ongelijkheid.

Tot slot werden verschillende suggesties gedaan, zoals betere en snellere informatie voor de getroffen en maar ook de medici (bijvoorbeeld over wondbehandeling); snelle begeleiding, duidelijkheid en afhandeling van de schade; aandacht en flexibiliteit van de kant van de werkgevers; tegemoetkoming ten aanzien van materiële schade; huis aan huis hulpvraag bij ouderen; maatwerk in oplossingen; coaching voor kwetsbare mensen.

6.2.2 Waterkwaliteit en drinkwatervoorziening

Evides, Dunea en Waterleiding Maatschappij Limburg (WML) nemen oppervlaktewater in uit de Maas voor de bereiding van drinkwater. Van deze waterbedrijven heeft Dunea het minste last gehad van de gevolgen van het hoogwater op de Maas en WML het meest.

Dunea neemt water in uit de Afgedamde Maas, een zijtak van de Maas. Waterschap Rivierenland heeft in de hoogwater periode de Afgedamde Maas als opslag gebruikt om de hoogwatergolf af te vlakken. In de periode net vóór de hoogwatergolf is de Afgedamde Maas gevuld met relatief schoon water. Het water stond op het

hoogtepunt tot 2,5 m hoger dan gewoonlijk in de Afgedamde Maas. Het kritische punt van 3,5 m+NAP werd op 20 cm na niet bereikt, zodat de keersluis bij Heusden niet gesloten behoefde te worden. De troebelheid en de waterkwaliteit zijn continu gemonitord maar hebben geen reden tot een inname stop gegeven. Het water in de Afgedamde Maas is weer teruggestroomd in de Maas toen het debiet in de Maas weer afnam. Dankzij deze ingreep heeft het water van mindere kwaliteit het innamepunt van Dunea niet bereikt, en waren er op deze locatie geen gevolgen voor de drinkwaterproductie.

Evides heeft uit voorzorg een innamestop ingelast van 16 juli tot 28 juli bij hun innamepunt Bergsche Maas en van 20 juli tot 28 juli voor hun innamepunt Haringvliet (hier wordt water uit de Maas en de Rijn ingenomen). Vooral de grote hoeveelheden gesuspendeerde stoffen waren problematisch, en zouden tot overschrijding van de wettelijke normen (Infiltratie besluit) en mogelijk tot problemen met de zuivering hebben geleid. Op onderstaande foto is duidelijk te zien hoe het slib het water in de Oude Maas en het Spui bruin kleurt, terwijl het spaarbekken Berenplaat mooi blauw blijft (Figuur 6.2).

Naast het slib was het onduidelijk welke andere mogelijke vervuiling het hoogwater met zich mee zou brengen, bijvoorbeeld bestrijdingsmiddelen door afspoeling en erosie van landbouwpercelen en microbiologische verontreinigen door riooloverstorten. Om inzicht te krijgen in de effecten is op 20 juli een uitgebreide meetcampagne uitgevoerd op locatie Bergsche Maas waarbij is gekeken naar chemische verontreinigen, microbiologie, en troebelheid. Uit de meetcampagne blijkt dat zoals verwacht de concentraties van veel chemische stoffen heel laag zijn door verdunning. Dit geldt voor veel geneesmiddelen, zoetstoffen, complexvormers, benzotriazolen en -thiazolen; veelal stoffen die in het oppervlaktewater terecht komen via de RWZI's. Interessante uitzonderingen waren stoffen zoals cafeïne, cotinine, melamine (waarschijnlijk afkomstig van RWZI's) en veel bestrijdingsmiddelen (landbouw). Deze waren in 'gewone' concentraties aanwezig, dit duidt op zeer hoge hoeveelheden van deze stoffen, wat leidt tot de aanname dat er 'extra' hoeveelheden van deze stoffen vrij zijn gekomen tijdens het hoogwater. Voor enkele stoffen zoals cyanuurzuur en de metalen chroom en lood waren de concentraties hoger dan gewoonlijk (bron onbekend), wat betekent dat grote hoeveelheden van deze stoffen aanwezig waren in de Maas tijdens het hoogwater.



Figuur 6.2: De spaarbekken Berenplaat (Evides) op 21 juli 2021. Fotograaf: Lianne Dijkhuizen.

Dit is opmerkelijk omdat we ook voor deze stoffen een verdunning van de concentraties hadden verwacht. Als het gaat om de afvoer van de Maas dan is voor Evides het voornaamste meetpunt bij Megen, op het meest relevante moment, was de data van deze afvoer niet beschikbaar, waardoor Evides slecht bij benadering hoeveelheden van stoffen kan berekenen.

Voor Evides is er door het hoogwater geen capaciteitsproblemen geweest. Evides heeft de afgelopen jaar geïnvesteerd in de mogelijkheden om langdurig de inname van de Biesbosch te kunnen staken en weer snel op te kunnen vullen. Vanuit een normale situatie kunnen Evides als het moet (meer dan) twee maanden de inname onderbreken. Voor het Haringvliet is dit anders en moet er op basis van behoud van natuurwaarden in het duingebied van Ouddorp, altijd vrij snel (na circa twee weken) worden overgeschakeld naar reserves en aangepaste bedrijfsvoering.

WML heeft voorafgaand aan het hoogwater de inname gestopt van Maaswater bij de locatie Heel, de inname is na ongeveer twee/drie weken weer gestart. Daarnaast heeft WML de locatie Roosteren gelegen nabij de Maas, geheel uit bedrijf genomen. Deze winning bestaat uit een diepe onttrekking en een ondiepe onttrekking (oevergrondwaterwinning).

Het innamepompstation in Heel is door de Maas overstroomd gedurende het hoogwater. Daardoor is de inname tijdelijk buiten bedrijf geweest. Na de overstroming was het noodzakelijk om de elektra te vervangen. Ook het winveld, het pompgebouw, en de reinwaterkelders van Roosteren zijn uiteindelijk overstroomd met

Maaswater. Bij het weer in gebruik nemen van de locatie is uit analyses van watermonsters gebleken dat in niet alleen het pompgebouw en de reinwaterkelders maar ook de transportleiding van Roosteren naar de Susteren besmet waren met o.a. fecale microbiologie afkomstig van het Maaswater. Later blijken ook de ondiepe putten waaronder de radiaalput besmet te zijn met fecale microbiologie. De radiaalput in Roosteren is, ondanks dat deze is gebouwd op een terp, door kwelwater geïnundeerd. Vervolgens is direct gestart (zodra dit mogelijk was) met het schoon spuien van de infrastructuur met reinwater. De drinkwaterproductie kan pas hervat worden als het volledige systeem bacteriologisch veilig is. Met spuien en reinigen alleen is de bacteriologische besmetting niet volledig verwijderd. Om die reden is het systeem ook gedesinfecteerd met chloor waarna opnieuw is gespuid. Die operatie is nog in volle gang. Roosteren is op 26 augustus nog niet in bedrijf. Er wordt voldaan aan de leveringshoeveelheid volgens het Leveringsplan, het noodscenario bij uitval. Mogelijk kan de diepe winning en de leiding binnenkort weer in gebruik worden genomen. Het spuien van de diverse infra en putten vindt al gedurende 4 à 5 weken plaats. De ondiepe winning wordt momenteel gespuid en kan nog niet worden ingezet. Hier zal eerst het waterwinpakket moeten worden doorgespoeld met grondwater.

De Eyserbeek stroomt door het puttenveld van de winning Roodborn. Deze Eyserbeek is tijdens het hoogwater buiten haar oevers getreden en daardoor is een deel van het winveld overstroomt. Er zijn nu (d.d. 26-8) nog steeds 3 pompputten niet in gebruik omdat deze bacteriologisch zijn besmet. Door veelvuldig te spuien wordt getracht deze besmetting te verwijderen.

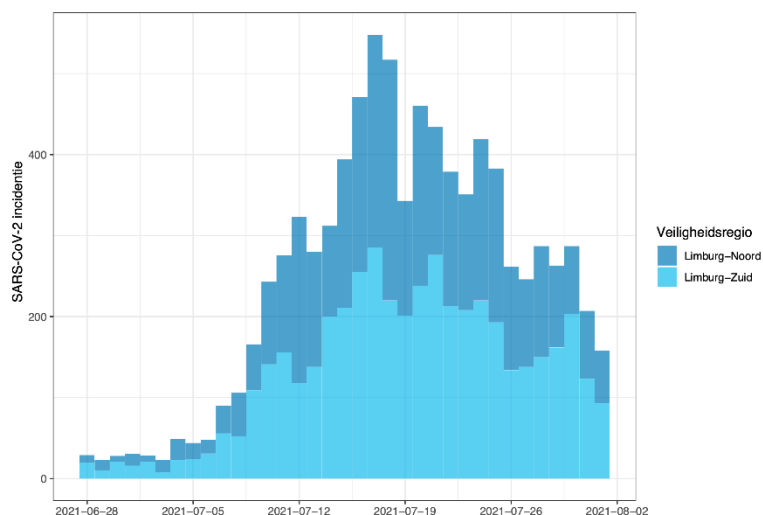
Belangrijk is ook dat door het wegvallen van de locatie Roosteren (circa 8% van de totale productie van WML) de drinkwaterlevering goed gemonitord moet worden. De winning in alle andere winningen van WML is opgevoerd. Het gegeven dat we momenteel een redelijk koele zomer hebben met lage temperaturen en daardoor een veel geringere drinkwatervraag dan de laatste warme droge zomers en er voldoende ruimte is in de andere winningen van WML is er geen probleem ontstaan voor de drinkwaterlevering. Mogelijk was er bij een warme zomer een capaciteitsprobleem ontstaan.

6.2.3 COVID-19

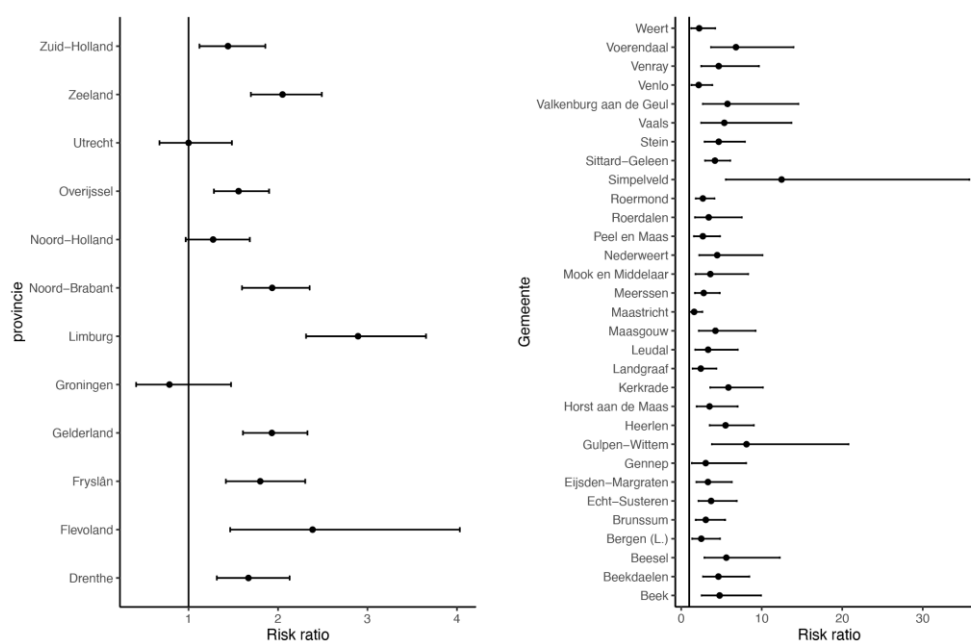
De wateroverlast en evacuaties in Limburg vielen samen met de vierde golf van de coronavirus pandemie in Nederland. Deze vierde golf werd veroorzaakt door het openstellen van nachtclubs en festivals en trof voornamelijk ongevaccineerde jongeren. Mogelijk hebben de overstromingen en evacuaties een versterkend effect gehad op transmissie van SARS-CoV-2 in Limburg. Mensen hebben zich mogelijk niet aan de coronavirus maatregelen kunnen houden en hebben daardoor een verhoogd risico gelopen om besmet te worden. Voorbeelden hiervan zijn het groepsgewijs vullen van zandzakken of het tijdelijk intrekken bij familie of vrienden vanuit geëvacueerde wijken.

In de provincie Limburg is een duidelijke stijging te zien in het aantal gedetecteerde nieuwe SARS-CoV-2 gevallen per dag tussen 28-6-2021 en 1-8-2021 (Figuur 6.3). De COVID-19 risk ratio is berekend per provincie en per gemeente twee weken voor en twee weken na 15-7-2021 om te onderzoeken of het aantal coronavirus gevallen in Limburg extra is verhoogd (Figuur 6.4). Limburg heeft de hoogste COVID-19 risk ratio vergeleken met de andere provincies in Nederland, maar geen significant hogere risk ratio vergeleken met de naastgelegen provincies Noord-Brabant en Gelderland.

In alle gemeentes van Limburg is de COVID-19 risk ratio hoger dan 1, dus in alle gemeentes is de coronavirus incidentie na de overstromingen verhoogd ten opzichte van voor de overstromingen, in lijn met de landelijke trend van de vierde golf. De top 5 gemeentes met hoogste COVID-19 risk ratio zijn de gemeentes Simpelveld, Gulpen-Wittem, Voerendaal, Kerkrade, en Valkenburg aan de Geul. Van deze gemeentes hebben Gulpen-Wittem en Valkenburg aan de Geul te maken gehad met evacuaties. De top 5 gemeentes met de laagste risk ratio zijn Maastricht, Venlo, Weert, Landgraaf, en Bergen (in Maastricht en Venlo zijn gebieden geëvacueerd). Het beeld is dus niet eenduidig en de betrouwbaarheidsintervallen van de risk ratio's zijn vrij breed



Figuur 6.3: Aantal gedetecteerde SARS-CoV-2 gevallen per dag van 28-6-2021 t/m 1-8-2021 in Noord- en Zuid-Limburg.



Figuur 6.4: COVID-19 risk ratio (rondjes) per provincie en gemeente in Limburg en 95% betrouwbaarheidsintervallen (streepjes).

6.3 Slotopmerkingen

De belangrijkste door gezondheidsmedewerkers gerapporteerde gezondheidsklachten gerelateerd aan de overstromingen bij patiënten zijn psychische klachten zoals stress, bezorgdheid en angst. Daarnaast werden klachten gerapporteerd van gastro-enteritis, respiratoire klachten, en infecties van de huid. Kinderen en ouderen werden benoemd als risicogroepen en de belangrijkste oorzaken van arbeidsverzuim waren psychische klachten.

De overstromingen in Limburg hebben een negatief effect gehad op de waterkwaliteit van de Maas en de water inname voor de drinkwatervoorziening is op de betreffende punten uit voorzorg tijdelijk gestopt. Meerderde locaties van WML¹⁷ zijn overstroomd door Maaswater, en extra maatregelen moesten genomen worden om de gezondheidsrisico's te minimaliseren. Dit heeft gevolgen gehad voor de beschikbare drinkwatercapaciteit. Door de milde zomer en daardoor lagere vraag naar drinkwater heeft dit echter niet tot

¹⁷ Bewoners geven aan dat WML in Geulle langs de Andreas Sauerlaan en Westbroek een grondwaterwingebied heeft en dat dit is overstroomd en vervuld met slib.

capaciteitsproblemen geleid. Er is onvoldoende informatie over blootstelling aan verontreinigd water of slib dat in overstroomde gebouwen en straten is achtergebleven en eventuele gezondheidseffecten hiervan. Metingen tonen aan dat er, ondanks verdunning, toch hogere concentraties van enkele chemische stoffen in de Maas gevonden zijn.

De provincie Limburg heeft de hoogste COVID-19 risk ratio van de provincies in Nederland, en dat betekent dat Limburg de grootste toename heeft gehad in het aantal nieuwe coronavirus gevallen na de wateroverlast. Het overstroomde Valkenburg aan de Geul heeft een risk ratio van ruim vijf (en zit in de top 5 van Limburg), en dat suggereert dat de wateroverlast hier mogelijk (deels) heeft bijgedragen aan de coronavirus verspreiding. Echter, de risk ratio van Limburg is niet significant hoger dan de omliggende provincies en in andere geëvacueerde gebieden zoals bijvoorbeeld in Venlo, Roermond, of Maastricht was dit effect niet zichtbaar. Bovendien zijn de betrouwbaarheidsintervallen breed zodat er weinig statistisch significante uitspraken zijn te doen. De overstromingen in Limburg hebben dus mogelijk (deels) bijgedragen aan de coronavirus verspreiding, maar deze effecten zijn mogelijk alleen lokaal of beperkt opgetreden, en zijn niet aantoonbaar gebleken met de huidige dataset. Evacuatie van zorginstellingen en een ziekenhuis (zie hoofdstuk Evacuatie) hebben een negatieve impact gehad op de zorgcapaciteit. Door grootschalige vaccinatie met prioritering van risicogroepen is de belasting van de ziekenhuizen tijdens de vierde coronavirus golf in Nederland en mogelijk ook de coronavirus verspreiding door de gevolgen van de wateroverlast beperkt gebleven. Een dergelijke 'ramp' had dus op een ander moment wel degelijk tot problemen met de zorgcapaciteit kunnen leiden.

Aanbevelingen voor nader onderzoek

In dit onderzoek zijn de gezondheidseffecten tot een maand na de wateroverlast meegenomen. Het onderzoek naar lange termijn gezondheidsklachten kan worden uitgevoerd door bedrijfsartsen gericht aan te schrijven, met name begin september en half januari 2022. Ook kan een nieuwe herinnering gestuurd worden aan de huisartsen. Met meer respondenten kan diepere en statistisch verantwoorde analyse gedaan worden en kan dan bijvoorbeeld onderscheid gemaakt worden naar regio. Dit kan worden aangevuld met systematisch verzamelde informatie over arbeidsverzuim, bijvoorbeeld van grote arbodiensten. Vervolgens kan deze informatie gekoppeld worden aan waterkwaliteitsdata en informatie over evacuaties.

Voor het kunnen inschatten van mogelijke gezondheidsrisico's van vervuild water en slib, is het nodig om chemische en microbiologische analyses te doen van slib en eventueel bezinksel dat in overstroomde gebouwen en straten is achtergebleven. Hiermee kan een berekening van blootstelling gedaan worden en kunnen eventuele huid- en ademhalingsklachten verder geduid worden. Verder is het mogelijk zinvol om uit te zoeken wat de herkomst is van specifieke stoffen (zoals chroom en lood, die in hogere concentraties in het Maaswater gevonden zijn), zodat maatregelen getroffen kunnen worden om te voorkomen dat deze stoffen bij hoogwater in de rivier en overstroomde gebieden terechtkomen.

Het aantal uitgevoerde SARS-CoV-2 testen is niet meegenomen in de risk ratio analyse van coronavirus omdat deze dataset niet beschikbaar was op moment van schrijven. Het is aannemelijk dat mensen zich minder hebben laten testen in de periode na de overstromingen en dit heeft mogelijk een negatief effect gehad op de SARS-CoV-2 detectie. In vervolgonderzoek kan deze data mogelijk wel worden meegenomen in de analyse. Op landelijk niveau trof de 4^e golf van de coronavirus pandemie voornamelijk jongeren. Wij hadden alleen toegang tot geaggregeerde data voor deze analyse en konden daarom leeftijd niet meenemen in de analyse. Vervolgonderzoek kan leeftijd en andere demografische informatie mogelijk wel meenemen.

6.4 Referenties

- Alderman, K., Turner, L. R., & Tong, S. (2012). Floods and human health: A systematic review. *Environment International*, 47, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.06.003>
- Barbeau, D. N., Grimsley, L. F., White, L. E., El-Dahr, J. M., & Lichtveld, M. (2010). Mold Exposure and Health Effects Following Hurricanes Katrina and Rita. *Annual Review of Public Health*, 31(1), 165–178. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.012809.103643>
- Bei, B., Bryant, C., Gilson, K. M., Koh, J., Gibson, P., Komiti, A., Jackson, H., & Judd, F. (2013). A prospective study of the impact of floods on the mental and physical health of older adults. *Aging and Mental Health*, 17(8), 992–1002. <https://doi.org/10.1080/13607863.2013.799119>
- Brown, L., & Murray, V. (2013). Examining the relationship between infectious diseases and flooding in Europe. *Disaster Health*, 1(2), 117–127. <https://doi.org/10.4161/dish.25216>
- Chung, M. C., Jalal, S., & Khan, N. U. (2017). Posttraumatic stress symptoms, co-morbid psychiatric symptoms and distorted cognitions among flood victims of different ages. *Journal of Mental Health*, 26(3), 204–211. <https://doi.org/10.3109/09638237.2016.1149803>
- De Man, H., Mughini Gras, L., Schimmer, B., Friesema, I. H. M., De Roda Husman, A. M., & Van Pelt, W. (2016). Gastrointestinal, influenza-like illness and dermatological complaints following exposure to floodwater: A cross-sectional survey in the Netherlands. *Epidemiology and Infection*, 144(7), 1445–1454. <https://doi.org/10.1017/S0950268815002654>
- ECDC. (2021). Rapid Risk Assessment: Extreme rainfalls and catastrophic floods in western Europe.

- Fernandez, A., Black, J., Jones, M., Wilson, L., Salvador-Carulla, L., Astell-Burt, T., & Black, D. (2015). Flooding and mental health: A systematic mapping review. In PLoS ONE (Vol. 10, Issue 4). Public Library of Science. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119929>
- Messner, F., & Meyer, V. (2006). Flood damage, vulnerability and risk perception - challenges for flood damage research. In Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures (pp. 149–167). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4598-1_13
- Mulder, A. C., Pijnacker, R., De Man, H., Van De Kasstelee, J., Van Pelt, W., Mughini-Gras, L., & Franz, E. (2019). "sickenin" in the rain" - Increased risk of gastrointestinal and respiratory infections after urban pluvial flooding in a population-based cross-sectional study in the Netherlands." BMC Infectious Diseases, 19(1), 377. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-3984-5>
- Munro, A., Kovats, R. S., Rubin, G. J., Waite, T. D., Bone, A., Armstrong, B., Waite, T. D., Beck, C. R., Bone, A., Amlôt, R., Kovats, R. S., Armstrong, B., Leonardi, G., Rubin, G. J., & Oliver, I. (2017). Effect of evacuation and displacement on the association between flooding and mental health outcomes: a cross-sectional analysis of UK survey data. The Lancet Planetary Health, 1(4), e134–e141. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30047-5](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30047-5)
- Stanke, C., Murray, V., Amlôt, R., Nurse, J., & Williams, R. (2012). The effects of flooding on mental health: Outcomes and recommendations from a review of the literature. PLoS Currents, 4, e4f9f1fa9c3cae. <https://doi.org/10.1371/4f9f1fa9c3cae>
- Suk, J. E., Vaughan, E. C., Cook, R. G., & Semenza, J. C. (2020). Natural disasters and infectious disease in Europe: a literature review to identify cascading risk pathways. European Journal of Public Health, 30(5), 928–935. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckz111>
- Tong, S. (2017). Flooding-related displacement and mental health. The Lancet Planetary Health, 1(4), e124–e125. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30062-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30062-1)



7 Evacuatie en noodmaatregelen

Vanuit crisisbeheersing kan naar diverse onderdelen worden gekeken. De focus in dit hoofdstuk ligt op het resultaat van de evacuatie, noodmaatregelen en de relevante besluitvorming in Limburg. De evacuatie en de uitvoering van de noodmaatregelen zijn immers het resultaat van de doorlopen crisisbeheersingsprocessen. Dit hoofdstuk is tot stand gekomen op basis van een inkijk in situatierapporten uit de gebruikte LCMS-omgeving van het waterschap, openbare verslagen op liveblogs, social media en gesprekken met experts van waterschap Limburg.

7.1 Inleiding

In grote lijnen is de crisis van zuid naar noord door Limburg getrokken. De crisis is begonnen met extreme neerslagverwachtingen en hoogwater op de Limburgse beken, gevolgd door hoogwater op de Maas door extreme neerslag in het stroomgebied van de Maas.

Met name voor de beken waren de rampenplannen niet gebaseerd op dermate extreme gebeurtenissen als hebben plaatsgevonden waardoor gebieden als Valkenburg niet zijn geëvacueerd voor het hoogwater en velen werden verrast. De schatting was dat ongeveer 1000 mensen aanwezig waren in het overstroomde gebied.

Door het KNMI zijn er ook weerwaarschuwingen afgegeven over de verwachte neerslag met mogelijke neerslagvolumes. Achteraf bleek dat verwachtte neerslag een dag voorafgaand aan de wateroverlast een behoorlijke goede schatting was. De real time waarnemingen van de neerslagradar (het Internationale Radar Composiet) gaven in Limburg een sterke onderschatting van de werkelijk gevallen neerslag. Voor de beken (als de Roer en de Geul) is in de loop van de dag op 14 juli gecommuniceerd dat er extreem veel neerslag werd verwacht en dat dit gevaarlijk kon zijn. Er zijn geen berichten met informatie over (lokale) waterstanden, contouren van bedreigde gebieden en mogelijke overstromingsdieptes gevonden. In berichten aan de inwoners, via bijvoorbeeld social media, zijn mensen door de veiligheidsregio verwezen naar de website <https://www.wachtnietopwater.nl/>. Hierop zijn maatregelen te vinden om schade te verminderen en wordt aangegeven om anderen te helpen, maar ook wordt geadviseerd om de auto niet te gebruiken omdat rijden bij wateroverlast gevaarlijk kan zijn. Op 14 juli, iets na vijf uur in de middag en om half elf in de avond, is door veiligheidsregio Limburg Zuid een waarschuwing afgegeven dat de situatie rondom beken gevaarlijk kan zijn en zijn mensen opgeroepen om binnen te blijven (zie Figuur 7.1).



Figuur 7.1: Waarschuwing en advies voor gedrag op 14 juli 22:30

Voor de beken was de terugkeertijd van de gebeurtenis vele malen extremer dan de terugkeertijd waarop het watersysteem is ontworpen (eens in de 25 jaar zoals beschreven in eerdere hoofdstukken) en voor de range waarin concrete maatregelen zijn opgenomen in rampenplannen. Een voorbeeld van een dergelijke maatregel is het evacueren van campings wat ook is gedaan. Voor nog extremere waterstanden op de beken waren geen concrete maatregelen benoemd al was de reguliere crisisorganisatie wel opgeschaald. Voor het hoogwater op de Maas was de terugkeertijd van de waterstanden rondom (bovenstrooms) de normen voor waterkeringen of lager (meer noordelijk). De situatie op de Maas was dus veel makkelijker voorstelbaar en afgedekt in rampenplannen. Desondanks was wel sprake van een serieuze kans op dijkdoorbraken en dus overstromingen.

De verwachtingen over waterstanden en afvoeren op de Maas veranderde nog sterk. Deze verwachtingen worden opgesteld door Rijkswaterstaat in het Water Management Centrum Nederland. De verwachte piekafvoer op de Maas bij St Pieter voorzien in de avond of nacht van 15 op 16 juli was op (waterberichtgeving 2021):

- 14 juli 20:00 uur tussen de 1900-2900 m³/s met een piekwaterstand tussen NAP + 45.65m en NAP 47.40m volgens Hoogwaterbericht Maas 2;
- 15 juli 08:00 uur tussen de 2700-3200 m³/s met een piekwaterstand tussen NAP + 47.15m en NAP 47.80m volgens Hoogwaterbericht Maas 3;
- 15 juli 14:00 uur tussen de 3300-3700 m³/s met een piekwaterstand tussen NAP + 48.00m en NAP 48.5 m volgens Hoogwaterbericht Maas 4;
- 15 juli 20:00 uur tussen de 3300-3600 m³/s met een piekwaterstand tussen NAP + 48.00m en NAP 48.40m volgens Hoogwaterbericht Maas 5;

- 16 juli 08:00 uur was de piekafvoer voor. De actuele afvoer was 3050 m³/s volgens hoogwaterbericht Maas 6, de waterstand NAP + 47.95m.

De piekafvoer van 3260 m³/s was opgetreden op 15 juli 23:00, de maximale waterstand was NAP + 48.10m.

Op basis van de hoogwaterberichten is besloten tot tal van beschermingsmaatregelen en evacuatie. De demontabele keringen (die zijn voorbereid) zijn sneller opgebouwd dan voorzien. Ook zijn er op basis van analyses noodmaatregelen bepaald vanwege een tekort aan hoogte en sterkte van deze keringen. Deze noodmaatregelen zijn uitgevoerd door het waterschap. Tijdens de hele hoogwatergebeurtenis is ook de zelfredzaamheid en eigen initiatief erg gestimuleerd. Dat betekent dat mensen veelal zelf evacueerden en hun eigen opvang regelden op basis van aangereikte informatie en waarschuwingen. Daarnaast hebben ze bijgedragen aan het plaatsten van zandzakken op tal van plaatsen.

In totaal zijn er in Limburg vanwege het hoogwater op de beken en de Maas ongeveer 50.000 mensen geëvacueerd. Op diverse plaatsen is noodopvang ter beschikking gesteld zoals sporthallen. Hier is echter zeer beperkt gebruik van gemaakt. De meeste mensen hebben zelf onderdak gevonden. De ruim 400 patiënten uit het ziekenhuis van Venlo en andere zorginstellingen zijn wel vrijwel allemaal verspreid over andere instellingen, enkele zijn naar huis gestuurd als de medische situatie dat toe liet.

In de onderstaande hoofdstukken is rondom evacuatie, noodmaatregelen en de bijbehorende besluitvorming een verslag gedaan van de gebeurtenissen. Een overzicht van sociale media die hiervoor is gebruikt is opgenomen in onderstaand overzicht:

- <https://twitter.com/VRZuidLimburg>
- https://twitter.com/vr_in
- <https://vrln.foleon.com/vrln/vrln-verantwoordingsverslag-hoogwatercrisis-2021/tijldlijn/>
- https://www.vrzi.nl/calamiteiten/code-oranje-vanwege-zware-regenval?calamity=1&ccm_paging_p=1&ccm_order_by=&ccm_order_by_direction=
- <https://www.gemeentestein.nl/nieuws/2021/07/16/live-blog-over-hoog-water>
- <https://www.viecuri.nl/nieuws/2021/juli/liveblog-maatregelen-oplopende-waterstand-maas/>
- <https://nos.nl/collectie/13869/liveblog/2389373-dringend-advies-maastricht-aan-10-000-mensen-ga-je-huis-uit-dodental-duitsland-boven-55>
- <https://nos.nl/liveblog/2389253-hospice-en-verpleeghuizen-valkenburg-ontruimd-limburg-kan-even-ademhalen>
- <https://l1.nl/hoogwater/>
- <https://www.1limburg.nl/teruglezen-spannende-uurtjes-well-bewaking-dijken>
- <https://www.1limburg.nl/teruglezen-de-regen-gestopt-maar-de-maas-stijgt>
- <https://www.waterschaplimburg.nl/@6426/liveblog-watersnood/>

- Liveblog hoogwater diverse gemeentes (sommigen zijn offline gehaald ten tijde van publicatie van voorliggende rapportage).
- <https://www.youtube.com/watch?v=gBkmqHiS8rw>

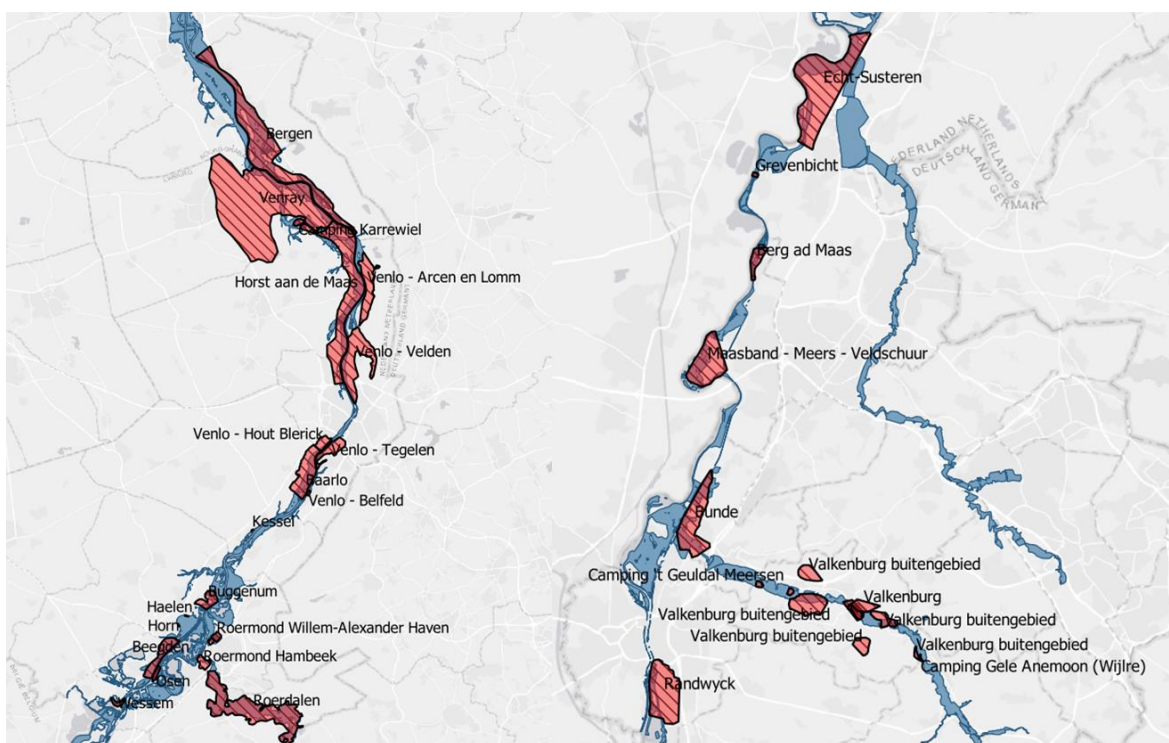
Indien gerefereerd is naar exacte aantallen mensen is dat expliciet aangegeven in de tekst.

7.2 Het verloop van de evacuatie

Verschillende vormen van evacuatie zijn zichtbaar geweest tijdens de gehele gebeurtenis, allen geïnitieerd op basis van gevaarinschattingen en gebaseerd op hoogwaterverwachtingen.

Rondom de Maas zijn gebieden preventief geëvacueerd met als doel dat er geen mensen aanwezig waren op het moment van overlopen of doorbreken van waterkeringen. Aan de oostkant van het Juliakanaal is een gebied met grote delen van Bunde, Brommelen en Westbroek vanwege een acute dreiging eerst geadviseerd om verticaal te evacueren. Er leek te weinig tijd om veilig het gebied te verlaten. Dit advies is echter snel bijgesteld met een oproep om direct alsnog het gebied te verlaten. De beschikbare tijd voor evacueren was hierbij telkens een belangrijke factor om te voorkomen dat mensen onderweg, tijdens de evacuatie, worden blootgesteld aan overstromingswater. Langs de beken zoals in Valkenburg maar ook bij Bunde hebben mensen na de overstroming de woning verlaten. Dat hebben ze gedaan op eigen kracht (vluchten) en enkelen zijn gered door reddingsdiensten. Dat komt overeen met de literatuur die aangeeft dat bij natuurrampen tussen de 60-90% van de mensen zichzelf redt of met hulp van andere getroffen een veilig heenkomen vindt (Dynes, 1994 en Starmans & Oberijé 2006).

In Figuur 7.2 zijn de gebieden opgenomen waar sprake was van een noodverordening.



Figuur 7.2: Gebieden waar noodverordeningen zijn afgegeven voor evacuatie en ramptoeisme (rood). In blauw zijn de contouren van het overstroomd gebied opgenomen. Links: Noord-Limburg en Noord-Brabant. Rechts: Zuid-Limburg.

7.2.1 Tijdlĳn Evacuatie

In het Geuldal zijn op 14 juli overdag gebieden direct rond de Geul (m.n. verschillende campings) geëvacueerd. In Valkenburg en Meerssen zijn verder een aantal zorginstellingen ontruimd. Voor de rest van de bewoners in het Geuldal gold echter dat ze in de nacht van 14 op 15 juli grotendeels overvallen werden door het hoge water, met name door hoe snel het water steeg. De hoogwaterpiek trof met name bewoners in Valkenburg zwaar, maar ook benedenstrooms in Meerssen en langs het Julianakanaal richting Bunde en Geulle. Ongeveer 1000 mensen zijn in Valkenburg blootgesteld aan de overstroming en hebben pas na de overstroming het gebied verlaten. In 2 wijken van Valkenburg is de stroom uitgevallen, 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 vanwege de overstroming 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 de 15e zijn verschillende noodverordeningen afgegeven in getroffen gebieden in het Geuldal.

In tegenstelling tot het Geuldal, heeft men, op basis van de waterstandsverwachtingen, in het Maas- en Roerdal meer preventief kunnen handelen op basis van een inventarisatie van zwakke plekken en bedreigde gebieden. Omdat de waterstandsverwachtingen telkens veranderen maar ook omdat meer en meer inspectieresultaten beschikbaar waren is deze inventarisatie ook vaak bijgesteld. Op basis van deze inventarisatie, en met name die van 15 juli, zijn noodverordeningen afgegeven (voor evacuatie en ramptoerisme) vanaf Eijsden op de grens met België, tot aan Afferden in het noorden van Limburg. Deze verordeningen betroffen soms hele specifieke straten/huizen en soms gehele wijken die mogelijk konden overstromen of ingesloten raken door het water. De wijze waarop opgeroepen werd te evacueren varieerde per gebied, afhankelijk van hoe de kans op wateroverlast ingeschat is. In Venlo besloot ook het ziekenhuis om uit voorzorg te evacueren (net als in 1995).

Nabij Bunde was er angst voor een eventuele acute doorbraak van een dijk langs het Julianakanaal (zie ook het hoofdstuk over de waterkeringen). Voor een gebied met grote delen van Bunde, Brommelen en Westbroek is vanwege deze acute dreiging eerst geadviseerd om verticaal te evacueren (zie ook Figuur 7.3). Er leek te weinig tijd om veilig het gebied te verlaten. Dit advies is echter snel bijgesteld met een oproep om direct alsnog het gebied te verlaten. Niet in alle media zijn deze adviezen overgenomen; sommige spraken nog van verticale evacuatie, andere riepen op om het gebied te verlaten. Hierdoor ontstond enige onduidelijkheid bij mensen in gebied en heeft geleid tot uitingen op sociale media. Daarnaast wordt opgemerkt dat, voorafgaand aan de berichtgeving over de eventuele dijkdoorbraak en het evacuatie-advies, al sprake was van wateroverlast in het gebied door water uit de Geul en lokale regenval. Het gebied was ook een van de laatste gebieden waar mensen weer terug naar hun woning konden (pas op maandag 19 juli).



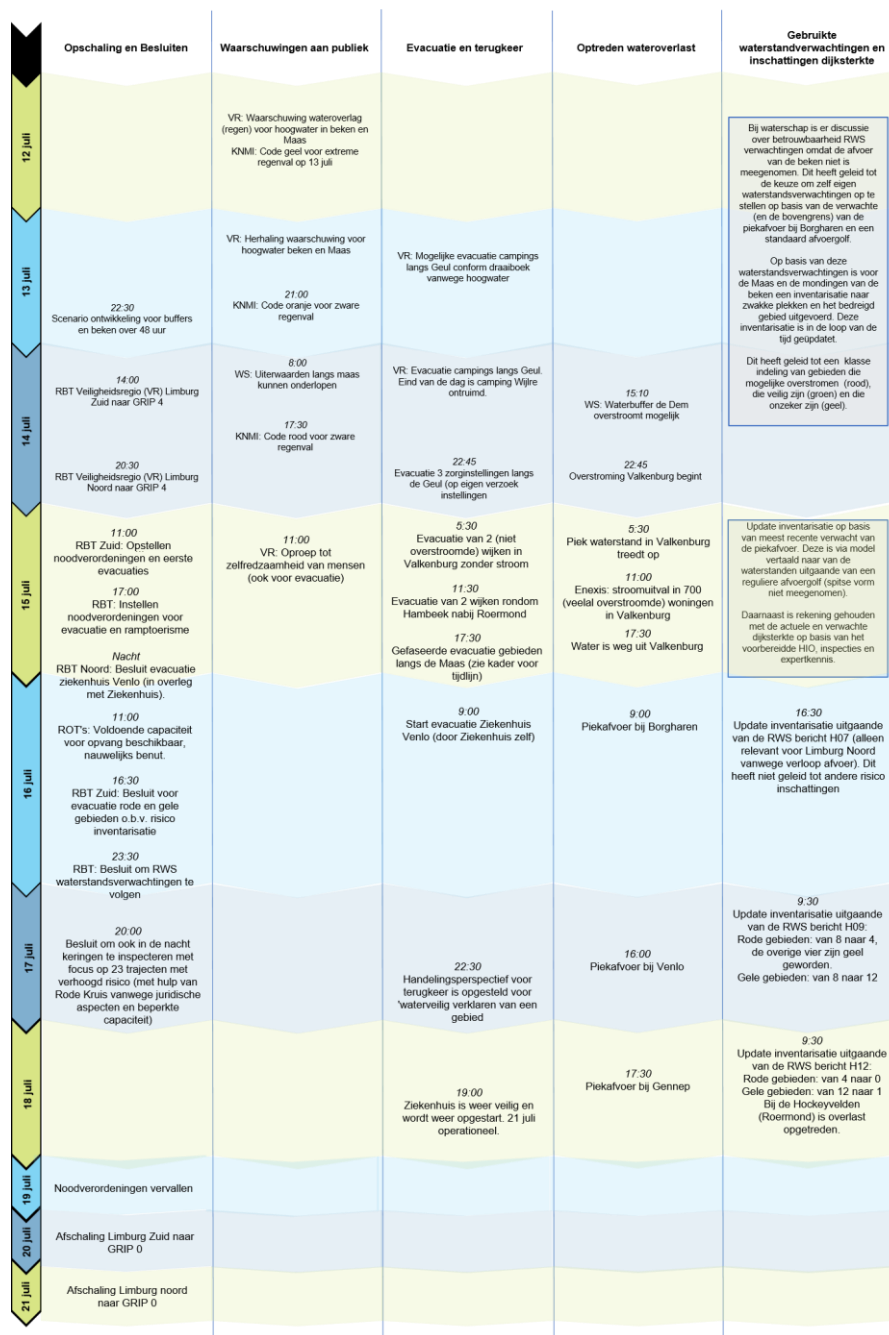
Figuur 7.3: Evacuatiegebied Bunde, Brommelen en Westbroek (Meervandaag, 2021)

In Figuur 7.4 is een overzicht opgenomen van de tijdlijn rondom evacuatie. In deze tijdlijn is onderscheid gemaakt in de opschaling van de crisisorganisaties en de genomen besluiten. De meest bepalende momenten voor evacuatie zijn hierbij opgenomen. In deze tijdlijn is ook opgenomen waar en wanneer de overlast optrad, de (opstartfase) van de waarschuwingen aan de bevolking, de gebruikte informatie voor de inventarisatie naar zwakke plekken en uiteindelijk de daadwerkelijke uitvoer van evacuatie.

In Tabel 7.1 is een detailoverzicht opgenomen met wanneer gebieden zijn geëvacueerd en hoeveel mensen het betrof. Het overzicht is niet compleet en bevat alleen die evacuaties waar de details van bekend zijn. Alhoewel de keuze voor evacuatie van deze gebieden al snel was gemaakt, is niet eerder gestart met deze evacuaties dan nodig.

Tabel 7.1 Overzicht met evacuaties

Moment		Aantal mensen	Advies
14 juli	22:45	193	Preventieve evacuatie zorginstellingen Geerlingshospice, Oosterbeemd, Valkenheim (Sevagram 2021)
15 juli	05:30	3.750	Preventieve evacuatie 2 wijken in Valkenburg zonder stroom
	11:30	750	Preventieve evacuatie noord- en zuidzijde Hambeek (Roermond)
	17:20	1.500	Preventieve evacuatie Maasband vanwege mogelijke insluiting door water (deadline 18:00)
	19:00	10.000	Preventieve evacuatie delen Eijsden-Margraten, Maastricht, Sittard-Geleen, Meerssen en Steijn
	22:00	2.250+	Preventieve evacuatie Bunde (Meersstraat, Weertenstraat, Maastrichterlaan en Kasteel Meerssen) en Geulle-beneden en Westbroek
	23:00	2.500	Preventieve evacuatie 2 wijken bij Echt
	nacht	10.000	Preventieve evacuatie delen van Thorn, Buggenum, Beesel, Roerdalen en Roermond
16 juli	09:00	237	Start Preventieve evacuatie ziekenhuis Venlo (Viecuri 2021)
	10:30	150	Preventieve evacuatie 't Karrewiel in Meerlo (Limburg24 2021)
	14:00	2.250	Advies verticale evacuatie Bunde, Brommelen, Westbroek en Geulle beneden door acuut veiligheidsprobleem (piping Julianakanaal)
		idem	Bijstelling advies verticale evacuatie naar horizontale evacuatie
	14:20	500	Preventieve evacuatie Bergen en Aijen door mogelijke insluiting door water
	15:40	1.500	Preventieve evacuatie Well, Wellerlooi en Heukelom (westzijde N271, Vogelbuurt, Vlamertsehof en wooncentrum Maasduinen State)
	16:00	15.000	Preventieve evacuatie van Arcen, Baarlo, Lomm, Velden, Venlo, Tegelen, Steyl en Belfeld
	18:30	1.000	Aanscherping en herhaling evacuatieadvies Well door hogere waterstanden



Figuur 7.4: Tijdslijn evacuatie

7.2.2 De dreiging: inventarisatie zwakke plekken waterkeringen en bedreigd gebied

Het waterschap is verantwoordelijk voor het adviseren van de veiligheidsregio over de dreiging van het water en voor de uitvoering van beschermingsmaatregelen die de kans op een overstroming verkleinen. De veiligheidsregio is verantwoordelijk voor beslissingen die de openbare orde en veiligheid raken en de informatievoorziening aan de bevolking. Het proces start met verwachtingen over hoogwater. Deze worden opgesteld door zowel het waterschap (voor de beken) als door Rijkswaterstaat in het Water Management Centrum Nederland (WMCN). De verwachtingen van het WMCN betreffen niet alleen de waterstanden langs de Maas maar ook de afvoer bij St Pieter.

Het waterschap heeft conform haar verantwoordelijkheid een inventarisatie gemaakt van zwakke plekken bij waterkeringen en de bedreigde gebieden langs de Maas. De gebieden met een grote kans op overstromingen kregen code rood, die onzeker waren code geel en die veilig geacht waren code groen. Deze inventarisatie is gestart voordat de piekafvoer St Pieter (15 juli 23:00 uur volgens de WNCM Waterberichtgeving (2021)) bereikte en hierna periodiek bijgewerkt. Deze bijwerkingen zijn dagelijks tot 2maal dagelijks gedaan als er nieuwe waterstands- of afvoerverwachtingen beschikbaar waren over de Maas. Bij iedere update is ook steeds meer informatie over keringen en inspecties meegenomen.

In de inventarisatie is informatie over verwachte waterstanden gecombineerd met informatie over dijksterkte. Hiervoor heeft het Waterschap Limburg gebruikt gemaakt van het voorbereide Hoogwater Informatiesysteem Overstromingen (HKV 2021). In dit systeem worden de actuele voorspellingen van de waterstanden op de Maas ontsloten en gekoppeld aan schattingen over de verwachte sterkte van de waterkeringen langs de Maas (voor de faalmechanismen hoogte, piping en macrostabiliteit). Deze informatie is aangevuld met gegevens van inspecties uit het veld en expert kennis van specialisten.

Er was bij aanvang van het hoogwater discussie over de kwaliteit van de door Rijkswaterstaat afgegeven waterstandsverwachtingen. Met name de (extreme) afvoer van de beken (Geul, Roer etc.) was hierin niet goed meegenomen en onderschat. Door de daadwerkelijke extreme afvoeren op de beken zou dat kunnen leiden tot een onderschatting van de waterstand.

Tijdens deze inventarisatie was over de door Rijkswaterstaat afgegeven waterstandsverwachtingen discussie omdat de afvoer van de beken (Geul, Roer etc.) hier niet goed in meegenomen zijn, en dat deze afvoeren zeer extreem waren. Het waterschap heeft ook eigen modelsimulaties gedaan om deze in aanvulling op de prognoses van RWS te gebruiken voor de inventarisatie van zwakke plekken. Hierbij is met Waqua model (versie J18, hierin is de stand van de Maaswerken in Nederland en België tot het jaar 2018 dus meegenomen) een schatting gemaakt van de waterstand bij de verwachte piekafvoer bij Borgharen en bij de bovengrens in de verwachting (van 3.700 m³/s). In deze analyse is rekening gehouden met de afvoer uit de beken en een normaal (gemiddeld) tijdsverloop van de afvoergolf die standaard in hoogwatermodellering gebruikt wordt.

Deze ligt ook ten grondslag aan betrekkinglijnen. Deze afvoergolf is veel breder dan de spitse afvoergolf ten tijde van het zomerhoogwater door de extreme neerslag in korte tijd. De waterstandsverwachtingen zoals afgegeven door Water Management Centrum Nederland weken af van de verwachtingen van het Waterschap. Achteraf, zoals tijdens een evaluatie, kan worden nagaan welke verwachtingen de metingen beter benaderen, op het moment van de inventarisatie was dat echter nog de toekomst.

Naar aanleiding van de ontwikkeling van de waterstands- en afvoerexpectaties voor de Maas is op 15 en 16 juli in de avond besloten om uit te gaan van de bovengrens van de waterstandsverwachtingen. En besloot men uit te gaan van de gegevens van Rijkswaterstaat in plaats van de zelfgemaakte schattingen. Dat betekent dat vanaf 16 juli einde van de inventarisatie is gebaseerd op waterstandsverwachtingen van op de Maas die zijn opgesteld door het WMCN. Ook voor de communicatie over hoogwater is toen afgesproken om deze informatie te volgen.

Na verloop van tijd bleek dat de dreiging afnam, waarbij ook de golfvervlakking vanwege de steile afvoergolf een belangrijk effect had (zie ook het hoofdstuk over de Maas).

7.2.3 Besluitvorming en uitvoering

In dit hoofdstuk gaan we in op de besluitvorming en uitvoering van de evacuatie. Deze uitvoering kan vanuit verschillende perspectieven worden bekeken. In dit hoofdstuk is met name ingegaan op de aanpak die is gevolgd. Om ook een beeld te vormen van hoe het is ervaren zijn in dit hoofdstuk 4 persoonlijke evacuatieverhalen opgenomen. Deze mensen zijn alleen succesvol geëvacueerd waarbij hen is gevraagd te beschrijven wat ze hebben gedaan en ook in te gaan op wat goed ging en minder goed ging. Bij het waterschap zijn ook diverse reacties en steunbetuigingen binnengekomen van inwoners over hun optreden.

De besluitvorming over evacuaties heeft (conform de verantwoordelijkheden) plaatsgevonden bij de veiligheidsregio's. De basis hiervan was de inventarisatie naar zwakke plekken en het bedreigen van het waterschap, met name die van 15 juli. Deze verwachting was nog opgesteld op basis van de waterstandsverwachtingen van het Waterschap zelf. Op basis van deze informatie is besloten dat de burgemeesters het mandaat hebben om te besluiten tot evacuatie en zijn er diverse noodverordeningen opgesteld. Niet alle evacuaties zijn gelijk gestart vanwege de looptijd van de hoogwatergolf, met name in het noordelijke deel, omdat het nog niet strikt noodzakelijk was om direct te starten met evacueren. De evacuatiebesluiten zijn gedeeld via nieuwsberichten en sociale media van de betrokken overheden (gemeente, veiligheidsregio) en er is gebruik gemaakt van NL-Alerts, luchtalarm en (in sommige gevallen) kerkklokken. Op locaties met acute dreiging (zoals bijvoorbeeld naar aanleiding van de acute dreiging bij het Julianakanaal) is door de hulpdiensten geïnformeerd via luidsprekersystemen op politiebusjes. Tijdens grote delen van het hoogwater heeft de regionale zender L1 gefunctioneerd als 'rampenzender' en de veiligheidsregio ondersteund bij de communicatie. Naast de formele centrale informatievoorziening is er ook veel informatie via informele kanalen gedeeld (whatsapp groepen, familie/kennissen bovenstrooms) waarop

mensen hebben gehandeld. Hierdoor zijn er veel burgerinitiatieven mogelijk geweest die lokale beschermingsmaatregelen tot stand hebben gebracht (zie het hoofdstuk over noodmaatregelen).

Daarnaast zijn er een aantal uitgangspunten geformuleerd en bestuurlijk vastgesteld. De evacuatie betrof een (nadrukkelijk) advies, geen juridische verplichting. Wel is ernaar gestreefd om zoveel mogelijk mensen uit het gebied te evacueren. Dat is gedaan door op diverse manieren te waarschuwen en door in sommige gebieden langs de deuren te gaan.

Een van de eerste besluiten was het uitwerken van een prioritering. Deze was gebaseerd op de landelijk gebruikte prioritering voor evacueren van de NCTV (2014) maar nu concreter uitgewerkt. In deze prioritering was ook expliciet aandacht voor de Coronacrisis. De veiligheid van mensen en dieren had de hoogste prioriteit. De 2^e prioriteit betrof de zorg, het testen en vaccineren vanwege Corona. De 3^e prioriteit was de continuïteit van de vitale infrastructuur gevolgd door productieprocessen (4) en economische belangen (5). In de aanloop van het hoogwater varieerde de afvoerverwachting (en dus de waterstand) sterk. In combinatie met de hoogste prioriteit van beschermen van mens en dier is besloten om gebieden die mogelijk overstromen te evacueren (dus niet alleen de rode maar ook de oranje gebieden uit de analyse van zwakke plekken). Alhoewel de kans op een doorbraak van waterkeringen voor sommige uiterst klein was, zijn deze uit voorzorg toch geëvacueerd. Ook gebieden die ingesloten kunnen worden door het water zijn geëvacueerd.

Een belangrijk uitgangspunt in het optreden van de hulpdiensten was om de zelfredzaamheid van mensen en instellingen te stimuleren. Dat betekent dat mensen (nadat ze geïnformeerd zijn door de veiligheidsregio) zichzelf evacueren en eventuele hulp en opvang organiseren, wat in de praktijk ook gebeurde. Van gedwongen vertrek (ontruiming) van gehele gebieden is geen sprake geweest. Het algemene beeld is dat de meeste mensen gehoor hebben gegeven aan de oproep tot evacuatie en tijdig hebben gehandeld en het gebied hebben verlaten. Er is geen informatie bekend over achterblijvers en hoe snel mensen het gebied hebben verlaten. Voor de zekerheid was de reddingsbrigade in het gebied aanwezig om ondersteuning te bieden als wegen niet meer begaanbaar waren door overstromingen. Vanuit het hele land zijn reddingsteams afgereisd naar Limburg. De reddingsbrigades hebben her en der ook achterblijvers gered. Deze acties hebben telkens veel media-aandacht gehad (zie bijvoorbeeld 'In de buurt' (2021)). Maar uiteindelijk zijn er sterke indicaties dat de meeste achterblijvers zelf of met hulp van andere het gebied hebben verlaten. Door de overheid is wel opvangcapaciteit aangeboden maar hier is nauwelijks gebruik van gemaakt. Gegeven de geëvacueerde gebieden en het aantal woningen gaat het naar schatting om 50.000 mensen. De betrokken instanties (gemeentes en de veiligheidsregio) en hulpdiensten (politie, brandweer en defensie) verzorgden de berichtgeving.

De zorginstellingen bij Valkenburg en het VieCuri Medisch Centrum in Venlo zijn in overleg met de veiligheidsregio ontruimd, omdat de continuïteit niet was gewaarborgd (ook in 1995 was dit ziekenhuis

geëvacueerd). In totaal zijn er vanuit het ziekenhuis 237 patiënten binnen 10 uur veilig geëvacueerd en is het ziekenhuis 4 dagen gesloten geweest (Viecuri 2021). Hiervoor zijn 28 ambulances uit het gehele land ingezet (de Limburger 2021). Dat is bijna 5% van het totale aantal ambulances in Nederland. Het aantal benodigde ambulances voor heel Nederland is geraamd op 642 door het RIVM (2020). Een deel van de patiënten kon naar huis, de resterende 170 zijn over 28 andere instellingen verdeeld. De coördinatie van de evacuatie is uitgevoerd met het Landelijk Coördinatiecentrum Patiënten Spreiding wat al actief was vanwege de Coronapandemie. Het Maastricht Universiteit Medisch Centrum (MUMC+) is niet geëvacueerd omdat de dreiging uiterst beperkt was, wel zijn er uit voorzorg zandzakken geplaatst.

Tijdens de evacuatie zijn twee inbraken gemeld bij de auteurs tijdens de analyse. Tijdens de veldbezoeken hebben enkele omwonenden daarnaast aangegeven dat de mogelijkheid tot criminaliteit is meegenomen in hun afweging om wel of niet te vertrekken. Er zijn geen plunderingen op grote schaal geweest wat overeen komt met andere grote rampen en evacuaties (Mileti & Sorensen 2015).

Evacuatieverhaal van een bewoner uit Maastricht:

Op donderdagavond 19:54 uur zijn we geïnformeerd over de evacuatie. Op onze telefoon kwam de oproep tot evacuatie van de veiligheidsregio meermaals binnen. Daarnaast waren politie en hulpverleners in de wijk aanwezig die opriepen tot evacuatie. Voor zover het nodig was hebben wij mede-bewoners uit ons appartementencomplex geïnformeerd. Voor vertrek hebben we de spullen in de berging hoger gezet. Bij vertrek hebben we slaap- en toiletspullen, noodzakelijke medicatie en wat kleren meegenomen. Rond 21:30 uur zijn we vertrokken naar onze dochter waar we hebben verbleven. In ons appartementencomplex zijn twee bewoners achtergebleven, zij wilden niet weg en zij zouden indien nog nodig GWL afsluiten.

De situatie was onzeker, dat is niet prettig. Omdat wij op 4 hoog wonen begrepen we niet direct waarom wij geadviseerd werden te evacueren. Dat werd goed uitgelegd door de hulpverleners in de wijk en iedereen bleef ook kalm en werkte goed mee. De waarschuwing van de VR was echt niet missen; meermaals en met de nodige urgentie in toon. Dat was goed zeker voor de twijfelaars die toch wilden blijven.

Evacuatieverhaal van een bewoner uit Bunde:

Op vrijdag 16 juli 13:45 uur vliegen opvallend veel helikopters boven ons gebied. We zoeken online naar informatie gezocht, in eerste instantie blijkt de dijk bij Voulwames te zijn doorgebroken. Dit is voor ons geen probleem. Om 14.01 uur worden we geïnformeerd door een familielid uit Roermond die meldt dat een dijk is doorgebroken en dat men moet evacueren. 14.06 uur Whatsapp bericht van onze dochter "echt een dijk doorgebroken in het Julianakanaal, jullie moeten evacueren". 14.15 uur We hebben ons huis verlaten maar stonden al snel vast in een verkeersopstopping, dat duurde ongeveer een uur. Webben GWL afgesloten en noodzakelijk spullen gepakt (toiletspullen, kleding en kat). 14.20 uur NL-Alert wordt gestuurd. 15.20 uur zijn we aangekomen in veilig gebied (afstand +/- 2km). Zaterdag 9:00 uur zijn we teruggekeerd.

In onze ogen viel de gebrekkige communicatie vanuit de overheid op. Donderdagavond kregen we te horen dat het advies is gegeven om te evacueren, dit proberen we online te verifiëren maar dat lukt niet en besluiten we niet te vertrekken. L1 fungeert als rampenzanden maar zond vooral reportages uit op het niveau 'ramptoerisme' en gaf onvoldoende informatie.

Evacuatieverhaal van een bewoner uit Heugem Maastricht:

Ik had voorafgaand aan de evacuatie al regelmatig op de website van de Gemeente Maastricht gekeken onder het kopje Wateroverlast. Hier stond veel te weinig informatie. Het was nuttig geweest als de gemeente eerder had aangegeven in welke wijken in de loop van de nacht een overstromingsrisico was zodat we ons eerder konden voorbereiden/meer tijd hadden om na te denken wat we moesten doen. Achteraf hoorden we dat het verzorgingstehuis s ochtends al op de hoogte was van overstromingsrisico in Heugem. Ze hadden ons ook al eerder een sms kunnen sturen zodat we niet werden overvallen. Ook was het onduidelijk hoe particulieren aan zandzakken konden komen en of het verstandig was om de deuren van je huis met zandzakken te barricaderen. De gemeente had zandzakken kunnen verstrekken aan de bewoners. Ook stond er een melding dat je de auto op de handrem moest zetten maar achteraf denk ik dat alle auto's uit de risicogebieden moesten worden verwijderd. Hierdoor krijg je ook een verkeerde (te lage) inschatting van de potentiële ernst van de situatie (risico op snel toenemend waterniveau en sterke stroming/grote kracht van het water).

In het NL alert stond tegenstrijdige informatie. Enerzijds stond er dat er tijd was om spullen naar boven te brengen en anderzijds stond erin dat je zo snel mogelijk moest evacueren. Ze hadden beter een tijdstip kunnen aangeven waarop je uiterlijk moest evacueren. Daarom zij we op een gegeven moment maar vertrokken zonder dat alle spullen in veiligheid waren gebracht en zonder rustig na te denken wat we moesten doen. Ook hebben we alleen onze naaste (oude) buurman gewaarschuwd maar als we meer tijd hadden gehad om na te denken hadden we nog een aantal andere oudere bewoners van onze straat kunnen waarschuwen en eventueel in onze auto mee kunnen nemen. Sommige mensen in onze straat gaven aan dat ze in de bovenverdieping wilden blijven. Misschien was het duidelijker geweest om in het NL alert aan te geven dat dat echt gevaarlijk kan zijn.

Bij het verlaten van Heugem waren er chaotische toestanden met vaststaand verkeer en auto's die gingen keren

Evacuatieverhaal van een bewoner uit Bunde:

We zijn gewaarschuwd via amber alert. Ook het lucht alarm ging af en de kerkklokken gingen luiden. We zijn toen meteen vertrokken enkel met papieren en de hond. Thuis hebben we gas en electra afgesloten, nog enkele zandzakken geplaatst en een pomp in de kelder geïnstalleerd. We zijn naar Maastricht gegaan en de dag erna teruggekeerd nadat we zagen dat dat kon op L1. Het viel wel op dat het nieuws op L1 ver achter liep op de actualiteit. Door de gemeente werden voldoende zandzakken ter beschikking gesteld en ook de straat werd snel schoongemaakt.

7.3 Beheer- en Noodmaatregelen

Dit hoofdstuk focust zich op de uitvoering van noodmaatregelen. Het betreft zowel geplande maatregelen die zijn voorbereid in draaiboeken (die noemen we beheermaatregelen) als niet geplande maatregelen (die we noodmaatregelen noemen) die aanvullend op elkaar zijn uitgevoerd. De geplande maatregelen bestaan uit tijdelijke en demontabele waterkeringen die voorafgaand aan het hoogwater zijn opgebouwd. De uitvoering van deze maatregelen zijn vastgelegd in een draaiboek en zijn daarom voorzien door het waterschap Limburg en de gemeentes langs de Maas. Daarnaast was sprake van (onvoorziene en tijdelijke) noodmaatregelen zoals het plaatsen van zandzakken omdat de kering mogelijk te laag was of het opkisten van wellen na inspecties.

Het waterschap Limburg is ondersteund door diverse experts vanuit het hele land. Deze experts zijn opgeroepen vanuit collega waterschappen maar er zijn ook experts uit de vrije sector ingezet. Hierdoor nam de analyse- en de uitvoeringscapaciteit flink toe.

7.3.1 Voorziene beheermaatregelen (demontabele keringen)

Waterschap Limburg heeft ruim 4 kilometer aan demontabele keringen die tijdens een hoogwater moeten worden opgebouwd zoals beschreven in de draaiboeken. In het gehele beheergebied betreft dit ruim 200 coupures en wanden (zie voorbeeld in Figuur 7.5). Daarnaast zijn op 23 locaties noodkeringen opgebouwd met een totale lengte van 2 tot 3 kilometer. Deze noodkeringen bestaan uit ongeveer 2000 big-bags en 120.000 zandzakken. In totaal zijn 140 pompen voorafgaand aan het hoogwater geplaatst om o.a. waterbezwaar en kwel te reduceren. Als laatste worden een groot aantal doorgangen met afsluiters (zoals spindelschuiven) in de waterkeringen gesloten door gemeente en waterschap.



Figuur 7.5: Demontabele kering bij Steyl (tijdens oefening)

Het opbouwen van deze maatregelen betreft een geplande operatie die in het draaiboek is vastgelegd en in verschillende fases wordt uitgevoerd. Gegeven de toenemende voorspellingen van de afvoer is ervoor gekozen op te schalen tot de hoogste fase en is al het materieel ingezet. De maximale opbouw bleek achteraf ook benodigd omdat de waterstanden in de buurt kwamen van de kerende hoogte van de demontabele wanden bij volledige opbouw. In het draaiboek is normaal gesproken 5 dagen voor de opbouw voorzien. Vanwege de snelheid waarmee de afvoergolf zich ontwikkelde was een snellere opbouw noodzakelijk. Op woensdag 14 juli om 14:00 uur begonnen met de opbouw. Vrijdag 16 juli om 19:00 uur was de gehele opbouw gereed. Hierbij is gewerkt in fases; als eerste zijn de wanden die het laagste in de waterkolom liggen (en dus het eerste dichts moeten zijn) opgebouwd en als laatste zijn de hoger gelegen keringen opgebouwd. In totaal heeft de opbouw 53 uur (i.p.v. 120 uur) gekost en is in aflossingen 24 uur per dag doorwerkt.

7.3.2 Keuzes over noodmaatregelen

De noodmaatregelen zijn tot stand gekomen op basis van een inventarisatie van zwakke plekken van experts van waterschap Limburg voorafgaand aan het hoogwater, inspecties tijdens het hoogwater door dijkwachters en initiatieven van gemeentes en omwonenden.

Voorafgaand aan de piek van het hoogwater (met name op donderdag 15 juli) heeft waterschap Limburg op basis van de zwakke plekken inventarisatie (zie 7.2.2) uitgevoerd waarin kwetsbare locaties zijn aangewezen en noodmaatregelen zijn gedimensioneerd. Op locaties waar een beheersbaar veiligheidsprobleem werd verwacht, is geanticipeerd door te bepalen waar en hoeveel noodmaatregelen nodig zijn en deze aan te brengen. Daarnaast zijn noodmaatregelen uit voorzorg getroffen om de impact van een eventuele doorbraak te verminderen. Voorbeelden zijn het MUMC+ Ziekenhuis in Maastricht en de Bisschop Lindanussingel in Roermond. Tijdens het hoogwater is telkens bepaald op basis van actuele waterstandsverwachtingen en de lokale hoogteligging hoeveel materiaal en zandzakken nodig waren.

Een deel van de noodmaatregelen is aangebracht naar aanleiding van meldingen via dijkwachters. Inspecties door dijkwachters vonden plaats op alle primaire waterkeringen. De inspectiefrequentie was afhankelijk van de waterstand en was tijdens de piek eenmaal per 4 uur voor de meest kwetsbare plekken. De eerste inspectie vond plaats bij zonsopkomst (rond 6:00 uur) en de laatste bij zonsondergang en beging van de nacht (rond 23:00 tot 24:00 uur). Tijdens de inventarisatie van het waterschap bleek dat op een groot aantal locaties een kans bestond voor zandmeevoerende wellen. Daarom is tijdens het hoogwater besloten tot extra inspectierondes speciaal gericht op deze kwetsbare plekken. Hierin zijn de dijkwachters bijgestaan door medewerkers van het Rode Kruis om extra capaciteit te waarborgen. Meldingen over de waterkering werden via de dijkwachters app of telefonisch doorgegeven aan de centrale in Roermond. Deze werden beoordeeld door experts in Roermond waarna eventuele maatregelen zijn doorgegeven aan de regionale coördinatoren (loodsen genoemd) in Sittard voor Limburg zuid en Horst voor Limburg noord. Vanaf de regionale posten is de uitvoering vervolgens voorzien. Vaak zijn naast dijkwachters (een totaal van meer dan 700 vrijwilligers) de

aandachtlocaties geïnspecteerd door inspecteurs (professionals van het waterschap die de lokale inzet van inspecties en maatregelen coördineren). De inspecteur begeleidde eveneens de uitvoering van de noodmaatregelen

7.3.3 Uitvoering Noodmaatregelen

De noodmaatregelen zijn uitgevoerd door gezamenlijk inzet van de waterschappen (waterschap Limburg en de overige waterschappen in Nederland), gemeenten, defensie, brandweer en omwonenden. De locaties waar noodmaatregelen zijn getroffen, zijn weergegeven in hoofdstuk 4. Maatregelen zijn genomen om bestaande waterkeringen te versterken, maar ook langs delen van de Maas en de onbeschermde beken zijn maatregelen genomen om overstromingen van woningen en bedrijven te voorkomen.

Langs de zijrivieren van de Maas en langs de beken (bijv. de Roer, de Geul en de Geleenbeek) zijn noodmaatregelen met name gecoördineerd en uitgevoerd door gemeenten en omwonenden (ondersteund door brandweer en defensie). Hier is doorgaans geen (permanente) waterkering aanwezig. De tijdelijke waterkeringen zijn daarom met name ingezet om de omvang van het overstroomde gebied te beperken en schade aan woningen en bedrijven te voorkomen.

De noodmaatregelen langs de Maas waren met name gericht op het hoogte tekort. Wind was er nauwelijks. Op een groot aantal locaties langs de Maas zijn zandzakken geplaatst om de kerende hoogte van de waterkering te verhogen. Omdat de waterstandsvoorspellingen openbaar beschikbaar waren en vanwege de zichtbaarheid van de kerende hoogte hebben gemeentes en omwonenden een belangrijke bijdrage gehad bij de initiatie en uitvoering van noodmaatregelen die de kerende hoogte van de dijk vergroten (normaal gesproken zandzakken op de kruin). Zandzakken zijn door het waterschap, gemeenten en lokale aannemers beschikbaar gesteld. In enkele gevallen hebben bewoners eigen materiaal gebruikt om noodmaatregelen te treffen. De zandzakken zijn door de gemeentes veelal beschikbaar gesteld op de gemeentewerven en door omwonenden naar de waterkering verplaatst. Dit heeft lokaal geleid tot files naar de gemeentewerf.



Figuur 7.6: Plaatsen van zandzakken bij Velden

Het waterschap heeft de inzet begeleid door te instrueren hoe zandzakken geplaatst dienden te worden. De benodigde mankracht is voornamelijk geleverd door omwonenden, defensie en de brandweer. Door het grote zelfredzame vermogen hebben de inspecties van het waterschap (dijkwachten en inspecteurs) zich met name gefocust op de geotechnische faalmechanismen.

Tijdens de uitvoering, informatievoorzieningen en coördinatie van noodmaatregelen is waterschap Limburg ook met materiaal en mankracht ondersteund door collega waterschappen. Dit betreffen 3 zandzakvulmachines, 100.000 zandzakken, 500 big-bags, 10 vrachtwagens met containers, box-barriers, 10 pompen en 20 rollen doek. Naast de materiele inzet zijn 15 informatiecoördinatoren en 30 inspecteurs van collega waterschappen in de organisatie van waterschap Limburg opgenomen.

Zomerhoogwater

Het hoogwater vond plaats buiten het hoogwaterseizoen (15 oktober tot en met 15 maart). Daarom waren enkele omstandigheden anders dan in de meeste scenario's op is geanticipeerd. De volgende aspecten vallen op met betrekking tot de uitvoering van noodmaatregelen.

1. *Het was langer licht. Hierdoor was het makkelijker om inspectie uit te voeren en is de kans op detectie groter.*
2. *Het goede weer en het lange licht zorgde ervoor dat de uitvoering van beheer en noodmaatregelen gemakkelijker verliep. Dit is een belangrijke reden waarom de opbouw van de demontabele keringen in twee dagen is gerealiseerd (i.p.v. vijf conform het draaiboek). Daarnaast was de zelfredzame capaciteit van inwoners naar verwachting bovengemiddeld.*
3. *Ten tijde dat de afvoergolf op de Maas op de piek was (vrijdag t/m zondag) was het windstil. Deze omstandigheden zijn in het zomerhalfjaar waarschijnlijker dan in het winterhalfjaar. Hierdoor was geen sprake van golfoverslag en waren minder zandzakken benodigd.*
4. *In de zomer is meer vegetatie in de kwelsloten aanwezig dan in de winter (bijv. brandnetels, riet en kroos). Dit maakte de kans op detectie van wellen kleiner.*
5. *Vanwege de zomerse omstandigheden was waarschijnlijk meer sprake van ramptoerisme dan tijdens winterse omstandigheden. Door de veiligheidsregio's en RWS is hier meerdere malen voor gewaarschuwd. Op sommige locaties was het erg druk op de keringen.*

7.3.4 Zelfredzaamheid bij uitvoering noodmaatregelen

Noodmaatregelen zijn tot stand gekomen zowel op initiatief van omwonenden als op basis van analyses van het waterschap zelf. Waterschap Limburg heeft gerichte analyses uitgevoerd naar mogelijke hoogtetekorten. Ook bewoners hebben veel zandzakken geplaatst

Het grootste deel van de zandzakken langs de zijrivieren (bovenstroomse delen) en de beken zijn geplaatst met en door inwoners. De zandzakken zijn door vaak gemeentes beschikbaar gesteld. Met vereende krachten hebben bewoners een belangrijke bijdrage geleverd voor het verhogen van de keringen langs de Maas (vaak i.c.m. met defensie of waterschap). Via sociale media en de aanwezigheid van enkele professionals was het mogelijk om verder richting te geven. Voorbeelden hiervan zijn noodmaatregelen die zijn aangebracht bij Velden en Buggenum. De zakken zijn op locatie beschikbaar gesteld door het waterschap en door bewoners opgehaald bij gemeentewerven of aannemers. Soms is ook eigen materiaal (zakken of doek) gebruikt. Noodmaatregelen die door omwonenden zijn aangebracht hebben vooral als doel gehad de kerende hoogte van de waterkering te vergroten. In enkele gevallen zijn ook maatregelen door omwonenden getroffen om geotechnisch falen zoals piping tegen te gaan (zoals bijvoorbeeld in Roermond). Het waterschap heeft het aanbrengen zoveel mogelijk begeleid. Het aanbrengen van noodmaatregelen door omwonenden op de kruin

van de kering heeft er in sommige gevallen toe geleid dat afschuiven van de dijk een aandachtspunt werd (door het toenemende gewicht op de dijk). In die gevallen zijn de zandzakken op de dijk alsnog verwijderd. Ondanks dat het soms heeft geleid tot ook een verkeerde uitvoering van maatregelen (bijv. het stapelen van zandzakken op de kruin van een verweekte kering in plaats van achter deze kering) en een totaaloverzicht ontbrak is het beeld dat door de extra maatregelen veel veiligheid is toegevoegd.

Naast de officiële communicatielijnen via waterschap Limburg ontstonden bijv. via Whatsapp vaak directe communicatielijnen tussen inspecteurs, lokaal aanwezige dijkexperts en de loodsen in Horst of Sittard. Een significant deel van de noodmaatregelen is daarom besloten zonder de formele communicatielijn te volgen. Bijvoorbeeld als politie, defensie en brandweer lokaal aanwezig zijn, worden de lijntjes met het waterschap kort, wordt er snel besloten en direct actie ondernomen. Daarnaast zijn vaak appgroepen aangemaakt door inspecteurs en experts om efficiënt informatie te delen, elkaar te informeren en informatie over te dragen na diensten.

7.4 Slotopmerkingen

Kennis van het watersysteem met de aanwezige keringen is van belang bij het geven van concrete waarschuwingen. Waar in rampenplannen vaak wordt uitgegaan van een aantal (maatgevende of representatieve) scenario's die veelal volgen uit risicoanalyses van het watersysteem, is de diversiteit groot zoals nu gebleken is bij het zomerhoogwater. De neerslaggebeurtenis zelf met de koude put, de steile afvoergolf en de snelheid waarmee de neerslag tot afvoer kwam zijn alleen uitzonderlijk. De eerste stap is de waterstandsverwachting om zowel de crisisorganisatie en de bevolking te waarschuwen maar ook om indien nog mogelijk noodmaatregelen te nemen. Ook in Limburg is dit gebleken. Voor alle gebieden waar gestreefd is naar preventieve evacuatie is dat grotendeels geslaagd. Getallen over achterblijvers zijn niet bekend maar het beeld is dat vrijwel iedereen tijdig het gebied heeft verlaten en opvang heeft gevonden. Ook de zorginstellingen en het ziekenhuis van Venlo zijn succesvol geëvacueerd. Achterblijvers zijn er vooral in gebieden langs de beken die instromen op de Maas (en met name de kernen langs de Geul), die niet zijn gewaarschuwd. Onder deze achterblijvers zijn geen slachtoffers gevallen en de meeste mensen hebben op eigen kracht het gebied kunnen verlaten. Velen hebben ook bijgedragen aan het treffen van noodmaatregelen.

Om inzicht te krijgen in de effectiviteit van evacuatie of noodmaatregelen is het wenselijk om meer kwantitatieve data te verzamelen. Het gaat bijvoorbeeld om het verder uitwerken van de tijdlijn van evacuatie met onderscheid in het evacuatiebesluit, wanneer mensen het bericht hebben ontvangen en van wie, wanneer ze de woning hebben verlaten (en hoeveel mensen zijn achtergebleven en waarom), wat de bestemming was en hoe lang ze erover hebben gedaan om hier te komen en op wat voor manier. Ook rondom het plaatsen van

noodmaatregelen, zowel door het waterschap zelf als door burgerinitiatieven is het interessant om een dergelijke tijdlijn uit te werken.

Tijdens het hoogwater en de periode van de dreiging zijn door Waterschap Limburg in eerste instantie eigen hoogwaterverwachtingen voor de Maas en de mondingen van de beken opgesteld. Hiervoor is voor gekozen omdat beoordeeld was dat de afvoeren van de beken, die extreem hoog was, onvoldoende was meegenomen in de modellen die ten grondslag liggen aan de hoogwaterberichten van het WMCN. Om deze verwachtingen op te stellen is gebruik gemaakt van de afvoerwachting bij St Pieter opgesteld door het WMCN. Op 16 juli is in Limburg besloten na verwarring in de media over waterstandsverwachtingen op de Maas geen gebruik meer te maken van de eigen berekeningen maar om de verwachtingen van het WMCN te volgen. Daarnaast is gebleken dat de (expert)kennis van waterkeringen cruciaal was voor het maken van de zwakke plekken-inventarisatie voor de Maas en kennis van de gevolgen om de bedreigde gebieden te identificeren. Bij de bedreigde gebieden ging het niet alleen om de door waterkeringen beschermde gebieden maar ook zogenaamde hoge gronden waar geen keringen aanwezig zijn die bij zeer extreme afvoeren wel kunnen overstromen. Deze informatie is tijdens het hoogwater de basis geweest voor besluitvorming over evacuatie en noodmaatregelen. Het verdient aanbeveling om ook de inhoudelijke kwaliteit van deze informatie apart te beschouwen in de crisisvoorbereidingen en er zorg voor te dragen dat deze kan worden ontsloten en begrepen zodat de expert niet de enige basis is. Op deze manier ontstaat er vertrouwen over de informatie (en bv waterstandsverwachtingen). Op basis van de opgedane ervaring in de factfinding wordt aanbevolen om de voorbereiding op overstromingen te baseren op een bandbreedte van mogelijke scenario's. De keuze voor deze scenario's volgt vaak uit het gebruik van risicoanalyses die worden gebruikt voor normstellingen of beoordelingen van het watersysteem. Vanuit crisisbeheersing is het ook aan te bevelen om verschillende mogelijke, maar wellicht onwaarschijnlijke, scenario's te werken. In een risico-analyse dragen deze wellicht nauwelijks bij aan het risico en worden ze vaak weggelaten, of ze worden weggelaten omdat je voor deze scenario's toch geen (waterstaatkundige) maatregelen neemt en het risico accepteert. Deze onwaarschijnlijke gebeurtenissen kunnen worden gebruikt voor het prioriteren van maatregelen en het bieden van handelingsperspectief van mensen en bedrijven voor de situaties (als langs de beken) dat er heel snel veel meer neerslag valt dan waarop het watersysteem is gedimensioneerd. Er bestaan hiervoor al beschikbare voorbeelden: de uitwerking van de stresstesten van neerslagscenario's voor ruimtelijke adaptatie of het concept van de ergst denkbare overstromingsscenario's.

Tenslotte staan we nog stil bij de zelfredzaamheid. Mensen hebben zich (na geïnformeerd te zijn) zelf geëvacueerd, zorginstellingen zijn na de keuze om te evacueren die gemaakt is in overleg met de veiligheidsregio uiteindelijk geëvacueerd met hulp van collega's. Burgerinitiatieven, gefaciliteerd door het waterschap en hulpdiensten, zijn waardevol geweest voor het leggen van zandzakken. Hierbij zijn er ook veel lokale appgroepen gebruikt om kennis en kunde te delen en mensen te mobiliseren. Het verdient de

aanbeveling te verkennen hoe deze inzet van inwoners en bedrijven als verlengstuk van het waterschap en veiligheidsregio beter kan worden benut.

7.5 Referenties

De Limburger (2021). https://www.limburger.nl/cnt/dmf20210716_94088247

Dynes (1994) Community emergency planning: false assumptions and inappropriate analogies. International Journal of Mass Emergencies and Disasters 12 (2).

HKV (2021). Continu Inzicht Waterschap Limburg. Eindrapport. Lelystad.

In de Buurt (2021). <https://indebuurt.nl/delft/delftenaren/delftenaar-van-de-week/niels-ging-namens-de-delftse-reddingsbrigade-naar-limburg-ik-stond-tot-mijn-heupen-in-het-water~132763/>

Limburg24 (2021). <https://limburg24.nl/meerdere-evacuaties-in-noord-en-midden-limburg-vanwege-hoogwater/>

Meervandaag (2021). <https://meervandaag.nl/2021/07/15/dringend-advies-tot-evacuatie-in-delen-van-bunde-en-geulle/>

Mileti DS, Sorensen, JH (2015). A guide to public alerts and warning for dam and levee emergencies. USACE.

NCTV (2014). Kader Grootschalige Evacuatie. Gezamenlijke uitgangspunten en stappenplannen. Ministerie van Veiligheid en Justitie. Den Haag.

RIVM (2020) Referentiekader spreiding en beschikbaarheid ambulancezorg 2020

Sevagram, (2021). [https://www.sevagram.nl/nws/654-evacuatie-locaties-sevagram-Valkenburg-aan-de-geul.html](https://www.sevagram.nl/nws/654-evacuatie-locaties-sevagram- Valkenburg-aan-de-geul.html)

Starmans, Oberijé (2006) Burgerparticipatie bij rampen en zware ongevallen Versie 443N6001/443N6004: 10.11.2006. NIBRA. Arnhem.

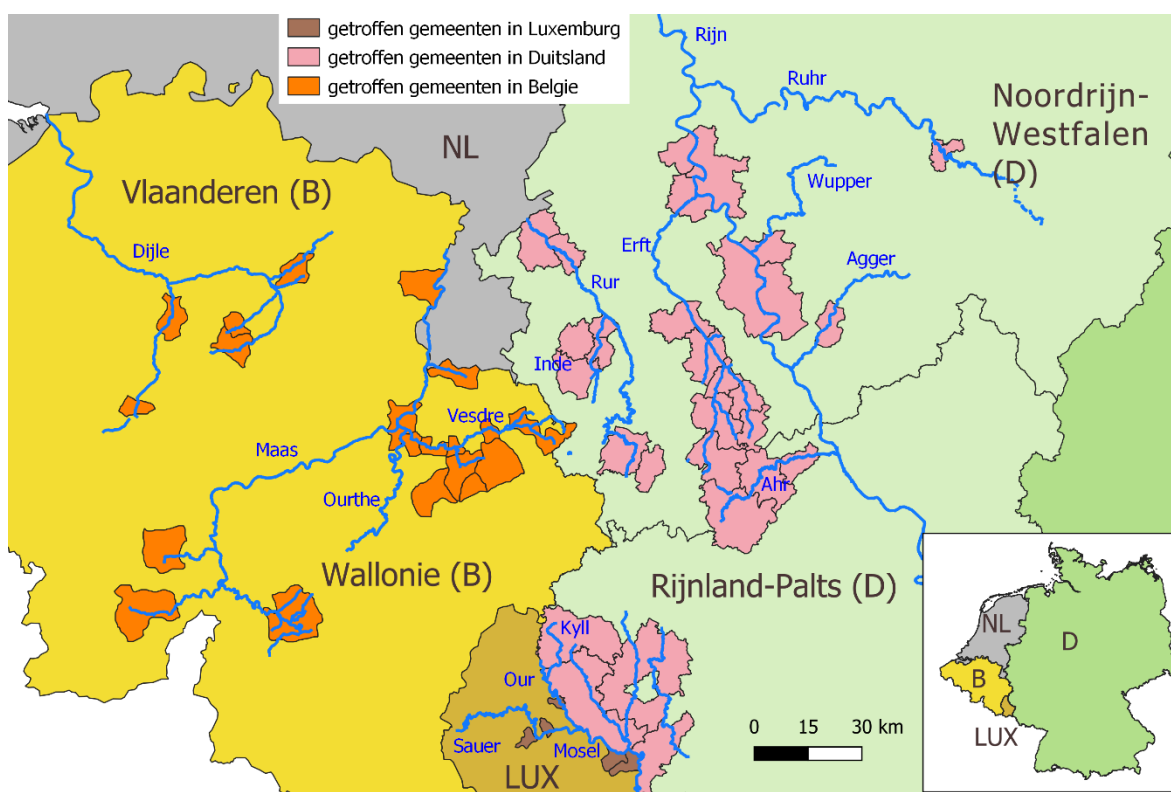
Viecuri (2021). <https://www.viecuri.nl/nieuws/2021/juli/liveblog-maatregelen-oplopende-waterstand-maas/>

Waterberichtgeving (2021). <https://waterberichtgeving.rws.nl/water-en-weer/verwachtingen-water/rivieren/maas/berichtgeving/download:999>

8 Overstromingen in België, Luxemburg en Duitsland

Zoals al in het eerste hoofdstuk werd beschreven, troffen overstromingen in juli 2021 niet alleen Nederland, maar ook grote delen van West- en Centraal-Europa, waaronder België, Duitsland en Luxemburg. In de buurlanden van Nederland waren de overstromingen ernstiger; daar was de schade het grootst in stroomgebieden en zijrivieren van de Rijn en de Maas: langs de Vesder in Wallonië, langs de Ahr in Duitsland en langs de Sauer in Luxemburg. Het is waardevol de evaluatie van de overstromingen en gerelateerd vervolg onderzoek in Nederland in een bredere context te plaatsen en ook naar de meer extreme situatie in onze buurlanden te kijken. Dit hoofdstuk beoogt een algemeen inzicht te geven van de overstromingen in België en Duitsland en geeft vooral aandacht aan de gevolgen. Het internationale werk had ook tot nevendoel om in contact te komen met onderzoeksgroepen in het buitenland die actief zijn met het in kaart brengen van de overstromingen en gevolgen in hun eigen land.

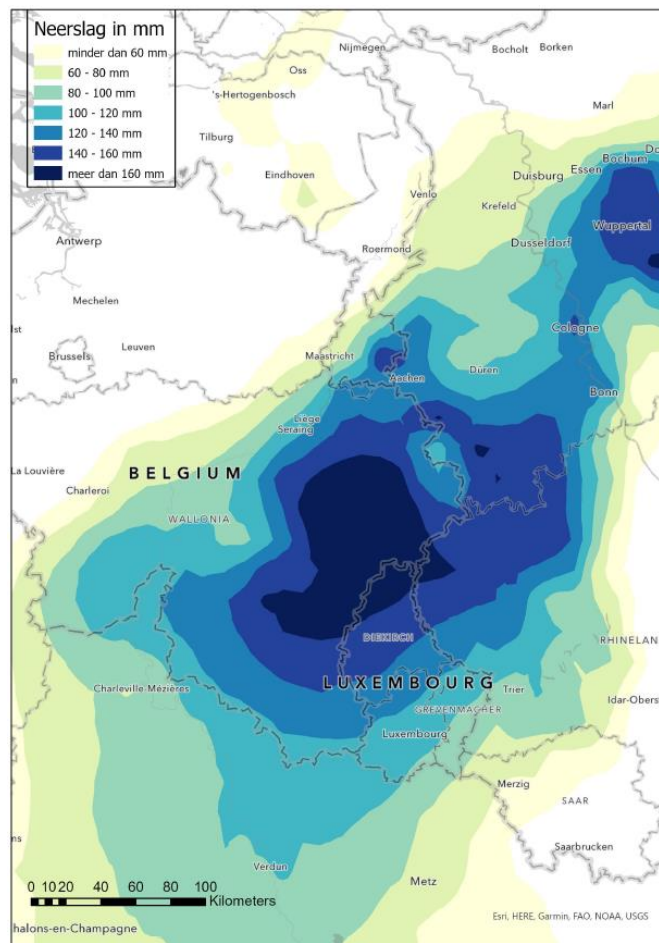
Op het moment van schrijven waren voor België, Luxemburg en Duitsland nog geen evaluatie rapporten van de overstromingen beschikbaar en er is minder direct toegang tot diverse informatiebronnen. Een groot deel van de informatie in dit hoofdstuk is daarom afkomstig uit de media of ter plaatse verzameld tijdens veldbezoeken. De meeste rampenbestrijders, waterschappen en andere autoriteiten waren tijdens het schrijven van dit hoofdstuk nog steeds intensief betrokken bij de opruimings- en herstelactiviteiten. Met dit hoofdstuk hebben we geprobeerd een goed overzicht te creëren van de situatie in onze buurlanden, het is op dit moment onmogelijk een compleet beeld te geven. De kaart in Figuur 8.1 geeft de getroffen gemeentes in het overstroomd gebied weer, details over de schade en slachtoffers in deze gemeentes zijn te vinden in Bijlage E1.



Figuur 8.1: Overzichtskaat van getroffen dorpen in Duitsland, België en Luxemburg.

8.1 België

De 48-urige neerslagsom voor de periode 13 – 14 juli was extreem hoog vooral in delen van Wallonië in België. De kaart (zie Figuur 8.2) laat zien dat de grootste hoeveelheden zijn waargenomen in het Belgische deel van het Maas stroomgebied. De maximale waarden liggen lokaal in Nederland op 182 mm (zie hoofdstuk 2). In Wallonië werden over een groot gebied neerslaghoeveelheden tussen de 170 en 190 mm gemeten.



Figuur 8.2: 2-daagse neerslag som (13 July 00:00 UTC - 15 July 2021, 00:00 UTC) en dag som voor de twee dagen met extreme neerslag. De figuur is gebaseerd op de E-OBS dataset aangevuld met lokale datasets (Kreienkamp et al., 2021).

De regen viel in heuvelachtig gebied, en stroomde snel af richting de rivieren. Hier kreeg het niet de kans om in de grond te infiltreren. De gunstigste locaties om te bouwen in dergelijke gebieden liggen meestal in of nabij rivier dalen en op de vlakkere delen aan de voet van hellingen. Echter, dit zijn de gebieden waar de kans op overstromingen het grootst is en waar deze ook daadwerkelijk zijn opgetreden.

8.1.1 Schade

In België vielen minstens 42 dodelijke slachtoffers (Wikipedia, 2021). Een voorlopige schade schatting van het crisis centrum België ligt op meer dan 350 miljoen Euro (Kreienkamp et al., 2021). 41.000 huishoudens in Wallonië waren afgesloten van de elektriciteit door ondergelopen elektriciteitscentrales. In enkele gemeentes in de provincies Liege en Namur raakten het gas-en telefoonnetwerk beschadigd en was de drinkwatervoorziening voor langere periode onbruikbaar. Dit werd onder meer veroorzaakt door watervervuiling uit lekkende particuliere olie tanks.

Het water zorgde ook voor problemen op het spoor. Uit voorzorg kwam op verschillende trajecten de treindienst stil te liggen; naderhand waren de trajecten dusdanig ondermijnd, dat deze ook daadwerkelijk structurele schade ondervonden. De totale schade aan het spoornetwerk wordt geschat op meer dan 50 miljoen euro (Nieuwsblad.be, 2021). De directe schade in Wallonië was het grootst, maar er zijn ook langdurige gevolgen voor goederen transport van en naar Vlaanderen. Aanvankelijk waren 25 spoorverbindingen buiten gebruik. Eind Augustus waren daar nog 3 van over, waaronder 2 trajecten rond de ingestorte spoorbrug bij Pepinster die waarschijnlijk pas in oktober weer in gebruik zal zijn.

Langs de rivier de Vesdre is de schade het grootst, met name in Pepinster. Hier zijn meer dan 20 huizen ingestort, 23 slachtoffers gevallen, wegen zwaar beschadigd en modderstromen zorgden voor grote hoeveelheden afval op straat. Ook andere dorpen langs de Vesdre zijn getroffen, zoals Trooz, Dolhain en Chaudfontaine. Bovenstrooms komen de Vesdre, waarvan de afvoer gedeeltelijk wordt gereguleerd door twee bovenstroomse dammen, en de zijrivier de Hoëgne samen. De laatste heeft een volledig natuurlijke afvoer en voert alvorens Pepinster te bereiken ook door de getroffen dorpen Theux en Jalhay. Rondom bijvoorbeeld brugpilaren in de Vesdre zorgden de door de modderstromen meegevoerde materialen voor tijdelijke obstructies. Deze kunnen tot onverwacht hoge afvoerpieken hebben geleid (Euronews, 2021). Maar er is ook discussie of het peil van het bovenstroomse stuwmeer bij Eupen te lang hoog gehouden is. Volgens sommige bronnen was er op het moment van afvoer piek geen bergingsruimte en moest er worden geloosd (Grenzecho, 2021).

Op 15 juli verplaatste het zwaartepunt van de bui zich richting Vlaanderen Rondom Leuven, in Vlaams-Brabant, kwam het water op straat te staan. Het water werd afgevoerd door de Dijle. Ook in Ottignies (Waals-Brabant) heeft het water hoog gestaan. De schade bleef echter gering in die regio.

Op 24 Juli zorgde korte hevige regenval opnieuw voor zware overstromingen. Deze troffen vooral Dinant, Namen en andere gemeentes in de provincie Namur. Er waren modderstromen in de straten, waarbij auto's werden meegesleurd.

8.1.2 Informatie uit veldbezoeken

Voor gedetailleerde schade informatie is er samengewerkt met deelnemers van de GEER-missie (Geotechnical Extreme Events Reconnaissance, Turning Disaster into Knowledge, Sponsored by the US National Science Foundation) naar België die plaatsvond op 16 Augustus 2021. Hier werd de schade langs de Vesdre in kaart gebracht. Bovenstrooms was de schade het grootst. De kracht van de stroom heeft gebouwen en infrastructuur gedeeltelijk of volledig verwoest. Enkele dijken zijn doorgebroken. Meerdere grote bruggen zijn beschadigd. Ook zorgde de kracht van de afvoergolf voor verzwakking en ontgronding van de fundering van de brugpilaren. Tijdens de missie, een maand na de overstromingen, was de ravage nog enorm.



Figuur 8.3: Schade aan wegen en gebouwen in Pepinster (Bron: Deltares collega's, genomen tijdens GEER-missie.)

Stroomafwaarts zijn de gevolgen geringer, waarschijnlijk omdat de kracht van de afvoergolf afnam door bovenstroomse obstructies en doordat de afvoergolf en stroming zich uitspreiden. Benedenstrooms was vooral schade aan voetpaden, oude gebouwen en steile oevers zichtbaar.

8.1.3 Voorspelling en disseminatie

Er is nog geen rapport beschikbaar dat een overzicht van de voorspellingen weergeeft. Op basis van data van het Belgische Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) hebben we het volgende kunnen afleiden. Op 12 juli gaf het Belgische Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) code geel af – volgens de modellen zou er in een paar dagen tijd evenveel neerslag vallen als anders in een maand. Op 14 juli werd, net als in Nederland voor de provincie Limburg, code rood afgegeven en werden gemeenten en regionale crisis centra ingelicht. In Nederland werd op 13 juli code oranje afgegeven voor Limburg.

Op 15 juli verzocht de burgemeester van Luik aan 200.000 inwoners om de stad te verlaten, winkels werden gesloten, auto's mochten de stad niet meer in. Ook voor nabij gelegen gemeentes werd een evacuatie advies

gegeven. Verwacht werd dat het water verder zou stijgen en de dijken stonden onder hoge druk (Brussels Times, 2021). Uiteindelijk overstromden alleen de aan de oevers gelegen lagere delen van de stad Luik. Door de lagere stroomsnelheden bleef de schade relatief beperkt.

Rijkswaterstaat heeft in haar voorspellingssysteem een groot aantal Belgische meetstations zitten en neemt de informatie over afvoeren / waterstanden bovenstrooms ook geautomatiseerd mee in de dagelijkse routine om de voorspellingen voor de Maas te verbeteren.

8.2 Duitsland

In Duitsland hebben overstromingen als gevolg van hevige neerslag en de daarmee gepaard gaande schade zich vooral voorgedaan langs middelgrote en grote rivieren zoals de Ahr, de Rur, de Erft, de Kyll, de Lippe, de Prüm, de Ruhr, de Sieg en de Wupper. De overstromingen waren extreem hevig maar voor het Ahr dal trad in 1804 een vergelijkbare overstroming op.

Vooraf in Rijnland-Palts en Noordrijn-Westfalen (NRW) werd op 14 en 15 juli extreem veel neerslag gemeten. Hoewel de historische neerslag records niet werden overschreden werden in een ongewoon hoog aantal stations nieuwe lokale records gemeten. Regionaal overschreed de neerslag meer dan 160 mm in 48 uur (maximum in Hagen 224 mm in 24 uur), wat overeenkomt met herhalingstijden van meer dan 100 jaar (Junghänel et al., 2021; Schäfer et al., 2021) in sommige delen zelfs 1000 jaar (Wupperverband, 2021). Als gevolg daarvan waren de totale neerslaghoeveelheden binnen enkele uren of dagen gemiddeld 1,5 tot 2,0 maal hoger dan de totale gemiddelde neerslaghoeveelheid in juli voor de referentieperiode 1991-2020. De verwoestende gevolgen van de neerslag zijn voor een belangrijk deel beïnvloed door het sterk geaccidenteerd terrein van sommige getroffen regio's met deels diep ingesneden rivierdalen (Schäfer et al. 2021).

De waterstanden in veel rivieren overschreden de waterstand horende bij een eens in de 100-jaar terugkeertijd. Sommige waterbeheerders geven zelfs aan dat de waterstanden en -afvoeren een 10.000-jaar herhalingstijd hebben overschreden (Wupperverband, 2021a, 2021b). Opmerkelijk is dat, hoewel veel van de getroffen rivieren zijrivieren van de Rijn zijn, de Rijn zelf geen recordhoogten heeft opgetekend, omdat overstromingen langs de Rijn vooral worden beïnvloed door het smelten van het ijs in de Alpen en minder door de instroom van zijrivieren. (The Dusseldorfer, 2021).¹⁸.

¹⁸ <https://the-duesseldorfer.de/juli-2021-warum-das-grosse-rheinhochwasser-ausblieb/>

8.2.1 Schade

In Duitsland zijn minstens 180 slachtoffers gevallen (FAZ, 2021a), daarvan overleden 133 mensen in Rheinland-Paltz en 47 mensen in Noordrijn-Westfalen. De totale schade wordt geschat tussen de 20 en 30 miljard, waarvan de schade in Noordrijn-Westfalen ongeveer 13 miljard bedraagt (General Anzeiger, 2021). Tegelijkertijd schatten Duitse Verzekeringsmaatschappijen de verzekerde schade op 7 miljard Euro waarvan alleen 6.5 miljard Euro voor schade aan gebouwen en 450 miljoen aan motorvoertuigen. In Duitsland hebben slechts 46 % van de inwoners een verzekering tegen natuur rampen (FAZ, 2021b), mogelijk ligt dit percentage in west-Duistland wat hoger.

In verschillende steden werd kritieke infrastructuur beschadigd of zelfs vernietigd door de overstromingen. Water- en gasvoorziening, rioleringsstelsels en elektriciteit werden op verschillende plaatsen beschadigd en (tijdelijk) onderbroken. In Ahrweiler zaten ongeveer 200.000 huishoudens tijdelijk zonder stroom. Bovendien wordt verwacht dat de afvalwaterzuivering en de gasvoorziening in Ahrweiler nog maanden of zelfs jaren voor problemen zullen zorgen (SWR, 2021). In NRW werden ongeveer 152 scholen, 200 kleuterscholen en dokterspraktijken en 50 apotheken door de overstroming getroffen (General Anzeiger, 2021). In enkele gevallen zijn de schoolgebouwen niet meer bruikbaar (Aachener Zeitung, 2021). Ook de universiteitscampus in Rheinbach kwam onder water te staan, wat leidde tot ernstige structurele schade en verlies van kritieke regelsystemen (verwarming, server, enz.) (Kölnische Rundschau, 2021). Maar ook gebouwen met een historische waarde en betekenis werden getroffen: bijvoorbeeld het historische stadscentrum van Rheinbach en het archief- en museumdepot van het district in Altena liepen onder water (WDR, 2021a).

Afgezien van alle directe schade aan gebouwen, zullen met name in het Ahrdal, de gevolgen van de verwoesting ook op langere termijn merkbaar zijn; tot nu toe was dit een plaats die op het toerisme floreerde. Nu zijn thermale baden volledig verwoest (General Anzeiger, 2021b), maar ook ongeveer 1.100 kleine bedrijven die met het toerisme te maken hebben vrezen voor hun bestaan als gevolg van de opeenvolgende gevolgen van de Corona-verordening en nu de natuurramp. Naar verluidt hebben de meeste van deze bedrijven geen verzekering tegen natuurrampen en geen spaargeld (als gevolg van de Corona-verordening) (WDR, 2021a). Naast alle structurele schade is ook veel mobiel eigendom beschadigd. In het district Ahrweiler is ongeveer 200.000 ton grofvuil weggehaald (stand: 18 Augustus). Verontreiniging als gevolg van de vernietiging van verwarmingssystemen op oliebasis deed zich vooral voor in het Ahrdal (SWR, 2021). In Ophoven, dicht bij de Nederlandse grens, ontstond een dambreuk als gevolg van een verzadigd dijklichaam langs de rivier de Rur (WDR, 2021b). Dit leidde tot de evacuatie van 700 bewoners. Sommige stuwmeren in de Eifel, die worden gebruikt voor overstromingsrisicobeheer, drinkwatervoorziening etc. die zijn ontworpen voor instromingen met een terugkeerperiode van 10.000 jaar ware maximaal gevuld. Vooral het stuwmeer van Steinbach, dat in de loop van de dagen volledig was gevuld. De uitstroom was geblokkeerd door puin. Dit resulteerde in overloop met erosie van de zijkanten tot gevolg (zie foto) (General Anzeiger, 2021c). Op dit

moment bespreken deskundigen de mogelijkheden om het stuwmeer van Steinbach in de toekomst weer in bedrijf te nemen, rekening houdend met de technische haalbaarheid en de vereiste herstelwerkzaamheden.



Figuur 8.4: Lege dam bij Steinbach met zichtbare overstromingsschade. (Genearl Anzeiger, 2021. Foto: dpa/David Young)

De Deutsche Bahn heeft aangegeven dat er schade is over een spoortraject van 600 kilometer. De schade wordt op minimaal 1,3 miljard euro geschat (Spoorpro, 2021; NRC, 2021). 50 bruggen, 40 seinhuizen en 180 overwegen moeten worden hersteld. Verwacht wordt dat aan het eind van het jaar de herstelwerkzaamheden voor 80% zijn afgerond, volledig herstel kan jaren duren. In totaal schat de Vereniging van Duitse vervoersondernemingen dat de schade aan de transport infrastructuur meer dan 2,3 miljard Euro is. Niet alleen de treininfrastructuur, maar ook belangrijke autosnelwegen (b.v.b. A1 en A61) en federale wegen (B236, en B258) liepen ernstige schade op. Infrastructuur is door onderstromen en aardverschuivingen deels beschadigd of volledig vernietigd (WDR, 2021c). Op de volgende plekken waren grote aardverschuiving als gevolg van de hoge rivier afvoeren (zie ook Figuur 8.5):

- **Erfstadt:** Bij Erfstadt is de Erft uit zijn oevers gebarsten. De afvoergolf veroorzaakte een landverschuiving die wegen, huizen en landbouwgrond mee sleurde. De grindmijn is volgestroomd. Fundering van veel huizen is verwoest. Door lekkende olie tanks zijn huizen onbewoonbaar geworden en is het water vervuild.
- **Inde:** Nabij Aachen, bij Tagebau (open bruinkoolwinning) Inden, is de rivier de Inde in het verleden kunstmatig recht getrokken. Tijdens de hevige regenval barste de rivier uit zijn oevers en hernam deze zijn oude loop. De nabij de rivier gelegen open koolmijn overstroomde gedeeltelijk.

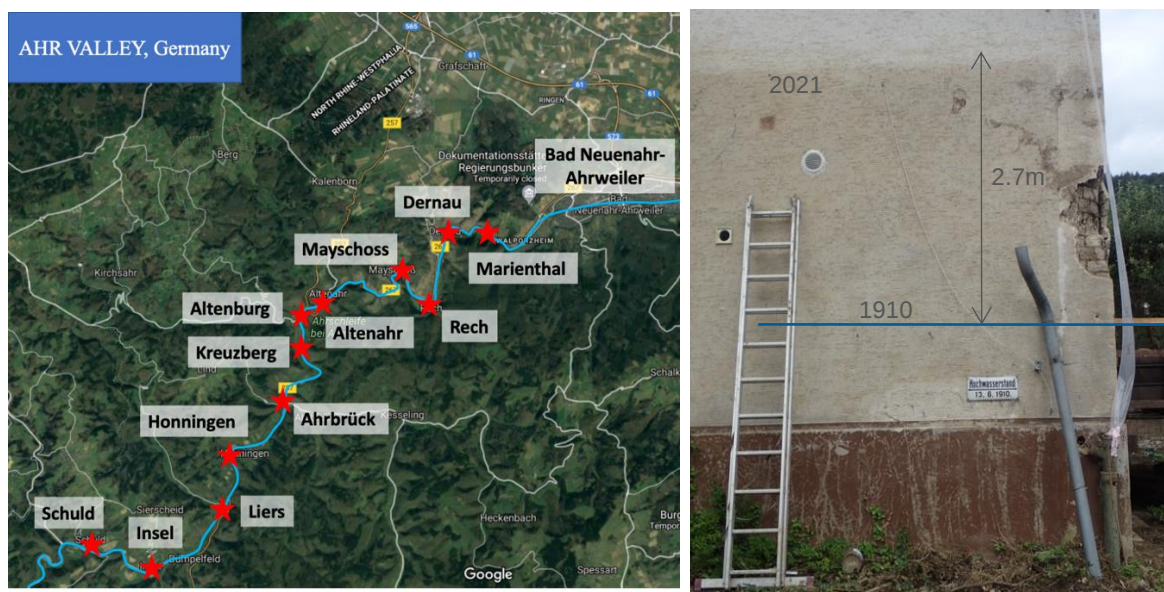


Figuur 8.5: Luchtfoto van de landverschuivingen bij Erfstadt (links [Bron: Regionale overheid Keulen])

8.2.2 Informatie uit veldbezoeken

Voor het Ahr dal is contact geweest met deelnemers van de GEER-missie naar Duitsland die plaatsvond op 11 en 12 Augustus 2021. Daarnaast nam de TU Delft deel aan een missie van de RWTH Aachen geïnitieerd door Prof. H. Schüttrumpf waarbij de schade in het Ahr dal in kaart is gebracht. Onderstaand volgen enkele waarnemingen van deze missie.

Tijdens het veldbezoek met RWTH Aachen bleek dat maar een klein deel van de huizen gedeeltelijk beschadigd was, de meeste huizen waren ofwel volledig verwoest of door een gunstige ligging gespaard gebleven. Schade betreft (1) verzwakte fundering en door de vloedgolf weggespoelde (delen van) huizen, (2) vervuiling van huizen en water door verwoeste olie tanks die gebruikt werden voor de verwarming, de vervuilde huizen zijn onbewoonbaar geworden, (3) overige schade als gevolg van de modderstromen vooral waar deze hoge stroomsnelheden hadden en afvalmaterialen meevoerden.



Figuur 8.6: De bezochte locaties van de door de RWTH Aken geleide missie en vergelijking van de maximale hoogwaterstanden van de overstromingen in 1910 en 2021 in Ahrbrück.



(a) Weg



(b) Spoorweg



(c) Brug



(d) Huizen

Figuur 8.7: Schade aan diverse structuren in de Ahr-vallei.

Tijdens de GEER-missie een maand later waren op de straten de gevolgen van de modderstromen door de dorpen nog goed zichtbaar. Hout, auto's, bouwmaterialen, olie tanks en vele andere materialen zijn meegevoerd en hebben voor schade aan bruggen, gebouwen en wegen gezorgd. De stroomvoorziening is gedeeltelijk hersteld, verwacht wordt echter dat de drinkwater- en gasvoorziening pas begin volgend jaar volledig hersteld is.

8.2.3 Voorspelling en disseminatie

Op 12 juli verspreidde de Deutscher Wetterdienst een waarschuwing voor hevige neerslag - 200 mm in de komende 24 uur. De op Bundesland gemaakte waterstand en afvoer voorspellingen waren goed, op sommige plekken wat lager dan de uiteindelijk opgetreden afvoergolven. Niettemin werd gemeld dat veel inwoners onvoorbereid waren (DIE ZEIT, 2021). In sommige regio's was dit te wijten aan een gebrek aan de vereiste infrastructuur (sirenes werden ontmanteld na de Koude Oorlog), maar andere steden of regio's lieten de sirenes achterwege om een onderbreking van de noodoproepen te voorkomen door een gebrek aan begeleidende informatieverbreiding via radio, tv of mobiele luidsprekers (RP Online, 2021). Ook wordt momenteel juridisch en technisch onderzoek verricht naar mogelijke verbeteringen van het systeem (DIE ZEIT, 2021).¹⁹.

8.3 Luxemburg

Ook in Luxemburg werden enkele regio's en steden door de overstromingen getroffen. Vooral langs de rivieren Our, Ernz, Schwarze Ernz, Eisch, Alzette en Sauer hebben hevige regenval en overstromingen van de rivieren tot overstromingen geleid. In totaal werd binnen 24 uur tussen de 80 en 100 millimeter neerslag gemeten; in Godbringen werd binnen 24 uur het maximum van 105 millimeter regen gemeten (Tageblatt, 2021a). Volgens de ASTA weerdienst werden dergelijke hoge waarden voor het laatst gemeten in 1851 (Meteolux, 2021). Bij 15 meteostations werden de historische hoogste waarden overschreden (Luxemburger Wort, 2021).

8.3.1 Schade

Voorals Diekirch, Ettelbrück en Vianden in het noorden, en langs de Sauer de steden Echternach en Rosport werden door de overstroming getroffen. Vooral de Sauer werd getroffen door grootschalige overstromingen. Hoewel er geen gewonden of doden werden gemeld, vonden er niettemin grootschalige evacuatieplaatsen. Zo werden in de plaatsen Born, Steinheim en Rosport langs de Sauer in totaal 300 mensen geëvacueerd, en Echternach werd volledig ontruimd (Volksfreund, 2021; Le Quotidien, 2021).

Hoewel de huidige cijfers over de geraamde schade nog op zich laten wachten, werd de verzekerde schade onmiddellijk na de overstromingen (19/07/21) geraamd op 150 miljoen euro. De totale schade werd geraamd op honderden miljoenen euro. Volgens deze ramingen overtrof de overstroming van juli 2021 het vorige record dat in 2016 werd gevestigd (Alertex LN 24, 2021). De schade werd vooral veroorzaakt door overstromingen en aardverschuivingen. Deze hebben geleid tot de blokkering van 110 weggedeeltes (Le

¹⁹ https://www.zeit.de/digital/2021-07/warnsysteme-deutschland-hochwasser-cell-broadcast-sirenen-katastrophenschutz-meldeketten-sicherheit?utm_referrer=https%3A%2F%2Fstartpage.com%2F

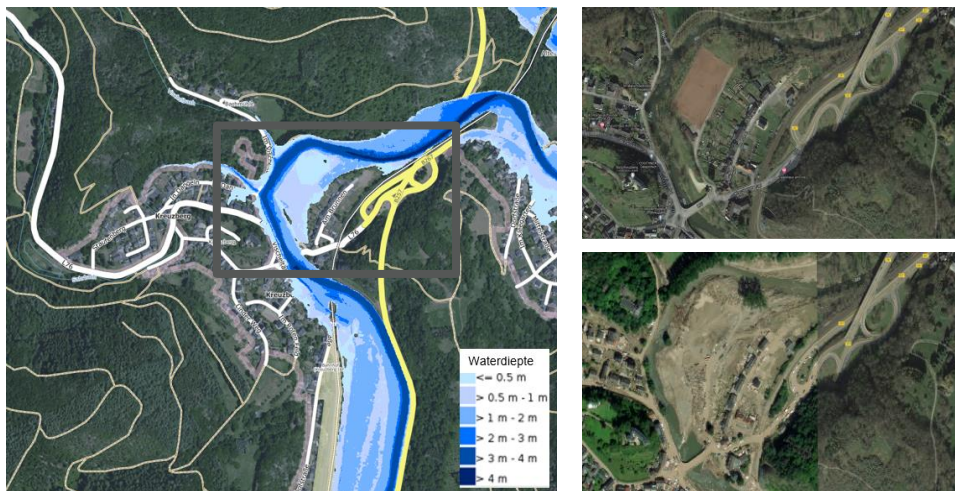
Quotidien, 2021), spoorafsluitingen door onder meer de overstroming van een treintunnel bij Hagondange (Saarlaendischer Rundfunk, 2021), en lichte schade aan 8 bruggen langs de Our, Ernztal en Elsch (Tageblatt, 2021b). Door de overstromingen zaten ook minstens 250 gezinnen korte tijd zonder elektriciteit (L'essentiel, 2021).

8.3.2 Voorspelling en disseminatie

Op 13 juli 2021 omstreeks 07.00 uur plaatselijke tijd werd door MeteoLux voor het gehele land een gele waarschuwing voor neerslag afgegeven. Dit werd 24 uur later veranderd in een oranje waarschuwing. Eveneens op 14 juli, rond 12 uur 's middags, werd door het Waterbeheerbureau een oranje hoogwaterwaarschuwing afgegeven voor het zuiden van het land, die 5 uur later werd opgewaardeerd tot een rode hoogwaterwaarschuwing (MeteoLux, 2021), die ten minste tot vrijdag van kracht bleef (Tageblatt, 2021a). Op basis daarvan heeft de Commissie voor Nationale Veiligheid een crisisteam van de regering geactiveerd, dat op 15 juli 2021 om 00.00 uur plaatselijke tijd bijeenkwam om de verdere maatregelen volgens het bestaande noodplan te coördineren (MeteoLux, 2021). De beslissing om Echternbach te evacueren werd donderdag genomen door het gemeentebestuur en uitgevoerd met de steun van 50 militairen (Le Quotidien, 2021). Ook in Luxemburg is de evaluatie van het gebeurde in volle gang. Er is onder andere al vastgesteld dat de waarschuwingsapp GouvAlert niet werkte zoals bedoeld, omdat de waarschuwing te laat werd verstuurd (Tageblatt, 2021a).

8.4 Vergelijking met overstromingsrisico kaarten EU floods directive

Net als voor Nederland zijn voor zowel Duitsland als België de overstromde gebieden grotendeels te herkennen als gebieden met een grote overstromingskans op de nationale overstromingsrisico kaarten die gemaakt zijn in het kader van de EU Floods Directive. In Figuur 8.8 een voorbeeld voor Altenahr in Duitsland, waarvoor hoge resolutie overstromingsbeelden beschikbaar zijn. Als meer hoge resolutie overstromingskaarten op basis van satelliet en model resultaten beschikbaar komen bieden die de kans om de Flood Directive kaarten te evalueren en te zien of de nu opgetreden overstromingen extremer waren dan wat op de kaarten stond of dat er nog steeds gebieden niet overstroomd zijn.



Figuur 8.8: EU floods directive overstromingsrisico kaart voor Duitsland (gemaakt voor de 1e cyclus). Er is ingezoomd op het zwaar getroffen Altenahr (RLP Umwelt, 2021) gecombineerd met rechts google maps (boven) en hoge resolutie overstromingsbeelden (onder) (MAXAR, 2021).

8.5 Vergelijking Nederland, Duitsland, België, Luxemburg

Tabel 8.1 laat zien dat de gevolgen (schade en slachtoffers) in België en Duitsland extremer zijn dan in Nederland. In onze buurlanden viel de meeste neerslag. De regen viel met name in bergachtig gebied waardoor deze snel tot desastreuze afvoergolven leidde.

Tabel 8.1: Gevolgen (schade en slachtoffers) in Nederland, België, Duitsland en Luxemburg

	NED	BEL	DUI	LUX
Regenval (48u)	> 150 mm, lokaal 182 mm	170 – 190 mm	> 160 mm (tot 224 mm in 24 uur)	105 mm (in 24 uur)
Meest getroffen rivieren en gebieden	Valkenburg, Geul	Pepinster (Verviers), Vesdre	Ahr (Ahrweiler) Erft (Euskirchen)	Sauer
Steilheid rivieren	< 1%	8 – 10% in Wallonië	Gemiddeld 14% in de Ahr	
Overstromings-karakteristieken 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	Snel stromende vloedgolf enkele meters diep, modderstromen over land
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	14 juli 12 uur code oranje 14 juli 17 uur Code rood
Schade (schatting)	300 – 500 miljoen	meer dan 350 miljoen	20 – 30 miljard EUR	honderden miljoenen
Dodelijke slachtoffers	0	Minstens 42	180	0

8.6 Slotopmerkingen

- De gevolgen van de overstromingen verschilden sterk tussen België, Duitsland en Nederland. Om hier van te leren zou het goed zijn gezamenlijk met kennisinstituten in onze buurlanden de rivieren onder de loep te nemen van bron tot monding en te kijken naar de verschillen in meteorologie, hydrologie, rivier systeem, de organisatie van respons maatregelen en de gevolgen. Idealiter leidt dit tot kennis over mogelijkheden om de opgetreden risico's verder te reduceren.
- In Duitsland en België is schade opgetreden en zijn grote aantallen slachtoffers gevallen die we recentelijk in onze omgeving niet meegemaakt hebben. Met nieuw onderzoek naar de oorzaken van deze ramp in onze buurlanden kunnen we onze schade en slachtoffer modellering verbeteren.
- Er wordt in Nederland veel gesproken over bovenstrooms bufferen: wat is er nodig om dit internationaal voor elkaar te krijgen en zijn er grenzen aan deze aanpak?
- We weten nu nog niet hoe de regulering van de stuwdammen in Duitsland en België de situatie in Nederland heeft beïnvloed, dit behoeft verder uitzoekwerk.

- Het overzicht van de in onze buurlanden gemaakte waarschuwingen en voorspellingen van de extreme neerslag en overstromingen is nog niet compleet. Het zou waardevol zijn dat verder uit te werken en te zien hoe de landen van elkaar kunnen leren en of er nog beter informatie over de landsgrenzen gedeeld kan worden.

8.7 Referenties

Aachener Zeitung (2021): https://www.aachener-zeitung.de/nrw-region/liveblog-hochwasser-in-aachen-due-ren-heinsberg_aid-60911979 (accessed: 05/08/21)

Alertex LN 24 (2021): https://www.ln24.be/index.php/2021-07-19/les-assurances-promettent-de-dedommager-rapidement-les-sinistres?__cf_chl_jschl_tk__=pmd_85ViXVXGdhVhJml8xUc_qaq0i6H7_oFwsPehhsp3ht4-1630946575-0-ggNtZGzNAnujcnBszQhl (accessed: 07/09/21)

Brussels Times (2021): <https://www.brusselstimes.com/news/belgium-all-news/177665/leave-if-you-can-mayor-of-liege-seeks-to-evacuate-city/> (accessed: 22/07/21)

DIE ZEIT (2021): https://www.zeit.de/digital/2021-07/warnsysteme-deutschland-hochwasser-cell-broadcast-sirenen-katastrophenschutz-meldekettensicherheit?utm_referrer=https%3A%2F%2Fstartpage.com%2F (accessed: 25/08/21)

Euronews (2021): <https://www.euronews.com/2021/07/20/belgium-reassesses-river-flows-after-deadly-floods> (accessed: 22/07/21)

FAZ (2021a): <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/schaden-fuer-versicherer-folgen-der-flutkatastrophe-wachsen-auf-sieben-milliarden-euro-17500421.html> (accessed: 20/08/21)

FAZ (2021b): <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/schaden-fuer-versicherer-folgen-der-flutkatastrophe-wachsen-auf-sieben-milliarden-euro-17500421.html> (accessed: 28/08/21)

General Anzeiger (2021): https://ga.de/bonn/stadt-bonn/hochwasser-und-starkregen-in-ahrweiler-eifel-rheinbach-swisttal-euskirchen-bonn-liveticker_aid-61306859 (accessed: 20/08/21)

General Anzeiger (2021b): https://ga.de/region/ahr-und-rhein/bad-neuenahr-ahrweiler/ahr-thermen-geschaefsfuehrer-glaubt-nicht-an-rettung-des-bades_aid-62001365 (accessed: 15/08/21)

General Anzeiger (2021c): https://ga.de/region/sieg-und-rhein/mehr-von-sieg-und-rhein/euskirchen-wie-geht-es-mit-der-steinbachtalsperre-weiter_aid-62028369 (accessed: 30/08/21)

Grenzecho (2021): <https://www.grenzecho.net/59213/artikel/2021-07-19/hat-man-der-eupener-wesertalsperre-nicht-rechtzeitig-reagiert> (accessed: 22/07/21)

HYGON (2021): <https://luadb.it.nrw.de/LUA/hygon/pegel.php?karte=nrw> und <https://wasserportal.rlp-umwelt.de/servlet/is/8181/> (accessed: 15/08/21)

Junghänel, T., Bissolli, P., Daßler, J., Fleckenstein, R., Imbery, F., Janssen, W., Kaspar, F., Lengfeld, K., Lepelt, T., Rauthe, M., Rauthe-Schöch, A., Rocek, M., Walawender, E., Weigl, E. (2021) Hydro-klimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet „Bernd“ vom 12. bis 19. Juli 2021. Deutscher Wetter Dienst. Accessed: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721_bericht_starkniederschlaege_tief_bernd.html

Kölnische Rundschau (2021): <https://www.rundschau-online.de/region/rhein-sieg/hochwasser-in-rhein-sieg-antraege-auf-finanzhilfe-koennen-gestellt-werden-38906186> (accessed: 25/08/21)

Kreienkamp, F., Philip, S.Y., Tradowsky, J.S., Kew, S.F., Lorenz, P., Arrighi, J., Belleflamme, A., Bettmann, T., Caluwaerts S., Chan, S.C., Ciavarella, A., De Cruz, L., de Vries, H., Demuth, N., Ferrone, A., Fischer, E.M., Fowler, H.J., Goergen, K., Heinrich, D., Henrichs, Y., Lenderink, G., Kaspar, F., Nilson, E., Otto, F.E.L., Ragone, F., Seneviratne, S.I., Singh, R.K., Skålevåg, A., Termonia, P., Thalheimer, L., van Aalst, M., Van den Bergh, J., Van de Vyver, H., Vannitsem, S., van Oldenborgh, G.J., Van Schaeybroeck, B., Vautard, R., Vonk, D., Wanders, N. (2021) Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021. World Weather Attribution

Le Quotidien (2021): <https://lequotidien.lu/luxembourg/inondations-au-luxembourg-des-communes-sous-leau-les-habitants-evacues/> (accessed: 07/09/21)

L'essentiel (2021): <http://www.lesessentiel.lu/de/luxembourg/story/bettel-spendet-betroffenen-grund-bewohnern-trost-19926666?redirect=tmpl> (accessed: 07/09/21)

Luxemburger Wort (2021): <https://www.wort.lu/de/panorama/der-juli-2021-im-rueckblick-jahrhundert-hochwasser-verdraengt-die-pandemie-60feb82dde135b9236d939df> (accessed: 07/09/21)

MAXAR (2021): <https://www.maxar.com/open-data/western-europe-flooding>

MeteoLux (2021): <https://www.meteolux.lu/de/aktuelles/rueckblick-auf-den-ergiebigen-dauerregen-vom-14-und-15-juli-2021/?recherche=hochwasser%20> (accessed: 07/09/21)

Nieuwsblad.be (2021): https://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20210823_96992617 (accessed: 03/09/21)

NRC (2021): <https://www.nrc.nl/nieuws/2021/07/24/overstromingen-13-miljard-euro-aan-schade-duits-spoor-a4052194> (accessed: 25/08/21)

RLP Umwelt (2021): <https://hochwassermanagement.rlp-umwelt.de/> (accessed: 25/08/21)

RP Online (2021): https://rp-online.de/nrw/panorama/hochwasser-newsblog-thw-beklagt-angriffe-auf-einsatzkraefte_aid-61347335 (accessed: 25/08/21)

Saarlaendischer Rundfunk (2021): https://www.sr.de/sr/home/nachrichten/vis_a_vis/unwetter_luxemburg_frankreich_100.html (accessed: 07/09/21)

Schäfer, A., Mühr, B., Daniell, J., Ehret, U., Ehmele, F., Küpfer, K., Brand, J., Wisotzky, C., Skapski, J., Rentz, L., Mohr, S., Kunz, M. (2021) Hochwasser Mitteleuropa, Juli 2021 (Deutschland) - 21. Juli 2021 – Bericht Nr. 1 „Nordrhein-Westfalen & Rheinland-Pfalz“. Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology. https://www.cedim.kit.edu/download/FDA_HochwasserJuli2021_Bericht1.pdf

Spoorpro (2021): <https://www.spoorpro.nl/spoorbouw/2021/07/24/deutsche-bahn-schat-schade-als-gevolg-van-wateroverlast-op-13-miljard-euro/> (accessed: 25/08/21)

SWR (2021): <https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/live-blog-hochwasser-rlp-100.html> (accessed: 30/08/21)

Tageblatt (2021a): <https://www.tageblatt.lu/non-classe/cgdis-ausgelastet-sintflutartige-regenfaelle-verursachen-ueberschwemmungen-in-ganz-luxemburg/> (accessed: 07/09/21)

Tageblatt (2021b): <https://www.tageblatt.lu/headlines/juli-hochwasser-haben-keine-groesseren-schaeden-an-luxemburgs-bruecken-angerichtet/> (accessed: 07/09/21)

The Dusseldorfer (2021): <https://the-duesseldorfer.de/juli-2021-warum-das-grosse-rheinhochwasser-ausblieb/> (accessed: 30/07/21)

Volksfreund (2021): https://www.volksfreund.de/nachrichten/themen-des-tages/hochwasser-wie-die-luxemburger-mit-der-unwetterlage-kaempfen_aid-61408799 (accessed: 07/09/21)

WDR (2021a): <https://www1.wdr.de/nachrichten/westfalen-lippe/starkregen-unwetter-siegen-sauerland-olpe-100.html> (accessed: 25/08/21)

WDR (2021b): <https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/unwetter-aachen-staedtereion-eifel-heinsberg-100.html> (accessed: 30/08/21)

WDR (2021c): <https://www1.wdr.de/nachrichten/unwetter-sperrungen-autobahnen-bundesstrassen-100.html> (accessed: 15/08/21)

Wikipedia (2021): https://en.wikipedia.org/wiki/2021_European_floods (accessed: 03/09/21)

Wupperverband (2021a): <https://wvver.de/faktencheck-zum-hochwasser/> (accessed: 30/07/21)

Wupperverband (2021b): <https://www.wupperverband.de/meldung/2021/07/rueckhalt-in-talsperren-hat-schlimmeres-verhindert> (accessed: 30/07/21)



9 Slotwoord

Het hoogwater in Limburg betrof een voor Nederland unieke en extreme gebeurtenis. Op veel terreinen – de regenval, afvoer en schade – de grootste overstroming die in het gebied ooit is geregistreerd. Gelet op de snelle doorlooptijd, de capaciteit van het projectteam, en het nog niet beschikbaar zijn van meer gedetailleerde evaluaties en modelstudies wordt benadrukt dat dit een eerste verkenning betreft. Dit impliceert dat lang niet alle relevante feiten en analyses boven tafel zijn gekomen. Vervolgstudies en evaluaties zullen volgen en bijdragen om een totaalbeeld te krijgen van de oorzaken en gevolgen van de overstromingen. Dit rapport bevat daarom ook een aantal aanbevelingen en vervolgvragen. Beantwoording van deze vragen draagt niet alleen bij aan een beter begrip van het de overstromingsproblematiek, maar zal juist ook bijdragen aan het formuleren van strategieën en maatregelen om risico's op een duurzame en toekomstbestendige manier te reduceren en beheersen.

De task force heeft een groot aantal thema's zelfstandig en in hun onderlinge samenhang heeft onderzocht. Een voorbeeld van zo'n samenhang betreft de relatie tussen hoogwater, evacuatie en gezondheidseffecten. Een dergelijke multidisciplinaire samenwerking past ook in het Pandemics and Disaster Preparedness Center (PDPC) – een nieuw nationaal kenniscentrum dat onderzoekt hoe we ons beter kunnen voorbereiden op rampen en pandemieën in de toekomst. Bepaalde vragen en disciplines zijn in deze verkenning nog niet of beperkt aan de orde gekomen, bijvoorbeeld waar het gaat om bestuurlijke en organisatorische vraagstukken, de rol van ruimtelijke planning in het beheersen van risico's, en de implicatie van klimaatverandering voor de toekomstige risico's.

Tegelijk is het ook van belang om kennis en beleidsvragen ook in internationaal verband te adresseren. In onze buurlanden zijn de gevolgen aanmerkelijk groter geweest, mede als gevolg van een hogere regenval en afvoer dan in Nederland en een andere geografie. De vraag is of we dit soort overstromingen, nu of in de toekomst, ook in Nederland kunnen verwachten. Wat zou er zijn gebeurd als de hoeveelheden regen in Duitsland en België in of dichtbij Nederland waren gevallen? Wat was er bijvoorbeeld langs de Geul en in Valkenburg gebeurd als er 20% meer afvoer was geweest? Daarbij zijn juist in deze regio de vraagstukken rondom overstromingen grensoverschrijdend. De stroomgebieden van de rivieren de Maas en de Roer liggen voor een groot deel in onze buurlanden. Daarom moeten in internationaal verband ook de kennisvragen en beheersmaatregelen worden beschouwd.

Op basis van de nu gerapporteerde bevindingen kunnen alle betrokken partijen lessen trekken voor de toekomst en – waar nodig - aanpassingen en verbeteringen doen, bijvoorbeeld aan het riviersysteem, de waterkeringen, ruimtelijke ordening of op organisatorisch vlak. Dat hier voortvarend mee aan de slag dient te worden gegaan behoeft geen nadere toelichting: wateroverlast en hoogwater zullen ons in de toekomst bezig blijven houden, maar mogen ons nooit verrassen door een tekortschieten in lerend vermogen!

Colofon

Projectleiding:	Roelof Moll (TU Delft), Kymo Slager (Deltares), Bas Jonkman (TU Delft)
Review:	Hans Middelkoop (Utrecht University), Frans Klijn (Deltares), Bas Jonkman (TU Delft)
Samenvatting en Summary:	Bas Jonkman (TU Delft), Kymo Slager (Deltares), Roelof Moll (TU Delft)
H1 Inleiding	Bas Jonkman (TU Delft), Roelof Moll (TU Delft), Kymo Slager (Deltares)
H2 Meteorologie en hydrologie	Bart van den Hurk (Deltares), Guus Rongen (TU Delft), Mark Hegnauer (Deltares), Jurjen de Jong (Deltares), Rob Groenland (KNMI), Rinus Scheele (KNMI), Peter Siegmund (KNMI), Henk v.d. Brink (KNMI), Ferdinand Diermanse (Deltares), Sjoukje Philip (KNMI), Jules Beersma (KNMI), Dim Coumou (KNMI) en Nicole Jungermann (KNMI)
H3 Rivierkunde	Bart Strijker (HKV / TU Delft), Nathalie Asselman (Deltares), Jurjen de Jong (Deltares), Hermjan Barneveld (HKV / Wageningen UR), Joost Pol (HKV / TU Delft), Tim van Emmerik (Wageningen UR)
H4 Functioneren waterkeringen	Andre Koelewijn (Deltares), Joost Pol (HKV / TU Delft), Malou van Schaijk (TU Delft), Bas Jonkman (TU Delft)
H5 Schade door overstroming	Matthijs Kok (HKV / TU Delft), Kymo Slager (Deltares), Hans de Moel (VU Amsterdam), Wouter Botzen (VU Amsterdam), Karin de Bruijn (Deltares), Dennis Wagenaar (Nanyang TU), Margreet van Marle (Deltares), Stephan Rikkert (TU Delft), Elco Koks (VU Amsterdam), Kees van Ginkel (VU Amsterdam / Deltares), Laurens Leunge (Deltares)
H6 Gezondheidseffecten	Janko van Beek (Erasmus MC), Anniek de Jong (Deltares), Eline Boelee (Deltares), Astrid Fischer (Evides), Marie-Louise Geurts (WML), Jaap Mos (Dunea), Gert-Jan Geerling (Deltares), Marion Koopmans (Erasmus MC)
H7 Evacuatie en noodmaatregelen	Bas Kolen (HKV / TU Delft), Gerbert Pleijter (HKV), Marion van den Bulk (TU Delft), Hans de Moel (VU Amsterdam)
H8 Internationaal	Frederiek Sperna Weiland (Deltares), Julius Schlumberger (TU

H9 Slotwoord

Delft), Mick van Haren (TU Delft), Davide Wüthrich (TU Delft)
Bas Jonkman (TU Delft), Kymo Slager (Deltares), Roelof Moll
(TU Delft)

Redactie

Eefke Copper (TU Delft), Malou van Schaijk (TU Delft)

Bij diverse hoofdstukken worden ook nog de volgende personen bedankt voor hun specifieke bijdragen.

H3. Rivierkunde

Naast de (co)auteurs worden de volgende bedankt voor hun aanleveringen en bijdragen:

- Erik Mosselman (Deltares) voor de review
- Ron Agtersloot (Agtersloot Hydraulisch Advies) en Rura-Arnhem (Rolf van der Veen) voor het uitvoeren en aanleveren van modelsimulaties van de Maas
- Rick Delbressine (RWS) voor het verifiëren van de overstroomde gebieden op de Maas
- Sabine Bartussek en Helena Pavelkova (beiden Waterschap Limburg) voor het uitvoeren en aanleveren van modelsimulaties van de Geul, Geleenbeek en Roer.
- Uitzoeken van de vloedmerken op de Maas door Anouk Bomers (Universiteit Twente)
- Voor de morfologie: RWS (Roy Frings en Adri Wagener) voor data, analyses en tekstsuggesties en WUR (Romy Lammerts, Anne Fleur van Leeuwen, Floor Hermans, Veerle Beijer, Lotte Braat, Ingeborg Verkleij, Tim Versteeg, Puck van Oorsouw, Ruben Peters, Steven van Ree, Arthur Maas, Diederik van 't Veld, Nard Onderwater) voor veldwerk langs de Maas en eerste uitwerkingen
- Voor plastic: WUR: Yvette Mellink, Rahel Hauk, Louise Schreyers, en RWS: Roy Frings

H4. Functioneren waterkeringen

Naast de (co)auteurs worden Jurjen de Jong (Deltares), Jochem Caspers (HKV), Ron Agtersloot (Agtersloot Hydraulisch Advies) en Rolf van der Veen (Rura-Arnhem) bedankt voor het aanleveren van Figuur 4.1. En Meindert Van (Deltares) voor de review.

H5. Schade door overstrooming

Aan dit hoofdstuk is tevens bijgedragen door:

- Lieven Spits
- William van Ruiten, Joost Sieben, Edo Zaaijer en Nienke Lips (Waterschap Limburg)
- Durk Riedstra en Lisette Goes (Rijkswaterstaat)
- Frank Jansen, Alex Zuiderhoek (KPN)
- Martin Mars (Enexis)
- Renate van Leijen (Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed)
- VodafoneZiggo
- ProRail

H6. Gezondheidseffecten

Wij willen de volgende mensen bedanken voor hun bijdrage aan dit hoofdstuk:

- Martijn Groenendijk (WML Limburgs Drinkwater) en Arnoud Wessel (Evides) voor hun informatie over waterkwaliteit
- Inge Meekes (huisarts), Ybo Schutte (gepensioneerd huisarts) en Linda Zevering (Bedrijfsarts, ZorgvandeZaak) voor hun commentaar op de vragenlijst
- Christian Hoebe (GGD Zuid-Limburg en Universiteit Maastricht), Tanja Dorresteyn en Carla Maessen (beide Veiligheidsregio Limburg Noord) voor het uitzetten van de vragenlijst naar huisartsen;
- Martha Dellar (Deltares) voor het maken van Figuur 6.1
- David van de Vijver (Erasmus MC) voor zijn hulp met de COVID-19 statistiek.

H7. Evacuatie en noodmaatregelen

Onze dank gaat uit naar Nienke Lips, Marieke van Zandvoort en William van Ruiten van de reflectie vanuit waterschap Limburg.

H8. Overstromingen in België, Luxemburg en Duitsland

Naast de (co)auteurs worden de volgende personen bedankt voor hun bijdragen:

- Paul Korswagen (TU Delft) voor het uitgevoerde veldwerk in de Ahr vallei.
- Antonis Mavritsakis (Deltares) voor zijn verslag van de GEER missie naar België
- Laurens Leunge (Deltares) voor zijn verslag van de GEER missie naar Duitsland
- Jeroen Aerts (VU Amsterdam) en Waterschap Limburg voor de review



Lijst Figuren

Figuur 1.1	Algemene tijdslijn met enkele kenmerkende gebeurtenissen tijdens het hoogwater in juli 2021. Dit betreft geen volledig overzicht meer informatie over deze en andere gebeurtenissen is gegeven in de betreffende hoofdstukken	Blz. 17
Figuur 1.2	Overzichtskaart van het Nederlandse traject van de Maas en de stroomgebieden van de Roer, Geleenbeek en Geul	17
Figuur 2.1	Meteorologische situatie op 14 juli 2021, inclusief een indicatie van de aanvoerroute van vochtige lucht in verschillende luchtlagen. Getoond zijn de 700 hPa drukverdeling (contouren) en een momentopname van de neerslagradar om 12 UTC van de achtereenvolgende dagen. “Nabij oppervlak” is de laag onder 900 hPa, terwijl “Midden atmosfeer” de luchtdruk tussen 900 en 700 hPa aangeeft. Resultaten voor alle dagen tussen 11 en 15 juli, en details van de aanvoerbanen van vochtige lucht voor verschillende aanvoerhoogtes staan in Bijlage A.1	21
Figuur 2.2	Dagsom neerslag (mm) voor 13 en 14 juli, afgeleid uit de E-OBS data set. Resultaten voor alle dagen tussen 11 en 15 juli staan in Bijlage A.1.	22
Figuur 2.3	Extreme-waardenverdeling van neerslag in het stroomgebied van de Maas bovenstrooms van Borgharen voor (links) het zomerhalfjaar, en (midden) het kalenderjaar, voor verschillende accumulatie-intervallen (van 1 tot 7 dagen) op basis van E-OBS data. Getrokken lijnen en symbolen tonen de waarnemingen; de rechte gestippelde lijnen tonen de Gumbel-verdelingen. Rechts de gebieden waarvoor herhalingstijden zijn gerapporteerd in Tabel 2.1.	23
Figuur 2.4	Evaluatie van de voorspelde neerslag en piekafvoer voor het Maasstroomgebied bovenstrooms van Borgharen. Op elke rij is een nieuwe voorspelling weergegeven met intervallen van 12 uur (bovenste rij: initialisatie op 10 juli 5:00 lokale tijd; onderste rij 15 juli 17:00 lokale tijd). Waargenomen neerslag per uur (linker kolom), cumulatieve neerslag (midden kolom) en afvoer bij Borgharen (rechter kolom) zijn weergegeven met zwarte stippellijnen; voorspellingen aangevuld met waarnemingen voor de periode voorafgaand aan de voorspelling zijn gekleurde vlakken. Voorspellingen zijn geproduceerd met het RWSoS systeem met COSMO-EU meteorologische en Delft-FEWS hydrologische verwachtingen, en geïnitieerd op het moment aangegeven door de verticale rode stippellijn.	25
Figuur 2.5	Extreme waarden verdeling voor de piekafvoer van de Maas bij Borgharen Dorp, bepaald met een Generalized Extreme Value (GEV) verdeling (links), een Gumbelverdeling (midden) en het GRADE instrumentarium (rechts) op basis van de maximale afvoer in een kalenderjaar (bovenste rij) en het zomerhalfjaar (onderste rij). De kleurarcering geeft het betrouwbaarheidsinterval van de extreme waarde verdelingen weer (2.5-97.5% en 25-75%), en de histogrammen de kansverdeling van de herhalingstijd van de 2021 piekafvoer (zie tekst). De beste schatting van de herhalingstijd is weergegeven in elk panel.	27

Figuur 2.6	Herhalingstijd van de gemeten piekafvoer voor de verschillende stroomgebieden voor (links) het gehele kalenderjaar en (rechts) het zomerhalfjaar met een Gumbel-verdeling (zie ook Bijlage A.2). In grijs gekleurde gebieden is de herhalingstijd niet te bepalen door onvolkomenheden in afvoermetingen.	28
Figuur 2.7	Verdeling van de berekende piekafvoer bij Borgharen over de jaarkalender op basis van 50.000 jaar GRADE berekeningen voor het huidige klimaat. De zwarte stippellijn geeft bij benadering de gemeten afvoer op 15 juli 2021 weer. De histogrammen aan de bovenzijde tonen het aantal keer dat deze afvoer wordt overschreden.	29
Figuur 3.1	Moment en hoogte van de topwaterstand op de Geul, Geleenbeek en Roer. De stations behorend bij de nummers zijn terug te vinden in Bijlage B2.1. De zwarte punten geven het moment en de hoogte van de waterstand bij het meetstation in de Maas nabij de uitmonding van de zijrivier in de Maas.	35
Figuur 3.2	Overstroomde gebieden ter hoogte van de monding van de Geul in de Maas.	36
Figuur 3.3	Getroffen en overstroomde gebieden: 'Bunde, Brommelen en Westbroek' en 'Valkenburg'.	36
Figuur 3.4	Vergelijking van de afvoergolf met de hoogwaters van 1993 en 1995 (links). En na normalisering (rechts) ook met de golfvormen gemiddeld (50% percentiel), spits (2.5% percentiel) en stomp (97.5% percentiel) uit het project GRADE (Hegnauer et al, 2014).	38
Figuur 3.5	Overschrijdingsfrequenties van maximaal opgetreden waterstanden langs de Maas (uitgangspunten: huidig klimaat en WBI2017-database). Bij de kansbepaling is geen rekening gehouden met kennisonzekerheden (statistische- en modelonzekerheden).	40
Figuur 3.6	Bodemhoogte erosiekuil bij Berg (bron: RWS CIV). Paars is lage bodem, rood hoog. Water stroomt van links naar rechts.	43
Figuur 3.7	A. Maandelijks gemeten plastictransport in de Maas, B. gemiddeld transport tijdens normale omstandigheden, tijdens de hoogwatergolf in februari en tijdens de hoogwatergolf in juli, C. plastictransport in Maastricht tijdens de hoogwatergolf.	46
Figuur 4.1	Overzicht van locaties bij waterkeringen waar actie is ondernomen vanwege het hoogwater. De nummers verwijzen naar de paragrafen in dit hoofdstuk of de bijlage met aanvullende beschrijvingen met betrekking tot de waterkeringen. N.B. Het aanbrengen van tijdelijke schotbalken, sluiten van coupures en dergelijke maatregelen is niet in dit overzicht opgenomen, omdat deze onderdeel vormen van de hoogwaterkering (deze zijn bij laagwater alleen afwezig). Ook zijn niet alle noodmaatregelen die door bewoners getroffen zijn in de kaart opgenomen, omdat deze informatie op dit moment niet beschikbaar is.	53
Figuur 4.2	Verschillen tussen kruinhoogte afgeleid uit AHN3 en gemodelleerde waterstanden voor alle dijktrajecten langs de Maas tussen de Nederlandse grens en Gennep.	54

Figuur 4.3	Situatie bij Bunde, met achtereenvolgens voorafgaand aan effectieve maatregelen (foto Bertram de Rooij, WUR/Brandweer Gelderland Midden), gestabiliseerde wel (foto Hoite Detmar, Rijkswaterstaat), wel met afmetingen na droogvallen, de betonnen duiker waar het water uit kwam (foto Anton van der Meer, Deltares).	55
Figuur 4.4	Situatieschets rond brug Bunde.	56
Figuur 4.5	Links: zandmeevoerende wel bij de St. Annakapel na het hoogwater. Het afgezette zand is relatief fijn. Rechts: maaiveldniveau in de omgeving van de wel (AHN3), de dijken zijn aangegeven met een groene lijn – de dijk nabij de wel loopt van de linker-rand iets onder het midden naar de rechterbovenhoek en de andere dijk ligt in de rechteronderhoek.	57
Figuur 4.6	Linksboven: Hockeyvelden Concordia: plaatselijk verlaagde kruin bij eerste overlooplocatie, situatie voor de overstroming (AHN3), Rechtsboven: luchtfoto zaterdag 17 juli 11:15 – de dijk met bres ligt vlak achter het clubgebouw en de blauwe container tussen de bomen, Linksonder: situatie bij terugstromen met vooraan de uitgeschuurde locatie van de lagere kruin en daarachter de breslocatie (foto David Knops, HKV), Midden onder: gedichte bres, Rechtsonder: gaten in dijktafud op circa 100 m vanaf de breslocatie.	58
Figuur 4.7	Keersluis Roer, met achtereenvolgens afgezet zand en grind bij de eerste zandzakken (foto Guido van Rinsum, Witteveen+Bos), opkisting op 17 juli om 4:30 uur (foto Guido van Rinsum, Witteveen+Bos), opkisting op 17 juli rond 20:00 uur (foto Guido van Rinsum, Witteveen+Bos), de slechte aansluiting van de sluisconstructie op de bovenkant van de damwand aan de hoogwaterzijde.	59
Figuur 4.8	Stuw bij Bosscherveld: noodreparatie met assistentie van het leger (foto Wilbur van Beijnen, Rijkswaterstaat), overzicht kering na reparatie (vloedmerken nog zichtbaar bij de begroeiing op de achtergrond), detail verankering stalen rand.	60
Figuur 5.1	Eerste schattingen van fysieke schade plus bedrijfsuitvalschade voor de verschillende gebieden. In het totaalplaatje is een schatting van schade van woningen onderaan hellende gebieden verspreid door Limburg en schade langs de Geleenbeek met een bandbreedte toegevoegd.	71
Figuur 6.1	Resultaten vragenlijst (30/08/21, n=47): toename van gezondheidsklachten na de overstroming	79
Figuur 6.2	De spaarbekken Berenplaat (Evides) op 21 juli 2021. Fotograaf: Lianne Dijkhuizen.	82
Figuur 6.3	Aantal gedetecteerde SARS-CoV-2 gevallen per dag van 28-6-2021 t/m 1-8-2021 in Noord- en Zuid-Limburg.	84
Figuur 6.4	COVID-19 risk ratio (rondjes) per provincie en gemeente in Limburg en 95% betrouwbaarheidsintervallen (streepjes).	85
Figuur 7.1	Waarschuwing en advies voor gedrag op 14 juli 22:30	91

Figuur 7.2	Gebieden waar noodverordeningen zijn afgegeven voor evacuatie en ramptoeisme (rood). In blauw zijn de contouren van het overstroomd gebied opgenomen.	94
Figuur 7.3	Evacuatiegebied Bunde, Brommelen en Westbroek (Meervandaag, 2021)	95
Figuur 7.4	Tijdslijn evacuatie	97
Figuur 7.5	Demontabele kering bij Steyl (tijdens oefening)	104
Figuur 7.6	Plaatsen van zandzakken bij Velden	107
Figuur 8.1	Overzichtskaart van getroffen dorpen in Duitsland, België en Luxemburg	113
Figuur 8.2	2-daagse neerslag som (13 July 00:00 UTC - 15 July 2021, 00:00 UTC) en dag som voor de twee dagen met extreme neerslag. De figuur is gebaseerd op de E-OBS dataset aangevuld met lokale datasets (Kreienkamp et al., 2021).	114
Figuur 8.3	Schade aan wegen en gebouwen in Pepinster (Bron: Deltares collega's, genomen tijdens GEER-missie.)	116
Figuur 8.4	Lege dam bij Steinbach met zichtbare overstromingsschade. (Genearl Anzeiger, 2021. Foto: dpa/David Young)	119
Figuur 8.5	Luchtfoto van de landverschuivingen bij Erfstadt (links [Bron: Regionale overheid Keulen])	120
Figuur 8.6	De bezochte locaties van de door de RWTH Aken geleide missie en vergelijking van de maximale hoogwaterstanden van de overstromingen in 1910 en 2021 in Ahrbrück.	121
Figuur 8.7	Schade aan diverse structuren in de Ahr-vallei.	122
Figuur 8.8	EU floods directive overstromingsrisico kaart voor Duitsland (gemaakt voor de 1 ^e cyclus). Er is ingezoomd op het zwaar getroffen Altenahr (RLP Umwelt, 2021) gecombineerd met rechts google maps (boven) en hoge resolutie overstromingsbeelden (onder) (MAXAR, 2021).	125

Lijst Tabellen

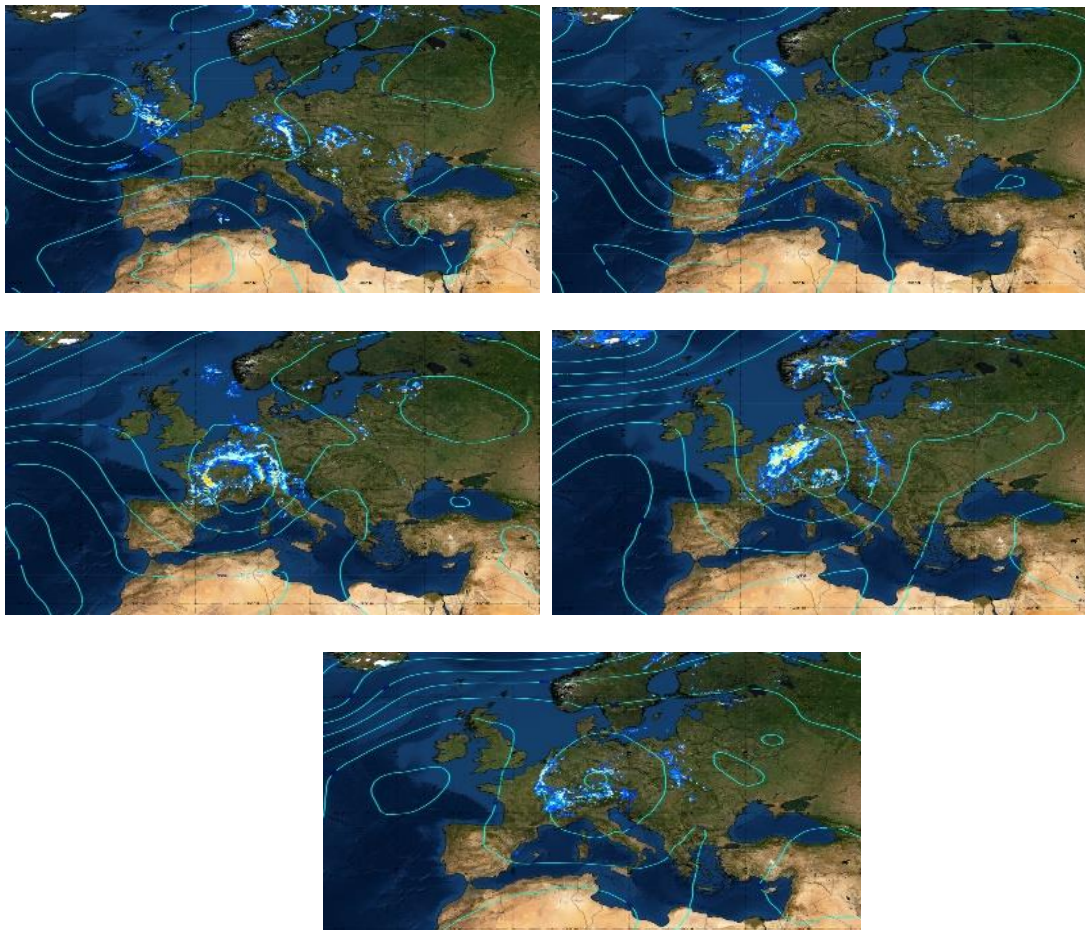
Tabel 2.1	Herhalingstijden (jaar) van opgetreden 48-uurs som neerslag in aangegeven stroomgebieden van Figuur 2.3, berekend voor het zomerhalfjaar en het kalenderjaar. Herhalingstijden zijn berekend met een Gumbelverdeling op basis van de E-OBS dataset. Berekende resultaten zijn afgerond.	Blz. 23
Tabel 2.2	Samenvatting van de hoofdconclusies van de WWA klimaat-attributie studie. De weergegeven getallen geven een bandbreedte van de fractie waarmee klimaatverandering de kans op de opgetreden zomerneerslag heeft beïnvloed (de kansverhouding). Resultaten zijn gegeven voor de 24- en 48-uurs som in het zomerhalfjaar zoals waargenomen in het betreffende gebied. De "synthese" betreft een uitspraak op basis van de combinatie van waarnemingen en model-resultaten, terwijl "projecties" gebaseerd is op modelprojecties voor toekomstige veranderingen. Zie referentie 1	30
Tabel 3.1	Maximale waterstanden voor enkele meetstations langs de Maas voor verschillende hoogwaters. In 1926 waren minder meetlocaties ingericht dan vandaag de dag, waardoor bij enkele stations de maximale waterstand mist. De piekafvoer van 1993 en 1995 is bij Borgharen, en van 2021 is de huidige inschatting bij St. Pieter.	39
Tabel 5.1	Indeling van gevolgen van overstroming.	65
Tabel 5.2	Schade als gevolg van overstromingen langs de Maas in 1993 en 1995 (10 ⁶ gulden en 10 ⁶ euro 2021).	67
Tabel 5.3	Aantal getroffen inwoners, objecten en instellingen in overstroomd gebied.	68
Tabel 7.1	Overzicht met evacuaties	96
Tabel 8.1	Gevolgen (schade en slachtoffers) in Nederland, België, Duitsland en Luxemburg	126



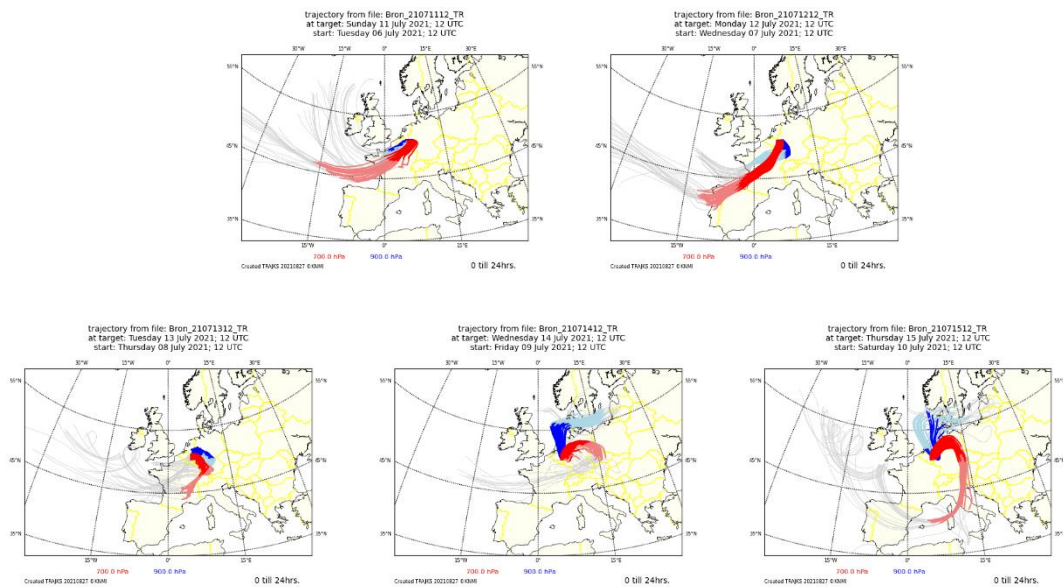
Bijlagen

Bijlagen bij hoofdstuk 2

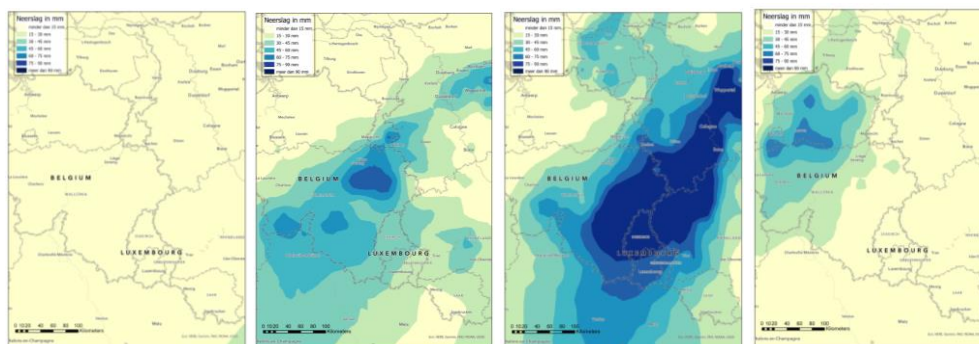
A.1 Ontwikkeling van meteorologische situatie in beeld



Figuur A.1.1: Ontwikkeling van de meteorologische situatie tussen 11 en 15 juli 2021. Getoond zijn de 700 hPa drukverdeling (contouren) en een momentopname van de neerslagradar om 12 UTC van de achtereenvolgende dagen. Drukverdeling is verkregen van ERA5 reanalysis.



Figuur A.1.2: Aanvoerbanen van luchtmassa's die op de achtereenvolgende dagen tussen 11 en 15 juli om 12 UTC arriveerden in het doelgebied. Blauwe lijnen geven de aanvoer van lucht laag in de atmosfeer (900 hPa) aan, rode lijnen geven de aanvoer voor de middenlaag (700 hPa) aan. Donkere kleurtonen geven de aanvoerbanen voor 0-24 uur voorafgaand aan het eindpunt, lichtere tonen 24-48 uur, en grijze lijnen de aanvoerbanen tot 5 dagen terug. Aanvoerbanen zijn berekend op basis van ECMWF analyses.



Figuur A.1.3: Dagsom neerslag (mm) voor achtereenvolgende dagen tussen 12 en 15 juli, afgeleid uit de E-OBS data set.

A.2 Herhalingstijden van piekafvoer voor stroomgebieden volgens verschillende methoden

Tabel A.2.1: Terugkeertijd van de juli 2021 afvoer per stroomgebied. De tabel onderscheidt de drie modellen, en de jaarperiode en zomerhalfjaarperiode. De laatste kolom geeft de bron van de gemeten afvoer aan voor het betreffende stroomgebied

		GEV	Gumbel	GRADE	bron
Ambleve, Martinrive	Jaarlijks	40	580	>100000	1)
	Zomer	150	93000	>100000	
Franse Maas, Chooz	Jaarlijks	1,6	1,4	1,7	1)
	Zomer	24	47	75	
Geul, Meerssen	Jaarlijks	44	33		FEWS-Limburg
	Zomer	67	93		
Klein Ourthe, Tabreux	Jaarlijks	31	150	51000	1)
	Zomer	97	14000	>100000	
Lesse, Gendron	Jaarlijks	79	1300	>100000	1)
	Zomer	160	>100000	>100000	
Roer, Stah	Jaarlijks	270	740		FEWS-Limburg 2021: gecorrigeerd door handmeting waterschap
	Zomer	180	44000		
Semois, Membre	Jaarlijks	0,67	0,64		1)
	Zomer	15	18		
Maas, Borgharen	Jaarlijks	120	91	160	RWSOS (Rijkswaterstaat Operationele Systemen)
	Zomer	610	11000	>100000	
Sambre, Salzinnes	Jaarlijks	13	22		1)
	Zomer	22	140		
Vesdre, Chaudfontaine	Jaarlijks	250	>100000	>100000	Historisch: voies- hydrauliques.wallonie.be 2021: Piek ontbrak. Aangevuld met schatting obv RWSOS
	Zomer	66	>100000	>100000	

1): Historisch en 2021: voies-hydrauliques.wallonie.be

Bijlagen bij hoofdstuk 3

B.1 Hydraulica Maas

B.1.1 Maximale waterstanden

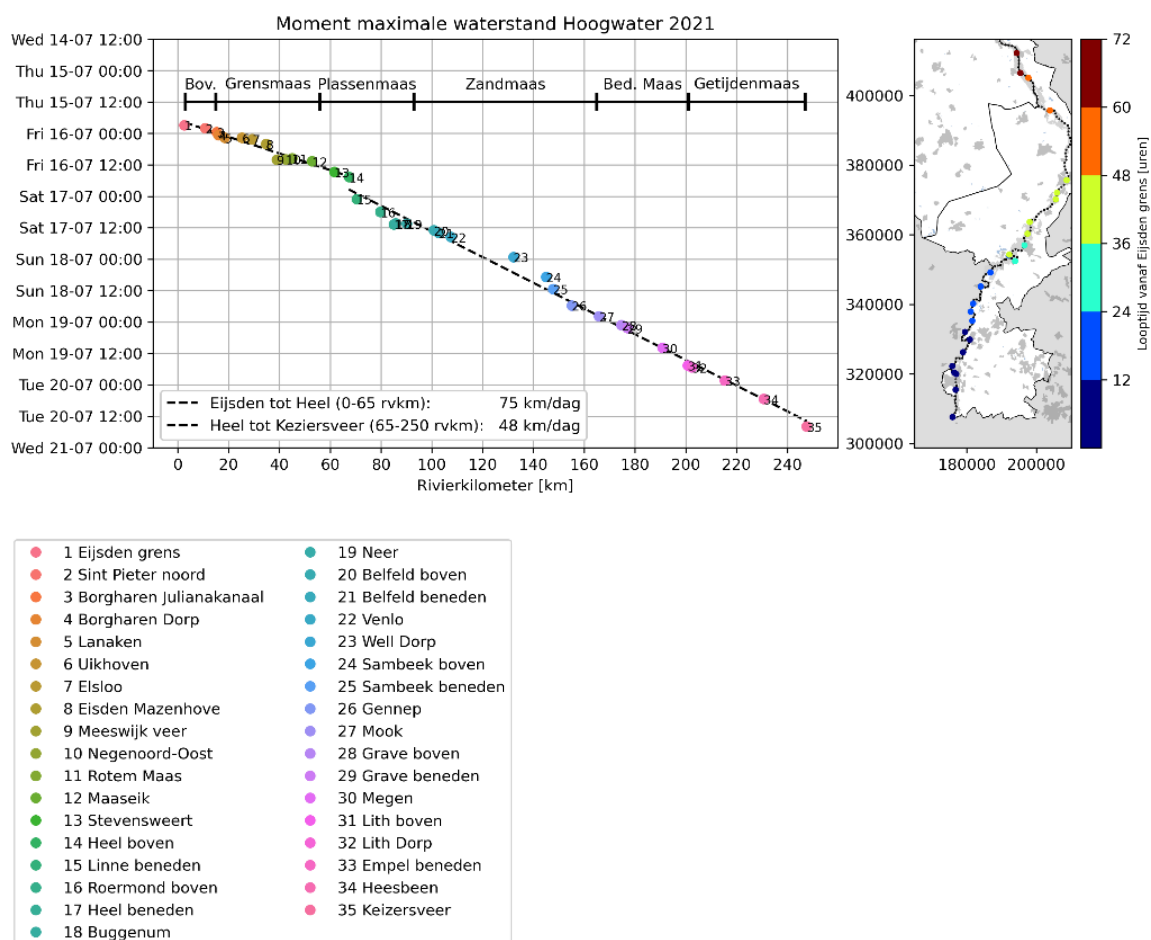
Data verkregen van Waterinfo, waarbij de hoogte en tijden van de maximum waterstand zijn bepaald op basis van de 10-minuten-tijdreeksen van gemeten waterstanden. Naast de datum-tijd van de maximale waterstand is in de tabel ook aangegeven over welke periode de waterstand slechts 5, 10 of 20 cm onder dit maximum zat. Ten behoeve van het beknopt houden van de tabel zijn voor deze periode slechts de tijdstippen aangegeven en niet de duur in minuten of uren. Alle tijden zijn gegeven in zomertijd (MEZT, UTC+2).

Tabel B1.1.1

	Maximum (m+NAP)	Tijd maximum	Periode max-0.05m	Periode max-0.10m	Periode max-0.20m
Eijsden grens	50.64	2021-07-15 21:50:00	20:30 - 02:00	17:40 - 07:10	14:30 - 14:20
Sint Pieter Noord	48.12	2021-07-15 22:20:00	20:50 - 03:20	18:30 - 09:00	15:40 - 15:30
Borgharen Julianakanaal	46.09	2021-07-15 23:40:00	21:10 - 05:00	17:40 - 12:40	13:30 - 20:50
Borgharen Dorp	45.23	2021-07-16 01:20:00	23:20 - 05:40	19:40 - 11:00	16:30 - 17:30
Lanaken	44.56	2021-07-16 02:00:00	23:50 - 06:50	19:50 - 12:50	15:30 - 20:10
Uikhoven	42.61	2021-07-16 03:20:00	00:40 - 06:50	20:10 - 13:00	16:20 - 20:30
Elsloo	40.95	2021-07-16 02:30:00	00:10 - 07:20	19:40 - 13:30	16:10 - 20:50
Eisden Mazenhove	37.77	2021-07-16 05:40:00	03:10 - 08:30	00:30 - 13:00	21:30 - 18:20
Meeswijk veer	34.05	2021-07-16 11:30:00	05:50 - 13:00	03:20 - 19:40	22:40 - 01:50
Negenoord-Oost	32.81	2021-07-16 10:10:00	08:20 - 13:40	04:30 - 20:40	23:40 - 02:30
Rotem Maas	32.42	2021-07-16 10:10:00	08:10 - 15:20	05:00 - 21:20	02:10 - 02:50
Maaseik	30.17	2021-07-16 11:10:00	08:40 - 16:30	05:40 - 22:50	02:10 - 04:30
Herenlaak	27.01	2021-07-16 13:10:00	11:00 - 19:40	07:30 - 00:40	03:00 - 07:50
Stevensweert	25.57	2021-07-16 15:40:00	11:40 - 21:20	07:10 - 03:50	00:20 - 11:50
Spaanjerd	25.14	2021-07-16 13:50:00	11:10 - 22:30	06:20 - 06:00	23:40 - 15:30
Heel boven	22.78	2021-07-16 15:40:00	13:20 - 02:50	09:30 - 09:10	04:10 - 17:20
Linne beneden	21.88	2021-07-17 01:10:00	21:00 - 06:30	15:00 - 12:10	09:50 - 20:00
Roermond boven	20.68	2021-07-17 06:10:00	03:20 - 14:10	22:50 - 20:00	18:00 - 02:40
Heel beneden	20.49	2021-07-17 11:30:00	04:10 - 16:30	23:50 - 21:00	19:10 - 03:10
Buggenum	20.30	2021-07-17 12:30:00	05:30 - 16:10	00:30 - 21:40	19:40 - 04:00

Neer	20.10	2021-07-17 08:30:00	05:30 - 17:00	01:00 - 22:00	20:10 - 04:30
Belfeld boven	18.89	2021-07-17 13:10:00	09:30 - 19:20	04:20 - 01:20	22:50 - 08:10
Belfeld beneden	18.45	2021-07-17 14:30:00	11:50 - 19:40	06:00 - 01:40	00:50 - 08:40
Venlo	18.01	2021-07-17 15:40:00	11:30 - 21:30	05:40 - 03:30	00:10 - 11:10
Well Dorp	15.48	2021-07-17 23:20:00	18:30 - 06:50	11:50 - 14:50	04:30 - 01:40
Sambeek boven	13.77	2021-07-18 08:50:00	03:00 - 17:50	19:40 - 02:30	12:10 - 14:00
Sambeek beneden	13.33	2021-07-18 11:30:00	06:20 - 19:50	00:00 - 04:30	15:50 - 14:50
Gennep	12.34	2021-07-18 17:30:00	12:30 - 01:10	04:30 - 09:20	21:20 - 19:50
Mook	10.78	2021-07-18 21:00:00	16:20 - 07:10	10:50 - 14:30	01:50 - 00:10
Grave boven	9.95	2021-07-19 01:30:00	18:00 - 10:00	12:30 - 18:50	03:20 - 04:50
Grave beneden	9.47	2021-07-19 02:30:00	22:30 - 11:10	15:40 - 19:10	07:00 - 05:10
Megen	7.63	2021-07-19 07:30:00	04:20 - 18:40	20:50 - 03:50	09:10 - 15:10
Lith boven	5.97	2021-07-19 15:00:00	10:30 - 02:40	01:40 - 12:30	14:40 - 00:00
Lith Dorp	5.79	2021-07-19 17:00:00	11:30 - 03:50	03:10 - 14:00	15:40 - 01:30
Empel beneden	4.86	2021-07-19 23:10:00	16:50 - 08:20	08:00 - 18:30	21:20 - 05:40
Heesbeen	3.27	2021-07-20 05:30:00	02:20 - 12:10	13:50 - 00:50	22:20 - 13:30
Keizersveer	1.54	2021-07-20 16:40:00	03:10 - 05:20	02:30 - 19:30	23:20 - 00:00

Tabel B.1.1 geeft aan wanneer de maximale waterstanden bereikt werden bij 35 LMW-metstations langs de Maas. De piek van de afvoergolf passeert Luik op 15 juli om 20:00 uur. Twee uur later (om 22:00 uur) bereikt de afvoerpiek de Nederlandse grens te Eijsden. Op 16 juli om 03:20 uur is de piek bij Uikhoven. De piekafvoer uit de Geul heeft al eerder plaatsgevonden, maar de afvoer uit de Geul is dan nog steeds hoog. Het moment van de afvoerpiek op de Maas wordt niet beïnvloed door de afvoerpiek op de Geul. Hetzelfde geldt voor de Geleenbeek, die rond rkm 55 samenvalt met de "Oude Maas" stroombaan van de Maas en via de Molenplas uiteindelijk uitmondt in de Maas bij rkm 65. De waterstandspiek bereikt het einde van de Grensmaas (Stevensweert) op 16 juli 15:40 (loopsnelheid van circa 75 km/dag). Doordat de Plassenmaas veel water kan bergen, wordt de afvoergolf vertraagd. Pas op 17 juli om 06:10 uur wordt de piek bij Roermond bereikt. Dit is een paar uur voordat de afvoerpiek van de Roer uitmondt in de Maas (rond 11:00). Op de Zandmaas is de looptijd van de Maas langzamer (48 km/dag). De waterstandspiek bereikt Venlo om 15:40; Gennep op 18 juli om 17:30 uur en Grave op 19 juli om 01:30 uur.

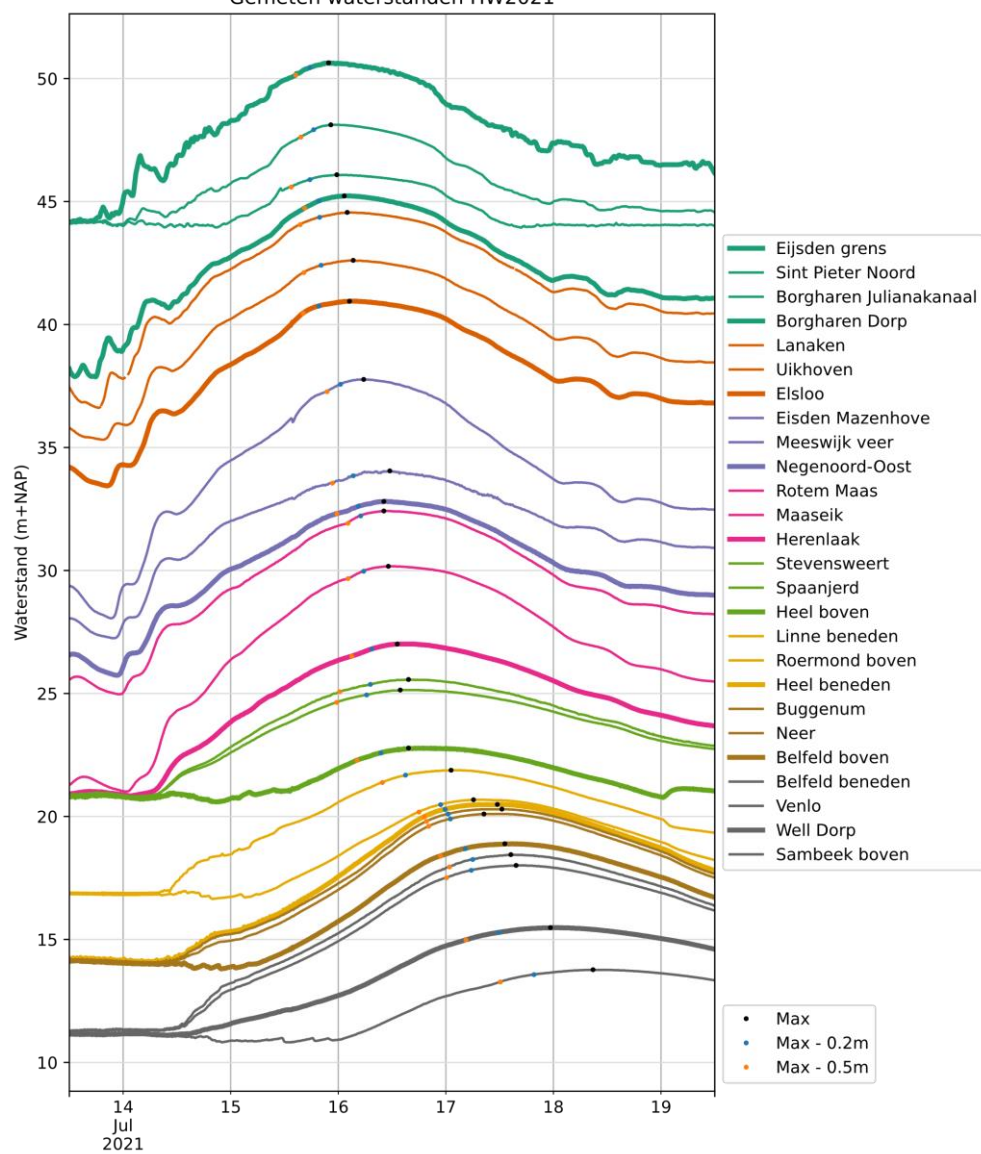


Figuur B.1.1.2: Moment van optreden van de maximale waterstand

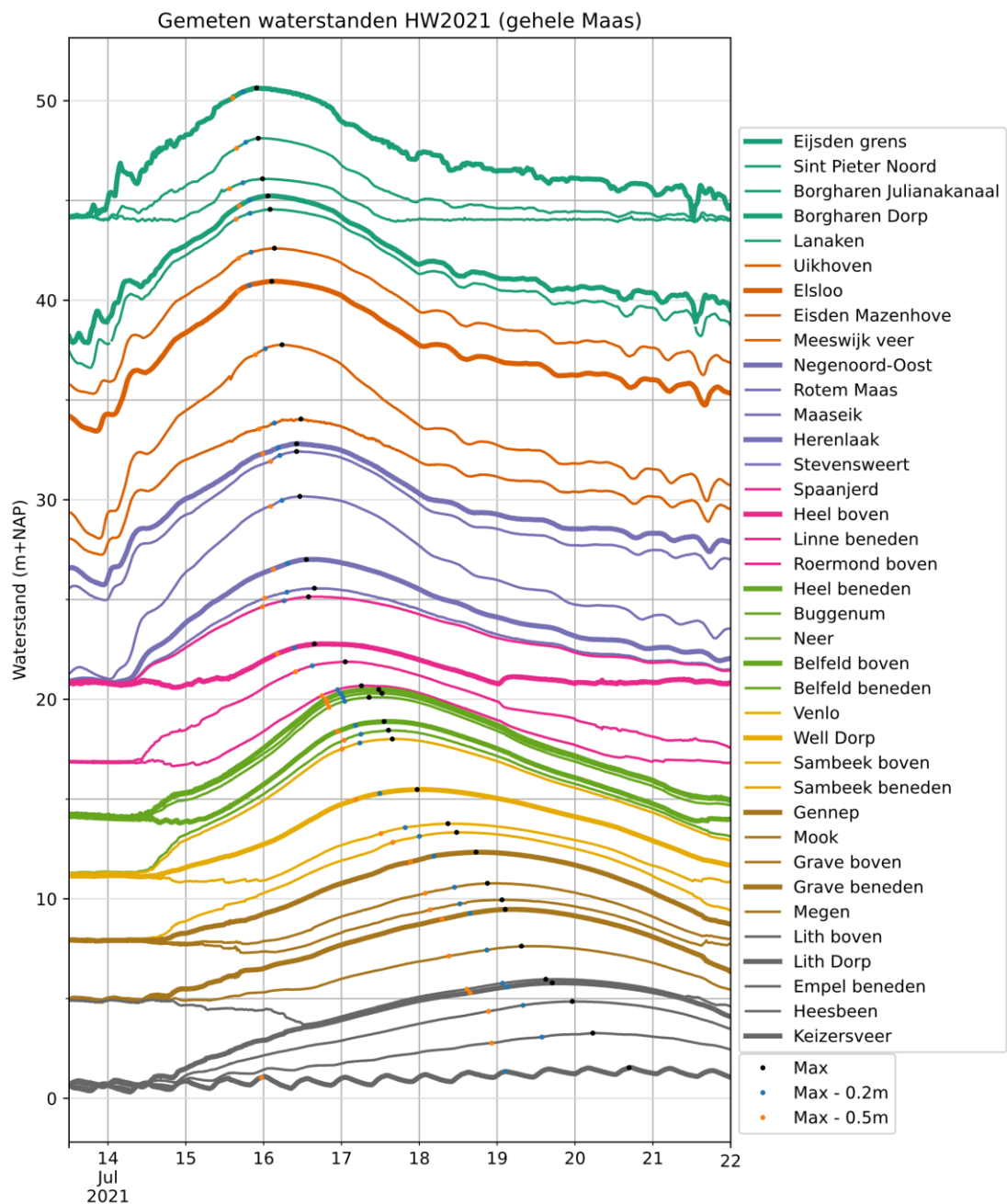
Ten gevolge van de hoge waterstanden langs de Maas zijn veel regionale keringen gesloten: de keersluizen Heumen (Julianakanaal), Limmel (Maas-Waalkanaal), Cuyk (Kraaijenbergse Plassen), en Mook (Mookerplas). De Kromme Nolkering (Heusdens Kanaal / Afgedamde Maas) is niet gesloten omdat het sluitpeil (3.42 m+NAP) bij Heesbeen niet is overschreden (3.27 m+NAP)

B.1.2 Gemeten waterstanden in de tijd

Gemeten waterstanden HW2021



Figuur B.1.2.1: Gemeten waterstanden van het LMW-meetnet van Rijkswaterstaat voor het traject Eijsden tot Sambeek boven.



Figuur B.1.2.2: Gemeten waterstanden van het LMW-meetnet van Rijkswaterstaat voor de gehele Maas.

B.1.3 Vergelijking met historische hoogwaters

Tabel B.1.3.1

RKM	Naam	HW1993	HW1995	HW2021
2.6	Eijsden grens	50.45	50.16	50.64
10.8	Sint Pieter Noord	47.72	47.66	48.12
15.2	Borgharen Julianakanaal	46.42	46.27	46.09
16.0	Borgharen Dorp	45.90	45.71	45.23
18.3	Lanaken	44.97	44.79	44.56
24.8	Uikhoven			42.61
29.3 ²	Elsloo	40.50	40.23	40.95
34.8	Eisden Mazenhove			37.77
38.9	Meeswijk veer			34.05
42.5	Negenoord-Oost			32.81
43.9	Dilsen stokkem	32.95	32.92	
44.0	Rotem Maas			32.42
44.9	Grevenbicht	32.80	32.73	
52.7	Maaseik	29.50	29.44	30.17
55.0	Herenlaak			27.01
60.4	Spaanjerd			25.14
61.6	Stevensweert	25.36	25.30	
67.9	Heel boven	22.81	22.69	22.78
70.3	Linne beneden ¹	21.05	21.08	21.88
79.7 ²	Roermond boven ¹	20.60	20.79	20.68
80.3	Heel beneden	20.53	20.59	20.49
85.8	Buggenum			20.30
90.1	Neer			20.10
94.9	Kessel ¹	19.66	19.74	
100.7	Belfeld boven	19.13	19.16	18.89
102.7 ²	Belfeld beneden ¹	19.00	19.04	18.45
107.5 ²	Venlo	18.35	18.46	18.01
120.5	Arcen ¹	15.80	16.93	
132.1	Well Dorp	15.34	15.43	15.48

144.9	Sambeek boven	13.90	14.02	13.77
147.7 ²	Sambeek beneden	13.72	13.92	13.33
155.1	Gennep ¹	12.95	13.22	12.34
165.8	Mook			10.78
174.7 ²	Grave boven ¹	10.51	10.65	9.95
177.0 ²	Grave beneden	10.39	10.58	9.47
190.7	Megen	8.30	8.48	7.63
200.7 ²	Lith boven	6.54	6.81	5.97
202.4	Lith Dorp	6.32	6.54	5.79
215.4	Empel beneden			4.86
230.6	Heesbeen	3.26	3.71	3.27
247.6	Keizersveer	2.28	2.21	1.54

¹ Deze stations werden tijdens hoogwater 1993 en 1995 slechts elke 8 uur gemeten.

² Deze stations zijn tussen 1993 en 2021 maximaal 700 m verplaatst.

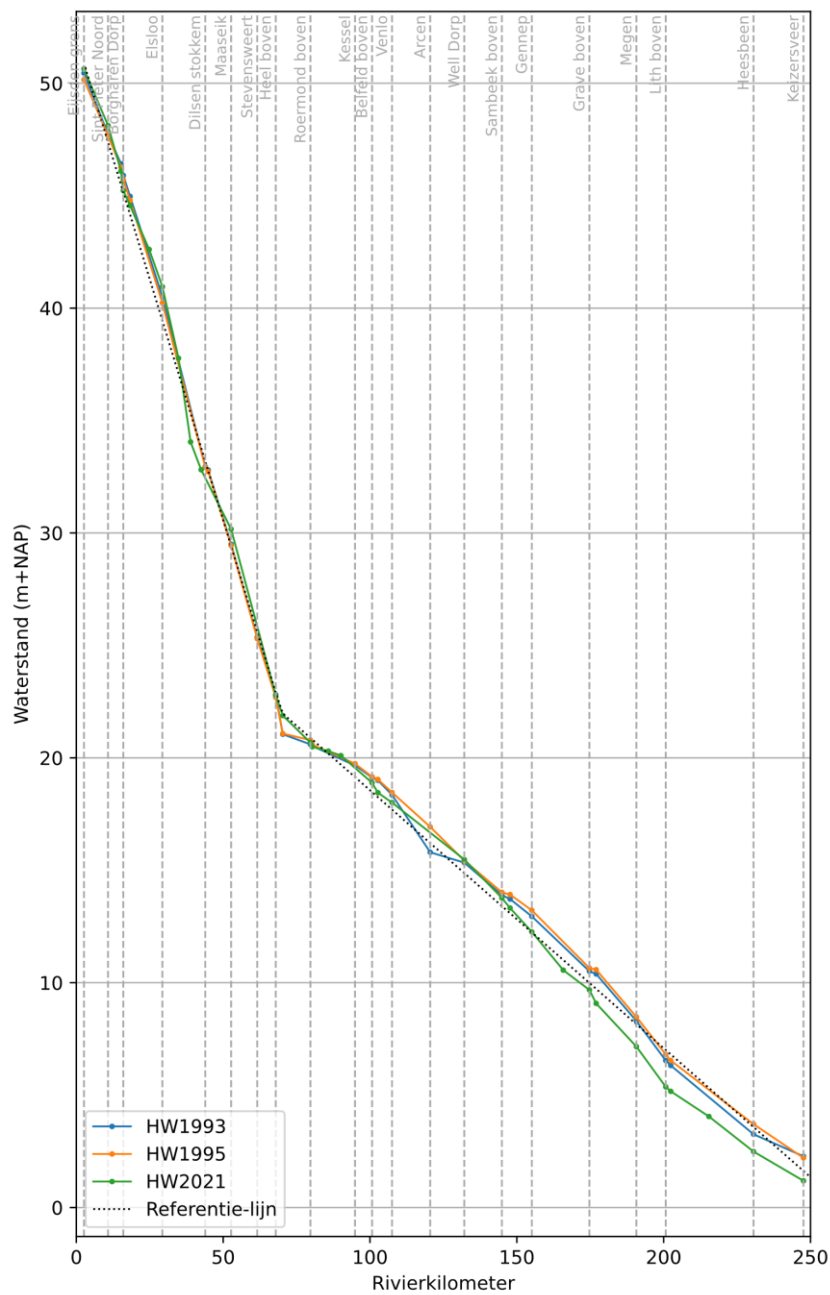
In onderstaande figuren zijn bovenstaande gegevens weergegeven. Eerst volgt een figuur met de absolute waterstanden, maar verschillen van slechts decimeters zijn in deze figuur onvoldoende af te lezen. Een figuur van de verschillen tussen HW2021 en HW1995 en HW1993 is daaronder weergegeven, maar heeft bij veel stations geen gegevens omdat veel stations in HW1993/1995 of in HW2021 niet beschikbaar zijn. Ten slotte is een figuur opgenomen waarbij de waterstanden zijn afgetrokken van een fictieve "referentielijn". Deze referentielijn is opgesteld met de volgende formules:

Voor rivierkilometers 0 tot 70:

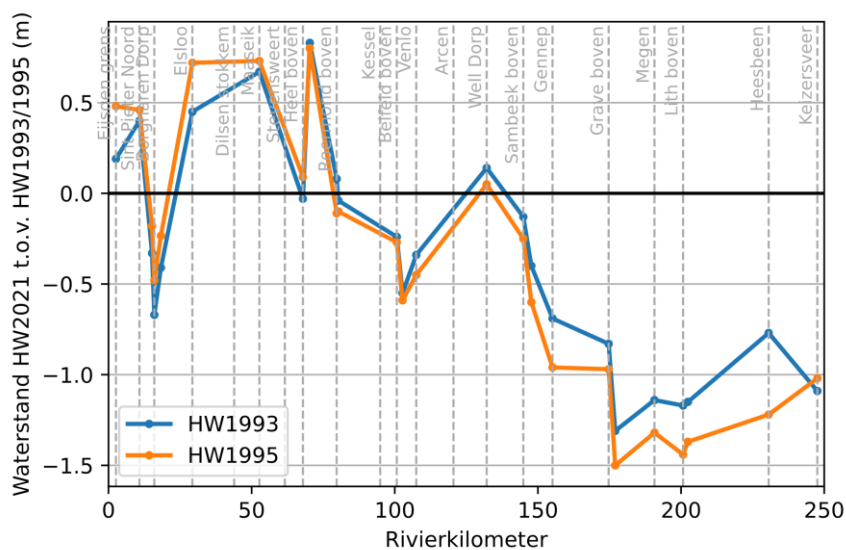
$$reflijn = 52 - rkm \cdot \frac{52 - 22}{70}$$

Voor rivierkilometer 70 tot 240:

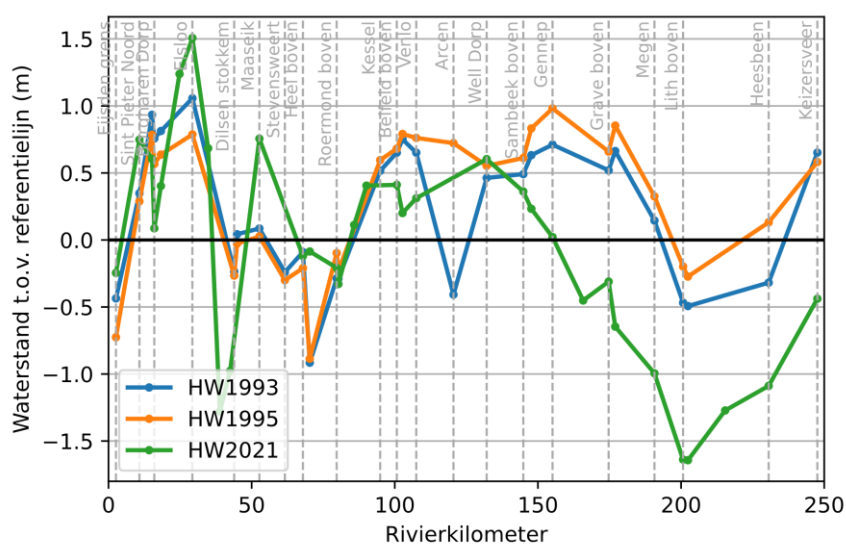
$$reflijn = 22 - (rkm - 70) \cdot \frac{22 - 2.5}{240 - 70}$$



Figuur B.1.3.1: Gemeten topwaterstanden tijdens de hoogwaters van 1993, 1995 en 2021. Weergegeven is ook de referentielijn zoals toegepast in onderstaande figuur.



Figuur B.1.3.2: Verschil tussen de gemeten topwaterstanden van HW2021 en de hoogwaters van 1993 en 1995. Veel stations ontbreken omdat deze nog niet bestonden in de jaren '90, of tegenwoordig zijn afgebroken of verplaatst.

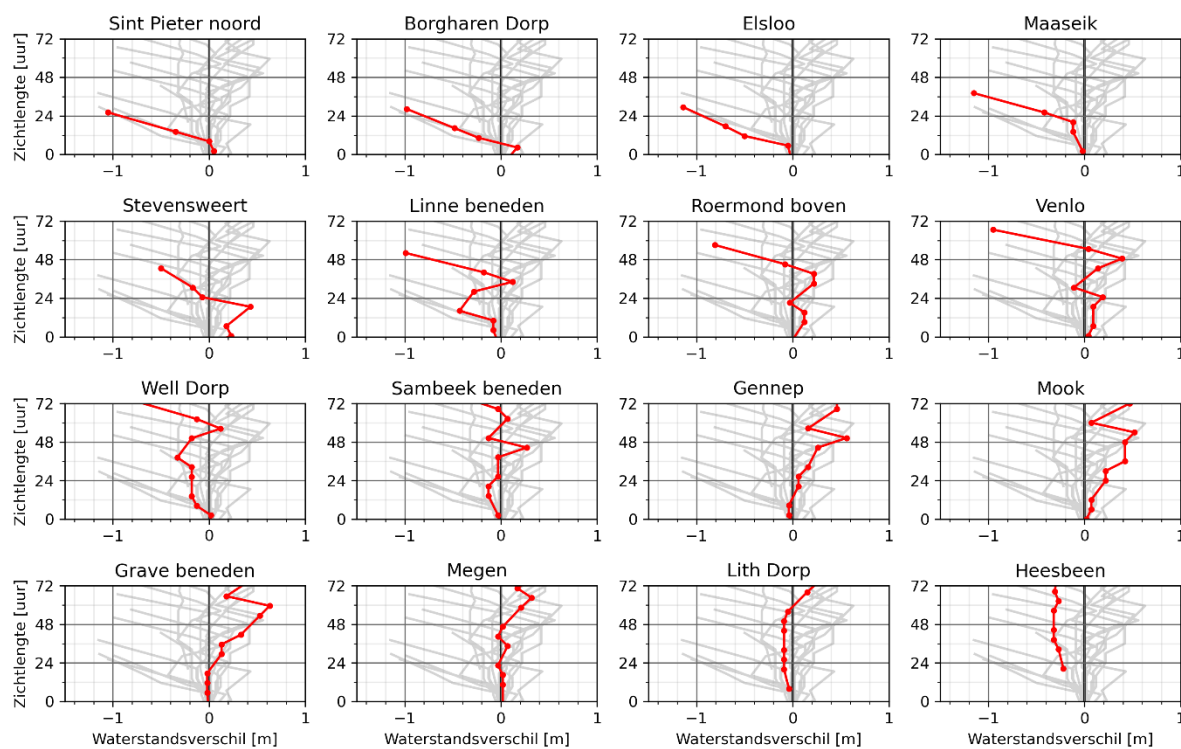


Figuur B.1.3.3: Gemeten topwaterstanden van de hoogwaters van 1993, 1995 en 2021 ten opzichte van een opgestelde referentielijn (zie voorgaande tekst). De figuur kan gebruikt worden om het verschil tussen de hoogwaters af te lezen. De absolute waarden in deze figuur hebben geen meerwaarde.

B.1.4 Voorspelbaarheid waterstanden

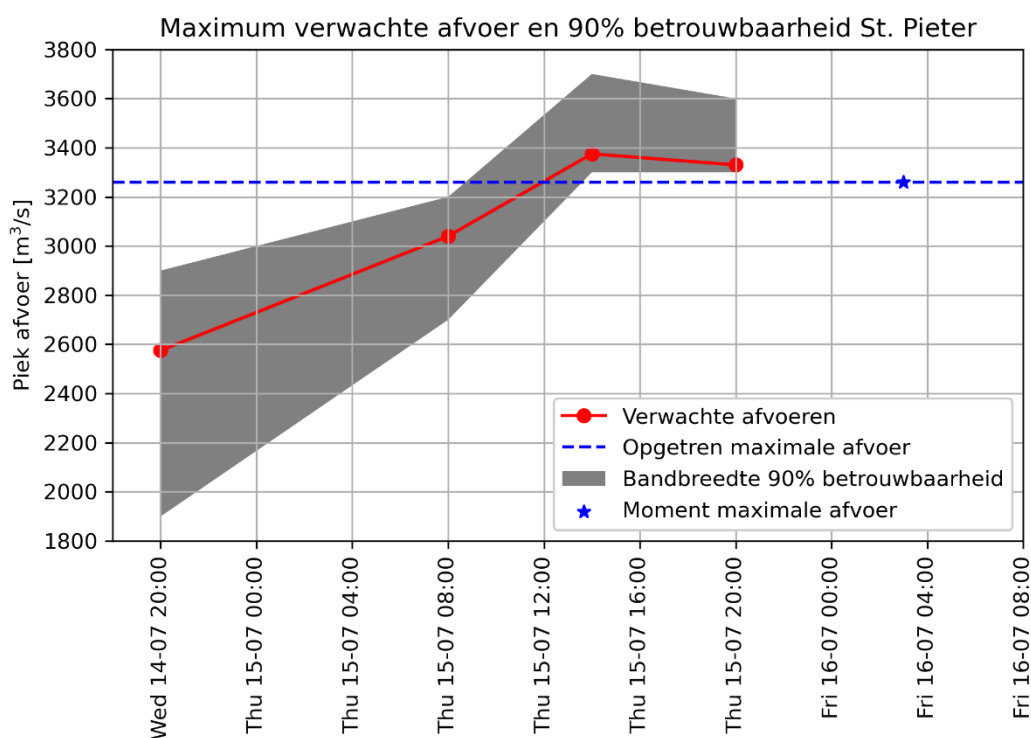
Bij verhoogde afvoeren en waterstanden start Rijkswaterstaat berichtgeving over de verwachtingen voor waterbeheerders en andere gebruikers (bijvoorbeeld scheepvaart en gebruikers van uiterwaarden). Deze kunnen vanuit de berichtgeving op tijd maatregelen nemen.

Voor verschillende stations is gekeken hoe de nauwkeurigheid van de voorspellingen (hoogwaterberichtgeving) zich heeft ontwikkeld in relatie tot de tijd (zichtlengte).



Figuur B.1.4.1: Verschil tussen voorspelde en gemeten waterstanden in relatie tot de tijd (zichtlengte)

- Bij bovenstroomse stations is de verwachte waterstand één dag voorafgaand aan de piek nog 1 meter te laag. Waarschijnlijk komt dit door een te lage verwachte afvoer die Nederland binnen komt. Pas vrij laat in de berichtgeving was er een goede schatting van de afvoer die Nederland binnenkwam (wo 14-7 20:00: 2575 m³/s, do 15-7 8:00: 3040 m³/s, do 15-7 14:00: 3375 m³/s en do 15-7 20:00: 3330 m³/s). Onderstaande figuur toont de verwachte maximale afvoer bij St. Pieter voordat de afvoerpiek Nederland binnenkomt.



Figuur B.1.4.2: Maximaal verwachte afvoer bij St Pieter in de loop van de tijd

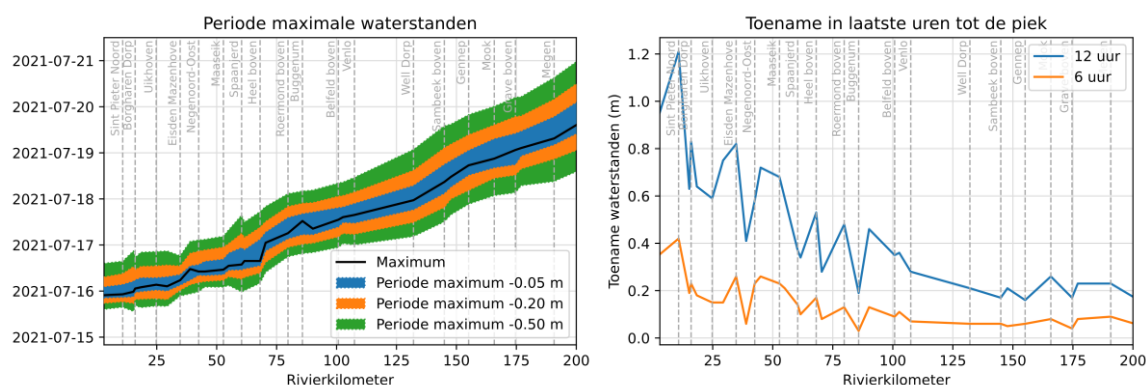
- Benedenstrooms van Roermond geven modelresultaten vaak een overschatting. Mogelijk komt dit doordat de topvervlakking niet goed in het gebruikte 1D SOBEK-model zit.
- Bij Well onderschat de voorspelling de daadwerkelijke waterstand. Mogelijke oorzaken: geen zomer-vegetatie (Van Velzen & Jesse, 2005) in het model en stuw Sambeek was niet geheel gestreken.

B.1.5 Topvervlakking

Simulaties met de golfvormen uit de GRADE-database lieten zien dat topvervlakking bij een afvoerpiek zoals opgetreden in juli 2021 en een spitse golfvorm kan leiden tot wel 1 m lagere waterstanden aan het begin van de bedijkte Maas (De Jong & Asselman, 2019). Ter vergelijking: bij een gemiddelde golfvorm is dit 0,4 m en bij een stompe golfvorm kan dit afnemen tot minder dan 0,1 m. De relatief lage waterstanden die gemeten zijn benedenstrooms van de Plassenmaas zullen voor een groot deel het gevolg zijn van topvervlakking.

Het afvlakken van de piek wanneer de golf zich stroomafwaarts verplaatst blijkt ook uit de metingen. In figuur B.1.5.1 (links) is de periode aangegeven dat de waterstand slechts 20 cm onder het maximum zat. Deze

periode neemt langs de Maas steeds verder toe vanwege het stomper worden (afvlakken) van de golfvorm (4 uur bij Maastricht; 9 uur rondom Roermond; 13 uur bij Grave). De verandering in golfvorm blijkt ook uit de waterstandsstijging in de laatste uren tot de piekwaterstand (figuur B.1.5.1 rechts). In Maastricht stegen de waterstanden in de laatste 12 uur ruim 1,0 m, vanaf de Plassenmaas is dit al afgenomen tot 0.5 m, en bij Venlo is dit minder dan 0,3 m.



Figuur B.1.5.1 : (links) Moment van de maximale waterstand en de periode dat de waterstand deze hoogte bijna bereikte. (rechts) Toename in waterstanden in de laatste uren tot de waterstands piek. De getallen behorend bij de linker figuur zijn opgenomen in de tabel van appendix B.1.1.

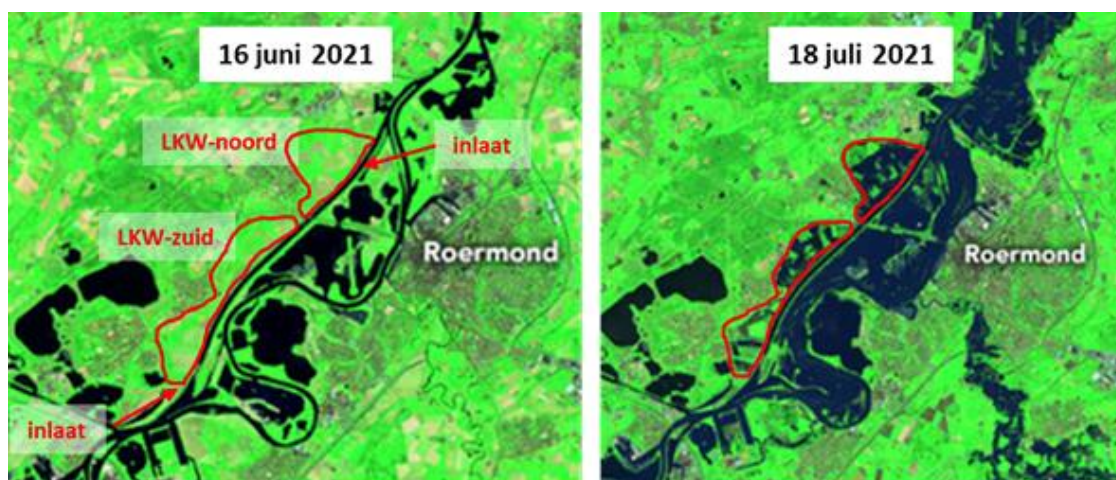
B.1.6 Retentiewerking

Retentiegebieden en andere gebieden met een bergende functie leveren een belangrijke bijdrage aan de topvervlakking langs de Maas. Tijdens het hoogwater is in Nederland het retentiegebied Lateraalkanaal-West (LKW) bij Roermond ingestroomd. Andere retentiegebieden langs de Maas, zoals Lob van Gennep, zijn droog gebleven. Retentiegebied LKW heeft een zuidelijk bekken tussen Heel en de N280 (LKWz) en een noordelijk bekken bij Horn (LKWn), ieder met een eigen inlaatwerk (Figuur B.1.6.1). Het zuidelijk bekken is ontworpen op een 1/250 afvoer (3280 m³/s); het noordelijk bekken op 1/50 maar dit wordt verhoogd naar 1/250 als de Maaswerken zijn afgerond.

De bekkens zijn passief ingestroomd op respectievelijk 16 juli rond 9:00 (zuidelijk) en 16 juli rond 21:00 uur (noordelijk). Op satellietbeelden is het overstroomde gebied goed te zien (Figuur B.1.6.2). De capaciteit van LKWz is op basis van bodemhoogtes uit AHN3 geschat op 7,3 miljoen m³ en dat van LKWn op 3,1 miljoen m³. Het noordelijk bekken is tijdens het hoogwater geheel gevuld. Op basis van floodmarks en dronebeelden is vastgesteld dat de maximale waterstand in het noordelijk bekken ca. 20,35 m+NAP is geweest. Op basis van de Landsat satellietbeelden van 18 juli 2021 is het geborgen volume van het zuidelijk bekken geschat op 2,5 à 3 miljoen m³, dus ongeveer 1/3 van de capaciteit is benut. De maximale waterstand in het grootste deel van het zuidelijk bekken was circa 20,70 m+NAP, op basis van de Landsat satellietbeelden.



Figuur B.1.6.1: Inlaatdrempels van retentiegebied LKW. Links de inlaat van het zuidelijk bekken tijdens het hoogwater, gezien vanuit het zuidwesten.²⁰ Rechts de inlaat van het noordelijk bekken na het hoogwater, gezien vanuit het noorden.



Figuur B.1.6.2: Satellietbeelden van Landsat 8 op 18 juli 2021 (bewerking op basis van <https://landsat.visibleearth.nasa.gov/view.php?id=148598>).

De afvoeronttrekking naar de retentiegebieden is geschat op basis van waterstandsmetingen bij sluis Heel in combinatie met formules voor stroming over een overlaat. Hiervoor zijn de volgende aannames gedaan:

- Vertaling van LMW-metingen (sluis Heel) naar inlaat op basis van modelberekeningen bij circa 3000 m³/s.
- Overlaatformules zoals onder weergegeven.
- Aanname dat de inlaat van het zuidelijk bekken een volkomen overlaat is.
- Schatting van continuïteit van de waterstand in het noordelijk bekken en bepaling aan de hand daarvan wanneer de volkomen overlaat overgaat in een onvolkomen overlaat.

²⁰ https://www.linkedin.com/posts/eddy-witjes-a10a481b_hij-werkt-vijf-jaar-geleden-is-de-flexibele-ugcPost-6821820690673479680-sAvi/

Afvoer van een volkomen overlaat:

$$Q = B * m * \frac{2}{3} \sqrt{g * (h - h_{kr})^{3/2}}$$

Afvoer van een onvolkomen overlaat:

$$Q = B * m * (h_{in} - h_{kr}) * \sqrt{2g(h - h_{in})^3}$$

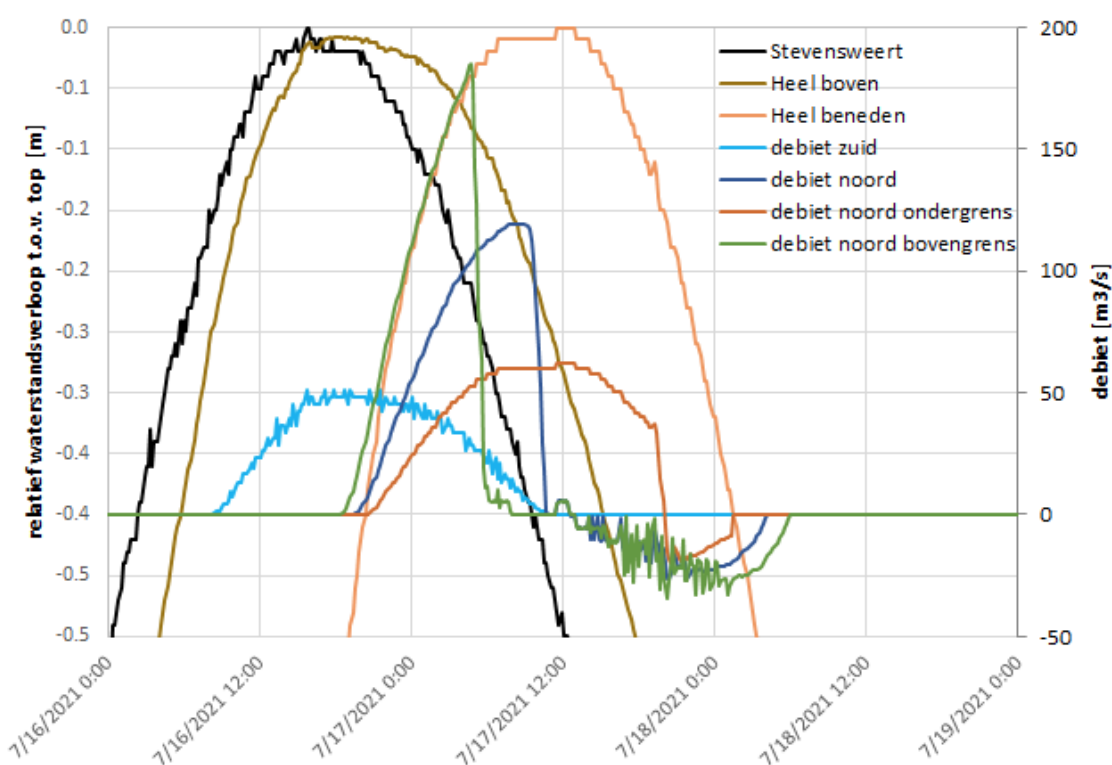
waarin de afvoercoëfficiënt m in onderstaande tabel. h = buitenwaterstand, h_{kr} = kruinhoogte
 h_{in} = waterstand in bekken, B = 300 m (lengte overlaat). De berekening bij noordelijk bekken is uitgevoerd met onder- en bovengrenzen aan de afvoercoëfficiënten, zie onderstaande tabel.

Tabel B.1.6.1

	zuidelijk bekken	noordelijk bekken
overlaathoogte h_{kr}	22,80 m+NAP	20,00 m+NAP
Afvoercoëfficiënt	0,8 (range 0,7-1,0)	0,7 (range 0,5-0,9) NB: veel begroeiing
overlaatlengte B	300 m	300 m
waterstandspunt	meetpunt "Heel boven"	meetpunt "Heel Beneden"
waterstand bij drempel t.o.v. meetpunt	+ 27 cm (23.10 - 22.83) o.b.v. j19 simulatie 2865 m ³ /s.	+0 cm
max. waterstand in gebied	grotendeels 20,70m+NAP	20,35 (+/- 10 cm)
geborgen volume	2,5-3 miljoen m ³	3,1 miljoen m ³
geschatte max. instroomdebiet	50 (35-60) m ³ /s	120 (60-180) m ³ /s

Het resultaat van de berekeningen is te zien in onderstaande grafiek. De maximale afvoeronttrekking is geschat op 35-60 m³/s (zuid) en 60-120 m³/s (noord). De uitkomsten van de bovengrens bij noord (180 m³/s) worden niet realistisch geacht. Het gebied zou dan immers al ruim voor de piek abrupt vol zijn, waardoor je een piekje in de rivierwaterstand verwacht. Dit is op dat moment niet te zien in de meting bij Heel beneden. Als er al een piekje te zien is door een vol bergingsgebied, is dat pas op 17 juli om 12:00 uur.

Waarschijnlijk heeft deze afvoeronttrekking de waterstanden bij Roermond met 5 à 10 centimeter verlaagd, en verder benedenstrooms met 10 à 20 centimeter. Het is onzeker of het noordelijk bekken al vóór de afvoerpiek vol was, of pas erna. Als dit al voor de piek plaatsvond, zijn de effecten op de waterstand benedenstrooms van Roermond kleiner dan hiervoor genoemd. Overigens stond op de noordelijke inlaat veel begroeiing, wat de instroom vertraagt en in dit geval een onbedoeld positief effect heeft gehad.



Figuur B.1.6.3: Gemeten waterstandsverloop rond de top van het hoogwater bij Stevensweert, Heel boven en Heel beneden (waterinfo.rws.nl). En berekend onttrekkingsdebiet naar de zuidelijke en noordelijke retentiebekkens.

B.1.7 Overstroomd gebied

Het overstroomde gebied is bepaald voor de Geul, de Roer en de Maas. Voor de Geul en de Roer is dit gebeurd op basis van luchtfoto's van het Waterschapshuis²¹, vergeleken met waterstandsmetingen, veldobservaties, mediaberichten en modelresultaten. Op de Maas waren luchtfoto's net voor oplevering van dit rapport beschikbaar²². Daarom is vooral gebruik gemaakt van gemeten waterstanden in de rivier, in combinatie met WAQUA-modelsimulaties²³ om een zo accuraat mogelijke inschatting te maken van de waterstanden op de as van de rivier. De waterstanden zijn vergeleken met de hoogtes uit het AHN. Op basis hiervan zijn indicatieve waterdieptes voor de overstroomde gebieden langs de Maas afgeleid. De luchtfoto's van de Maas zijn gebruikt om het overstroomde gebied te verifiëren. Ook heeft een gebiedsexpert van RWS de eerste versie bekeken. Het is goed te beseffen dat de luchtfoto's vaak niet tijdens de piekwaterstand zijn genomen. Daarom

²¹ Luchtfoto's en LIDAR zijn gevlogen op 16 juli (Geul en Geleenbeek) en 17 juli (Roer en Geul tussen België en Epen)

²² RWS-CIV brengt het overstroomd gebied rond de Maas ook nog zelf in kaart, maar de oplevering is gepland na afronding van de factfinding.

²³ Model-simulaties zijn uitgevoerd en beschikbaar gesteld door Agtersloot Hydraulisch Advies en Rura-Arnhem.

kan het daadwerkelijk overstroomde gebied nog groter zijn. Voor de Geleenbeek zijn ook foto's beschikbaar. De interpretatie daarvan is echter te onzeker om een overstroomd gebied te presenteren.

B.1.8 Kaart maximale afvoeren

Onderstaande figuur geeft een overzicht van de maximale afvoeren van de Maas en de grotere instromende regionale rivieren en zijdelingse lozingen.



Figuur B.1.8.1: Inschatting van de afvoer op de Maas en de grootste instromende zijrivieren. De afvoeren op de Maas zijn schattingen uit operationele Qf- en Qh-relatie. De validatie hiervan op basis van ADCP-metingen is nog niet beschikbaar. De afvoer van de Roer is gemeten met een Qt-liner. De metingen van de Geleenbeek zijn afkomstig uit Qh-relatie. De afvoer van de Geul is een inschatting uit modelresultaten. De meting bij Ternaaien is een inschatting op basis van afvoermetingen elders op het Albertkanaal en analytische berekeningen.

B.1.9 Vergelijking met betrekkinglijnen

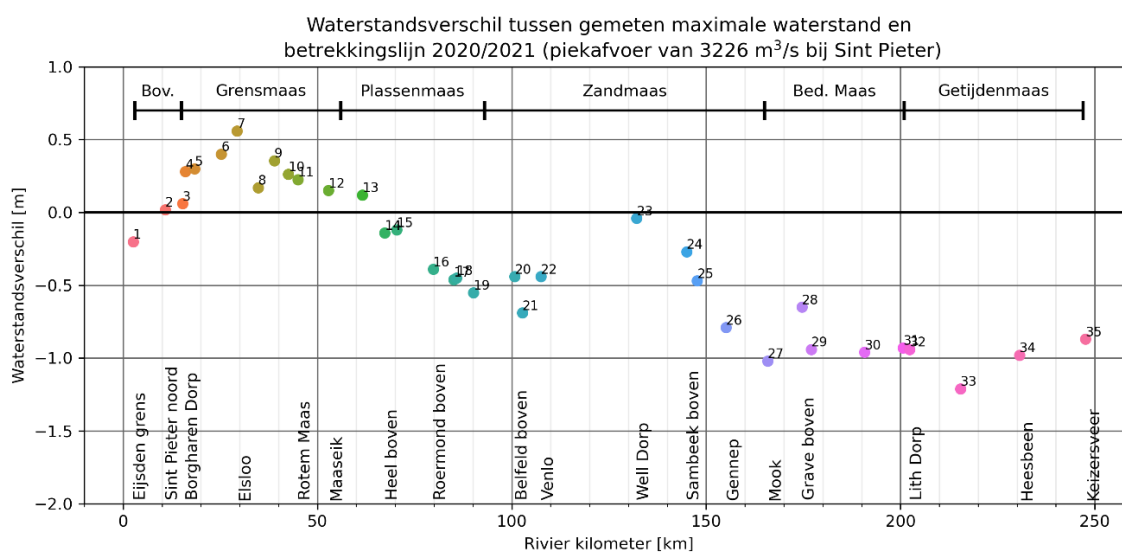
Om na te gaan of de gemeten waterstanden overeenkomen met de waterstanden die verwacht zouden worden op basis van standaard modelberekeningen, is gebruik gemaakt van betrekkinglijnen²⁴ (Rijkswaterstaat, 2020). Waterstandsverschillen ontstaan door andere uitgangspunten bij de modelberekeningen die ten grondslag liggen aan een betrekkinglijn. Zo worden bij modelberekeningen

²⁴ Een betrekkinglijn is te gebruiken als een relatie tussen een waterstand (en afvoer) bij Sint Pieter Noord en een verwachtingswaarde van de maximale waterstand op de rivieras van de gehele Maas.

aannames gedaan over de duur van het hoogwater ofwel de vorm van de afvoergolf (spits of stomp), de omvang en timing van afvoergolven uit zijrivieren en de beken langs de Vlaamse en Nederlandse Maas, de hydraulische ruwheid (zomer- of wintersituatie) en over uitgevoerde maatregelen (bijvoorbeeld de voortgang van werkzaamheden van de Maaswerken).

In figuur B.1.9.1 zijn de waterstandsverschillen weergegeven, daarbij valt het volgende op:

- Tussen rivierkilometer 10 en 60 zijn de opgetreden waterstanden hoger dan verwacht. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door beperkingen aan de modellen. Mogelijke verklaringen zijn afwijkende hydraulische ruwheden of bodemligging in de werkelijkheid t.o.v. het model. De hydraulische ruwheden zijn nu bepaald op basis van historische hoogwaters (1995/1993) waarin de geometrie van de rivier plaatselijk afwijkt van de huidige situatie (na onder meer de uitvoering van het programma Maaswerken). De aanname dat (de kalibratie van) het model bruikbaar blijft bij veranderende geometrie komt hierdoor in het geding. Hiernaar wordt ook wel verwezen als de 'stationariteit'.
- Benedenstrooms van rivierkilometer 60 zijn de opgetreden maximale waterstanden beduidend lager dan de betrekkingen wat waarschijnlijk komt door de topvervlakking. De topvervlakking van het hoogwater 2021 was groter dan waar de betrekkingen rekening mee houdt, door de spitse vorm van de afvoergolf.
- Enkele tientallen kilometers bovenstrooms van Sambeek is het waterstandsverschil kleiner dan op de omliggende meetlocaties. Mogelijke verklaringen zijn het niet kunnen strijken van de stuw bij Sambeek (hoogwaterbericht vrijdag 16 juli 2021 / nummer H06) of een mogelijke grotere ruwheid door de vele vegetatie in uiterwaarden.



Figuur B.1.9.1: Waterstandsverschillen tussen de gemeten maximale waterstand van het hoogwater 2021 en de betrekkingslijn 2020/2021 met een piekafvoer van 3226 m³/s bij Sint Pieter.

B.1.10 Afvoer door sluis Ternaaien

Opvallend van het hoogwater is de hoge afvoer op het Albertkanaal. Door onderhoudswerkzaamheden bij stuw Monsin is tijdens het hoogwater de waterstand op de Maas bij Luik en in het Albertkanaal toegenomen. Door het overstromen van sluizen in het Albertkanaal is hierdoor een afvoer ontstaan in de vaarweg. Door een barrière bij de derde sluiskolk van Ternaaien tijdelijk weg te nemen, stroomde naar schatting 200 m³/s terug naar de Maas. Deze inschatting is gebaseerd op de gemeten afvoer bij Haccourt (ongeveer 250 m³/s) minus de resterende afvoer bij Kanne (ongeveer 50 m³/s).



Figuur B.1.10.1: Afvoer over sluis Ternaaien. Opname uit video: <https://youtu.be/3Kx0s0JU0TI?t=571>

B.2 Hydraulica regionale rivieren

B.2.1 Maximale waterstanden en waterstanden met een overschrijdingskans van 1:100 en 1:1000 per jaar

Waterstandsreeksen zijn visueel beoordeeld op betrouwbaarheid. In onderstaande tabellen is een selectie van betrouwbaar geachte meetstations weergegeven.

De waterstanden in het Geuldal met een overschrijdingskans van 1:100 per jaar in het huidige klimaat zijn berekend met een afvoer bij Cottessen van 62 m³/s en bij Valkenburg van 84 m³/s. Ook zijn door het waterschap waterstanden berekend voor het klimaatscenario WHCenter met zichtjaar 2050. In deze situatie is de afvoer bij Cottessen circa 105 m³/s en bij Valkenburg 160 m³/s. Deze modelresultaten liggen over het algemeen dicht bij de opgetreden maximale waterstanden in de Geul, maar de overschrijdingskans in het huidige klimaat is onbekend.

nr	Meetstation in het Geuldal	Maximum gemeten waterstand (m+NAP)	Waterstand 1:100 huidig klimaat (m+NAP)	Waterstandsverschil (m)
<i>Geul</i>				
1	Meerssen Maastrichterlaan	46.16	46.29	-0.13
2	Rothermolen	50.43	49.84	+0.59
3	Grote Molen	52.95	52.62	+0.33
4	Geulhemmermolen	59.09	58.87	+0.22
5	Geulhem	60.56	60.07	+0.49
6	Valkenburg Wiegert	67.71	67.34	+0.37
7	Wijlre	84.07	83.56	+0.51
8	Wijlre Brand bierbrouwerij	85.94	86.15	-0.21
9	Samenvloeiing Geul Gulp Selzerbeek Eyserbeek	89.59	89.26	+0.33
10	Mechelen	101.31	100.45	+0.86
11	Commandeursmolen	102.88	102.62	+0.26
12	Volmolen Hurpesch	106.63	106.01	+0.62
13	Epenermolen	113.37	113.09	+0.28
14	Cottessen	122.04	121.6	+0.44
<i>Gulp</i>				
1	Gulpen Azijnfabriek	91.93	93.04	-1.11
2	Euverem	104.99	104.79	+0.20
3	Beutenaken	124.05	123.44	+0.61
4	Instroom molentak Broekermolen	137.23	137.49	-0.26
5	Slenaken	138.24	137.68	+0.56
<i>Eyserbeek</i>				
1	Meetgoot Eys	102.74	101.41	+1.33
2	Eys	111.62	110.96	+0.66
3	Simpelveld Oude Molen	131.35	131.55	-0.2
4	Simpelveld	141.18	140.69	+0.49

nr	Meetstation in het Geuldal	Maximum gemeten waterstand (m+NAP)	Waterstand 1:100 WHCenter 2050 klimaat (m+NAP)	Waterstandsverschil (m)
<i>Geul</i>				
1	Meerssen Maastrichterlaan	46.16	46.83	-0.67
2	Rothermolen	50.43	50.82	-0.39
3	Grote Molen	52.95	52.75	+0.2
4	Geulhemmermolen	59.09	58.98	+0.11
5	Geulhem	60.56	60.48	+0.08
6	Valkenburg Wiegert	67.71	67.94	-0.23
7	Wijlre	84.07	83.78	+0.29
8	Wijlre Brand bierbrouwerij	85.94	86.38	-0.44
9	Samenvloeiing Geul Gulp Selzerbeek Eyserbeek	89.59	89.4	+0.19
10	Mechelen	101.31	100.93	+0.38
11	Commandeursmolen	102.88	102.77	+0.11
12	Volmolen Hurpesch	106.63	106.17	+0.46
13	Epenermolen	113.37	113.26	+0.11
14	Cottessen	122.04	121.79	+0.25
<i>Gulp</i>				
1	Gulpen Azijnfabriek	91.93	93.5	-1.57
2	Euverem	104.99	104.97	+0.02
3	Beutenaken	124.05	123.76	+0.29
4	Instroom molentak Broekermolen	137.23	137.53	-0.3
5	Slenaken	138.24	137.81	+0.43
<i>Eyserbeek</i>				
1	Meetgoot Eys	102.74	101.8	+0.94
2	Eys	111.62	111.51	+0.11
3	Simpelveld Oude Molen	131.35	131.6	-0.25
4	Simpelveld	141.18	140.92	+0.26

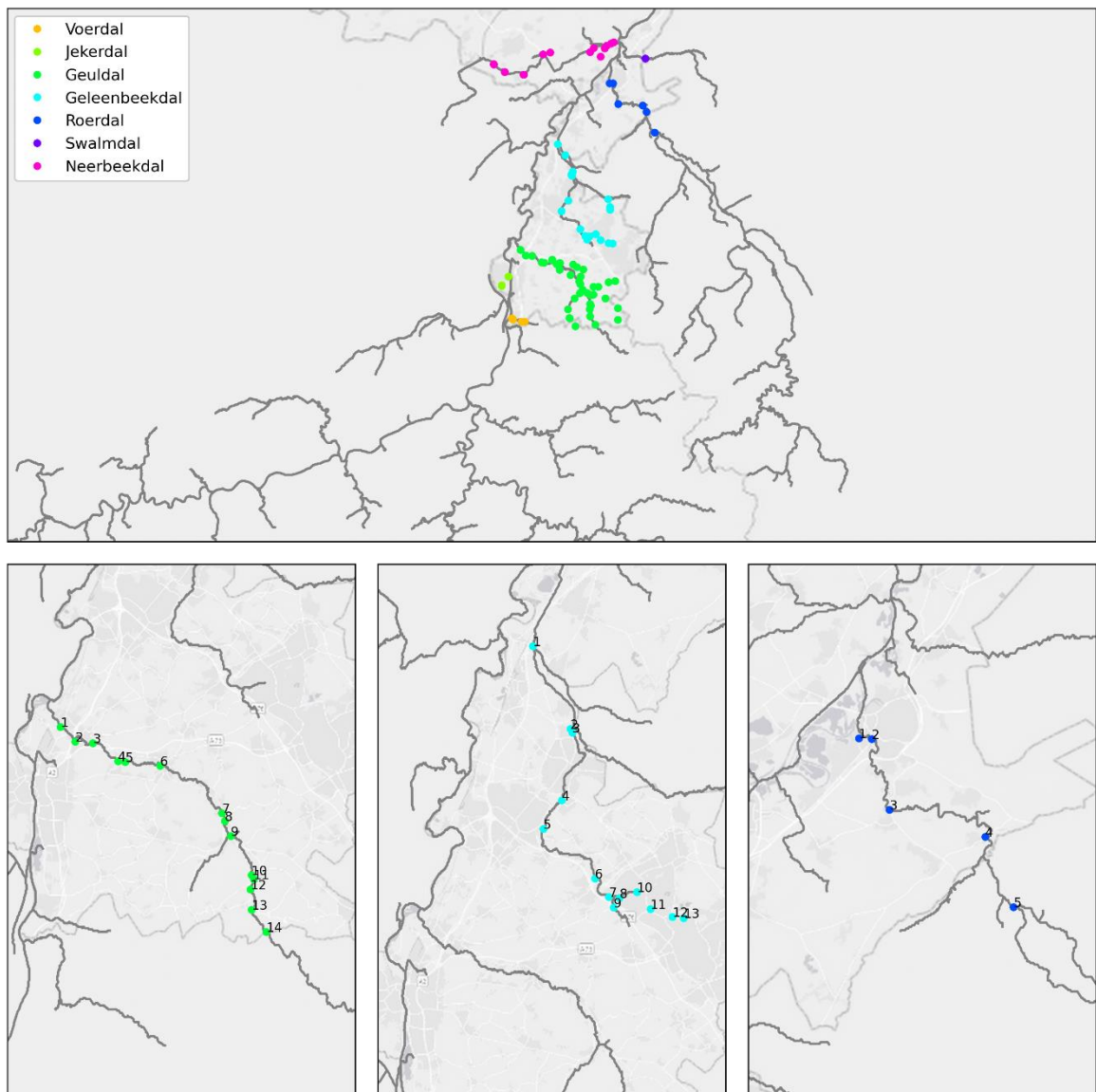
Nr	Meetstation in het Geleenbeekdal	Max gemeten waterstand (m+NAP)	Waterstand T100 (m+NAP)	Waterstandsverschil (m)
<i>Geleenbeek / Caumerbeek</i>				
1	Oud Roosteren	28.92	29.46	-0.54
2	Millen Meetgoot	36.49	36.20	0.29
3	Millen	37.59	38.37	-0.78
4	Munstergeleen	49.18	49.53	-0.35
5	Daniken	53.91	54.14	-0.23
6	Kathagen	67.3	67.76	-0.46
7	Laar	69.68	69.65	0.03
8	bovenstrooms RWZI Hoensbroek	70.2	70.18	0.02
9	Brommelen	71.59	71.62	-0.03
10	benedenstrooms Buffer de Dem	74.5	73.08	1.42
11	benedenstrooms Buffer Kopkesmolen	78.46	77.46	1.00
12	bij instroom Oude beek	89.18	87.15	2.03
13	bij instroom Palenbergerbeek	92.33	91.16	1.17
<i>Rode Beek</i>				
1	Susteren	29.62	30.43	-0.81
2	Stuw AR Millen bovenstrooms	37.45	38.15	-0.70
3	bovenstrooms N274	52.78	52.76	0.02
4	Schinveld Putbergstraat	57.83	58.10	-0.27
5	benedenstrooms buffer Breukberg	59.88	59.45	0.43

	Meetstations in het Roerdal	Maximum gemeten waterstand (m+NAP)	T100 waterstand (m+NAP)	Waterstandsverschil (m)
1	Hambeek	21.07	21.19	-0.12
2	Roermond Andersonweg bij stuw Hoge Bat	21.44	21.32	+0.12
3	St. Odiliënberg	23.95	23.52	+0.43
	Bosbeek voor instroom Roer	27.60	26.66	+0.94
4	Vlodrop	28.84	28.26	+0.58
5	Stah	33.05	32.51	+0.54

De T100 situatie betreft een modelberekening waarbij de afvoer bij Stah 180 m³/s betreft. De T1000 situatie betreft een modelberekening waarbij de afvoer bij Stah 290 m³/s is. Voor de Roer is tijdens het hoogwater (ongeveer tijdens de piek) een handmeting gedaan met een ADCP (OTT Qliner) waar een afvoer van 270 m³/s werd gemeten. Gezien de opgetreden maximale waterstanden lijkt dit erg extreem. De verschillen kunnen komen door het SOBEK model dat de waterstanden overschat of een overschatting van de gemeten afvoer.

	Meetstations in het Roerdal	Maximum gemeten waterstand (m+NAP)	T1000 waterstand (m+NAP)	Waterstandsverschil (m)
1	Hambeek	21.07	21.57	-0.50
2	Roermond Andersonweg bij stuw Hoge Bat	21.44	21.90	-0.46
3	St. Odiliënberg	23.95	25.27	-1.32
	Bosbeek voor instroom Roer	27.60	28.52	-0.92
4	Vlodrop	28.84	28.75	+0.09
5	Stah	33.05	33.87	-0.82

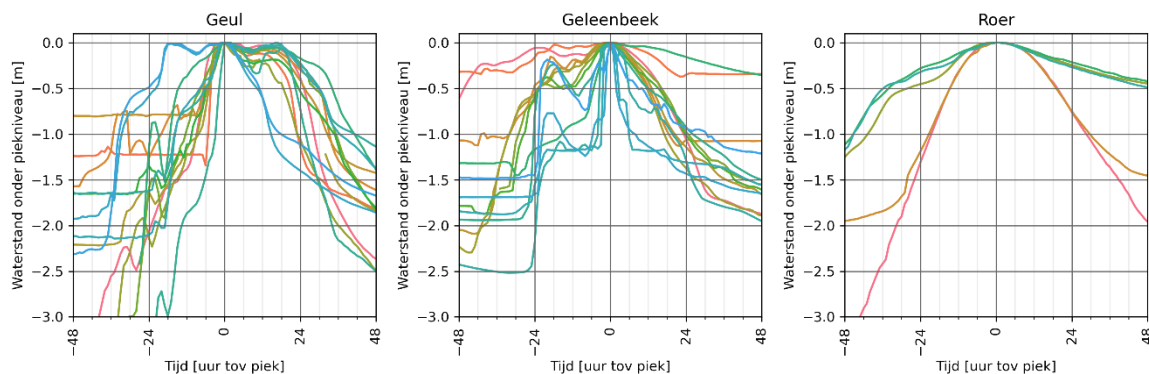
Onderstaande figuur toont een kaart van de verschillende beekdalen met daarin voor de Geul, Geleenbeek en Roer de nummers van de meetstations, corresponderend bij bovenstaande tabellen.



Figuur B.2.1.1: Locaties van meetstations van het Waterschap Limburg langs diverse beekdalen. In de onderste figuren zijn de stations langs respectievelijk de Geul, Geleenbeek en Roer genummerd.

B.2.2 Figuren waterstandsverloop

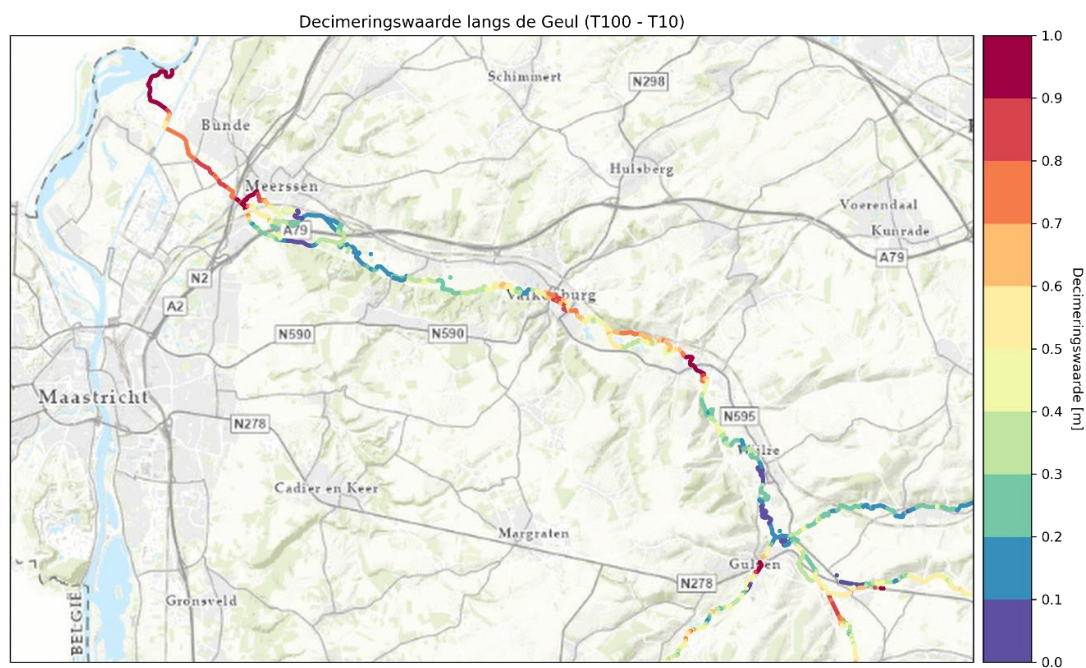
In onderstaande figuur zijn de waterstandsverlopen t.o.v. de piek (in tijd en hoogte) weergegeven. De hoogwatergolf in de Roer was in het algemeen van langere duur dan in de Geul. Bij de Geul en Geleenbeek zijn bij enkele locaties ook twee-toppige waterstandsverlopen opgetreden. Dit kan te maken hebben met de meteorologische condities of de manier waarop neerslag wordt afgevoerd. Een stedelijk watersysteem voert de neerslag sneller af naar het regionaal watersysteem dan in landelijk gebied, waardoor tweetoppige waterstandsverlopen kunnen ontstaan.



Figuur B.2.2.1: Waterstandsmetingen genormaliseerd op basis van de maximum waterstand

B.2.3 Decimeringswaarde langs de Geul

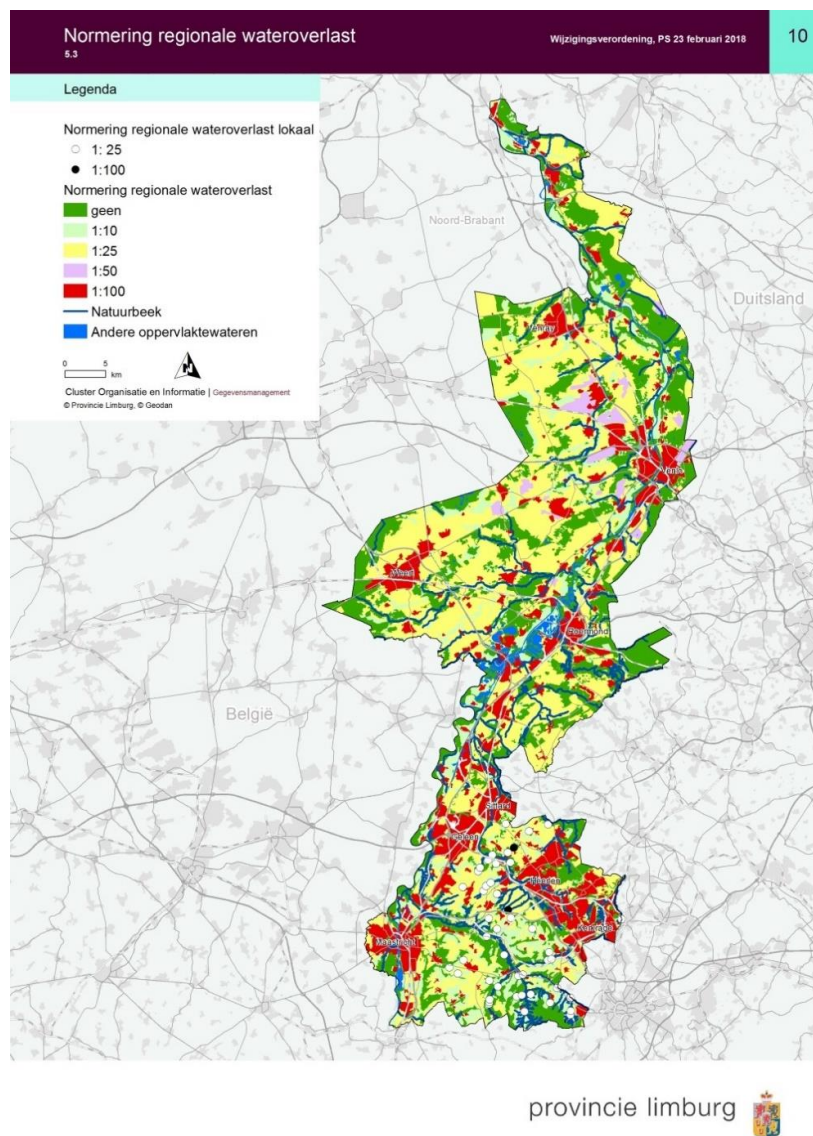
Deze figuur geeft de decimeringswaarden langs de Geul. De decimeringswaarde is de toename in waterstanden bij een 10x hogere terugkeertijd. In deze figuur is het waterstandsverschil tussen T100 en T10 opgenomen op basis van aangeleverde modelsimulaties van Waterschap Limburg. Een waarde van 1m betekent dat de T100 waterstand 1m hoger is dan de T10 waterstand.



Figuur B.2.3.1: Decimeringswaarde langs de Geul

B.2.4 Normeringskaart regionale wateroverlast

Onderstaande figuur toont de normering voor regionale wateroverlast zoals vastgelegd in de Omgevingsverordening Limburg 2014.



Figuur B.2.4.1

B.3 Morfologie

B.3.1 Erosiekuilen Grensmaas

Direct na het hoogwater zijn door RWS CIV peilingen uitgevoerd op de gehele Maas, afgezien van enkele trajecten op de Grensmaas (omdat de waterdiepten onvoldoende werden voor de meetschepen). De peilingen van na het hoogwater zijn vergeleken met de laatste peilingen van voor het hoogwater, veelal afkomstig uit februari 2021. De resultaten zijn door specialisten van Rijkswaterstaat beoordeeld om de risicolocaties in beeld te brengen, met name in de buurt van constructies als bruggen, kabels en leidingen, sluis- en stuwcomplexen en veerstoepen en trailerhellingen.

Op basis van de multibeampeilingen van juli 2021 zijn de erosiekuilen in het (oude) zomerbed van de Grensmaas in beeld gebracht. In onderstaande figuur zijn de erosiekuilen te zien als oranje en rode vlekken.



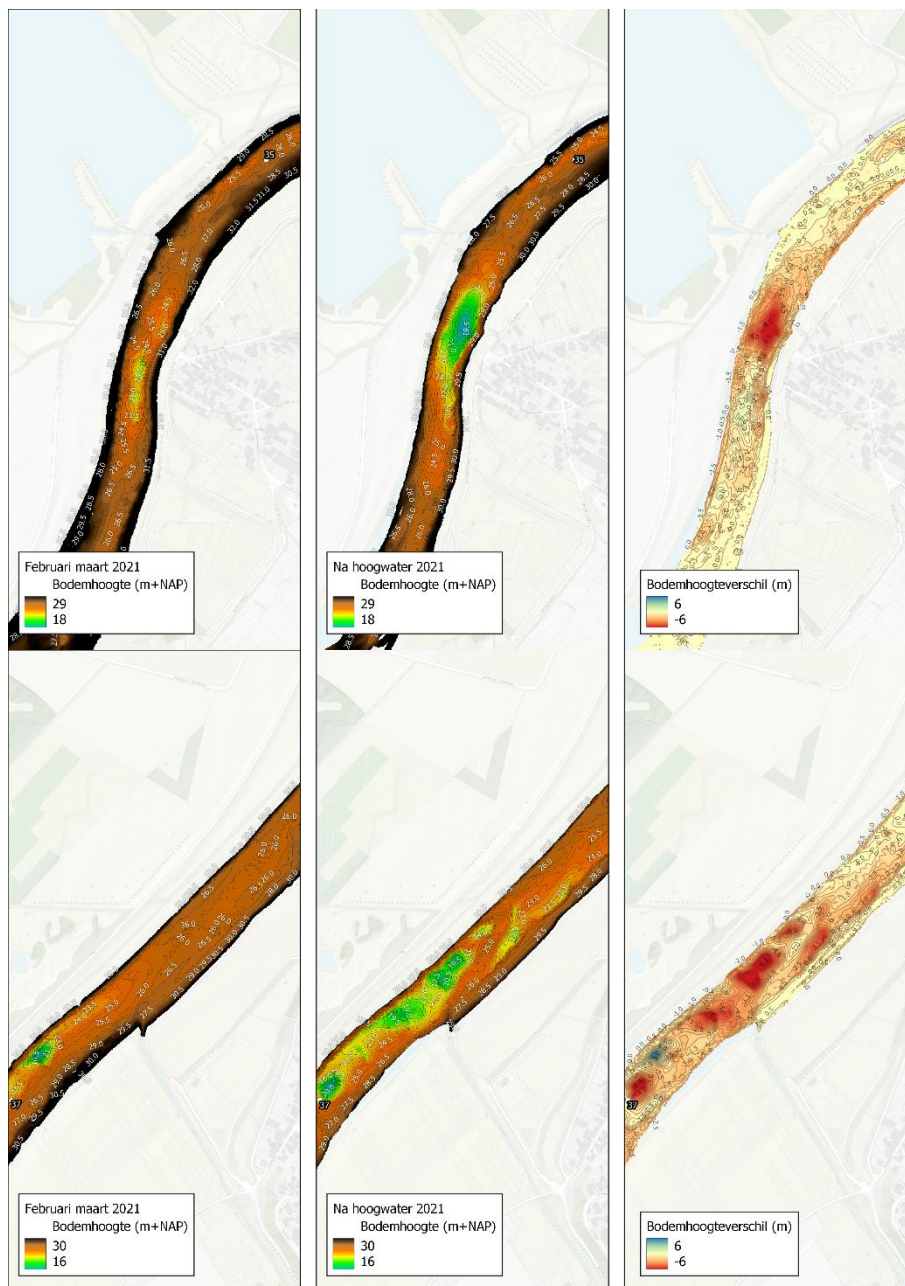
Figuur B.3.1.1: Bodemhoogteverandering tussen rkm 34 en 39 op de Grensmaas. De erosiekuilen hebben dieptes tot meer dan 10 m.

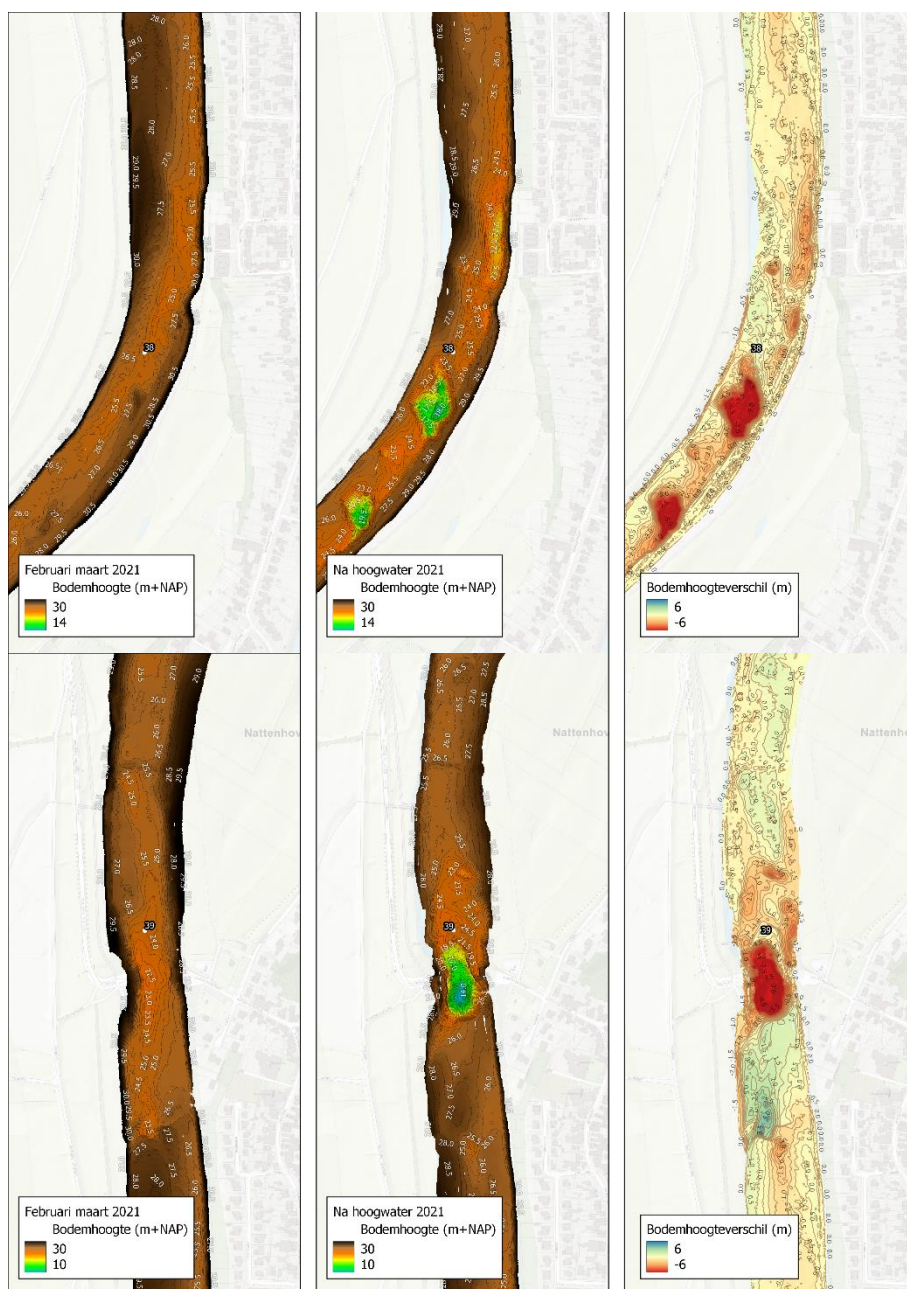
De peilingen en verschillen zijn door specialisten van Rijkswaterstaat al beoordeeld om de risicolocaties in beeld te brengen, met name in de buurt van constructies als bruggen, kabels en leidingen, sluis- en stuwcomplexen en veerstoeppen en trailerhellingen.

De volgende erosiekuilen hebben tot schade aan constructies geleid of vormen een mogelijk risico voor constructies. Onder de tabel zijn figuren van deze erosiekuilen opgenomen.

Tabel B.3.1.1: Erosiekuilen Grensmaas die schade hebben veroorzaakt of risico vormen

rkm	locatie	Risico
34.65	Erosiekuil van ca. 7m diepte aan Nederlandse zijde bij Maasband.	Gevaar voor stabiliteit bestorting.
36.27	Oevererosie en diepe verticale erosie bij leiding, waardoor die bloot is komen te liggen	Geen dekking meer op leiding. Nieuwe leiding al geboord.
37.9	Diepe erosie bovenstrooms Berg aan de Maas	Stabiliteit bestorting.
38.2	Erosiekuil van ca. 3-4m diepte aan Nederlandse zijde	Stabiliteit bestorting nabij bebouwing.
38.9	Erosiekuil van ca. 16m diepte ter plaatse van veer	Veerstoep beschadigd en veer Berg-Meeswijk uit de vaart genomen.



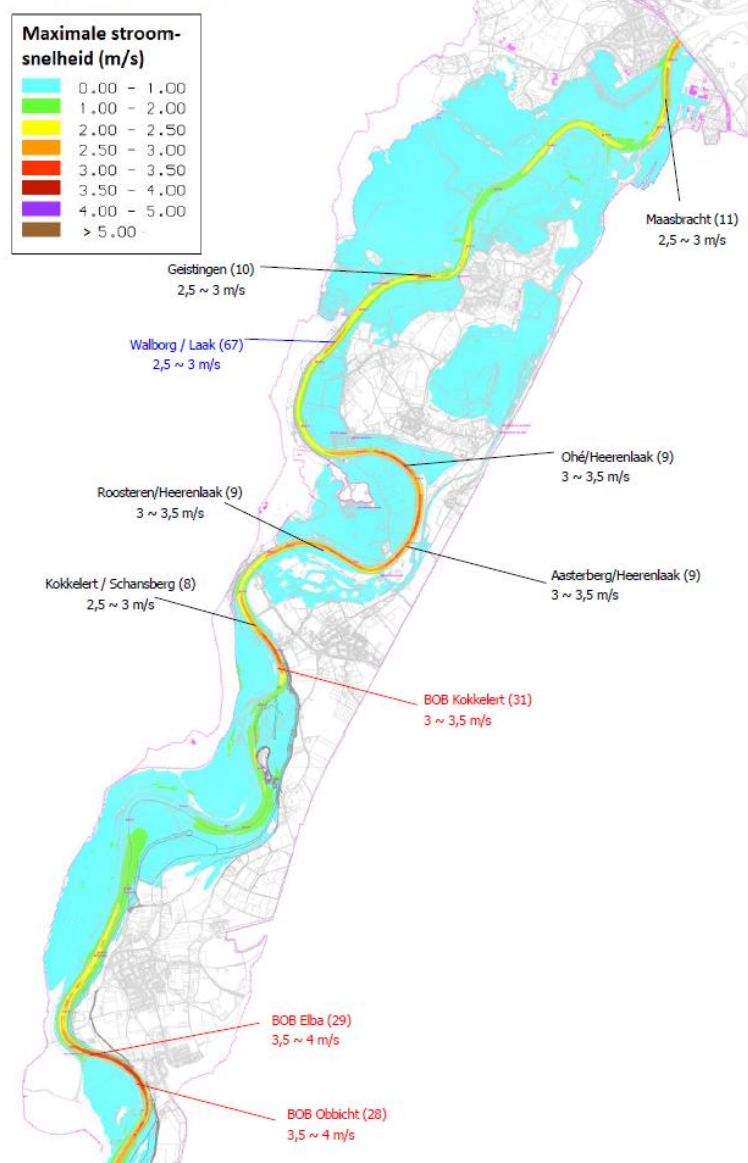


B.3.2 Stroomsnelheden Grensmaas

Met WAQUA berekende stroomsnelheden in de Grensmaas zijn gegeven in onderstaande figuur en tabel. De figuur geeft de stroomsnelheden bij een afvoer van bijna 2.000 m³/s. De berekeningen zijn ook uitgevoerd bij hogere afvoeren, waarbij de stroomsnelheden nog iets hoger zijn (zie Tabel D-2).

T = 5 jaar, $Q_{\max} = 1.971 \text{ m}^3/\text{s}$ (vervolg)

modelsimulatie: bo17_5-gm00_d1971

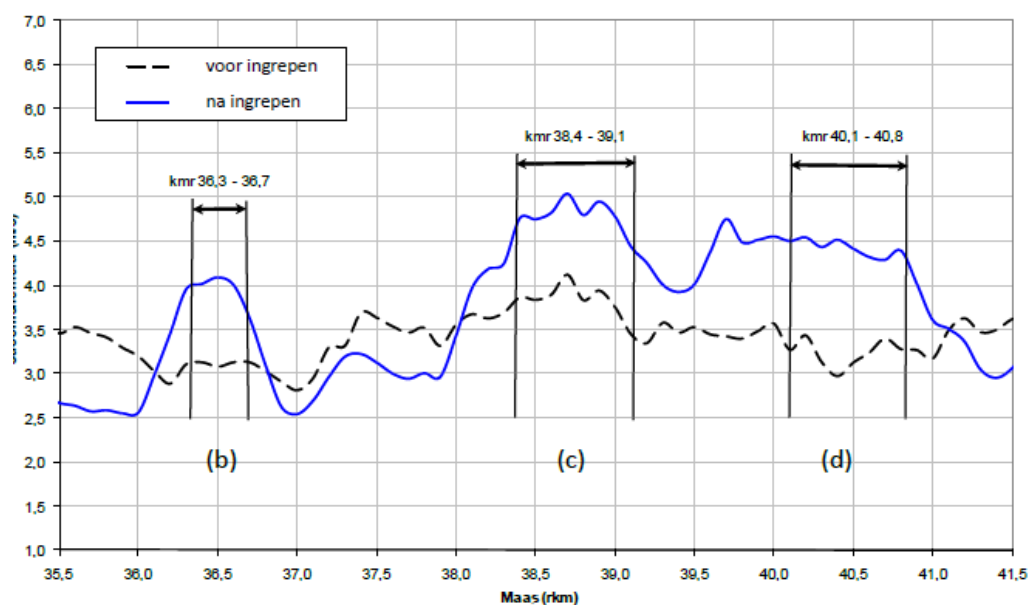


Figuur B.3.2.1: Stroomsnelheden Grensmaas bij een afvoer van $1.439 \text{ m}^3/\text{s}$ (Meijer en Agtersloot, 2020).

Tabel B.3.2.1: Stroomsnelheden bij de PALL-leiding voor verschillende afvoeren en bijbehorende herhalingstijden (Meijer en Agtersloot, 2020).

Herhalingstijd (jaar)	Afvoer (m ³ /s)	Huidige stroomsnelheid bij de PALL-leiding (m/s)
2	1.439	2,7 – 3,3
5	1.971	3,1 – 3,8
20	2.603	3,4 – 4,2
100	3.224	3,5 – 4,3
3000	4.118	3,5 – 4,3

In de niet verruimde locaties nemen de stroomsnelheden toe als gevolg van de waterstandsverlagingen door de verruiming benedenstrooms (Figuur B.3.2.2). De waterstandsval benedenstrooms van deze locaties leidt immers tot een lokale toename van het verhang.



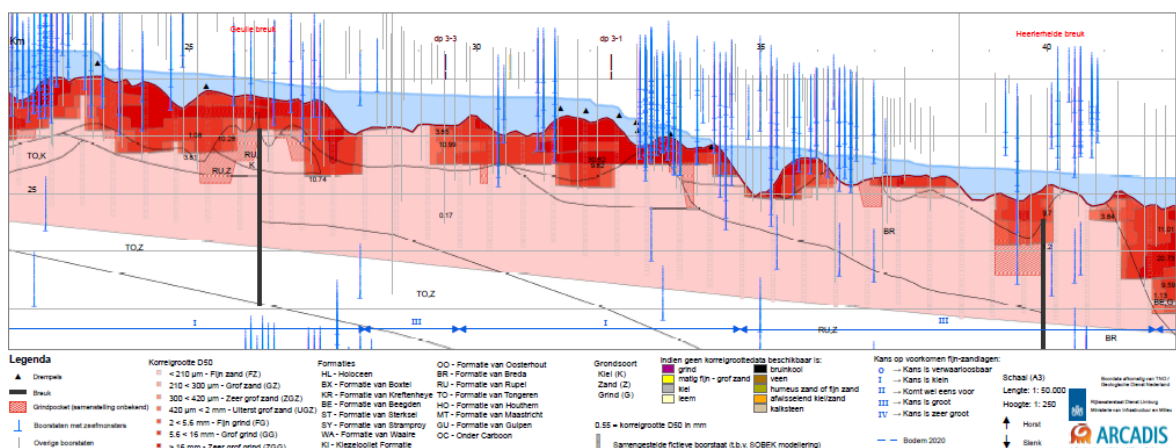
Figuur B.3.2.2: Toename van stroomsnelheden bij afvoer van 3.275 m³/s nabij (b) Urmond, (c) Berg / Nattenhoven en (d) Obbicht na uitvoering van het Grensmaasproject (vooral onder invloed van Negenoord) (Meijer en Vieira da Silva, 2007).

B.3.3 Fijne zandlagen Grensmaas

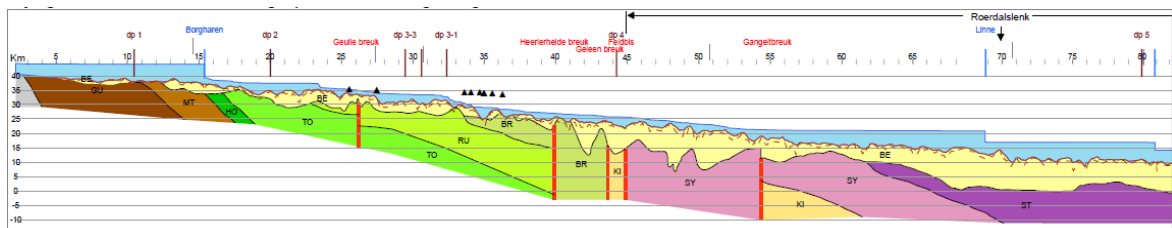
Door Arcadis (Meijer et al, 2011) is de opbouw van de ondergrond van de gehele Maas in kaart gebracht. Hieronder enige figuren uit die studie. In Figuur B.3.3.1 zijn de resultaten voor de Grensmaas samengevat. De figuren laten vooral de eerste meters onder het rivierbed zien. Een rivierbed dat op de Grensmaas bestaat uit een grove grindlaag, die pas bij hoge afvoeren en stroomsnelheden mobiel wordt. De laag aan de oppervlakte van de grove grindlaag wordt vaak gevormd door de grofste fractie van het grind, de zogenaamde afpleisterlaag, die fijner bodemmateriaal (grind en zand) daaronder beschermt. Doordat de bodem van de Maas in de afgelopen eeuw is geërodeerd, wat ook in de afgelopen 25 jaar sinds het hoogwater van 1995 is doorgegaan, is de afdekkende grindlaag steeds dunner geworden.

Tijdens het hoogwater is het grove grind in de afpleisterlaag gemobiliseerd en daarmee ook het fijnere grind en zand daaronder. Het fijne zand dat daar weer onder ligt is makkelijk in beweging te brengen. Daardoor ontwikkelde de erosie zich zeer snel, zodat de grote erosiediepten konden worden bereikt.

Figuur B.3.3.1 (Meijer et al, 2011) geven de opbouw weer van de ondergrond van de Grensmaas gebaseerd op de boringen tot begin deze eeuw. De figuren laten zien dat de afdekkende grindlaag op de bodem op sommige locaties zeer dun is en dat zich daaronder veelal een dikke laag met fijn zand bevindt.

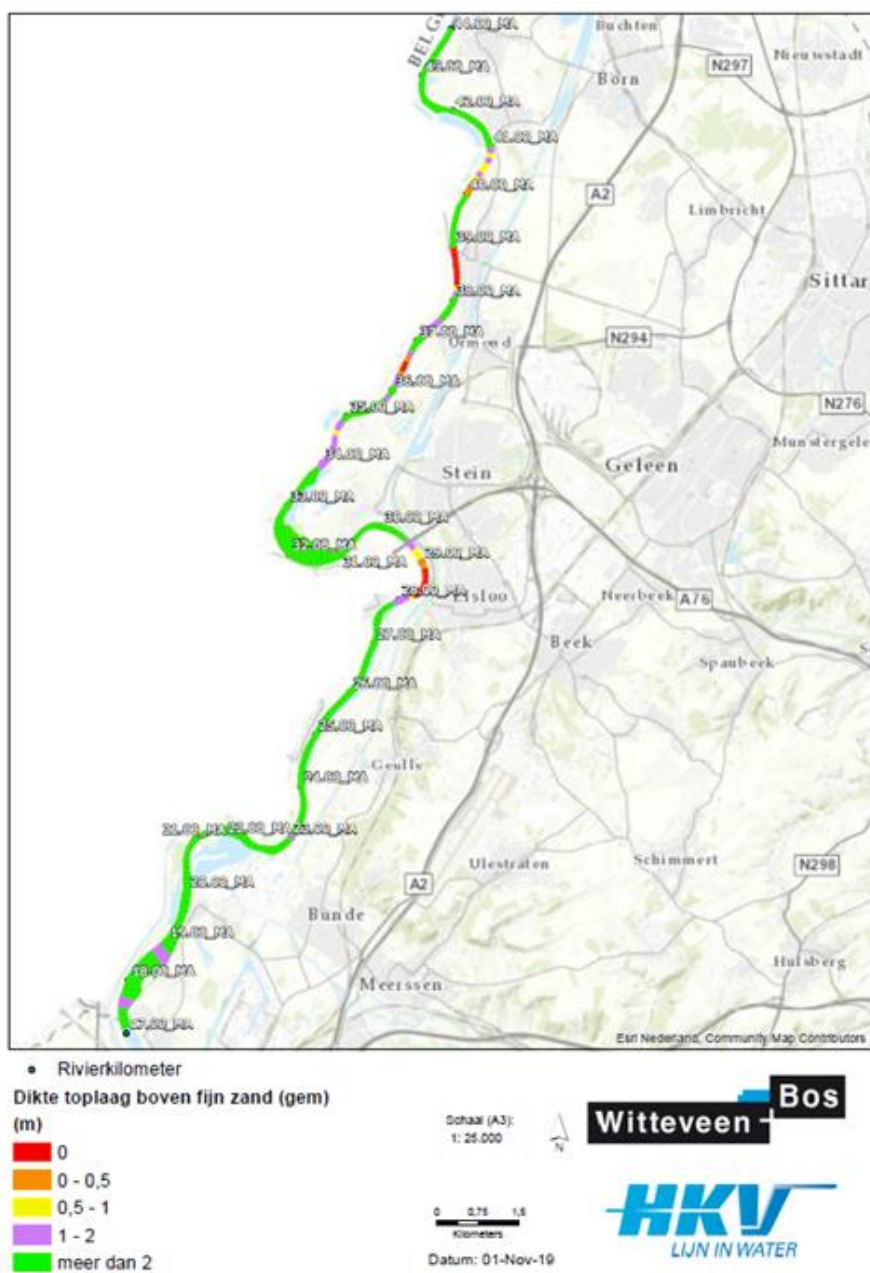


Figuur B.3.3.1: Lengteprofiel Bovenmaas-Grensmaas (bijlage 5.1 van Meijer et al, 2011).

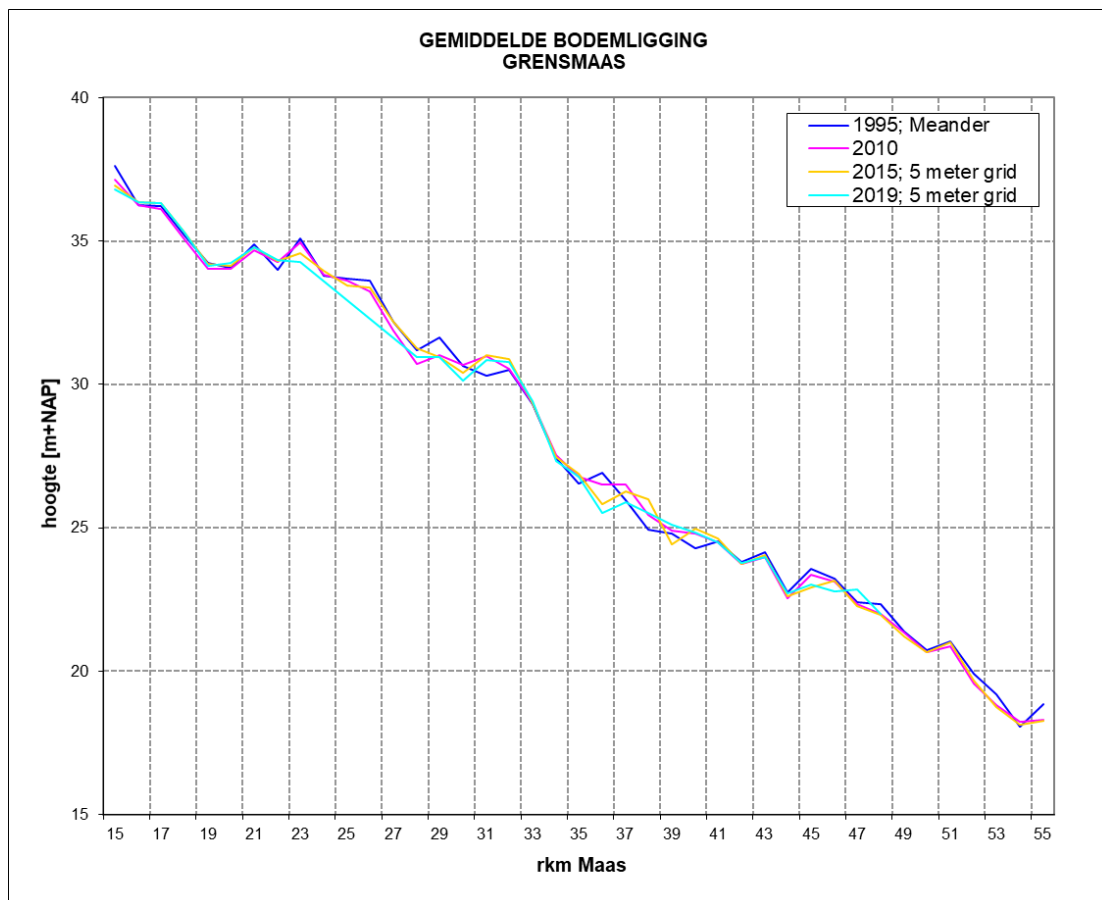


Figuur B.3.3.2: Schematisch lengteprofiel van de geologie van de Maas (bijlage 3.1 van Meijer et al, 2011).

De dikte van de afdekkende grindlaag op de Grensmaas is samengevat in Figuur B.3.3.3. De relatie met de locatie van de diepe erosiekuilen in Figuur B.3.3.2 is duidelijk. In Figuur B.3.3.4 is verder te zien, dat de bodem van de Grensmaas sinds 1995 op enkele plekken nog is geërodeerd, zodat de afdekkende grindlaag daar nog dunner is geworden.



Figuur B.3.3.3: Dikte grindlaag boven fijne zandlagen (Wegman, 2019).

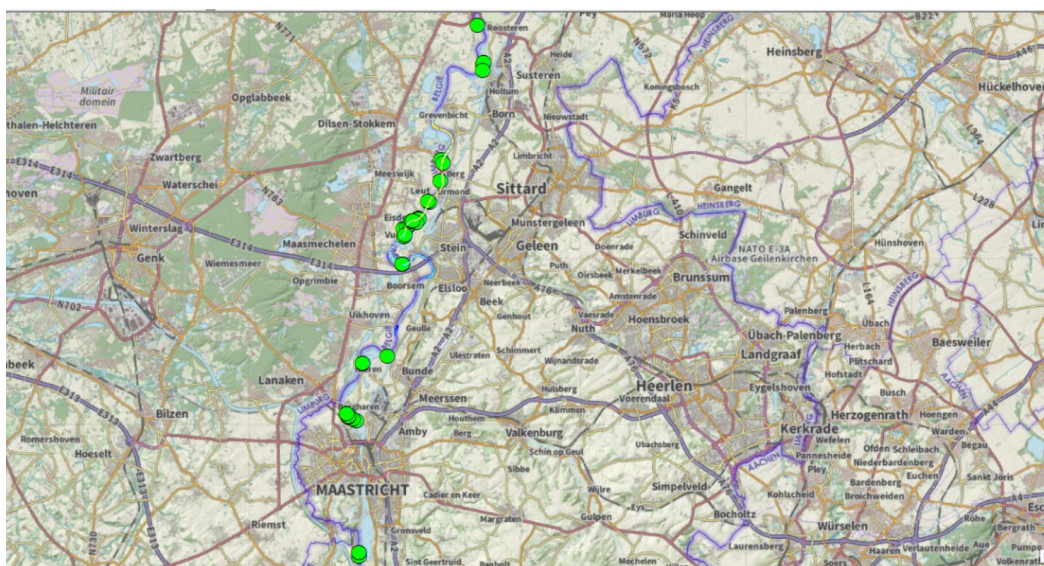


Figuur B.3.3.4: Gemiddelde bodemligging Grensmaas sinds 1995. Data van RWS.

B.3.4 Locaties Oevererosie

Onderstaande afbeeldingen geven de locaties van oevererosie die zijn opgemerkt tijdens het veldwerk van de WUR in augustus 2021. Tevens zijn enige foto's van de oevererosie opgenomen. Enkele van de geïrodeerde oevers zijn ook ingemeten met gedetailleerde GPS instrumenten van RWS.

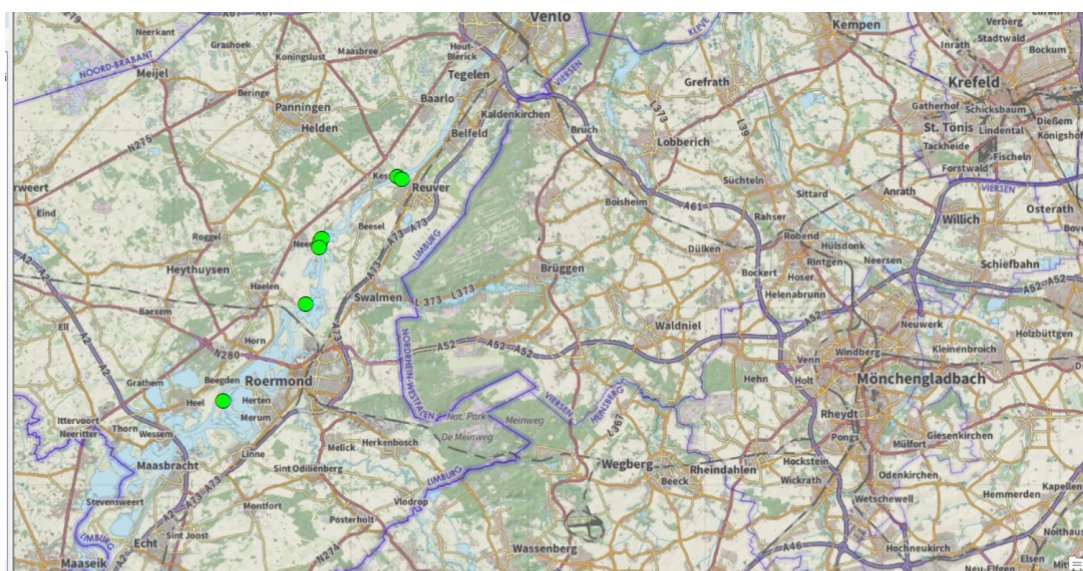
Luchtfoto's moeten uiteindelijk van alle oevers in beeld brengen hoe groot de oevererosie gedurende het hoogwater is geweest.



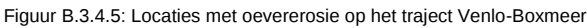
Figuur B.3.4.1: Locaties met oevererosie op het traject grens - Roosteren



Figuur B.3.4.2: Maasband, rechteroever, binnenbocht



Figuur B.3.4.3: Locaties met oevererosie op het traject Roosteren-Venlo





Figuur B.3.4.6: Boxmeer, Zuidereiland (op deze locatie was de erosie voor het hoogwater al aanzienlijk, maar gedurende het hoogwater heeft de erosie verder doorgezet).



Figuur B.3.4.7: Locaties met oevererosie op traject Boxmeer – Den Bosch

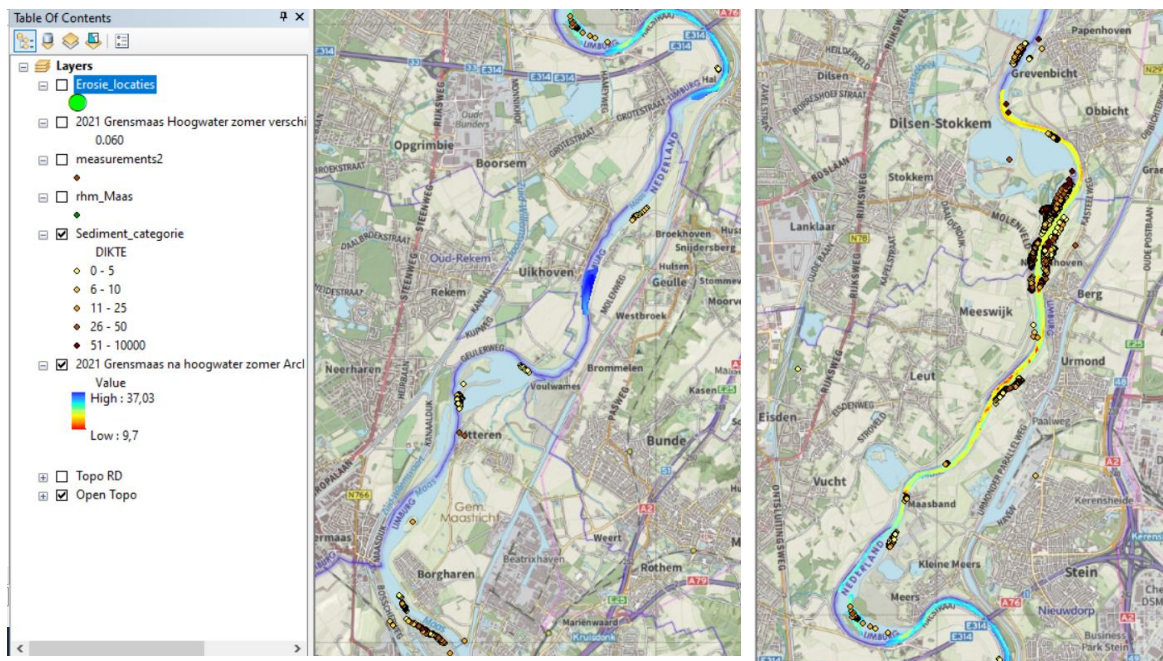


Figuur B.3.4.8: Benedenstrooms brug A2, rechteroever, binnenbocht (geometrie erosie wordt ingemeten door WUR)

B.3.5 Locaties zandafzettingen uiterwaarden

In juli 2021 is door een team van de WUR onderzoek gedaan naar de zandafzettingen langs de Maas vanaf de grens tot aan de Overdiepse Polder (km 246). Omdat nog geen luchtfoto's beschikbaar waren is voor de identificatie van locaties met verwachte afzettingen gebruik gemaakt van:

1. Locaties waar in 1993 en 1995 sediment is afgezet, langs de bedijkte Maas (Sorber, 1997);
2. 2 dimensionale stromingsberekeningen bij hoge afvoer om te zien waar water met kracht vanuit het zomerbed naar de uiterwaarden stroomt;
3. Meldingen van experts;
4. Inspecties door Rijkswaterstaat van de uiterwaarden na het hoogwater, waarbij af en toe ook sedimentatie werd gemeld of foto's beschikbaar waren;
5. Gedetailleerde Satellietbeelden (Superview) als die op <https://www.satellietdataportaal.nl/> beschikbaar waren.



Figuur B.3.5.1: Traject Maastricht-Meers



Figuur B.3.5.3: Traject Grevenbicht-Stevensweert

Figuur B.3.5.2: Traject Meers-Grevenbicht

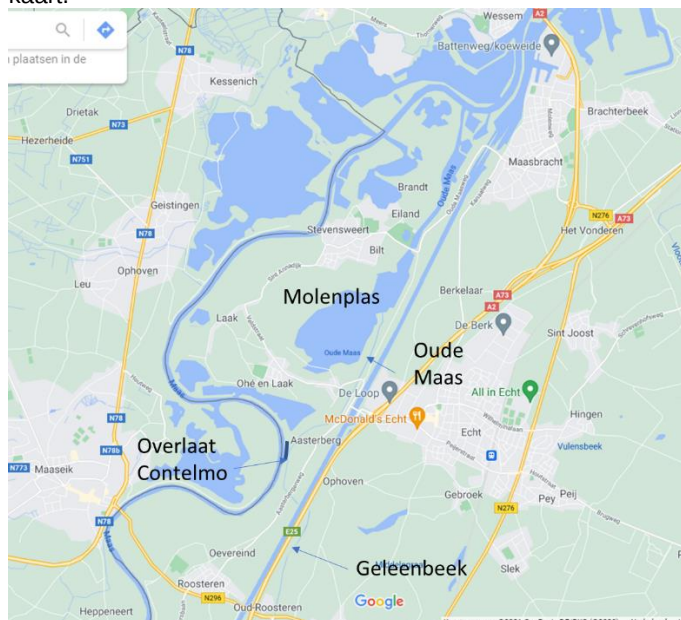
In de figuren geven de puntjes de locaties aan waar zandafzettingen zijn gevonden. De kleur van de punten is een indicatie van de dikte van de afzetting in cm

- ☒ Sediment_categorie
- DIKTE
- 0 - 5
 - 6 - 10
 - 11 - 25
 - 26 - 50
 - 51 - 10000

Kleuren in hoofdgeul geven de bodemhoogte in m+NAP aan.

B.3.6 Erosie en bankvorming Oude Maas / Geleenbeek

De Geleenbeek stroomt via de Oude Maas naar de Molenplas en vervolgens naar de Maas, zie onderstaande kaart.



Figuur B.3.6.1

De Oude Maas wordt bij heel hoge afvoer ook gevoed vanuit de Maas via de overlaat van Contelmo. Dit was in dit hoogwater ook het geval. De afvoer op dat deel van de Oude Maas was plotseling veel groter en het verhang richting de Molenplas groot. Daardoor is oevererosie en bankvorming opgetreden, zoals onderstaande foto's laten zien.

Dergelijke grote morfologische veranderingen zijn voor zover bekend niet op andere delen van de Geleenbeek, de Geul of de Roer opgetreden. Lidar beelden van 16 en 17 juli 2021 laten geen grote veranderingen van de loop van de zijrivieren zien. Dat moet echter nog in het veld worden geverifieerd.



Figuur B.3.6.2: Helikopterfoto herstelwerkzaamheden



Figuur B.3.6.3: Helikopterfoto uitstroom Oude Maasje in Molenplas



Figuur B.3.6.4: Erosie en bankvorming Oude Maasje (foto Jurjen de Jong)

B.4 Plasticvervuiling

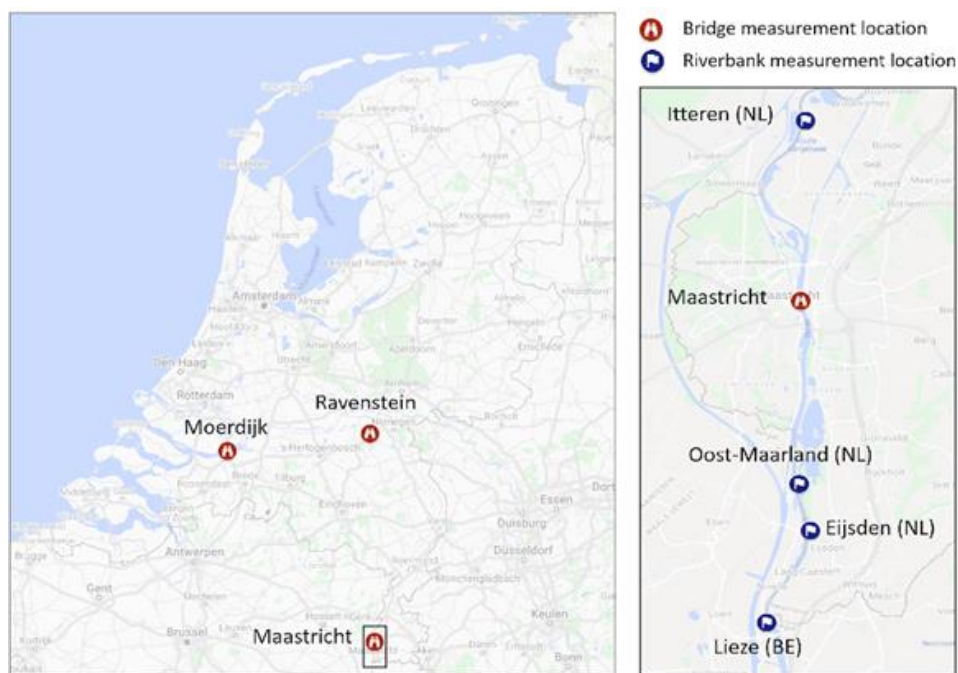
B.4.1 Meetmethoden

Tellingen afval in de rivier

Met behulp van visuele observaties op bruggen hebben we de hoeveelheid en het type drijvende afval gekwantificeerd (van Emmerik et al., 2018). De bruggen bevinden zich in Maastricht (bovenstrooms), Ravenstein (midstrooms) en Moerdijk (benedenstrooms) (Figuur B.4.1.1) waarbij de bruggen, afhankelijk van de rivierbreedte, in 3 tot 12 segmenten werden verdeeld. Gedurende een periode van 5 minuten werd al het zichtbare drijvende afval geteld en ingedeeld in een van de 7 plastic of 7 andere materiaal categorieën. De waarnemingen zijn genormaliseerd voor de breedte van de segmenten en de meetduur om de totale gemiddelde plastic flux in items per uur te berekenen. Sinds januari 2021 zijn er maandelijks metingen van 1 tot 2 uur op een dag uitgevoerd (van Emmerik & de Lange, 2021). Om de (verandering in) drijvende afval fluxen tijdens een jaarlijkse afvoerpiek en een overstroming te monitoren, zijn aanvullende metingen gedaan op 6 februari en 15, 17, 20 juli.

Tellingen afval op rivieroever

Op 22, 23 en 24 juli (2021) hebben we op vier rivieroever in de buurt van Maastricht de hoeveelheden afval geteld. Op elke locatie zijn drie secties geobserveerd, die twee meter breed zijn en zich van de waterlijn tot de hoogwaterlijn uitstrekt. De items zijn gecategoriseerd op basis van de OSPAR Categorieën (van Emmerik et al., 2020). Op een aantal locaties zijn ook de hoeveelheden afval dat was ingevangen door bomen en struiken gedocumenteerd.



Figuur B.4.1.1. Locaties van de drie bruggen en de vier rivieroeveren waar de metingen gedaan zijn.

B.4.2 Resultaten

Tabel B.4.2.1: Aantal afval items geteld op de vier rivieroeveren tijdens de normale afvoer en de overstroming.

Meetlocatie	Aantal afval items per 100 m	
	Normale omstandigheden	Overstroming
Lieze (BE)	357	8725
Eijsden (NL)	2561	1800
Oost-Maarland (NL)	120	2933
Itteren (NL)	263	3100

Tabel B.4.2.2: Top 10 afvalcategorieën voor de normale omstandigheden en de overstroming.

Positie	Normale omstandigheden		Overstroming	
	Afvalcategorie	% van het totaal	Afvalcategorie	% van het totaal
1	Piepschuim (2,5 – 50 cm)	18,8	Zachte plastic fragmenten (2,5 – 50 cm)	40,1
2	Zachte plastic fragmenten (2,5 – 50 cm)	11,2	Vochtige doekjes	24,6
3	Voedselverpakkingen	8,8	Voedselverpakkingen	7,6
4	Doppen en deksels	6,9	Ondefinieerbare (stukjes) textiel	4,2
5	Wattenstaafjes	6,3	Ondefinieerbare (stukjes) papier	3,2
6	Harde plastic fragmenten (< 2,5 cm)	5,7	Zachte plastic fragmenten (< 2,5 cm)	2,5
7	Harde plastic fragmenten (2,5- 50 cm)	4,6	Maandverband en verpakkingen daarvan	2,1
8	Zachte plastic fragmenten (< 2,5 cm)	3,4	Harde plastic fragmenten (2,5- 50 cm)	1,6
9	Piepschuim (< 2,5 cm)	2,9	Ballonnen en linten	1,4
10	Overig plastic	2,9	Stukken touw (diameter < 1 cm)	1,1
	Som:	71,5	Som:	88,4

Bijlagen bij hoofdstuk 4

Deze bijlage beschrijft een achttal voorvallen met waterkeringen in aanvulling op de zeven gebeurtenissen die al in hoofdstuk 4 zijn beschreven en de gedane aanbevelingen verder onderbouwen en versterken.

C.1 Bergingsgebied De Dem (Hoensbroek)

Op diverse plaatsen in Zuid-Limburg zijn regenwaterbuffers aangelegd om de bebouwing te beschermen tegen water-en modderoverlast. Een voorbeeld van een regenwaterbuffer is De Dem bij Hoensbroek. Het doel van deze buffer is met name het bergen van riooloverstorten van stedelijk gebied Heerlen. Over dit gebied werd op 14 juli om 15:12 de eerste waarschuwing gerelateerd aan een waterkering uitgegeven.²⁵ Het gebied was namelijk vol terwijl er water bleef toestromen. Het overlopende water leidde tot erosie van de omdijking, zie Figuur C1.1. Aanbevolen wordt om dergelijke regenwaterbuffers van een erosiebestendige overlaatl constructie met voldoende capaciteit te voorzien, zodat er geen falen kan optreden.



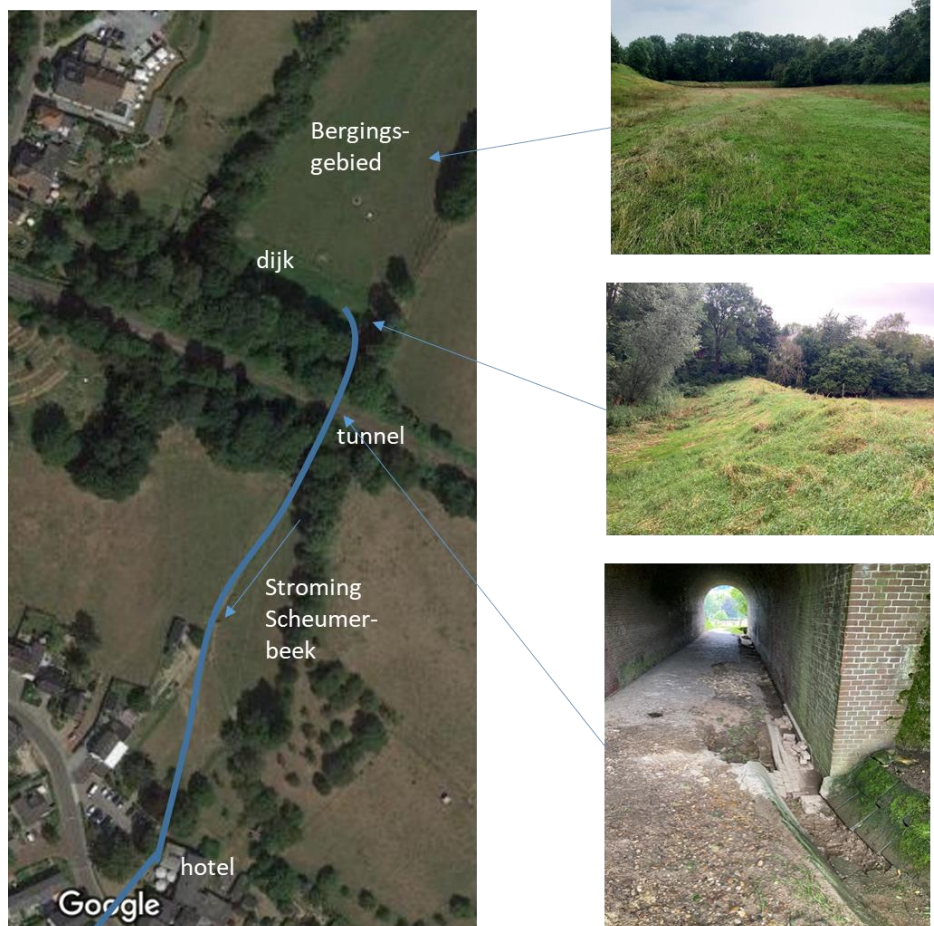
Figuur C1.1: Waterbergingsgebied De Dem met op de linkerfoto rechtsonder de vermoedelijke uitstroomblocatie, op de rechterfoto op de voorgrond de sporen van erosie van dezelfde locatie.

C.2 Bergingsgebied Ransdaal (Schin op Geul)

Aan de noordoostzijde van Schin op Geul ligt het regenwaterbergingsgebied Ransdaal. Tijdens de regenval ontstonden er benedenstrooms van het gebied langs de Scheumerbeek overstromingen. In het nabijgelegen hotel benedenstrooms van de berging heeft bijvoorbeeld enkele decimeters water gestaan. Tijdens het

²⁵ Van een wat later tijdstip is het bericht van regionale omroep L1 over de dreiging die van dit gebied uitging: <https://www.1limburg.nl/stutten-bassin-hoensbroek-mislukt-omwonenden-gewaarschuwd?context=default>

veldbezoek bleek dat er water over de dijk is gestroomd – in het midden en langs de oostelijke zijde van de dam. Vervolgens stroomde het water door een tunnel (waar sporen van aanzienlijke erosie aanwezig waren, hetgeen wijst op hoge stroomsnelheden) en dit leidde tot de overstroming benedenstrooms langs de Scheumerbeek. Dit betrof het hotel en enkele woningen



Figuur C.2.1: Ligging bergingsgebied Ransdaal bij Schin op Geul (links) en beelden van het gebied, de dijk en de erosie in de benedenstroomse tunnel.

C.3 Doorbraak nooddijk Horn

De Kemp is de laagste straat van het dorp Horn en grenst aan het retentiegebied Lateraalkanaal-West-noord. Hier is een waterkering (zonder primaire of regionale status) aanwezig bestaande uit een lage keermuur waar zo nodig betonblokken op gestapeld kunnen worden. Deze blokken zijn bij dit laatste hoogwater niet geplaatst. Buurbewoners hebben hier een nooddijk van circa 450 m lengte aangelegd, het gaat hier dus niet om een primaire of regionale waterkering. Op zaterdagmiddag 17 juli rond 13:00 uur brak deze dijk door. De waterstand stond daarbij ruim onder de kruin. Twee mogelijke oorzaken zijn: verweking door binnendijs kwelwater, of erosie door een lek in het geotextiel. Binnendijs was veel kwelwater aanwezig, onder andere afkomstig uit een rioolput die waarschijnlijk in contact stond met het water in het retentiegebied. Hierdoor heeft de nieuw opgebrachte grond mogelijk kunnen verweken.



Figuur C.3.1 Nooddijk bij Horn²⁶ met de latere doorbraaklocatie bij de shovel, en het begin van de doorbraak²⁷.

C.4 Veiligheid Roertunnel A73

Op zaterdag 17 juli aan het einde van de ochtend kwam bij Rijkswaterstaat een bezorgde melding binnen over een potentieel gevaar dat de Roertunnel in de A73 zou kunnen lopen wanneer een dijk langs de Roer zou doorbreken of overstroomde. Leden van het Calamiteitenteam Waterkeringen zijn met een weginspecteur naar de zuidelijke tunnelingang gegaan en hebben ter plaatse geconstateerd dat er op dat moment, toen het Roerpeil al iets aan het dalen was, nog ruim 1,5 m marge ter plaatse aanwezig was voordat het rivierwater de tunnel in zou kunnen stromen en dat er van gevaar dus geen sprake was. Ook achteraf gezien is dit niet verwonderlijk: tunnels in Rijkswegen worden immers altijd aan beide ingangen voorzien van kanteldijken waar de weg overheen loopt. Deze kanteldijken liggen dusdanig hoog dat overstrooming van het gebied aan de ene

²⁶ www.youtube.com/watch?v=BBbsEahtjOU

²⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=0P9TncCwcfk>

zijde van de tunnel niet gemakkelijk kan leiden tot het vollopen van de tunnel of zelfs overstroming van het gebied aan de andere zijde van de tunnel. Ook deze tunnel bleek goed te zijn ontworpen

C.5 Industrieterrein met Designer Outlet Roermond

Op vrijdag 16 juli is in Roermond een industrieterrein ontruimd waarop onder andere de Designer Outlet, die veel publiek trekt, is gevestigd. Het gebied is volgens het waterschap vrijgemaakt vanwege een dreigend hoogtetekort van de betreffende keermuren. Bij een inspectie door leden van het Calamiteitenteam Waterkeringen (CTW) is op zaterdag 17 juli een actieve wel in het dijktraject langs de Schippershaven geconstateerd, op een plaats waar twee keermuren bij elkaar komen, zie Figuur C.5.1. Waargenomen werd dat het water uit de wel troebel was en dat er rondom de wel zand lag. Het CTW heeft geadviseerd om deze wel met een 20- tot 40-tal zandzakken op te kisten en daarmee de waterstroming te stoppen. Het uitvoeren van de maatregelen is kort na het opstarten gestaakt, omdat de situatie ter plekke als te gevaarlijk werd ingeschat voor personen die de reparatie zouden uitvoeren. Naderhand bestaat het vermoeden dat de nieuwere keermuur 'koud' tegen de oudere keermuur is geplaatst en het water door de tussenliggende kier naar binnen heeft kunnen komen. Overigens waren in het omliggende gebied geen watersporen te zien op gebouwen en muren, dus lijkt het erop dat het gebied droog is gebleven en het water via de riolering kon worden afgevoerd.



Figuur C.5.1: Sporen van een wel bij de overgang van twee verschillende keermuren: overzicht (links), detail van het achtergebleven gat (de rood-witte blokken zijn elk 10 bij 10 cm) (rechts).

C.6 Inzetbaarheid retentiebekkens Bossche Broek

Ten zuiden van 's-Hertogenbosch liggen de retentiebekkens Bossche Broek Noord en Zuid, van elkaar gescheiden door de A2 direct ten oosten van de Dommel, zie Figuur . Deze retentiebekkens zijn bedoeld om tijdelijk water uit de Dommel op te vangen en zo de binnenstad te behoeden voor overstroming. Op zaterdag 17 juli was de mogelijke inzet van deze bekkens een relevant scenario, gelet op de verwachte neerslag in het stroomgebied van de Dommel en de passage van de hoogwatergolf in de Maas, beide enkele dagen later. De waterkeringen aan weerszijden van de A2 zijn echter afgekeurd in een recente toetsing (afgerond in oktober 2020). Het technisch oordeel betrof afkeuren op hoogte, piping en zowel binnenwaartse als buitenwaartse stabiliteit, alles bij elkaar over het grootste deel van de beide keringen. Omdat er toch enige twijfel bestond over de mate van conservatisme in de conclusies is die zaterdag via het Calamiteitenteam Waterkeringen een advies gevraagd over de eventuele inzetbaarheid van deze bekkens. Ten behoeve van de toetsing van deze keringen, met een totale lengte van 2,9 km, zijn in totaal 58 sonderingen en 19 boringen gebruikt voor de geotechnisch lengteprofielen. De kern van de keringen bestaat overwegend uit zand, met in de noordelijke kering meerdere niet-aaneengesloten kleilagen aan de oostzijde en in de zuidelijke kering meerdere kleilagen aan de westzijde. Daarnaast is ook op enkele plaatsen klei, veen en leem aangetroffen. Voor de piping- en stabiliteitsberekeningen is dit echter op zeer conservatieve wijze naar de schematiseringen vertaald, met afkeuren tot gevolg. Een meer realistische beoordeling, zoals tegenwoordig ook uitdrukkelijk gewenst is, reduceert de problemen echter tot een paar duidelijk afgebakende gedeelten voor wat betreft piping, binnenwaartse stabiliteit en hoogte, zodat de bekkens grotendeels of zelfs volledig kunnen worden ingezet, mits er sprake is van inspectie zodra de bovenste meter van de bekkens gevuld wordt en eventueel optredende calamiteiten dan desnoods met zandzakken kunnen worden beteugeld. In voorkomende gevallen zal de verdere vulling van de bekkens eventueel gestaakt moeten worden. Dit vereist afstemming tussen de beheerder van de retentiebekkens en de beheerder van de waterkeringen. Door een dergelijke afstemming zijn ook eventuele problemen met buitenwaartse stabiliteit (bij snelle leging van de bekkens) te voorkomen. De retentiebekkens zijn uiteindelijk niet ingezet, omdat de verwachte regen uitbleef.



Figuur C.6.1: Retentiebekkens Bossche Broek: overzichtskaart gebied, foto in westelijke richting met rechts de noordelijke waterkering.

C.7 Amertak bij Made: ontbrekende bestorting, vrees voor piping

Op maandag 19 juli werd het Calamiteitenteam Waterkeringen ingeschakeld voor de dijk aan de westzijde van de Amertak bij Made, nabij de doorsteek naar de Donge. Hier ontbrak de steenbestorting op enkele plaatsen rond de waterlijn op het buitentalud, zie Figuur C.7.1. Omdat de hoogwaterpiek binnen een etmaal op de nabijgelegen Maas zou passeren en de dijk was afgekeurd op piping, bestond de vrees dat er problemen zouden ontstaan met deze kering.

De aan- of afwezigheid van een grove sortering stortsteen op het buitentalud heeft echter geen invloed op het faalmechanisme piping; de stortsteen biedt immers geen significante weerstand voor de grondwaterstroming. Ook zou de verwachte waterstandsstijging van ruim 40 cm als gevolg van de passage van de hoogwatergolf op de Maas gemakkelijk kunnen worden opgevangen, desnoods door verhoging van het binnendijkse slootpeil dat op het moment van inspectie meer dan een meter onder maaiveld stond. In de smalle sloot zou een eventueel ontstane zandmeevoerende wel ook gemakkelijk onschadelijk kunnen worden gemaakt. Kortom, er bestond geen acuut gevaar.



Figuur C.7.1: Buitentalud met deels ontbrekende steenbestorting rond de waterlijn, dijk met binnendijs achtereenvolgens een weg, een smalle diepe sloot, een goederenspoorlijn en een groot kassengebied.

C.8 Uiltaatwerk Zeven Ellen Waterlaat bij Horn

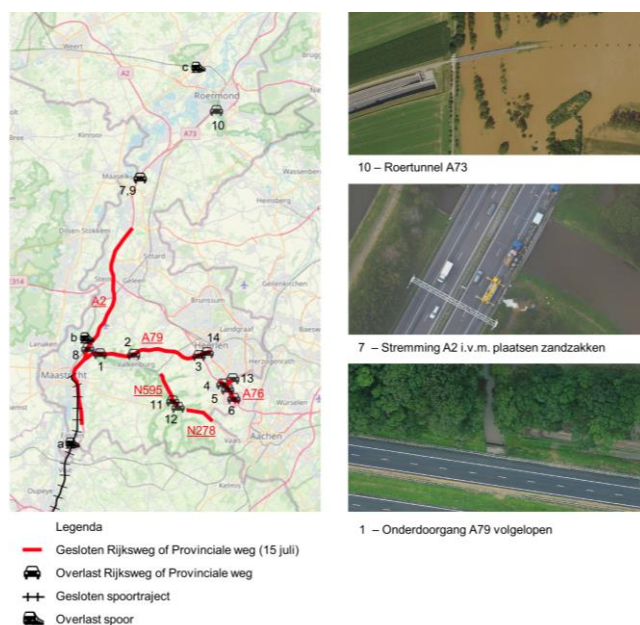
Het retentiegebied Lateraalkanaal-West-noord bij Horn (zie ook §3 van deze bijlage) is bedoeld om het water uit het retentiegebied daar weer uit te laten, na afloop van het hoogwater. Op woensdagmiddag 21 juli kwam een melding van schade aan dit uitlaatwerk, dat ook twee dagen later nog eens bezocht is, zie Figuur C.8.1. Het betrof erosie van de dijk bij de uitlaat. Terwijl de waterstroming door de buizen rechtdoor in het Lateraal Kanaal had moeten stromen, wat voor een deel ook wel gebeurde, kwam ook veel water via een inspectiegat naar buiten. De schade aan de dijk is mede veroorzaakt door de waterstroming vanuit de gebroken zuidelijke buis, zoals te zien is linksonder in Figuur . Tot een dijkdoorbraak zou het niet meer komen, maar duidelijk is wel dat het ontwerp verbetering behoeft voordat dit uitlaatwerk vernieuwd wordt, om herhaling van dergelijke schade bij een volgende inzet te voorkomen.



Figuur C.8.1: Zeven Ellen Waterlaat nabij Horn, boven: situatie op 21 juli (foto's Erik Bijlsma, Rijkswaterstaat), onder: situatie op 23 juli bij een peil in het retentiegebied circa 1,95 onder de piekwaterstand

Bijlagen bij hoofdstuk 5

D.1 Bijlage: Verdiepende info bij het hoofdstuk schade



Figuur D.1.1 Locaties met overlast infrastructuur

- 1 A79 (3.0): tunnel onderdoorgang ondergelopen, verkeersmaatregel getroffen
- 2 A79 (14.1-0.5): wateroverlast
- 3 A79 (17.0-17.3): water op de weg, hier waren al wegwerkzaamheden
- 4 A76 (24.0): uitspoeling kunstwerk onder autosnelweg
- 5 A76 (25.0): water op de weg bij afrit Simpelveld
- 6 A76 (26.8): water op afrit naar Esso Langeveld
- 7 A2 (226.3): gestremd i.v.m. plaatsen zandzakken
- 8 A2: gestremd van Kerensheide tot Kruisdonk i.v.m. dreiging water op de weg t.h.v. Rothem (km 251.0)
- 9 A2 (226.3): dreiging dijkdoorbraak Neerbeek/Geleenbeek
- 10 A73 Roertunnel: bijna afgesloten i.v.m. waterhoogte, afsluiting bleek uiteindelijk niet nodig
- 11 N595 (3.1-9.1): gesloten in beide richtingen i.v.m. water op de weg en taludschade
- 12 N278 (14.9-17.5): gesloten in beide richtingen i.v.m. modder en water op de weg
- 13 N300 (24.9): wateroverlast onderdoorgang bij Locht
- 14 Welterlaan, aansluiting A79: volledig gestremd i.v.m. water op de weg
- a Spoor Maastricht-Luik gesloten, spoor nabij Eijsden staat onder water, schade aan spoorstroomlopen
- b Spoor Maastricht-Sittard, bij Bunde gesloten i.v.m. nieuws 'dijkdoorbraak' en evacuatie
- c Spoor Weert-Roermond, bij Haelen wordt langzaam gereden i.v.m. mogelijke verweking (spoor)dijk

Bijlagen bij hoofdstuk 8

E.1 Overzicht van gerapporteerde schade en slachtoffers in België en Duitsland

In onderstaande tabellen staan gerapporteerde schades, getroffen en slachtoffers voor gebieden in België en Duitsland.

* Het aantal getroffen gebouwen werd verstrekt door Copernicus Emergency Management Service - Mapping. Zij gebruikten satellietbeelden voor visuele analyse.

Deelstaat Duitsland	District	Gemeente	Rivier	Maximale waterstand ²⁸	MHW	Getroffen gebouwen*	Gerapor- teerde ongevallen	Overige, gerapor- teerde schade
Nordrhein	Düren	Inden	Inde	-	-	4	-	
		Langerwehe	Wehe	>2.0 m	0.4 m	21	-	
	Düsseldorf	Düsseldorf	Angerbach	-	-	31	-	350 huizen overstroomd
	Euskirchen	Bad Münstereifel	Erft	3.4 m	1.0 m	42	26	
		Euskirchen	Erft	3.2 m	1.9 m	19	-	
		Kall	Urft	2.9 m	1.5 m	685	-	
		Schleiden	Olef	4.7 m	1.9 m	1273	-	
		Weilerswist	Swist	3.2 m	1.9 m	41	-	
	Heinsberg	Heinsberg	Lausbach	3.2 m	2.1 m	196	-	
		Hückelhoven	Pützbach	-	-	3	-	
		Wassenberg	Rur	3.2 m	2.1 m	205	-	
	Köln	Köln	Mutzbach	-	-	18	2	
	Leverkusen	Leverkusen	Mühlengraben	-	-	7	-	
	Märkischer Kreis	Altena	Lenn	>4.5 m	2.6 m	NA	2	
	Rhein-Erft- Kreis	Erftstadt	Erft	4.2 m	1.7 m	1706	-	A61 en gasvoorziening beschadigd.

²⁸ <https://luadb.it.nrw.de/LUA/hygon/pegel.php?karte=nrw> und <https://wasserportal.rlp-umwelt.de/servlet/is/8181/>

Deelstaat Duitsland	District	Gemeente	Rivier	Maximale waterstand ²⁹	MHW	Getroffen gebouwen*	Gerapor- teerde ongevallen	Overige, gerapor- teerde schade
		Kerpen	Neffelbach	1.9 m	1.2 m	5	-	
	Rhein-Kreis Neuss	Meerbusch	Langenbruch- bach	-	-	3	-	
		Neuss	Norfbach	-	-	8	-	
	Rhein-Sieg- Kreis	Lohmar	Agger	4.6 m	3.7 m	NA	-	Schoolgebouw beschadigd
		Rheinbach	Gräbbach	2.4 m	1.7 m	NA	-	
		Swisttal	Orbach	2.4 m	1.7 m	NA	-	
	Städteregion Aachen	Eschweiler	Inde	>3.1 m	0.6 m	61	-	Ziekenhuis en scholen beschadigd
		Stolberg (Rhld.)	Vicht	-	-	433	-	
	Wuppertal	Wuppertal	Wupper	>3.8 m	1.7 m	NA	-	Ernstige schade aan infrastructuur
Rheinland- Pfalz	Ahrweiler	Adenau	Ahr	>7 m	-	148	133	
		Altenahr	Ahr	>7 m	-	1987	-	
		Bad Neuenahr- Ahrweiler	Heppinger Bach	>7 m	-	1679	-	Bruggen en waterzuivering getroffen

²⁹ <https://luadb.it.nrw.de/LUA/hygon/pegel.php?karte=nrw> und <https://wasserportal.rlp-umwelt.de/servlet/is/8181/>

Deelstaat Duitsland	District	Gemeente	Rivier	Maximale waterstand ³⁰	MHW	Getroffen gebouwen*	Gerapor- teerde ongevallen	Overige, gerapor- teerde schade
	Eifelkreis Bitburg- Prüm	Arzfeld	Prüm	-	-	2	1	
		Bitburger Land	Kyll	7.8 m	-	37	-	
		Südeifel	Prüm	-	-	15	-	
	Trier- Saarburg	Trier-Land	Kyll	7.8 m	-	5	-	700 huizen overstroomd

³⁰ <https://luadb.it.nrw.de/LUA/hygon/pegel.php?karte=nrw> und <https://wasserportal.rlp-umwelt.de/servlet/is/8181/>

Provincie Belgie	Gemeente	Stad	Rivier	Maximale waterstand ³¹	Normaal peil	Getroffen gebouwen	Gerapor- teerde ongevallen	Overige schade
Limburg	Tongeren	Voeren	Berwijn	60.5 m	58.0 m	-		Nooddammen beschadigd. Spoorlijn onder water
		Maasmechelen	Maas	40.1 m	32.0 m	-		E314 afgesloten
	Hasselt	Lummen	Demer	32.2 m	30.7 m	-		Knooppunt overstroomd
Luik	Luik	Chaufontaine	Vesder	3.0 m	0.7 m	-	2	Gas-en telefoonnetwerk beschadigd
		Remouchamps	Ambleve	3.1 m	0.7 m	-	1	
		Trooz	Vesder	3.1 m	0.7 m	-	4	
		Luik	Ourthe	5.7 m	0.5 m	-		
	Verviers	Pepinster	Vesder	-	-	50	1	
		Spa	Wayai	-	-	-	4	
		Jalhay	Hoegne	1.4 m	0.4 m	-		
		Theux	Hoegne	-	-	-		
		Limburg	Vesder	-	-	-		Straat verwoest
		Eupen	Helle	-	-	-	1	
Namen	Dinant	Rochefort	Lomme/Lesse	4.3 m	0.5 m	-		Trein ontspoord door verzakte lijn
	Philippeville	Philippeville	Biernouré	-	-	-	1	
	Namen	Mettet	Molignee	0.9 m	0.1 m	-	1	
Waals- Brabant	Ottignies	Ottignies	Dijle	3.3 m	0.5 m	-		
Vlaams- Brabant	Leuven	Tienen	De Gete	41.5 m	40.2 m	-		Voetbalstadion overstroomd
		Leuven	Dijle	19.1 m	17.4 m	-		
		Glabbeek	Velpe	32.9 m	31.2 m	-		

³¹ Vlaanderen: <https://www.waterinfo.be/Themas#item=overstroming/actueel>

Wallonie: [http://voies-](http://voies-hydrauliques.wallonie.be/opencms/opencms/fr/hydro/Archive/annuaires/statjourgraph.jsp?PG=Graphique&code=10461011)

[hydrauliques.wallonie.be/opencms/opencms/fr/hydro/Archive/annuaires/statjourgraph.jsp?PG=Graphique&code=10461011](http://voies-hydrauliques.wallonie.be/opencms/opencms/fr/hydro/Archive/annuaires/statjourgraph.jsp?PG=Graphique&code=10461011)

Colofon

Uitgave van het Expertise Netwerk
Waterveiligheid
© 2021

Contactgegevens

Expertise Netwerk Waterveiligheid
p/a Rijkswaterstaat WVL, afdeling
Waterkeringen t.a.v. Marieke Hazelhoff
Postbus 2232, 3500 GE Utrecht

E enwsecretariaat@rws.nl
I www.enwinfo.nl

