



# Het Roer om

Een analyse van de meetapparatuur in  
de rivier Roer

# Het Roer om

Een analyse van de meetapparatuur in de rivier Roer

Door

Linda Deen

ter verkrijging van de graad van

**Bachelor of Science**  
in Civiele Techniek

aan de Technische Universiteit Delft.

Studentnummer:	4880196
Project periode:	November, 2021 – Januari, 2022
Project begeleiders:	Ir. J. R. Moll                      TU Delft Dr. ir. M. M. Rutten              TU Delft

## Voorwoord

In dit rapport is de apparatuur om waterstand en afvoer in de Roer te Limburg te meten geanalyseerd en zijn aanbevelingen voor verbeteringen gedaan. Dit rapport heb ik geschreven als bachelor eindwerk voor de studie Civiele Techniek aan de de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen.

Informatie over de locaties van de meetpunten in de Roer is te vinden in sectie 2.1. Lezers die geïnteresseerd zijn in de waterstanden en afvoeren tijdens het hoogwater in juli kunnen dit vinden in sectie 3.1.4. Lezers met interesse in afvoermetingen kunnen terecht in Hoofdstuk 4 om meer te weten te komen over alternatieve methoden om afvoer te meten in de Roer.

Ik wil graag Roelof Moll en Martine Rutten bedanken voor de begeleiding en adviezen tijdens het bachelor eindwerk. Daarnaast wil ik graag Frank Heijens en Bart van der Aa van Waterschap Limburg bedanken voor het verschaffen van informatie over het meetnet in Limburg. Tot slot wil ik graag Klaas-Jan van Heeringen van Deltares bedanken voor het verlenen van data over de waterstanden en afvoeren in de Roer.

Delft, januari 2022

Linda Deen

## Samenvatting

Afgelopen zomer is Limburg getroffen door overstromingen wat tot veel materiële en emotionele schade heeft geleid. Om slachtoffers in de toekomst te voorkomen en schade te beperken is het van belang dat goed kan worden voorspeld of er gevaar voor hoogwater dreigt. Dan kunnen op tijd maatregelen worden getroffen en mensen worden gewaarschuwd of indien nodig geëvacueerd. Een voorspelling is gebaseerd op een model en dat model wordt gebaseerd en gevalideerd met metingen uit het veld. Daarom is het belangrijk dat er betrouwbare en valide metingen worden gedaan.

In dit project is de kwaliteit van de huidige methoden om waterstanden en afvoeren te meten in de Roer geëvalueerd en worden verbeterpunten aanbevolen. De locatie en het type meetapparatuur van ieder meetpunt is onderzocht. Op basis van data over de waterstanden en afvoeren in de Roer zijn onregelmatigheden in kaart gebracht. Bovendien is gezocht naar de achterliggende redenen van ontbrekende data. Op deze manier is een beeld geschetst van de gebreken aan de huidige meetapparatuur. Er is in dit project alleen gekeken naar de meetapparatuur in het Nederlandse deel van de Roer.

Uit de data over de waterstanden en afvoeren in de Roer verkregen van Deltares bleek dat meetlocaties Molenbeek en Hambeek een aantal maanden van ontbrekende data hadden in 2021, dit is te wijten aan een defect. Bovendien waren op meetlocatie Lerop de piekwaterstanden tijdens het hoogwater in juli niet gemeten, omdat het maximale meetbereik werd bereikt. Tevens ontbrak er data over de waterstanden van alle stations tussen 22 en 24 oktober, dat werd veroorzaakt door een communicatiestoring tussen software.

Tijdens het hoogwater van afgelopen zomer zijn geen pieken in de waterstanden van meer dan 4 meter voorgekomen. Dus een drukopnemer met een meetbereik van 4 meter is geschikte apparatuur om de waterstanden in de Roer te meten. De bodemdaling rondom de Roer is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de waterstandsveranderingen gedurende het jaar. Daarnaast is er nauwelijks vandalisme en worden de meetlocaties periodiek onderhouden. Dus de metingen worden niet beïnvloed door bodemdaling, mens, dier of natuur.

Om het meetbereik van de meetapparatuur te Lerop efficiënter te gebruiken wordt geadviseerd de onderkant van de meetapparatuur te Lerop op te hogen van NAP +17,56 meter tot NAP +19,0 meter. De reparatieduren van defecte meetapparatuur zijn langer dan de gewenste maximale reparatieduur van een maand. Dus wordt geadviseerd meer reserve apparatuur paraat te hebben, zodat een-op-een vervangen vaker mogelijk is of te onderzoeken wat het reparatieproces vertraagd en dat indien mogelijk aan te passen.

Voor de afvoermeting in het Nederlandse deel van de Roer kan na verder onderzoek mogelijk een van de volgende alternative methoden: de rising bubble techniek of de acoustic doppler current profiler (ADCP) methode, worden toegepast. Bovendien is het niet noodzakelijk een extra afvoermeetpunt in de Roer toe te voegen, omdat de afvoer gemeten in het Duitse Stah representatief is voor het Nederlandse deel van de Roer.



# Inhoudsopgave

Voorwoord . . . . .	i
Samenvatting . . . . .	ii
1. Inleiding . . . . .	1
2. Materiaal en methode . . . . .	2
2.1 Meetlocaties . . . . .	2
2.2 Meetapparatuur . . . . .	3
2.3 Datasets waterstands- afvoer- en neerslagmetingen . . . . .	5
2.4 Analyse kwaliteit metingen . . . . .	6
3. Resultaten . . . . .	7
3.1 Gemeten data . . . . .	7
3.1.1 Neerslag . . . . .	7
3.1.2 Waterstand . . . . .	9
3.1.3 Afvoer . . . . .	10
3.1.4 Neerslag, waterstand en afvoer zomer 2021 . . . . .	11
3.2 Kwaliteit meetstations . . . . .	13
3.2.1 Meetbereik apparatuur . . . . .	13
3.2.2 Zettingen bodem . . . . .	13
3.2.3 Consistentie in ruimte en tijd . . . . .	14
3.2.4 Menselijke, dierlijke en natuurinvloeden . . . . .	14
3.2.5 Reparatie . . . . .	14
4. Alternatieve methoden afvoermetingen . . . . .	15
4.1 Rising bubble techniek . . . . .	15
4.2 Acoustic Doppler Current Profiler . . . . .	16
5. Conclusie . . . . .	18
Referenties . . . . .	19
Bijlage A: Foto's meetpunten Roer . . . . .	20
Bijlage B: Grafieken . . . . .	23

# 1. Inleiding

Afgelopen zomer is een groot deel van Limburg getroffen door hoogwater. Door extreme regenval in de stroomgebieden van de rivieren ontstonden zeldzaam hoge piekafvoeren. De zomer is meestal een periode van droogte, het is daarom extra zeldzaam dat het hoogwater in dit seizoen plaatsvond. De hoge piekafvoeren hebben geleid tot hoge waterstanden in de rivieren. Hierdoor zijn rivieren buiten hun oevers getreden en stukken land overstroomd. In Limburg heeft het hoogwater veel materiële schade veroorzaakt en waren evacuaties uit het gebied noodzakelijk. Verder bovenstrooms, in Duitsland en België, heeft het hoogwater zelfs geleid tot dodelijke slachtoffers (Task Force Fact Finding hoogwater, 2021).

Om slachtoffers in de toekomst te voorkomen en schade te beperken is het van belang dat goed kan worden voorspeld of er gevaar voor hoogwater dreigt. Op deze manier kunnen op tijd maatregelen worden getroffen en mensen worden gewaarschuwd, en indien nodig geëvacueerd. Een voorspelling is gebaseerd op een model en dat model wordt gebaseerd en gevalideerd met metingen uit het veld. Daarom is het belangrijk dat er betrouwbare en valide metingen worden gedaan.

In dit project zullen de waterstand- en afvoermetingen in het Nederlandse deel van de Roer worden onderzocht. De waterstanden die voorkwamen in de Roer tijdens het hoogwater hadden een kans van optreden tussen de eens per honderd jaar en eens per duizend jaar (Task Force Fact Finding hoogwater, 2021). Dit is een extreme situatie en maakt de metingen erg waardevol om te vergelijken met modellen en om een beter begrip te krijgen van de situatie in de Roer tijdens hoogwater. Daarom is het belangrijk dat ook tijdens hoogwater de metingen betrouwbaar en valide zijn. De toegepaste meetapparatuur bepaalt in combinatie met omgevingseffecten deze kwaliteit van de metingen.

Het doel van dit project is om de betrouwbaarheid van de huidige methoden om waterstanden en afvoeren te meten in de Roer te evalueren en waar mogelijk verbeterpunten aan te bevelen. De locatie en het type meetapparatuur van ieder meetpunt wordt onderzocht. Op basis van de gedane metingen en kennis van stromingen in rivieren wordt bepaald of de metingen overeenkomen met de verwachting. Op deze manier wordt in kaart gebracht bij welke meetstations onbetrouwbare metingen zijn gedaan en aan de hand daarvan wordt onderzocht wat de achterliggende reden is van de onbetrouwbaarheid. Ligt de onbetrouwbaarheid aan de keuze voor het type meetapparatuur of is de meting beïnvloed door de omgeving. Het project is gebaseerd op literatuuronderzoek, evaluatie van meetgegevens en kennis van experts. Het project beperkt zich tot het stroomgebied van de Roer te Limburg en richt zich op afwijkingen in de meetgegevens tijdens het hoogwater afgelopen zomer.

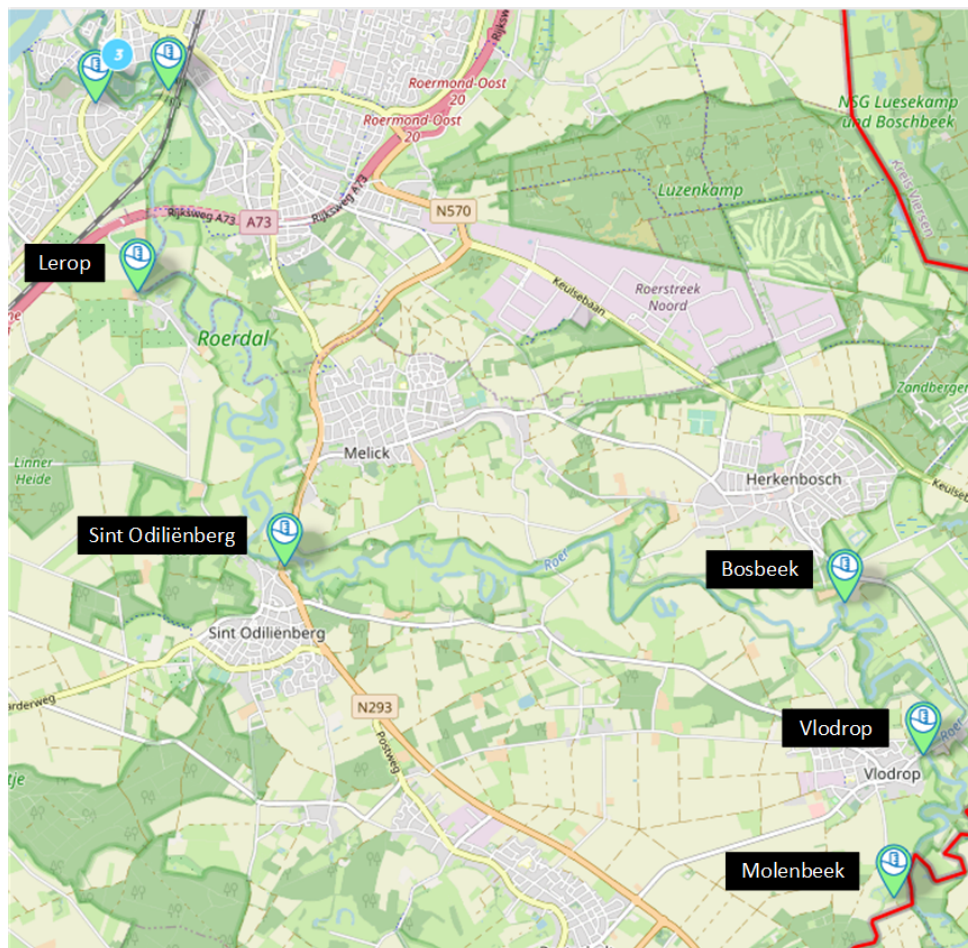
Het rapport is als volgt opgebouwd: in Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de meetlocaties en de toegepaste meetmethode in de Roer. Bovendien wordt toegelicht hoe de data over de waterstanden is geanalyseerd. Vervolgens worden in Hoofdstuk 3 de gemeten waterstanden gepresenteerd en opmerkelijke veranderingen in waterstand aangeduid. Hoofdstuk 4 beschrijft alternatieve methoden om afvoeren te meten, en licht toe of het haalbaar is deze methoden toe te passen in de Roer. Tot slot worden in Hoofdstuk 5 conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

## 2. Materiaal en methode

Om de kwaliteit van de metingen te onderzoeken is het noodzakelijk het huidige meetnet te onderzoeken. In dit hoofdstuk worden de locaties van de meetstations aangeduid en wordt voor iedere locatie beschreven welke methode is toegepast om de metingen te verrichten. Daarnaast wordt toegelicht welke data is gebruikt voor de analyse en hoe deze is uitgevoerd.

### 2.1. Meetlocaties

In de Roer bevinden zich meerdere meetpunten om de waterstanden op verschillende locaties te bepalen. Er zijn in totaal negen meetpunten onderzocht, omdat alleen is gekeken naar het Nederlandse deel van de Roer en er zich in Limburg negen meetlocaties bevinden. Vanaf de Duitse grens naar benedenstrooms zijn dat de meetpunten: Molenbeek, Vlodrop, Bosbeek, Sint Odiliënberg, Lerop, stuw Hoge Bat. Na het meetpunt stuw Hoge Bat vertakt de rivier in twee richting. In de ene vertakking, die door de stad Roermond loopt, bevinden zich de meetpunten: stuw Hellegat bovenstrooms en stuw Hellegat benedenstrooms. In de andere vertakking bevindt zich het meetpunt Hambeek. In Figuur 1 is een overzicht van de meetlocaties weergegeven. In Figuur 1 is te zien dat in Roermond meerdere meetpunten dicht op elkaar liggen, te herkennen aan het blauwe bolletje.



Figuur 1: Locaties van de meetpunten in de Roer. De groene icoontjes geven de meetpunten aan. In Roermond, linksboven op de kaart, liggen meerdere meetpunten dicht op elkaar (Waterschap Limburg, 2021).

Een overzicht van de meetpunten in Roermond is gegeven in Figuur 2. Alle actieve meetlocaties in Roermond zijn lichtgroen in deze afbeelding. Bij het grijze meetpunt, Hambeek, werd zowel waterstand als afvoer gemeten. De grijze kleur betekent dat er geen recente data beschikbaar is van het meetpunt. Dit meetpunt is momenteel inactief, omdat de meetapparatuur defect is door het hoogwater van afgelopen zomer. Hambeek is de enige locatie in het Nederlandse deel van de Roer waar afvoer werd gemeten. Door het defect van meetstation Hambeek wordt er nu nergens in het Nederlandse deel afvoer gemeten. Voor informatie over de afvoer in de Roer wordt daarnaast gebruik gemaakt van het meetpunt in Stah, net over de Duitse grens. In Stah wordt ook de afvoer gemeten en deze is representatief voor het Nederlandse deel van de Roer.

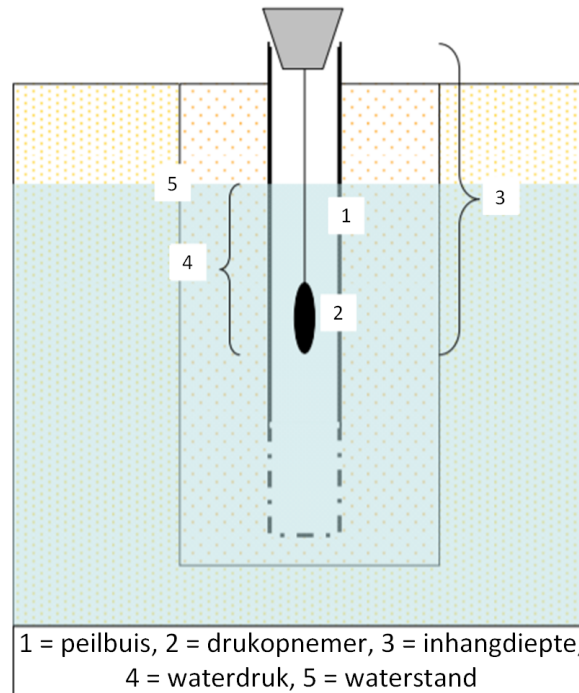


Figuur 2: Ingezoomd op de locaties van de meetpunten in de Roermond (Waterschap Limburg, 2021).

Zeven van de negen meetpunten liggen in of direct naast de Roer. De twee andere meetpunten, te weten Molenbeek en Bosbeek, zijn gelegen in een kleine zijstroom in een aanliggend weiland. Bij Molenbeek wordt de waterstand pas gemeten vanaf 27,15 meter boven NAP, omdat er beneden dit niveau geen water in de zijstroom staat. Bij Bosbeek wordt om dezelfde reden pas gemeten vanaf een waterstand van 23,98 meter boven NAP. In Roermond vinden drie metingen plaats bij een stuw. Op alle andere locaties worden de metingen gedaan in open water. Een afbeelding van elke meetlocatie is weergegeven in Bijlage A (Waterschap Limburg, 2021).

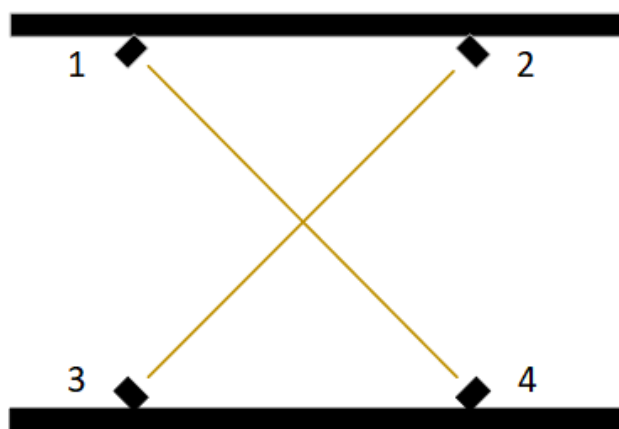
## 2.2. Meetapparatuur

De waterstanden in de Roer worden gemeten door middel van drukopnemers met een meetbereik van ongeveer 4 meter. Er is door het Waterschap Limburg gekozen om gebruik te maken van drukopnemers, omdat deze betrouwbaar, stabiel en nauwkeurig zijn. De drukopnemers zijn geplaatst in een meetbuis gelegen naast de rivier. Op deze manier meet de drukopnemer in stilstaand water en worden de metingen niet beïnvloed door golven of turbulentie. Een waterstandsmeting met een drukmeter wordt als volgt verricht. De drukmeter wordt op een bepaalde diepte ingehangen, dit is minimale diepte die de drukopnemer kan meten. Bij lagere waterstanden wordt dit niet geregistreerd door de drukopnemer. De drukopnemer meet de hoeveelheid druk boven de inhangdiepte. Hieruit wordt het aantal meter water kolom boven de drukopnemer bepaald. Daarmee wordt de waterstand ten opzichte van NAP bepaald. De drukopnemer meet elk kwartier de waterstand. In Figuur 3 is een schematische weergave van een drukopnemer te zien (Leunk I. e.a., 2011).



Figuur 3: Schematische weergave drukopnemer (Leunk I. e.a., 2011).

De afvoer werd op meetlocatie Hambeek gemeten door middel van een akoestische debietmeting (ADM) met een meetkruis. In Figuur 4 is het akoestische signaal van de debietmeting weergegeven. Bij een ADM wordt vanuit positie 1 en 4 tegelijk een akoestisch signaal gestuurd. Vervolgens wordt de tijd gemeten die het signaal nodig heeft om de overkant te bereiken. Het ene signaal gaat met de stroming mee en de andere tegen de stroming in. Hierdoor ontstaat er een verschil in tijd, waarmee de stroomsnelheid in lengterichting en dwarsrichting (de richting van meetlijn 1-4) van de rivier wordt bepaald. Dezelfde meting wordt verricht voor de meetlijn die van 3 naar 2 loopt. Hierdoor wordt de invloed van de stroom in dwarsrichting opgeheven. Op de gevonden stroomsnelheid wordt een correctiefactor toegepast, zodat de gemiddelde snelheid over de diepte wordt gevonden. De afvoer wordt berekend door de gemiddelde stroomsnelheid te vermenigvuldigen met het doorstroomoppervlak van de rivier (Hartong en Termes, 2009).



Figuur 4: Schematische weergave bovenaanzicht ADM meetkruis.

### 2.3. Datasets waterstands- afvoer- en neerslagmetingen

Om de kwaliteit van de meetapparatuur te bepalen worden recente meetgegevens geanalyseerd, want die zeggen het meest over de huidige staat van de meetapparatuur. Hiertoe wordt gekeken naar de waterstanden en afvoer over de periode 1 januari 2021 tot 12 november 2021. Deze dataset bestaat uit 30.001 metingen per meetstation. Het meetstation te Hambeek is defect als gevolg van het hoogwater afgelopen zomer en heeft meetgegevens tot 25 augustus 2021. De datasets voor meetstation Hambeek bestaan uit 23.186 metingen. De waterstanden en afvoer in de dataset zijn gemeten door het Waterschap Limburg en verkregen van Deltares. Als het meetstation geen waterstand of afvoer heeft kunnen meten wordt de waarde -999 doorgegeven in de dataset. Het aantal van deze ongeldige metingen is per meetstation weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Aantal ongeldige metingen per meetlocatie. Data: Deltares

Meetlocatie	Aantal ongeldige metingen
Molenbeek	9012
Vlodrop	60
Bosbeek	61
Sint Odiliënberg	62
Lerop	271
Stuw Hoge Bat	98
Stuw Hellegat bovenstrooms	55
Stuw Hellegat benedenstrooms	55
Hambeek (waterstand)	510
Hambeek (afvoer)	1097

Uit Tabel 1 blijkt dat het meetstation in Molenbeek veruit de meeste ongeldige metingen heeft. Dit komt daardat het meetstation is weggehaald voor reparatie. Daarnaast heeft meetstation Hambeek veel ongeldige metingen voor zowel waterstand als afvoer. De apparatuur in dit meetstation was defect na het hoogwater van afgelopen juli. Hierdoor zijn er na het hoogwater relatief veel ongeldige metingen gedaan. Bovendien heeft het meetstation in Lerop relatief veel ongeldige metingen. Tijdens het hoogwater van afgelopen zomer is het meetstation in Lerop namelijk tegen de maximale te meten hoogte aangelopen. Hierdoor was het niet mogelijk bij hogere waterstanden te meten op deze locatie wat heeft geleid tot relatief veel ongeldige metingen. De meetpunten bovenstrooms en benedenstrooms van de stuw bij Hellegat hebben even veel ongeldige metingen, omdat deze punten heel dicht naast elkaar liggen. Het is belangrijk de achterliggende reden van de ongeldige metingen te onderzoeken, zodat eventuele gebreken in kaart worden gebracht.

De rivierafvoer van de Roer wordt grotendeels beïnvloed door de neerslag in het stroomgebied, want de Roer is een regenrivier. Daarom wordt de neerslag in het stroomgebied van de Roer onderzocht. Door de pieken in de neerslaggegevens te vergelijken met de pieken in de waterstanden en afvoer wordt de invloed van neerslag in het hydrologische systeem duidelijk. Bovendien kunnen grote afwijkingen tussen neerslag en waterstanden of afvoeren duiden op fouten in de metingen. Langs de Roer zijn weinig weerstations, daarom wordt gekeken naar de neerslaggegevens van Roermond en het Duitse Heinsberg-Schleiden. De dataset van de neerslaggegevens in Roermond heeft een tijdsbestek van 1 januari 2021 tot 20 november 2021 en geeft de neerslag per dag. De dataset van Roermond is verkregen van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). De dataset van Heinsberg-Schleiden beslaat een periode van 1 januari 2021 tot 21 december 2021 en geeft ook de neerslag per dag. De neerslagdata van Heinsberg-Schleiden is verkregen van WetterKontor (WetterKontor, 2021).

## **2.4. Analyse kwaliteit metingen**

De kwaliteit van de waterstandsmetingen wordt door verschillende factoren beïnvloed. Ten eerste kan de kwaliteit van de metingen worden bepaald door te kijken naar de consistentie van de metingen in tijd en ruimte. Als een piek op meerdere meetpunten rond hetzelfde tijdstip te zien is en volgt uit het verloop van de rivier, dan zijn de metingen betrouwbaarder. De tweede factor die de kwaliteit beïnvloed is de maximale hoogte tot waar een meetstation waterstanden kan meten. Als de waterstand in de rivier dan te hoog wordt, is het niet meer mogelijk metingen te doen op die locatie. De derde invloedrijke factor is zettingen in de bodem. Indien de bodem zakt krijgen de meetgegevens een kleine afwijking. Verder kunnen ook mens en dier de kwaliteit van de metingen beïnvloeden. Door vandalisme gaat meetapparatuur verloren, waardoor er minder metingen worden gedaan. Bovendien kunnen afwijkingen ontstaan door dieren die in of op de meetapparatuur leven. Daarnaast heeft ook de natuur invloed. Er kan bijvoorbeeld een steen of modder in de apparatuur terecht komen en daarmee de metingen beïnvloeden. Bovendien kan er stroomuitval of een storing in de software optreden. Hierdoor wordt de data niet uitgelezen. Tot slot, heeft ook de snelheid waarmee reparaties worden uitgevoerd invloed op de kwaliteit van de metingen, want als defecten snel worden gerepareerd is er maar kort een gebrek aan data. Door de meetstations te beoordelen op de hierboven benoemde factoren wordt de kwaliteit van de metingen bepaald.



### 3. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de neerslag-, waterstand- en afvoergegevens geanalyseerd en visueel weergegeven. Hierdoor wordt duidelijk waar gebreken zitten in de data. Bovendien wordt de kwaliteit van deze metingen bepaald aan de hand van de criteria benoemd in sectie 2.4, waardoor verbeterpunten voor het meetnet kunnen worden bepaald.

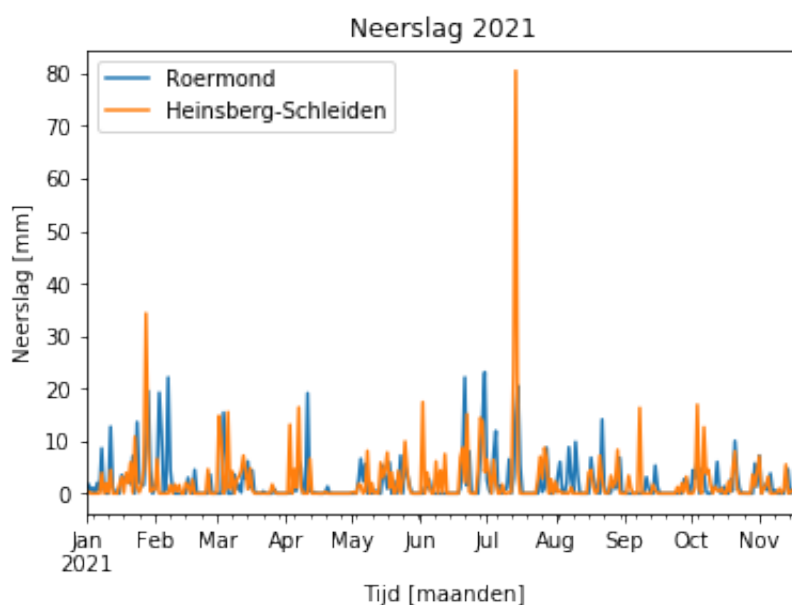
#### 3.1. Gemeten data

In en om de Roer worden neerslag, waterstand en afvoer gemeten. Deze data zijn geanalyseerd. Bovendien is specifiek gekeken naar de data over het hoogwater in juli. Hiermee wordt een beeld gegeven van het functioneren van de meetapparatuur tijdens extreme situaties.

##### 3.1.1. Neerslag

In Figuur 5 is de neerslag in Roermond en Heinsberg-Schleiden over 2021 weergegeven. In de grafiek is te zien dat de neerslag in Roermond een aantal pieken heeft verdeeld over het jaar. Tijdens het hoogwater in juli is de piek in Roermond echter van dezelfde grootte als eerdere pieken in februari en juni. Het ontbreken van een piek die anderhalf of dubbel zo groot is als pieken eerder in het jaar ligt aan het lokale optreden van intensieve neerslag. Er valt dan een grote hoeveelheid neerslag over een klein gebied. Daarnaast ligt Roermond aan de monding van de Roer. Dus de neerslag die in Roermond valt mondt bijna direct uit in de Maas en levert slechts voor de meetpunten benedenstrooms extra afvoer en daarmee hogere waterstanden.

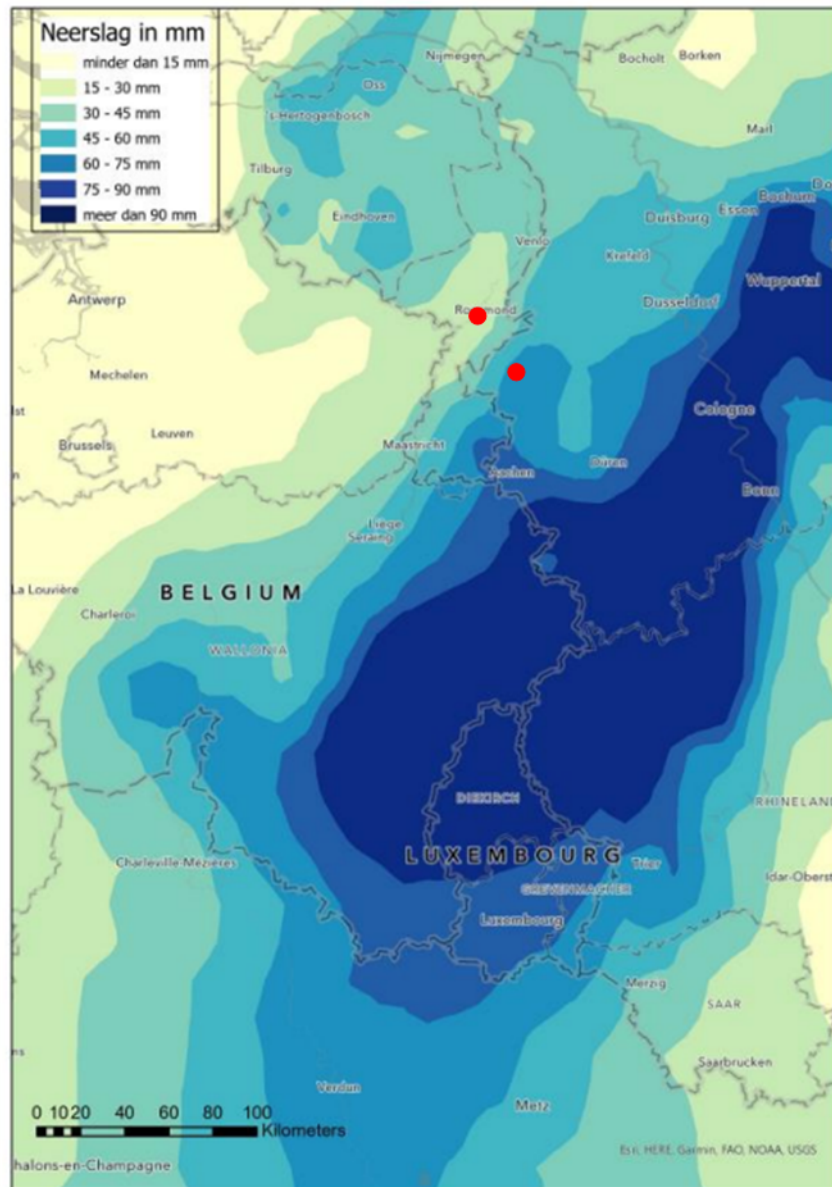
De neerslag in het Duitse Heinsberg-Schleiden vertoont een piek tijdens het hoogwater in juli die twee keer zo groot is als de op een na grootste piek eind januari. In Figuur 5 is te zien dat er in Heinsberg-Schleiden 80 mm neerslag is gevallen op één dag. Dit is minstens twee keer zo hoog als alle andere metingen. Hierdoor is deze neerslag erg extreem voor dit gebied. Bij deze neerslag passen daarom ook extreme rivierafvoeren en waterstanden. Bovendien bevindt het meetstation Heinsberg-Schleiden zich bovenstrooms. Dus de neerslag zal afstromen naar de Roer en via het Nederlandse deel van de Roer uitstromen in de Maas. Hierdoor neemt de afvoer in de Roer toe en daarmee ook de waterstand.



Figuur 5: Neerslaggegevens weerstations in de buurt van de Roer 2021. Data: KNMI; WetterKontor



De neerslag verder bovenstrooms de Roer was heviger dan de neerslag gemeten bij de meetstations in Roermond en Heinsberg-Schleiden. In Figuur 6 is de ruimtelijke spreiding van de neerslag op 14 juli weergegeven. Hierin zijn de meetstations Roermond en Heinsberg-Schleiden met twee rode punten weergegeven. Uit Figuur 6 blijkt dat de neerslag in Roermond relatief weinig was. Daarnaast is te zien dat Heinsberg-Schleiden ook niet in het gebied ligt met de meeste neerslag. Bovendien is te zien dat de neerslag verder in Duitsland veel extremer was dan bij het Nederlandse deel van de Roer. De neerslag is in Duitsland vier tot vijf keer hoger dan in Roermond. Bovendien is te zien dat de neerslag in het gebied van het Nederlandse deel van de Roer tussen de gemeten waarden in Roermond en Heinsberg-Schleiden ligt. Waarbij de neerslag stroomopwaarts toeneemt.



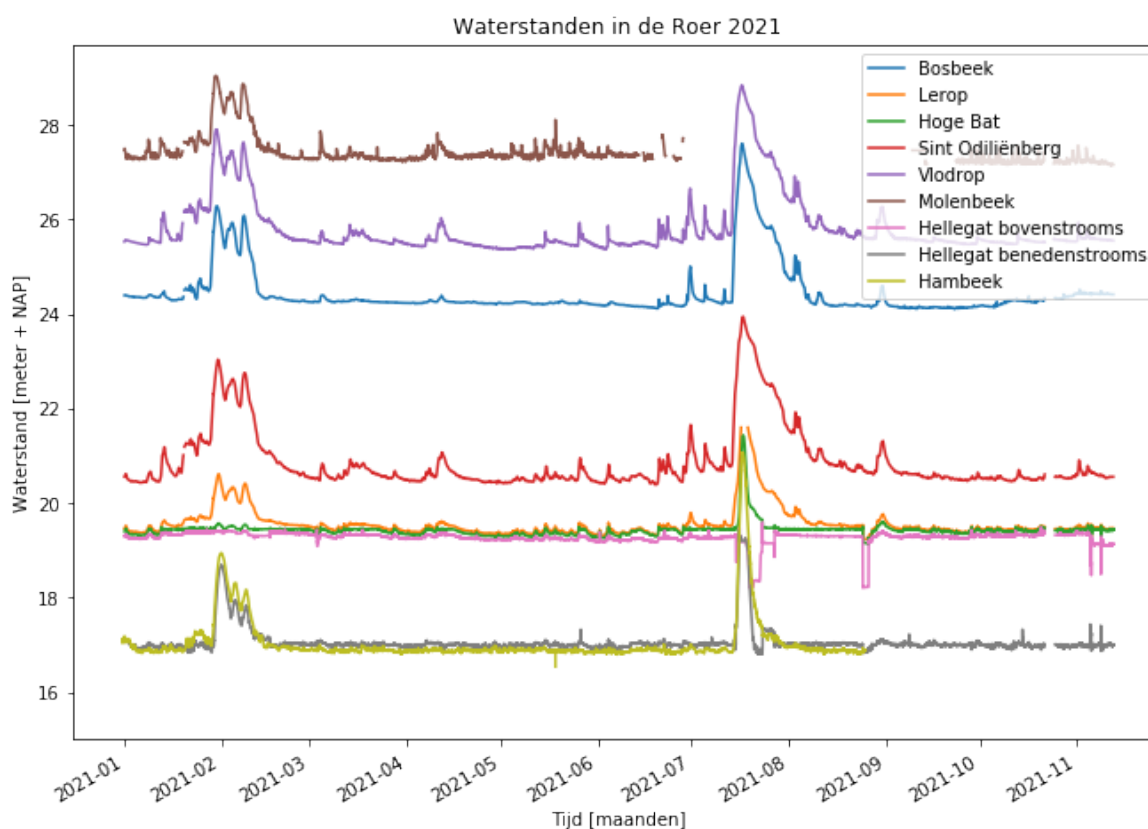
Figuur 6: Ruimtelijke spreiding neerslag 14 juli (Task Force Fact Finding hoogwater, 2021).

### 3.1.2. Waterstand

In Figuur 7 zijn de waterstanden in de Roer in 2021 weergegeven. In de grafiek is te zien dat de hoogte van de gemiddelde waterstand per meetstation verschilt. De waterstanden bij Vlodrop zijn 5 meter hoger dan die in Sint Odiliënberg. Dit wordt verklaard door het glooiende Limburgse landschap. Hierdoor liggen de meetstations verder bovenstrooms hoger boven NAP dan de meetstations benedenstrooms. De bovenste meting in de grafiek hoort bij de meetlocatie het meest bovenstrooms en de onderste metingen bij de meetlocaties aan de monding van de Roer. In Bijlage B zijn waterstanden per individueel meetpunt weergegeven.

In Figuur 7 is te zien dat het meetstation Molenbeek van juli tot september geen data heeft verzameld. Daardoor zijn er op deze locatie geen meetgegevens van het hoogwater in juli. Het meetstation Molenbeek was in deze periode defect en de apparatuur was weggehaald voor reparatie. Het defect werd veroorzaakt door een kapotte printplaat van de datalogger. De reparatie had geen hoge prioriteit, omdat er niet direct wateroverlast optreedt als het meetpunt Molenbeek niet functioneert, dat kan wel het geval zijn bij een stuw of gemaal. Bovendien zijn er in de omgeving voldoende meetpunten om de voorspellingen op te baseren. Daarnaast is de kans op hoge waterstanden in de zomer kleiner.

Uit Figuur 7 blijkt bovendien dat meetstation Hambeek geen informatie heeft over de waterstanden na eind augustus. De apparatuur van meetstation Hambeek is defect na het hoogwater in juli. Er is uiteindelijk water in het meetstation terecht gekomen waar de apparatuur is gemonteerd. Dit heeft de apparatuur en aanwezige elektra aangetast. Te Hambeek wordt ook afvoer gemeten, omdat apparatuur om continue afvoer te meten vrij kostbaar is duurt reparatie of vervanging langer. Daarnaast heeft het hoogwater schade toegebracht aan de omgeving waardoor een reparatie meer tijd kost en mogelijk niet de prioriteit heeft.



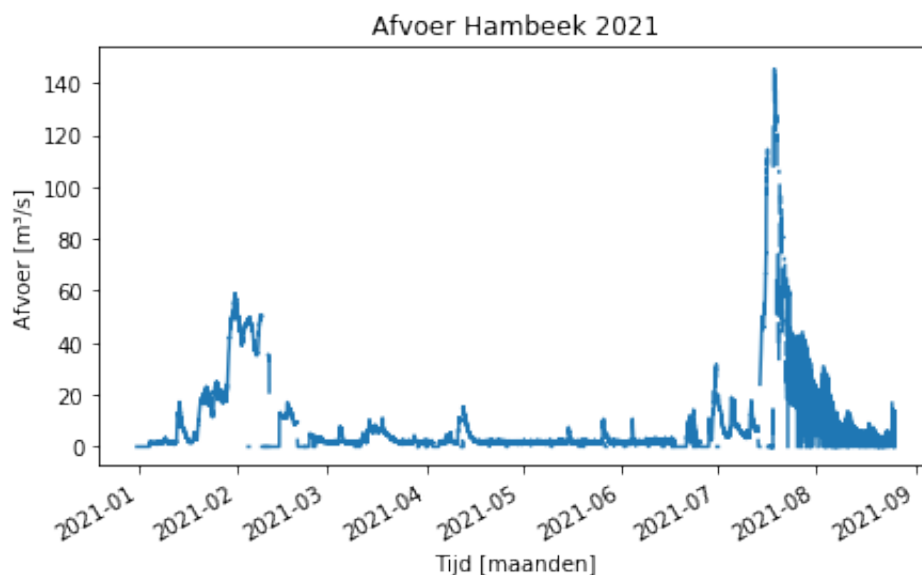
Figuur 7: Waterstanden in de Roer van 1 januari 2021 tot 12 november 2021 per meetlocatie. Data: Deltares

In Figuur 7 is ook te zien dat van 22 tot 24 oktober er geen data is voor alle meetstations. Het gebrek aan data werd veroorzaakt door een storing in de communicatie tussen verschillende systemen. Omdat er door de storing van geen enkel meetstation data beschikbaar was, had het vinden van een oplossing een hoge prioriteit. Zonder actuele data over de waterstanden in de Roer worden minder accurate voorspellingen gedaan. Daarnaast kan zonder actuele data niet worden bepaald of de stand van stuwen moet worden verzet om de afvoer te reguleren. De noodzaak voor een snelle oplossing verklaart de korte duur van de storing.

Eind februari is er een duidelijke piek te zien in Figuur 7 voor de waterstanden op alle meetlocaties. De waterstanden volgen hetzelfde verloop. De pieken in februari en juli komen consistent voor op alle locaties. Bovendien zijn ook kleinere pieken, zoals in april en begin september, terug te zien in de data van alle meetstations. Er is wel een verschil in de grootte van de piek per meetstation, omdat deze ook wordt beïnvloed door de breedte van de rivier. In de grafiek is het hoogwater dat in juli plaatsvond duidelijk terug te zien. Op alle meetlocaties, behalve bij Hellegat bovenstrooms en Molenbeek, is er dan sprake van een enorme piek. De piek in juli is anderhalf tot twee keer zo groot als de piek in februari.

### 3.1.3. Afvoer

In Figuur 8 is de afvoer in de Roer gemeten te Hambeek weergegeven. In de grafiek zijn twee duidelijke afvoerpieken te zien. Een piek eind januari tot begin februari en een piek in juli. De piek in juli is meer dan twee keer zo groot als de piek eind januari. Na de piek in juli fluctueert de afvoer veel. Dit is te herkennen aan een blauw oppervlak van half juli tot half augustus in plaats van een lijn. Daarnaast is in de grafiek te zien dat de Hambeek voor langere periode geen afvoer heeft. Dit komt doordat de Roer na het meetpunt Hoge Bat vertakt in twee richtingen. Een deel gaat door het centrum van Roermond. Het andere deel stroomt via Hambeek meteen de Maas in. Bij hoge afvoeren wordt het centrum van Roermond met een sluis afgesloten om overstroming van de stad te voorkomen. Het water wordt dan via de Hambeek naar de Maas geleid. Bij lagere waterstanden stroomt het water door het centrum van Roermond en is er weinig tot geen afvoer in de Hambeek.



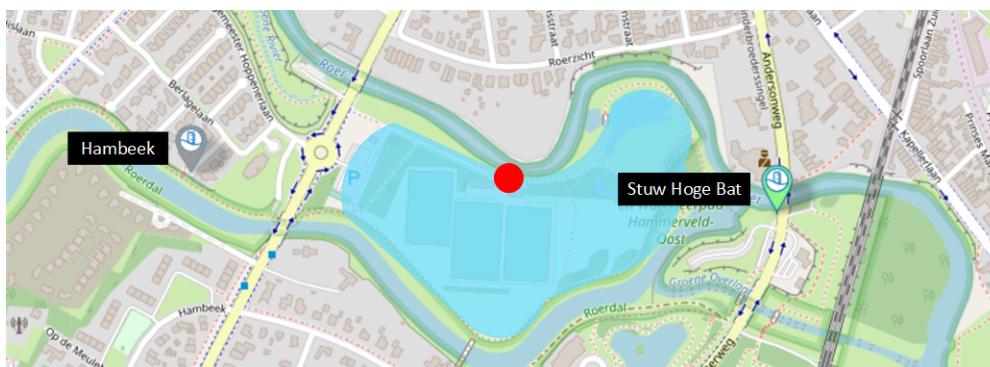
Figuur 8: Afvoeren Hambeek gedurende de periode 1 januari 2021 tot 25 augustus 2021. Data: Deltares

### 3.1.4. Neerslag, waterstand en afvoer zomer 2021

Figuur 10 laat de neerslag, waterstanden en afvoer zien tijdens de zomer van 2021. Uit Figuur 10 blijkt dat er eerst een piek in de neerslag optreedt op 14 juli en dat daarna de waterstanden en afvoer fors beginnen te stijgen. De piek in de waterstanden vindt pas 17 juli plaats en de piek in de afvoer 18 juli. De pieken in waterstand en afvoer zijn dus het gevolg van de voorafgaande extreme neerslag.

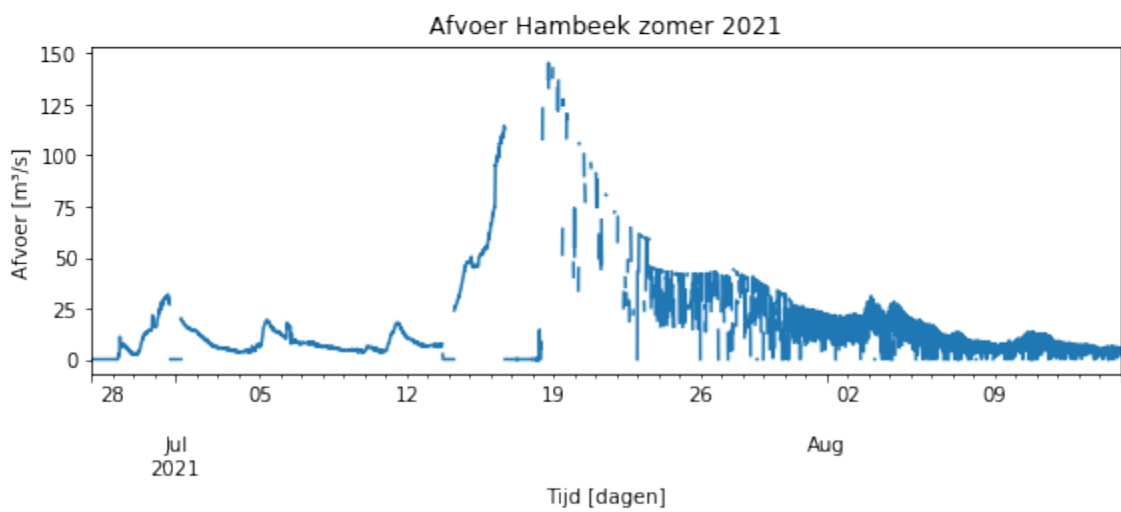
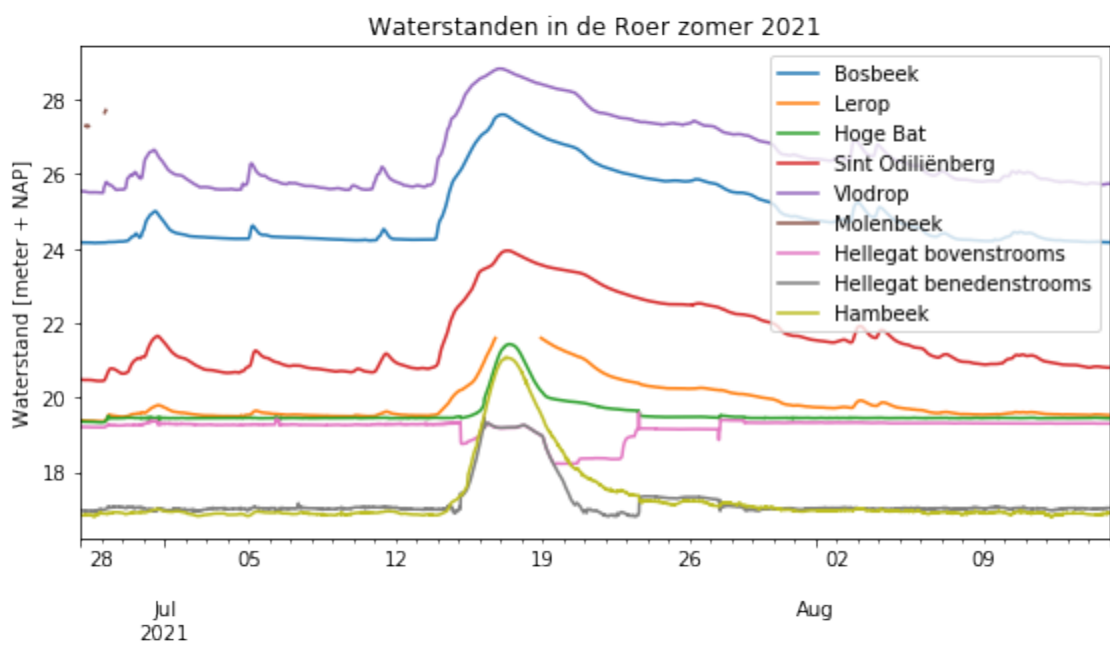
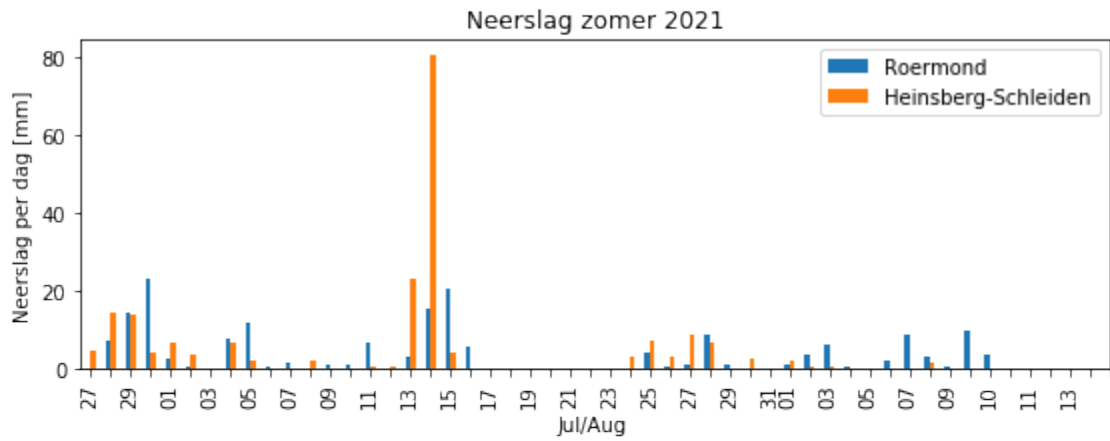
De tweede grafiek van Figuur 10 geeft de waterstanden in de Roer tijdens het hoogwater afgelopen zomer weer. Hieruit blijkt dat meetstations Vlodrop, Bosbeek en Sint Odiliënberg bijna exact hetzelfde verloop vertonen. Het meetstation in Lerop volgt ook hetzelfde verloop, maar daar bereikt de meetapparatuur op 16 juli 2021 het maximale meetlimiet. Hierdoor is er een gat te zien in de data van het meetstation Lerop van 16 tot en met 18 juli. De meetapparatuur heeft een meetbereik van ongeveer 4 meter. De maximale waterstand die de apparatuur heeft kunnen meten is 21,598 meter boven NAP. De onderkant van de meetapparatuur staat afgesteld op 17,56 meter boven NAP. Het maximale meetbereik van de apparatuur is dus inderdaad bereikt. Echter, de piek in juli is geen 4 meter hoger dan de waterstanden die worden gemeten bij een lage afvoer. Deze waterstanden liggen rond de 19,5 meter boven NAP en komen niet lager dan 19 meter boven NAP. Dit betekent dat de eerste 1,5 meter van de meetapparatuur nooit wordt gebruikt.

In de tweede grafiek van Figuur 10 is te zien dat de piek in waterstand bij Hambeek het grootst is tijdens het hoogwater in juli. De waterstand is daar bijna 4 meter verhoogd, terwijl dit bij de andere meetpunten 2 tot 3 meter is. Het water werd namelijk om het centrum van Roermond te vermijden door de Hambeek geleid. Bovendien was de waterstand in de Maas ook extreem hoog door de hevige neerslag in Nederland, België en Duitsland. Hierdoor werd de waterstand in de Hambeek nog verder omhoog gestuwd. Een aantal uur voordat de waterstand zijn top bereikt in de Hambeek is een gebied gelegen naast de Hambeek overstromd. In Figuur 9 is het overstromde gebied blauw gearceerd. Bovendien is de locatie van de doorgebroken dijk aangegeven met de rode stip.



Figuur 9: Overstromd gebied door falen dijk (Waterschap Limburg, 2021).

In Figuur 10 is te zien dat de waterstand van het meetpunt bij Hellegat bovenstrooms van de stuw geen piek heeft, terwijl er bij het meetpunt benedenstrooms van de stuw bij Hellegat wel een piek in de waterstand te zien is. Het ontbreken van een bovenstroomse piek wordt verklaard door het verzetten van de stand van de stuw. Hierdoor wordt er meer water afgevoerd, zodat de waterstand bovenstrooms wordt verlaagd. Dit verklaart ook waarom het benedenstroomse meetpunt wel een piek vertoont. Bovendien is in de grafiek te zien dat de benedenstroomse waterstand op 16 juli gelijk is aan de bovenstroomse waterstand. De stuw is dan ondergelopen en heeft geen invloed meer. Daarnaast is de piek bij Hellegat een bijna horizontale lijn voor meerdere dagen. Dit komt door het sluiten van een sluis bovenstrooms van Hellegat om de binnenstad van Roermond te beschermen.



Figuur 10: Neerslag, Waterstanden en afvoer in de Roer tijdens de zomer van 2021. Data: KMNI; WetterKontor; Deltares



## 3.2. Kwaliteit meetstations

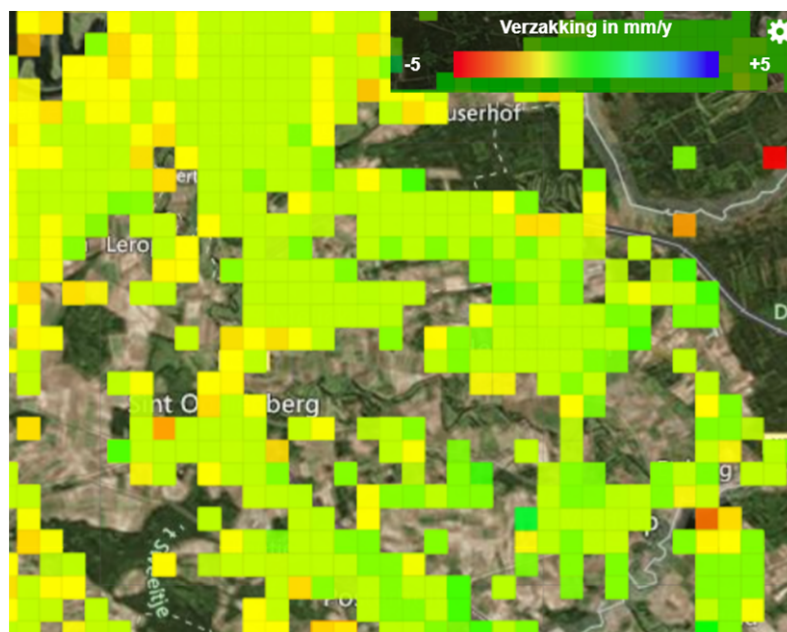
De kwaliteit van de meetstations wordt bepaald aan de hand van de volgende criteria: het meetbereik van de apparatuur, zettingen in de bodem, consistentie van de metingen in ruimte en tijd, menselijke invloeden, dierlijke invloeden, natuurinvloeden en reparaties.

### 3.2.1. Meetbereik apparatuur

Het meetbereik van de drukopnemers is 4 meter. In sectie 3.1.4 is gebleken dat tijdens het hoogwater in juli geen waterstandspieken van meer dan 4 meter zijn voorgekomen. Desondanks heeft bij het meetpunt te Lerop de apparatuur niet alle waterstanden kunnen meten, omdat het meetbereik tegen het limiet liep. De onderkant van de meetapparatuur is in Lerop relatief laag afgesteld, op 17,56 meter. De waterstand is in Lerop echter nooit lager dan 19 meter. Het probleem is in Lerop dus niet het te kleine meetbereik van de drukopnemer, maar de te lage installatiehoogte van de drukopnemer. Door de onderkant van de drukopnemer in Lerop te verhogen tot 19 meter is het in de toekomst mogelijk om ook bij pieken in de waterstanden van meer dan 2 meter boven de gemiddelde waterstand data te verzamelen.

### 3.2.2. Zettingen bodem

Bij veel zettingen in de bodem wordt de nauwkeurigheid van de metingen aangetast en moet de installatiehoogte van de apparatuur vaak worden geijkt met het referentiestelsel om te zorgen dat de metingen bruikbaar zijn. In Figuur 11 is de bodemdaling in het gebied van de meetstations weergegeven. Uit Figuur 11 blijkt dat de bodemdaling in de buurt van de Roer rond de 2 millimeter per jaar ligt. Deze bodemdaling is relatief weinig in vergelijking tot de verandering in waterstand van meerdere meters. De zetting van de bodem heeft dus nauwelijks invloed op de gemeten waterstand. Dus de kwaliteit van de metingen wordt niet beïnvloed door zettingen in de bodem. Er hoeven dus geen maatregelen te worden getroffen tegen bodemdaling.



Figuur 11: Bodemdaling in millimeter per jaar voor het gebied van de Roer (SkyGeo, 2021).

### **3.2.3. Consistentie in ruimte en tijd**

Uit de waterstandsgrafieken in sectie 3.1.2 is gebleken dat de waterstanden die zijn gemeten consistent zijn over de lengte van de rivier. De pieken in de waterstanden passeren alle meetstations. De waterstanden zijn dus consistent over de lengte van de rivier. Als alle meetstations een bepaalde piek registreren binnen het tijdsbestek waarin de hoogwatergolf zich verplaatst, dan is het aannemelijk dat de gemeten data betrouwbaar is. Bovendien zijn de pieken in de waterstandsgrafieken te verklaren met de neerslaggegevens beschreven in sectie 3.1.1.

### **3.2.4. Menselijke, dierlijke en natuurinvloeden**

In het gebied van de Roer is nauwelijks vandalisme, waardoor de meetapparatuur wordt vernield. Bovendien wordt de Roer niet gebruikt als waterweg, waardoor de invloed van schepen minimaal is. Het is dus niet nodig om maatregelen te treffen tegen de menselijke invloeden. Naast de mens kan ook de flora en fauna invloed hebben op de meetapparatuur. Door ervoor te zorgen dat er genoeg openingen in de meetbuis zitten en er een goeie watertoevoer is, zodat de waterstand overeenkomt met de rivier, worden verstoppingen van de meetbuis voorkomen. Daarnaast vindt periodiek onderhoud aan de meetstations plaats. De meetlocaties worden dan geïnspecteerd op onregelmatigheden. Daarnaast wordt de meetlocatie gemaaid en de apparatuur schoongemaakt. Bovendien worden de metingen twee keer per jaar gecontroleerd op nauwkeurigheid.

### **3.2.5. Reparatie**

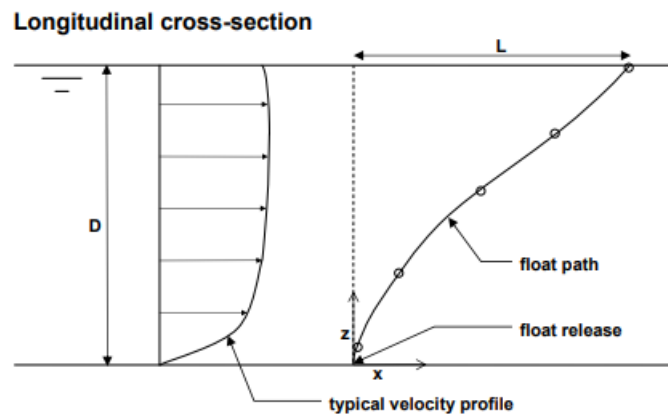
Bij een defect van de meetapparatuur wordt eerst gekeken of het mogelijk is de apparatuur meteen een-op-een te vervangen. Als dat niet mogelijk is, wordt de apparatuur enige tijd weggehaald voor reparatie. Afhankelijk van de locatie van het meetstation worden verschillende prioriteiten gesteld. Meetlocaties waar wateroverlast kan optreden krijgen een hoge prioriteit. Dit zijn vaak meetlocaties bij een stuw of gemaal, waarmee de afvoer in de rivier wordt aangepast indien noodzakelijk. Afhankelijk van de prioriteit van het meetstation krijgt de reparatie een van de volgende urgenties: binnen een dag, binnen een week of binnen een maand. In sectie 3.1.2 is gebleken dat de reparatie van de meetapparatuur bij meetstation Molenbeek twee maanden heeft geduurd. Dit is langer dan alle drie de urgentie niveau's. Bovendien is het meetstation Hambeek defect sinds eind augustus en nog steeds niet gerepareerd. Het meetstation is dus al 4 maanden defect. Dit is wederom veel langer dan de beschreven urgentieniveaus. Dus de reparatietijd kan aanzienlijk worden verbeterd.

## 4. Alternatieve methoden afvoermetingen

De afvoer wordt in het Nederlandse deel van de Roer alleen in de Hambeek gemeten. Dit meetstation is defect naar aanleiding van het hoogwater in juli en verricht vier maanden later nog steeds geen metingen. Om een defect in de toekomst te voorkomen wordt gekeken naar alternatieve methoden om de afvoer te meten en de toepasbaarheid daarvan in de Roer.

### 4.1. Rising bubble techniek

De rising bubble techniek houdt in dat luchtbelletjes worden losgelaten op de bodem van de rivier en vervolgens wordt de afstand gemeten die de luchtbelletjes aflegt totdat deze het oppervlak bereiken. In Figuur 12 is een lengtedoorsnede van de rivier te zien met daarin een snelheidsprofiel van het water en een stijgingsprofiel van de luchtbelletjes.



Figuur 12: Stijgingsprofiel van de luchtbelletjes (Hilgersom en Luxemburg, 2012).

De rising bubble techniek is gebaseerd op de theorie dat de tijd,  $T$ , die een luchtbelletje nodig heeft om naar het oppervlak te stijgen gelijk is aan de afgelegde diepte,  $D$ , gedeeld door de gemiddelde verticale snelheid,  $v_z$ , of de verplaatste afstand,  $L$ , gedeeld door de over de diepte gemiddelde horizontale snelheid,  $v_x$ . Deze theorie resulteert in vergelijking (1) (Hilgersom en Luxemburg, 2012).

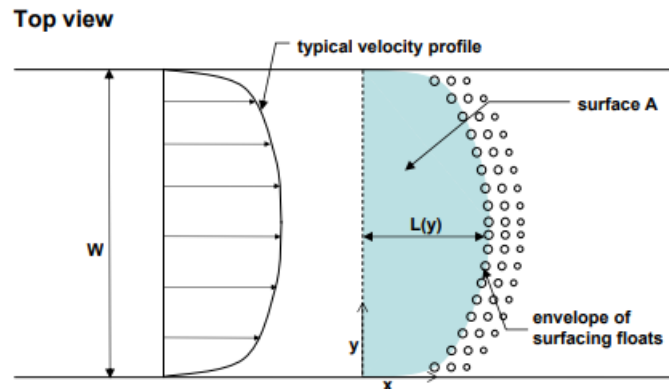
$$T = \frac{D}{v_z} = \frac{L}{v_x} \quad (1)$$

De specifieke afvoer wordt gevonden door de snelheid te integreren over de diepte.  $v_x$  is de gemiddelde horizontale snelheid over de diepte. Dus integreren over de diepte betekent vermenigvuldigen met de diepte. Met vergelijking (1) kan de specifieke afvoer worden geschreven als vergelijking (2) (Hilgersom en Luxemburg, 2012).

$$q = v_x D = v_z L \quad (2)$$

Vervolgens wordt de afvoer bepaald door de specifieke afvoer te vermenigvuldigen met het horizontale oppervlak dat door de luchtbelletjes is afgelegd. Om dit oppervlak te bepalen is het noodzakelijk over de gehele breedte van de rivier bubbels te laten opstijgen. Het oppervlak wordt bepaald door de afstand,  $L$ , te integreren over de breedte. In Figuur 13 is een bovenaanzicht van de rivier weergegeven. Hierin is het horizontale oppervlak,  $A$ , blauw gearceerd. Bovendien is het snelheidsprofiel van de rivier over de breedte weergegeven (Hilgersom en Luxemburg, 2012).





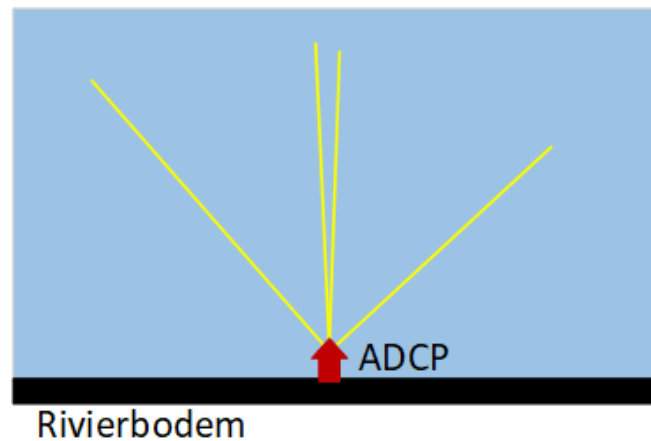
Figuur 13: Horizontaal oppervlak afgelegde afstanden luchtbellen (Hilgersom en Luxemburg, 2012).

De luchtbellen worden van bovenaf vastgelegd met een camera. Op de foto's is te zien waar de luchtbellen het oppervlak bereiken. Daarmee wordt de afstand  $L$  uit Figuur 12 bepaald. De stijgsnelheid,  $v_z$ , van de luchtbellen in het water wordt in het laboratorium bepaald. De stijgsnelheid is afhankelijk van de grootte van de luchtbellen. Het is daarom van belang dat de grootte van de luchtbellen consistent is. De diepte,  $D$ , van de rivier wordt bepaald uit de waterstand. Als de variabelen  $L$ ,  $v_z$  en  $D$  zijn bepaald kan de horizontale snelheid,  $v_x$  van de luchtbellen met de hierboven beschreven theorie worden bepaald. Vervolgens kan op basis van de horizontale snelheid van de luchtbellen de afvoer van de rivier worden bepaald (Hilgersom en Luxemburg, 2012).

De rising bubble techniek is een methode die nauwkeurig kan worden toegepast voor rivieren met een diepte van meer dan 25 centimeter en een breedte van meer dan 2 meter. De rivier is bij het meetstation Hambeek 21,5 meter breed. Bij deze breedte is het voor het verkrijgen van nauwkeurige resultaten noodzakelijk dat indien foto's vanaf de kant worden gemaakt de camera over voldoende resolutie beschikt om de luchtbellen te zien of dat foto's van bovenaf worden gemaakt (Hilgersom en Luxemburg, 2012). De rising bubble techniek kan dus worden toegepast in de Roer. Er is een brug dichtbij het meetpunt in de Hambeek. Dit is een geschikte locatie om bovenaanzichten van de rivier te maken en om dus de rising bubble techniek toe te passen.

#### 4.2. Acoustic Doppler Current Profiler

De Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) is een methode die wordt gebruikt om afvoer in een rivier te meten. Bij ADCP wordt de afvoer bepaald op basis van het meten van de Dopplerverschuiving. In troebel water verplaatsen zich deeltjes, bij de ADCP methode wordt aangenomen dat deze deeltjes met dezelfde snelheid als het water verplaatsen. Vanuit de meetapparatuur wordt een signaal verzonden. Vervolgens wordt het signaal weerkaatst door de zwevende deeltjes in het water en komt het weer terug bij de meetapparatuur. De meetapparatuur bevindt zich op een vaste locatie, terwijl de deeltjes zich verplaatsen. Hierdoor ontstaat een Dopplerverschuiving. Aan de hand van de Dopplerverschuiving kan de stroomsnelheid van het water worden bepaald. Om de stroomsnelheid te bepalen moeten vier verschillende signalen tegelijk worden uitgezonden. De meetapparatuur van de ADCP wordt op de bodem van de rivier geplaatst en meet vanaf daar het snelheidsprofiel van het water over de diepte. In Figuur 14 is weergegeven hoe de signalen bij een ADCP meting worden verzonden. De waterstand wordt ook via het signaal van de ADCP gemeten. Daarmee wordt het doorstroomoppervlak van de rivier bepaald aan de hand van vooraf vastgestelde relaties. Vervolgens worden de stroomsnelheid en het doorstroomoppervlak gebruikt om de afvoer te bepalen (Hartong en Termes, 2009).



Figuur 14: Schematische weergave signalen ADCP afvoermeting.

Voor een betere betrouwbaarheid van de ADCP meting is het belangrijk dat de meting wordt verricht in een lang recht stuk van de rivier en dat de snelheid over de lengte constant is. Bovendien is het belangrijk dat het dwarsprofiel van de rivier uniform is over de lengte van de meting, zodat de relatie tussen het doorstroomoppervlak en de waterstand niet verandert (Hartong en Termes, 2009). Bij het meetstation Hambeek gaat de rivier in een rechte lijn voor 200 meter. Over deze lengte is het dwarsprofiel van de rivier redelijk uniform. De ADCP kan dus bij Hambeek worden toegepast in de rivier en zal dan naar verwachting betrouwbare resultaten opleveren.

## 5. Conclusie

Uit de data over de waterstanden en afvoeren in de Roer verkregen van Deltares konden de momenten worden afgeleid waarop de apparatuur niet in staat was om een waterstand of afvoer te meten voor een langere periode. De achterliggende reden voor het gebrek aan metingen legde mogelijke verbeterpunten voor het meetnet bloot. Bovendien is de invloed van enkele omgevingseffecten op de nauwkeurigheid van de metingen onderzocht.

Tijdens het hoogwater van afgelopen zomer zijn geen pieken in de waterstanden van meer dan 4 meter voorgekomen. Bovendien zijn de gemeten waterstanden consistentie in ruimte en tijd, en zijn zelfs kleinere pieken in de waterstand bij alle stations terug te zien. Dus de drukopnemer met een meetbereik van 4 meter is geschikt om de waterstanden in de Roer te meten.

De bodemdaling in het gebied van de Roer is slechts enkele millimeters per jaar. Dit is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de waterstandsveranderingen gedurende het jaar. Dus beïnvloed de bodemdaling de metingen niet. Daarnaast is er in Limburg nauwelijks sprake van vandalisme en worden de meetlocaties periodiek onderhouden door middel van inspecties, spoelen van apparatuur en maaien van de omgeving. Dus de invloeden van mens, dier en natuur op de metingen zijn beperkt.

De onderkant van de meetapparatuur bij meetlocatie Lerop is nu afgesteld op NAP +17,56 meter. Uit de metingen blijkt dat de waterstand meestal rond 19,5 meter boven NAP ligt en geen diepe dalen kent. De gemeten waterstanden zijn in 2021 nooit lager dan 19 meter boven NAP. Door de ondergrens van het meetbereik omhoog te verschuiven wordt het meetbereik van de apparatuur efficiënter gebruikt. Dus wordt geadviseerd de onderkant van de meetapparatuur te Lerop af te stellen op NAP +19,0 meter.

Gedurende het jaar 2021 is op de meetlocaties Molenbeek en Hambeek de apparatuur kapot gegaan. De reparatie van de apparatuur van Molenbeek heeft twee maanden geduurd en de apparatuur van Hambeek is na 4 maanden nog niet terug in gebruik. Deze reparatieduren zijn langer dan de gewenste maximale reparatieduur van een maand. Dus wordt geadviseerd meer reserve apparatuur paraat te hebben, zodat een-op-een vervangen vaker mogelijk is of te onderzoeken wat het reparatieproces vertraagd en dat indien mogelijk aan te passen.

Er wordt op dit moment geen afvoer gemeten in het Nederlandse deel van de Roer, omdat het enige afvoermeetpunt bij meetlocatie Hambeek kapot is. Dus is gekeken naar alternatieve methoden om de afvoer te meten. Zowel de rising bubble techniek als de acoustic doppler current profiler (ADCP) methode zouden op het eerste gezicht kunnen worden toegepast in de Roer. Om meer te kunnen zeggen over de toepassing van deze methoden moet worden gekeken of ze praktisch uitvoerbaar en financieel haalbaar zijn. Daarnaast is het niet noodzakelijk een extra afvoermeetpunt in de Roer toe te voegen, omdat net over de Duitse grens bij Stah afvoer wordt gemeten en deze representatief is voor het Nederlandse deel van de Roer.

In een vervolgonderzoek kan worden gekeken naar de ruimtelijke spreiding van de meetlocaties om te bepalen op welke locaties waterstandsmetingen noodzakelijk zijn en of er mogelijk overbodige metingen worden verricht. Dan kan ook worden bepaald hoeveel meetlocaties nodig zijn om betrouwbare voorspellingen te kunnen doen.

## Referenties

- Hartong, H. & Termes, P. (2009). *Handboek debietmeten in open waterlopen*. STOWA.
- Hilgersom, K. P. & Luxemburg, W. M. J. (2012). Technical Note: How image processing facilitates the rising bubble technique for discharge measurement. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 345–356.
- Leunk I. e.a. (2011). *Kennisdocument Putten(velden), Ontwerp, aanleg en exploitatie van pomp- en waarnemingsputten* (rapport KWR 2012.014). KWR. Nieuwegein.
- SkyGeo. (2021). *Bodemdalingskaart 2.0*. Verkregen 9 december 2021, van <https://bodemdalingskaart.portal.skygeo.com/portal/bodemdalingskaart/u2/viewers/basic/>
- Task Force Fact Finding hoogwater. (2021). *Hoogwater 2021 Feiten en Duiding*. Expertisenetwerk Waterveiligheid (ENW).
- Waterschap Limburg. (2021). *WaterstandLimburg: Hoe hoog staat het water in Limburg?* Verkregen 1 december 2021, van <https://www.waterstandlimburg.nl>
- WetterKontor. (2021). *Wetterrückblick Heinsberg-Schleiden (nördlich von Aachen)*. Verkregen 22 december 2021, van <https://www.wetterkontor.de/de/wetter/deutschland/rueckblick.asp?id=H606>

## Bijlage A: Foto's meetpunten Roer

In deze bijlage zijn afbeeldingen van de meetlocaties weergegeven van bovenstrooms naar benedenstrooms. In het bijschrift van elke afbeelding is de naam van de meetlocatie en de code van het meetstation weergegeven.



Figuur 15: Meetstation Molenbeek, 2.H.169 (Waterschap Limburg, 2021).



Figuur 16: Meetstation Vlodrop, 2.H.83 (Waterschap Limburg, 2021).



Figuur 17: Meetstation Bosbeek, 2.H.1 (Waterschap Limburg, 2021).





Figuur 18: Meetstation Sint Odiliënberg, 2.H.2 (Waterschap Limburg, 2021).



Figuur 19: Meetstation Lerop, 2.H.3.



Figuur 20: Meetstation stuw Hoge Bat, 2.H.4 (Waterschap Limburg, 2021).



Figuur 21: Meetstation stuw Hellegat bovenstrooms, 2.H.30 (Waterschap Limburg, 2021).



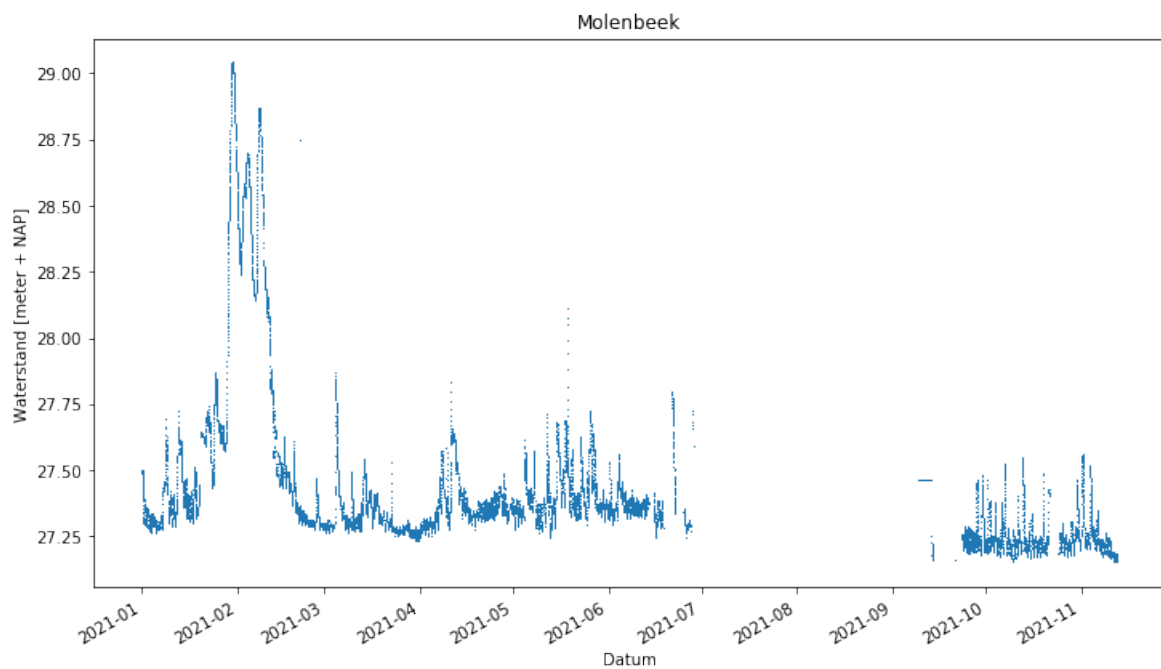
Figuur 22: Meetstation stuw Hellegat benedenstrooms, 2.H.36 (Waterschap Limburg, 2021).



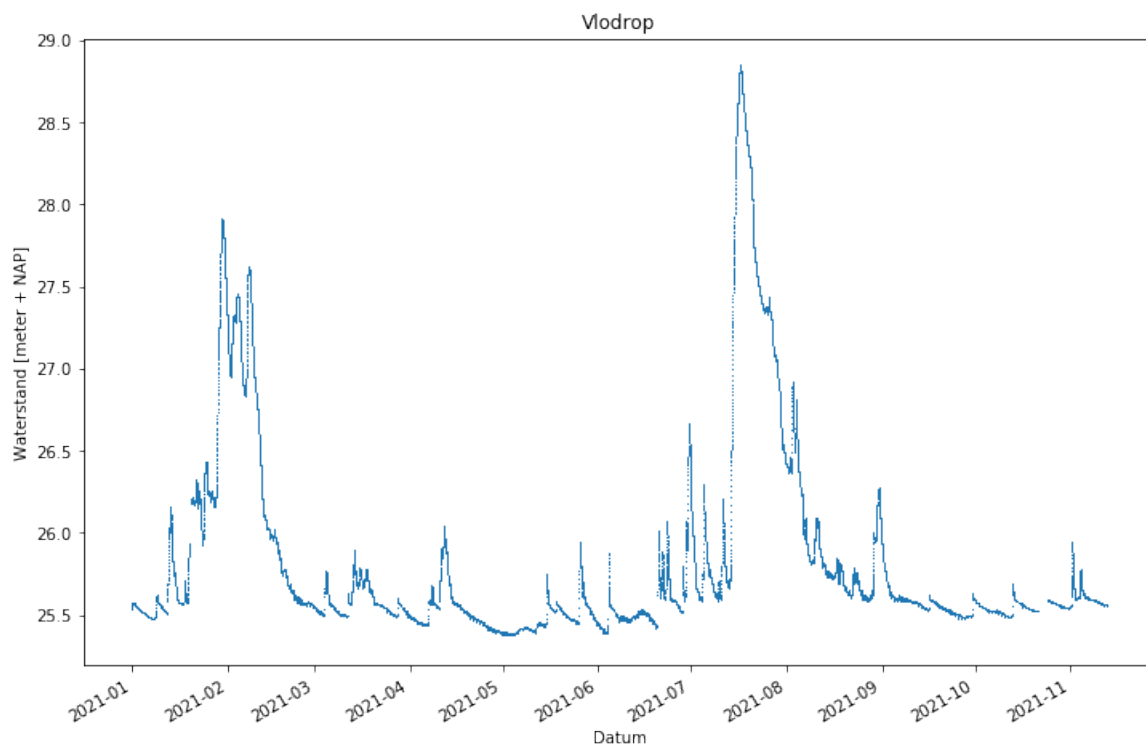
Figuur 23: Meetstation Hambeek, 2.H.38 / 2.Q.6 (Waterschap Limburg, 2021).

## Bijlage B: Grafieken

In deze bijlage zijn de waterstanden per meetlocatie in individuele grafieken weergegeven, zodat de waterstand beter kan worden afgelezen.

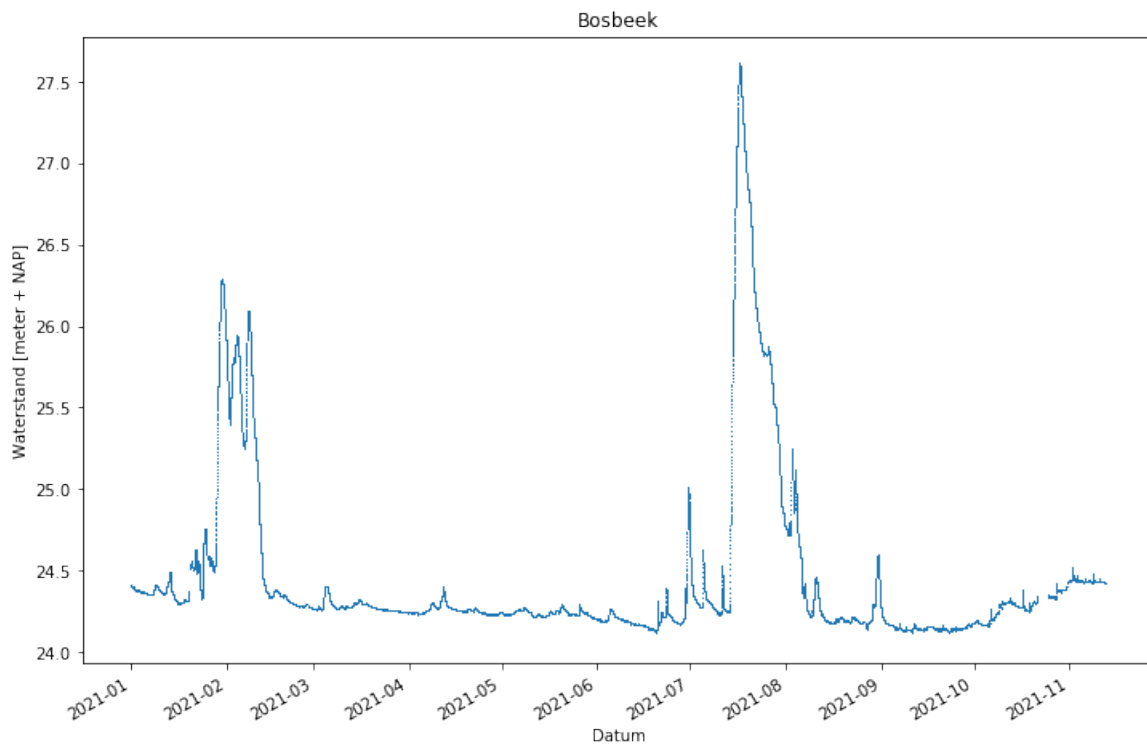


Figuur 24: Waterstanden Molenbeek in 2021. Data: Deltares

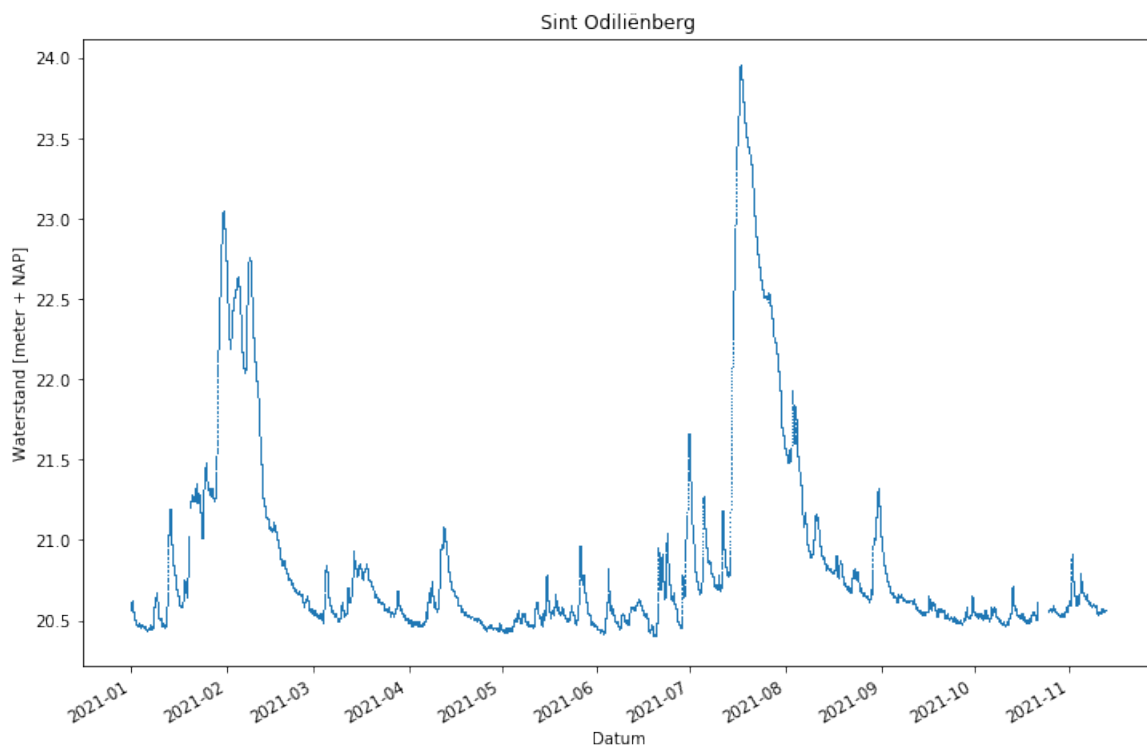


Figuur 25: Waterstanden Vlodrop in 2021. Data: Deltares

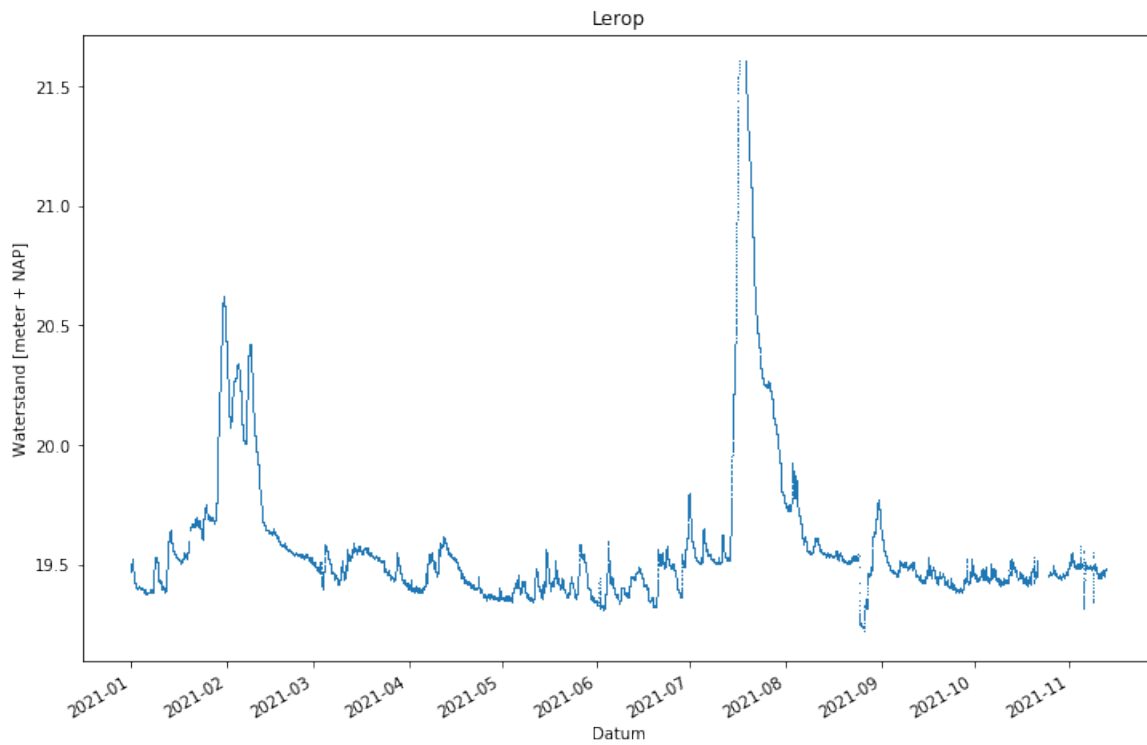




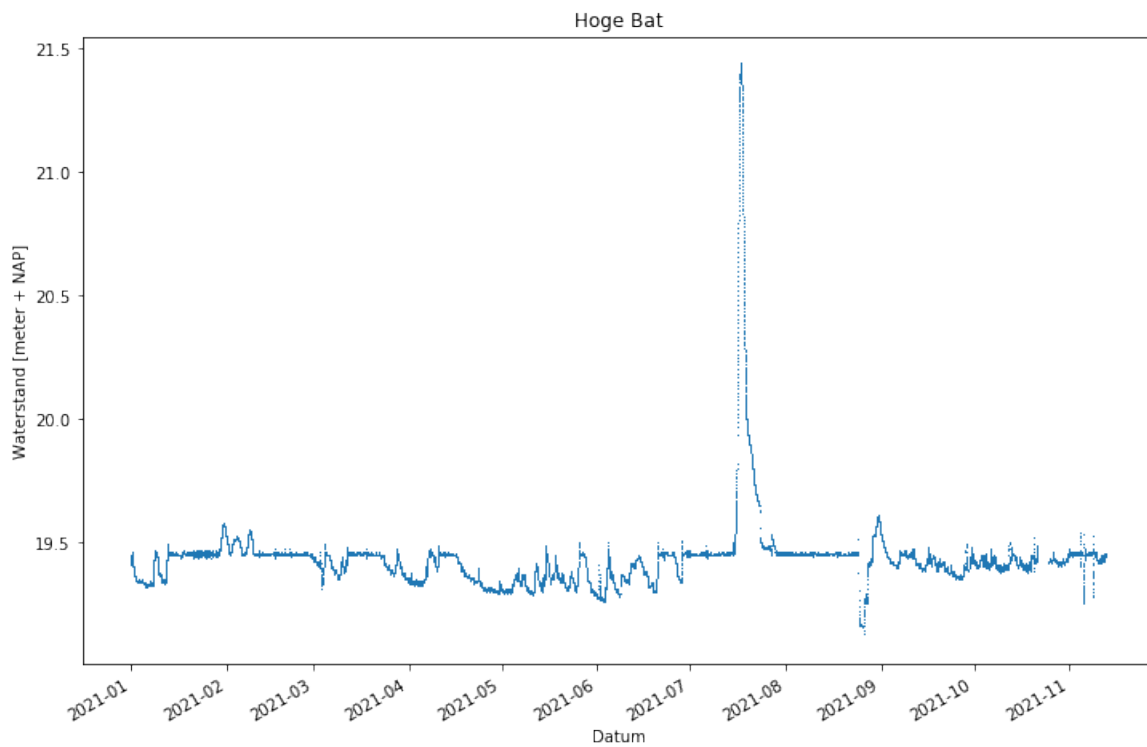
Figuur 26: Waterstanden Bosbeek in 2021. Data: Deltares



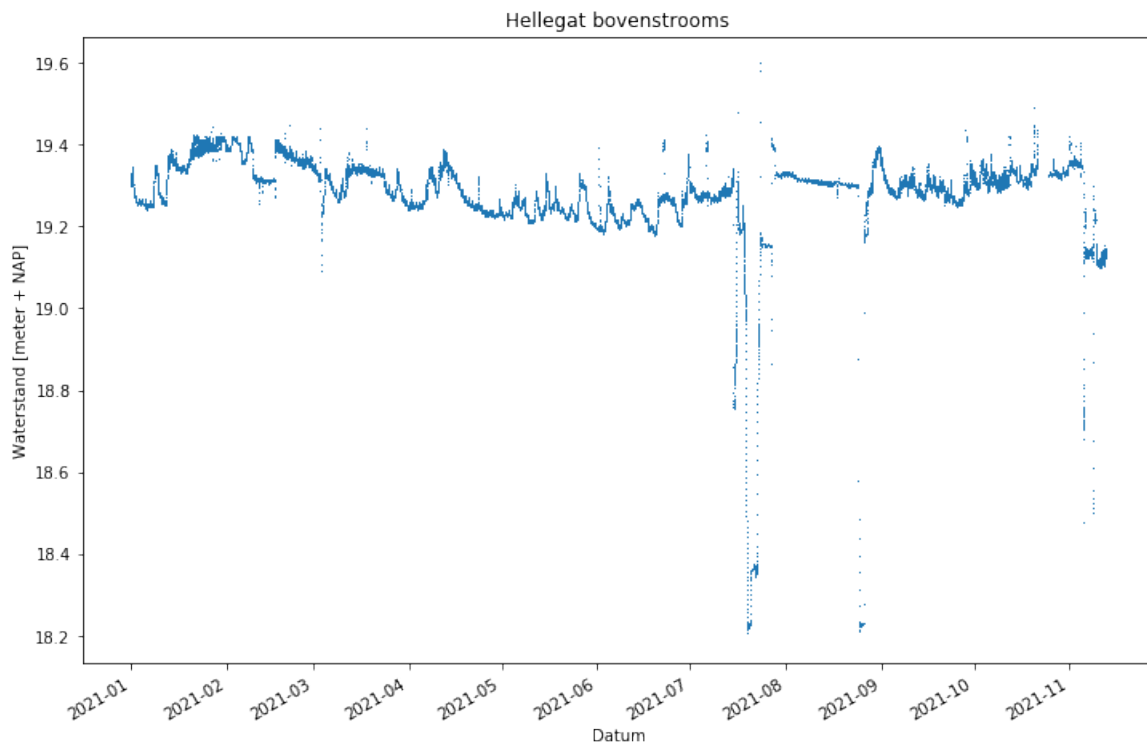
Figuur 27: Waterstanden Sint Odilienberg in 2021. Data: Deltares



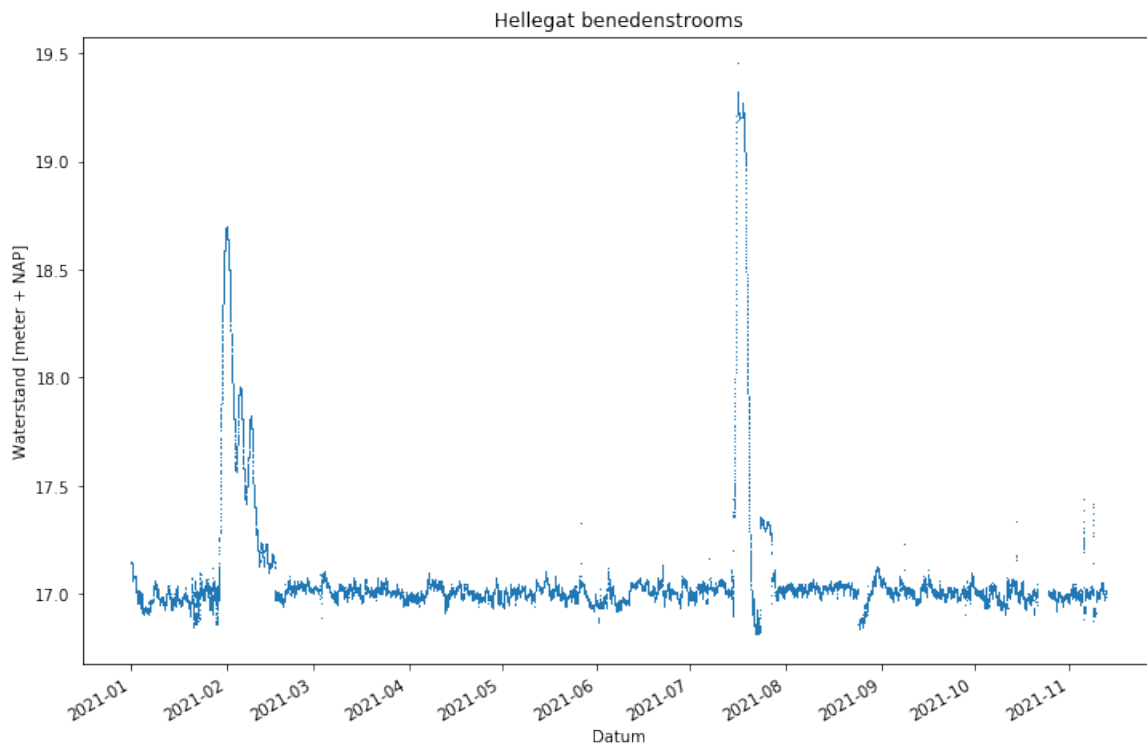
Figuur 28: Waterstanden Lerop in 2021. Data: Deltares



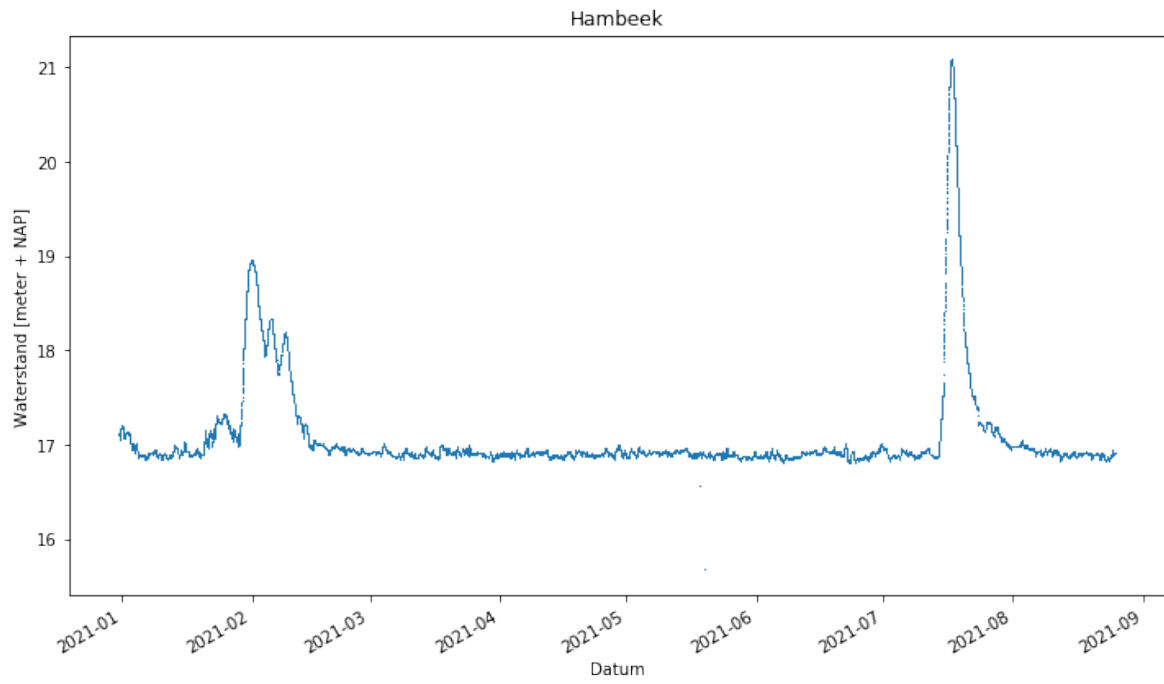
Figuur 29: Waterstanden stuw Hoge Bat in 2021. Data: Deltares



Figuur 30: Waterstanden stuw Hellegat bovenstrooms in 2021. Data: Deltares



Figuur 31: Waterstanden stuw Hellegat benedenstrooms in 2021. Data: Deltares



Figuur 32: Waterstanden Hambeek in 2021. Data: Deltares