

WAQUA
Productieberekeningen
Bovenrivieren Maas

Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017



WAQUA Productieberekeningen Bovenrivieren Maas

Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017

R. Agtersloot
A.J. Paarlberg

1220082-001

Titel

WAQUA Productieberekeningen Bovenrivieren Maas

Opdrachtgever

RWS-WVL

Project

1220082-001

Kenmerk

1220082-001-HYE-0012

Pagina's

51

Trefwoorden

WTI2017, WAQUA, bovenrivieren, Maas, productieberekeningen

Samenvatting

In het kader van WTI2017 zijn voor een aantal watersystemen productieberekeningen met WAQUA uitgevoerd. Dit rapport betreft de berekeningen die zijn uitgevoerd voor de Bovenrivieren-Maas. Voor de Maas is de piekafvoer bij Borgharen de enige stochast, waarbij de vorm van de afvoergolf afkomstig is uit GRADE. Het gehanteerde WAQUA modelinstrumentarium en de afleiding van randvoorwaarden en initiële condities is beschreven in dit rapport. De benodigde 24 WAQUA-berekeningen (met en zonder overstroombare Limburgse Maaskeringen) zijn uitgevoerd bij Amazon. De resultaten van de berekeningen zijn gecontroleerd door fysisch te verwachten patronen te onderzoeken. Het verloop van droogval is consistent en conform verwachting.

Ten opzichte van de WTI2017-productieberekeningen voor de Rijn-Maasmonding en IJssel-Vechtdelta zijn er relatief weinig locaties afgekeurd, maar het aantal afgekeurde locaties is wel groter dan op de Rijntakken. Op de Grensmaas zijn locaties die worden afgekeurd door (bekende) model-instabiliteiten. Bij de extreme afvoeren ($5.500 \text{ m}^3/\text{s}$ en hoger) is trend-afwijkend gedrag zichtbaar in het gebied van de Afgedamde Maas achter de Heusdensche Kering, doordat bij dergelijke afvoeren de wegen/dijken tussen de Maas en het gebied van de Afgedamde Maas overstroomd waardoor het gebied gaat fungeren als retentiegebied. Vanwege de zeer kleine kansbijdrage ($1/100.000$ of lager) is de invloed op de toetspeilen vrijwel nihil. De gebieden achter de beweegbare keringen (Cuijk, Mook en Afgedamde Maas) kunnen nog vullen nadat de piek van de golf is gepasseerd wanneer de kering weer open gaat (vooral wanneer de piekwaterstand in de buurt van het sluitcriterium ligt). Dit resulteert lokaal in afkeur van uitvoerlocaties rondom de keringen. De twee retentiegebieden op de Maas, Lateraalkanaal-West en Lob van Gennep, functioneren sub-optimaal voor het verlagen van waterstanden omdat de instellingen van de instroomdrempels zijn afgeleid uit HR2001 afvoergolven.

Er is een aantal gebieden waar relatief veel locaties worden afgekeurd. Dit heeft enerzijds te maken met bekende (en geaccepteerde) model-instabiliteiten (Grensmaas en in mindere mate Zandmaas), anderzijds met het functioneren van keringen/retentiegebieden. De gebieden waar locaties worden afgekeurd blijven steeds beperkt tot de omgeving rond de specifieke modelementen die de instabiliteiten veroorzaken. Dit leidt tot de conclusie dat de berekeningen betrouwbaar zijn en gebruikt kunnen worden voor het vullen van de relationele databases. Het lijkt in een aantal gevallen te verdedigen om bepaalde afgekeurde locaties goed te keuren, omdat bijvoorbeeld het gedrag van vollopen realistisch is of de instabiliteit een schommeling rond een realistisch maximum betreft. Het advies is om te onderzoeken of er met een filter op de tijdreeksen van afgekeurde punten mogelijk locaties zijn die toch opgenomen kunnen worden in de database. Deze stap valt buiten de scope van dit project.

Referenties

1209433-014-HYE-0002-v1-r-WTI projectplan 2015 Cluster 1 Hydraulische Belastingen_def_v1

Titel
WAQUA Productieberekeningen Bovenrivieren
Maas

Opdrachtgever RWS-WVL **Project** 1220082-001 **Kenmerk** 1220082-001-HYE-0012 **Pagina's** 51

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	feb. 2016	R.C. Agtersloot		A. Spruyt		M.R.A. van Gent	
		A.J. Paarlberg					
4	nov. 2016	R.C. Agtersloot		A. Spruyt		M.R.A. van Gent	
		A.J. Paarlberg					

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doel	3
1.3 Leeswijzer	3
2 WAQUA modelinstrumentarium	5
2.1 Uitgeleverde modelschematisatie en gebruikte WAQUA versie	5
2.2 Studiegebied en rekenroosters WTI	5
2.3 Modelschematisatie	7
2.4 Partitionering	8
2.5 Uitvoerlocaties	10
2.6 Specifieke elementen in de modelschematisatie	10
2.6.1 Stuwen	10
2.6.2 Keringen	11
3 Randvoorwaarden en initiële condities	13
3.1 Afvoeren Maas	13
3.2 Rivierafvoer en lateralen	14
3.3 Benedenrand	14
3.4 Initiële condities en stuwstanden	14
4 Werkwijze uitvoeren productieberekeningen	17
4.1 Testfase	17
4.2 Opzet berekeningen en gebruik Amazon	17
4.2.1 Naamgeving van de berekeningen	17
4.2.2 Benodigde bestanden voor een berekening	17
4.3 Uitvoer van een berekening	18
4.4 Controle of een berekening succesvol is uitgevoerd	19
5 Fysische controle productieberekeningen	21
5.1 Inleiding	21
5.2 Post-processing van de berekeningen	21
5.3 Algemene constatering/bevindingen	22
5.3.1 Meldingen WAQPRE	22
5.3.2 Meldingen WAQPRO	22
5.4 Controle vertaling Eijsden -> Borgharen-dorp	24
5.5 Analyse maximale waterstanden en afvoeren in de as van de rivier	25
5.6 Analyse functioneren retentiegebieden, stuwen en keringen	28
5.6.1 Retentiegebieden	28
5.6.2 Stuwen	28
5.6.3 Keringen	29
5.7 Controle max13-waarden	29
5.8 Instabiliteiten in de maximale waterstand	32
5.9 Instabiliteiten in tijdreeksen	35
5.10 Gradiënten in de ruimte (uitvoerpunten)	39
5.11 Detailcontrole per afvoerniveau	40
5.11.1 Afvoer 1.300 m ³ /s	41

5.11.2	Afvoer 2.260 m ³ /s	41
5.11.3	Afvoer 3.275 m ³ /s	41
5.11.4	Afvoer 3.394 m ³ /s	42
5.11.5	Afvoer 3.800 m ³ /s	43
5.11.6	Afvoer 3.950 m ³ /s	43
5.11.7	Afvoer 4.000 m ³ /s	44
5.11.8	Afvoer 4.600 m ³ /s	44
5.11.9	Afvoer 5.000 m ³ /s	45
5.11.10	Afvoer 5.500 m ³ /s	45
5.11.11	Afvoer 6.000 m ³ /s	46
5.11.12	Afvoer 6.500 m ³ /s	47
6	Conclusies	49
7	Referenties	51
 Bijlage(n)		
A	DATA-ARCHIEF	A-1
B	Rivierafvoer en lateralen	B-1
C	Ontbrekende max13-waarden	C-1

English summary

Within the framework of WBI-2017, production runs with WAQUA have been performed for a number of water systems. In this report the computations for the Upper rivers-Meuse are described. In the Meuse, the peak discharge at Borgharen is the only stochastic variable. The shape of the discharge wave is determined with GRADE. This report presents the WAQUA model instrumentation and the determination of boundary and initial conditions. 24 WAQUA runs (with and without floodable defences at the Limburgian part of the Meuse) were performed at the Amazon cluster. As a check, the physical patterns of these computations have been verified. The occurrence of dry points is consistent and as expected.

Compared to the WBI-2017 production runs for the Rhine-Meuse river mouth (Rijn-Maasmonding) and the IJssel-Vecht delta, only a small amount of locations have been rejected. However, the total number of rejected locations is larger than for the Rhine branches computations (Rijntakken). The locations at the Grensmaas were rejected because of (known) model-instabilities. For extreme river discharges ($> 5.500 \text{ m}^3/\text{s}$) divergent behaviour is noticed in the area of the so-called Afgedamde Maas behind the Heusdensch barrier. This can be explained by the fact that roads and dikes are flooded during extreme river discharges and therefore the area starts acting like a flood retention area. The influence of this flooding on the assessed water levels ("toetspeilen") is negligible, as its probability of occurrence is very low (1/100.000 or lower). The areas behind the movable barriers (Cuijk, Mook and Afgedamde Maas) continue to fill up in some instances after the discharge peak has passed and the barriers open again (mainly when the peak water level is close to the criterion for closure of the barriers). This results locally in the rejection of output locations in the vicinity of the barriers. The two flood retention areas on the Meuse, Lateraalkanaal-West and Lob van Gennep, do not function optimally for decreasing water levels, because the settings of the threshold for inflow have been determined from HR2001 discharge waves.

In a number of areas a relative large number of locations is rejected. This is partially due to known (and accepted) model instabilities (Grensmaas and to a lesser extent Zandmaas) and partially due to barriers/flood retention areas. The areas where locations are rejected are limited to the proximity of the model elements that cause the instabilities. Therefore it can be concluded that the computations are reliable and can be used to fill the relational databases. In certain cases it can be justified to accept rejected locations, for example in cases where the filling behaviour is realistic or the instability fluctuates around a realistic maximum. The advice is to investigate whether certain locations can be accepted for the database by applying a filter on the time series of rejected points. This step is not included in the scope of this project.

Lijst van Tabellen

Tabel 3.1	Afvoeren Bovenrivieren.	13
Tabel 3.2	Qh-relatie op de benedenrand bij Keizersveer.	14
Tabel 3.3	Afvoer bij de start van de afvoergolven voor iedere stochastwaarde van de afvoer bij Eijsden.	15
Tabel 4.1	Invoerbestanden die gelijk zijn voor alle berekeningen (ALGwaq).	18
Tabel 5.1	Uitvoerlocaties die in alle berekeningen droog zijn (wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen).	32
Tabel 5.2	Uitvoerlocaties waarbij voor 7 of meer afvoeren het verschil tussen 'max13' en de maximale waterstand meer dan 1 cm is (wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen).	34
Tabel 5.3	Uitvoerlocaties waarbij voor 2 of meer afvoeren een instabiliteit rond de piek optreedt (wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen).	38
Tabel 5.4	Uitvoerlocaties waarbij voor 10 of meer afvoeren de gradiënt groter is dan 0,005 m/m (= 5 mm/m) voor wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen (links) en niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen (rechts).	40
Tabel A.1	Overzicht van gegevens in het data-archief, die zijn gemaakt ter controle van de productieberekeningen.	A-1
Tabel B.1	Relatie afvoer Borgharen en topvervlakking.	B-3

Lijst met Figuren

Figuur 1.1	Normfrequenties voor de primaire waterkeringen.....	1
Figuur 1.2	Organisatie van het WTI2017 project.....	2
Figuur 2.1	Overzicht Maas-model.	6
Figuur 2.2	Bodemhoogte en locaties open randen Maas-model.	7
Figuur 2.3	Verdeling van de Maas in 8 partities.	9
Figuur 3.1	Afvoergolfvorm Maas bij Borgharen. Uit: Deltares (2014).	13
Figuur 5.1	Aantal warnings en gebruikte cputijd per berekening (gespecificeerd als piekafvoer bij Borgharen), boven: wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen, onder: niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen.	23
Figuur 5.2	Q3800, bovenrand Eijsden – Borgharen-dorp (niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen).....	24
Figuur 5.3	Q3800, bovenrand Eijsden – Borgharen-dorp (wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen).....	25
Figuur 5.4	Max13-waterstand Maas (niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen).	26
Figuur 5.5	Maximale afvoer Maas (niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen).	27
Figuur 5.6	Functioneren retentiegebieden Lateraalkanaal-West (links, $Q_{max} = 3.275 \text{ m}^3/\text{s}$) en Lob van Gennep (rechts, $Q_{max} = 3.800 \text{ m}^3/\text{s}$)	28
Figuur 5.7	Droge punten bij laagste afvoer (boven) en hoogste afvoer (onder), waarbij onderscheid is gemaakt tussen wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen (links) en niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen (rechts). De kleur geeft de maximale waterstand (m+NAP) voor de berekening weer.	30
Figuur 5.8	Aantal droge uitvoerlocaties als functie van de piekafvoer bij Borgharen.	31
Figuur 5.9	Twee voorbeelden van een berekening waarbij het verschil tussen 'max13' en de maximale waterstand meer is dan 1 cm.	33
Figuur 5.10	Aantal uitvoerlocaties waarbij verschil tussen 'max13' en de maximale waterstand meer is dan 1 cm.	34
Figuur 5.11	Ruimtelijk patroon van de locaties waarbij het verschil tussen 'max13' en de maximale waterstand meer dan 1 cm is voor de situatie met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen bij $Q=3.800 \text{ m}^3/\text{s}$. De kleur geeft de maximale waterstand (m+NAP) voor de berekening weer.	35
Figuur 5.12	Aantal voorbeelden van instabiliteiten in (gehele) tijdreeks.....	36
Figuur 5.13	Aantal uitvoerlocaties met instabiliteit rond de piek per afvoer.....	37
Figuur 5.14	Aantal uitvoerlocaties met instabiliteit rond de piek per aantal afvoeren.....	37
Figuur 5.15	Uitvoerlocaties met instabiliteiten rond de piek, Q6000, niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen. De kleur geeft de maximale waterstand (m+NAP) voor de berekening weer.....	38

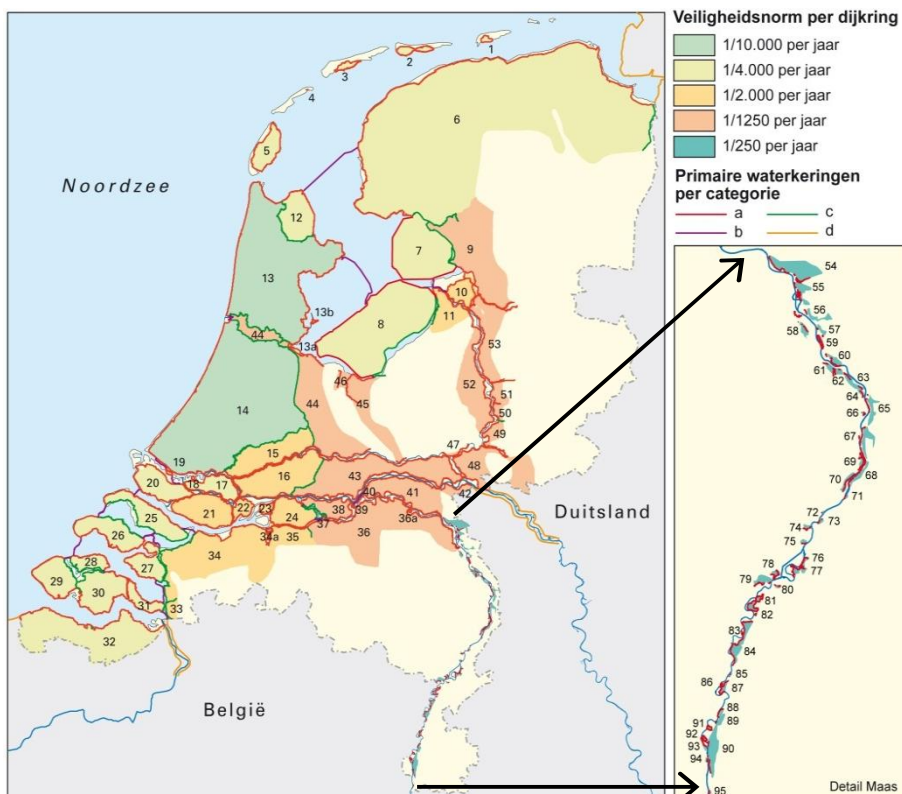
Figuur 5.16	Gradiënten tussen in de ruimte opeenvolgende uitvoerpunten bij Q5000, niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen (uitgezonderd backup-punten)	40
Figuur 5.17	Tijdreeksen van vullen Kraaijenbergse Plassen, controlepunt MA_60M_L_999_44.....	46
Figuur C.1	Twee locaties op de Maas waarvoor de max13 ontbreekt.....	C-1

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Volgens de Waterwet (2009) dienen periodiek Hydraulische Randvoorwaarden (HR) voor de primaire keringen te worden afgeleid voor herhalingsjaren van 250 tot 10.000 jaar; zie Figuur 1.1. Volgens de huidige methode (combinatie HR2006 en VTV2006) bestaan de HR per locatie uit een combinatie van waterstand en/of golfhoogte, -periode en -richting, afhankelijk van het beschouwde watersysteem (kust, meer of rivier). Deze wordt op probabilistische wijze met behulp van Hydra modellen bepaald, waarbij statistiek van wind, waterstand, afvoer en/of offshore golfcondities wordt vertaald naar waterstanden en golfcondities aan de teen van de dijk. Met behulp van deze afgeleide randvoorwaarden kan volgens het VTV2006 een toetsing worden uitgevoerd (voor de hoogtetoets wordt een volledig probabilistische toets uitgevoerd). Deze toetsing gaat uit van de overschrijdingskansbenadering, welke kijkt naar de lokale kans van overschrijding van de belasting voor de betreffende waterkeringssectie in relatie tot de sterkte van de waterkering.

In 2017 wordt de overstap van de overschrijdingskansbenadering naar de overstromingskansbenadering gemaakt. Deze laatste gaat niet alleen uit van het feit dat de belasting voor een specifieke waterkeringssectie bij een gegeven kans op overschrijden groter is dan de sterkte, maar neemt ook de kans op falen (rekening houdend met meerdere faalmechanismen) van een waterkeringssectie binnen een dijkkring in beschouwing. Dit laatste wordt de overstromingskansbenadering genoemd. Het beoogde instrument waar deze overstromingskansbenadering in geïmplementeerd gaat worden heet Hydra-RING.



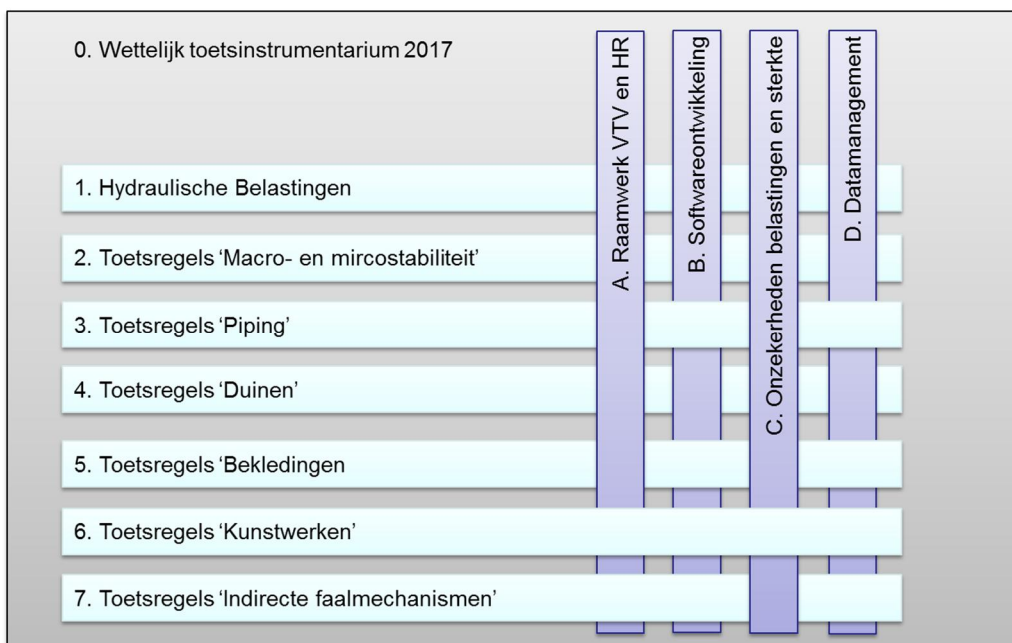
Figuur 1.1 Normfrequenties voor de primaire waterkeringen.

Het onderzoek (voorheen in SBW kader uitgevoerd) en het ontwikkelen van het toetsinstrumentarium (WTI) zijn zodanig met elkaar verbonden dat deze activiteiten vanaf 2012 als één programma "WTI2017" worden uitgevoerd. Daarbij worden zeven inhoudelijke deelprogramma's/onderdelen onderscheiden en vier meer generieke deelprogramma's, respectievelijk de horizontale en verticale clusters in Figuur 1.2.

Het programma wordt uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu. Het organisatie-onderdeel van Rijkswaterstaat genaamd Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) is gedelegeerd opdrachtgever. Het programma WTI2017 wordt gefinancierd uit het Infrastructuurfonds, artikel 11, hoofdwatersysteem. Dit maakt lange termijn planning mogelijk. Het Rijk is verantwoordelijk voor het aanleveren van het Wettelijk Toetsinstrumentarium. De waterkeringbeheerders toetsen daarmee of hun primaire waterkeringen aan de normen voldoen. De kwaliteit van het instrumentarium en de uitvoering van de toetsing is van groot belang; maatschappelijk, het gaat immers om de veiligheid van de inwoners en het voorkomen van schade aan de infrastructuur, maar ook vanwege de hoge kosten die gemoeid zijn met het noodzakelijk verbeteren van eventueel afgekeurde dijkvakken.

Het doel van het cluster Hydraulische Belastingen is tweeledig:

1. Uitvoeren van nieuwe productieberekeningen voor de gebieden waar programma's zoals Ruimte voor de River en Maaswerken een grote invloed hebben op de Hydraulische Belastingen;
2. Uitvoeren van onderzoek met als doel het realiseren van meer betrouwbare Hydraulische Randvoorwaarden in 2017 en verder.



Figuur 1.2 Organisatie van het WTI2017 project.

Voor het eerste onderdeel geldt dat de globale planning hiervan is: (i) 2013: Voorbereiden en afbakenen productieberekeningen, (ii) 2014 verzamelen benodigde gegevens en (iii) 2015: uitvoeren productieberekeningen.

Dit rapport is opgesteld in het kader van het eerste onderdeel: productieberekeningen met WAQUA voor het modelleren van de waterbeweging van de Maas.

1.2 Doel

Het voorliggende rapport geeft:

- Een overzicht van het WAQUA modelinstrumentarium dat gebruikt is voor de WAQUA-productieberekeningen voor de Maas.
- Een overzicht van de gehanteerde uitgangspunten.
- Een overzicht van de gehanteerde randvoorwaarden en initiële condities, inclusief hoe deze zijn afgeleid.
- De aanpak voor controle van modelinvoer en -uitvoer, met daarbij een uitspraak over de betrouwbaarheid en kwaliteit van de berekeningen.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bespreekt het WAQUA-model, zoals dat is opgezet door Deltares. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de stochastcombinaties, die vertaald zijn in randvoorwaarden en initiële condities voor het WAQUA-model. Hoofdstuk 4 beschrijft de werkwijze van uitvoeren van de productieberekeningen en in hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de fysische juistheid en consistentie van de berekeningen. Hoofdstuk 6 bevat enkele algemene conclusies ten aanzien van de kwaliteit van de berekeningen en geeft aanbevelingen voor het vullen van databases.

Merk op dat als startpunt voor de activiteiten in het kader van WTI2017 de aanpak en resultaten van WTI2011 worden gebruikt. Dit betekent dat de consequenties van keuzes zoals gespecificeerd in dit rapport ten opzichte van WTI2011 zijn gedefinieerd.

DATA-ARCHIEF

In dit rapport wordt op verschillende plekken verwezen naar een data-archief. Dit data-archief is uitgeleverd op een externe harde schijf en maakt expliciet onderdeel uit van dit rapport. In bijlage A is een overzicht gegeven van de inhoud van het data-archief.

2 WAQUA modelinstrumentarium

2.1 Uitgeleverde modelschematisatie en gebruikte WAQUA versie

Voor de WTI productieberekeningen is gebruik gemaakt van WAQUA modelschematisaties, die onderdeel zijn van door Deltares beheerde Baseline-gebiedsschematisaties voor de Bovenrivieren-Maas. De opgeleverde schematisaties bevatten de volgende door Deltares gemodelleerde aanpassingen (Deltares, 2014b): 'oprekken' van Qh-relaties, opname/herstel maatregelen, verleggen uitvoerlocaties, aanpassingen hoogwatervrije lijnen in de mknov-schematisatie, sturingstabellen van stuwen. Ten behoeve van de voorliggende WTI-berekeningen zijn ook enkele locatienamen aangepast waarbij spaties zijn vervangen door underscores '_ '.

Op 5 januari 2015 zijn de volgende gebiedsschematisaties uitgeleverd:

[DATA-ARCHIEF]\1.Bovenrivieren\1.Gebiedsschematisaties\01_Maas\02_Modellen\

- *maas-hr2017_5-v2*
- *maas-hr2017_mknov_5-v2*

De daaruit gebruikte WAQUA modelschematisaties zijn:

- *maas-hr2017_5-v2.zip\maas-hr2017_5-v2\modellen\waqua\hr2017_5-v2*
- *maas-hr2017_mknov_5-v2.zip\maas-hr2017_mknov_5-v2\modellen\waqua\hr2017_mknov_5-v2*

Het onderscheid tussen deze twee schematisaties zit in de Limburgse Maaskeringen: mknov bevat niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen.

Ten opzichte van de standaard meegeleverde Qh-relatie is een aanpassing gemaakt om aan te sluiten bij de resultaten van het Rijn-Maasmonding model. Een beschrijving van de gebruikte Qh-relaties staat in paragraaf 3.3.

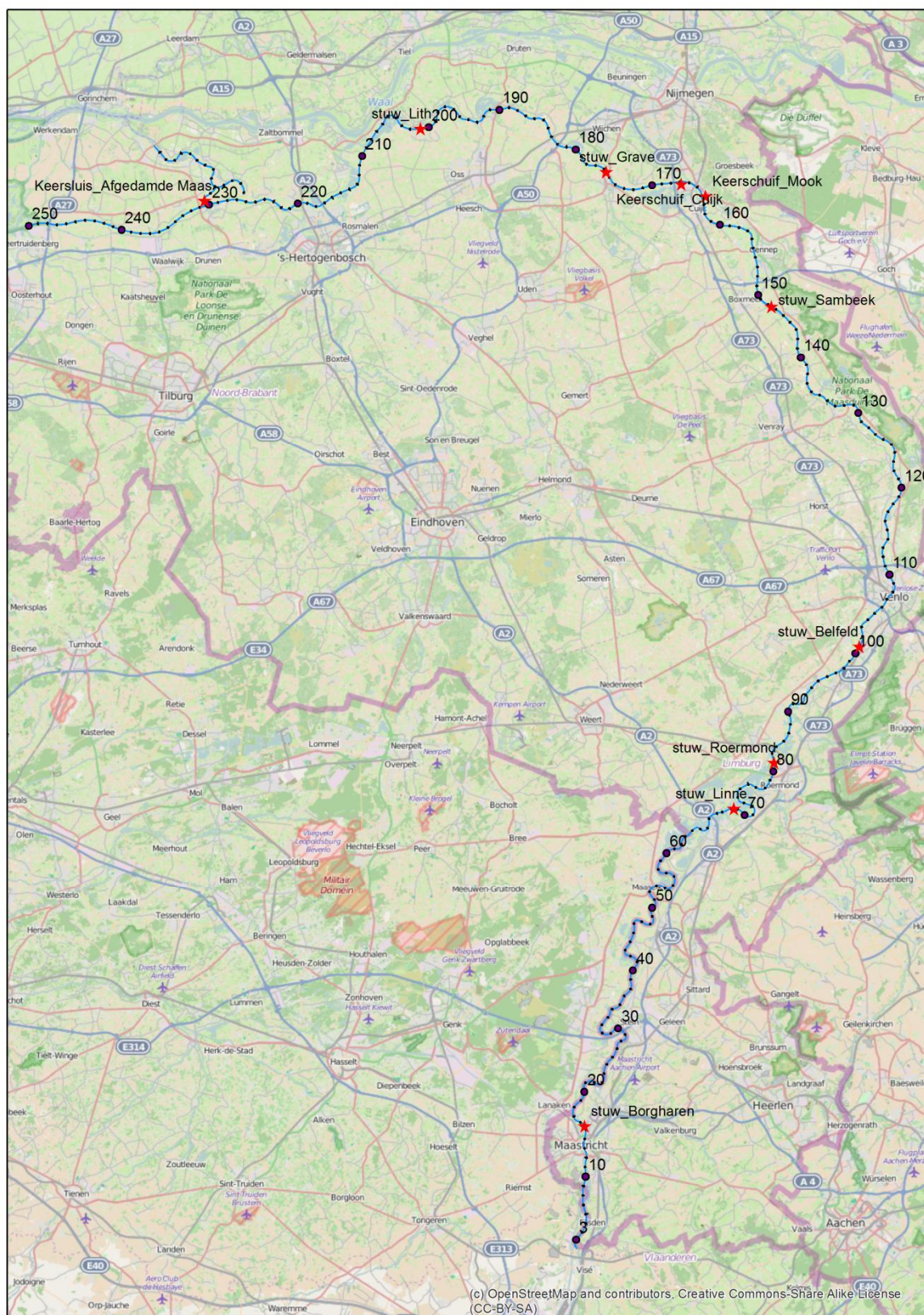
Binnen WTI2017 is gebruik gemaakt van WAQUA onder simona2014, patch 8 (Linux, 64 bit).

2.2 Studiegebied en rekenroosters WTI

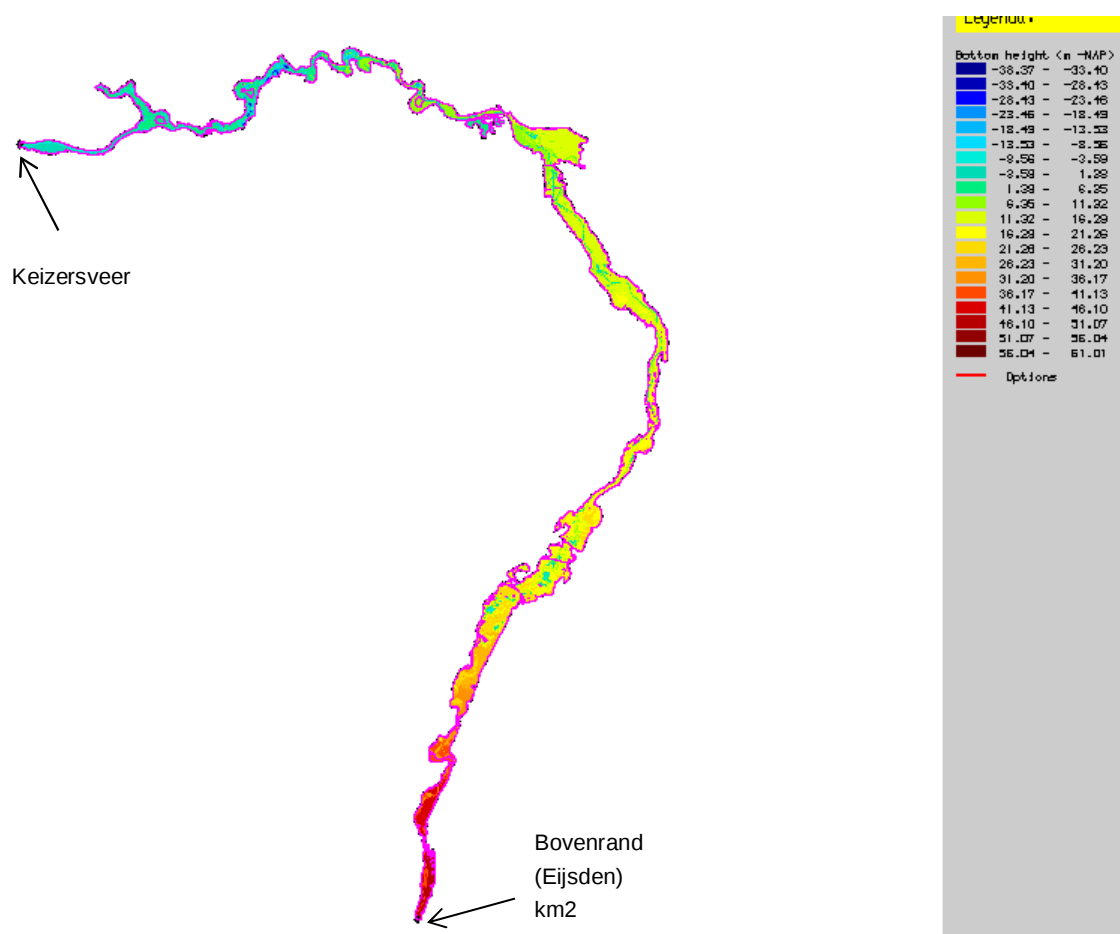
Het studiegebied voor de productieberekeningen voor de Maas omvat:

- De Maas van km 2 t/m 230;
- De Bergsche Maas van km 231 t/m 250;
- De Afgedamde Maas;
- Het Heusdens Kanaal (tussen Maas en Afgedamde Maas, in dit kanaal bevindt zich de keersluis Heusdensche Kering ofwel Kromme Nol).

Een overzichtskarta van het Maas-model is weergegeven in Figuur 2.1. Figuur 2.2 geeft de bodemhoogte en locaties van open randen. Het rekenrooster van het Maas-model bestaat uit 187x6001 roostercellen (maas40m_5-v3.rgf).



Figuur 2.1 Overzicht Maas-model.



Figuur 2.2 Bodemhoogte en locaties open randen Maas-model.

2.3 Modelschematisatie

Als voorbereiding op de productieberekeningen voor WTI2017 is in 2013 een aantal uitgangspunten vastgelegd met betrekking tot de te hanteren schematisaties. Het gaat daarbij om de te hanteren bodem en vegetatie, maar ook om de mee te nemen rivierverruimende maatregelen uit de programma's Maaswerken en Ruimte voor de Rivier, vergunningen en dergelijke. In Deltares (2013) is beschreven welke uitgangspunten ten aanzien van de schematisaties zijn vastgelegd. In Deltares (2014a) zijn enige aanvullingen op de uitgangspunten gegeven.

In onderstaand kader volgt een beknopte samenvatting van de uitgangspunten uit Deltares (2013; 2014a). Voor nadere onderbouwing van de verschillende keuzes, zoals bijvoorbeeld voor gehanteerde bodemligging en vegetatie, wordt verwezen naar Deltares (2013; 2014a).

In principe is in 2013 vastgelegd dat alle maatregelen (buiten Ruimte voor de Rivier of Maaswerken) met een status MIRT3 of vergelijkbaar meegenomen zouden worden mits deze voor 31 maart 2013 aangeleverd zouden worden. In de eerste helft van 2014 werd duidelijk dat er een aantal maatregelen is welke nog geen MIRT3 status (of vergelijkbaar) hebben, maar waarvan DGRW aangeeft dat de kans op realisatie reëel is. Dit laatste betekent dat deze maatregelen opgenomen zijn in de schematisaties voor WTI2017. Het gaat hierbij om de volgende maatregelen:

- Ooijen en Wanssum (lokaal tot circa 4 decimeter waterstandsverlaging)
- Boertien plus locaties (uiteenlopende lokale waterstandseffecten)

Daarnaast bevat de BenO schematisatie ook vigerende en beschikbare vergunningen en zijn zoveel mogelijk uitgevoerde gebiedsveranderingen opgenomen.

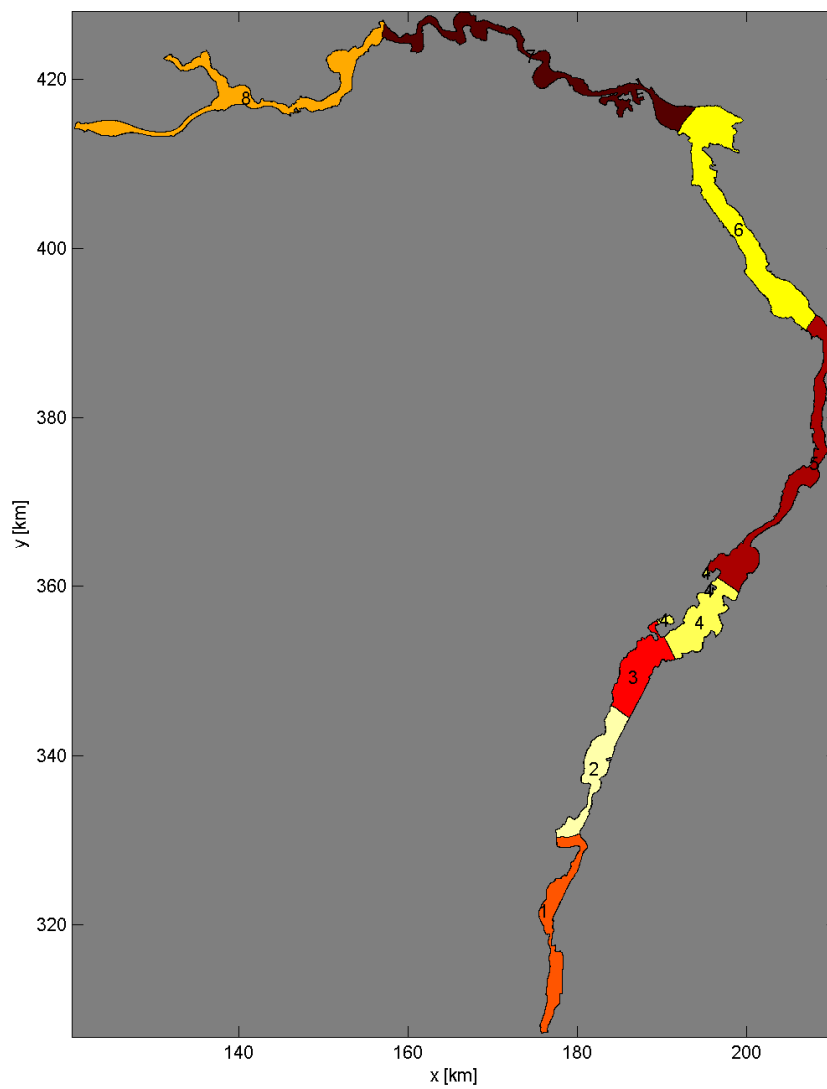
Voor de modelgeometrie (bodem/overlaten) geldt dat alle Maaswerken-ingrepen en de Ruimte voor de Rivier ingreep Overdiepsche Polder zijn meegenomen. Voor bodemligging in het zomerbed geldt dat de meest recent beschikbare bodem wordt meegenomen (zie Figuur 2.2 voor de resulterende bodemligging). Voor vegetatie geldt dat het beeld van 1997 gebruikt is. Ten aanzien van de overige maatregelen geldt dat alle maatregelen waarvoor een MIRT3 besluit (of een vergelijkbaar investeringsbesluit) is genomen en waarvoor een Baseline maatregel beschikbaar is voor 31 maart 2014, zijn meegenomen.

2.4 Partitionering

De WAQUA-schematisatie is opgeleverd zonder voor-gedefinieerde opdeling in partities. De productieberekeningen zijn uitgevoerd bij Amazon op (single) nodes met 8 cores (zie paragraaf 4.2). Daarom is voor het opzetten van de partitionering uitgegaan van 8 partities. De resulterende partitionering is getoond in Figuur 2.3. Deze partitionering is met de default waqpro-opties aangemaakt door Simona en leidt tot een gebalanceerde verdeling van het rekenwerk over 8 cores.

In paragraaf 3.7 van RHDHV (2014b) zijn de effecten van partitionering van de berekening gepresenteerd. De gevonden effecten zijn significant op de Grensmaas en bedragen hier lokaal enkele cm's. Buiten de Grensmaas zijn de effecten te verwaarlozen. Het is bekend dat de Grensmaas niet (helemaal) stabiel is onder kalibratie en validatie omstandigheden. Het effect van partitionering i.c.m. extreme condities wordt hier dan ook het grootst verwacht. Mogelijk kan dit worden opgelost door aanpassingen in de Simona-software, maar dat is niet te realiseren binnen het WTI tijdspad. Er zijn twee andere mogelijkheden:

- Verkleinen van de tijdstap; dit is niet gedaan, omdat het probleem alleen met een extreem kleine tijdstap kan worden verholpen, die zeer lange rekentijden tot gevolg zou hebben.
- Sequentieel rekenen; vanwege de al aanzienlijke rekestijd op 8 processoren (8 á 10 uur per berekening) werd een sequentiële rekestijd van 2,5 á 3,5 dag per berekening niet acceptabel geacht.



Figuur 2.3 Verdeling van de Maas in 8 partities.

2.5 Uitvoerlocaties

In 2013 zijn voor de productieberekeningen uitgangspunten vastgelegd voor wat betreft de uitvoerlocaties (Deltares, 2013). In onderstaand kader zijn de belangrijkste uitgangspunten uit dit document opgesomd.

Aslocaties

Voor de aslocaties zijn de door Baseline op het rekenrooster geprojecteerde rivierkilometerpunten gebruikt.

Oeverlocaties:

Als uitgangspunt voor de nieuwe uitvoerlocaties is de dijkkringlijn 4.0 van RWS gebruikt. Eventueel zijn locaties aangepast waar in verband met mee te nemen maatregelen dijkverleggingen gepland zijn. Voor het definiëren van uitvoerlocaties zijn dezelfde criteria toegepast als in de vorige WTI cyclus:

- De uitvoerlocaties liggen zo dicht mogelijk bij de dijk, maar in ieder geval niet in de eerste roostercel uit de rand, gebaseerd op het WAQUA model.
- Hooggelegen gebieden, zoals uiterwaarden, zijn ook als oeverlocatie gehanteerd, tenzij het hoge gronden (hooggelegen gebieden die als primaire waterkering dienen) betreft.
- De uitvoerlocaties zijn gedefinieerd met onderlinge afstand van ca. 100 m in de richting langs de dijk.
- Punten zijn verlegd of extra aangemaakt als hiervoor behoefte is bij dijkbeheerders of andere onderdelen van WTI.

Er zijn naast een basisset ook een natte set (vermijden van hooggelegen gebieden, zoals uiterwaarden) en back-up set (110 m uit de dijk) gedefinieerd. De back-up set uitvoerlocaties is verkregen door de basisset 50 m verder van de dijk te leggen in de richting van de rivier. Indien na afloop van de productieberekeningen mocht blijken dat voor een bepaalde dijksectie de basisset uitvoerlocaties niet goed gekozen is en dat die locaties niet geschikt zijn voor de HR bepaling, dan is er op 50 m afstand van de basisset nog een volledige set uitvoerlocaties met WAQUA-Maas uitvoer beschikbaar.

2.6 Specifieke elementen in de modelschematisatie

2.6.1 Stuwen

Het Maas-model bevat de volgende stuwen:

- Borgharen bij km 15
- Linne bij km 68
- Roermond bij km 80
- Belfeld bij km 100
- Sambeek bij km 146
- Grave bij km 175
- Lith bij km 200

Deze stuwen worden in het Maas-model automatisch aangestuurd volgens het sturingsprogramma zoals dat moet werken na voltooiing van de Maaswerken.

2.6.2 Keringen

Het Maas-model bevat de volgende beweegbare keringen:

- Kering Mook bij km 164 (rechteroever bij de Mookerplas)
- Kering Cuijk bij km 167 (linkeroever bij de Kraaijenbergse Plassen)
- Kering Afgedamde Maas bij km 230

De keringen bij Mook en Cuijk worden geregeld op de identieke controlepunten P559 (M= 79, N=3983, NAME='Keerschuij_Cuijk') respectievelijk P561 (M= 79, N=3983, NAME='Keerschuij_Mook'). Beide keringen sluiten als de waterstand in het controlepunt hoger wordt dan 8,30 m+NAP. De kering van de Afgedamde Maas wordt geregeld op het controlepunt P560 (M= 74, N=5554, NAME='Keerschuij_Afgedamde'). De kering sluit als de waterstand in het controlepunt hoger wordt dan 3,49 m+NAP.

3 Randvoorwaarden en initiële condities

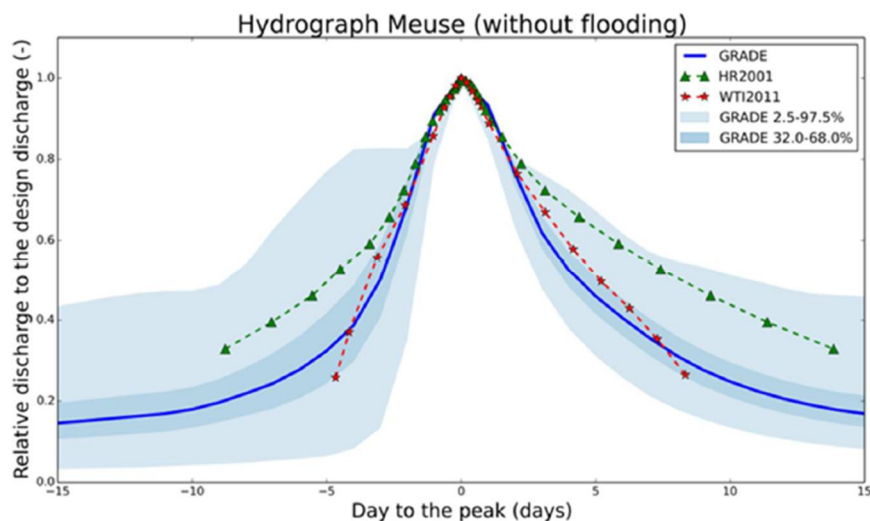
3.1 Afvoeren Maas

Voor de Bovenrivieren wordt alleen de bovenstroomse afvoer als stochast beschouwd. De berekeningen zijn uitgevoerd zonder wind. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de door te rekenen afvoeren voor de Bovenrivieren (Deltares, 2014). De waarden uit de tabel zijn piekafvoeren, daar er met afvoergolven wordt gerekend.

Afvoer [m^3/s]	
Rijn (Lobith)	Maas (Borgharen)
6.000	1.300
8.000	2.260
10.000	3.275
13.000	3.394
16.000	3.800
16.500	3.950
17.000	4.000
18.000	4.600
20.000	5.000
22.000	5.500
24.000	6.000
	6.500

Tabel 3.1 Afvoeren Bovenrivieren.

Bovenstaande debieten worden met een standaard (50% betrouwbaarheidsinterval) afvoergolfvorm doorerekend, zie de blauwe lijn Figuur 3.1. Doordat de beoordeling is uitgevoerd voor twee varianten, namelijk met en zonder overstroombare Limburgse Maaskeringen, bestaan de productieberekeningen voor de Maas uit 24 berekeningen. Conform de gestelde uitgangspunten wordt gerekend met afvoergolven uit GRADE waarbij geen rekening is gehouden met bovenstroomse overstromingen (Deltares, 2014a).



Figuur 3.1 Afvoergolfvorm Maas bij Borgharen. Uit: Deltares (2014).

3.2 Rivierafvoer en lateralen

De GRADE-golf (zie Figuur 3.1) beschrijft een golfvorm in de tijd bij Borgharen. Op basis van de piekafvoeren uit Tabel 3.1 is de golfvorm omgezet naar een afvoerreeks bij Eijsden. Deze afvoerreeks is vervolgens met de “hulpprogrammatuur 2.20” en “hulpprogrammatuur 1.04” omgezet naar afvoerrandvoorwaarden bij Eijsden en de lateralen langs de Maas. Het resultaat van deze omzetting van Borgharen naar Eijsden wordt getoond in paragraaf 5.4.

In tegenstelling tot de Rijntakken, is bij een aantal stappen ook een Sobek-RE-berekening nodig. Daarom dient naast versie 2.20 van de hulpprogrammatuur, ook een oudere versie (1.04) gebruikt te worden. De gebruikte Sobek-RE versie is 2.52.009.

In Bijlage B is een uitgebreide beschrijving opgenomen van de gevolgde werkwijze om op basis van de GRADE-uitvoer een afvoerreeks op de bovenrand bij Eijsden en de bijbehorende lateralen te bepalen.

3.3 Benedenrand

Op de benedenrand van het WAQUA-model (Keizersveer) is gebruik gemaakt van een Qh-relatie zoals beschreven in Deltares (2015). De met het model uitgeleverde Qh-relatie is vervangen om aan te sluiten op het probabilistische resultaat in combinatie met Ruimte voor de Rivier-ingrepen. Naar aanleiding van de beoordeling van de RMM-testberekeningen is nog een correctie gemaakt op 28-01-2015. Met deze correctie wordt aangesloten bij de resultaten van de RMM-berekeningen waarin rekening is gehouden met de Ruimte voor de Rivier ingrepen. De waterstand voor de extreme afvoer (5.500 m³/s) is een lineaire extrapolatie vanuit de twee waardes eronder. De extrapolatie is nog verder doorgetrokken (6.500 m³/s) in het kader van WTI2017. De resulterende Qh-relatie is opgenomen in Tabel 3.2.

Afvoer Keizersveer (m ³ /s)	Waterstand Keizersveer (m+NAP)
19	0,818
351	1,082
905	1,275
1.448	1,607
1.987	1,936
2.528	2,235
3.342	2,721
3.832	2,990
4.713	3,446
5.500	3,853
6.500	4,370

Tabel 3.2 Qh-relatie op de benedenrand bij Keizersveer.

3.4 Initiële condities en stuwstanden

Omdat met afvoergolven wordt gerekend, dienen de initiële condities (waterstanden, snelheden, stuwpositie) van de berekeningen te passen bij de afvoer aan het begin van de afvoergolf. Deze afvoeren zijn weergegeven in Tabel 3.3. De initiële condities zijn berekend door 10 dagen stationaire afvoer door te rekenen vanuit een ‘droog’ model, dat wil zeggen een situatie waarbij enkel het zomerbed stromend is. Voor de lateralen zijn ook de beginwaarden gehanteerd. Voor de productieberekeningen zijn de stuwstanden zoals

berekend met de stationaire berekeningen overgenomen in de sturingsbestanden. Dit is conform WTI2011.

Piekafvoer Eijsden [m ³ /s]	Afvoer beginvoorwaarde [m ³ /s]
1.300	190
2.260	329
3.275	479
3.394	497
3.800	556
3.950	578
4.000	585
4.600	673
5.000	732
5.500	805
6.000	878
6.500	951

Tabel 3.3 Afvoer bij de start van de afvoergolven voor iedere stochastwaarde van de afvoer bij Eijsden.

4 Werkwijze uitvoeren productieberekeningen

4.1 Testfase

Een aantal testberekeningen met de uitgeleverde modelschematisaties als basis zijn succesvol uitgevoerd. De resultaten van de testberekeningen van (RHDHV, 2014) konden worden gereproduceerd. Alle productieberekeningen zijn uiteindelijk allemaal uitgevoerd met exact dezelfde modelschematisatie.

4.2 Opzet berekeningen en gebruik Amazon

4.2.1 Naamgeving van de berekeningen

De productieberekeningen zijn, net als voor de overige watersystemen, uitgevoerd bij Amazon. Er zijn geen berekeningen die afhankelijk van elkaar zijn (geen doorstarts). Daarom is iedere berekening uitgevoerd en opgeslagen onder een unieke mapnaam:

- wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen: `bovriv_Maas_01_Q_<piekafvoer>`
- niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen: `bovriv_Maas_mknov_01_Q_<piekafvoer>`

Voor iedere piekafvoer is een `siminp`-file gegenereerd met de verwijzing naar de juiste randvoorwaarden en initiële condities voor die berekening; tevens is een `runscript` gegenereerd voor de aansturing van de berekening op Amazon.

4.2.2 Benodigde bestanden voor een berekening

Iedere berekening bevat, voor het submitten van de berekening bij Amazon, de volgende bestanden:

```
run
siminp.<somid>
```

Het bestand 'run' wordt gebruikt voor de aansturing van de berekening bij Amazon. De `siminp`-file is de invoer voor de WAQUA-berekeningen, samen met "ALGwaq". ALGwaq bevat een verzameling invoerbestanden die gelijk zijn voor alle berekeningen, waarbij wel onderscheid nodig is tussen berekeningen met overstroombare Limburgse Maaskeringen en niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen (mknov-toevoeging). Daarom is onderscheid gemaakt in:

- `ALGwaq\2.WAQUA_Maas\`
 - `ALGwaq\3.WAQUA_Maas_mknov\`
- (in het data-archief opgeslagen onder `[DATA-ARCHIEF]\1.Bovenrivieren\3.Generatie_productieberekeningen\1.Waterstanden\0.Amazon\`)

Beide 'ALGwaq' directories zijn gelijk opgebouwd, maar verschillen ten aanzien van de overlaten en schotjes, zie Tabel 4.1.

bodem\	Bodemligging
initieel\	Initiële condities: zie paragraaf 3.4 voor details
kunstwerken\	Aansturing van stuwen en keringen
locaties\	Definities van alle locaties, inclusief uitvoerlocaties
overlaten\	Overlaten, <i>bevat voor mknov ook hoge keringen bij Ooijen - Wanssum</i>
randen\	Modelbegrenzing
randvw\	Randvoorwaarden voor stroming en (stof) transport
ruwheid\	Ruwheid
schotjes\	Hoogwatervrije lijnen en vlakken, <i>bevat voor mknov extra schotjes</i>
uitvoer\	Checkpoints
maas40m_5-v3.rgf	Rekenrooster

Tabel 4.1 Invoerbestanden die gelijk zijn voor alle berekeningen (ALGwaq).

4.3 Uitvoer van een berekening

Alle uitvoer is opgeslagen in het data-archief:

[DATA-ARCHIEF]\1.Bovenrivieren\4.Uitvoeren_productiesommen\1.Waterstanden\

- BOVRIV_Maas_01_Q_<piekafvoer>
- BOVRIV_Maas_mknov_01_Q_<piekafvoer>

Een succesvol uitgevoerde berekening bevat de volgende bestanden in het data-archief:

```

coppre-r.<somid>
<somid>_ctrvT.nc
<somid>_max25_CTR.txt
<somid>_max25_CTRV.txt
<somid>_max25_ZWL.txt
<somid>_randen_CTRV.csv
<somid>_randen_CTRV.dat
<somid>_SEPMAXTIM
<somid>_SEPMAXVAL
<somid>_WETMAXVAL
<somid>_zwlT.nc
run
siminp.<somid>
waqpre-m.<somid>
waqpro-m.<somid>
BOVRIV_Maas_<mknov>_01_Q_<piekafvoer>.out

```

Waarbij <somid> de id van de berekening is.

Om zo efficiënt mogelijk met opslagruimte om te gaan zijn de SDS-files van de berekeningen niet bewaard, maar is de benodigde uitvoer met 'getdata' uit de SDS-files uitgelezen. De uitvoer zijn de bestanden die beginnen met <somid>_ en bevatten de volgende informatie:

- Max25: de 'ascii-max25-reeks'-uitvoer van getdata voor de genoemde variabelen (CTR/CTRV/ZWL);
- MAX... en WETMAXVAL zijn boxfiles met WAQUA-registratie van maximale waterstanden, snelheden, etc. Daarbij is WETMAXVAL gelijk aan SEPMAXVAL, maar zijn de droge punten op NaN gezet (door getdata);
- *_randen.* bevat tijdreeksen van de open randen van het model;
- De netcdf-files <somid>_<var>.T.nc bevatten tijdreeksen van afvoeren (var=ctrv) en waterstanden (var=zwl).

4.4 Controle of een berekening succesvol is uitgevoerd

Een WAQUA-berekening bestaat uit twee onderdelen:

- De preprocessor WAQPRE, waarin de invoer van de berekening (de zogenaamde siminp) wordt gecontroleerd en samengevoegd tot een voor de processor bruikbaar bestand (een SDS-file).
- De processor WAQPRO, waardoor de daadwerkelijke berekening wordt uitgevoerd.

Zowel WAQPRE als WAQPRO levert een message-file. Wanneer de berekening correct is verlopen, eindigt dit bestand met de melding "program ended successfully". De eerste automatische controle is dat Matlab beide message-files doorzoekt op deze melding. Wanneer deze melding niet verschijnt in de message-file van WAQPRE, is er meestal sprake van een fout in de invoer. Wanneer de invoer correct is, en de melding "program ended successfully" niet verschijnt in de message-file van WAQPRO, is het crashen van de berekening veelal de oorzaak. Dit kan het gevolg zijn van een hardwareprobleem (bijvoorbeeld onvoldoende geheugen) of van instabiliteit in de berekening zelf.

De SDS-files zijn niet bewaard; met getdata is een aantal bestanden gegenereerd, zie paragraaf 4.3. Bij de naverwerking van de berekeningen (paragraaf 5.2) is gecontroleerd of alle benodigde getdata-bestanden aanwezig zijn (wanneer dat niet het geval is, is de berekening mislukt).

5 Fysische controle productieberekeningen

5.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk is toegelicht hoe de berekeningen zijn opgezet en uitgevoerd bij Amazon. De fysische controle is uitgevoerd door met Matlabscripts de data te verwerken tot figuren en (Excel)tabellen. De basis van het controlescript is beschreven in paragraaf 5.2. Vervolgens is in paragraaf 5.3 een aantal algemene bevindingen beschreven, waaronder ook de meldingen uit de WAQUA-preprocessor (waqpre-m) en –processor (waqpro-m).

In het vervolg van dit hoofdstuk is gecontroleerd of de berekeningen correct en betrouwbaar zijn. Concreet zijn de volgende aspecten geanalyseerd/gecontroleerd:

- Controle vertaalslag afvoer Eijsden naar Borgharen (paragraaf 5.4);
- Consistentie in waterstanden en waterstandsverlopen (paragraaf 5.5);
- Functioneren van specifieke elementen in het WAQUA-model (paragraaf 5.6);
- Analyse van zogenaamde 'max13'-waarden, dat een goede maat is voor het aantal droge punten in een berekening (paragraaf 5.7);
- Analyse van instabiliteiten in de maximale waterstand (paragraaf 5.8);
- Analyse van instabiliteiten in het tijdsverloop van waterstandstijdreeksen (paragraaf 5.9);
- Analyse van waterstandgradiënten in het horizontale vlak (paragraaf 5.10).

Tenslotte is iedere afvoergolf apart beoordeeld op afwijkende resultaten welke vervolgens worden besproken, zie paragraaf 5.11.

5.2 Post-processing van de berekeningen

De productieberekeningen zijn, na gereedkomen van de berekening op Amazon, verwerkt met het script 'BOVRIV_FysContr_MAIN.m'. Dit verwerkingsscript gebruikt bestanden die op Amazon met getdata zijn aangemaakt. De uitvoer van deze dataverwerking is opgeslagen in het data-archief (zie Bijlage A). Het Matlabscript gebruikt de "OpenEarthTools" (versie van 30 januari 2015), zie [DATA-ARCHIEF]\7_oet_matlab\') en informatie van de uitvoerlocaties als invoer (Stations_maas_mnxy.xlsx). Een aantal bestanden wordt via import-functies ingelezen in Matlab, en vervolgens opgeslagen als mat-files (boxfiles en maximale waterstanden). Deze mat-files zijn opgeslagen in het data-archief onder '4_uitvoeren_productiesommen'.

De resultaten van de post-processing zijn te vinden in het data-archief, zie Tabel A.1.

5.3 Algemene constatering/bevindingen

5.3.1 Meldingen WAQPRE

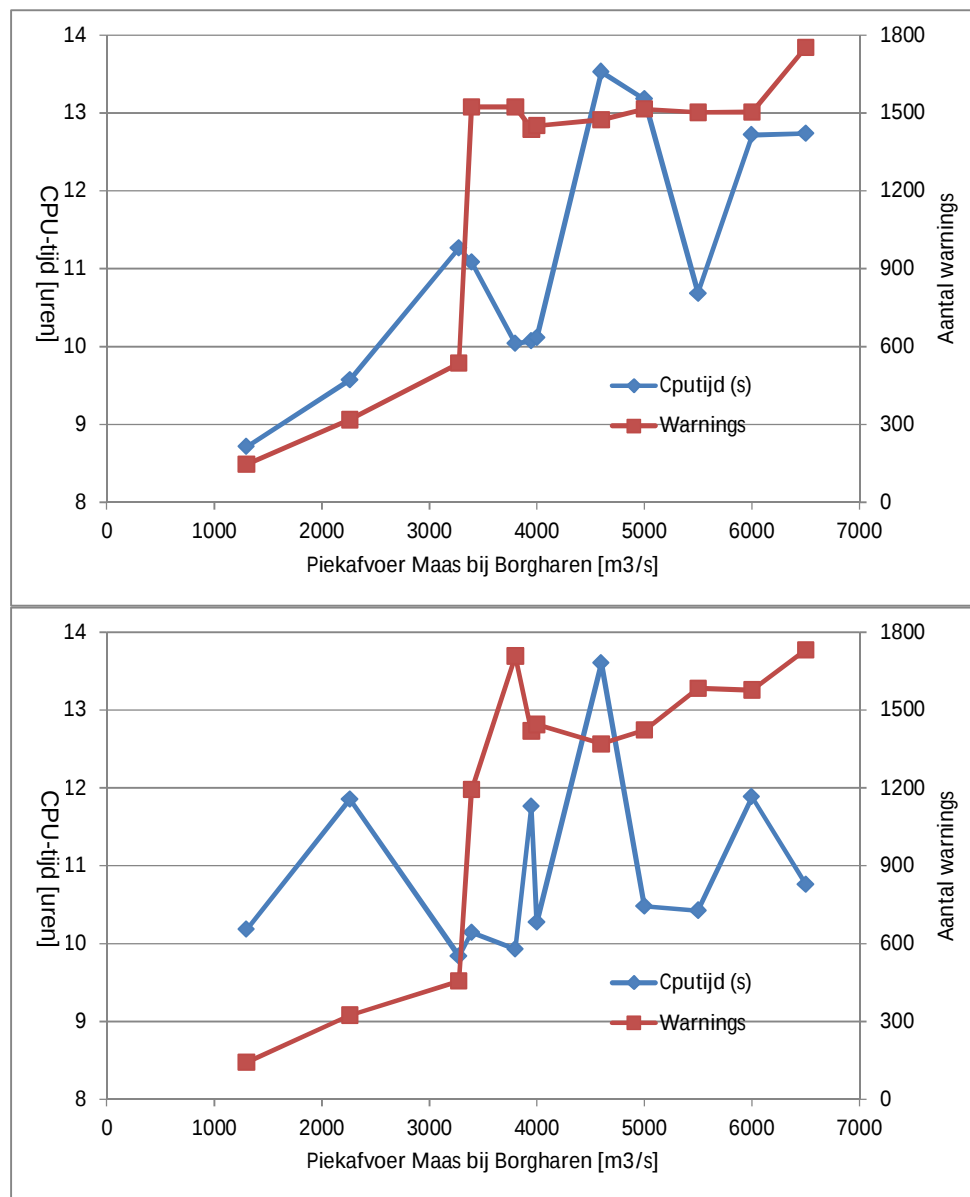
De WAQUA-preprocessor geeft voor alle berekeningen een totaal van 15 warnings:

- 1 melding “No horizontal inner area points between the points (45,2052) and (46,2052)”.
- 1 melding “Building of IROGEO-table concluded with 1 warnings”.
- 1 melding “The use of the keyword TICVAL is discouraged”.
- 5 meldingen die betrekking hebben op “ongeldige” tijdsintervallen: TLBAR, TLMAPS, TLHISTORIES, TLROUC, TLMAXV.
- 1 melding van een niet-gedefinieerde ecotope-code: code 280.
- 1 melding die betrekking heeft op een te lange naam voor debiet-raaien (worden getrunceerd), hier Maastricht_(St.Piet)_waq.
- 4 meldingen die betrekking hebben op cross-secties op dezelfde locatie maar met verschillende namen ('Q-Borgharen-Jul.kan' and 'Q-BorghJkBorghdrp' / 'Q-Roermond-spoorbrug' and 'Q-Roermondbov' / 'Q-Roermond-spoorbrug' and 'Q-Heelben' / 'Q-Roermondbov' and 'Q-Heelben').
- 1 melding van een dubbel gedefinieerde cross-section met identieke naam: '246.00_BM'.

Deze meldingen zijn allen niet kritisch en geen probleem voor de productieberekeningen.

5.3.2 Meldingen WAQPRO

Het Maas-model is gedraaid op 8 cores/partities. Voor iedere partitie wordt aan het einde van de berekening het aantal errors, warnings en gebruikte CPU-tijd geregistreerd. Omdat de berekeningen allemaal op dezelfde hardware zijn uitgevoerd, geeft deze informatie een indicatie of de berekeningen consistent zijn verlopen.



Figuur 5.1 Aantal warnings en gebruikte cputijd per berekening (gespecificeerd als piekaafvoer bij Borgharen), boven: wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen, onder: niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen.

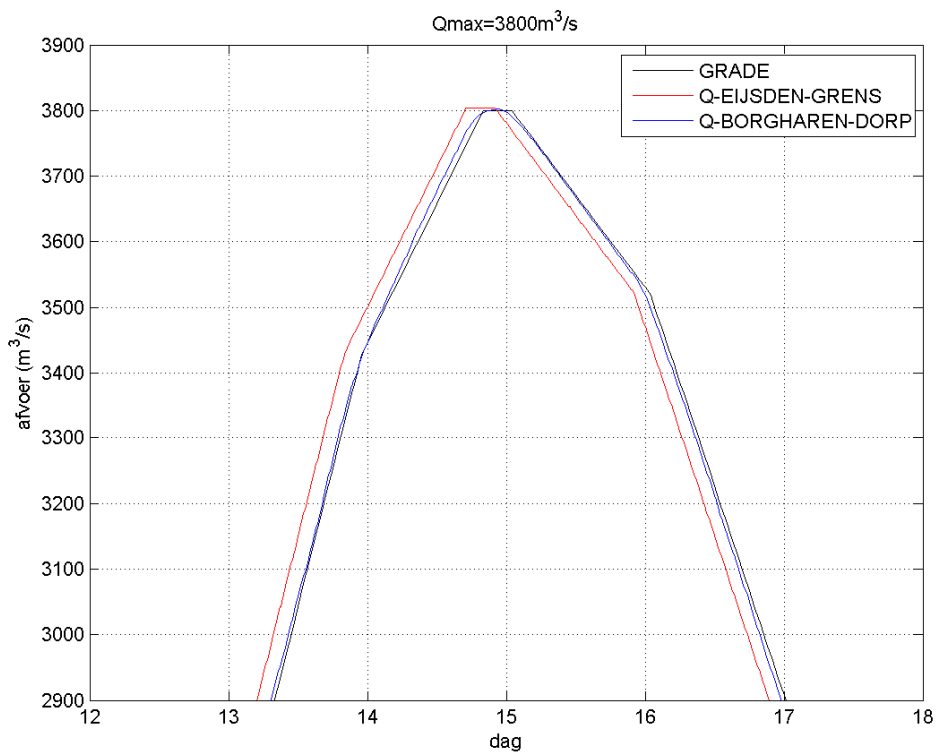
Er zijn geen errors geconstateerd. Figuur 5.1 geeft een overzicht van de rekentijd en aantal warnings per berekening, uitgesplitst naar de situatie met en zonder overstroombare Limburgse Maaskeringen. De warnings betreffen vooral meldingen dat geen convergentie wordt bereikt binnen het gestelde maximaal aantal iteraties (itermax = 20). Vaak betreft dit locaties in de uiterwaarden (droog/nat worden van punten). Er is dan ook een duidelijk verband tussen het aantal warnings en de Maasafvoer, voor hogere afvoer neemt het aantal meldingen toe. Waarschijnlijk speelt het instromen van retentiegebieden hier een belangrijke rol in.

De gemiddelde rekentijd van een berekening bedraagt ongeveer 11 uur, waarbij er geen duidelijk verband bestaat met de Maasafvoer. Het lijkt eerder een toevaligheid dat bepaalde berekeningen langer duren.

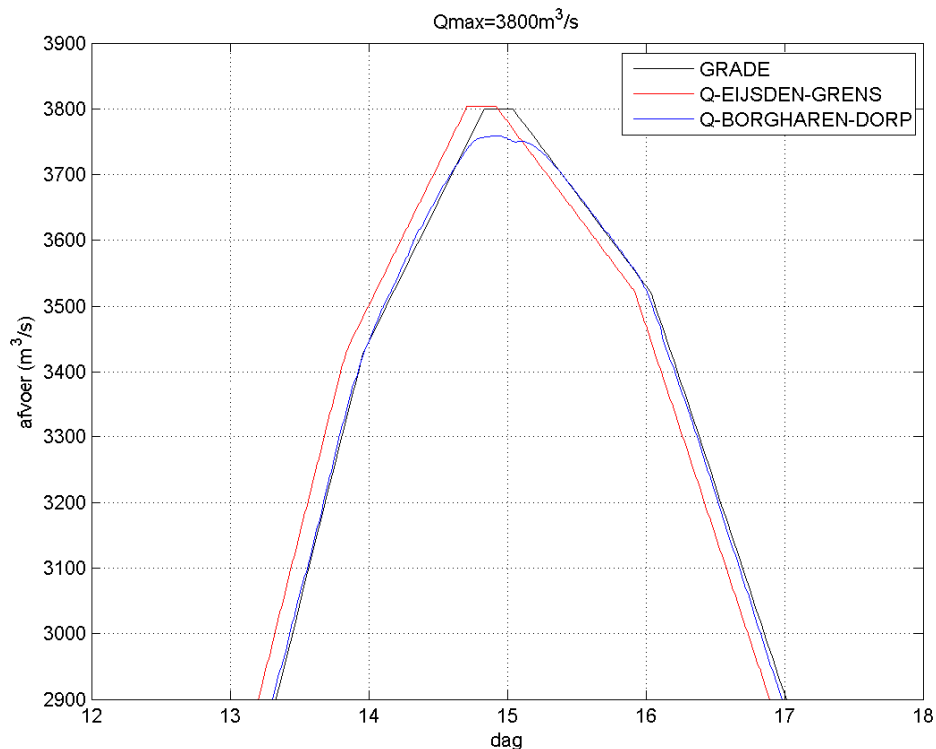
5.4 Controle vertaling Eijsden -> Borgharen-dorp

Figuur 5.2 en Figuur 5.3 geven het resultaat van de vertaalslag Eijsden → Borgharen-dorp met de hulpprogrammatuur bij een piekafvoer van 3.800 m³/s. De GRADE-golf wordt goed benaderd, met een kleine verschuiving bij de was van de golf. De overeenkomst tussen de GRADE-golf en het resultaat bij niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen (zie Figuur 5.2) is beduidend beter dan de overeenkomst tussen de GRADE-golf en de wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen (Figuur 5.3).

In de situatie met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen inundeert Maastricht bij een afvoer van circa 3.750 m³/s en het gebied fungeert dan als retentiegebied waarbij er circa 50 m³/s van de piekafvoer wordt geborgen.



Figuur 5.2 Q3800, bovenrand Eijsden – Borgharen-dorp (niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen).



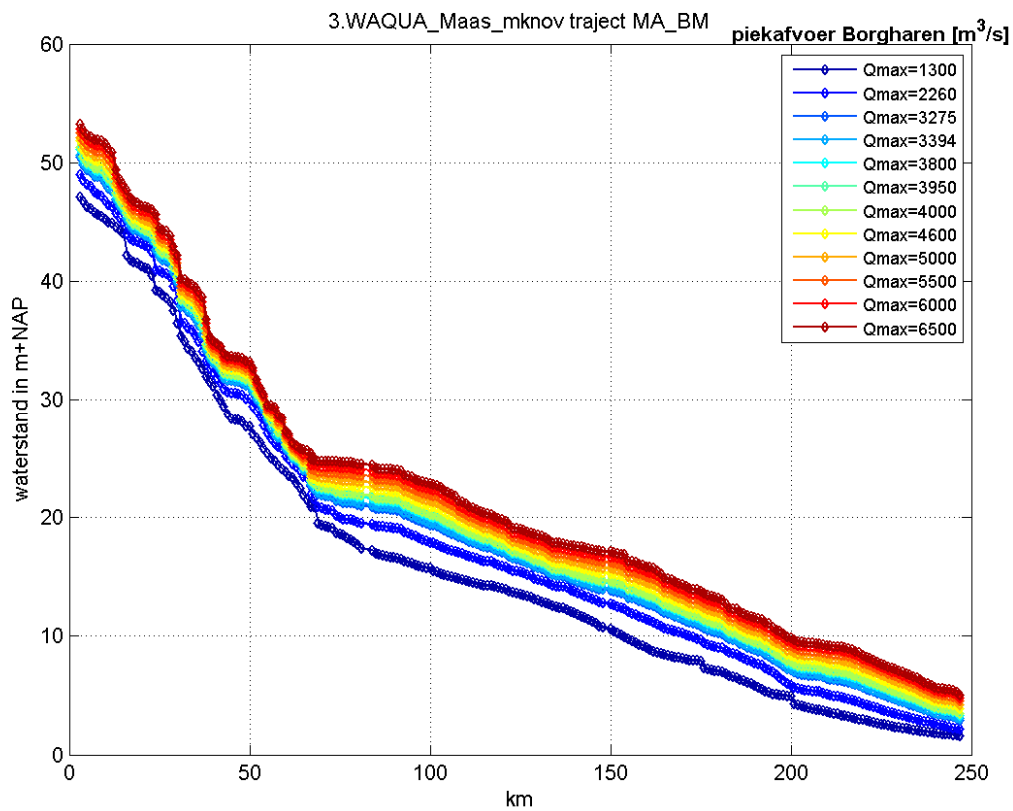
Figuur 5.3 Q_{3800} , bovenrand Eijsden – Borgharen-dorp (wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen).

5.5 Analyse maximale waterstanden en afvoeren in de as van de rivier

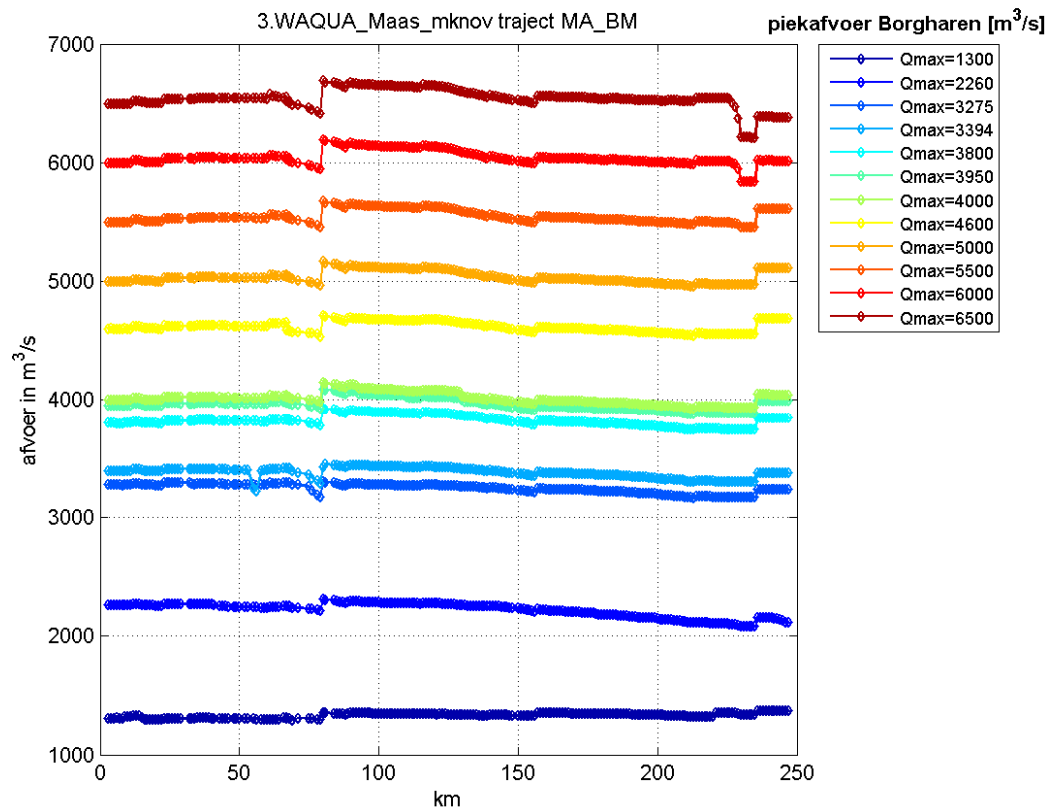
De maximale waterstanden in de as van de rivier en afvoeren in km-raaien geven een goede indicatie of berekeningen betrouwbaar en fysisch realistisch zijn.

Voor deze analyse hanteren we de 'max13'-waarden zoals die door getdata worden bepaald op basis van tijdreeksen van uitvoerlocaties, hier de aslocaties. De 'max13'-waarden worden bepaald door rond de maximale waarde uit de tijdreeks een gemiddelde te berekenen van de zes waarden voor en de zes waarden na de maximale waarde. Dat de parameter 'max13' voorzichtig gebruikt moet worden, blijkt uit twee voorbeelden in Bijlage C.

Figuur 5.4 geeft de maximale waterstanden (max13) voor de Maas, voor de situatie met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen. De Afgedamde Maas en het Heusdens Kanaal zijn niet in de figuren opgenomen. Het gedrag is consistent in die zin dat de waterstand toeneemt bij toenemende piekafvoer op de Maas.



Figuur 5.4 Max13-waterstand Maas (niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen).



Figuur 5.5 Maximale afvoer Maas (niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen).

Figuur 5.5 geeft de maximale afvoeren (max13) voor de Maas. Het gedrag is consistent in die zin dat de afvoer toeneemt bij toenemende piekafvoer bij Eijsden (de uitschieter bij rkm 57 in de berekening $Q_{\text{Eijsden}} 3.394 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt veroorzaakt door een instabiliteit in het model). Verder is het effect van laterale toestromingen goed te zien (rkm 80, Roer; rkm 230, Drongelens kanaal). De sterke daling in de maximale afvoer bij de hoogste twee afvoeren is het gevolg van het overstromen van de kade gelegen naast de Heusdensche Kering. Paragraaf 5.6.3 gaat hier nader op in.

De overige figuren die zijn gemaakt als onderdeel van de dataverwerking zijn te vinden in het data-archief (Bijlage A, Tabel A-1).

Opmerkingen waterstand-figuren:

- Ontbrekende kilometers: Maas km 82 en 83 bestaan niet, km 149 ook niet. Bij het normaliseren van de Maas na 1926 zijn deze km's "verdwenen".
- De rkm's 67 en 68 zijn bijzonder, hier is sprake van rkm 67_zuid, 68_zuid, 67_noord en 68_noord. In de figuren is dit verwerkt tot rkm's 67,0, 67,5, 68,0 en 68,5.
- Sprongetjes bij lage afvoer (Q_{1300}) zijn het resultaat van gesloten stuwen.

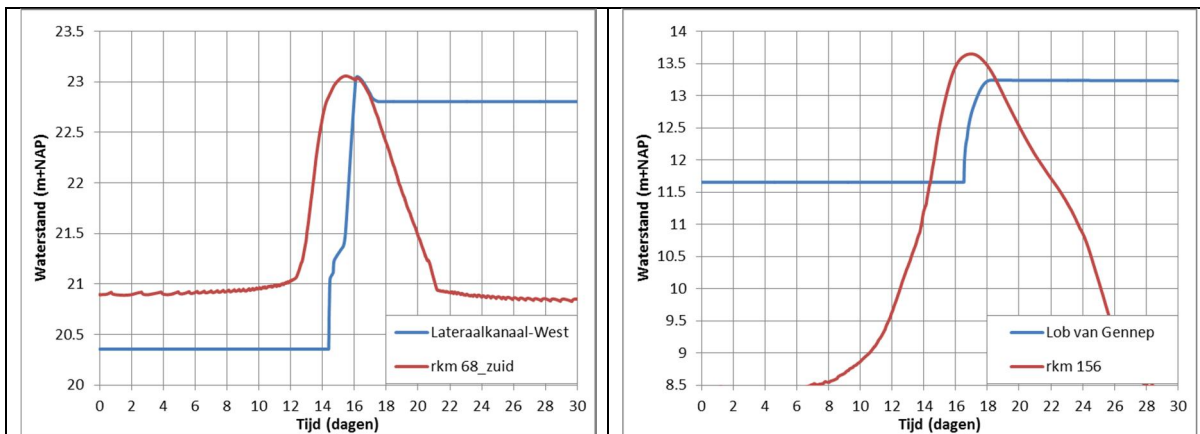
Opmerkingen afvoer-figuren:

- Op de Maas ontbreken de volgende afvoersecties: C2028, C2029, C2040, C2045, C2049, C2052, C2055, C2063, C2070, C2072, C2073, C2074, C2246, C2251, C2242, C2260. De reden is dat deze cross-secties 'in de lengterichting' in het rooster liggen en hierdoor geen goed beeld geven van de afvoer.
- Cross-sectie C2253 komt niet voor, vanwege een typefout staat hier C2243. Omdat deze cross-sectie in de Afgedamde Maas ligt heeft dit geen invloed op de figuren.

5.6 Analyse functioneren retentiegebieden, stuwen en keringen

5.6.1 Retentiegebieden

Op de Maas komen twee retentiegebieden voor, Lateraalkanaal-West (LKW, ter hoogte van Roermond) en de Lob van Gennep (LvG, bij Gennep). Retentiegebied LKW dient maximaal bij te dragen in een 1/250 situatie ($Q_{\max} = 3275 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Borgharen-dorp) zodat de bijdrage van het retentiegebied LKW aan het 1/250 beschermingsniveau langs de Maas maximaal is. Voor LvG geldt dat dit retentiegebied in een 1/1250 situatie ($Q_{\max} = 3800 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Borgharen-dorp) benedenstroomse effecten van het Maaswerken-project moet mitigeren¹. In de hier gepresenteerde resultaten zijn de piekafvoeren wel gelijk aan die van de HR2001 maar wijken zowel de golfvorm als de lateralen af. Daarnaast is de geometrie van de Maas in het WTI-model verre van overeenkomstig met de geometrie van de Maas in het Maaswerken-model uit 2002 (gebruikt voor de vaststelling van de HR2001). Het is daarom niet opvallend dat de werking van de retentiegebieden (Figuur 5.6) bij deze afvoeren afwijkt van de werking conform het Maaswerken-model. Retentiegebied LKW-noord (hoogte instroomdrempel 22,80 m+NAP) is net na de piek in de Maas gevuld en werkt daardoor mogelijk niet optimaal. Retentiegebied LvG (hoogte instroomdrempel 13,55 m+NAP) is slechts deels gevuld.



Figuur 5.6 Functioneren retentiegebieden Lateraalkanaal-West (links, $Q_{\max} = 3.275 \text{ m}^3/\text{s}$) en Lob van Gennep (rechts, $Q_{\max} = 3.800 \text{ m}^3/\text{s}$)

5.6.2 Stuwen

De stuwen in het model werken conform verwachting bij de lage afvoeren (Figuur 5.4). Bij de hoge afvoeren staan de stuwen volledig open.

¹ De genoemde terugkeertijden en afvoerniveaus zijn conform de Maaswerken-modellen en de HR2001 met de daarbij behorende golfvorm en lateralen.

5.6.3 Keringen

Voor wat betreft de keringen is vooral het effect van de Heusdenschse kering opvallend (zie voor overige zaken paragraaf 5.11). In de meest extreme situaties ($Q_{\text{Eijsden}} 5.500 \text{ m}^3/\text{s}$ en hoger) is sprake van inundatie van de Afgedamde Maas. Dit zorgt voor een aanzienlijke verlaging in de afvoer tot circa $300 \text{ m}^3/\text{s}$ bij een afvoer van $6.500 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Eijsden (Figuur 5.5). Deze inundatie is van invloed op zowel de boven- als benedenstrooms gelegen dijkeringen. In 'hoogwatersituaties tot een afvoer van circa $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (kans van voorkomen circa 1/50.000) is het gebied van de Afgedamde Maas beschermd door de Heusdenschse Kering. Bij nog extremere hoogwaters zijn het de wegen/dijken tussen de Maas en het gebied van de Afgedamde Maas die overstromen waardoor het gebied gaat fungeren als retentiegebied. In overleg met Rijkswaterstaat Zuid-Nederland is geconcludeerd dat in deze extreme situaties inundatie inderdaad verwacht kan worden. Vanwege de zeer kleine kansbijdrage (1/100.000 of lager) is de invloed op de toetspeilen vrijwel nihil.

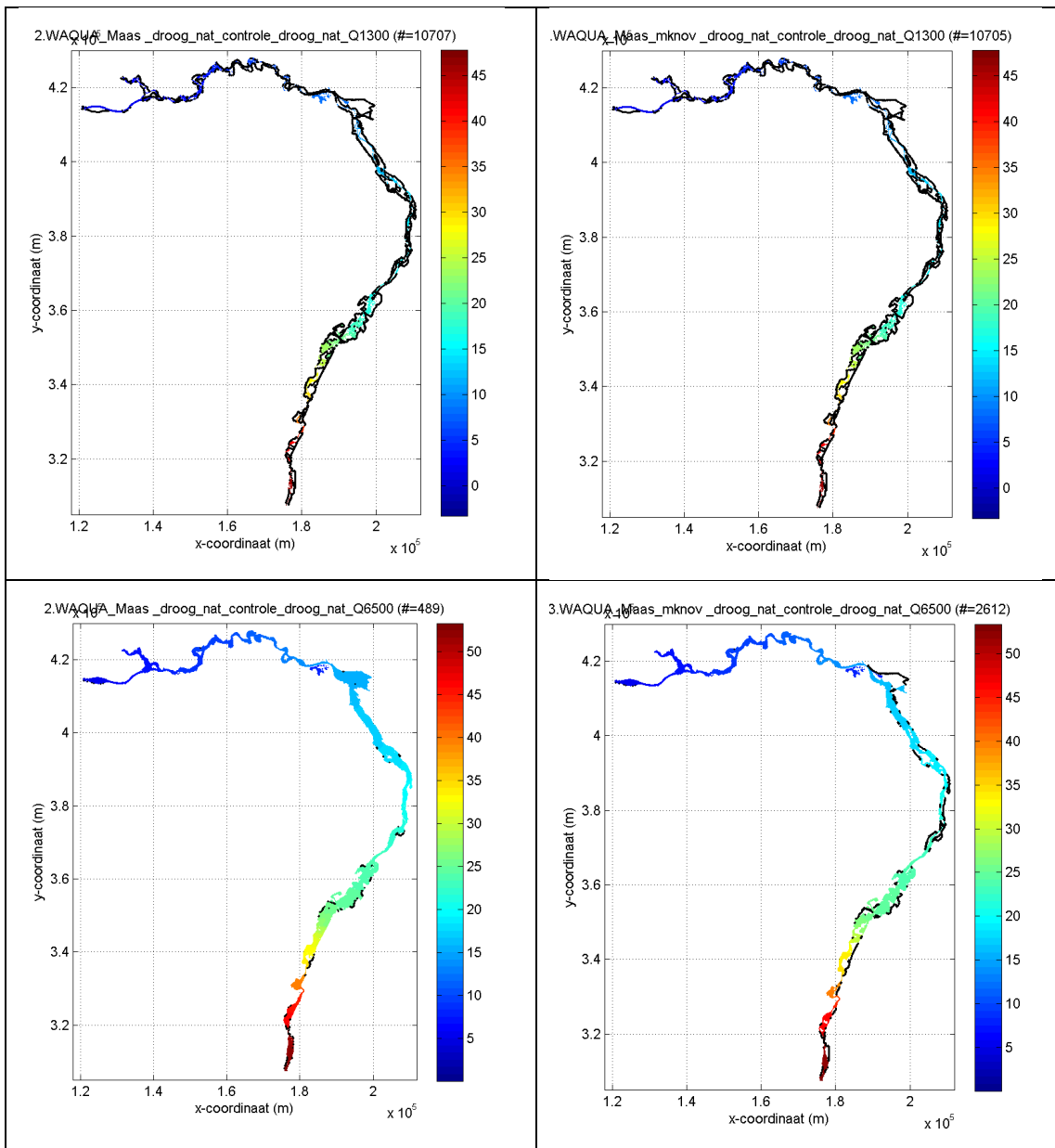
5.7 Controle max13-waarden

Voor iedere uitvoerlocatie wordt met 'getdata' de parameter 'max13' bepaald. Dit is het gemiddelde van de 13 uitvoerwaarden rond het maximum in een tijdreeks. De tijdreeks bevat uitvoerwaarden per 10 minuten; de max13-waarde is dan het gemiddelde in een periode van twee uur (één uur voor de maximale en één uur na de maximale waarde). Door verschillende oorzaken kan deze max13-waarde ontbreken (=nan), of anderszins afwijken van het gewenste maximum. Per uitvoerpunt zijn, op basis van de 'ascii-reeks-max25'-uitvoer, de volgende codes toegewezen:

- 0 als default
- 1: max13=nan
- 2: max13=nan & min=max
- 3: min=max=max13
- 4: $\text{abs}(\text{first-max}) < 0,0005$ (waterstand neemt alleen af t.o.v. initiële conditie)

De punten met code 1, 2 of 3 zijn aangemerkt als een potentieel droog punt.

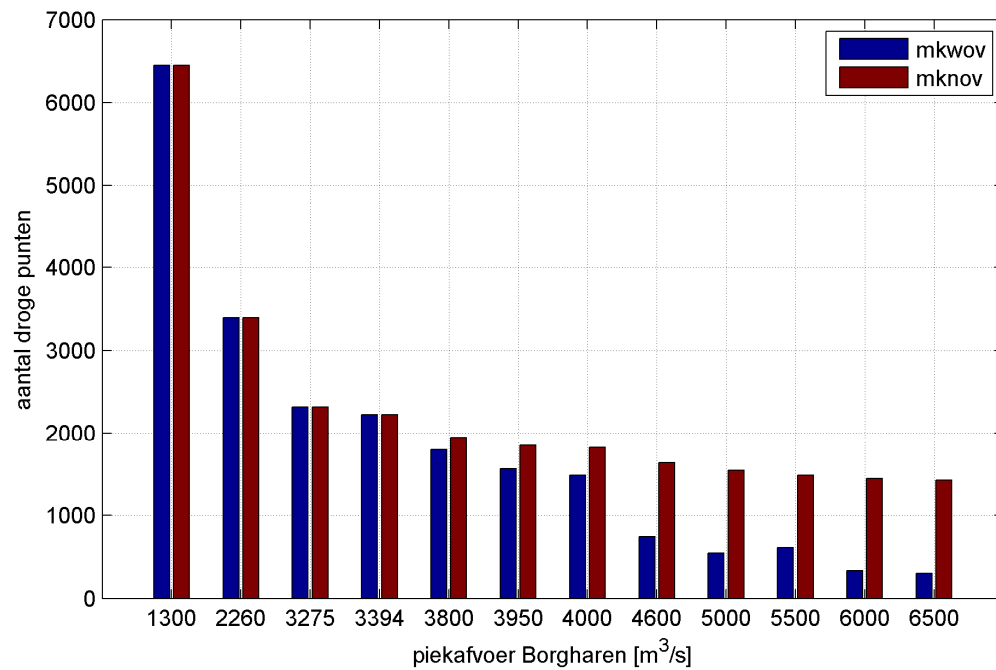
Figuur 5.7 geeft een overzicht van de locaties met minste/meeste droogval. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen en niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen (mknov). Voor de laagste afvoer (Q_{1300}) zit er nagenoeg geen verschil tussen het aantal droge punten tussen deze twee modellen. Bij de hoogste afvoer (Q_{6500}) zijn er in het geval van niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen meer droge punten omdat het water de uitvoerlocaties niet bereikt.



Figuur 5.7 Droge punten bij laagste afvoer (boven) en hoogste afvoer (onder), waarbij onderscheid is gemaakt tussen wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen (links) en niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen (rechts). De kleur geeft de maximale waterstand (m+NAP) voor de berekening weer.

Figuur 5.8 geeft een overzicht van het aantal (potentieel) droge uitvoerlocaties als functie van de piekafvoer bij Borgharen. Voor de situatie met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen zijn er 299 punten die voor alle berekeningen droog zijn; voor de situatie met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen (mknov) zijn dat 1422 punten. Tabel 5.1 geeft een overzicht van de uitvoerlocaties die in alle berekeningen met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen droog zijn.

Het grootste aantal droge punten komt voor bij de “dijkeringen” R_999 en L_999. Dit zijn echter geen dijkeringen maar punten langs bijvoorbeeld de Vlaamse waterkering, de dijk van het Julianakanaal en punten achter de keringen Cuijk en Mook. In dit laatste geval betreft het punten langs de randen van de plassen.



Figuur 5.8 Aantal droge uitvoerlocaties als functie van de piekafvoer bij Borgharen.

dijkkring	Nummer van de locatie
BM_60m_L_35	74;83;101;106;119;132
MA_60m_L_61+62	1;30;31;32
MA_60m_L_70	54
MA_60m_L_74	5;8;9;10;11;12;13
MA_60m_L_79	1;7;8;9;29;30;31
MA_60m_L_93	18;19;20;21;22;23;27;28;30
MA_60m_L_999	368;375;376;377;378;379;380;381;382;383;384;385;386;387;389;390;391; 392;394;396;397;398;399;400;462;463;464;465;466;467;468;469;470;490; 500;893;894;907;908;909;910;911;914;915;916;917;918;919;920;921;922; 923;1139;1140;1141;1447;1448
MA_60m_R_38	368
MA_60m_R_54	123;124;127
MA_60m_R_68rvg	15
MA_60m_R_76b	3;4
MA_60m_R_76c	3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13;14
MA_60m_R_77	1;2;3;4;7;8;9;10;11;12;13;19;20;21
MA_60m_R_83+84	2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21;22;23;24;25;26;27;28;29; 30;31;32;33;34;35;36;37;38;39;40;41;42;48;49
MA_60m_R_90	23;31;39;41;45;54;59;62;63;65;66;67;75;76;80;81;82;83;84;85;115;116;117
MA_60m_R_95	2
MA_60m_R_999	1563;1711;1716;1717;1761;1762;1763;1764;1765;1766;1767;1768;1769; 1770;1771;1772;1773;1774;1775;1776;1777;1778;1779;1784;1850;1851; 1852;1853;1854;1855;1856;1857;1858;1859;1994;1995;1996;1997;1998; 1999;2000;2001;2002;2003;2004;2005;2006;2007;2008;2009;2010;2011; 2012;2018;2091;2092;2093;2094;2095;2096;2098
MA_HK_L_61+62	82;85;86;88
MA_HK_L_63	44
MA_HK_L_79	2;5;7;54;55
MA_HK_L_999	38;39;40;41;42;43;56;420;423;430;450;451;452;453;454;455;456;457;458
MA_HK_R_68rvg	29;32;36;41;44;45
MA_HK_R_77	3
MA_HK_R_80	3;4;5;6;7;8;9
MA_HK_R_85	10
MA_HK_R_999	505;507;597

Tabel 5.1 Uitvoerlocaties die in alle berekeningen droog zijn (wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen).

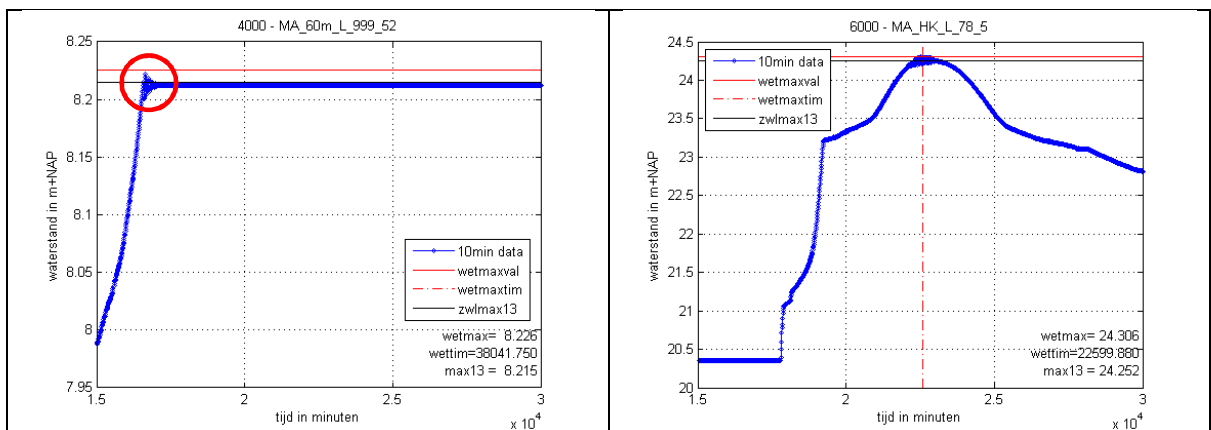
5.8 Instabiliteiten in de maximale waterstand

Voor iedere berekening is per rekenpunt de maximale waterstand op tijdstapniveau (0,125 minuut) bewaard: 'MAXSEPSEP'². Daarnaast wordt per uitvoerpunt een tijdreeks van de waterstand met een interval van 10 minuten opgeslagen. Middels een nabewerking met getdata wordt het gemiddelde over de 13 waarden rond het maximum uit deze tijdreeks bepaald: 'max13' (zie ook paragraaf 5.7). Wanneer het verschil tussen 'max13' en de daadwerkelijk maximaal berekende waterstand op tijdstapniveau, MAXSEPSEP', groot is, kan dit duiden op een instabiliteit in de berekening. Daarom is voor iedere uitvoerlocatie de maximale waterstand 'sepmax' vergeleken met de 'max13' (max13 minus sepmax). Dit verschil is altijd kleiner dan 0,0 m, als kritieke grens hanteren we < -0,01 m voor de Maas (en

² In de data verwerking is dit vervangen door "WETMAXVAL" waardoor droge punten uit het waterstandsveld zijn gefilterd. "MAXSEPSEP" is in de tekst afgekort tot 'sepmax' en in de figuren tot 'wetmax' of 'sepmax'.

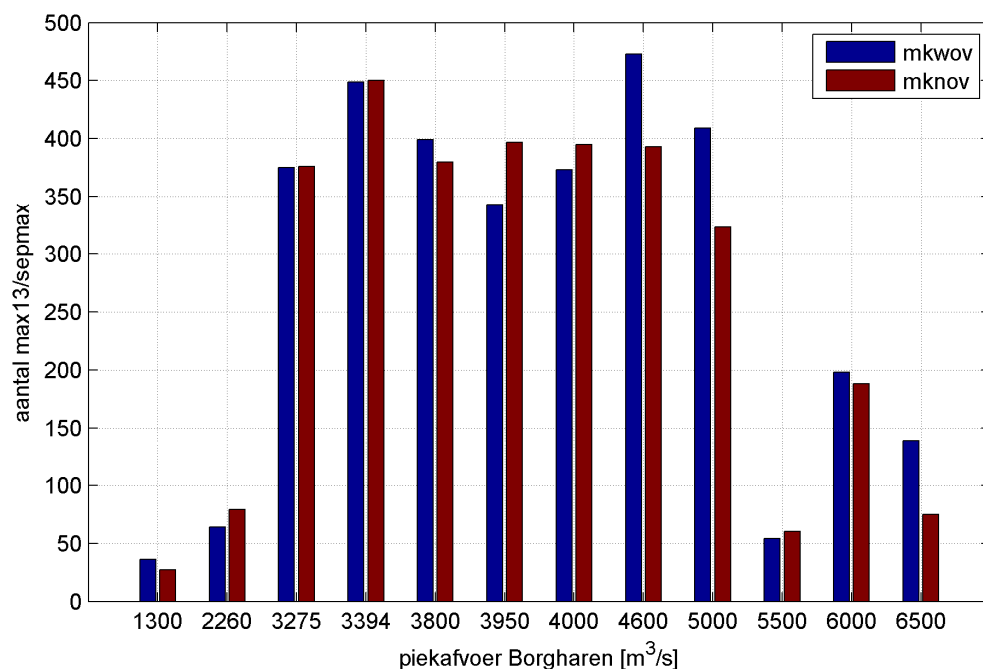
ook voor de Rijn). Dit criterium blijkt voldoende onderscheidend om alle instabiele locaties zichtbaar te krijgen. Een hogere waarde zou instabiele locaties goedkeuren, terwijl een lagere waarde niet zinvol is omdat dan ook 'natuurlijke' fluctuaties zullen leiden tot afkeuring.

Twee voorbeelden van locaties waarbij aan dit criterium wordt voldaan zijn gegeven in Figuur 5.9. In het eerste geval gaat het om een locatie die snel volloopt waardoor de waterstand "doorschiet". In het tweede geval treden rond de piek relatief grote schommelingen in de waterstand op.



Figuur 5.9 Twee voorbeelden van een berekening waarbij het verschil tussen 'max13' en de maximale waterstand meer is dan 1 cm.

Figuur 5.10 geeft een overzicht van het aantal uitvoerpunten dat per afvoer bij Borgharen aan bovenstaand criterium voldoet, ofwel locaties met een (te) groot verschil tussen 'max13' en 'sepmax'. Er is daarbij onderscheid gemaakt tussen wel- en niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen. Vooral in het middenbereik van de afvoeren zijn er relatief veel locaties die aan het criterium voldoen, waarschijnlijk door wel/niet droogval van locaties. Opvallend is het relatief lage aantal bij Q5500. Op dit punt gaat paragraaf 5.11.10 nader in. Tabel 5.2 geeft een overzicht van de uitvoerlocaties waarbij voor 7 of meer afvoerniveaus het verschil tussen 'max13' en 'sepmax' meer dan 1 cm is (wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen).



Figuur 5.10 Aantal uitvoerlocaties waarbij verschil tussen 'max13' en de maximale waterstand meer is dan 1 cm.

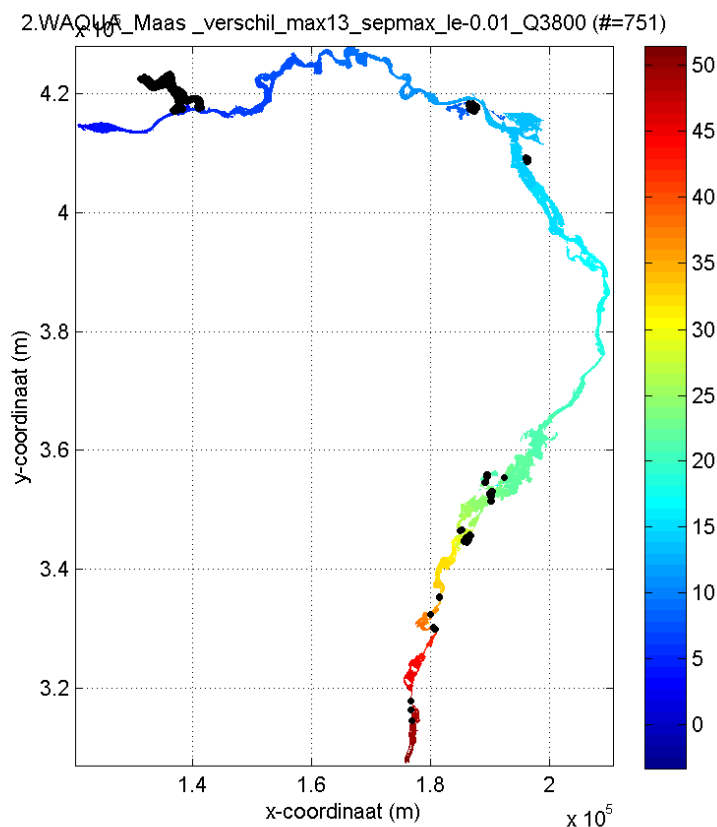
Locaties of dijkkring	Nummer van de locatie
AF	231.00;232.00;235.00;236.00;237.00;238.00;239.00;240.00
HK	231.00;232.00
AF_60m_L_24	178;179;180;181;182;183;184;185;186;187;188;189;190;191;192;193;194;195;196;205;209;210;211;212;213;214;215;216;217;218;219;220;221;222;223;224;225;226;227;228;229;230;231;232;233;234;235;236;237;238;239;241;242;243;244;245;246;247;248;249;250;251;252;257;258;259;260;261;262;263;264;265;266;267;268;269;270;271;272;273;274;275;276;277;278;279;280;282;283;284;285;286;287;288;289;290;291;292;293;295;296;297;298;299;300;301;302;303;304;305
AF_60m_L_37	17;18
AF_60m_R_37	53;54
AF_60m_R_38	206;207;208;209;210;211;212;213;214;215;216;217;218;219;220;221;222;223;224;225;226;227;228;229;230;231;232;233;234;235;236;237;238;239;240;242;243;244;245;252;253;254;255;256;257;258;259;260;261;262;263;264;265;266;267;278;279;280;281;282;283;284;285;286;289;290;291;292;293;294;295;296;297;298;299;300;301;302;303;304;305;306;307;308;309;310;311;312;313;314;315;316;317;318;319;320;321;322;323;324;325;326;327;328;329;330;331;332;333;334;335;336;337;338;339;340;341;342;343;344;345;346;347;348;349;350;351;352;353;354;355;356;357;358;359
MA_60m_L_999	35;36;37;38;39;40;41;42;43;44;45;46;47;48;49;50;51;52;53;54;55;56;57;58;59;60;61;62;63;64;65;66;67;68;69;70;71;72;217;218;219;220;221;222;223;224;225;226;227;230;231

Tabel 5.2 Uitvoerlocaties waarbij voor 7 of meer afvoeren het verschil tussen 'max13' en de maximale waterstand meer dan 1 cm is (wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen).

Figuur 5.11 geeft voor een piekafvoer van 3.800 m³/s bij Borgharen de punten ruimtelijk weer. Opvallende zaken zijn:

- Losse puntjes op de Grensmaas
- Afgedamde Maas (km 230) en Heusdensch Kanaal
- Kraaijenbergse Plassen (km 170)

De Afgedamde Maas kan gaan vullen wanneer de kering weer open gaat nadat de piek van de golf is gepasseerd. Dit resulteert in een kleine schokgolf die door het gebied van de Afgedamde Maas loopt. Vergelijkbare schokgolfjes zijn zichtbaar in de Kraaijenbergse Plassen, zie ook paragraaf 5.11. Bij extreem hoge afvoeren ($5.500 \text{ m}^3/\text{s}$ en hoger) kan het gebied van de Afgedamde Maas ook gevuld worden doordat de weg tussen de Maas en het gebied van de Afgedamde Maas overstroomt. In zo'n extreme situatie acht de rivierbeheer (RWS Zuid-Nederland) dit gedrag als waarschijnlijk; het is dus geen modelfout.

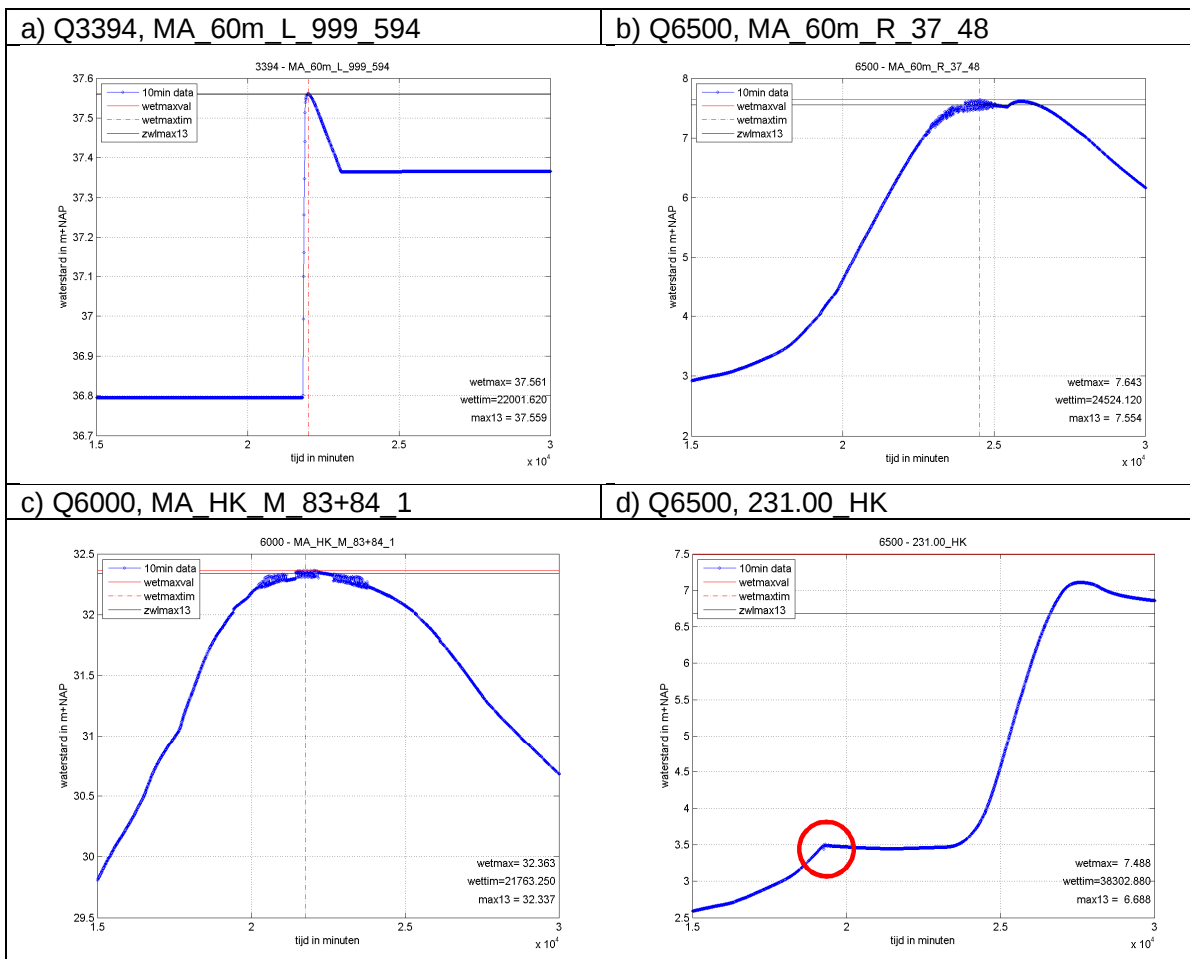


Figuur 5.11 Ruimtelijk patroon van de locaties waarbij het verschil tussen 'max13' en de maximale waterstand meer dan 1 cm is voor de situatie met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen bij $Q=3.800 \text{ m}^3/\text{s}$. De kleur geeft de maximale waterstand (m+NAP) voor de berekening weer.

5.9 Instabiliteiten in tijdreeksen

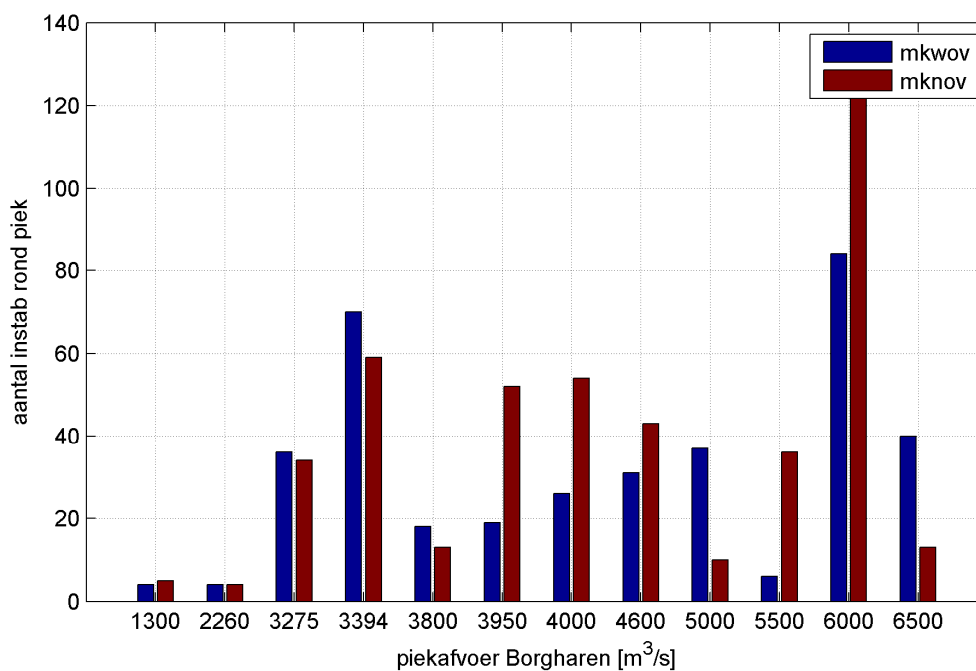
De basis van de controle op instabiliteiten in een tijdreeks is het verschil in waterstand tussen twee opeenvolgende tijdstappen (voor Maas (en Rijn) in tijdstappen van 10 minuten). Voor de Maas geldt (net als voor de Rijn) het criterium dat een tijdreeks als instabiel wordt aangemerkt wanneer de waterstand in 10 minuten meer dan 4 cm wijzigt. Dit criterium blijkt voldoende onderscheidend om alle instabiele locaties zichtbaar te krijgen. Een hogere waarde zou instabiele locaties goedkeuren; terwijl een lagere waarde niet zinvol is omdat dan ook 'natuurlijke' fluctuaties kunnen leiden tot afkeuring.

Merk op dat er bij toepassing van dit criterium ook locaties aangemerkt kunnen worden met een instabiliteit, wanneer een locatie snel onderloopt in een berekening, zie Figuur 5.12a. Er zijn echter ook locaties waar wel degelijk instabiliteiten rond de piek optreden, zie Figuur 5.12b-c. In Figuur 5.12d ligt de getoonde instabiliteit niet rond de piek, maar circa 8.000 minuten daarvoor (kleine slingingering bij de knik in waterstand).

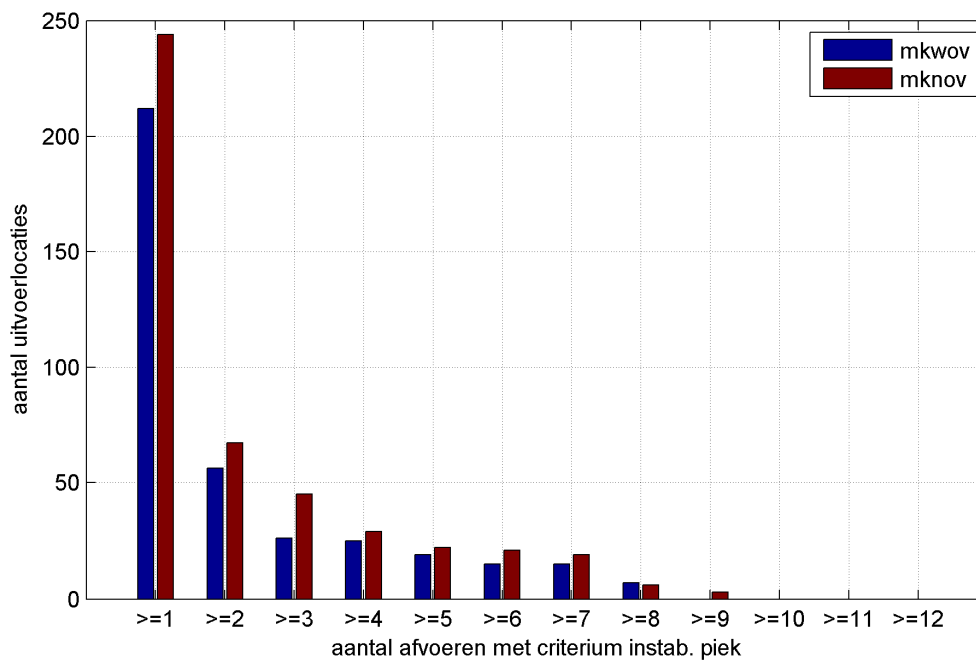


Figuur 5.12 Aantal voorbeelden van instabiliteiten in (gehele) tijdreeks.

Figuur 5.13 geeft per piekafvoer bij Borgharen het aantal uitvoerlocaties met een instabiliteit rond de piek. Vooral het hoge aantal bij Q3394 en Q6000 vallen op, zie hiervoor paragraaf 5.11 en Figuur 5.15. Figuur 5.14 splitst het aantal instabiele punten uit naar aantal keer per afvoer. Slechts een beperkt aantal locaties vertonen voor meer dan 1 afvoerniveau een instabiliteit rond de piek. De uitvoerlocaties die voor 2 of meer afvoerniveaus een instabiliteit vertonen zijn weergegeven in Tabel 5.3.



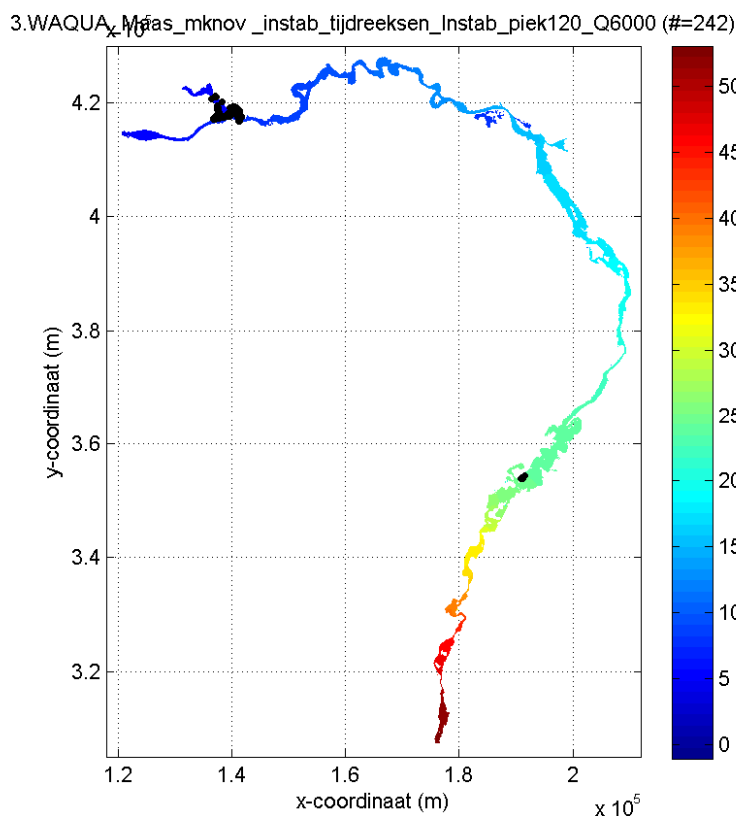
Figuur 5.13 Aantal uitvoerlocaties met instabiliteit rond de piek per afvoer.



Figuur 5.14 Aantal uitvoerlocaties met instabiliteit rond de piek per aantal afvoeren.

Locaties of dijkkring	Nummer van de locatie
_HK	231.00;232.00
AF_60m_L_24	178;179;180;181;182;183;184;185;186;187;188;189;190;191;192;193;289; 290;291;292;293;294;295;296;297;298;299;300;301;302;303;304;305;306; 307;308;313
AF_60m_L_37	16
AF_60m_R_37	53;54
AF_60m_R_38	206;207;244;245;278;279
MA_60m_L_999	240
MA_60m_R_37	47;48
MA_60m_R_38	204;205
MA_HK_M_81	67;83
MA_HK_M_83+84	1

Tabel 5.3 Uitvoerlocaties waarbij voor 2 of meer afvoeren een instabiliteit rond de piek optreedt (wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen).



Figuur 5.15 Uitvoerlocaties met instabiliteiten rond de piek, Q6000, niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen. De kleur geeft de maximale waterstand (m+NAP) voor de berekening weer.

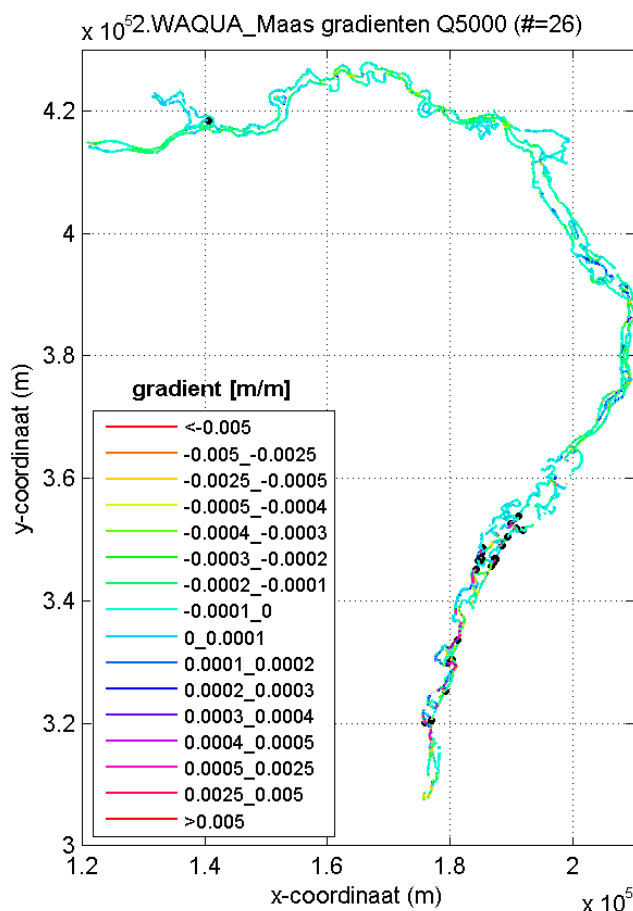
Het grote instabiele punten bij dijkkring 24 (AF_60m_L_24 in Tabel 5.3) wordt veroorzaakt door het overstromen van de weg als de afvoer hoger wordt dan $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ Lobith. Paragraaf 5.11.11 gaat hier nader op in.

5.10 Gradiënten in de ruimte (uitvoerpunten)

Gradiënten in waterstanden in het 2D-vlak zijn op de volgende wijze bepaald:

- Twee opeenvolgende uitvoerpunten worden met elkaar gekoppeld waarna de gradiënt in de waterstand wordt bepaald. Het basisbestand voor deze koppeling is te vinden in het data-archief:
[DATA-ARCHIEF]\1.Bovenrivieren\
5.Controle_produktiesommen\1.Waterstanden\stations_maas_mnxy.xlsx
- Daarin staat per uitvoerlocatie de link naar de gekoppelde uitvoerlocatie in de serie.
- Vervolgens met Matlab:
 - Definieer het criterium voor te grote gradiënt, hier 5 mm/m (=gradlim).
 - Selecteer alle uitvoerlocaties, behalve aslocaties en “backup-locaties”.
 - De gradiënt wordt uitgerekend als $(w2-w1)/dx$, waarbij $w1$ de waterstand in de geselecteerde uitvoerlocatie is, $w2$ de waterstand in de gekoppelde uitvoerlocatie is en dx de (rechte) afstand tussen deze punten in meter is.
 - Het resultaat is een 2D-plot en een Excel-bestand.
 - Het Excel-bestand bevat de lijst met punten waarvoor geldt $\text{abs}(\text{gradiënt}) > \text{gradlim}$. Van deze punten zijn de locatie $w1$, de locatie $w2$ en de waarde van de gradiënt bewaard.

Figuur 5.16 geeft een voorbeeld van locaties met relatief grote gradiënten, vooral in de Grensmaas/Zandmaas. Op basis van het grote verhang op met name de Grensmaas is dit conform verwachting. Tabel 5.4 geeft een overzicht van de locaties waar structureel grote gradiënten optreden. Deze bevinden zich voor een groot deel in het Heusdensch Kanaal (5x). Daarnaast twee locaties in dijkkring “999” en twee locaties in dijkkring 81.



Figuur 5.16 Gradiënten tussen in de ruimte opeenvolgende uitvoerpunten bij Q5000, niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen (uitgezonderd backup-punten)

Wel overstroombare Limburgse Maaskeringen		Niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen	
w1	w2	w1	w2
MA_60m_L_999_872	MA_60m_L_999_873	MA_60m_L_999_872	MA_60m_L_999_873
MA_60m_L_999_801	MA_60m_L_999_802	MA_60m_L_999_801	MA_60m_L_999_802
MA_60m_R_81_5	MA_60m_R_81_6	MA_60m_R_81_5	MA_60m_R_81_6
MA_60m_R_81_6	MA_60m_R_81_7	MA_60m_R_81_6	MA_60m_R_81_7
MA_HK_L_78_16	MA_HK_L_78_17		
MA_HK_L_999_112	MA_HK_L_999_113	MA_HK_L_999_112	MA_HK_L_999_113
MA_HK_M_81_94	MA_HK_M_81_95	MA_HK_M_81_94	MA_HK_M_81_95
MA_HK_R_86+87_31	MA_HK_R_86+87_32	MA_HK_R_86+87_31	MA_HK_R_86+87_32
MA_HK_R_90_87	MA_HK_R_90_88	MA_HK_R_90_87	MA_HK_R_90_88

Tabel 5.4 Uitvoerlocaties waarbij voor 10 of meer afvoeren de gradiënt groter is dan 0,005 m/m (= 5 mm/m) voor wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen (links) en niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen (rechts).

5.11 Detailcontrole per afvoerniveau

In de onderstaande paragrafen worden de resultaten per afvoerniveau besproken. Tenzij expliciet anders aangegeven zijn de constatering en geldig voor zowel de MKNOV-resultaten als de standaard-resultaten.

In deze paragraaf worden geen figuren of tabellen getoond. Voor de geïnteresseerde lezer zijn in het data-archief (zie Bijlage A) alle Exceltabellen en figuren die zijn gemaakt als onderdeel van de dataverwerking (paragraaf 5.2) terug te vinden.

5.11.1 Afvoer 1.300 m³/s

Enkele locaties waar het verschil 'max13 – sepmax' kleiner is dan -0,01 m, met name bij stuwen. De 2D-maximale waterstanden laten geen vreemde uitschieters zien.

Instabiliteiten enkel bij de stuwen (Borgharen, Linne, Roermond en Sambeek), vooral omdat bij deze afvoer deze stuwen nog net wel (of net niet) in functie zijn. Verder zijn er geen bijzondere locaties in de instabiliteiten zichtbaar.

Het aantal droge punten (zie paragraaf 5.7) bedraagt 10.705 in de berekening met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen en 10.707 in de berekening met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen.

5.11.2 Afvoer 2.260 m³/s

Enkele locaties waar het verschil 'max13 – sepmax' kleiner is dan -0,01 m, met name op de Grensmaas, bij Aasterberg en Kraaienbergse plassen.

De verschillen op de Grensmaas zijn beperkt en gerelateerd aan het lokaal instabiele stroombeeld wat op dit deel van de Maas aanwezig is.

De uitschieter bij Aasterberg is zichtbaar omdat de maximale waterstand ontstaat op het moment dat dit gebied gaat meelopen. Zodra deze initiële golf voorbij is, is (toevallig bij deze afvoer) ook de piekafvoer op de Maas voorbij.

Bij de Kraaienbergse plassen speelt een fenomeen dat vaker zal optreden. De plassen staan in verbinding met de Maas tot het moment dat de waterstand bij Mook hoger wordt dan 8,30 m+NAP. Op dat moment wordt de verbinding afgesloten door middel van een kering. Zodra de golf bij Mook is gepasseerd en de waterstand daalt tot onder de 8,30 m+NAP gaat de kering in de monding weer open. Op dat moment is de waterstand ter plaatse van de monding circa 8,25 m+NAP en dat is iets hoger dan het peil in de plassen (8,21 m+NAP). De plassen zullen dus kortstondig vullen voordat de waterstand in de plassen meegaat met de dalende waterstand in de Maas. Een gemiddelde over 4 uur kan dus meer dan 0,01 m lager uitvallen dan de piekwaarde.

Instabiliteiten enkel op de Grensmaas en bij Aasterberg. De locaties vallen goed samen met de locaties waar het verschil tussen sepmax en max13 kleiner is dan -0,01 m.

Het aantal droge punten (zie paragraaf 5.7) bedraagt 5.697 in de berekening met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen en 5.694 in de berekening met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen.

5.11.3 Afvoer 3.275 m³/s

Enkele locaties waar het verschil 'max13 – sepmax' kleiner is dan -0,01 m, met name op de Grensmaas, bij Lateraalkanaal-West (ten noorden van de N280), de Kraaienbergse plassen en de Afgedamde Maas.

De verschillen op de Grensmaas zijn beperkt en gerelateerd aan het lokaal instabiele stroombeeld wat op dit deel van de Maas aanwezig is.

In het noordelijke deel van het retentiegebied Lateraalkanaal-West is een klein stukje wat pas laat onderloopt. In deze berekening loopt dit stukje onder precies op de piek van de afvoergolf. Dit betekent dat de waterstanden kortstondig hoog zijn en daarna weer dalen. Een gemiddelde over 4 uur kan dus meer dan 1 cm lager uitvallen dan de piekwaarde.

De verschillen bij de Kraaijenbergse plassen zijn in paragraaf 5.11.2 besproken.

Op de Afgedamde Maas speelt een combinatie van sluiting van de kering en onderloopgedrag. Het gebied van de Afgedamde Maas staat in verbinding met de Maas totdat de waterstand bij de verbinding hoger wordt dan 3,50 m+NAP, dan gaat de verbinding dicht. Vanuit de monding loopt nog een golf met een hoogte van 3,49 m+NAP door het gebied en dit is ook de maximale waterstand (sepmax). Op een iets lager niveau (3,45 m+NAP) is een grote uiterwaard binnen de Afgedamde Maas begonnen met vullen en wanneer de kering sluit is de waterstand in deze uiterwaard nog geen 3,20 m+NAP. Dat betekent dat deze uiterwaard nog verder vult en de waterstand in de rest van het gebied dus nog daalt. Het systeem stabiliseert op een waarde van 3,40 m+NAP. Een gemiddelde over 4 uur kan dus meer dan 1 cm lager uitvallen dan de piekwaarde.

Vooraf lokale instabiliteiten op de Grensmaas en bij Aasterberg. Deze locaties vallen goed samen met de locaties waar het verschil tussen sepmax en max13 minder is dan -0,01 m. Bij Lateraalkanaal-West (noord) en Gennep enkel losse punten. Bij de Afgedamde Maas is een grotere reeks met instabiele punten. Dit hangt samen met hetgeen hierboven is beschreven.

Het aantal droge punten (zie paragraaf 5.7) bedraagt 4.042 in de berekening met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen en 4.037 in de berekening met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen. Nog altijd (vrijwel) geen verschillen in droge punten tussen de beide modellen. Dit is in overeenstemming met het beeld dat de Limburgse Maaskeringen in ieder geval een afvoer van 3.275 m³/s veilig moeten kunnen keren.

5.11.4 Afvoer 3.394 m³/s

Enkele locaties waar het verschil 'max13 – sepmax' kleiner is dan -0,01 m, met name op de Grensmaas, ten zuiden van Ohé en Laak, bij Lateraalkanaal-West (zuidelijk bekken), de Kraaijenbergse plassen en de Afgedamde Maas.

De verschillen op de Grensmaas zijn beperkt en gerelateerd aan het lokaal instabiele stroombeeld wat op dit deel van de Maas aanwezig is.

De verschillen ten zuiden van Ohé en Laak (plas Heerenlaak, Schroevendaalse plas) worden veroorzaakt door een instabiliteit ter hoogte van rkm 57. Hier komen verschillende waterstromen bij elkaar en in combinatie met de hoge stroomsnelheden (circa 3,5 m/s) zorgt dit voor een instabiel stroombeeld wat ook uitstraalt naar de omgeving.

De verhoging aan de noordzijde van het zuidelijke bekken wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat het laatste piekje van de afvoergolf op de Maas het retentiegebied inloopt, reflecteert (en dus iets oploopt) tegen de hoge gronden en vervolgens het gebied weer uitloopt.

De verschillen bij de Kraaijenbergse plassen en de Afgedamde Maas zijn besproken in respectievelijk paragraaf 5.11.2 en 5.11.3.

Vooraf lokale instabiliteiten op de Grensmaas. Deze locaties vallen goed samen met de locaties waar het verschil tussen sepmax en max13 minder is dan $-0,01$ m. Bij Ohé en Laak en de Afgedamde Maas zijn grotere groepen met instabiele punten. Dit hangt samen met hetgeen hierboven/hiervoor is beschreven.

Het aantal droge punten (zie paragraaf 5.7) bedraagt 3.886 in de berekening met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen en 3.885 in de berekening met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen. Nog altijd (vrijwel) geen verschillen in droge punten tussen de beide modellen. Dit betekent dat de Limburgse Maaskeringen in ieder geval een afvoer van $3.394 \text{ m}^3/\text{s}$ qua hoogte kunnen keren.

5.11.5 Afvoer $3.800 \text{ m}^3/\text{s}$

Enkele locaties waar het verschil ' $\text{max13} - \text{sepmax}$ ' kleiner is dan $-0,01$ m, met name op de Grensmaas, nabij Ohé en Laak, bij Lateraalkanaal-West (zuidelijk bekken), Gennep, de Kraaijenbergse plassen en de Afgedamde Maas.

De verschillen op de Grensmaas zijn beperkt en gerelateerd aan het lokaal instabiele stroombeeld wat op dit deel van de Maas aanwezig is.

De verschillen ten zuiden van Ohé en Laak (plas Heerenlaak, Oude Maasje) hebben twee oorzaken. In plas Heerenlaak ligt de oorzaak in een instabiliteit ter hoogte van rkm 57. Hier komen verschillende waterstromen bij elkaar en in combinatie met de hoge stroomsnelheden (circa $3,5 \text{ m/s}$) zorgt dit voor een bijzonder instabiel stroombeeld wat ook uitstraalt naar de omgeving. Bij het Oude Maasje (nabij Aasterberg) is de oorzaak dat door een relatief smalle en diepe geul een grote hoeveelheid afvoer stroomt onder een groot verval. Daarnaast inundeert dijkkring Roosteren bij deze afvoer wat ook zorgt voor een verstoring van het stroombeeld.

De verschillen bij Gennep worden veroorzaakt doordat het retentiegebied Lob van Gennep is geïnundeerd waarbij de maximale waterstand in het 2D-veld (sepmax) als gevolg van de inundatiegolf hoger is dan de tijdsgemiddelde waarde (max13).

Vooraf lokale instabiliteiten op de Grensmaas. Deze locaties vallen goed samen met de locaties waar het verschil tussen sepmax en max13 minder is dan $-0,01$ m. Bij de Afgedamde Maas is een grotere reeks met instabiele punten. Dit hangt samen met hetgeen hierboven/hiervoor is beschreven.

Het aantal droge punten (zie paragraaf 5.7) bedraagt 3.395 in de berekening met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen en 3.097 in de berekening met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen. Dat er een verschil is tussen het aantal droge punten in de berekening zonder en met overstroombare Limburgse Maaskeringen geeft aan dat er dijkeringen zijn geïnundeerd. Dit is in overeenstemming met de waargenomen verschillen bij de dijkeringen van Roosteren en Gennep.

5.11.6 Afvoer $3.950 \text{ m}^3/\text{s}$

Enkele locaties waar het verschil ' $\text{max13} - \text{sepmax}$ ' kleiner is dan $-0,01$ m, met name op de Grensmaas, nabij Ohé en Laak, bij Lateraalkanaal-West (zuidelijk bekken), Roermond, Venlo, de Kraaijenbergse plassen en de Afgedamde Maas.

De verschillen op de Grensmaas zijn beperkt en gerelateerd aan het lokaal instabiele stroombeeld wat op dit deel van de Maas aanwezig is. Met uitzondering van Roermond en Venlo zijn de genoemde locaties al beoordeeld en besproken in de voorgaande paragrafen.

De verschillen bij Roermond en Venlo zijn bij lagere piekafvoeren niet geconstateerd. Bij Roermond is sprake van een uitschieter op de locatie waar de Roer tegen de rand van het rekenmodel ligt. Bij Venlo betreft het een verschil in een buitendijks gelegen haventerrein. In beide gebieden is dus sprake van een verschil in maximale waterstand als gevolg van onderloopgedrag.

Nog enkele lokale instabiliteiten op de Grensmaas in de standaard versie; bij de mknov-berekening treden geen instabiliteiten meer op op de Grensmaas. De locaties met instabiliteiten vallen goed samen met de locaties waar het verschil tussen sepmax en max13 minder is dan -1 cm. Bij de Afgedamde Maas is een grotere reeks met instabiele punten. Dit hangt samen met hetgeen hierboven/hiervoor is beschreven.

Het aantal droge punten (zie paragraaf 5.7) bedraagt 3.238 in de berekening met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen en 2.646 in de berekening met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen. Het verschil in aantal droge punten is toegenomen wat betekent dat er meer dijkringen zijn geïnundeerd.

5.11.7 Afvoer 4.000 m³/s

Enkele locaties waar het verschil 'max13 – sepmax' kleiner is dan -0,01 m, met name op de Grensmaas, nabij Ohé en Laak, bij Lateraalkanaal-West (zuidelijk bekken), Roermond, Venlo, de Kraaijenbergse plassen en de Afgedamde Maas.

De verschillen op de Grensmaas zijn beperkt en gerelateerd aan het lokaal instabiele stroombeeld wat op dit deel van de Maas aanwezig is. De genoemde locaties zijn al beoordeeld en besproken in de voorgaande paragrafen.

Op de Grensmaas zijn nog altijd instabiliteiten zichtbaar in de wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen berekening; bij de mknov-berekening treden geen instabiliteiten meer op op de Grensmaas. De locaties met instabiliteiten vallen goed samen met de locaties waar het verschil tussen sepmax en max13 minder is dan -0,01 m. Bij de Afgedamde Maas is een grotere groep van instabiele punten. Dit hangt samen met hetgeen hierboven/hiervoor is beschreven.

Het aantal droge punten (zie paragraaf 5.7) bedraagt 3.000 in de berekening met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen en 2.516 in de berekening met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen.

5.11.8 Afvoer 4.600 m³/s

Enkele locaties waar het verschil 'max13 – sepmax' kleiner is dan -0,01 m, met name op de Grensmaas, nabij Ohé en Laak, bij Lateraalkanaal-West (zuidelijk bekken), Venlo, Ooijen – Wanssum, de Kraaijenbergse plassen en de Afgedamde Maas.

De verschillen op de Grensmaas zijn beperkt en gerelateerd aan het lokaal instabiele stroombeeld wat op dit deel van de Maas aanwezig is. Met uitzondering van Ooijen – Wanssum zijn de genoemde locaties al beoordeeld en besproken in de voorgaande paragrafen. De verschillen bij Ooijen - Wanssum zijn bij lagere piekafvoeren niet geconstateerd. Het betreft hier gebieden die in de berekening met 4.000 m³/s nog droog zijn

achter de dijkringen en bij een afvoer van $4.600 \text{ m}^3/\text{s}$ wel inunderen. Als gevolg hiervan wordt de maximale waterstand in het 2D-veld (sepmax) bepaald door de inundatiegolf wat resulteert in een hogere waarde dan de tijdsgemiddelde waarde (max13).

Nog altijd lokale instabiliteiten op de Grensmaas in de standaard versie; bij de mknov-berekening treden geen instabiliteiten op op de Grensmaas. De locaties met instabiliteiten vallen goed samen met de locaties waar het verschil tussen sepmax en max13 minder is dan $-0,01 \text{ m}$. Bij de Afgedamde Maas is een grotere groep met instabiele punten. Dit hangt samen met hetgeen hierboven/hiervoor is beschreven. In de standaard berekening is nu ook een instabiliteit zichtbaar bij de Kraaijbergse Plassen, waarschijnlijk het gevolg van een schokgolf(je) wat in één van de plassen ontstaat op het moment dat de kering weer opent (zie paragraaf 5.11.2).

Het aantal droge punten (zie paragraaf 5.7) bedraagt 2.918 in de berekening met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen en 1.188 in de berekening met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen. Ten opzichte van de berekening met een piekafvoer van $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is het aantal droge punten meer dan gehalveerd. Vrijwel alle dijkringen zijn geheel of deels geïnundeerd met uitzondering van Urmond, Nattenhoven, Aasterberg en Geijsteren.

5.11.9 Afvoer $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Enkele locaties waar het verschil 'max13 – sepmax' kleiner is dan $-0,01 \text{ m}$, met name op de Grensmaas, Ohé en Laak, bij Lateraalkanaal-West (zuidelijk bekken), Venlo, de Kraaijbergse plassen en de Afgedamde Maas.

De verschillen op de Grensmaas zijn beperkt en gerelateerd aan het lokaal instabiele stroombeeld wat op dit deel van de Maas aanwezig is. De genoemde locaties zijn al beoordeeld en besproken in de voorgaande paragrafen.

Nog altijd instabiliteiten op de Grensmaas in de standaard versie; bij de mknov-berekening komen geen instabiliteiten voor op de Grensmaas. De locaties met instabiliteiten vallen goed samen met de locaties waar het verschil tussen sepmax en max13 minder is dan $-0,01 \text{ m}$. Bij de Afgedamde Maas is een grotere reeks met instabiele punten. Dit hangt samen met hetgeen hierboven/hiervoor is beschreven. In de standaard berekening is nog een instabiliteit zichtbaar bij de Kraaijbergse Plassen, waarschijnlijk het gevolg van een schokgolf(je) wat in één van de plassen ontstaat op het moment dat de kering weer opent (zie paragraaf 5.11.2).

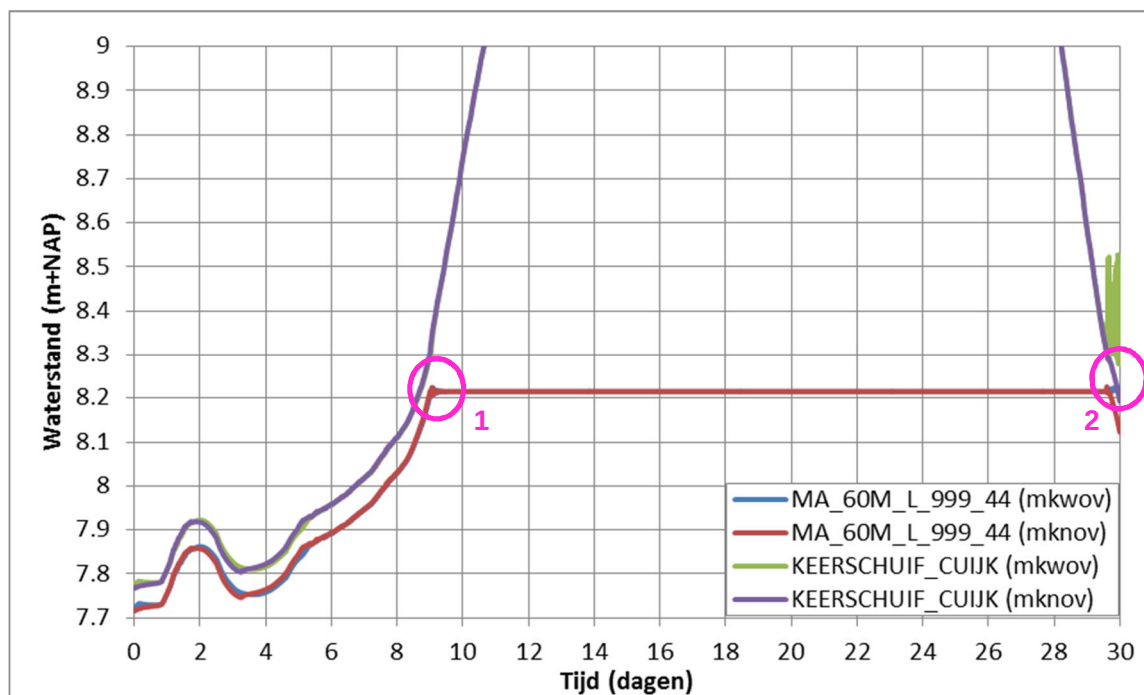
Het aantal droge punten (zie paragraaf 5.7) bedraagt 2.799 in de berekening met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen en 872 in de berekening met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen. Ten opzichte van de berekening met een piekafvoer van $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is het aantal droge punten meer dan gehalveerd. Vrijwel alle dijkringen zijn geheel of deels geïnundeerd met uitzondering van Urmond en Nattenhoven.

5.11.10 Afvoer $5.500 \text{ m}^3/\text{s}$

Enkele locaties waar het verschil 'max13 – sepmax' kleiner is dan $< -0,01 \text{ m}$, met name op de Grensmaas, Ohé en Laak, bij Lateraalkanaal-West (zuidelijk bekken), de Kraaijbergse plassen en de Afgedamde Maas.

Het aantal droge punten (zie paragraaf 5.7) bedraagt 2.703 in de berekening met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen en 1.064 in de berekening met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen. Urmond en Nattenhoven zijn nog altijd droog. Ten opzichte van de

berekening met een piekafvoer van $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is het aantal droge punten toegenomen in de standaard berekening. De oorzaak is het aantal droge punten in de Kraaijenbergse Plassen. Bij controle blijken deze punten niet droog te zijn maar een 'NaN' te hebben bij de max13-waarde. De oorzaak hiervan is dat de kering vlak voor het eind van de berekening weer opent op het moment dat de waterstand in de Maas tot onder de $8,30 \text{ m+NAP}$ is gedaald (zie paragraaf 2.6.2) en Figuur 5.17. De blauwe en rode lijnen (MA_60M_L_999_44) tonen de waterstand van een controlepunt in de Kraaijenbergse Plassen, de groene en paarse lijn (keerschuij Cuijk) tonen de waterstand van het controlepunt op basis waarvan de kering wordt gesloten of geopend. Bij de 1 in Figuur 5.17 is een klein piekje zichtbaar op het moment dat de kering wordt gesloten. Bij de 2 in Figuur 5.17 gaat de kering weer open en laat de standaard-berekening instabiel gedrag zien waar de MKNOV-berekening stabiel blijft. Deze instabiliteit heeft verder geen invloed op de piek-waterstanden en is ook niet nader onderzocht; het is wel de verklaring voor het feit dat geen max13-waarde wordt gevonden.



Figuur 5.17 Tijdreeksen van vullen Kraaijenbergse Plassen, controlepunt MA_60M_L_999_44; mknov=niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen; mkwov= wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen

5.11.11 Afvoer $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Enkele locaties waar het verschil 'max13 – sepmax' kleiner is dan $-0,01 \text{ m}$, met name op de Grensmaas, Roermond, Venlo, de Kraaijenbergse plassen en de Afgedamde Maas.

De verschillen op de Grensmaas zijn beperkt en gerelateerd aan het lokaal instabiele stroombeeld wat op dit deel van de Maas aanwezig is. De genoemde locaties zijn al beoordeeld en besproken in de voorgaande paragrafen. Hoewel de locaties bij Roermond en Venlo anders zijn dan eerder, is de oorzaak wel hetzelfde, namelijk het inunderen van gebieden waardoor de sepmax waterstand hoger wordt dan de max13 waterstand. Bij de Afgedamde Maas is het aantal instabiele punten hoger dan in eerdere berekeningen. De oorzaak is het overstromen van de weg tussen de Maas en de Afgedamde Maas bij deze extreme situatie. Hierdoor vult de Afgedamde Maas en is sprake van een turbulent stroombeeld met veel instabiliteiten.

Het aantal droge punten (zie paragraaf 5.7) bedraagt 2.652 in de berekening met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen en 550 in de berekening met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen. Ten opzichte van de berekening met een piekafvoer van 5.500 m³/s is het aantal droge punten afgenomen. Urmond en Nattenhoven zijn nog altijd droog.

5.11.12 Afvoer 6.500 m³/s

Enkele locaties waar het verschil 'max13 – sepmax' kleiner is dan -0,01 m, met name op de Grensmaas, bij Heel, Roermond, Venlo, de Kraaijenbergse plassen en de Afgedamde Maas.

De verschillen op de Grensmaas zijn beperkt en gerelateerd aan het lokaal instabiele stroombeeld wat op dit deel van de Maas aanwezig is. De genoemde locaties zijn al beoordeeld en besproken in de voorgaande paragrafen. Hoewel de locaties bij Roermond en Venlo anders zijn dan eerder, is de oorzaak wel hetzelfde, namelijk het inunderen van gebieden waardoor de sepmax waterstand hoger wordt dan de max13 waterstand. Ter illustratie, bij Roermond gaat het om het grondlichaam van de spoorlijn dat bijna volledig overstroomd raakt.

Nog enkele lokale instabiliteiten nabij Roermond en de Afgedamde Maas in de standaard versie; bij de mknov-berekening treden enkel instabiliteiten op bij de Afgedamde Maas. De locaties met instabiliteiten vallen goed samen met de locaties waar het verschil tussen sepmax en max13 minder is dan -0,01 m.

Het aantal droge punten (zie paragraaf 5.7) bedraagt 2.612 in de berekening met niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen en 489 in de berekening met wel-overstroombare Limburgse Maaskeringen. Ten opzichte van de berekening met een piekafvoer van 6.000 m³/s is het aantal droge punten afgenomen. Urmond en Nattenhoven zijn nog altijd droog in de berekening met de overstroombare Limburgse Maaskeringen.

6 Conclusies

In het kader van WTI2017 zijn productieberekeningen uitgevoerd voor de Maas voor 12 afvoergolven met een piekafvoer bij Borgharen tussen 1.300 en 6.500 m³/s. De gebruikte WAQUA-modelschematisaties zijn maas-hr2017_5-v2 (overstroombare Limburgse Maaskeringen) en maas-hr2017_mknov_5-v2 (niet-overstroombare Limburgse Maaskeringen). Met zogenaamde 'hulpprogrammatuur' is de golfvorm bij Borgharen uit GRADE vertaald in rivierafvoeren bij Eijsden en lateralen langs de Maas. De aansturing van de stuwen en retentiegebieden is ongewijzigd ten opzichte van de beschikbare modelschematisaties.

De berekeningen zijn uitgevoerd bij Amazon op 8-core machines. De resultaten van de berekeningen zijn opgeslagen in het data-archief bij Deltares en gecontroleerd op fysische consistentie en onrealistische schommelingen in waterstanden. Het verloop van waterstanden en afvoer langs de Maas is conform verwachting, met toenemende waterstanden bij toenemende piekafvoer bij Borgharen. Het verloop van het aantal droge punten verloopt consistent met de afvoer(toename).

Voor alle uitvoerlocaties is gecontroleerd of er grote afwijkingen zijn tussen de 'max13' en de maximale waterstand op tijdstipniveau 'sepmax', omdat dit kan duiden op onrealistisch/niet fysisch modelgedrag (het gehanteerde criterium is een toegestaan verschil van 1 cm). Daarnaast is gecontroleerd of de waterstand tussen twee tijdstappen niet te snel verandert (het toegestane verschil is 4 cm per 10 minuten). Wanneer 1 van de criteria wordt overschreden, spreken we van een afgekeurde locatie. Ten opzichte van de WTI2017-productieberekeningen voor de Rijn-Maasmonding en IJssel-Vechtdelta zijn er relatief weinig locaties afgekeurd, maar het aantal afgekeurde locaties is wel groter dan voor de Rijntakken.

Op de Grensmaas betreft het vooral locaties die worden afgekeurd door (bekende) model-instabiliteiten. Bij de extreme afvoeren (5.500 m³/s en hoger) is trend-afwijkend gedrag zichtbaar in het gebied van de Afgedamde Maas achter de Heusdensch Kering. Bij dergelijke afvoeren overstromen de wegen/dijken tussen de Maas en het gebied van de Afgedamde Maas waardoor het gebied gaat fungeren als retentiegebied. In overleg met Rijkswaterstaat Zuid-Nederland is geconcludeerd dat in deze extreme situaties inundatie inderdaad verwacht kan worden (en wordt dus geaccepteerd); dit leidt echter wel tot afkeur van uitvoerlocaties in dit gebied. Vanwege de zeer kleine kansbijdrage (1/100.000 of lager) is de invloed op de toetspeilen vrijwel nihil.

De gebieden achter de beweegbare keringen (Cuijk, Mook en Afgedamde Maas) kunnen nog vullen nadat de piek van de golf is gepasseerd wanneer de kering weer open gaat (vooral wanneer de piekwaterstand in de buurt van het sluitcriterium ligt). Dit resulteert lokaal in "schokgolfjes", bijvoorbeeld achter de kering bij Cuijk en in de Kraaijenbergse Plassen. Dergelijke schokgolfjes geven aanleiding tot het afkeuren van uitvoerlocaties.

De twee retentiegebieden op de Maas, Lateraalkanaal-West en Lob van Gennep, functioneren sub-optimaal voor het verlagen van waterstanden omdat de huidige instellingen van de instroomdrempels zijn afgeleid uit HR2001 afvoergolven.

De gradiënten van waterstanden in het 2D-vlak vertonen in grote lijnen een consistent beeld. Uitzondering daarop zijn vooral de Grensmaas en Zandmaas en in het Heusdensch Kanaal. Dit is waarschijnlijk gerelateerd aan eerder benoemde model-instabiliteiten.

Er is een aantal gebieden waar relatief veel locaties worden afgekeurd. Dit heeft enerzijds te maken met bekende (en geaccepteerde) model-instabiliteiten (Grensmaas en in mindere mate Zandmaas), anderzijds met het functioneren van keringen/retentiegebieden. De gebieden waar locaties worden afgekeurd blijven steeds beperkt tot de omgeving rond de specifieke modelementen die de instabiliteiten veroorzaken. Dit leidt tot de conclusie dat de berekeningen betrouwbaar zijn en gebruikt kunnen worden voor het vullen van de rationale databases. Het lijkt in een aantal gevallen te verdedigen om bepaalde afgekeurde locaties goed te keuren, omdat bijvoorbeeld het gedrag van vollopen realistisch is of de instabiliteit een schommeling rond een realistisch maximum betreft. Het advies is om te onderzoeken of er met een filter op de tijdreeksen van afgekeurde punten mogelijk locaties zijn die toch opgenomen kunnen worden in de database. Deze stap valt buiten de scope van dit project maar wel binnen de scope van WT12017. Dit aspect zal meegenomen worden bij de probabilistische berekeningen. Overigens speelt dit aspect voor het Maasmodel in beperkte mate vanwege de goede vullingsgraad van de relationele database.

7 Referenties

Deltares (2013). Uitgangspunten productieberekeningen WTI2017. Aansturing, schematisaties en uitvoerlocaties. Deltares rapport 1207807 -009-HYE-0006. H. de Waal, A. Spruyt, & A. Smale, oktober 2013.

Deltares (2014a). Uitgangspunten produktieberekeningen WTI2017. Aanvulling op uitgangspunten vastgesteld in 2013. Deltares rapport 1209433-001-HYE-0005. A.J. Smale, juli 2014.

Deltares (2014b). Samenvatting bevindingen testberekeningen Bovenrivieren. A.J. Smale, Memo 27 oktober 2014.

Deltares (2015). Qh-relatie voor benedenstroomse randvoorwaarden Rijntakken en Maas. Deltares memo 1220082-001-HYE-0001. A. Smale. Februari 2015.

Deltares (2016a). WAQUA productieberekeningen Bovenrivieren Rijntakken, WTI2017. Deltares rapport 1220082-001-HYE-0013, november 2016.

Deltares (2016b). WAQUA productieberekeningen Bovenrivieren Maas, WTI2017. Deltares rapport 1220082-001-HYE-0012, november 2016.

Deltares (2016c). WAQUA productieberekeningen IJssel-Vechtdelta, WTI2017. Deltares rapport 1220082-001-HYE-0014, november 2016.

Deltares (2016d). WAQUA productieberekeningen Rijn-Maasmonding, WTI2017. Deltares rapport 1220082-001-HYE-0015, november 2016.

RHDHV (2014). Testberekeningen t.b.v. productieberekeningen WTI 2017 Maas. RDCHM_BD3957_R20141210_NL27708_f1.0. Versie 1.0. December 2014.

Tanis, H. (2014). Aanmaken lateralen t.b.v. project 1209433.002: taak 200. 'readme_1209433.docx'.

A DATA-ARCHIEF

In een separaat meegeleverd data-archief is alle informatie vastgelegd die is gebruikt om de productieberekeningen op te zetten, uit te voeren en te controleren:

[DATA-ARCHIEF]\1.Bovenrivieren\
 1.Gebiedsschematisaties\
 2.Initiele_velden_en_randvoorwaarden\1.Waterstanden\
 3.Generatie_productiesommen\1.Waterstanden\
 4.Uitvoeren_productiesommen\1.Waterstanden\
 5.Controle_productiesommen\1.Waterstanden\

De post-processing en analyse van de productieberekeningen (onderdeel 5.Controle_productiesommen) heeft een groot aantal figuren en bestanden opgeleverd, die niet allemaal zijn opgenomen in dit rapport. Tabel A.1 geeft een overzicht van alle opgeleverde controlebestanden in het data-archief.

[DATA-ARCHIEF]\1.Bovenrivieren\5.Controle_productieberekeningen\1.Waterstanden\	
output_xls\	*_droog_nat_controle.xlsx *_gradient_controle.xlsx *_instab_tijdreeksen.xlsx *_verschil_max13_sepmax.xlsx Deze Excel-bestanden bevatten per berekening generieke informatie over droogval, instabiliteiten rond de piek en in de maximale waterstand (verschil tussen max13 en sepmax).
output_figuren\	Max13-verlopen afvoer en waterstand. 2D figuren voor droogval, analyse instabiliteiten en verschillen tussen max13 en sepmax. Ook van gradiënten in waterstanden zijn hier figuren te vinden. Daarnaast zijn er figuren te vinden betreffende de controle van de vertaalslag afvoer Eijsden/Borgharen, maximale waterstanden in de as etc.
output_figuren_tijdreeks\	Tijdreeksen waarbij instabiliteiten optreden of een groot verschil tussen 'max13' en 'sepmax' aanwezig is.

Tabel A.1 Overzicht van gegevens in het data-archief, die zijn gemaakt ter controle van de productieberekeningen.

B Rivierafvoer en lateralen

De GRADE-golf is met de “hulpprogrammatuur 2.20” en “hulpprogrammatuur 1.04” omgezet naar afvoerrandvoorwaarden bij Eijsden en de lateralen langs de Maas.

In tegenstelling tot de Rijn, is bij een aantal stappen ook een Sobek-RE-berekening nodig. Daarom dient naast versie 2.20 van de hulpprogrammatuur, ook een oudere versie (1.04) gebruikt te worden. Sobek-RE versie 2.52.009 is gebruikt.

De volgende gegevens zijn gebruikt uit de beschikbare hulpprogrammatuur: [DATA-ARCHIEF]\1.Bovenrivieren\2.Initiele_velden_en_randvoorwaarden\

1.Waterstanden\0.Randvoorwaarden\Toepassing_hulpprogrammatuur\

- \hulpprogrammatuur2.20\bin\
- \hulpprogrammatuur2.20\data\
- \hulpprogrammatuur1.04\bin\
- \hulpprogrammatuur1.04\data\

(LET OP: map 'bin' van versie 2.20 van de hulpprogrammatuur bevat een fix tov officiële release tbv maken figuren)

Tanis (2014) beschrijft stap voor stap de werkwijze die benodigd is voor het afleiden van de randvoorwaarden ([DATA-ARCHIEF]\0.Documenten en Software\2.Software\4.Hulpprogrammatuur\readme_1209433.docx).

Het gehele proces bestaat uit een groot aantal stappen die exact in de goede volgorde moeten worden uitgevoerd (met veel foutgevoelige copy-paste acties). Om fouten te voorkomen en uiteindelijk het werkproces te versnellen, is een Matlab-schil opgezet om de conversies automatisch uit te kunnen voeren.

Voor het toepassen van de hulpprogrammatuur is de volgende structuur opgezet:

Hoofddirectory: <MAINDIR>\1209433-Hulpprog-Maas\	
delft3d_matlab\	Kopie van: [DATA-ARCHIEF]\7_oet_matlab
hulp_functies\	Enige hulpfuncties
grade_golven\ Maas_50p_2015XXXX\	Directory met uitvoer uit GRADE (invoer voor hulpprogrammatuur) en uitvoer voor WAQUA berekeningen
run_files\	Bat-files benodigd voor de verschillende stappen
SobekRE\	Gebruikte SobekRE-schematisaties (specifiek voor dit project!)
Hulpprog_Maas.m	Basis Matlabsript

De parameter <MAINDIR> kan in beginsel een locatie op een netwerk zijn, maar omdat ook Sobek-RE berekeningen moeten worden gedraaid, is het aan te raden om lokaal te werken. De uiteindelijke datastructuur is opgenomen onder:

[DATA-ARCHIEF]\1.Bovenrivieren\2.Initiele_velden_en_randvoorwaarden\
1.Waterstanden\0.Randvoorwaarden\Toepassing_hulpprogrammatuur

Ter voorbereiding moeten er data aan het programma worden aangeboden.

Plaats de data per afvoergolf in bijvoorbeeld:

<MAINDIR>\1209433-Hulpprog-Maas\grade_golven\Maas_50p_2015XXXX\
1.golfgn\Q_@@@@\Borghare.dat

Dit bestand heeft de volgende vorm (gegevens op uurbasis):

! Waarnemingssoort, begindatum, begintijd, tijdstap in minuten

! Borgharen, Q=1300

Q 20000101 000000 60

190

191

...

1282

1288

1294

1300

1300

1300

1300

1300

1300

1296

1292

...

221

220

Daarnaast moet er een aantal zaken worden ingesteld in het basis Matlabscript Hulpprog_Maas.m.

- Hoofddirectory (MAINDIR)
- Directories met bin- & data-dir van hulpprogrammatuur 1.04 & 2.20
- Gehanteerde tijdstap in minuten in de basisinvoer (*LET OP: opgezet voor uurdata, niet getest voor andere tijdstappen*)
- Afvoerniveaus/golfvormen die moeten worden omgezet (qniveaus)
- Welke stappen gedraaid moeten worden (t.b.v. debuggen)

De standaardinstelling voor de faseverschuiving en topvervlakking tussen Eijsden en Borgharen zijn niet gewijzigd t.o.v. de basisgegevens:

- Faseverschuiving 2 uur
- Topvervlakking op bovenrand (km 2.56), zie Tabel B.1.
(bron: hulpprogrammatuur2.20\data\Maas\lateralenafvoergenerator\topvervlakking\Eijsdeng.csv)

Afvoer Borgharen [m ³ /s]	Som afvoer lateralen en topvervlakking [m ³ /s]
1.750	11
1.987	11
2.145	8
2.390	5
2.530	4
2.630	4
2.710	4
2.950	4
3.000	4
3.275	4
3.800	4
3.950	4
4.271	4
4.480	4
4.600	4
5.021	3

Tabel B.1 Relatie afvoer Borgharen en topvervlakking.

Vervolgens is in 5 stappen de WAQUA-invoer aangemaakt door toepassen van 'Hulpprog_Maas.m'.

Stap 1: Genereren basis afvoergolfddata

Stap 2: Conversie Roer (Stah) naar Roer (Monding)

Stap 3: Klaarzetten inputdata voor SobekRE-model Dommel/Aa

Stap 4: Toepassen Sobek-RE-model Dommel/Aa

Stap 5: Genereren van de WAQUA-invoer

De uitvoer staat in:

<MAINDIR>\1209433-Hulpprog-Maas\grade_golven\Maas_50p_2015XXXX\5.hulpprog\out_hulpprog\Q_@@@@\ (n.b. ook te vinden in het data-archief.)

De bestanden die gebruikt zijn in de productieberekeningen staan in de mappen:

grade_golven\Maas_50p_20150220\ → Q4000

grade_golven\Maas_50p_20150123\ → overige afvoeren

Bij het draaien van de hulpprogrammatuur worden veel hulpbestanden en figuren aangemaakt, die goed kunnen dienen voor inspectie van de resultaten. Voor een WAQUA-berekening zijn (alleen) nodig: q_Eijsden.Q_@@@@ & q_lateraal.Q_@@@@.

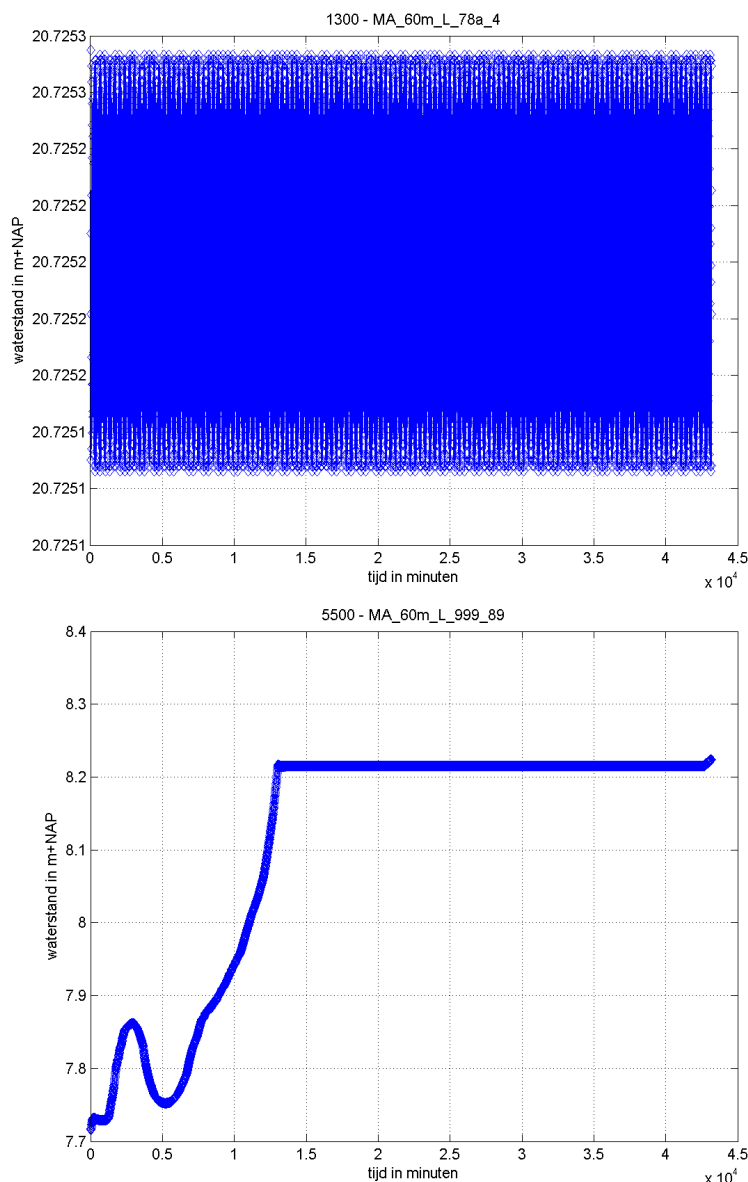
Conform TMR2006 uitgangspunten is rond de piek de afvoer handmatig aangepast (in de GRADE-golven die invoer zijn voor de hulpprogrammatuur). In plaats van 1 maximale afvoerwaarde (op 15d00u) is een 5 uur constante afvoer van 14d20u – 15d01u gehanteerd, wat bijvoorbeeld voor een piekafvoer van 3800 m³/s bij Borgharen resulteert in:

```
time_and_value = 14 19 0 3782.00
time_and_value = 14 20 0 3800.00
time_and_value = 14 21 0 3800.00
time_and_value = 14 22 0 3800.00
time_and_value = 14 23 0 3800.00
```

time_and_value =	15	0	0	3800.00
time_and_value =	15	1	0	3800.00
time_and_value =	15	2	0	3788.00

C Ontbrekende max13-waarden

Voor iedere uitvoerlocatie is de grootheid max13 beschikbaar. Deze variabele wordt, na afloop van een berekening, door getdata bepaald als een nabewerking op de beschikbare tijdreeksen. Voor iedere tijdreeks wordt het gemiddelde van de 13 waarden rond het maximum in die tijdreeks bepaald, om kleine slingeren uit te middelen. Deze nabewerking wordt toegepast op tijdreeksen met het in de siminp opgegeven tijdsinterval (TIHIST), hier 10 minuten. Wanneer het maximum zich direct aan het einde of begin van de tijdreeks bevindt, wordt geen max13 bepaald (zie Figuur C.1 voor twee voorbeelden), omdat dit een vertekend beeld van de werkelijkheid kan geven. Dit kan immers betekenen dat het maximum aan het begin van de tijdreeks ligt (mogelijk door een instabiliteit), of juist aan het eind en het maximum dus nog niet is bereikt. Dit verklaart waarom bij gebruik van max13 er soms NaNs worden gepresenteerd.



Figuur C.1 Twee locaties op de Maas waarvoor de max13 ontbreekt.