

WAQUA
**Productieberekeningen Rijn-
Maasmonding**

Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017



WAQUA Productieberekeningen Rijn-Maasmonding

Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017

R. Agtersloot
A.J. paarlberg

1220082-001

Titel

WAQUA Productieberekeningen Rijn-Maasmonding

Opdrachtgever

RWS-WVL

Project

1220082-001

Kenmerk

1220082-001-HYE-0015

Pagina's

124

Trefwoorden

WTI2017, WAQUA, Rijn-Maasmonding, 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 Rijn-Maasmonding. Het gehanteerde WAQUA modelinstrumentarium en de afleiding van randvoorwaarden en initiële condities is beschreven. Een onderdeel van het modelinstrumentarium is het zogenaamde Keringenscript voor de aansturing van de stormvloedkeringen en de inzet waterberging Volkerak. Er is een apart keringenscript voor het "geforceerd sluiten", waarbij de sluitcriteria worden verlaagd om rekening te houden met een mogelijke voorspelfout. De benodigde 5231 WAQUA-berekeningen (4875 voor normale sluiting, 356 voor geforceerde sluiting) zijn uitgevoerd bij Amazon.

Voor geforceerd sluiten wordt bij 111 stochastcombinatie met zeepeil 2,04 m+NAP sluiting gemodelleerd. Zoals verwacht leidt dit tot een verlaging van rivierwaterstanden ten opzichte van de geopende situatie. Voor 5 combinaties (met sterke noordenwind) wordt waterberging Volkerak ingezet. Voor normaal sluiten wordt in totaal bij 3675 van de 4875 berekeningen sluiting gemodelleerd, waarbij in 2805 gevallen waterberging wordt ingezet door het openen van de Volkeraksluizen. De resultaten van de berekeningen zijn gecontroleerd door fysisch te verwachten patronen te onderzoeken. Het verloop van droogval is consistent en conform verwachting. Het al dan niet sluiten van de stormvloedkeringen verloopt consistent met de verschillende stochasten: voor toenemende windsnelheid neemt het aantal sluitingen toe en het grootste aantal berekeningen met sluiting wordt gevonden voor richting D292(,5), ofwel WNW. De gemodelleerde sluittijdstippen en sluitingsduren zijn over het algemeen conform WTI2011; afwijkingen treden vooral op door inzet waterberging Volkerak en bij hoge rivierafvoeren en/of zeewaterstanden (hoger dan gemodelleerd bij WTI2011).

Het verloop van waterstanden (op basis van 'max13') is visueel gecontroleerd voor 4 trajecten in de Rijn-Maasmonding (RMM). Opvallende zaken zijn vooral geconstateerd bij "extreme" stochastcombinatie zoals lage rivierafvoer in combinatie met hoge zeewaterstanden, of precies het omgekeerde. Consistentiechecks op waterstanden als functie van de diverse combinaties laten consistente patronen zien. Ook het verloop van het aantal droge punten verloopt consistent met de verschillende stochasten.

Door de complexiteit van het RMM-model worden relatief veel locaties afgekeurd als het gaat om instabiel gedrag. Afgekeurde locaties liggen vooral rond de keringen in de Nieuwe Waterweg (Maeslantkering), het Calandkanaal en Hartelkanaal en bij de inlaatsluizen naar het Volkerak-Zoommeer. Desondanks zijn consistente patronen gevonden in het verloop van gemodelleerde waterstanden en sluiten van de stormvloedkeringen als functie van de verschillende stochasten. Dit leidt tot de conclusie dat de berekeningen betrouwbaar zijn en gebruikt kunnen worden voor het vullen van de relationale databases. Het verdient wel aanbeveling om te onderzoeken of de afgekeurde locaties wellicht toch bruikbaar zijn voor de relationele databases. Daarnaast kan aanpassing van de criteria door meer fysica te in beschouwing te nemen juist aanleiding geven tot aanvullende af te keuren locaties.

Titel

WAQUA Productieberekeningen Rijn-
Maasmonding

Opdrachtgever

RWS-WVL

Project

1220082-001

Kenmerk

1220082-001-HYE-0015

Pagina's

124

Referenties

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

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	feb. 2016	R.C. Agtersloot		J.S. de Jong		M.R.A. van Gent	
		A.J. Paarlberg					
4	nov. 2016	R.C. Agtersloot		J.S. de Jong		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	5
2.2	Studiegebied en rekenroosters WTI	6
2.3	Modelschematisatie	7
2.4	Partitionering	9
2.5	Uitvoerlocaties	10
2.6	Keringen en waterberging Volkerak	11
2.6.1	Maeslantkering	12
2.6.2	Hartelkering	13
2.6.3	Stormvloedkering Hollandsche IJssel	13
2.6.4	Kering Heusdensch Kanaal	14
2.6.5	Haringvlietsluizen	14
2.6.6	Waterberging Volkerak-Zoommeer	14
2.7	Het keringenscript	15
2.7.1	Aansturing stormvloedkeringen en inzet waterberging Volkerak	15
2.7.2	WAQUA implementatie Maeslant- en Hartelkering	18
2.7.3	Initieel drijvende Maeslantkering bij hoge rivierafvoeren	19
2.7.4	Geforceerd sluiten	20
3	Randvoorwaarden en initiële condities	23
3.1	Stochastcombinaties RMM	23
3.2	Windsnelheid	24
3.3	Windrichting	26
3.4	Zeepeil	26
3.5	Rivierafvoeren	29
3.5.1	Relatie randen RMM-model en afvoerraaien modellen Bovenrivieren	29
3.5.2	Afleiding rivierafvoeren	33
3.6	Laterale toestromingen	35
3.7	Randvoorwaarden saliniteit	38
3.8	Stuwen	38
3.9	Initiële condities	38
4	Werkwijze uitvoeren productieberekeningen	43
4.1	Testfase	43
4.2	Opzet berekeningen en gebruik Amazon	43
4.2.1	Naamgeving van de berekeningen	43
4.2.2	Keringenscript: van Matlabscript naar executable	43
4.2.3	Benodigde bestanden voor een berekening	46
4.3	Uitvoer van een berekening	47
4.4	Controle of een berekening succesvol is uitgevoerd	49
5	Fysische controle productieberekeningen	51

5.1	Inleiding	51
5.2	Post-processing van de berekeningen	51
5.3	Algemene constatering/bevindingen	52
5.3.1	Meldingen WAQPRE	52
5.3.2	Kromme-NoI kering	54
5.3.3	Waterberging Volkerak	54
5.3.4	Functioneren Haringvlietsluizen	58
5.4	Analyse werking van het Keringenscript	60
5.4.1	Overzicht aantal iteraties Keringenscript	60
5.4.2	Aantal iteraties Keringenscript uitgesplitst naar stochast	68
5.4.3	Sluitingsduren keringen	71
5.4.4	Tijdstippen toestandsveranderingen keringen	78
5.5	Maximale waterstanden in de as van de rivier	83
5.6	Controle 'max13'-waarden	91
5.7	Instabiliteiten in de maximale waterstand ('max13' vs 'sepmax')	95
5.8	Instabiliteiten in het tijdsverloop van de waterstand	98
5.9	Droogval en instabiliteiten gerelateerd aan toestand keringen	103
5.10	Geforceerd sluiten	106
5.10.1	ZP116	106
5.10.2	ZP204	108
6	Conclusies	119
7	Referenties	123
	Bijlage(n)	
A	DATA-ARCHIEF	A-1
B	Toelichting consistentiechecks	B-1
B.1	Gehanteerde locaties	B-1
B.2	Spreadsheet	B-1
B.2.1	Afvoer	B-2
B.2.2	Windsnelheid	B-3
B.2.3	Windrichting	B-4
B.2.4	Zeepeil	B-5
C	Ontbrekende 'max13'-waarden	C-1

Lijst van Tabellen

Tabel 2.1	Toestanden Maeslant- en Hartelkering in het Keringenscript van WTI2017 (zeepeil < 6,04 m+NAP).....	15
Tabel 2.2	Toestanden Maeslant- en Hartelkering in het Keringenscript van WTI2017 bij z6plus (zeepeil=6,04 m+NAP, 7,04 m+NAP, 8,04 m+NAP).....	16
Tabel 2.3	Relevante instellingen Keringenscript (TIHIST = time interval histories in een WAQUA-berekening).....	18
Tabel 3.1	Stochastcombinaties RMM.....	23
Tabel 3.2	Relatie tussen potentiële en openwater windsnelheid.....	25
Tabel 3.3	De bij de berekeningen toegepaste windrichtingen (sectoren) vanuit het westelijke segment en oostelijke segment.....	26
Tabel 3.4	Bepaling waterstanden op zeeranden.....	28
Tabel 3.5	Afvoeren ter plaatse van de RMM-rand uit berekeningen met het Rijntakkenmodel.....	33
Tabel 3.6	Afvoeren ter plaatse van de RMM-rand volgend uit berekeningen met het Maasmodel.....	34
Tabel 3.7	Samenvatting afvoeren (in m ³ /s) ter plaatse van de RMM-randen conform resultaten Bovenrivieren.....	35
Tabel 3.8	Laterale toestromingen in RMM-model.....	35
Tabel 3.9	Laterale toestromingen WTI2011, Rijndominant. Afvoeren zijn in m ³ /s.	36
Tabel 3.10	Coördinaten van lateralen in Bovenrivierenmodellen.....	36
Tabel 3.11	Laterale toestromingen bepaald uit WTI2017 productieberekeningen voor de Rijntakken (Deltares, 2016a).....	37
Tabel 3.12	Laterale toestromingen bepaald uit WTI2017 productieberekeningen voor de Maas (overstroombare Maaskaden) (Deltares, 2016b).....	37
Tabel 3.13	Rivierafvoeren en lateralen voor WTI2017 productieberekeningen. Zwarte getallen: overgenomen uit WTI2011; rode getallen: waarden bepaald op basis van WTI2017 productieberekeningen voor de Bovenrivieren.....	38
Tabel 5.1	Berekeningen waarin sluitingsduur HK >> sluitingsduur MLK.....	76
Tabel 5.2	Uitvoerlocaties die in alle berekeningen droog zijn.....	94
Tabel 5.3	Percentage potentieel droge punten als functie van de rivierafvoer (links) en het zeepeil (rechts).....	95
Tabel 5.4	Uitvoerlocaties waarbij in meer dan 15% van de berekeningen de 'max13' sterk afwijkt van 'sepmax'.....	97
Tabel 5.5	Percentage punten met een instabiliteit in de maximale waterstand als functie van de rivierafvoer (links) en het zeepeil (rechts).....	98
Tabel 5.6	Uitvoerlocaties waarbij in meer dan 25% van de berekeningen een instabiliteit rond de maximale waterstand optreedt.....	100

Tabel 5.7	Percentage punten met een instabiliteit in het tijdsverloop van de waterstand 240 minuten rond de piek (#instpiek) en in de gehele tijdreeks (#insttrks) als functie van de rivierafvoer (links) en het zeepeil (rechts).....	103
Tabel 5.8	Percentage droge/instabiele punten als functie van de toestand van de kering.	103
Tabel 5.9	Aantal iteraties dat het keringenscript doorloopt in geval van geforceerd sluiten en ZP204.....	108
Tabel A.1	Overzicht van gegevens in het data-archief, die zijn gemaakt ter controle van de productieberekeningen.	A-2

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 RMM-model met de 3 modeldomeinen.....	6
Figuur 2.2	Locaties open randen RMM-model.....	7
Figuur 2.3	Bodemhoogte bij kering in afgedamde Maas.....	8
Figuur 2.4	Verdeling van het rivierendeel van de RMM in 7 partities.	9
Figuur 2.5	Waterstandsverschil als gevolg van nieuwe partitionering (8 partities versus 20 partities).	10
Figuur 2.6	Overzicht van de locaties van de vijf keringen in het WAQUA RMM-model (Zijl et al., 2011) zoals deze zijn toegepast in WTI2011. Bij de groene pijl liggen de Volkeraksluizen, waarmee de waterberging in het Volkerak-Zoommeer kan worden ingezet.	12
Figuur 2.7	Schematische weergave van de verschillende toestanden van de keringen in opeenvolgende tussenberekeningen. De pijlen geven mogelijke toestandsveranderingen aan (Bron: Kerkhoven, 2015, en aangeleverd in gewijzigde vorm door KPP-schematisaties op 29-12-2015).	17
Figuur 2.8	Implementatie algoritme “Waterberging Volkerak” in het Keringenscript (Kerkhoven, 2015).	17
Figuur 3.1	Schematische weergave van het verloop van de windsnelheid (Sprengers, 2010).	25
Figuur 3.2	Variabele windschuifspanningscoëfficiënt.	25
Figuur 3.3	Verloop stormopzet (bron: Vuik et al, 2011a).	27
Figuur 3.4	Relatie stormopzet, getij voor Maasmond en het windverloop. De rode lijn is de waterstand die als randvoorwaarde voor de Maasmond wordt gebruikt in de berekeningen.	28
Figuur 3.5	RMM-modelrand Lek (links) en uitsnede uit Rijntakken-model (rechts).	29
Figuur 3.6	Afvoer Rijntakkenmodel ter plaatse van Q-Hagesteinbeneden.('max13').....	30
Figuur 3.7	RMM-modelrand Waal (links) en uitsnede uit Rijntakken-model (rechts).	31
Figuur 3.8	Afvoer Rijntakkenmodel ter plaatse van 913.00_WA ('max13').	31
Figuur 3.9	RMM-modelrand Maas (links) en uitsnede uit Maas-model (rechts).	32
Figuur 3.10	Afvoer Maasmodel ter plaatse van Q-LithboLithdrp ('max13').	32
Figuur 3.11	Tijddefinitie van restartmomenten op het gemiddeld tij.	40
Figuur 3.12	Tijddefinitie van restartmomenten op het springtij.	41
Figuur 5.1	Instabiliteit rond kering in de afgedamde Maas.	54

Figuur 5.2	Langsdoornsnede waterstand Volkerak-Zoommeer voor falende keringen (iteratie 001) en gesloten keringen (iteratie 004) voor de meest extreme situatie.	55
Figuur 5.3	Inzet waterberging Volkerak (te zien in onderste subplots, boven (Q14U43D022ZP136) wel inzet en onder (Q15U43D022ZP136) geen inzet waterberging).	57
Figuur 5.4	Berekening wRMM-Q15U47D292ZP704, iteratie 2, gedrag keringen (boven) en afvoer Haringvlietsluizen (onder). Een positieve afvoer is zeewaarts gericht....	59
Figuur 5.5	Aantal berekeningen met één of meerdere iteraties Keringenscript.	60
Figuur 5.6	Voorbeeld van een berekening met 9 iteraties van het Keringenscript, berekening wRMM-Q06U32D225ZP404.	61
Figuur 5.7	Voorbeeld van een berekening met 9 iteraties van het Keringenscript, berekening wRMM-Q06U32D315ZP804.	62
Figuur 5.8	Voorbeeld van een berekening met 9 iteraties van het Keringenscript, berekening wRMM-Q14U43D292ZP604.	63
Figuur 5.9	Voorbeeld van een berekening met 10 iteraties van het Keringenscript, berekening wRMM-Q07U22D225ZP304.	65
Figuur 5.10	Berekening met 10 iteraties van het Keringenscript, berekening wRMM-Q15U43D045ZP136.	66
Figuur 5.11	Maximale waterstand op locatie lek_960 per iteratie van het Keringenscript.	67
Figuur 5.12	Waterstandsverloop op locatie lek_960 voor berekening wRMM-Q14U32D112ZP136.	68
Figuur 5.13	Percentage sluitingen als functie van de stochast 'rivierafvoer'	69
Figuur 5.14	Percentage sluitingen als functie van de stochast 'zeepeil'.	70
Figuur 5.15	Percentage sluitingen als functie van de stochast 'windsnelheid'.	70
Figuur 5.16	Percentage sluitingen als functie van de stochast 'windrichting'.	71
Figuur 5.17	Vergelijking van de sluitingsduur van de Hartel- en Maeslantkering per aantal sluitingen.	72
Figuur 5.18	Vergelijking van de sluitingsduur van de Hartel- en Maeslantkering per rivierafvoer.	73
Figuur 5.19	Vergelijking van de sluitingsduur van de Hartel- en Maeslantkering per rivierafvoer uit WTI2011.	73
Figuur 5.20	Vergelijking van de sluitingsduur van de Hartel- en Maeslantkering per zeepeil.	74
Figuur 5.21	Vergelijking van de sluitingsduur van de Hartel- en Maeslantkering per windsnelheid.	75
Figuur 5.22	Vergelijking van de sluitingsduur van de Hartel- en Maeslantkering per windrichting.	75
Figuur 5.23	Eerste en vierde (laatste) iteratie Keringenscript voor Q05U47D292ZP116 (1 sluiting en Tsluitduur HK >> Tsluitduur MLK).	76

Figuur 5.24	Berekening wRMM-Q12U22D337ZP604, korte sluiting Hartelkering, gesloten/drijvende Maeslantkering.....	77
Figuur 5.25	Vergelijking sluitingsmomenten Maeslantkering en Hartelkering (boven: WTI2017, onder: WTI2011).....	79
Figuur 5.26	Vergelijking einde (eerste) sluiting Maeslantkering (start drijvende toestand) en Hartelkering (start geopende toestand). Boven: WTI2017, onder: WTI2011. ...	80
Figuur 5.27	Eerste iteratie Keringenscript voor Q12U32D247ZP116. Door het ontbreken van een geschikt moment om te sluiten zullen de keringen op T=0 sluiten.	81
Figuur 5.28	Eerste iteratie Keringenscript voor Q14U43D292ZP604. Door het ontbreken van een geschikt moment om te sluiten zullen de keringen op T=0 sluiten.	82
Figuur 5.29	Eerste iteratie Keringenscript voor Q15U43D090ZP136. De pijl geeft het sluitmoment weer.	83
Figuur 5.30	Voorbeeld verloop waterstanden in de as van de rivier en het Volkerak-Zoommeer met gemiddelde rivierafvoer (zwart: eerste iteratie Keringenscript, rood: laatste iteratie Keringenscript).	85
Figuur 5.31	Effect Haringvlietsluizen op waterstanden (m+NAP) in het rivierengebied.	87
Figuur 5.32	Voorbeeld van een berekening met peilsluiting.	88
Figuur 5.33	Twee voorbeelden van een berekening met kenteringsluiting bij een relatief laag zeepeil, waarbij voor het tweede geval ook de sturende waterstanden (m+NAP) zijn getoond.	89
Figuur 5.34	Voorbeeld van een berekening met weinig verschil in waterstand tussen gesloten en geopende keringen.....	90
Figuur 5.35	Opwaaiing in het Zoommeer bij windsnelheid 47 m/s uit NNW-richting (337°). Het onderste figuur toont de maximale waterstanden (m+NAP).	91
Figuur 5.36:	Potentieel aantal uitvoerlocaties met droogval als percentage van het totaal aantal berekeningen.....	92
Figuur 5.37	Berekening met het grootste aantal droge punten (boven, 6098 zonder backup-locaties) en berekening met het kleinste aantal droge punten (onder, 239 zonder backup-locaties). De kleuren geven de maximale waterstand (m+NAP).	94
Figuur 5.38	Aantal uitvoerlocaties waarbij 'max13' sterk afwijkt van 'sepmax' als percentage van het totaal aantal berekeningen.	96
Figuur 5.39	Voorbeeld van een berekening waarbij 'max13' sterk afwijkt van 'sepmax', vooral rond de stormvloedkeringen (de zwarte bolletjes).	97
Figuur 5.40	Voorbeeld van een tijdreeks met een te groot verschil tussen 'sepmax' en 'max13'.	97
Figuur 5.41	Aantal locaties met instabiliteiten rond de piekwaterstand als percentage van het totaal aantal berekeningen.....	99
Figuur 5.42	Voorbeeld van een berekening met instabiliteiten rond de piek, vooral rond de keringen.....	101
Figuur 5.43	Twee voorbeelden van tijdreeksen die mogelijk onterecht als instabiel zijn gemarkeerd.	102

Figuur 5.44	Instabiele punten (zwart) in geopende toestand (boven) en gesloten toestand (onder).....	104
Figuur 5.45	Instabiele punten in geopende toestand (boven) en gesloten toestand (onder). Zie Bijlage B voor een toelichting bij de informatie in de figuren.	105
Figuur 5.46	Instabiele tijdreeksen Hartelkanaal, links wRMM-Q04U47D270ZP604, rechts wRMM-Q06U43D247ZP804.....	106
Figuur 5.47	Consistentiecheck maximale waterstand voor alle berekeningen (boven) en voor Q05 (onder). Zie Bijlage B voor een toelichting bij de figuren.....	107
Figuur 5.48	Informatie sluitingen in geval van geforceerd sluiten en ZP204, zie tekst voor uitleg bij de figuur.....	108
Figuur 5.49	Twee voorbeelden van het effect van een geforceerde sluiting op de waterstand in de Nieuwe Waterweg en bovenstrooms.....	110
Figuur 5.50	Consistentiecheck maximale waterstand op het traject Nieuwe Waterweg – Lek bij gesloten keringen, laatste iteratie van het Keringenscript. Zie Bijlage B voor een toelichting bij dit figuur.	111
Figuur B.1	Locaties consistentiecheck RMM.	B-1
Figuur C.1	'max13'-bepaling, subtiel verschil tussen wel/geen sluiting.	C-1
Figuur C.2	Sprong in de 'max13'-waarde bij Haringvlietsluizen (boven en links onder) als gevolg van afwaaiing en het ontbreken van een 'max13'-waarde bij amer257 (rechts onder).....	C-2
Figuur C.3	Door afwaaiing op het VZM kan geen 'max13'-waarde worden bepaald (er is geen maximum).	C-3
Figuur C.4	Het maximum is voor de gesloten toestand aan het einde van de tijdreeks, waardoor geen 'max13'-waarde bepaald kan worden op een deel van de Waal.	C-4

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 delta of the Rhine and Meuse (Rijn-Maasmonding) are described. This report presents the WAQUA model instrumentation and the determination of boundary and initial conditions. The so-called barrier-script, that controls the storm surge barriers and the use of the Volkerak water storage, is part of the WAQUA model schematization. An additional barrier-script exists to control “forced” closure, in which case the closing criterion is reduced to take into account a potential prediction error. 5231 WAQUA runs (4875 for normal closure, 356 for forced closure) were performed at the Amazon cluster.

In case closure is forced, closure is modelled for 111 combinations of stochastic variables with a sea level of 2.04 m+NAP. This leads to an expected decrease of river levels relative to the situation in which the barriers are open. In 5 combinations (with a strong northerly wind) use is made of the Volkerak water storage. In 3675 of the 4875 computations the barriers are closed when a normal closure criterion is used and in 2805 situations the water storage is used by opening the Volkerak sluices. As a check, the physical patterns of the results have been verified. The occurrence of dry points is consistent and as expected. Whether or not the storm surge barriers close is consistent with the various stochastic variables: in situations with increasing wind velocities the number of closures increases and for a WNW wind the largest number of closures occur. The modelled times and durations of closure are in general in line with WTI2011; deviations are mainly found when the Volkerak water storage is used and for high river discharges and/or sea levels (higher than modelled for WTI2011).

The spatial distribution of water levels (based on ‘max13’) has been checked visually for 4 sections in the Rijn-Maasmonding (RMM). Anomalies have been found for “extreme” combinations of stochastic variables, like low river discharge in combination with high sea levels, or vice versa. The water levels as a function of various combinations show consistent patterns. The occurrence of dry points is consistent with the various stochastic variables.

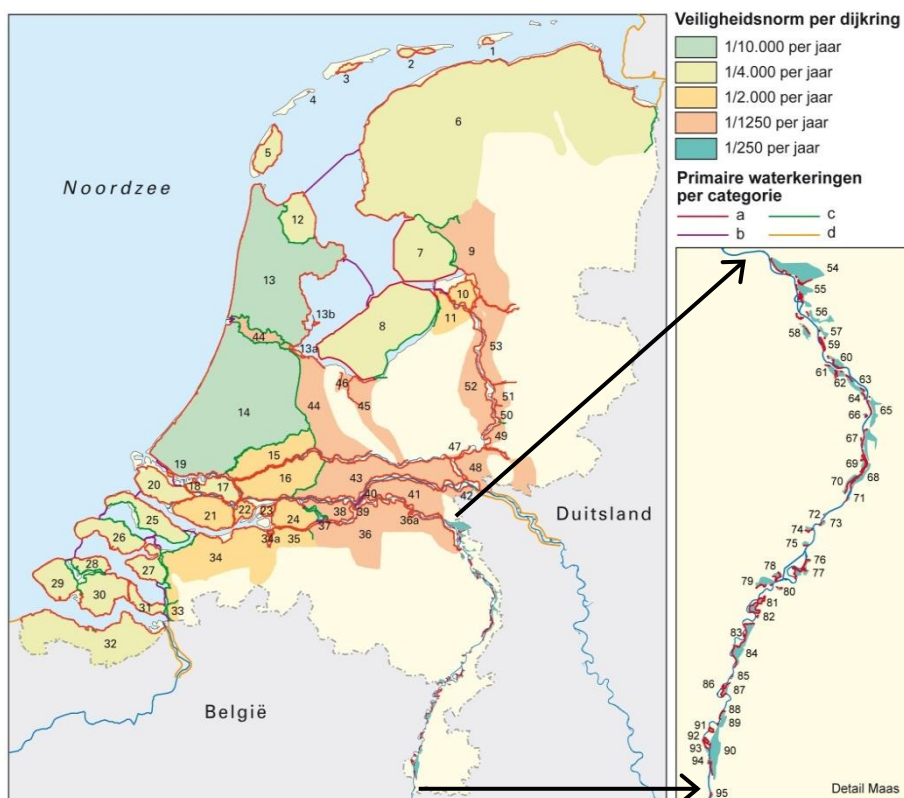
A relatively large number of locations is rejected due to instabilities, as a result of the complexity of the RMM-model. Rejected locations are mainly situated near the barriers in the Nieuwe Waterweg (Maeslantkering), the Caland canal and Hartel canal and in the vicinity of the inlet sluices to the Volkerak-Zoom Lake. Nevertheless, consistent patterns were found in the modelled water levels and the closure of the storm surge barriers, as a function of various stochastic variables. Therefore it can be concluded that the computations are reliable and can be used to fill the relational databases. Nevertheless, it is recommended to investigate whether the rejected output locations can be used to fill the relational databases. However, changing the criteria, for example when taking into account more physical processes, could lead to the rejection of more locations.

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.



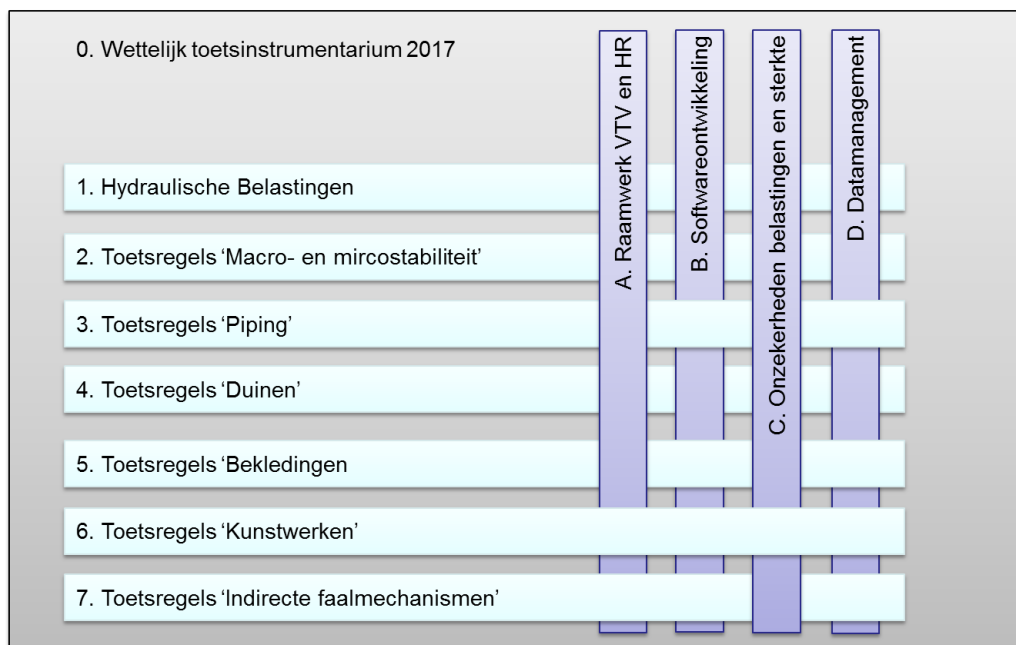
Figuur 1.1 Normfrequenties voor de primaire waterkeringen.

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 Rijn-Maasmonding (RMM).

1.2 Doel

Het voorliggende rapport geeft:

- Een overzicht van het WAQUA modelinstrumentarium dat gebruikt is voor de WAQUA-productieberekeningen voor de RMM.
- 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

Voor de WTI productieberekeningen is gebruik gemaakt van een WAQUA modelschematisatie, die onderdeel is van een door Deltares beheerde gebiedsschematisatie voor de Rijn-Maasmonding (RMM) en de Zuidwestelijke Delta (ZWD) waar het Grevelingen-Volkerak-Zoommeer onderdeel van is. Eind 2014 zijn in het kader van WTI2017 testberekeningen uitgevoerd door RHDHV (2014). Daarbij zijn instabiliteiten rond kunstwerken en enige onvolkomenheden in de Baseline-schematisaties geconstateerd. De instabiliteiten zijn zoveel mogelijk verholpen door aanpassingen aan de kunstwerken en aanpassingen in de Baseline-schematisaties (zie Deltares 2014b voor details). De aanpassingen zijn verwerkt in uitgeleverde modelschematisaties.

Op 5 januari 2015 zijn de volgende gebiedsschematisaties uitgeleverd:

[DATA-ARCHIEF]\3.RMM\1.Gebiedsschematisaties\02_Modellen\

- *baseline-zwd-hr2017_5-v2.zip*
- *baseline-rmm-hr2017_5-v2.zip*

De gebruikte WAQUA-modelschematisaties zijn:

- *waqua-rmm-gvz-hr2017_5-v3* (tot en met zeepeil 5,04 m+NAP, uitgeleverd 10 maart 2015). Als onderdeel van deze schematisatie is een aantal siminp-files meegeleverd, waarvan 'berekeningen\hr1' is gebruikt.
- *waqua-rmm-gvz-hr2017_5-v3_zp6plus* (zeepeil 6,04 m+NAP en hoger, uitgeleverd 17 juli 2015). In deze WAQUA-schematisatie is de barrier-sturing van de Maeslantkering aangepast zodat de kering niet als een 'balk' in het water hangt in een geopende situatie met hoge zeepeilen. Deze WAQUA-modelschematisatie is gebruikt in de berekeningen met zeepeilen 6,04, 7,04 en 8,04 m+NAP.

Een onderdeel van de WAQUA-schematisaties is het zogenaamde Keringenscript. Dat script stuurt de Maeslantkering, Hartelkering en inlaatsluis Volkerak aan op basis van de verwachte waterstanden bij Dordrecht, Rotterdam en Rak Noord. Van het keringenscript zijn de volgende versies gebruikt:

- *Keringenscript_waqua-rmm-hr2017_5-v5.zip* (uitgeleverd op 18 mei 2015): bevat het Keringenscript waarmee de berekeningen tot en met zeepeil 5,04 m+NAP worden aangestuurd.
- *Keringenscript_waqua-rmm-hr2017_5-v5_zp6plus* (uitgeleverd op 17 juli 2015): te gebruiken voor zeepeil 6,04 m+NAP en hoger, in combinatie met WAQUA-schematisatie *waqua-rmm-gvz-hr2017_5-v3_zp6plus*. Ten opzichte van de geleverde versie is één aanpassing gemaakt. De onderzijde van de schuif van de Maeslantkering is verhoogd van 7,0 m+NAP naar 9,0 m+NAP.
- *Keringenscript_waqua-rmm-hr2017_5-v6.zip* (uitgeleverd 9 oktober 2015): ten behoeve van berekeningen met geforceerd sluiten van de stormvloedkeringen (zie paragraaf 2.7.4 voor details). Op 12 oktober 2015 is een aanpassing geleverd, zodat het keringenscript werkt in combinatie met een unit test. Op 2 november is een extra levering geweest (*det_time_closure_1.m*) om een index gelijk aan 0 te voorkomen. Deze versie van het keringenscript is alleen gebruikt in combinatie met WAQUA-schematisatie *waqua-rmm-gvz-hr2017_5-v3*, omdat geforceerd sluiten alleen nodig is voor maximale waterstanden bij de Maasmond van 2,04 m+NAP en lager (zeepeilen ZP116 en ZP204).

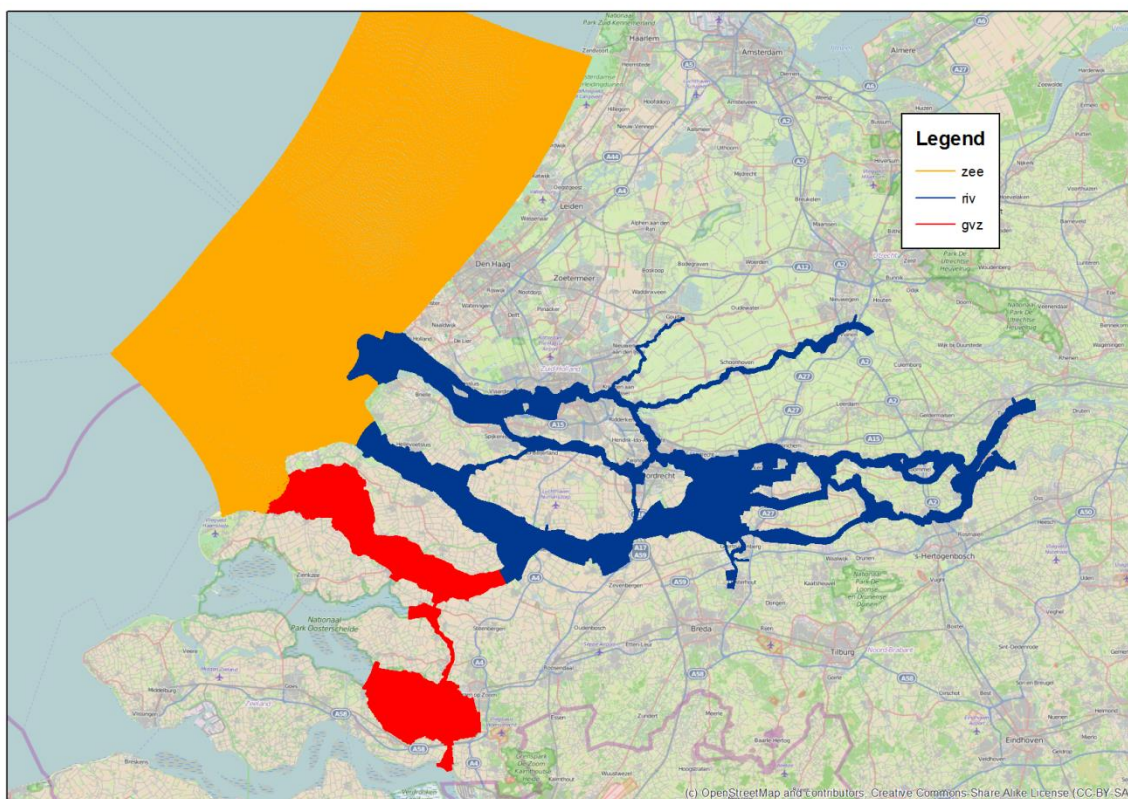
Binnen WTI2017 is voor de RMM gebruik gemaakt van WAQUA onder simona2014, patch 8 (64 bit).

2.2 Studieggebied en rekenroosters WTI

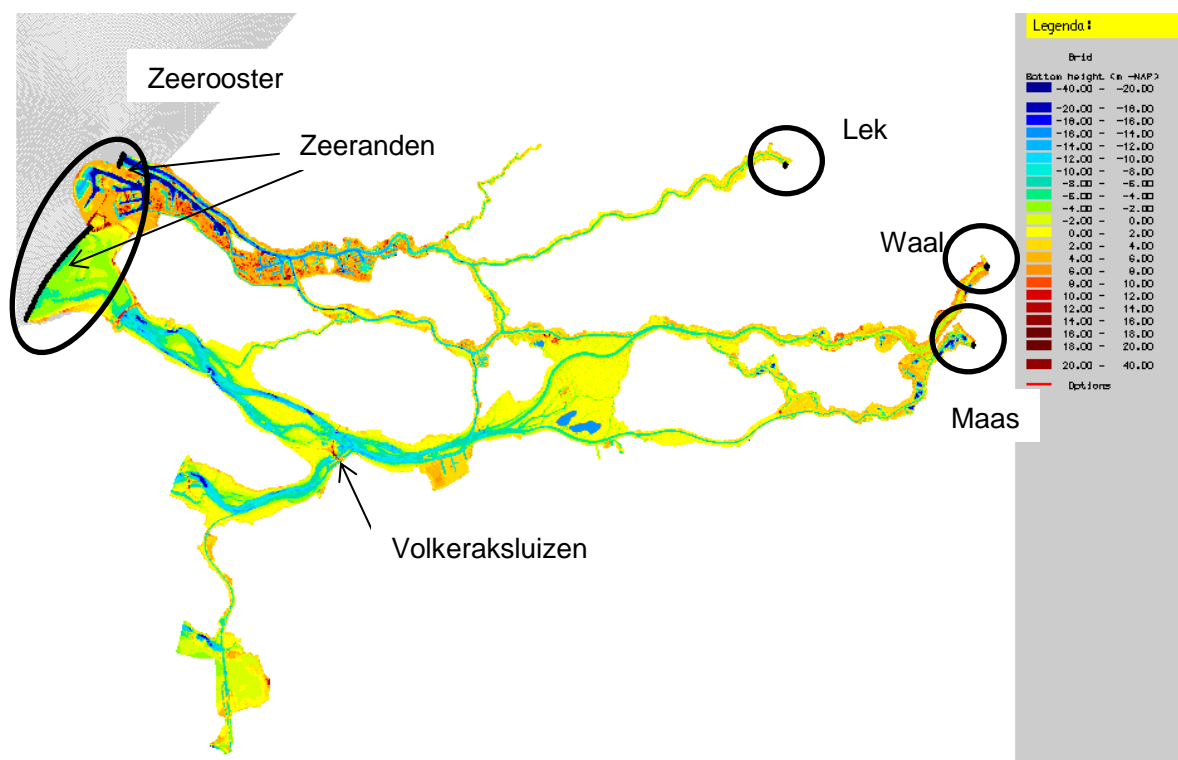
Het WAQUA-model voor het gebied van de Rijn-Maasmonding bestaat uit:

- De Waal (vanaf Tiel), de Boven Merwede, de Beneden Merwede, de Nieuwe Merwede, de Noord, de Oude Maas, Dordsche Kil, Spui;
- De Lek (vanaf Hagestein), de Hollandsche IJssel, de Nieuwe Maas en de Nieuwe Waterweg;
- De Maas (vanaf Lith), de Bergsche Maas, de Afgedamde Maas, de Amer, Hollandsch Diep en Haringvliet;
- Het zeegebied van de Zuidelijke Noordzee.
- De Grevelingen en het Zoommeer.

Het modelrooster is opgesplitst in drie domeinen: domein 1 voor het zeegebied (zee), domein 2 voor het Grevelingen-Zoommeer (gvz) en domein 3 voor het rivierengebied (riv) (Figuur 2.1). Het rekenrooster voor het zeedomein bestaat uit 419x133 roostercellen, en ligt langs de kust tussen Schouwen-Duiveland en Zandvoort. Het rivierdomein is aanzienlijk groter, en bestaat uit 1.080x3.023 roostercellen. Het Grevelingen-Zoommeer bevat 637x1.056 cellen. De roosters zijn door middel van domeindecompositie gekoppeld tot één model. Het Grevelingen-Zoommeer wordt enkel ingezet als waterbergingsgebied.



Figuur 2.1 Overzicht RMM-model met de 3 modeldomeinen.



Figuur 2.2 Locaties open randen RMM-model.

2.3 Modelschematisatie

Figuur 2.2 geeft de bodemhoogte van de Rijn-Maasmonding weer, zoals die in de WAQUA-schematisatie is opgenomen. In het zeegebied worden geen hydraulische randvoorwaarden bepaald met dit waterstandsmodel; dit deel is enkel van belang voor het leveren van de juiste randvoorwaarden voor het binnengebied. Het RMM-model kent aan de westzijde twee zeeranden (Figuur 2.2). Eén aan de noordrand ter plaatse van de monding van de Nieuwe Waterweg (Maasmond) en één aan de zuidrand aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen. Voor de rivieren zijn open randen gedefinieerd op de Lek, Waal en Maas (Figuur 2.2). Omdat het Grevelingen-Zoommeer alleen als waterberging fungeert zijn daar geen open randen opgenomen. Indien berging noodzakelijk is wordt het water ingelaten via de Volkeraksluizen.

Als voorbereiding op de productieberekeningen voor WTI2017 zijn in 2013 uitgangspunten vastgelegd met betrekking tot de te hanteren schematisaties. Het gaat daarbij om de bodemgeometrie en vegetatie, maar ook om de mee te nemen Ruimte voor de Rivier maatregelen 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.

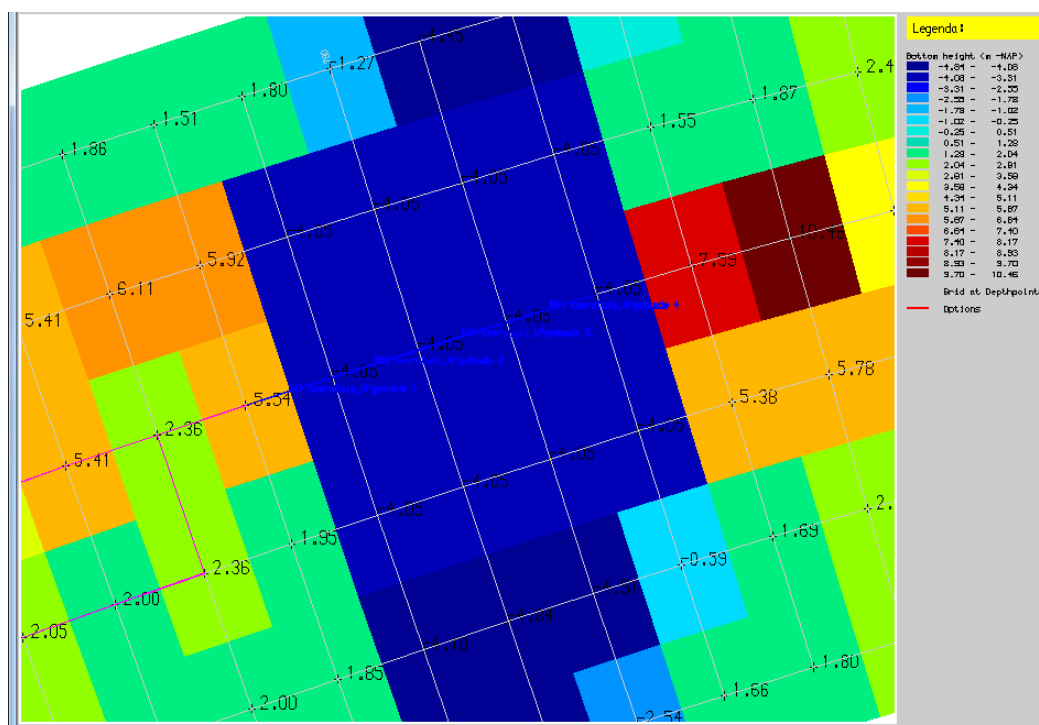
In onderstaand kader volgt een beknopte samenvatting van de uitgangspunten uit Deltares (2013; 2014a). Voor een nadere onderbouwing van de verschillende keuzes, zoals bijvoorbeeld voor de gehanteerde bodemligging en vegetatie, wordt verwezen naar:

- Kuiper et al. (2014). Grevelingen-Volkerak-Zoommeer. WAQUA-model 5e generatie. Modelopzet en validatie stormopzet en afwaaiing
- Zijl et al. (2011). WAQUA-model Rijn-Maasmonding. Modelopzet, calibratie en verificatie. N.B. dit rapport betreft de bouw van het WTI2011-model. Voor WTI2017 is een dergelijk rapport niet beschikbaar. Voor meer informatie wordt verwezen naar de documentatie bij de gebiedsschematisatie in het data-archief (Bijlage A).

In principe is in 2013 vastgelegd dat alle maatregelen (buiten Ruimte voor de Rivier (RvR) 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. Dit is gerealiseerd door het opnemen van deze maatregelen in de BenO schematisatie. 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 RvR maatregelen 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.

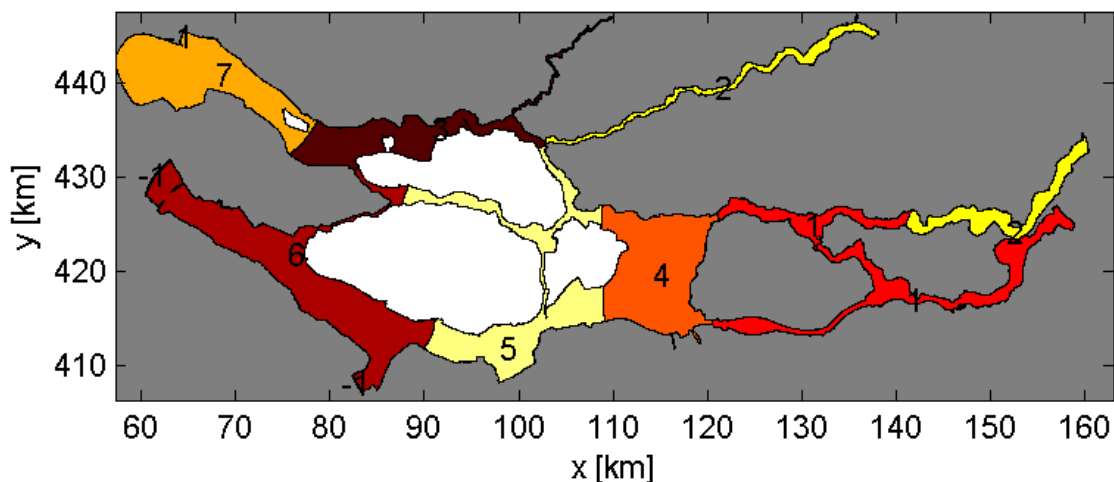
Ten opzichte van de uitgeleverde modelschematisatie is er één verschil in de gebruikte invoer. Dit betreft de afgedamde Maas ter hoogte van de Kromme Nol-kering. Na een herstelactie van de uitvoerlocaties tussen 'v2' en 'v3' van de uitgeleverde WAQUA-modelschematisatie was een boxfile voor een bodemhoogtecorrectie tot -4,05 m+NAP bij de kering (Figuur 2.3) niet meer nodig, omdat al een Baseline correctiemaatregel was verwerkt in de schematisatie. In de productieberekeningen is de boxfile toch toegepast. De resulterende bodemhoogte is identiek aan de bodemhoogte zonder gebruik van de boxfile, dus dit levert geen probleem op voor de productieberekeningen.



Figuur 2.3 Bodemhoogte bij kering in afgedamde Maas.

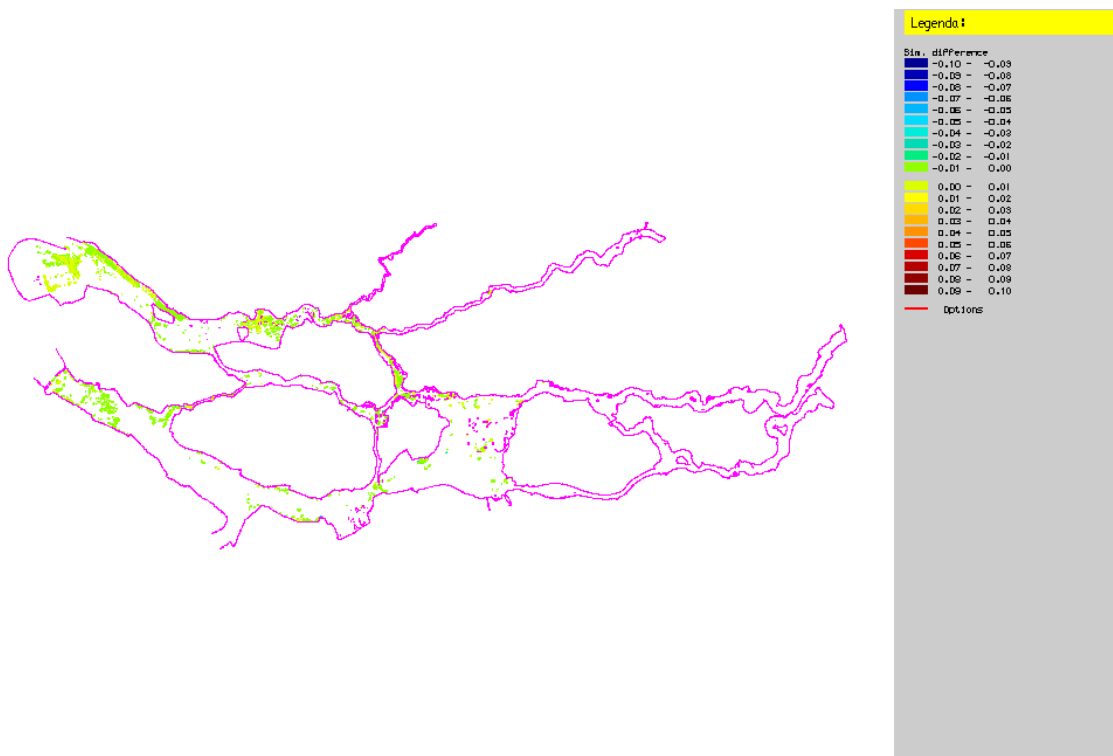
2.4 Partitionering

De WAQUA-schematisatie is opgeleverd met partitioneringsbestanden. Het gvz-domein bestaat uit 2 partities, net als het zee-domein (deze laatste wordt bij de aansturing van de berekeningen samengevoegd tot 1 partitie). Het rivierendeel (riv) bestaat uit 17 partities. De opgeleverde WAQUA-schematisatie bevat dus 20 partities, wat bruikbaar is voor het h5 rekencluster van Deltares wanneer 5 nodes met ieder 4 cores worden aangewend voor een berekening. De productieberekeningen zijn uitgevoerd bij Amazon (zie ook paragraaf 4.2), op (single) nodes met 8 cores. Daarom is de partitionering handmatig aangepast: het gvz-domein is teruggebracht tot 1 enkele partitie en gecombineerd met het zee-domein. Het rivierendeel is opgeknipt in 7 partities. De resulterende partitionering is getoond in Figuur 2.4. Deze partitionering leidt tot een gebalanceerde verdeling van het rekenwerk over 8 cores.



Figuur 2.4 Verdeling van het rivierendeel van de RMM in 7 partities.

Om het effect van een andere blokopdeling inzichtelijk te maken is de RHDHV-berekening 'RMM0011' (RHDHV, 2014) herhaald. Dit is een dynamische berekening met lage rivierafvoer (Afvoer Lobith $600 \text{ m}^3/\text{s}$, Hagestein $20 \text{ m}^3/\text{s}$, Tiel $481 \text{ m}^3/\text{s}$ en Maas $55 \text{ m}^3/\text{s}$), gematigde wind en een stormopzet van circa 4 meter (maximale waterstand bij de Maasmond van $4,49 \text{ m} + \text{NAP}$) waardoor de keringen zullen sluiten. Van beide berekeningen zijn de maximale waterstanden met elkaar vergeleken, zie Figuur 2.5. Zichtbaar is dat er sprake is van zeer beperkte waterstandsverschillen. In het grootste deel van het gebied (daar waar geen kleuren worden getoond) zijn de verschillen minder dan 1 mm. De groene vlakken geven de gebieden aan waar de waterstanden tussen de 1 mm en 1 cm van elkaar verschillen. Lokaal zijn er plekken waar de verschillen kunnen oplopen tot enkele cm's. Op basis van deze verschillen is besloten de berekeningen uit te voeren met de nieuwe blokindeling van 8 partities.



Figuur 2.5 Waterstandsverschil als gevolg van nieuwe partitionering (8 partities versus 20 partities).

2.5 Uitvoerlocaties

Voor de uitvoerlocaties geldt in principe dat de WTI2011-set van uitvoer- en HR-locaties gehandhaafd blijft, met uitzondering van de locaties waar dijkkringlijnen zijn veranderd. Eventueel nieuw te definiëren locaties (als gevolg van dijkverleggingen) zijn conform de WTI2011 procedure gedefinieerd.

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 is naast deze 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-Rijn-Maasmonding uitvoer beschikbaar.

2.6 Keringen en waterberging Volkerak

In de Rijn-Maasmonding bevindt zich in verband met de veiligheid tegen overstroming een vijftal kunstwerken (zie Figuur 2.6) die afhankelijk van de hydraulische omstandigheden bediend worden:

- 1 Maeslantkering (MLK);
- 2 Hartelkering (HK);
- 3 Haringvlietsluizen;
- 4 Stormvloedkering Hollandsche IJssel;
- 5 Keersluis Heusdensch Kanaal (ook wel: de Kromme Nol kering).

Alle keringen zijn stormvloedkeringen. Hun functie is de bescherming tegen stormen met hoge waterstanden. De Haringvlietsluizen openen en sluiten als enige ook tijdens normale omstandigheden. Het doel daarvan is tweeledig:

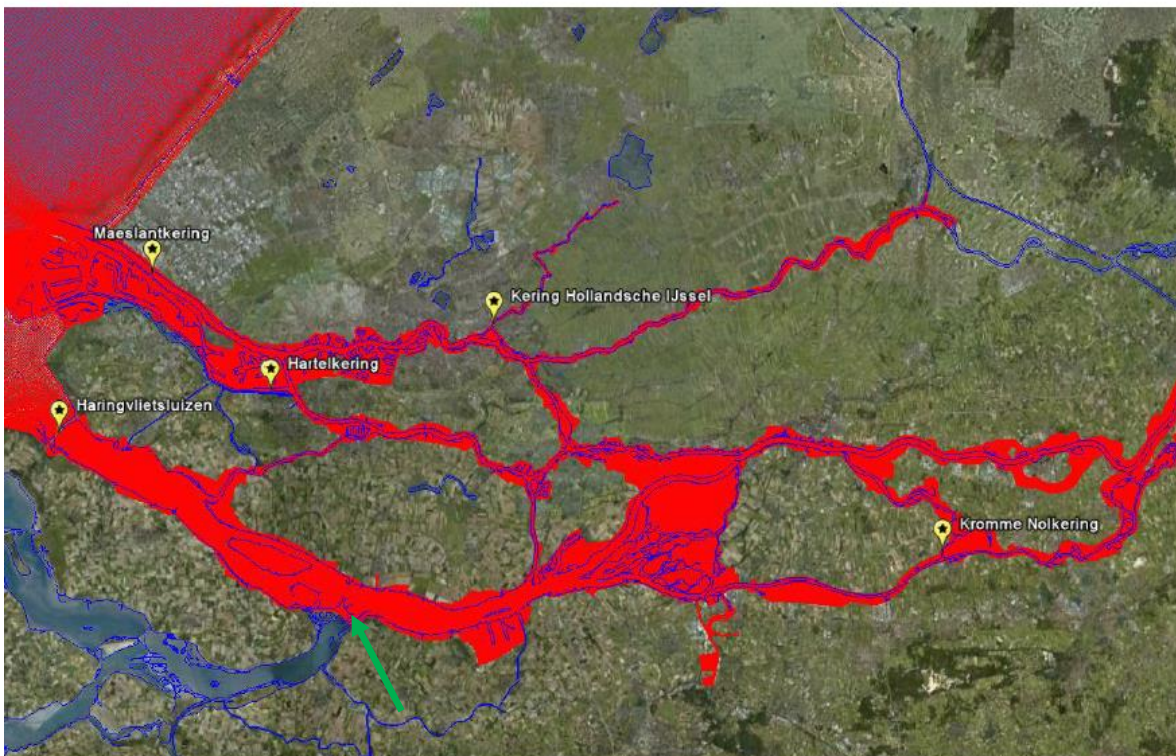
- 1 Tijdens de hoogwaterfase het zoute zeewater buiten het Haringvliet te houden, maar tijdens laagwater het water te kunnen lozen naar de Noordzee.
- 2 Bij lage rivierafvoeren voor scheepvaart de diepte op de Nieuwe Waterweg op peil te houden door ook tijdens laagwater de kering in meer of mindere mate te sluiten.

Voor de eerste twee kunstwerken (Maeslant- en Hartelkering) is zowel de situatie met een niet-falende kering als met een falende (altijd open) kering beschouwd (twee mogelijkheden voor deze stochast). Het feit dat de aansturing van de Maeslantkering en Hartelkering niet op momentane, maar op toekomstige waterstanden plaatsvindt, vraagt om een iteratief proces buiten WAQUA om: het Keringenscript. Het Keringenscript (zie paragraaf 2.7) stuurt een serie opeenvolgende WAQUA-berekeningen (iteraties) aan, waarbij op basis van elke iteratie de

stuurfiles voor de stormvloedkeringen (Maeslantkering en Hartelkering) voor de volgende iteratie in de reeks wordt aangemaakt. De overige stormvloedkeringen worden gestuurd op basis van een voor-gedefinieerde sturingsmethodiek.

De hierboven beschreven keringen waren ook opgenomen in de RMM-modelschematisatie van WTI2011. Een toevoeging voor WTI2017 is waterberging Volkerak. Wanneer de waterstand in het Haringvliet/Hollandsdiep te hoog wordt, en de MLK gesloten is, wordt waterberging op het Volkerak-Zoommeer ingezet. In het Keringenscript is ook de inzet van het Grevelingen-Zoommeer opgenomen.

In de volgende subparagrafen is per kering, en voor de inzet van waterberging Volkerak-Zoommeer, een beschrijving op hoofdlijnen gegeven. In (Zijl et al., 2011) is per kering een uitgebreide beschrijving van het werkelijke functioneren en het functioneren in WAQUA opgenomen.



Figuur 2.6 Overzicht van de locaties van de vijf keringen in het WAQUA RMM-model (Zijl et al., 2011) zoals deze zijn toegepast in WTI2011. Bij de groene pijl liggen de Volkeraksluizen, waarmee de waterberging in het Volkerak-Zoommeer kan worden ingezet.

2.6.1 Maeslantkering

De Maeslantkering (MLK) ligt in de Nieuwe Waterweg ter plaatse van kilometerraai 1026,3. De kerende hoogte van de MLK is 5,0 m+NAP (zie paragraaf 2.7.1). Er wordt onderscheid gemaakt tussen het sluitingscriterium en het sluitpeil. Het sluitingscriterium is de minimaal voorspelde waterstand bij Rotterdam en/of Dordrecht waarbij besloten wordt dat de Maeslantkering en de Hartelkering gaan sluiten. Het sluitpeil is de waterstand ter plaatse van de kering, waarbij de sluitingsoperatie wordt gestart. Deze zogenaamde peilsluiting wordt aangehouden bij Bovenrijnafvoeren lager dan 6.000 m³/s. Bij hogere afvoeren dan deze waarde wordt een zogenaamde kenteringsluiting aangehouden. Dit houdt in dat de kering

sluit op het moment dat het zeewater de Nieuwe Waterweg gaat binnenstromen (minimale stroomsnelheden).

Het sluitingscriterium geeft aan dat de Maeslantkering gesloten zal worden als een verwachte waterstand van 3,00 m+NAP bij Rotterdam en/of van 2,90 m+NAP bij Dordrecht overschreden wordt.

Bij een peilsluiting (Rijnafvoer lager dan 6.000 m³/s) wordt de sluitoperatie gestart bij overschrijding van het sluitpeil van 2,00 m+NAP ter plaatse van de kering. Bij een kenteringsluiting (Rijnafvoer hoger dan 6.000 m³/s) wordt de sluitoperatie gestart bij de stroomkentering van eb naar vloed ter plaatse van de kering.

Vanaf het sluitmoment begint de sluitoperatie. Eerst wordt de kering vrijwel geheel afgezonken. Vervolgens wordt een sedimentstop ingelast, om het sediment van de drempel op de bodem te verwijderen. Daarna wordt de kering geheel gesloten. Als de waterstand aan de binnenzijde van de kering hoger wordt dan de waterstand aan de buitenzijde opent de kering, en gaat de kering over in de drijvende toestand. Op deze manier wordt water gespuid van de binnen- naar de buitenzijde van de kering. Afhankelijk van de voorspelling of de waterstand bij Rotterdam en/of Dordrecht opnieuw het sluitcriterium gaat overschrijden in de eerstvolgende 24 uur wordt de kering opnieuw gesloten of geheel geopend.

De sluit- en openprocedures in het prototype zijn geautomatiseerd in een Beslissingsondersteunend Systeem (BOS). Ze zijn voor de WAQUA-berekeningen zo goed mogelijk overgenomen in het Keringenscript (paragraaf 2.7). Uitzondering hierop is het overslaan van de sedimentstop om doorlooptijd te sparen. Uit controles uitgevoerd voor WTI2011 (Vuik et al, 2011a,b) bleek dat de invloed van het weglaten van deze toestand op de maximale waterstanden verwaarloosbaar was.

2.6.2 Hartelkering

De Hartelkering (HK) ligt in het Hartelkanaal, 40 m ten westen van de Hartelbrug. Dit is circa 1.900 m ten westen van de splitsing met de Oude Maas. De kerende hoogte van de Hartelkering is 3,0 m+NAP (zie paragraaf 2.7.1). Het sluitcriterium, en de criteria voor de peil- of kenteringsluiting zijn gelijk aan die voor de Maeslantkering. De sluitprocedure is eenvoudiger dan voor de Maeslantkering. Na een periode gesloten te zijn, gaat de kering over in geopende toestand bij een hogere waterstand aan de binnenzijde dan aan de buitenzijde. Op basis van de voorspelde waterstanden wordt beslist of de kering open blijft of opnieuw sluit.

In WTI2011 was, om in WAQUA gelijktijdig een lekopening aan de onderzijde te creëren en overslag aan de bovenzijde van de kering mogelijk te maken, de kering geschematiseerd als een dubbele barrier met beweegbare drempel en gate. Op basis van testberekeningen van RHDHV (2014) is besloten om alleen een beweegbare drempel te implementeren, zie paragraaf 2.7.2. Ook voor de Hartelkering vindt de aansturing plaats met behulp van het Keringenscript, zie paragraaf 2.7.

2.6.3 Stormvloedkering Hollandsche IJssel

De Stormvloedkering in de Hollandsche IJssel is de kering bij Krimpen aan den IJssel, in de monding van de Hollandsche IJssel. De kering wordt in het WAQUA-model gesloten zodra de waterstand ter plaatse van de kering hoger wordt dan 2,25 m+NAP. De kering gaat weer open op het moment dat de waterstanden aan de binnen- en buitenzijde weer nagenoeg aan elkaar gelijk zijn.

De trigger voor het sluiten op basis van waterstanden ligt in het model bij 2,25 m+NAP lokaal nabij de stormvloedkering. In werkelijkheid is de aansturing van de kering Hollandsche IJssel veel complexer en gebaseerd op afspraken tussen Rijkswaterstaat en Waterschappen, die zijn vastgelegd in het Waterakkoord (Zijl et al., 2011). De kering heeft in het model in gesloten toestand een oneindige kerende hoogte.

2.6.4 Kering Heusdensch Kanaal

De keersluis in het Heusdensch Kanaal (ook wel Kromme Nol kering genoemd) ligt ter plaatse van kilometerraai 231, nabij het splitsingspunt Heusdensch Kanaal en Maas. De keersluis wordt gesloten als op de Maas een hoge afvoergolf passeert. Dit wordt bepaald met de waterstand bij Heesbeen. Bij overschrijding van 3,49 m+NAP bij Heesbeen gaat de keersluis dicht en bij onderschrijding van die stand gaat deze weer open. Het functioneren van de kering in WAQUA komt globaal overeen met de werkelijke aansturing.

De werkelijke sluitprocedure van de kering is zodanig ingericht dat bij dreigende hoogwaterstanden op de (Bergsche) Maas de kering is gesloten voordat de waterstand in het bekken van de Afgedamde Maas de waarde 3,50 m+NAP heeft overschreden. Vanwege het feit dat het 'zakken' van de hefdeur ongeveer een uur duurt, betekent dit dat de sluiting van de kering een uur voor het tijdstip van de verwachte overschrijding van deze waterstand dient aan te vangen. De kering wordt (automatisch) gesloten met behulp van een voorspelsysteem op basis van de actuele waterstanden ter plaatse van de kering en de verwachte maatgevende stijg- en daalsnelheden op de (Bergsche) Maas. Op basis van waarneming is afgeleid dat de maatgevende stijgsnelheid van de waterstand op de Bergsche Maas gedurende een uur zo'n 0,08 meter bedraagt, wat betekent dat het sluitpeil van de kering dus 3,42 m+NAP is.

In paragraaf 5.3.1 is toegelicht dat door niet geheel passende initiële condities, instabiliteiten rond deze kering kunnen ontstaan.

2.6.5 Haringvlietsluizen

De Haringvlietsluizen liggen in de monding van het Haringvliet en vormen met de Haringvlietdam een waterkering. Het complex bestaat uit 17 openingen elk voorzien van een verticaal beweegbare rivier- en zeeschuif. Tijdens vloed zijn de openingen in de kering altijd gesloten. Tijdens eb is de grootte van de verschillende openingen afhankelijk van de grootte van de rivierafvoer op de Bovenrijn. De sturingstabel voor de Haringvlietsluizen is te vinden in (Zijl et al., 2011). De sturing in de WAQUA-modelschematisatie is conform de werkelijke sturing.

2.6.6 Waterberging Volkerak-Zoommeer

Bij hoge zeewaterstanden sluiten de stormvloedkeringen. Bij een gelijktijdige hoge rivierafvoer kan het rivierwater dan niet afgevoerd worden. Voor die situaties kan waterberging Volkerak-Zoommeer ingezet worden. Wanneer de waterstand op het Hollands Diep bij Rak Noord groter is dan 2,6 m+NAP en de stormvloedkeringen gesloten zijn (of gaan sluiten) worden de Volkeraksluizen geopend. De inzet van waterberging wordt aangestuurd met behulp van het Keringenscript, zie paragraaf 2.7.

De drempelhoogte van de Volkeraksluizen ligt op -4,25 m+NAP (sill-height). In de initieel gesloten toestand staat de onderkant de schuif (gate-height) ook op -4,25 m+NAP. Bij inzet van de waterberging gaat de schuif omhoog, waarbij de onderkant van de schuif op maximaal +1,5 m+NAP komt. De kerende hoogte van de schuif is +3,5 m+NAP (Kuiper et al, 2014).

De Volkeraksluizen gaan open op waterstand:

- Waterstand Rak-Noord (bij sluizen) $\geq 2,6$ m+NAP (alleen als MLK dicht is, en dus niet drijvend);
- De sluizen blijven open tot het einde van de berekening (geen sluitregime bekend).

De winterbedhoogtes en kruinhoogtes rond de Volkeraksluizen zijn afkomstig uit DTB2013. De hoogte is circa 4,70-4,80 m+NAP. Vanaf dit niveau kan het water, ook al zijn de sluizen gesloten, het Volkerak-Zoommeer instromen. Dit is realistisch, want de kerende hoogte van de Volkeraksluizen is in werkelijkheid 3,5 m+NAP, wat inhoudt dat bij falende Maeslantkering het water al vanaf 3,5 m+NAP over de inlaatsluis het Volkerak in zal lopen. Als de Maeslantkering wel functioneert, dan gaan de Volkeraksluizen bij een lagere waterstand open, namelijk 2,60 m+NAP bij Rak Noord. In paragraaf 5.3.3 wordt toegelicht welke gevolgen dit kan hebben voor de waterberging.

2.7 Het keringenscript

2.7.1 Aansturing stormvloedkeringen en inzet waterberging Volkerak

Het Keringenscript stuurt een serie opeenvolgende WAQUA-berekeningen (iteraties) aan, waarbij op basis van elke iteratie de WAQUA-stuurfiles voor de stormvloedkeringen (Maeslantkering en Hartelkering) voor de volgende iteratie in de reeks wordt aangemaakt. In deze paragraaf volgt een globale beschrijving van de werking van het Keringenscript. De beschrijving van toestandsveranderingen is gebaseerd op Kerkhoven (2015).

De Maeslantkering kan zich in het script in een vijftal toestanden bevinden: open, gesloten (closed), drijvend (floating), sedimentstop of finished, zie Tabel 2.1 (tweede kolom). Binnen de productieberekeningen voor WTI2017 is de toestand sedimentstop buiten beschouwing gelaten. Grofweg dezelfde onderverdeling van toestanden kan ook gemaakt worden voor de Hartelkering, zie Tabel 2.1 (tweede kolom).

Toestand	Maeslantkering	Hartelkering
<i>open</i>	geheel geopend	geheel geopend
<i>closed</i>	gesloten – lekopening van 0,28 m, geen overstort > 5 m+NAP	gesloten – geen lekopening, wel overstort > 3 m+NAP
<i>floating</i>	drijvend (lekopening 10 m)	open
<i>sedimentstop</i>	drijvend op de hoogte van de sedimentstop (lekopening 5 m)	gesloten
<i>finished</i>	open, drijvend of gesloten	open of gesloten

Tabel 2.1 Toestanden Maeslant- en Hartelkering in het Keringenscript van WTI2017 (zeepil < 6,04 m+NAP).

De weergave van de mogelijke toestanden voor de situaties tot zeepeil (zp) = 5,04 m+NAP zijn identiek als in WTI2011. De weergave van de “gesloten” toestand voor de situaties zeepeil $\geq 6,04$ m+NAP is veranderd volgens Tabel 2.2.

Toestand	Maeslantkering	Hartelkering
<i>open</i>	geheel geopend	geheel geopend
<i>closed</i>	gesloten – geen lekopening, wel overstort $>+5$ m+NAP – $0,28$ m = $4,72$ m+NAP (lekopening is verwerkt in overstorthoogte)	gesloten – geen lekopening, wel overstort > 3 m+NAP
<i>floating</i>	drijvend (lekopening 10 m)	open
<i>sedimentstop</i>	drijvend op de hoogte van de sedimentstop (lekopening 5 m)	gesloten
<i>finished</i>	open, drijvend of gesloten	open of gesloten

Tabel 2.2 Toestanden Maeslant- en Hartelkering in het Keringenscript van WT12017 bij z6plus (zeepeil=6,04 m+NAP, 7,04 m+NAP, 8,04 m+NAP).

Figuur 2.7 toont schematisch de opeenvolging van iteraties van het Keringenscript (blokken in de figuur) en bijbehorende toestandsveranderingen die worden opgelegd aan een volgende iteratie (pijlen in de figuur). Afhankelijk van de optredende waterstanden zijn er meerdere opeenvolgingen van toestanden mogelijk. Het optreden van twee of meer sluitingen komt slechts in een beperkt aantal gevallen voor.

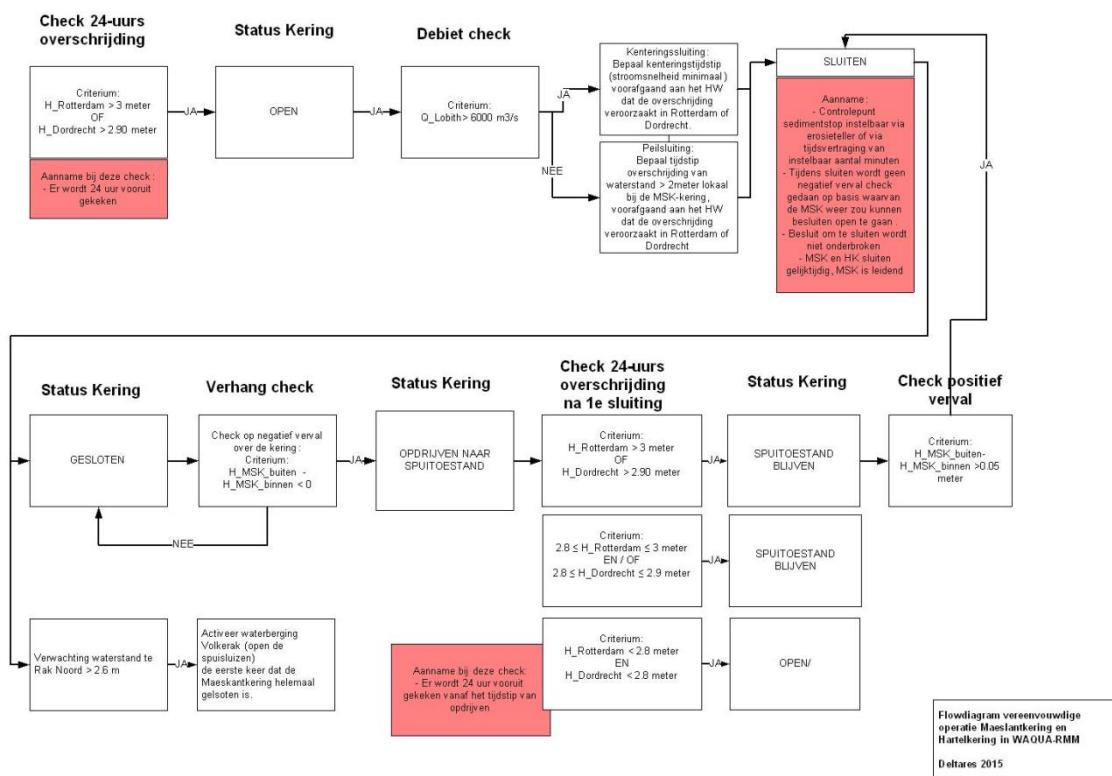
In de eerste iteratie blijven de keringen geforceerd open. Door vergelijking met de optredende waterstanden en de sluitcriteria bepaalt het script of er een volgende iteratie nodig is, waarbij de keringen sluiten. Ook het tijdstip waarop de keringen beginnen met de sluitprocedure wordt bepaald. Op basis van de afvoer bij Lobith wordt onderscheid gemaakt tussen peil- en kenteringsluiting (zie ook paragraaf 2.6.1). De afvoer bij Lobith dient door de gebruiker te worden opgegeven. Voor WT12017 hanteren we hiervoor de stochastwaarde (en dus niet de 'max13' bij Lobith zoals die volgt uit berekeningen voor de Bovenrivieren).

Globaal wordt in geval van kenteringsluiting gestuurd op:

- Sluiting bij verwachte waterstand bij Rotterdam met kritiek peil 3,0 m+NAP
- Sluiting bij verwachte waterstand bij Dordrecht met kritiek peil 2,9 m+NAP
- Opening bij verwachte waterstand Rotterdam of Dordrecht 2,8 m+NAP

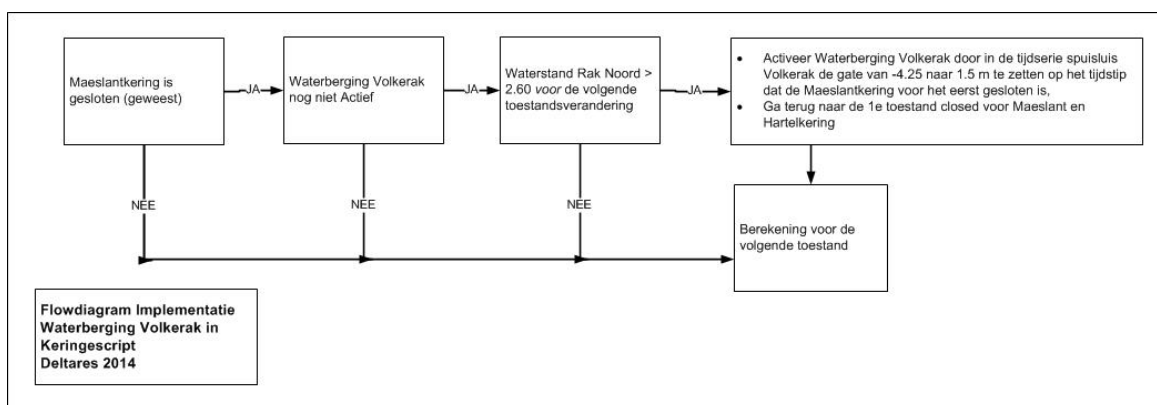
In geval van peilsluiting geldt een kritiek peil van 2,0 m+NAP op locatie 'niwa1026', aan de rivierzijde van de MLK. In werkelijkheid wordt gesloten op een kritiek peil aan de zeezijde van de MLK. De keus om toch gebruik te maken van niwa1026 is ingegeven door het feit dat deze locatie het best de waterstand ter hoogte van de kering beschrijft (Zijl et al, 2011).

In de tweede iteratie (indien deze noodzakelijk is) sluit de kering op het tijdstip dat in de eerste iteratie is bepaald en gedurende de rest van de berekening blijft de kering gesloten. Op basis van de optredende waterstanden aan de binnen- en buitenzijde van de kering wordt bepaald wanneer de kering van de gesloten naar de drijvende toestand gaat, wat weer opgelegd wordt aan de derde iteratie. In de daarop volgende iteraties kan de kering zowel volledig open als opnieuw dicht gaan, en ook kan waterberging Volkerak worden ingezet. Op deze manier wordt het voorspellen van toekomstige waterstanden nagebootst met WAQUA.



Figuur 2.7 Schematische weergave van de verschillende toestanden van de kerringen in opeenvolgende tussenberekeningen. De pijlen geven mogelijke toestandsveranderingen aan (Bron: Kerkhoven, 2015, en aangeleverd in gewijzigde vorm door KPP-schematisaties op 29-12-2015).

Afhankelijk van de waterstanden en afvoeren kan het Volkerak-Zoommeer worden ingezet als waterbergingsgebied. Hiervoor is in het Keringenscript een algoritme opgenomen waarin bepaald wordt of de inzet noodzakelijk is. Als dit het geval is worden de Volkeraksluizen geopend. De implementatie van het algoritme “Waterberging Volkerak” is in Figuur 2.8 uitgewerkt.



Figuur 2.8 Implementatie algoritme “Waterberging Volkerak” in het Keringenscript (Kerkhoven, 2015).

Merk op dat bij inzet van “Waterberging Volkerak” de berekening zichzelf ‘reset’ en opnieuw begint bij iteratie 2, zie het tekstblok rechtsboven. De reden hiervoor is dat de inzet van de waterberging van invloed is op de waterstanden bij Rotterdam en Dordrecht en hierdoor de open- en sluitmomenten van de Maeslant- en Hartelkering kan beïnvloeden.

Wanneer het sluitingscriterium in een open berekening niet (meer) wordt overschreden gaat de kering over in de toestand 'finished'. De volledige berekening is dan afgerond. Voor de Maeslant- en Hartelkering is zowel de situatie met een niet-falende kering als met een falende (altijd open) kering beschouwd (paragraaf 2.6 en 3.1). In de eerste iteratie van het Keringenscript zijn de stormvloedkeringen altijd open, en levert daarmee de waterstanden zowel voor de situatie met falende stormvloedkeringen (paragraaf 2.6) als de situatie met niet-falende keringen wanneer de keringen niet hadden hoeven sluiten. In het geval van meer dan één iteratie, levert de laatste iteratie de waterstanden voor de situatie met niet-falende keringen.

Tabel 2.3 geeft een overzicht van de relevante instellingen uit het Keringenscript.

crit.lev rott close	3.0	Closing criterion Rotterdam
crit.lev dord close	2.9	Closing criterion Dordrecht
crit.lev volk open	2.6	Open criterion Rak Noord
crit.duration close	0.0	Duration criterion (used to be 20 minutes, now 0)
crit.lev rott open	2.8	Open criterion Rotterdam
crit.lev dord open	2.8	Open criterion Dordrecht
crit.dis Lobith	5999	Discharge criterion, $Q_{lobith} < \text{crit dis Lobith}$
crit.lev peil	2.0	Level criterion Peilsluiting (niwa1026)
crit.slope close	0.05	Closure if water level Sea side 5 cm > water level river side (second, third closure Maeslant)
crit.slope close	0.01	In case of forced closing. Closure if water level Sea side 1 cm > water level river side (second, third closure Maeslant)
crit.slope open	0.0	Open if slope < 0. (water level river side > water level sea side)
crit.close hartel duration	30	Second closure Hartel if rising water level for more than 30 min., or,
crit.close hartel level	0.1	Water level is rising continuously and has raised for more than 10 cm,
nfiltersteps	5./TIHIST	number of filter steps in determining slopes
no_steps_open	60./TIHIST	minimum number of steps a barrier is open or closed

Tabel 2.3 Relevante instellingen Keringenscript (TIHIST = time interval histories in een WAQUA-berekening).

2.7.2 WAQUA implementatie Maeslant- en Hartelkering

De WAQUA-implementatie van de Maeslant- en Hartelkering is nauw verbonden met de werking van het keringenscript. In eerste instantie waren zowel de Maeslantkering als de Hartelkering geschematiseerd als een zogenaamde 'dubbele barrier', waarmee het mogelijk is om zowel onderdoorstroming als overstort te kunnen simuleren. Voor Hartelkering bleek dit tot instabiliteiten te leiden (RHDVH, 2014); daarom is er voor gekozen om de schematisatie dusdanig aan te passen dat er bij de Hartelkering een drempel omhoog/omlaag beweegt vanaf de bodem en er (dus) alleen sprake is van overstort (Deltares, 2014b).

De volgende instellingen gelden voor de drempel van de Hartelkering:

- Open: -6,5 m+NAP
- Dicht: +3,0 m+NAP (overstorthoogte)

Voor de Maeslantkering is zowel onderdoorstroming (door een lekopening aan de bodem), als overstort, mogelijk. Daarom is voor waterstanden bij de Maasmond t/m 5,04 m+NAP, en voor waterstanden gelijk aan of hoger dan 6,04 m+NAP een verschillende sturing geïmplementeerd (zie ook De Jong, 2015). Daarmee wordt bereikt dat bij lagere waterstanden de Maeslantkering alleen onderstroming heeft (eventuele overstort zou beduidend kleiner zijn) en bij hogere waterstanden juist alleen overstort. Enige testberekeningen hebben laten zien dat dit leidt tot een overschatting van waterstanden in het binnengebied van enkele centimeters. Dit is dus een beperkt conservatieve benadering.

De bodemhoogte ter plaatse van de Maeslantkering is -17 m+NAP. De modellering van de Maeslantkering hangt af van de waterstand bij de Maasmond. Voor waterstanden bij de Maasmond t/m 5,04 m+NAP is de modellering van de kering met een schuif:

- Type: gate (schuif), enkel stroming onderlangs
- Niveau drempel: -17,00 m+NAP
- Niveau schuif bij open: +7,00 m+NAP
- Niveau schuif bij gesloten: -16,72 m+NAP
- Niveau schuif bij drijvend: -7,00 m+NAP

Bij hogere zeepeilen (6,04 m+NAP en hoger) is de kering gemodelleerd als een overstort :

- Type: sill (overstort), enkel stroming bovenlangs.
- Niveau schuif: +9,00 m+NAP
- Niveau overstort bij open: -17,00 m+NAP
- Niveau overstort bij gesloten: +4.72 m+NAP
- Niveau overstort bij drijvend: -7,00 m+NAP

2.7.3 Initieel drijvende Maeslantkering bij hoge rivierafvoeren

Bij extreem hoge rivierafvoeren ($> 20.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith), maar ook bij iets lagere afvoeren ($16.000 - 18.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith) met relatief veel windopzet, kan het voorkomen dat de Maeslantkering sluit op waterstandscriteria terwijl dit niet zinvol is, i.e. dat er geen waterstandsreductie bereikt kan worden of dat de sluiting zelfs een verhoging veroorzaakt. In de praktijk zullen de keringen in deze situatie waarschijnlijk niet sluiten.

“Vanuit de ontwerpdoelstelling van de kering destijds: “maak een kering die MHW in het achterland voldoende verlaagt”, is er besloten dit soort gevallen niet af te vangen in de keringsprocedure op grond van 2 overwegingen:

- 1 *De kans van optreden van deze gevallen is erg klein. Het optimaliseren van het keringsgedrag in deze bovenmaatgevende situaties levert geen MHW-verlaging op.*
- 2 *Een keringsprocedure die deze situaties wel optimaliseert is complexer en daarmee faalkansverhogend, waardoor juist de nagestreefde MHW-verlaging in gevaar wordt gebracht.” (RWS-WNZ)*

Bij het uitvoeren van testberekeningen is echter gebleken het Keringenscript dergelijke situaties niet goed afhandelt en er berekeningen misgaan. Er treden situaties op waarbij het Keringenscript berekent dat sluiting moet plaatsvinden, maar in de berekening kan er geen geschikt sluitmoment (i.e., lage stroomsnelheden) worden gevonden. Het probleem ontstaat omdat het Keringenscript bepaalt dat sluiting nodig is doordat de waterstand bij Dordrecht

en/of Rotterdam boven het sluitingscriterium uitkomt waarbij de hoge waterstand wordt veroorzaakt door de hoge rivierafvoer in plaats van ten gevolge van stormopzet. Doordat het debiet ter hoogte van de Maeslantkering echter niet (meer) negatief wordt, wordt door het Keringenscript geen sluittijdstip voor de Maeslantkering gevonden, hetgeen resulteert in een tijdreeks met NaN's. WAQUA kan niet met deze waarde omgaan en stopt de berekening als gevolg van een foutmelding.

Om het Keringenscript zo generiek mogelijk, en niet onnodig complex te maken, is besloten tot de volgende implementatie: voor deze gevallen wordt de Maeslantkering bij de start van de 2^e iteratie van het Keringenscript (wanneer sluiting nodig is) in drijvende toestand gebracht en wordt ook de Hartelkering eventueel geopend. Er gebeurt in deze iteratie niets met de Volkeraksluizen, omdat de Maeslantkering op dit moment nog niet gesloten is.

Deze implementatie wijkt af van de werkelijke sluitprocedure; in de praktijk zal MLK nooit sluiten bij Rijnafoeren groter dan 6.000 m³/s als er in de 24 uur voor de overschrijding van het sluitcriterium uitsluitend een ebstroom optreedt. Er zijn twee situaties mogelijk:

1. Er is een kenteringsluitmoment en de MLK sluit, maar komt na korte tijd in spuistoestand doordat er alweer ebstroom is en dus een negatief verval. De kering blijft dan de rest van de storm in spuistoestand op de rivier liggen, hindert de afvoer en veroorzaakt daardoor een peilverhoging in het achterland. Logischerwijs zal in deze situatie worden ingegrepen in het automatische proces.
2. Er is geen kenteringsluitmoment in de 24 uur voor de overschrijding. De MLK (en HK) zullen dan niet sluiten.

In het Keringenscript is geen rekening gehouden met de eis dat er enkel gesloten wordt indien in de 24 uur daarvoor een negatieve afvoer (landinwaartse afvoer) wordt gehaald. Het Keringenscript bevat dus nu een versimpeling van de werkelijkheid en geeft een worst-case scenario.

2.7.4 Geforceerd sluiten

De volgende informatie is overgenomen uit Deltares (2015):

Met "*geforceerd sluiten*" wordt hier bedoeld dat volgens de vigerende regels de keringen niet gesloten hadden hoeven te worden maar dat, middels een aanpassing van de criteria die de regels voor de aansturing van de kering gebruiken, de keringen toch zijn geforceerd om te sluiten. Het idee achter de implementatie van geforceerd sluiten binnen de productieberekeningen van WT12017 is dat het in werkelijkheid voor kan komen dat als gevolg van te hoog voorspelde waterstanden de keringen sluiten, terwijl dat op basis van opgetreden waterstanden uiteindelijk niet had gehoeven.

Geforceerd sluiten kan enkel plaatsvinden indien aan alle onderstaande punten voldaan wordt (Vuik et al, 2011a):

- de keringen in de oorspronkelijke berekening niet sluiten (= die situaties waarin het keringenscript besluit na 1 iteratie voor de open toestand dat geen 2^e iteratie voor een gesloten toestand noodzakelijk is);
- de Bovenrijnafvoer groter is dan 6.000 m³/s (Q05 en hoger);
- er is sprake van wind uit de westelijke sector (dus geen ZP136).

Effectief betekent dit een *totaal van 356 berekeningen*, waarin alleen ZP116 en ZP204 voorkomen.

In de WTI2011 toetsronde is “geforceerd sluiten” gedefinieerd als een aanpassing van de waterstandscriteria voor Rotterdam en Dordrecht voor het sluiten van de keringen (oorspronkelijk 3,0 m+NAP en 2,9 m+NAP):

- Sluiten vindt plaats indien de waterstand te Rotterdam of Dordrecht groter is dan de maximaal berekende waterstand in de open berekening minus (–) 0,36 m (Vuik et al, 2011a).
- Indien deze nieuwe criteria resulteren in een waterstand die lager is dan de maximale waterstand te Rotterdam of Dordrecht in dezelfde berekening zonder stormopzet (zijnde de referentieberekening), dan wordt het nieuwe sluitcriterium de maximaal opgetreden waterstand in de referentieberekening plus (+) 0,1 m (Vuik et al, 2011a).

Ten behoeve van WTI2017 zijn dezelfde aanpassingen aan de waterstandscriteria gedaan. De aanpassingen aan het keringenscript zijn zodanig geïmplementeerd dat het keringenscript gebruikt kan worden voor zowel normale als geforceerde sluitingen. Om het script aan te sturen voor “geforceerd sluiten” dient een viertal extra argumenten, twee zogenaamde <keyword/value> pairs, te worden meegegeven:

`forcedclosure` waarde *true* (geforceerd sluiten) of *false* (niet-geforceerd sluiten), default (niets opgegeven): *false*
`refscen` naam van de resultaatfile (Muppetfile, i.e. *.tek bestand) van het referentiescenario zonder stormopzet (alleen relevant voor geforceerde sluiting)

“Geforceerd sluiten” betreft alleen een aanpassing van de sluitcriteria waterstand Rotterdam en Dordrecht. Zowel voor het inzetten van waterberging Volkerak, als voor het openen van de Maeslantkering en Hartelkering geldt dat de sluit- respectievelijk open-criteria zijn gebaseerd op verwachte waterstanden. Aangezien, net als de berekende sluitwaterstanden, ook de berekende openwaterstanden mogelijk kunnen verschillen van de werkelijke waterstanden, zouden eigenlijk ook deze opencriteria moeten worden aangepast. Vanwege consistentie met WTI2011 is dit echter niet gedaan. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken of aanpassing van deze criteria niet een realistischer geforceerd sluiten oplevert (zie ook paragraaf 5.10.2).

Omdat voor “geforceerd sluiten” alleen de sluitcriteria worden gewijzigd, zijn initiële condities en overige randvoorwaarden gelijk aan de berekeningen zonder geforceerd sluiten.

3 Randvoorwaarden en initiële condities

Dit hoofdstuk beschrijft de doorgerekende stochastcombinaties en hoe die zijn vertaald in randvoorwaarden en initiële condities voor het WAQUA-model. Als startpunt voor de activiteiten in het kader van WTI2017 zijn de aanpak en resultaten van WTI2011 gehanteerd. Dit betekent dat de consequenties van keuzes zoals gespecificeerd in dit rapport ten opzichte van WTI2011 zijn gedefinieerd. Achtergronden van de keuzes/aannames zoals beschreven in dit rapport zijn te vinden in Vuik et al. (2011a,b), aangevuld met vastgelegde uitgangspunten in Deltares (2013 en 2014a).

3.1 Stochastcombinaties RMM

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de door te rekenen stochastcombinaties voor de RMM.

Rijn [m ³ /s]	Maas [m ³ /s]	Westelijke windrichtingen			kering	Oostelijke windrichtingen		
		Zeewaterst. [m+NAP]	Windsnelh. [m/s]	Windricht. [-]		Zeewaterst. [m+NAP]	Windsnelh. [m/s]	Windricht. [-]
600	55	1,13 / 1,16	0	ZW	sluitregime	1,33 / 1,36	0	NNO
2000	222	2,02 / 2,04	10	WZW	altijd open		10	NO
4000	729	3,02 / 3,04	20	W			20	ONO
6000	1235	4,02 / 4,04	30	WNW			30	O
8000	1742	5,02 / 5,04	42	NW			42	OZO
10000	2248	6,02 / 6,04	46	NNW				ZO
13000	3008	7,02 / 7,04		N				ZZO
16000	3768	8,02 / 8,04						Z
16500	3895							ZZW
17000	4022							
18000	4275							
20000	4782							
22000	5289							
24000	5769							
26000	6303							
15	15	8	1+5	7	2	1	1+4	9
				Totaal	8640			1110
							Totaal	9750

Tabel 3.1 Stochastcombinaties RMM.

Uitleg bij deze tabel:

- Voor de Maeslant- en Hartelkering is zowel de situatie met een niet-falende kering (sluitregime) als met een falende kering (altijd open) beschouwd.
- De Rijnafvoer is hier gedefinieerd als piekafvoer bij Lobith en de Maasafvoer is gedefinieerd als piekafvoer bij Borgharen. De piekafvoer bij Lobith en Borgharen zijn één-op-één gecorreleerd op basis van meetgevens (Deltares, 2014a). De stochastische waarde voor de Maas (afvoer bij Borgharen) wijkt aanzienlijk af van de opgelegde waarde in het RMM-model (afvoer bij Lith) door laterale instromingen en golfvorming tussen beide stations.
- Bij de RMM wordt de rivierafvoer beschouwd als “trage stochast”. Dit betekent dat er, in tegenstelling tot de Bovenrivieren en IJssel-Vechtdelta, niet wordt gerekend met afvoergolven.
- Er is onderscheid gemaakt tussen wind uit de oostelijke en westelijke sector.
- De zeewaterstand betreft hier de maximale waterstand bij de Maasmond als gevolg van getij en stormopzet. In de tabel staan twee getallen genoemd. Bij het eerste getal is rekening gehouden met 8 cm zeespiegelstijging ten opzichte van 1985, bij het tweede getal met 10,5 cm zeespiegelstijging ten opzichte van 1985 (zie ook paragraaf 3.4). Bij de naamgeving van de invoerbestanden voor de berekeningen wordt de waarde inclusief 10,5 cm zeespiegelstijging gehanteerd.
- Conform WTI2011 is de zeewaterstand beschouwd als een onafhankelijke stochast, dus niet gecorreleerd met de windsnelheid.
- De windsnelheid in de tabel is de potentiële windsnelheid, zie paragraaf 3.2 voor de vertaling naar de windsnelheid op open water zoals die in WAQUA wordt gehanteerd.
- Windrichting: 360 graden is noordenwind, 90 graden komt uit het oosten, etc.
- Onderaan de tabel is het totaal aantal uit te voeren productieberekeningen weergegeven:
 - Westelijke windsector: 15 (afvoeren, 1-op-1 correlatie) * 8 (zeepeilen) * (1*1 + 5*7) (windsnelheid 0 m/s alleen richting N, overige windsnelheden snelheden 7 richtingen) * 2 (keringtoestanden) = 15 * 8 * 36 * 2 = 8640
 - Oostelijke windsector: 15 (afvoeren, 1-op-1 correlatie) * 1 (zeepeil) * (1*1 + 4*9) (windsnelheid 0 m/s alleen richting N, overige windsnelheden snelheden 9 richtingen) * 2 (keringtoestanden) = 15 * 1 * 37 * 2 = 1110
 - Het totaal van 9750 berekeningen is niet gelijk aan het uiteindelijke aantal uitgevoerde berekeningen, omdat er stochastcombinaties zijn waarbij geen sluiting nodig is (1 iteratie van het Keringenscript, zie ook paragraaf 2.7 en 5.4).

3.2 Windsnelheid

In WAQUA wordt gebruik gemaakt van openwater windsnelheden. De omzetting van potentiële windsnelheid naar openwater windsnelheid gebeurt volgens de methodiek zoals beschreven in bijlage D (Open water transformatie van windsnelheid) van De Waal (2003).

Hieronder volgt voor elke voorkomende potentiële windsnelheid stochast (U_{pot}) de bijbehorende open water windsnelheid (U_{ow}).

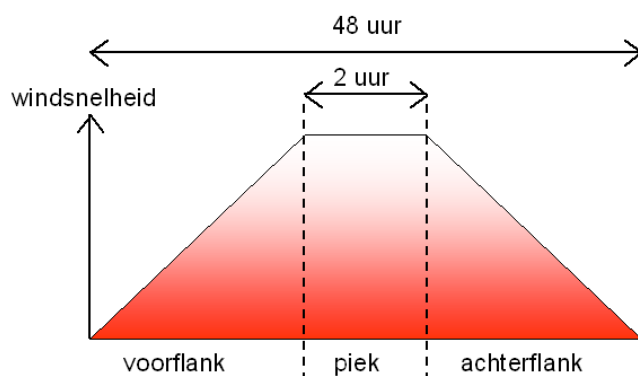
U_{pot} [m/s]	10	16	20	22	27	30	32	37	42	46
U_{ow} [m/s]	11,1	17,5	21,6	23,7	28,7	31,7	33,7	38,5	43,3	47,1

Voor de RMM zijn behalve een windsnelheid gelijk aan nul, vijf windsnelheden gekozen, zie Tabel 3.2.

Potentiele windsnelheid [m/s]	Openwater windsnelheid op basis van tabel WTI2011 [m/s]	In WAQUA [m/s]	Naamgeving in siminp
10,00	11,14	11,10	U11
20,00	21,62	21,60	U22
30,00	31,67	31,70	U32
42,00	43,30	43,30	U43
46,00	47,08	47,10	U47

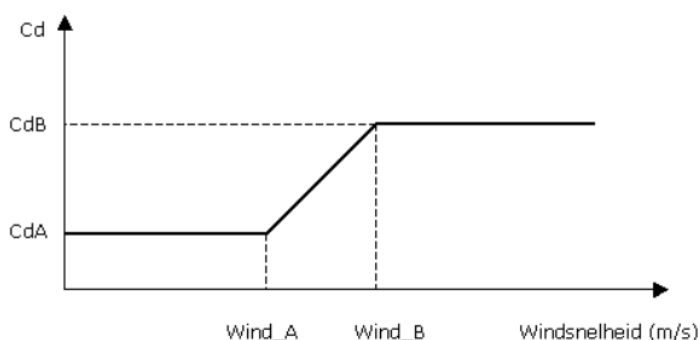
Tabel 3.2 Relatie tussen potentiële en openwater windsnelheid.

Het verloop van de storm is als volgt. In 23 uur loopt de windsnelheid lineair op van nul naar de maximale waarde. De maximale windsnelheid treedt vervolgens gedurende twee uur op. Daarna neemt de windsnelheid in opnieuw 23 uur lineair af tot nul. Figuur 3.1 geeft het windverloop schematisch weer.



Figuur 3.1 Schematische weergave van het verloop van de windsnelheid (Sprengers, 2010).

In het WAQUA-model is een uniform windveld opgelegd, waarbij de (openwater)windsnelheid en de windrichting in de tijd variëren. De schuifspanning die de wind op het wateroppervlak uitoefent, is berekend met behulp van een variabele windschuifspanningscoëfficiënt C_D (Bak en Vlag, 1999), zie Figuur 3.2.



Bak en Vlag (1999):
 $CdA = 1,36673 \times 10^{-3}$
 $CdB = 3,90 \times 10^{-3}$
 $Wind_A = 7,77886 \text{ m/s}$
 $Wind_B = 50,0 \text{ m/s}$

Figuur 3.2 Variabele windschuifspanningscoëfficiënt.

3.3 Windrichting

Bij de productieberekeningen worden zowel de windrichting als de maximale windsnelheid gevarieerd en gecombineerd met de andere variabele randvoorwaarden. Er is, net als voor WTI2011, onderscheid gemaakt tussen wind uit het oostelijke segment en vanuit het westelijke segment (Deltares, 2014a). De segmenten zijn onderverdeeld in sectoren van 22,5 graden. De bij de berekeningen toegepaste windrichtingen (sectoren) zijn in Tabel 3.3 aangegeven.

Westelijke segment		Oostelijke segment	
Windrichting [sector]	Windrichting [graden]	Windrichting [sector]	Windrichting [graden]
ZW	225	NNO	22,5
WZW	247,5	NO	45
W	270	ONO	67,5
WNW	292,5	O	90
NW	315	OZO	112,5
NNW	337,5	ZO	135
N	360	ZZO	157,5
		Z	180
		ZZW	202,5

Tabel 3.3 De bij de berekeningen toegepaste windrichtingen (sectoren) vanuit het westelijke segment en oostelijke segment.

Een voorbeeld van de windinvoer voor de WAQUA productieberekeningen is hieronder gegeven

(bron: [DATA-ARCHIEF]\3.RMM\2.Initiele_velden_en_randvoorwaarden\1.Waterstanden\ALGwaq\6.RMM\riv\wind\rvw_wind_const_afv_D225_W43.dat).

```
#WAQUA rvw-file , datum 14-Apr-2015
#maximum reeks : 43.30
#          datum      uur      windsne  windrich
series = 'irregular'
time_and_value=      11      15:20      0.00    225.0
time_and_value=      12      14:20     43.30    225.0
time_and_value=      12      16:20     43.30    225.0
time_and_value=      13      15:20      0.00    225.0
```

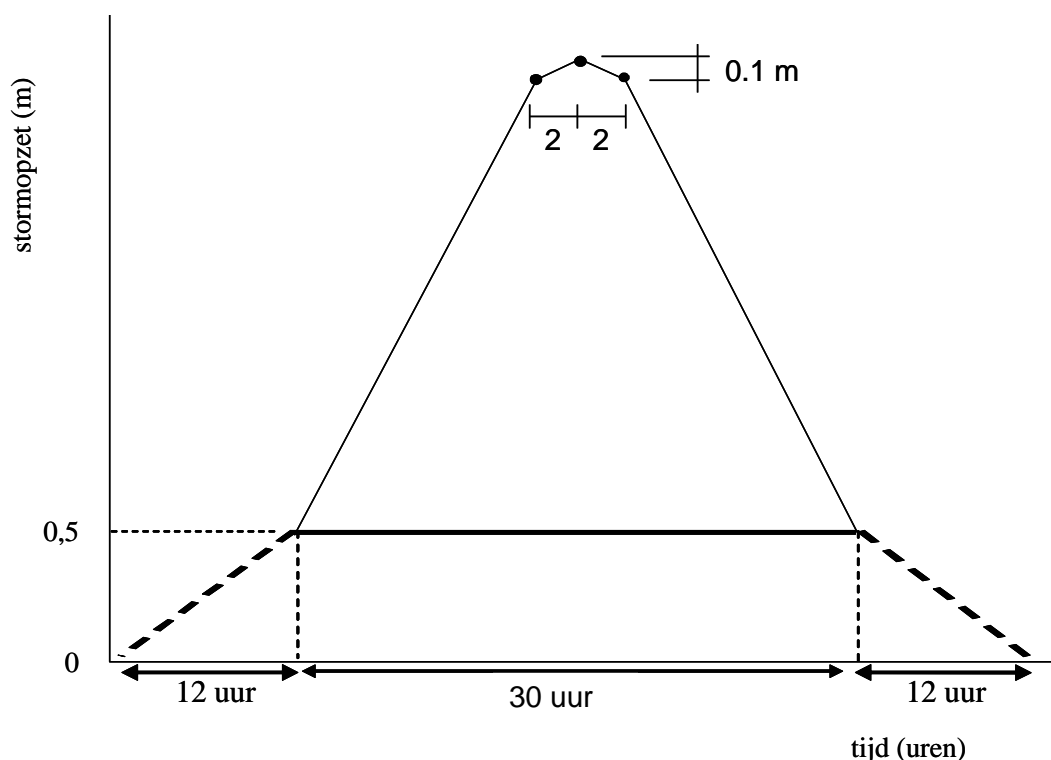
3.4 Zeepil

Het RMM-model kent aan de westzijde twee zeeranden. Eén aan de noordrand ter plaatse van de monding van de Nieuwe Waterweg (Maasmond) en één aan de zuidrand aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen. Die laatste rand bestaat uit twee punten: één in de zuidgeul ter plaatse van het Slijkgat (HA10- paal) en één in de noordgeul ten zuiden van de Slufter (Gat van de Hawk). In WAQUA wordt lineair geïnterpoleerd tussen deze twee punten.

Het stormvloedverloop voor de zeeranden ontstaat door een stormopzetverloop te superponeren op de basisreeks van het getij van locatie Maasmond en locatie HA10, rekening houdend met de zeespiegelrijzing.

Stormopzetverloop

Conform WTI2011, is een stormopzetduur (D) van 30 uur op een niveau van 0,5 m+NAP gebruikt, met flanken van 12 uur naar een niveau van 0 m+NAP. De top van het verloop is twee uur voor de piek en twee uur erna, met een verhoging van 10 centimeter. Het stormopzetverloop is afgebeeld in Figuur 3.3.



Figuur 3.3 Verloop stormopzet (bron: Vuik et al, 2011a).

Zeespiegelstijging

Voor de WTI2011 berekeningen is rekening gehouden met een zeespiegelstijging van 8 cm ten opzichte van 1985 (voor TMR2006 is gerekend met 7 cm t.o.v. 1985). Voor WTI2017 is gerekend met 2,5 cm extra zeespiegelstijging, dus een totaal van 10,5 cm t.o.v. 1985.

Getij

Voor winden uit westelijke sectoren is het gemiddeld tij gehanteerd en voor winden uit oostelijke sectoren is het springtij gehanteerd.

Fase (Fs)

Met de fase (Fs) kan het stormopzetverloop over de basisreeks in de tijd verschoven worden. De fase is gedefinieerd als het verschil in tijd tussen het astronomisch hoogwater en het tijdstip van maximale stormopzet. Dit faseverschil (Fs) is constant gehouden op -4,5 uur.

Stormopzethoogte (Hs)

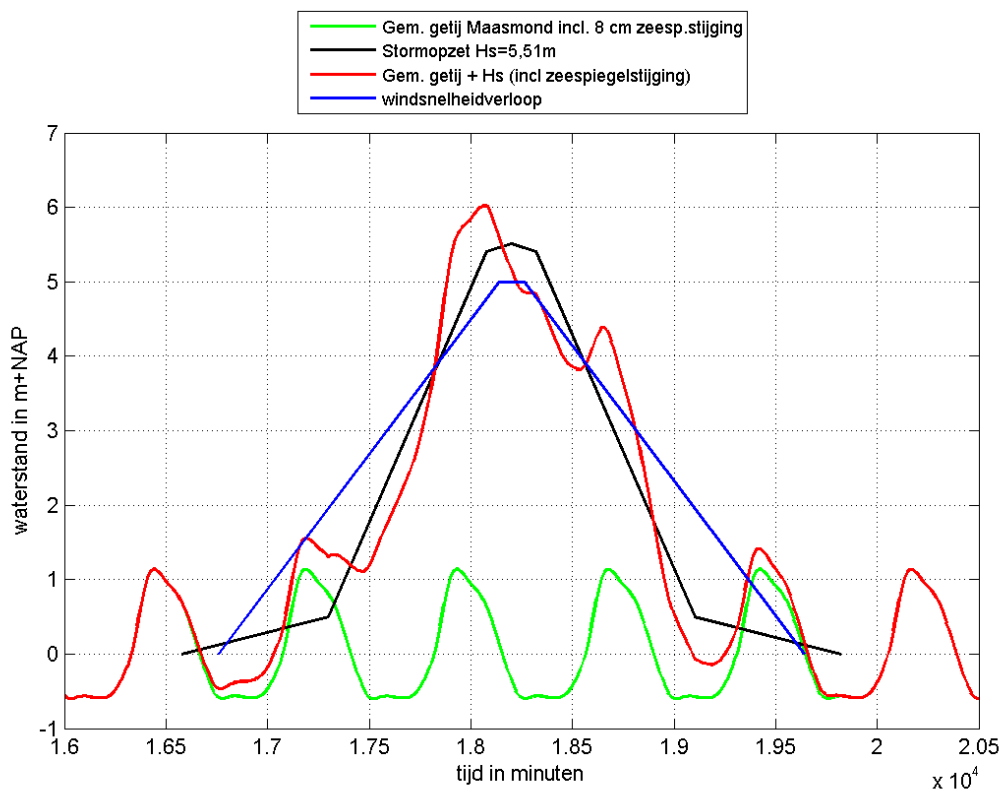
Stormvloedreeksen zijn gegenereerd door in hoogte variërende stormopzetten te superponeren op het getij (inclusief de 10,5 cm zeespiegelstijging). Voor deze in hoogte variërende stormvloeden zijn verschillende waarden voor de maximale stormopzethoogte (Hs) afgeleid. Deze afleiding is uitgevoerd door in stappen van 0,1 m stormopzethoogte te bepalen wat bij die waarde de maximale waterstand bij de Maasmond is. Daarmee is dus een relatie bepaald tussen de maximale stormopzethoogte en de maximale waterstand bij de Maasmond.

Uitwerking

Tabel 3.4 geeft per stochastcombinatie de uitwerking tot de waterstand op de zeerand. Als voorbeeld is in Figuur 3.4 het verloop van de stormopzet, het getij en windsnelheid getoond bij een stormopzet van 5,51 m. Als basis hanteren we de getijreeksen uit WTI2011, dus met 8 cm zeespiegelstijging. De 2,5 cm extra stijging is uiteindelijk opgeteld nadat de stormopzet is gesuperponeerd op de getijreeks.

Wind-richting (sector)	Getij vermeerderd met 8 cm zeespiegelrijzing	Stormopzet-hoogte Hs [m]	Duur Ts (0,5 m) [h]	Duur Ts (flank) [h]	Fase Fs [h]	Zeestand Maasmond [m+NAP]	
						8 cm zeesp. stijging	10,5 cm zeesp. stijging
Oostelijk	Springtij	0,00	0	0	0	1,33	1,36
Westelijk	Gem. tij	0,00	30	12	-4,5	1,13	1,16
		1,07				2,02	2,04
		2,29				3,02	3,04
		3,44				4,02	4,04
		4,48				5,02	5,04
		5,51				6,02	6,04
		6,51				7,02	7,04
		7,51				8,02	8,04

Tabel 3.4 Bepaling waterstanden op zeeranden.



Figuur 3.4 Relatie stormopzet, getij voor Maasmond en het windverloop. De rode lijn is de waterstand die als randvoorwaarde voor de Maasmond wordt gebruikt in de berekeningen.

3.5 Rivierafvoeren

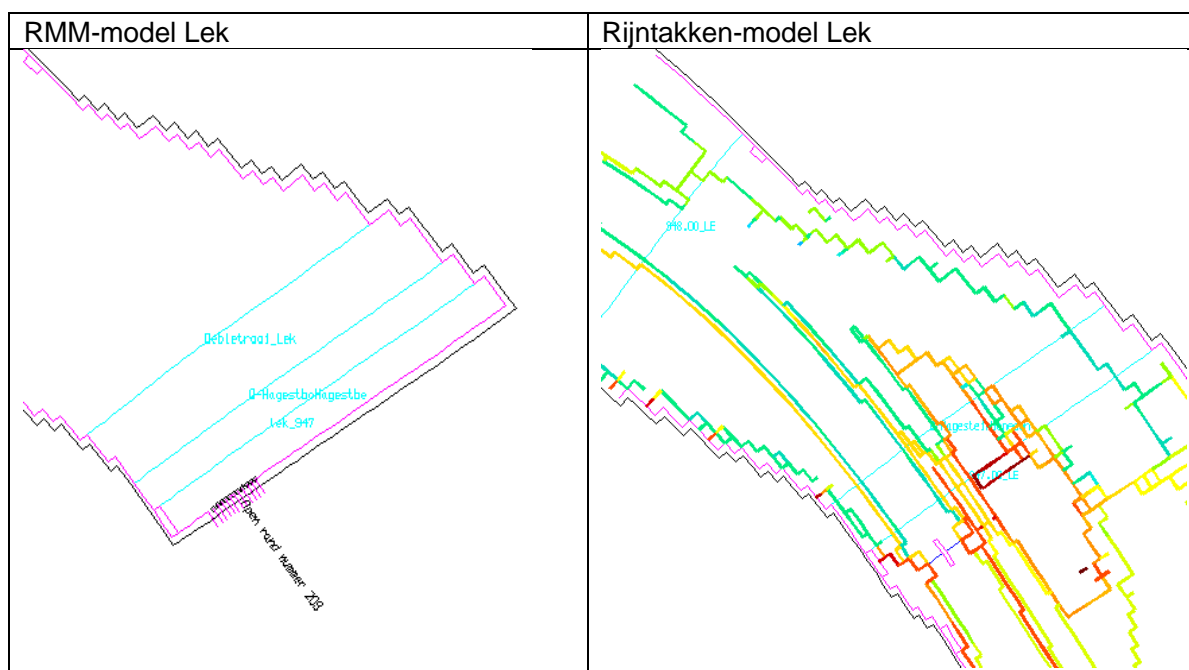
De stochastwaarden uit Tabel 3.1 dienen te worden vertaald naar de bovenstroomse randen van het RMM-model.

Voor deze vertaling gebruiken we resultaten van de productieberekeningen van de Bovenrivieren (Deltares 2015b), aangevuld met enige extra berekeningen voor het hoge en lage afvoerbereik. In deze paragraaf wordt allereerst beschreven wat de relatie is tussen locaties van de open randen in het RMM-model en de beschikbare afvoerraaien in de modellen voor de Bovenrivieren. Daarna worden de rivierafvoeren afgeleid.

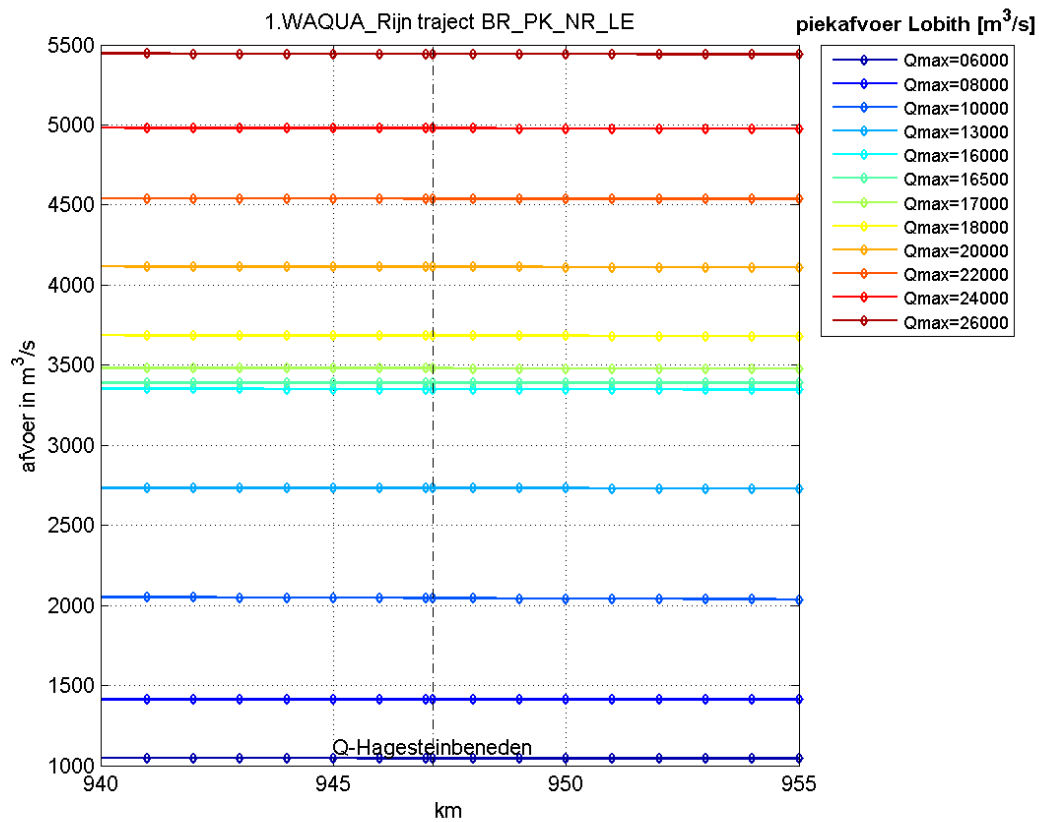
3.5.1 Relatie randen RMM-model en afvoerraaien modellen Bovenrivieren

Locatie rand Lek

Figuur 3.5 geeft de locatie van de bovenrand op de Lek in het RMM-model (links) en de overeenkomstige locatie in het Rijntakken-model (rechts). De bovenrand voor de Lek in het RMM-model ligt benedenstrooms van stuw Hagestein. Daarom hanteren we voor het bepalen van de afvoer ter plaatse van de bovenrand van het RMM-model de afvoerraai 'Q-Hagesteinbeneden', zie ook Figuur 3.6.



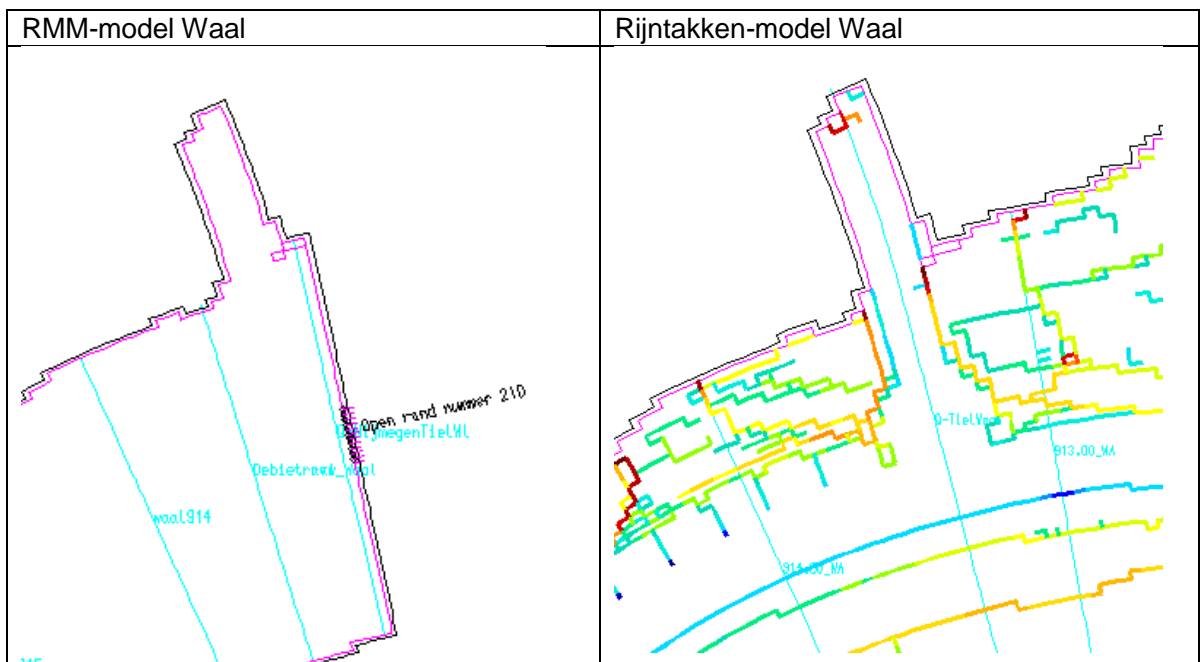
Figuur 3.5 RMM-modelrand Lek (links) en uitsnede uit Rijntakken-model (rechts).



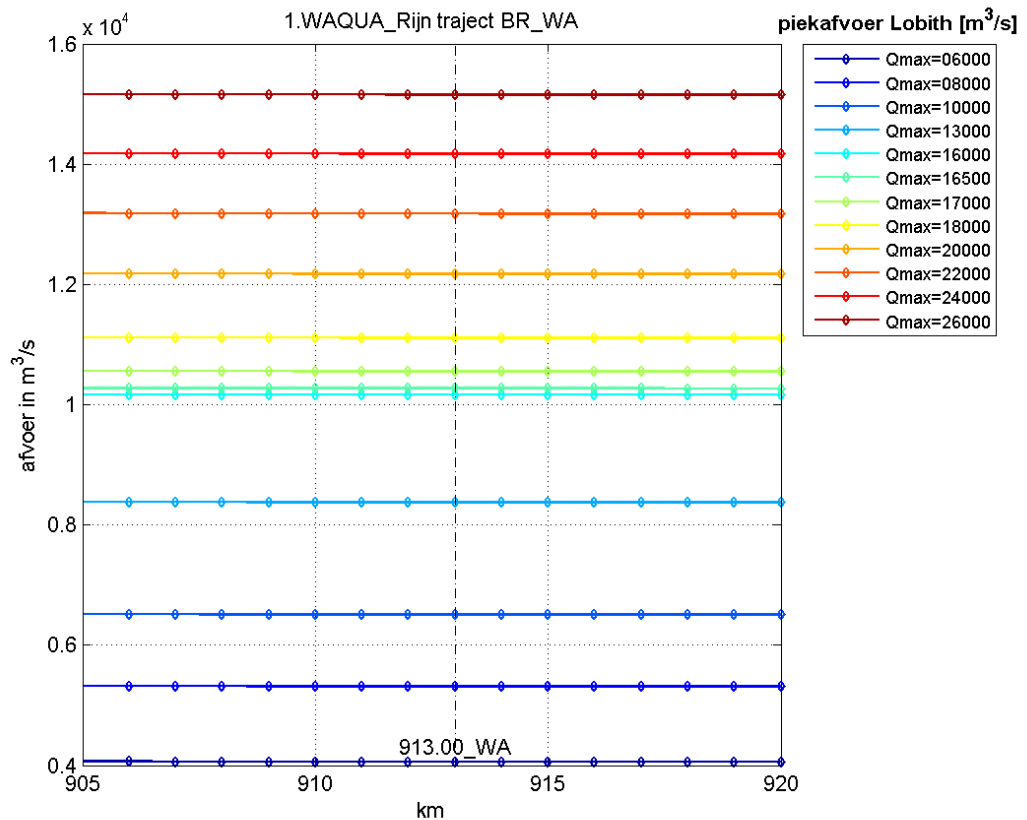
Figuur 3.6 Afvoer Rijntakkenmodel ter plaatse van Q-Hagesteinbeneden. ('max13')

Locatie rand Waal

Figuur 3.7 geeft de locatie van de bovenrand op de Waal in het RMM-model (links) en de overeenkomstige locatie in het Rijntakken-model (rechts). De bovenrand van het RMM-model ligt ter hoogte van Tiel (nabij km913). Omdat de afvoerraai Q-TielWaal ook doorloopt in het Amsterdam-Rijnkanaal, is uitgegaan van cross-sectie 913.00_WA voor het bepalen van de afvoer ter plaatse van de bovenrand van het RMM-model, zie ook Figuur 3.8.



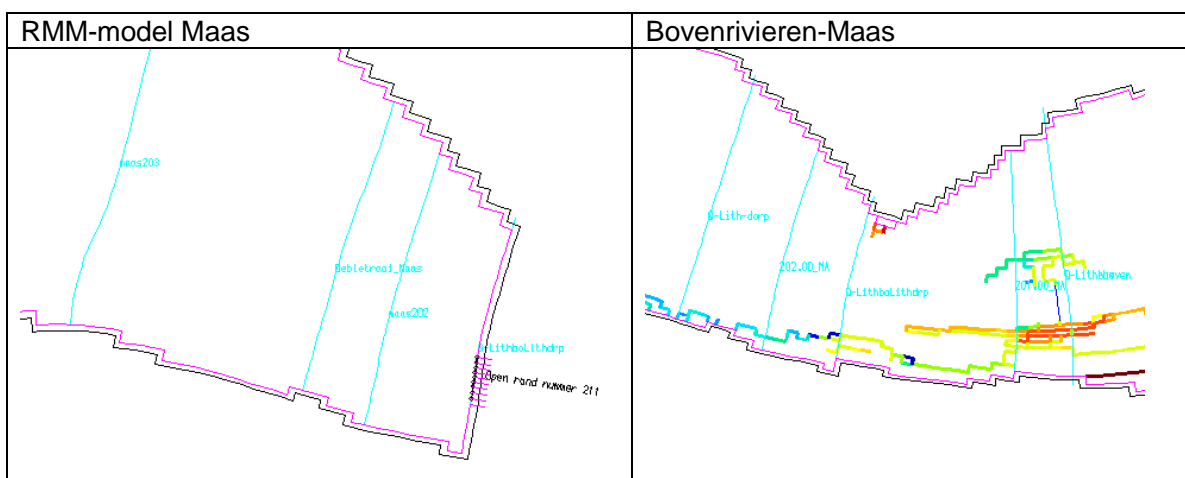
Figuur 3.7 RMM-modelrand Waal (links) en uitsnede uit Rijntakken-model (rechts).



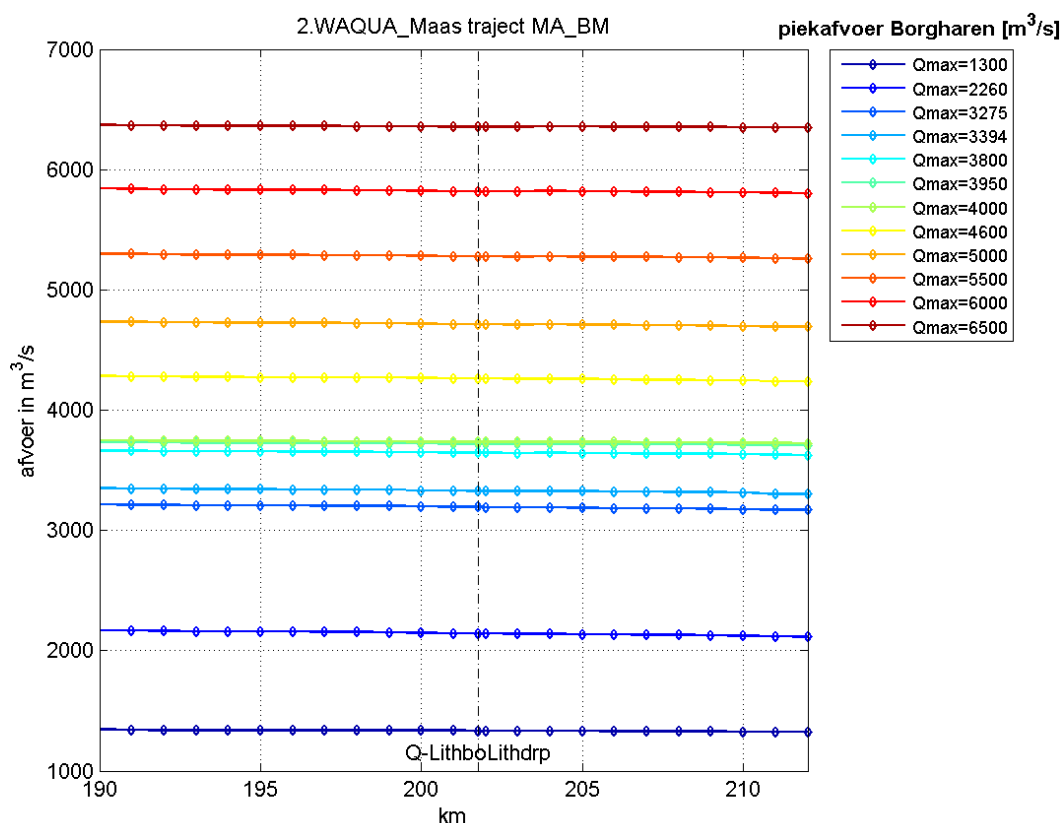
Figuur 3.8 Afvoer Rijntakkenmodel ter plaatse van 913.00_WA ('max13').

Locatie rand Maas

Figuur 3.9 geeft de locatie van de bovenrand op de Maas in het RMM-model (links) en de overeenkomstige locatie in het Bovenrivieren-Maasmodel (rechts). De bovenrand van het RMM-model ligt ter hoogte van Lith, benedenstrooms van de stuw. De afvoerraai 'Q-LithboLithdrp' valt samen met de bovenrand van het RMM-model. Deze afvoerraai is ook beschikbaar in het Maasmodel; daarom is uitgegaan van de afvoer door deze raai voor het bepalen van de afvoer ter plaatse van de bovenrand van het RMM-model, zie ook Figuur 3.10.



Figuur 3.9 RMM-modelrand Maas (links) en uitsnede uit Maas-model (rechts).



Figuur 3.10 Afvoer Maasmodel ter plaatse van Q-LithboLithdrp ('max13').

3.5.2 Afleiding rivierafvoeren

De rivierenafvoeren op de bovenstroomse modelranden van het RMM-model zijn bepaald op basis van de WTI2017 productieberekeningen voor de Bovenrivieren (Deltares, 2016a,b). Tabel 3.5 geeft voor de Rijntakken-berekeningen de berekende afvoer ('max13'-waarde) ter plaatse van Lobith en de rivier randen van het RMM-model. Omdat de productieberekeningen niet het gehele voor de RMM benodigde afvoer bereik afdekken, zijn extra berekenen uitgevoerd met het Rijntakken-model. Voor afvoeren bij Lobith van 4.000 en 26.000 m³/s zijn extra berekeningen uitgevoerd met afvoergolven; voor een afvoer bij Lobith van 2.000 m³/s is gerekend met een constante afvoer bij Lobith (daar is de afvoer bepaald op basis van last25, voor de overige op basis van 'max13').

RMM-Stochast Lobith	Rijnafvoer bij Lobith Q-Lobith, 'max13'	Waal 913.00_WA, 'max13'	Lek Q-Hagesteinbeneden, 'max13'
2.000	2.000	1.453	235
4.000	4.002	2.737	702
6.000	6.001	4.062	1.045
8.000	7.983	5.314	1.413
10.000	9.997	6.511	2.045
13.000	13.000	8.376	2.732
16.000	16.006	10.171	3.350
16.500	16.502	10.273	3.390
17.000	17.002	10.555	3.480
18.000	18.002	11.111	3.684
20.000	20.001	12.175	4.113
22.000	22.003	13.177	4.539
24.000	23.998	14.172	4.978
26.000	26.000	15.155	5.443

Tabel 3.5 Afvoeren ter plaatse van de RMM-rand uit berekeningen met het Rijntakkenmodel.

Tabel 3.6 geeft voor de Maas-berekeningen de berekende afvoer ('max13'-waarde) ter plaatse van Borgharen (voor wel-overstroombare Maaskaden) en de stuw bij Lith (voor wel- en niet overstroombare Maaskaden), als functie van de Bovenrivier-stochast, zoals die zijn gebruikt ten behoeve van de productieberekeningen voor de Maas (Bovenrivier-stochast, zie Deltares, 2016b). Voor afvoeren bij Borgharen van 222, 729 en 1.235 m³/s zijn extra berekeningen uitgevoerd met het Maas-model; de eerste 2 genoemde afvoeren met constante afvoer, de hoogste met een afvoergolf op de bovenrand (ook hier is de in de tabel genoemde afvoer voor constante afvoer bepaald op basis van last25, bij afvoergolven op basis van 'max13').

Tot aan een afvoer bij Borgharen van 3.394 m³/s is er nog geen effect zichtbaar van de Maaskaden. Het verschil tussen de afvoer bij Borgharen en Lith ontstaat onder invloed van lateralen en golfvorming. Vanaf een afvoer bij Borgharen van 3.800 m³/s is de afvoer bij Lith bij de situatie met niet-overstroombare Maaskaden door een kleiner beschikbaar inundatieoppervlak groter dan de situatie met wel-overstroombare Maaskaden. Bij de hoogste afvoeren en niet-overstroombare Maaskaden is de afvoer, ondanks de laterale toestromingen, bij Lith zelfs groter dan bij Borgharen. Bij wel-overstroombare Maaskaden is dat niet het geval, met name door grootschalige inundatie.

Maas Bovenrivier- stochast Q_Borgharen	Maasafvoer bij Borgharen Q-Borgharen 'max13' Overstroombare Maaskaden	Q-LithboLithdrp Overstroombare Maaskaden 'max13'	Q-LithboLithdrp Niet overstroombare Maaskaden 'max13'
222	222	377	#N/A
729	729	884	#N/A
1.235	1.232	1.284	#N/A
1.300	1.297	1.336	1.336
2.260	2.263	2.144	2.144
3.275	3.277	3.194	3.193
3.394	3.395	3.328	3.327
3.800	3.758	3.645	3.768
3.950	3.939	3.720	3.898
4.000	3.992	3.736	3.950
4.600	4.595	4.265	4.563
5.000	4.999	4.714	4.979
5.500	5.500	5.279	5.497
6.000	5.990	5.820	6.002
6.500	6.498	6.356	6.524

Tabel 3.6 Afvoeren ter plaatse van de RMM-rand volgend uit berekeningen met het Maasmodel.

De informatie uit Tabel 3.5 en Tabel 3.6 vormt de basis om de rivierafvoeren van de Waal, Lek en Maas te bepalen, als functie van de stochastwaarde in Tabel 3.1. Voor zowel de Rijn als de Maas is er verschil tussen de stochastwaarde en de berekende maximale afvoer ter plaatse van Lobith respectievelijk Borgharen. Dat komt enerzijds door het gebruik van 'max13' voor het bepalen van de afvoer door een cross-sectie, maar vooral bij de Maas met overstroombare Maaskaden door inundatie rond Maastricht (zie Deltares, 2016b). Uiteindelijk is het doel om per berekening van het RMM gebied een koppeling te maken met de stochastwaarde bij Borgharen en dus de statistiek bij Borgharen. Daarom is voor de vertaalslag van de stochastwaarden naar de afvoer op de rand steeds uitgegaan van de stochastwaarde, en niet de berekende waarde uit het Bovenrivierenmodel. Voor de Maas is de situatie met overstroombare Maaskaden de basis, omdat dit de meest realistische benadering van de werkelijkheid is, en de situatie met niet-overstroombare Maaskaden per definitie (te) conservatief is.

Het resultaat is gegeven in Tabel 3.7. Voor de laagste RMM-afvoer (een afvoer bij Lobith van 600 m³/s en bij Borgharen van 55 m³/s) zijn geen extra berekeningen uitgevoerd. Voor de Rijntakken betreft deze afvoer een volledig gestuwde rivier met een spuidebiet door de Lek. Voor deze situatie is verondersteld dat de waarden uit WTI2011 voldoende nauwkeurig zijn en zijn daarom overgenomen. Voor de Maas geldt hetzelfde en is de afvoer uit WTI2011 overgenomen.

Stochasten		• RMM randen		
Q_Lobith	Q_Borgharen	Q_Waal*	Q_Lek	Q_Maas
		913.00_WA	Q_Hagestein	Q_Lith
600	55	550	25	55
2.000	222	1.453	235	377
4.000	729	2.737	702	884
6.000	1.235	4.062	1.045	1.284
8.000	1.742	5.314 (10)	1.413	1.708
10.000	2.248	6.511 (2)	2.045	2.134
13.000	3.008	8.376 (0)	2.732	2.918
16.000	3.768	10.171 (-3)	3.350	3.620
16.500	3.895	10.273 (-1)	3.390	3.693
17.000	4.022	10.555 (-1)	3.480	3.755
18.000	4.275	11.111 (-1)	3.684	3.978
20.000	4.782	12.175 (-1)	4.113	4.469
22.000	5.289	13.177 (-2)	4.539	5.041
24.000	5.769	14.172 (1)	4.978	5.570
26.000	6.303	15.155 (0)	5.443	6.145

* toen de productieberekeningen reeds in gang waren gezet, is de afvoer op de Waal op een andere wijze gerelateerd aan de waarden uit de Bovenrivieren-berekeningen. De daadwerkelijk in WAQUA gebruikte afvoeren wijken daarom iets af (getal tussen haakjes) van de waarden in deze tabel; bij een afvoer van 8.000 m³/s bij Lobith is de waarde in WAQUA 5.324 m³/s, i.e. 10 m³/s te hoog. Dit heeft slechts marginale invloed op de berekende waterstanden.

Tabel 3.7 Samenvatting afvoeren (in m³/s) ter plaatse van de RMM-randen conform resultaten Bovenrivieren.

3.6 Laterale toestromingen

Het Wilhelminakanaal is representatief voor de afvoer van de Amertak, de Donge en het Wilhelminakanaal samen. Binnen WTI2011 is echter besloten de lozing van het Wilhelminakanaal niet mee te nemen en dit uitgangspunt is overgenomen in WTI2017. Volgens De Deugd (2007) is het niet noodzakelijk om zijdelingse toestroming in het benedenrivierengebied, met uitzondering van de Maas en Nederrijn/Lek, in de berekeningen voor de hydraulische randvoorwaarden mee te nemen. De in het RMM-model opgenomen laterale toestromingen op de Maas en Lek zijn weergegeven in Tabel 3.8. Deze laterale toestromingen zijn, in de overlappende delen, ook opgenomen in WAQUA-schematisaties van de Bovenrivieren.

Locatie (naamgeving WTI2011)	• Locatie (naamgeving WTI2017)	• P# in WAQUA RMM	Rivierlocatie (globaal)
Getymas1	Quarles gemaal	P766	Maas km 207.0
Getymas2	Gewande gemaal	P730	Maas km 210.0
Getymas3	Dieze	P727	Maas km 220.1
Getymas4	Drongelens kanaal	P719	Maas km 235.3
Lek__1	Lek__1 (Lopikerwaard)	P803	Lek km 965.0
Lek__2	Lel__2 (Bergambacht)	P802	Lek km 986.9

Tabel 3.8 Laterale toestromingen in RMM-model.

Voor wat betreft laterale toestromingen zijn ten opzichte van WTI2011 geen nieuwe inzichten. Daarom zijn, voor zover dat mogelijk is, de laterale toestromingen voor bovengenoemde locaties 1-op-1 overgenomen uit WTI2011 (Rijndominant), zie Tabel 3.9.

Lobith-afvoer	Afvoer Hagestein	LEK__1	LEK__2	Afvoer Lith	Quarles-gemaal	Gewande-gemaal	Dieze	Drongelens_kanaal
600	25	0,00	0,00	55	0,10	0,00	5,20	5,20
2.000	308	0,50	0,80	217	0,30	0,00	9,20	9,20
4.000	750	1,80	3,30	687	1,20	0,00	25,60	34,00
6.000	1.158	1,80	3,30	687	1,20	0,00	25,60	34,00
10.000	2.077	3,30	5,30	1.156	2,10	8,70	0,40	68,70
13.000	2.747	4,50	6,60	1.626	2,80	16,60	0,00	75,30
16.000	3.376	5,00	7,20	3.504	3,70	18,60	0,00	103,50
18.000	3.798	5,80	8,30	3.974	4,20	19,90	0,00	117,90

Tabel 3.9 Laterale toestromingen WTI2011, Rijndominant. Afvoeren zijn in m³/s.

Voor het hoogste afvoerbereik (20.000 m³/s en hoger) is dit echter niet mogelijk. Voor die afvoeren zijn de laterale toestromingen gebaseerd op resultaten uit berekeningen voor de Bovenrivieren. Omdat de productieberekeningen van de Bovenrivieren zijn uitgevoerd met afvoergolven is een tussenstap nodig: het bepalen van de laterale toestroming op het moment van maximale waterstand. Dit moment is beschikbaar door uit de simona-boxfile 'sepmxtim' per lateraal het tijdstip van maximale waterstand uit te lezen op basis van de m,n-coördinaat uit Tabel 3.10. Vervolgens is voor dit moment de laterale afvoer bepaald uit de randvoorwaarden van het Bovenrivierenmodel (Tabel 3.11 en Tabel 3.12).

Locatie (naamgeving WTI2011)	• Locatie (naamgeving WTI2017)	• (m,n)-coördinaat in WAQUA-model Bovenrivieren
Getymas1	Quarles gemaal	82, 4894 (Maas)
Getymas2	Gewande gemaal	70, 5127
Getymas3	Dieze	72, 5314
Getymas4	Drongelens kanaal	75, 5669
Lek__1	Lek__1 (Lopikerwaard)	258, 2874 (Rijntakken)
Lek__2	Lek__2 (Bergambacht)	254, 3406

Tabel 3.10 Coördinaten van lateralen in Bovenrivierenmodellen.

Rivierafvoer [m ³ /s]		Laterale toestromingen Rijntakken-model op het moment van maximale waterstand [m ³ /s]	
Lobith, stochastwaarde	Hagestein, last25/max13	LEK_1	LEK_2
600	25	0,00	0,00
2.000	235	1,70	4,85
4.000	702	1,50	4,28
6.000	1.045	1,92	4,51
8.000	1.413	2,68	4,91
10.000	2.045	3,74	5,38
13.000	2.732	4,32	6,17
16.000	3.350	4,86	6,93
16.500	3.390	4,77	6,83
17.000	3.480	4,98	7,11
18.000	3.684	5,14	7,34
20.000	4.113	5,47	7,81
22.000	4.538	5,79	8,28
24.000	4.978	6,12	8,73
26.000	5.443	6,43	9,23

Tabel 3.11 Laterale toestromingen bepaald uit WTI2017 productieberekeningen voor de Rijntakken (Deltares, 2016a).

Rivierafvoere[m ³ /s]		Laterale toestromingen Maas-model op het moment van maximale waterstand [m ³ /s]			
Borgharen, stochastwaarde	Lith, last25/max13	Quarles-gemaal	Gewande-gemaal	Dieze	Drongelens_kanaal
222	377	1,53	3,57	55,22	14,27
729	884	1,53	3,57	52,96	15,69
1.235	1.284	1,53	3,57	38,33	31,94
1.300	1.336	1,53	3,57	35,59	34,75
2.260	2.144	1,57	6,16	0,04	70,22
3.275	3.194	2,56	14,72	-0,02	69,46
3.394	3.328	2,69	15,03	-0,03	75,89
3.800	3.645	3,07	16,13	-0,03	99,25
3.950	3.720	3,18	16,54	-0,06	105,83
4.000	3.736	3,22	16,68	-0,06	107,65
4.600	4.265	3,38	17,13	-0,01	117,59
5.000	4.714	3,78	18,83	-0,01	128,79
5.500	5.279	4,31	21,56	-0,03	144,16
6.000	5.820	4,86	24,49	-0,04	165,24
6.500	6.356	5,43	27,46	-0,05	186,91

Tabel 3.12 Laterale toestromingen bepaald uit WTI2017 productieberekeningen voor de Maas (overstroombare Maaskaden) (Deltares, 2016b).

De resulterende laterale toestromingen (inclusief rivierenafvoeren) voor de WTI2017 RMM-productieberekeningen zijn weergegeven in Tabel 3.13. Voor de Lek is gebruik gemaakt van informatie uit het Rijntakkenmodel voor Lobithafvoeren groter of gelijk aan 20.000 m³/s; voor het Maasmodel voor Lobith afvoeren groter of gelijk aan 18.000 m³/s.

Rivierafvoeren [m ³ /s]				Laterale toestromingen [m ³ /s]					
Lobith	Waal bij km 913	Lek bij Hagestein	Maas bij Lith	LEK__1	LEK__2	Quarles-gemaal	Gewande-gemaal	Dieze	Dronge lens_kanaal
600	550	25	55	0,0	0,0	0,1	0,0	5,2	5,2
2.000	1.453	235	377	0,4	0,6	0,5	0,0	13,1	13,1
4.000	2.737	702	884	1,1	2,0	1,0	0,0	22,7	26,2
6.000	4.062	1.045	1.284	1,6	3,0	1,3	0,8	23,4	38,8
8.000	5.314	1.413	1.708	2,2	3,9	1,8	4,0	14,5	54,4
10.000	6.511	2.045	2.134	3,2	5,2	2,1	9,1	0,4	69,1
13.000	8.376	2.732	2.918	4,5	6,6	3,0	16,9	0,0	80,0
16.000	10.171	3.350	3.620	5,4	7,7	3,8	18,9	0,0	107,1
16.500	10.273	3.390	3.693	5,4	7,7	3,9	19,1	0,0	109,3
17.000	10.555	3.480	3.755	5,5	7,8	4,0	19,3	0,0	111,2
18.000	11.111	3.684	3.978	5,7	8,1	3,3	16,9	0,0	112,2
20.000	12.175	4.113	4.469	5,5	7,8	3,6	17,9	0,0	122,7
22.000	13.177	4.539	5.041	5,8	8,3	4,1	20,4	0,0	137,7
24.000	14.172	4.978	5.570	6,1	8,7	4,6	23,1	0,0	155,5
26.000	15.155	5.443	6.145	6,4	9,2	5,2	26,3	0,0	178,4

Tabel 3.13 Rivierafvoeren en lateralen voor WTI2017 productieberekeningen. Zwarte getallen: overgenomen uit WTI2011; rode getallen: waarden bepaald op basis van WTI2017 productieberekeningen voor de Bovenrivieren.

3.7 Randvoorwaarden saliniteit

Op de (zoute) zeeranden wordt een (maximale) saliniteit opgelegd van 31 kg/m³ bij Maasmond en 34 kg/m³ bij de monding van het Haringvliet.

De zeeranden zijn geschematiseerd als zogenaamde Thatcher-Harleman-randvoorwaarden. Dit type randvoorwaarde gaat tijdens de uitstroomfase uit van de door het model berekende concentraties, waarna tijdens de instroomfase de concentratie over een (opgegeven) periode (time lag) van 1 ½ uur met een sinusfunctie verloopt vanaf de laatst berekende concentratie (aan het einde van de uitstroomfase) tot aan de opgegeven (maximale) randvoorwaarde concentratie. Tijdens de rest van de instroomfase blijven de randvoorwaarden op deze constante concentratie.

Op de (zoete) rivieranden zijn saliniteiten van 0,2 kg/m³ opgelegd. Er is aangenomen dat deze concentraties constant in de tijd en onafhankelijk van het afvoerniveau zijn.

3.8 Stuwen

In het RMM-model bevinden zich geen stuwen (zie ook paragraaf 3.5).

3.9 Initiële condities

De berekeningen met het RMM-model verschillen in twee belangrijke opzichten van rivierberekeningen: de aanwezigheid van het getij en het zoute zeewater. Beide stellen specifieke eisen, niet alleen aan de invoer (siminp-files), maar ook aan de beginvoorwaarden. In zeeën en estuaria kan voor waterstanden de duur van een inspeelperiode kort zijn: enkele getijden zijn meestal voldoende. Het inspelen van zout duurt echter veel langer, afhankelijk van de vorm van het estuarium en het rivierdebiet. De ervaring (OSR, Zeedeltamodel) heeft geleerd dat voor de Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas etc. een week nodig is. In principe wordt daarom uitgegaan van een minimum inspeelperiode van 10 dagen.

De windopzet op zee en de wind worden als een ongeveer 2 dagen durende gebeurtenis pas in een latere fase in de berekening als randvoorwaarde aan het model toegevoegd (zie paragraaf 3.4). De berekening wordt gestart met op zee het (astronomisch) getij, zonder wind. Daarom hoeft tijdens het inspelen geen rekening gehouden te worden met opzet en wind. De enige parameter, waarvoor bij het inspelen wel rekening moet worden gehouden, is dan de rivierafvoer. Per afvoersituatie dienen hydraulisch, maar vooral ook voor de saliniteit, ingespeelde berekeningen beschikbaar te zijn, waarop de productieberekeningen kunnen doorstarten.

Het proces tot het genereren van initiële condities verloopt als volgt (N.B. alle genoemde tijden in minuten):

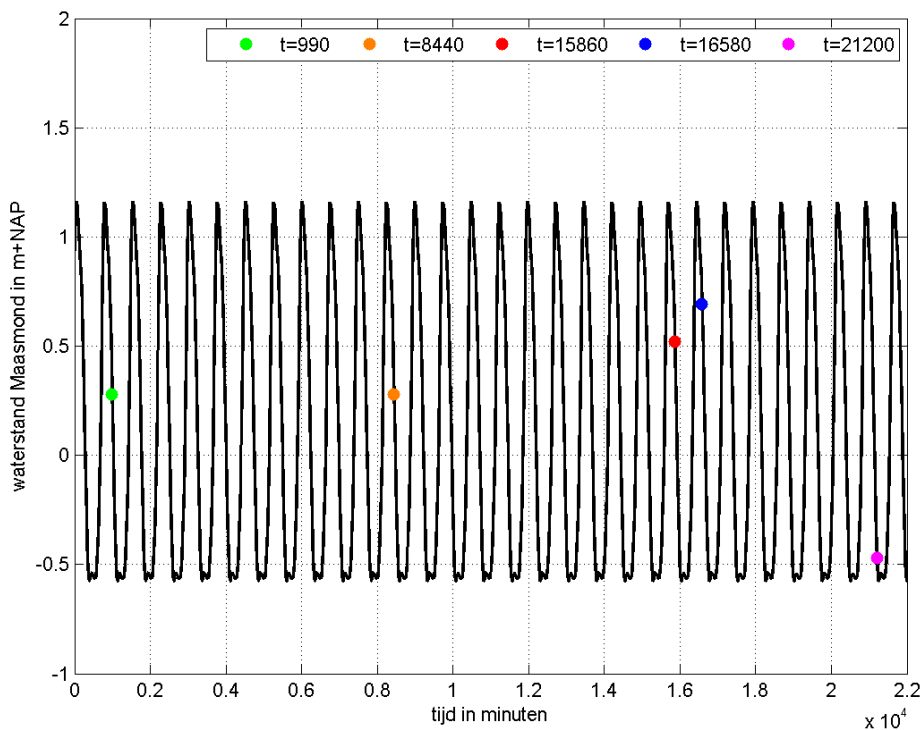
- 1 Voor de productieberekeningen is het van belang dat de plassen initieel goed gevuld zijn. Dit is het geval in de toegeleverde initiële condities behorende bij een situatie met lage rivierafvoeren (600 m³/s bij Lobith, 50 m³/s bij Eijsden), die zijn meegeleverd met de WAQUA-schematisatie (paragraaf 2.1). Dit resulteert in afvoeren op de Lek, Waal en Maas van respectievelijk 25 m³/s (Hagestein), 550 m³/s (Tiel) en 55 m³/s (Lith). Deze initiële condities vormen daarom het startpunt voor het genereren van de initiële condities. Er is een reeks van 15 berekeningen uitgevoerd waarbij de afvoer stapsgewijs toeneemt. Dit is gedaan bij tien dagen getij met respectievelijk 1,16 en 1,36 m+NAP als maximale zeewaterstand.
- 2 Uit stap 1 zijn voor alle Lobithafvoeren (alleen Rijndominant wordt beschouwd) box-files met waterstanden/snelheden beschikbaar die passen bij een waterstand van 0,28 m+NAP (t=990) bij de Maasmond in het neergaande gemiddelde tij en -0,435 m+NAP (t=1050) bij de Maasmond in het neergaande springtij. Op deze tijdstippen starten de hydraulische inspeelberekeningen. De hydraulische inspeelberekeningen lopen voor alle rivierafvoeren van t=990 (gemiddeld tij) of t=1050 (springtij) tot t=8440. Dit resulteert in 2*15 hydraulische inspeelberekeningen ten behoeve van de saliniteit.
- 3 Voor alle berekeningen is gecontroleerd dat het waterstandsveld op t=990/1050 overeenkomt het met het waterstandsveld op t=8440.
- 4 De voorgaande stap levert box-files (voor waterstanden en snelheden) voor het inspelen van saliniteit. Deze berekeningen lopen van t=990/1050 tot t=15860. Op dit laatste genoemde tijdstip wordt een SDS-restartmoment gedefinieerd. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor alle rivierafvoeren wat resulteert in 2*15 saliniteit inspeelberekeningen.
- 5 Met behulp van deze restart wordt een korte berekening uitgevoerd van t=15860 tot t=16580, met aan het einde wederom een SDS-restartmoment. Doel van deze berekening is om voor de productieberekeningen een SDS-restartfile te genereren die zo klein mogelijk is. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor alle rivierafvoeren wat resulteert in 2*15 berekeningen.
- 6 In de testfase (april 2015) is gebleken dat restarten vanuit een SDS-file problemen geeft met tijdseries van barriers (inconsistentie tussen wijze waarop het Keringenscript tijden wegschrijft en SIMONA deze tijden interpreteert). Daarom zijn op basis van de SDS-restart-berekening (zie stap 5) boxfiles weggeschreven voor waterstand, snelheid(u,v) en saliniteit. Deze bestanden zijn gebruikt als initiële conditie voor de productieberekeningen. Deze berekeningen worden uitgevoerd voor alle rivierafvoeren wat resulteert in 2*15 initiële productieberekeningen.
- 7 Droge cellen bevatten waarden '-999' voor droge/inactieve punten in de files met initiële stroomsnelheden. Het kan echter zijn dat er op een 'droge cel' toch water is achtergebleven door numerieke instellingen. Onder specifieke omstandigheden kan dit bij het doorstarten van een berekening op een boxfile leiden tot grote stroomsnelheden (van [-]999 m/s) bij een kleine waterdiepte, wat tot onrealistische afvoeren kan leiden.

Daarom zijn in de boxfiles voor snelheid de waarden '-999' vervangen door 0. Verder zijn negatieve saliniteiten uit de boxfiles verwijderd.

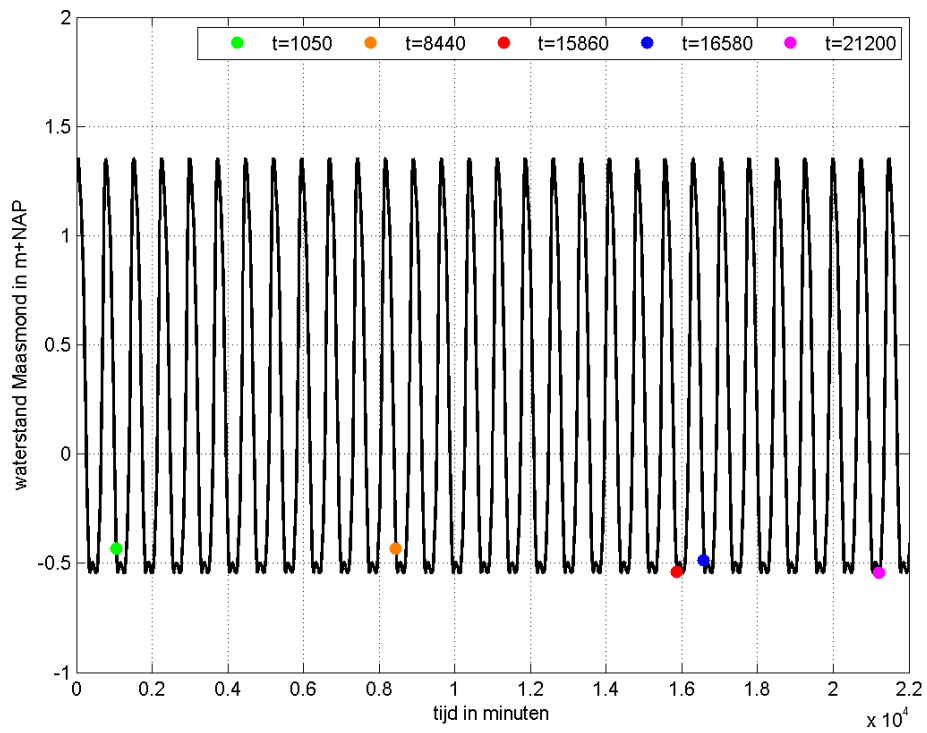
De uitgevoerde berekeningen voor het genereren van initiële condities zijn (met gelijke nummering van de stappen) te vinden in het data-archief: [DATA-ARCHIEF]3.RMM\2.Initiele_velden_en_randvoorwaarden\1.Waterstanden\[1-7].

De eigenlijke productieberekeningen gebruiken de box-files uit stap 7) als initiële conditie en lopen van $t=16.580$ tot 21.200 minuten.

De diverse restartmomenten zijn grafisch weergegeven in Figuur 3.11 (gemiddeld tij, voorbeeld bij maximale waterstand Maasmond van $1,16$ m+NAP) en Figuur 3.12 (springtij, maximale waterstand Maasmond van $1,36$ m+NAP).



Figuur 3.11 Tijddefinitie van restartmomenten op het gemiddeld tij.



Figuur 3.12 Tijdefinities van restartmomenten op het springtij.

4 Werkwijze uitvoeren productieberekeningen

4.1 Testfase

Voorafgaand aan het uitvoeren van de productieberekeningen heeft RHDHV eind 2014 testberekeningen uitgevoerd, zie paragraaf 2.1. Daarbij is ook de modelschematisatie (inclusief uitvoerlocaties) gecontroleerd. Op basis van de bevindingen zijn door Deltares aanpassingen doorgevoerd aan de modelschematisatie en het Keringenscript. Daarom is de fase van het uitvoeren van de productieberekeningen gestart met een testfase, waarbij dezelfde testset, aangevuld met de oostelijke windsector, nogmaals is doorgerekend met het aangepaste modelinstrumentarium. Deze testen hebben aanleiding geven tot een beperkt aantal aanpassingen aan de naamgeving van de locaties en het Keringenscript. De productieberekeningen zijn uiteindelijk allemaal uitgevoerd met twee modelschematisaties en twee versies van het Keringenscript (één voor zeepeilen (ZP) ZP116-504 en één voor ZP604-804, zie paragraaf 2.7).

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. Daarbij is de volgende naamgeving gehanteerd:

wRMM-Q01U00D360ZP116 ... wRMM-Q15U47D360ZP804

In deze naamgeving zijn de volgende afkortingen gebruikt:

- Q voor afvoer, gevolgd door een volgnummer voor de afvoerstochast,
- U voor windsnelheid, gevolgd door de (open water) windsnelheid in m/s (afgerond),
- D voor windrichting (360 = noord, 270 = west etc.),
- ZP voor zeepeil, i.e. de maximale waterstand (in cm+NAP) inclusief stormopzet bij de Maasmond.

Voor de RMM is het falen van de keringen niet opgenomen in de naamgeving van de berekeningen, omdat de eerste iteratie van het Keringenscript altijd de 'open' ofwel falende toestand is. Voor de situatie met geforceerd sluiten is een extra 'F' achter de naam van de berekening toegevoegd.

Met een basis siminp-file is voor alle stochastcombinaties, en voor ieder deeldomein (riv/gvz/zee) 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 Keringenscript: van Matlabscript naar executable

De WAQUA-berekeningen worden aangestuurd door het Keringenscript (paragraaf 2.7). Het Keringenscript is binnen SLA-KPP geprogrammeerd in Matlab. Om de productieberekeningen zonder Matlablicentie op Amazon te kunnen draaien is het Keringenscript met Matlab gecompileerd tot een standalone executable.

Voor niet-geforceerd sluiten zijn afhankelijk van het zeepeil (ZP) twee gecompileerde versies van het Keringenscript beschikbaar, welke (inclusief UNIT-test) zijn terug te vinden in het data-archief:

[DATA-ARCHIEF]\3.RMM\2.Initiele_velden_en_randvoorwaarden\
 1.Waterstanden\8.Test_prod_keringenscript\
 keringenscript_2015_05_18_L\ → ZP504 en lager
 keringenscript_2015_08_11_N\ → ZP604 en hoger

Er is een aantal aanpassingen nodig geweest om een standalone executable te maken, ten opzichte van het door Deltares uitgeleverde Keringenscript (N.B. in de nieuwste versie van het Keringenscript (v8) is een aantal van onderstaande punten niet meer nodig, maar voor de volledigheid is het volledige overzicht van de uitgevoerde aanpassingen gegeven):

- De variabelen die als parameters moeten worden meegegeven aan het script zijn gespecificeerd als 'varargin', om compilatie mogelijk te maken.
- Het oorspronkelijke script kent 2 invoerparameters: "berekening" en "afvoer". De eerste is de map waar de berekening in staat, de tweede de afvoer bij Lobith. Voor de productieberekeningen is dit uitgebreid naar 5 invoerparameters:
 - wdir: map van waaruit het Keringenscript wordt opgestart (nodig voor draaien gecompileerd script onder Windows)
 - berekening: map van de berekening
 - afvoer: afvoer bij Lobith
 - RMM_or_test: wordt gerekend met het RMM-model of een testmodel
 - time_interval: wegschrijffinterval histories in minuten (=tihistories) in WAQUA-berekening
- Om "diepe" functies mee te compileren zijn de volgende toevoegingen nodig:


```
% include three functions which are used in runcase(), using "%#function <naam>"
    %#function subs
    %#function get_series
    %#function post
    %#function qpfopen
```
- De parameter tstart in sluiting.m wordt gebruikt als index van een array. Wanneer TIHISTories (=Time_interval) groter is dan 1, kan tstart kleiner dan 0,5 worden, wat als index 0 oplevert en een foutmelding geeft. Dit is afgevangen door na de berekening van tstart(_sed) het volgende toe te voegen:


```
tstart = max(round(tstart),1); % voorkom index=0 error
tstart_sed = max(round(tstart_sed),1); % voorkom index=0 error
```
- In geval van compilatie mag de 'Delft3D-toolbox' *niet* toegevoegd worden in sluiting.m; dit moet gebeuren in de mcc-call (het compileren).
- Het Keringenscript wordt geleverd inclusief "Delft3D-toolbox". Deze toolbox draait niet goed onder linux64 omdat een aantal bestanden ontbreekt in Delft3D-toolbox\progsr\prv. De volgende bestanden zijn overgenomen uit [DATA-ARCHIEF]\7_oet_matlab\applications\delft3d_matlab\private\:
 - exepath.mexa64
 - reducepoints.mexa64
 - CloseSplashScreen.mexw64
 - reducepoints_r2007a_7p4.mexw64
 - writeavi.mexw64

- In runcase.m zijn enige wijzigingen doorgevoerd om het script ook in een test-omgeving te kunnen draaien met een zogenaamde “UNIT-test.

- Voor case ‘linux’

```
switch RMM_or_TEST

    case'RMM'

        <bestaande code>

    case 'TEST'

        copyfile ([simdir 'siminp.basecase'],[simdir 'siminp.' strcase]);
        copyfile ([simdir 'startscript.basecase'],[simdir 'startscript']);

        subs('#simcase#',strcase,[simdir 'siminp.' strcase]);
        subs('#simcase#',strcase,[simdir 'startscript']);

    end
```

- Voor case ‘pc’ de volgende wijzigingen:

```
simonadir = 'c:\Programs\simona2014\';
setenv ('UI_NAME' , 'win64');
command2 = ['start /wait waqpro.pl -runid ' strcase ' -back n -isddh n -npart 1];
```

Vervolgens is het Keringenscript op het h5 rekencluster van Deltares gecompileerd met Matlab 2013a (/opt/matlab/2013a) door het draaien van het volgende script:

```
close all;
clear classes;
clear all;

% Delft-3D-toolbox for reading SDS-files
addpath(genpath([ pwd filesep 'Delft3D-toolbox']))
%%addpath(genpath([ pwd filesep 'delft3d_matlab']))

mcc('-e',...
    '-v',...
    'sluiting', '-o', 'sluiting_lnx64_h5');
```

Het resultaat zijn twee bestanden:

- run_sluiting_lnx64_h5.sh (run-script)
- sluiting_lnx64_h5.sh (de eigenlijke executable)

Het Keringenscript wordt als volgt aangeroepen (voorbeeld voor Linux):

```
./run_sluiting_lnx64_h5.sh <mcrpath> . . 16000 RMM 1
```

Let op: voor productieberekeningen dus 2x een “punt”, omdat Wdir = Berekening = huidige directory met invoerbestanden.

Het run_*-script heeft 6 invoerparameters:

- <mcrpath> = path naar Matlab Compiler Runtime. Voor Matlab 2013a geldt MCR 8.1, welke op Amazon is geplaatst (zie Matlab handleiding hoe dit bereikt kan worden).
- 2x een “punt”, omdat wdir = berekening = huidige directory met invoerbestanden.
- Vervolgens de afvoer bij Lobith, RMM (of test) en time_interval.

De productieberekeningen met geforceerd sluiten zijn uitgevoerd nadat de overige productieberekeningen gereed waren. Daarbij is gebruik gemaakt van versie 6 van het Keringenscript (zie paragraaf 2.1). In deze versie is gebruik gemaakt van zogenaamde “key/value pairs” om variabelen in te stellen (zie Deltares, 2015). Daarmee is het Keringenscript veel flexibeler geworden. Om het script om te kunnen zetten naar een executable voor zowel windows als linux zijn alle variabelen opgenomen in “varargin” (zie hierboven). Onder windows wordt invoer vanaf de command-line standaard naar Matlab gezonden als string. Daarom zijn voor getallen de volgende regels toegevoegd aan de code:

```
if ischar(OPT.VAR); OPT.VAR = str2double(OPT.VAR); end;
```

Voor geforceerd sluiten is het gecompileerde keringenscript (inclusief UNIT-test) terug te vinden in het data-archief onder:

```
[DATA-ARCHIEF]\3.RMM\2.Initiele_velden_en_randvoorwaarden\  
1.Waterstanden\8.Test_prod_keringenscript\keringenscript_2015_11_04_Q\
```

Voor geforceerd sluiten is de aanroep van het keringenscript iets anders dan zonder geforceerd sluiten:

```
./run_sluiting_geforceerd_lnx64.sh <mcrpath> Qlobith 8000 forcedclosure true  
refscen <tekrun>
```

Waarbij <tekrun> het Muppet tek-bestand is voor het referentiescenario zonder stormopzet. Het toevoegen van 2x een ‘.’ na het mcrpath is niet meer nodig, omdat die waarden default worden ingesteld in het Keringenscript.

4.2.3 Benodigde bestanden voor een berekening

Iedere berekening bevat, voor het submitten van de berekening bij Amazon, de volgende bestanden (hier een voorbeeld voor berekening wRMM-Q06U43D225ZP304):

```
\barriers\hartel_onder_series.001  
\barriers\maeslant_boven_series.001  
\barriers\maeslant_onder_series.001  
\barriers\volkerak_spui_series.001  
apply_muppet.bat  
config_DD.basecase  
muppet.template  
RMM_FysContr_AMAZON  
run  
run_RMM_FysContr_AMAZON.sh  
run_sluiting_lnx64_amazon.sh  
si_constituent-col.riv-wRMM-Q06U00D360ZP116  
si_velocity-u.riv-wRMM-Q06U00D360ZP116  
si_velocity-v.riv-wRMM-Q06U00D360ZP116  
si_waterlevel.riv-wRMM-Q06U00D360ZP116  
siminp.gvz  
siminp.zee  
siminp.riv.basecase  
sluiting_lnx64_amazon  
startscript.basecase  
wRMM-Q06U43D225ZP304
```

Het bestand ‘run’ wordt gebruikt voor de aansturing van de berekening bij Amazon, waarbij de eigenlijke aansturing van de WAQUA-berekening wordt geregeld door het Keringenscript.

Zoals beschreven in paragraaf 4.2.2, is het Keringenscript gecompileerd tot een executable (sluiting_Inx64_amazon), die wordt aangestuurd door een runscript (run_sluiting_Inx64_amazon.sh) om de Matlab Compiler Runtime te initialiseren. Het bestand 'muppet.template' wordt door het Keringenscript gebruikt als template om tek/mup-files aan te maken, die kunnen worden omgezet in figuren met de post-processing-tool Muppet (eventueel aan te sturen met 'apply_muppet.bat'). Verder gebruikt het Keringenscript 'startscript.basecase', 'config_DD.basecase' en de siminp.*-bestanden als invoer voor de WAQUA-berekeningen. De bestanden in de map 'barriers' bevatten de stuurbestanden voor de keringen voor de eerste iteratie (geopende keringen) van het Keringenscript (het Keringenscript maakt deze bestanden ook opnieuw aan, maar zijn identiek).

Voor iedere berekening worden ook de initiële condities meegegeven voor het rekenen bij Amazon (si_*), zie paragraaf 3.9 voor details omtrent hoe deze initiële condities tot stand zijn gekomen.

Voor een berekening met geforceerd sluiten is één extra bestand nodig alvorens een berekening te submitten bij Amazon, namelijk de uitvoer van een berekening zonder stormopzet (ZP116), maar met wind, in de vorm van een tek-file:

```
results_001_wRMM-QXXU00D360ZP116.tek
```

4.3 Uitvoer van een berekening

Alle uitvoer is centraal opgeslagen in het data-archief:

```
[DATA-ARCHIEF]3.RMM4.Uitvoeren_productiesommen\1.Waterstanden\wRMM*
```

Een succesvol uitgevoerde berekening bevat naast de invoerbestanden (zie paragraaf 4.2.3) de volgende bestanden in het data-archief:

```
barriers.log
config_DD
data_<somid>_gvz_001.tar.gz
data_<somid>_gvz_<kitermax>.tar.gz
data_<somid>_riv_001.tar.gz
data_<somid>_riv_<kitermax>.tar.gz
data_<somid>_zee_001.tar.gz
data_<somid>_zee_<kitermax>.tar.gz
results_001-<kiter>.mup
results_001-<kiter>.tek
siminp.gvz
siminp.zee
siminp.riv.001-<kiter>
startscript
waqpre-m.gvz.001-<kiter>
waqpre-m.riv.001-<kiter>
waqpre-m.zee.001-<kiter>
waqpro-m.ddhor
<somid>.out
```

Waarbij <somid> de wRMM-id van de berekening is, <kiter> een iteratie van het Keringenscript en <kitermax> het maximaal aantal iteraties van het Keringenscript (kan ook gelijk aan 001 zijn en bestaat dan dus niet).

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 'data_*tar.gz'-bestanden bevatten de met getdata verkregen data van de eerste iteratie (geopende keringen) en eventueel ook van de laatste iteratie wanneer het Keringenscript 3 of meer iteraties heeft doorlopen (2 iteraties komt niet voor):

```
<somid>_riv_<iter>_barriers.nc  
<somid>_<gebied>_<iter>_max25_CTR.txt  
<somid>_<gebied>_<iter>_max25_CTRV.txt  
<somid>_<gebied>_<iter>_max25_ZWL.txt  
<somid>_<gebied>_<iter>_MAXMGNFLWM  
<somid>_<gebied>_<iter>_MAXMGNSEP  
<somid>_<gebied>_<iter>_MAXSEPFLWM  
<somid>_<gebied>_<iter>_MAXSEPSEP  
<somid>_<gebied>_<iter>_MAXSEPTIM  
<somid>_<gebied>_<iter>_treeks_ctr.nc  
<somid>_<gebied>_<iter>_treeks_ctrv.nc  
<somid>_<gebied>_<iter>_treeks_zwl.nc  
<somid>_<gebied>_<iter>_WETMAXVAL
```

Hierin is <somid> de wRMM-id van de uitgevoerde berekening, en <iter> de betreffende iteratie van het Keringenscript. <iter> is dus altijd '001' en mogelijk ook <kitermax>.

Verder is:

- Max25: de 'ascii-max25-reeks'-uitvoer van getdata voor de genoemde variabelen (CTR/CTRV/ZWL).
- MAX... en WETMAXVAL zijn boxfiles met door WAQUA berekende maximale waterstanden, snelheden, etc. Daarbij is WETMAXVAL gelijk aan MAXSEPSEP, maar zijn de droge punten door getdata op NaN gezet.
- *treeks_<variabele>.nc zijn netcdf-files van de genoemde variabelen waarbij ook de stationsnamen zijn opgeslagen op de netcdf-file.
- <somid>_riv_<iter>_barriers.nc bevat de array 'RRSBAH' met history-informatie van de barriers, inclusief NAMBAR, de namen van de barriers.

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-file en bestanden die vanuit de siminp-file worden aangeroepen) 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) wordt 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 controle van de productieberekeningen is uitgevoerd op basis van figuren en (Excel)tabellen, die zijn gegenereerd op basis van Matlab post-processing controlescripts (paragraaf 5.2). Paragraaf 5.3 geeft een overzicht van algemene constatering en bevindingen die voortkomen uit specifieke elementen uit de WAQUA-schematisatie, inclusief meldingen uit de WAQUA pre-processor. In paragraaf 5.4 wordt in detail ingegaan op de werking van het Keringenscript voor de berekeningen zonder geforceerd sluiten.

In het vervolg van dit hoofdstuk is gecontroleerd of de berekeningen correct en betrouwbaar zijn. Allereerst is het verloop van de maximale waterstand en afvoer in de rivieras op een aantal trajecten en voor een aantal berekeningen gecontroleerd (paragraaf 5.5). Een analyse of deze maximale waterstanden consistent tussen verschillende berekeningen verlopen bij het variëren van de stochastcombinaties is te vinden in Bijlage B.

In paragraaf 5.6 t/m 5.9 van dit hoofdstuk is in meer detail het verloop van de waterstand in de uitvoerpunten die nodig zijn voor de HR geanalyseerd. In paragraaf 5.6 zijn de zogenaamde 'max13'-waarden gecontroleerd, wat een goede maat is voor het aantal droge punten in een berekening. Paragraaf 5.7 en 5.8 betreffen een analyse van instabiliteiten in de maximale waterstand en instabiliteiten in het tijdsverloop van waterstandstijdreeksen. In paragraaf 5.9 is het aantal droge en instabiele punten gerelateerd aan de toestand van de keringen.

De 356 berekeningen met geforceerd sluiten (zie paragraaf 2.7.4) zijn uitgevoerd nadat alle andere productieberekeningen gereed waren. In alle uitgevoerde berekeningen met ZP116 treedt, zoals verwacht, geen sluiting op bij toepassing van de criteria van "geforceerd sluiten". Voor de 111 berekeningen met ZP204 leidt toepassing van de criteria van "geforceerd sluiten" wel tot sluiting van keringen. Omdat deze berekeningen een aparte set berekeningen vormen, is deze set apart behandeld/gecontroleerd in paragraaf 5.9.

5.2 Post-processing van de berekeningen

Het eerste deel (ca. 15%) van de productieberekeningen is, na gereedkomen van de berekening op Amazon, verwerkt op Deltares rekenhardware (het h5 linux-cluster) met het script 'RMM_FysContr_PROD.m'. Dit verwerkingsscript en de uitvoer van de dataverwerking is opgeslagen in het data-archief (zie Bijlage A). Het Matlabsript gebruikt de "OpenEarthTools" (versie van 30 januari 2015), zie [DATA-ARCHIEF]7_oet_matlab\ en informatie van de uitvoerlocaties als invoer (stations_rmm_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 [DATA-ARCHIEF]3.RMM4_uitvoeren_productiesommen\1.Waterstanden.

Vrij snel bleek dat het relatief veel tijd kost om de controles op de h5 uit te voeren. Bovendien zorgde het uitvoeren van de controle voor veel i/o op de P-schijf en liep de controle vast wanneer de verbinding met de P-schijf tijdelijk wegviel. Daarom is na uitvoeren van ca. 15% van de berekeningen besloten om de controle per berekening uit te voeren op Amazon met een gecompileerd controlescript. Hiervoor is de basis:

```
[DATA-ARCHIEF]\3.RMM\5.Controle_produktesommen\
```

```
1.Waterstanden_amazon\RMM_FysContr_AMAZON.m
```

Dit script is op een vergelijkbare wijze als het Keringenscript (paragraaf 4.2.2) gecompileerd tot een standalone executable. Voor een goed functioneren van het script is Matlab 2014a (met MCR v8.3) nodig.

Het controlescript wordt op Amazon aangeroepen met:

```
./run_RMM_FysContr_AMAZON.sh <mcrpath> <somid> no no yes
```

Het eerste argument is het path naar de Matlab Compiler Runtime met daarna de somid. Met de laatste drie argumenten kan ingesteld worden welke figuren worden gemaakt van tijdreeksen die voldoen aan bepaalde controle-criteria voor (1) instabiliteiten in de hele tijdreeks; (2) instabiliteiten rond de piek; of (3) 'max13' vs 'sepmax'. Voor de RMM is alleen de derde optie gebruikt om de hoeveelheid te genereren figuren te beperken. De figuren en gegevens die door het Amazon-controlescript worden gegenereerd zijn per berekening opgeslagen in het data-archief (zie Bijlage A).

5.3 Algemene constatering/bevindingen

5.3.1 Meldingen WAQPRE

Domein gvz

Voor het domein dat het Grevelingen-Zoommeer beslaat, geeft WAQPRE 4 warnings over ontmoediging van het gebruik van 'TICVAL' en incorrecte output-tijden (die zijn hersteld door WAQPRE). Vanuit COPPRE zijn er 7 warnings over punten die buiten de enclosure liggen. Dit is conform de uitgeleverde voorbeeldberekeningen in de modelschematisaties (zie paragraaf 2.1).

In totaal zijn dit dus 11 meldingen. Voor alle berekeningen waarvan de message-files opgeslagen zijn wordt consequent dit aantal meldingen gevonden.

Domein zee

WAQPRE:

- 2 meldingen betrekking hebbende op twee punten die geen effecten hebben als onderdeel van de open waterstandsrand.
- 1 melding dat het ontbreken van TICVAL gevolgen kan hebben voor simona2012 en eerder, hier niet relevant.
- 3 meldingen aangaande inconsistente output-tijden die zijn hersteld door WAQPRE.
- 3 meldingen dat "Opening 1 is specified with SAME flag on. However, time series are given for both ends of this opening for constituent 1. SAME flag will be ignored."

COPPRE:

- 5 meldingen met een ongeldig "part" number. "These points may lie outside the enclosure, and will be ignored."
- 2 meldingen van lijnen die deels buiten de enclosure liggen.

In totaal zijn dit dus 16 meldingen. Voor alle berekeningen waarvan de message-files opgeslagen zijn wordt consequent dit aantal meldingen gevonden. Dit is conform de uitgeleverde voorbeeldberekeningen in de modelschematisaties (zie paragraaf 2.1).

Domein riv

WAQPRE:

- 1 melding dat het ontbreken van TICVAL gevolgen kan hebben voor simona2012 en eerder, hier niet relevant.
- 3 meldingen aangaande inconsistente output-tijden die zijn hersteld door WAQPRE.
- 5 meldingen dat “Ecotope code XXX is used but not specified by the user (ROUGH_CHAR)”. Dit gaat om codes 505, 506, 641, 730 en 799.
- 16 meldingen dat “Sill heights should either be positive or -99.0.”.
- 17 meldingen van cross-secties met dezelfde coördinaten, maar een verschillende naam:
 - ('spui1010' and 'SPUI_1010').
 - ('noor984' and 'NOOR_984').
 - ('caka1025' and 'haka15').
 - ('caka1023' and 'haka13').
 - ('nima994' and 'NIMA_994').
 - ('nima993' and 'NIMA_993').
 - ('nima990' and 'NIMA_990').
 - ('ouma999' and 'OUMA_999').
 - ('ouma995' and 'OUMA_995').
 - ('spui999' and 'SPUI_999').
 - ('beme975' and 'BEME_975').
 - ('ouma977' and 'OUMA_977').
 - ('ouma979' and 'OUMA_979').
 - ('ouma981' and 'OUMA_981').
 - ('hav1016' and 'HAVL_1016').
 - ('hav1016' and 'HAVL_1013').
 - ('HAVL_1016' and 'HAVL_1013').
- 29 meldingen van “curves” die een “point-curve” zijn.

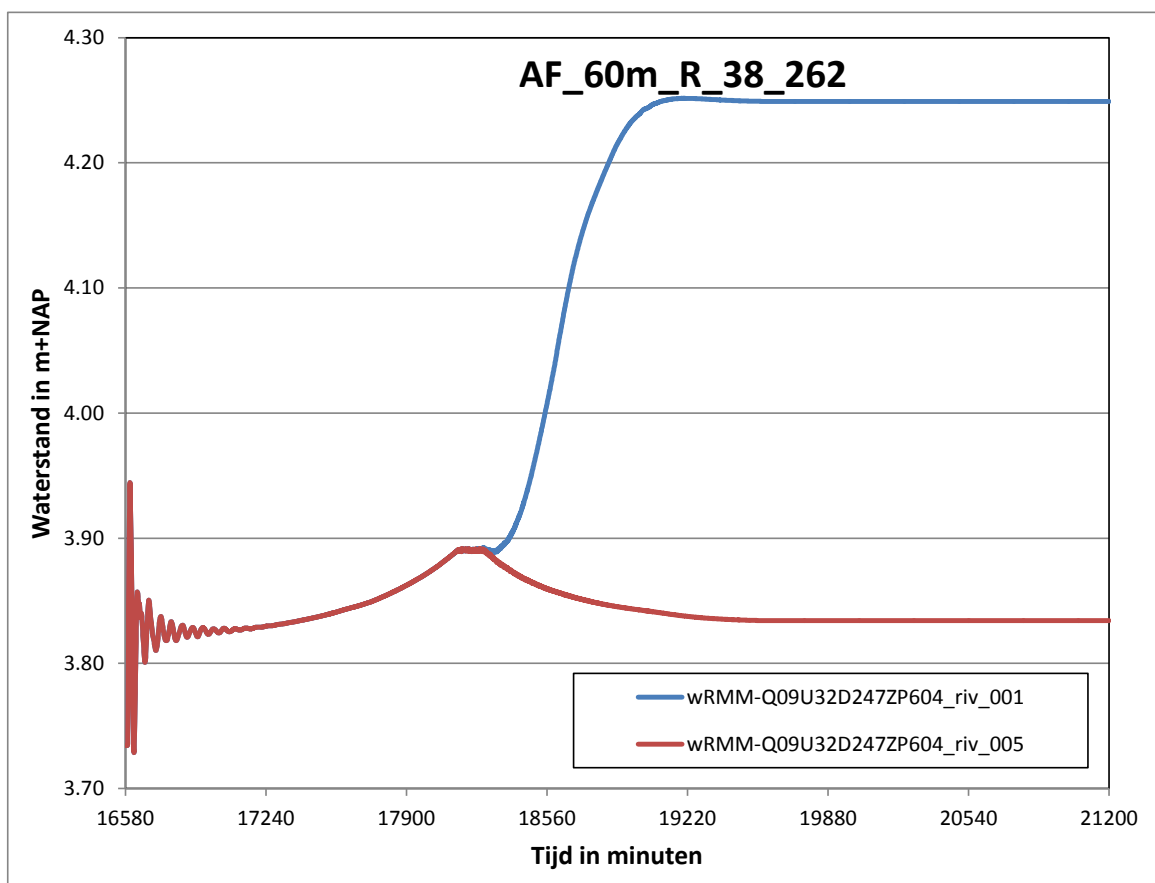
Dit is conform de uitgeleverde voorbeeldberekeningen in de modelschematisaties (zie paragraaf 2.1).COPPRE:

- 5 meldingen met een ongeldig part number. “These points may lie outside the enclosure, and will be ignored.”
- 56 meldingen van lijnen die deels buiten de enclosure liggen.

Dit aantal meldingen wijkt af van die uit de uitgeleverde bo4-schematisatie, omdat de partitionering is aangepast (zie paragraaf 2.4).

5.3.2 Kromme-Nol kering

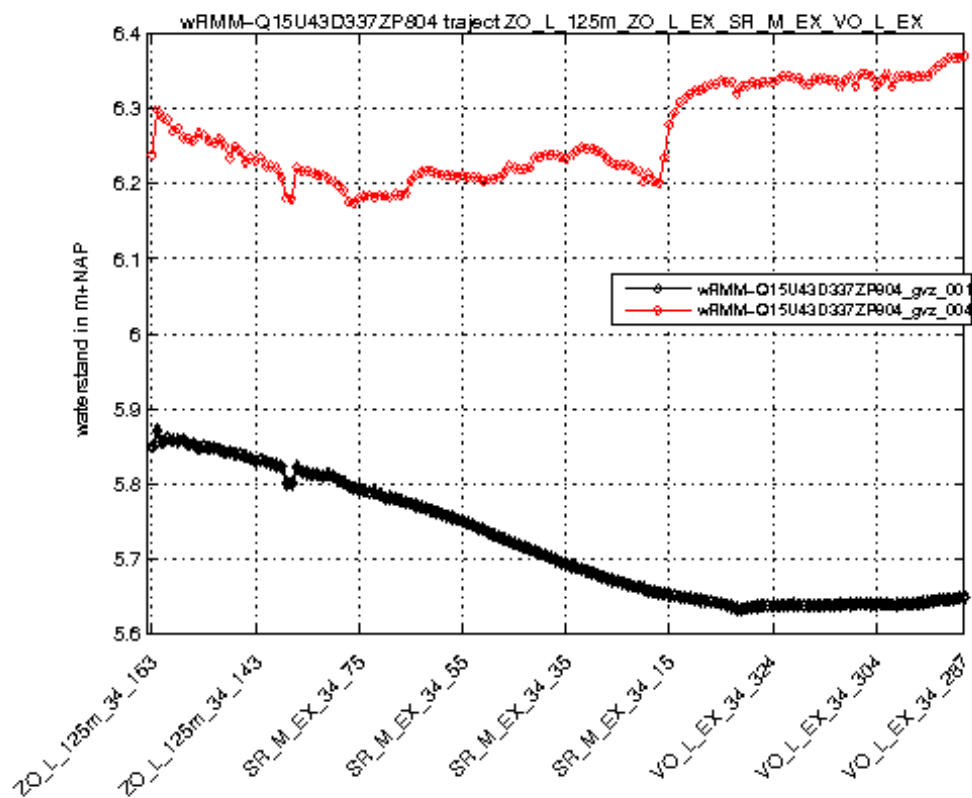
Bij de afgedamde Maas ligt de Heusdensche Kering, ook wel Kromme-Nol kering genoemd. Wanneer de toestand van de kering bij de start van een berekening niet overeenkomt met de gegenereerde initiële condities, treden ter plaatse van de kering instabiliteiten op aan het begin van de berekening, zie Figuur 5.1. In het figuur zien we een initiële golf als gevolg van een initiële conditie in de Afgedamde Maas waarbij de kering nog openstaat en er sprake is van stroming. Dit is gecorrigeerd door in de initiële condities onderscheid te maken naar situaties met een open of een dichte kering op basis van de afvoer op de Maas, maar deze correctie is niet goed doorgevoerd op het rekenimage wat op Amazon is gebruikt. Dit levert de getoonde instabiliteiten in de aanlooperperiode. Hier moet rekenen mee worden gehouden bij het verwerken van de tijdreeksen voor de afgedamde Maas.



Figuur 5.1 Instabiliteit rond kering in de afgedamde Maas.

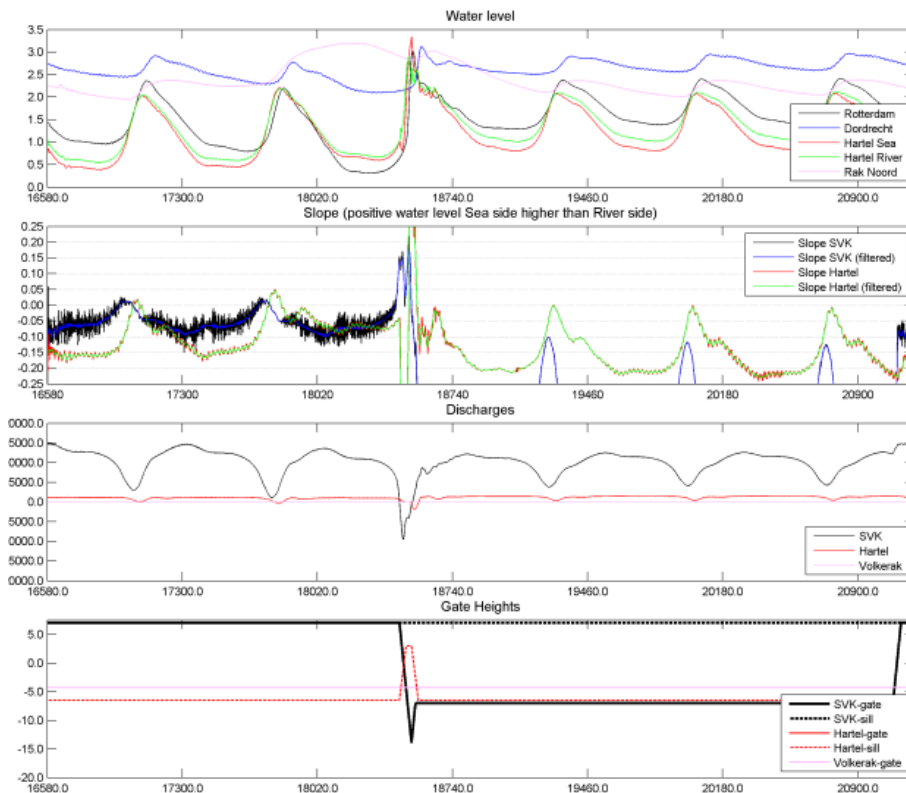
5.3.3 Waterberging Volkerak

Voor in totaal 2805 van de 4875 stochastcombinaties wordt waterberging Volkerak ingezet door het openen van de Volkeraksluizen. Hierbij moet worden opgemerkt dat het Volkerak-Zoommeer al kan instromen bij een waterstand van circa 3,5 m+NAP rond de Volkeraksluizen (zie paragraaf 2.6.6). Dit betekent dat bij de eerste iteratie van het Keringenscript water het Volkerak in kan stromen zonder dat de sluizen zijn geopend. Voor de meest extreme situatie betekent dit dat de waterstand in het Volkerak-Zoommeer bij falende (geopende) keringen meer dan 5,6 m+NAP kan zijn, zie Figuur 5.2. In de situaties waarin de keringen niet falen en waterberging wordt ingezet zal geen sprake zijn van vroegtijdige inundatie aangezien de berging al wordt ingezet voordat de sluizen overstromen.



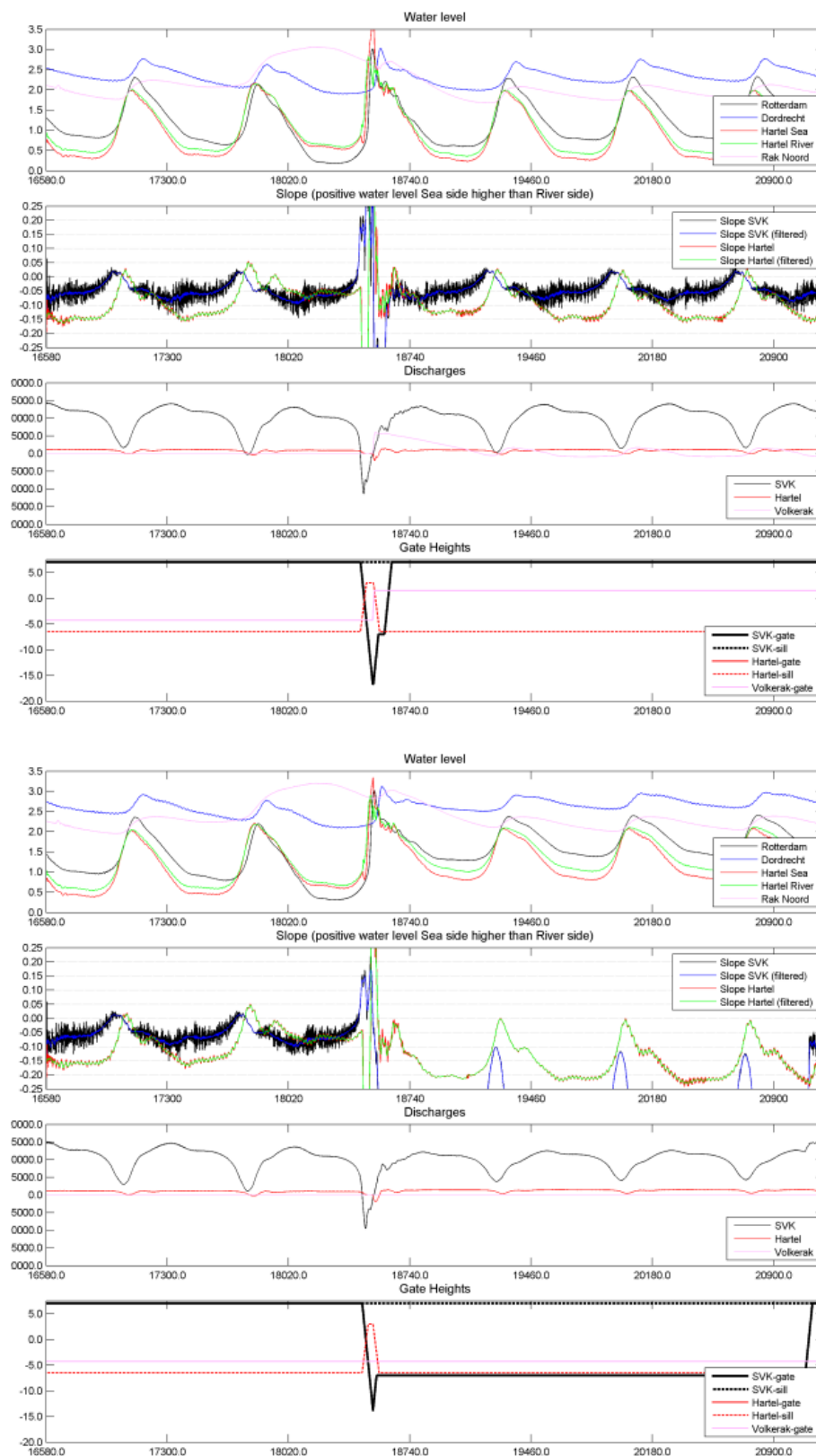
Figuur 5.2 Langsdoorsnede waterstand Volkerak-Zoommeer voor falende keringen (iteratie 001) en gesloten keringen (iteratie 004) voor de meest extreme situatie.

Ter illustratie van de inzet van de waterberging Volkerak zijn in



Figuur 5.3 twee situaties getoond, Q14U43D022ZP136 en Q15U43D022ZP136. De situaties zijn enkel verschillend in de maximale rivierafvoer, voor het overige zijn ze gelijk. In de situatie met Q14 (en ook in de niet getoonde Q13) wordt de waterberging Volkerak wel ingezet, in de situatie met Q15 is geen sprake van inzet.

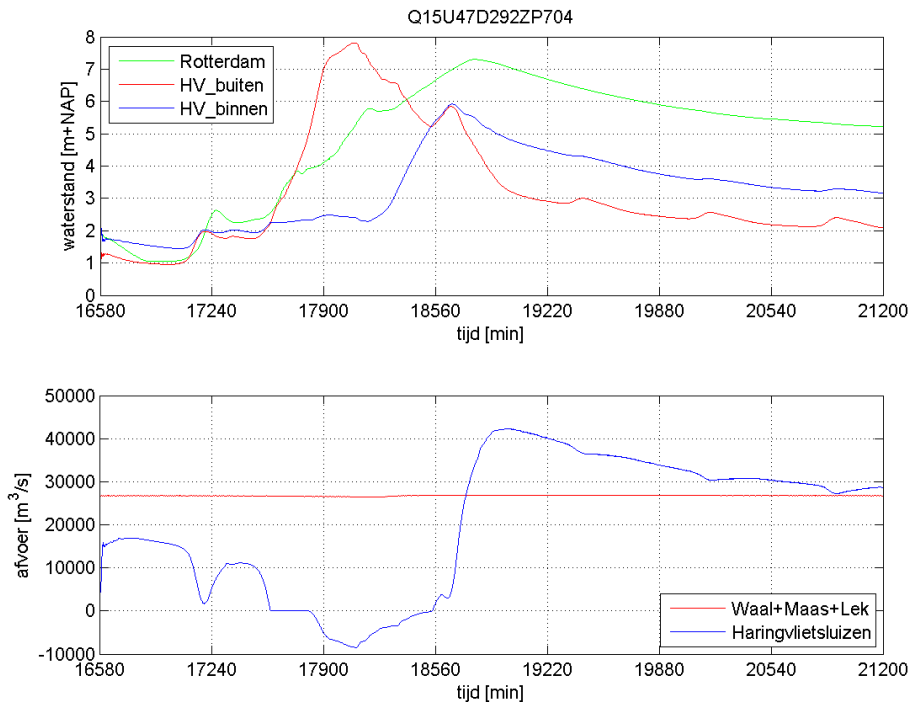
In de berekening Q15 is de rivierafvoer dusdanig hoog dat de afvoer door/onder de Maeslantkering positief blijft en de kering dus naar floating (drijvende) toestand gaat. Aangezien de Volkeraksluizen alleen geopend worden wanneer de Maeslantkering volledig gesloten is, wordt in dit geval waterberging Volkerak niet ingezet. In de berekening Q14 wordt de afvoer door/onder de Maeslantkering wel negatief en gaat de kering dicht. Vanwege de hoge waterstand bij Rak Noord wordt vervolgens ook direct waterberging Volkerak ingezet.



Figuur 5.3 Inzet waterberging Volkerak (te zien in onderste subplots, boven (Q14U43D022ZP136) wel inzet en onder (Q15U43D022ZP136) geen inzet waterberging).

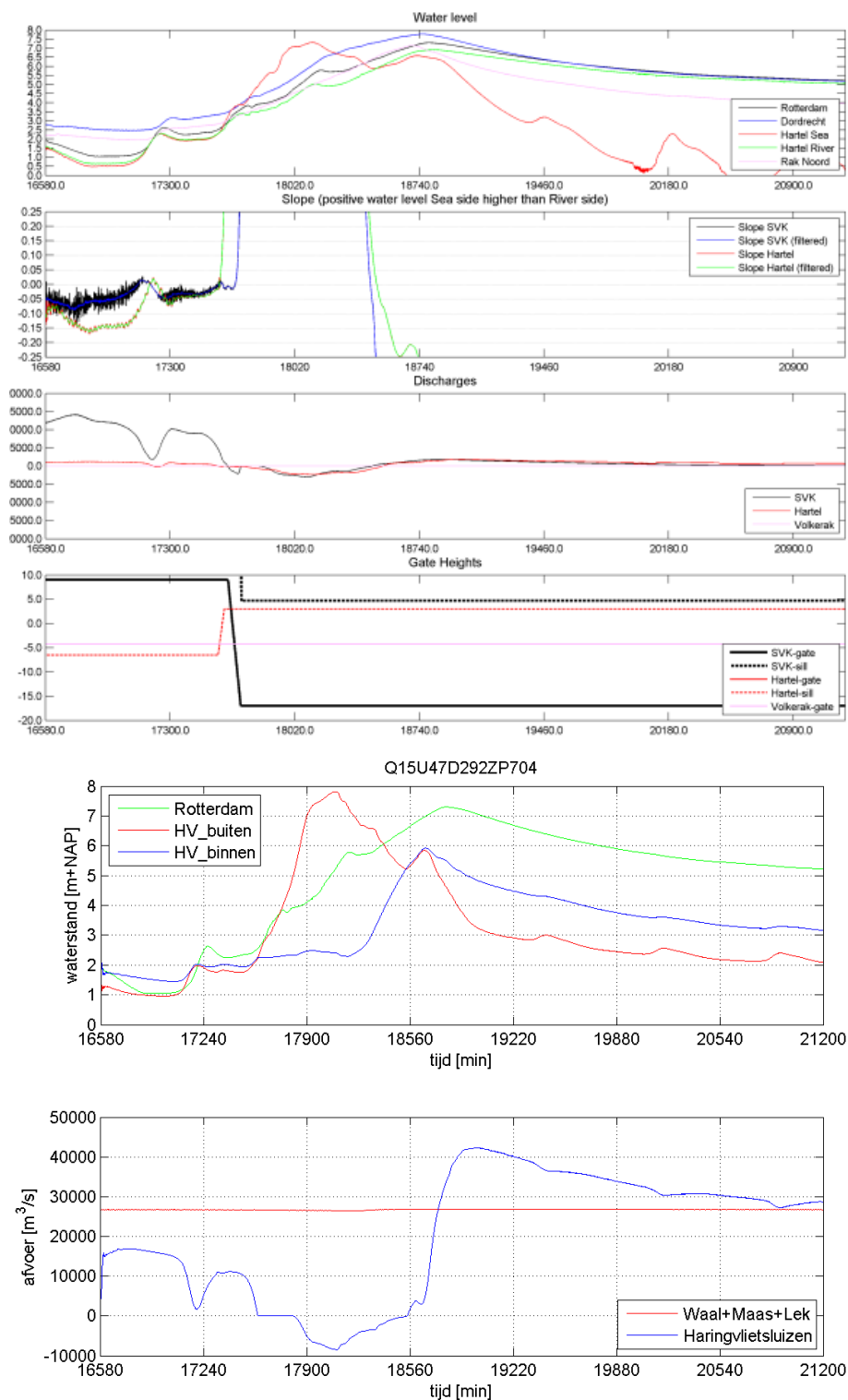
5.3.4 Functioneren Haringvlietsluizen

Wanneer de Maeslantkering en Hartelkering gesloten zijn moeten de rivieren lozen via het Haringvliet, zie ook paragraaf 2.6.5. Het functioneren van de Haringvlietsluizen is beoordeeld in een berekening waarin de keringen permanent gesloten zijn, dat wil zeggen in de tweede iteratie.



Figuur 5.4 laat links de positie van de keringen zien. Goed zichtbaar is dat Maeslantkering en Hartelkering gesloten zijn. Het rechterfiguur toont de waterstanden nabij de Haringvlietsluizen en de afvoer door de Haringvlietsluizen. De rode lijn in het onderste rechterfiguur is de totale afvoer van de Lek, Waal en Maas. In deze situatie bedraagt de afvoer van de rivieren circa 27.200 m³/s.

De hoogte van de Haringvlietkering is 5,0 m+NAP, en tussen T= 17.600 en 17.800 minuten is zichtbaar dat de afvoer door de kering 0 m³/s is. Op dat moment wordt de waterstand op zee hoger dan 5,0 m+NAP en stroomt er zeewater over de kering het Haringvliet in wat resulteert in een negatieve afvoer over de kering. Vanaf T= 18.200 minuten begint de waterstand op zee te dalen en op T= 18.600 minuten is de binnenwaterstand hoger dan de buitenwaterstand. Vanaf dat moment kan er worden gespuid en dat is zichtbaar in de snelle toename van afvoer door het Haringvliet. Met enige vertraging (circa 150 minuten) is dit ook merkbaar in de waterstand bij Rotterdam, deze begint vanaf T= 18.750 minuten te dalen. De afvoer door de Haringvlietsluizen is maximaal 42.000 m³/s. Vanwege de hoge rivierafvoer van circa 27.200 m³/s en de gesloten keringen bij Rotterdam gaat de volledige afvoer door het Haringvliet.



Figuur 5.4 Berekening wRMM-Q15U47D292ZP704, iteratie 2, gedrag keringen (boven) en afvoer Haringvlietsluizen (onder). Een positieve afvoer is zeewaarts gericht.

5.4 Analyse werking van het Keringenscript

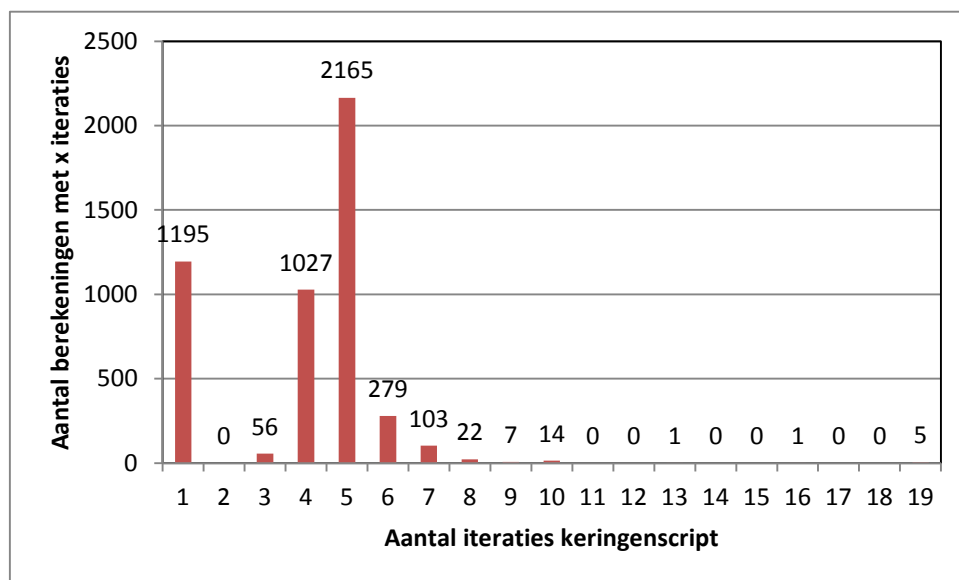
5.4.1 Overzicht aantal iteraties Keringenscript

Voor de situatie zonder geforceerd sluiten, zijn er in totaal 9750 stochastcombinaties (Tabel 3.1). Het Keringenscript (zie paragraaf 2.7) is zo ingericht dat het altijd 1 iteratie doorloopt: de situatie met falende (altijd open) (stormvloed)keringen. Afhankelijk van de beschouwde stochastcombinatie kan sluiting van de keringen nodig zijn: het Keringenscript doorloopt dan een niet vooraf gedefinieerd aantal iteraties totdat de gehele tijdsduur van een berekening is doorlopen. Figuur 5.5 geeft een overzicht van het aantal berekeningen als functie van het aantal iteraties dat het Keringenscript doorloopt. Voor 1195 berekeningen is geen sluiting nodig, voor 3680 berekeningen is dat wel het geval. Berekeningen met veel iteraties (9 of meer) kunnen duiden op onrealistisch gedrag van de keringen (mogelijk flip/flop-gedrag).

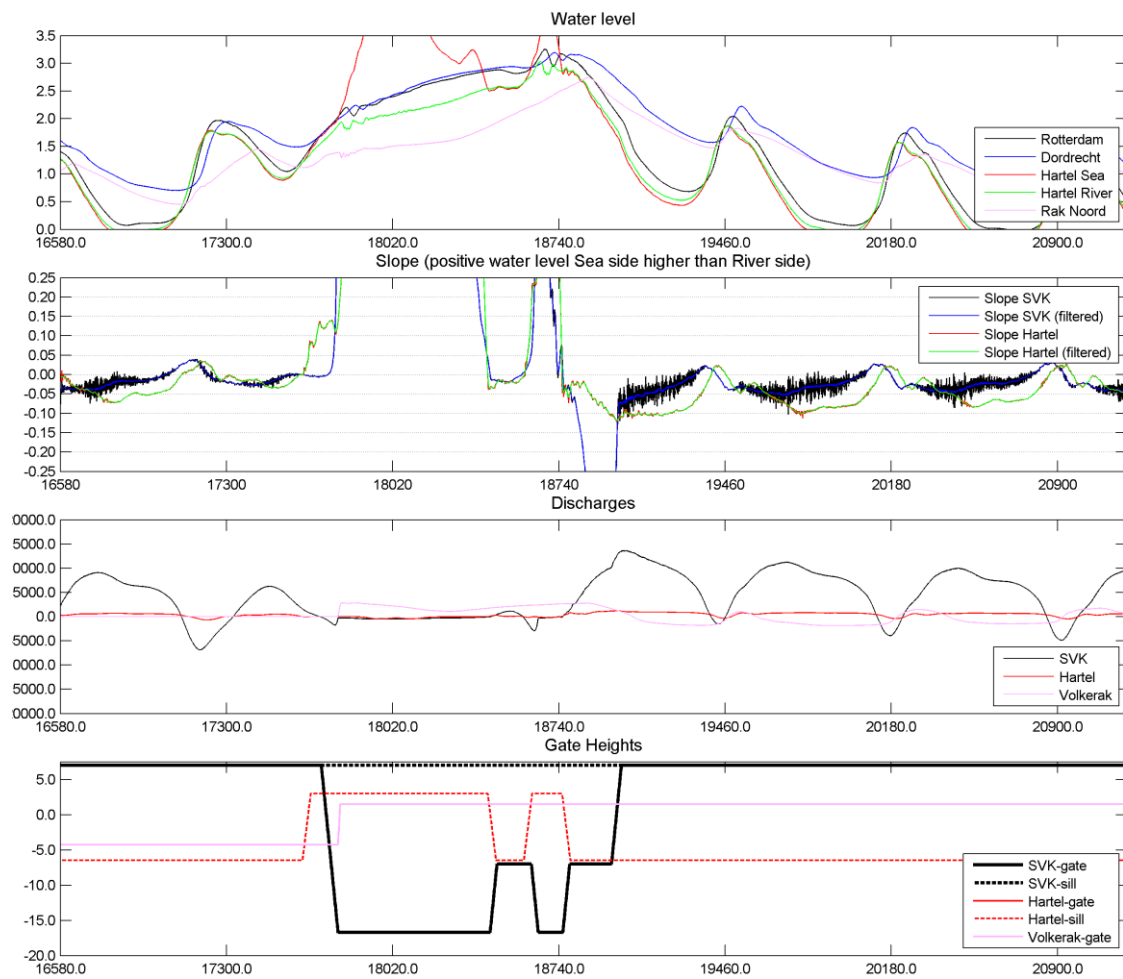
Er zijn zeven berekeningen met exact 9 iteraties (berekeningen met meer dan 9 iteraties komen later in deze paragraaf aan de orde):

wRMM-Q06U32D225ZP404
 wRMM-Q06U32D270ZP804
 wRMM-Q06U32D292ZP804
 wRMM-Q06U32D315ZP804
 wRMM-Q06U32D337ZP804
 wRMM-Q14U43D247ZP604
 wRMM-Q14U43D292ZP604

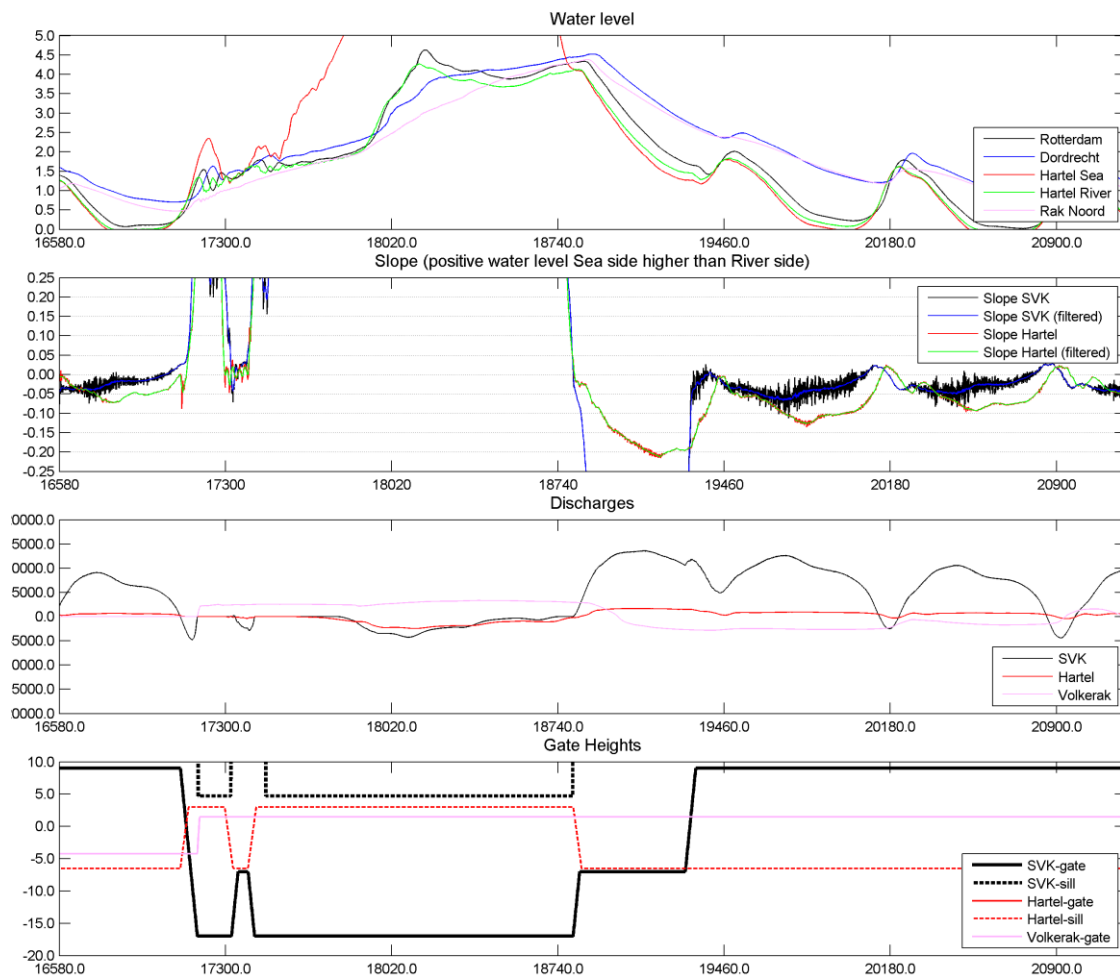
Die vertonen realistisch keringengedrag, zie Figuur 5.6, Figuur 5.7 en Figuur 5.8 voor drie voorbeelden. N.B.: 9 iteraties komt ook door “reset” waterberging, zie paragraaf 2.7.1.



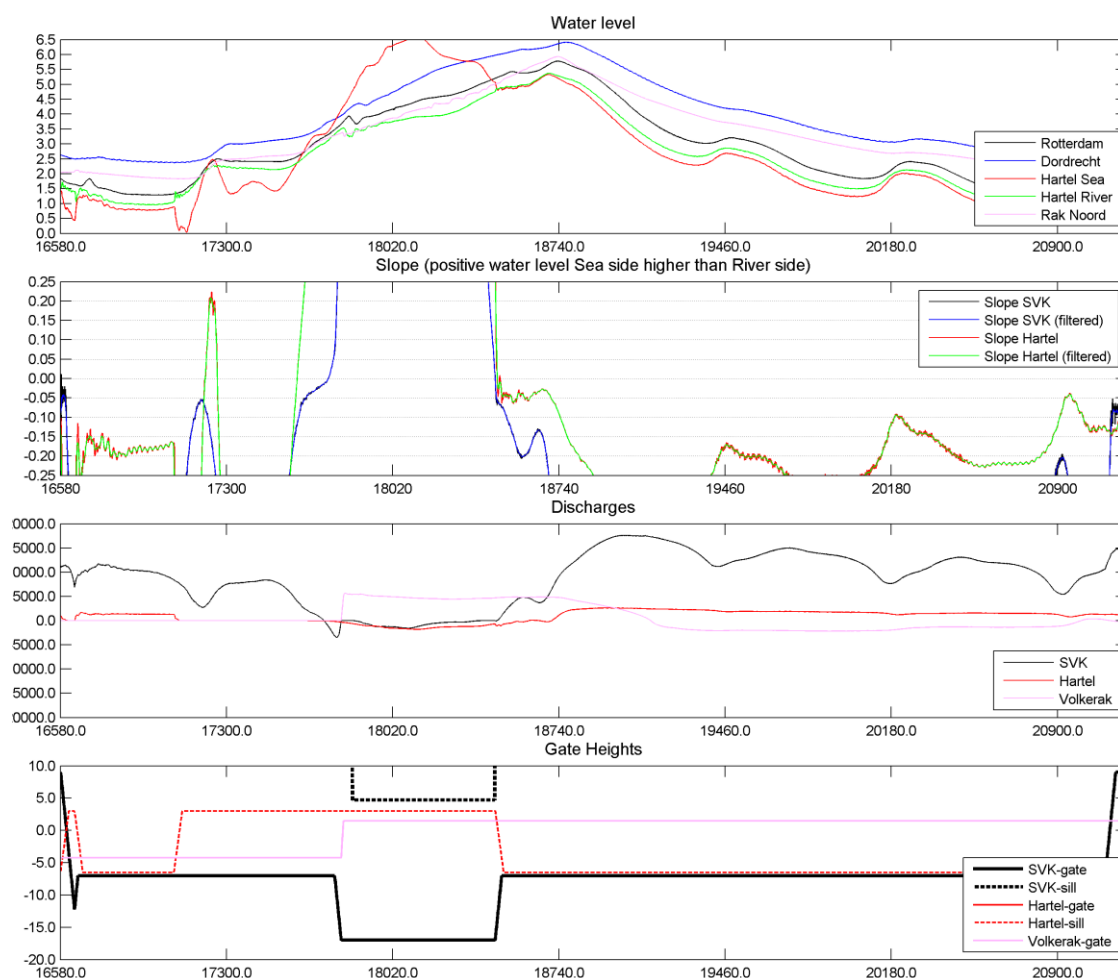
Figuur 5.5 Aantal berekeningen met één of meerdere iteraties Keringenscript.



Figuur 5.6 Voorbeeld van een berekening met 9 iteraties van het Keringenscript, berekening wRMM-Q06U32D225ZP404.



Figuur 5.7 Voorbeeld van een berekening met 9 iteraties van het Keringenscript, berekening wRMM-Q06U32D315ZP804.



Figuur 5.8 Voorbeeld van een berekening met 9 iteraties van het Keringenscript, berekening wRMM-Q14U43D292ZP604.

De volgende berekeningen hebben *meer* dan 9 iteraties (somid, gevolgd door aantal iteraties):

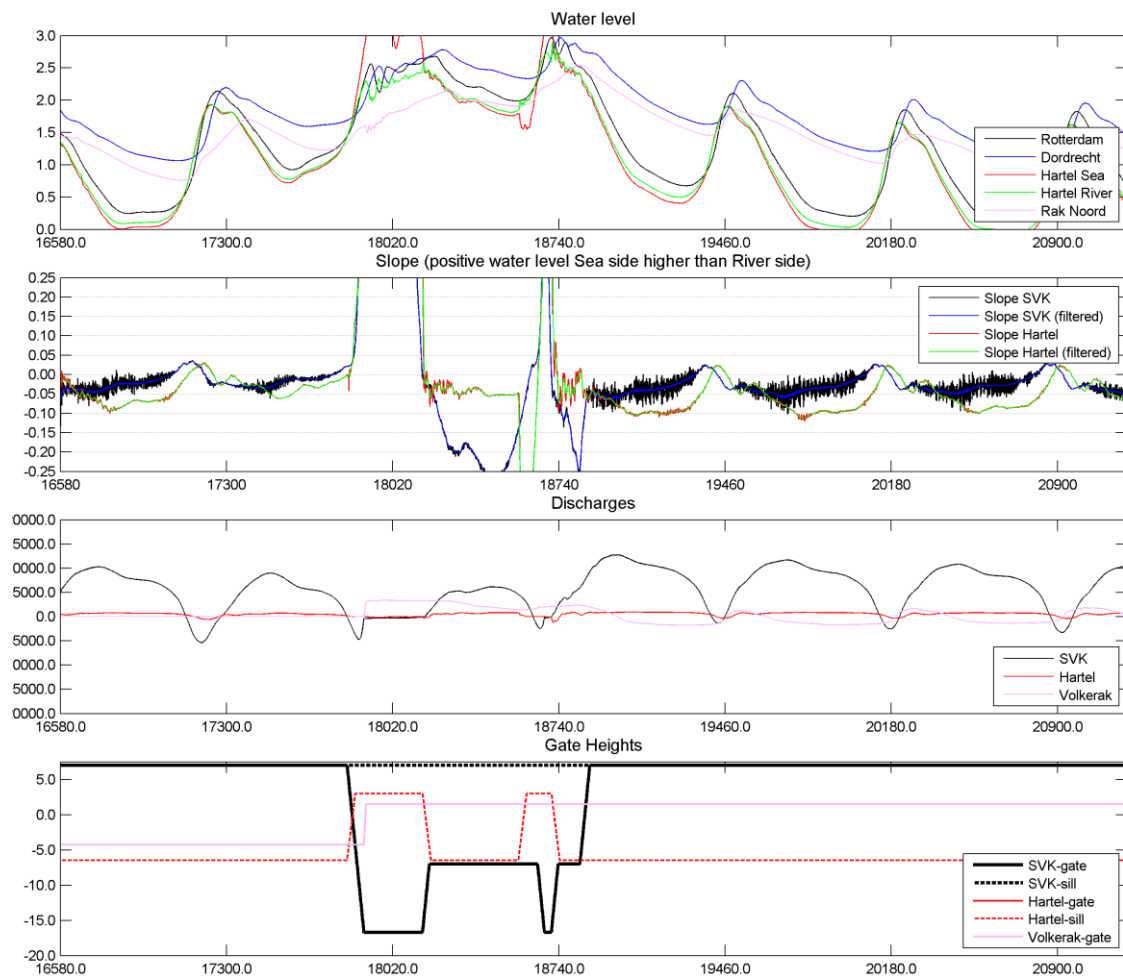
- wRMM-Q06U22D270ZP304 10
- wRMM-Q06U22D292ZP304 10
- wRMM-Q06U43D225ZP404 10
- wRMM-Q06U43D247ZP304 10
- wRMM-Q06U47D225ZP404 10
- wRMM-Q06U47D247ZP304 10
- wRMM-Q06U47D270ZP204 10
- wRMM-Q07U00D360ZP304 10
- wRMM-Q07U11D225ZP304 10
- wRMM-Q07U11D315ZP304 10
- wRMM-Q07U11D337ZP304 10
- wRMM-Q07U11D360ZP304 10
- wRMM-Q07U22D225ZP304 10
- wRMM-Q15U32D045ZP136 16
- wRMM-Q15U32D067ZP136 19
- wRMM-Q15U32D090ZP136 19

- wRMM-Q15U32D112ZP136 19
- wRMM-Q15U32D135ZP136 19
- wRMM-Q15U32D157ZP136 13
- wRMM-Q15U43D045ZP136 10
- wRMM-Q15U43D157ZP136 19

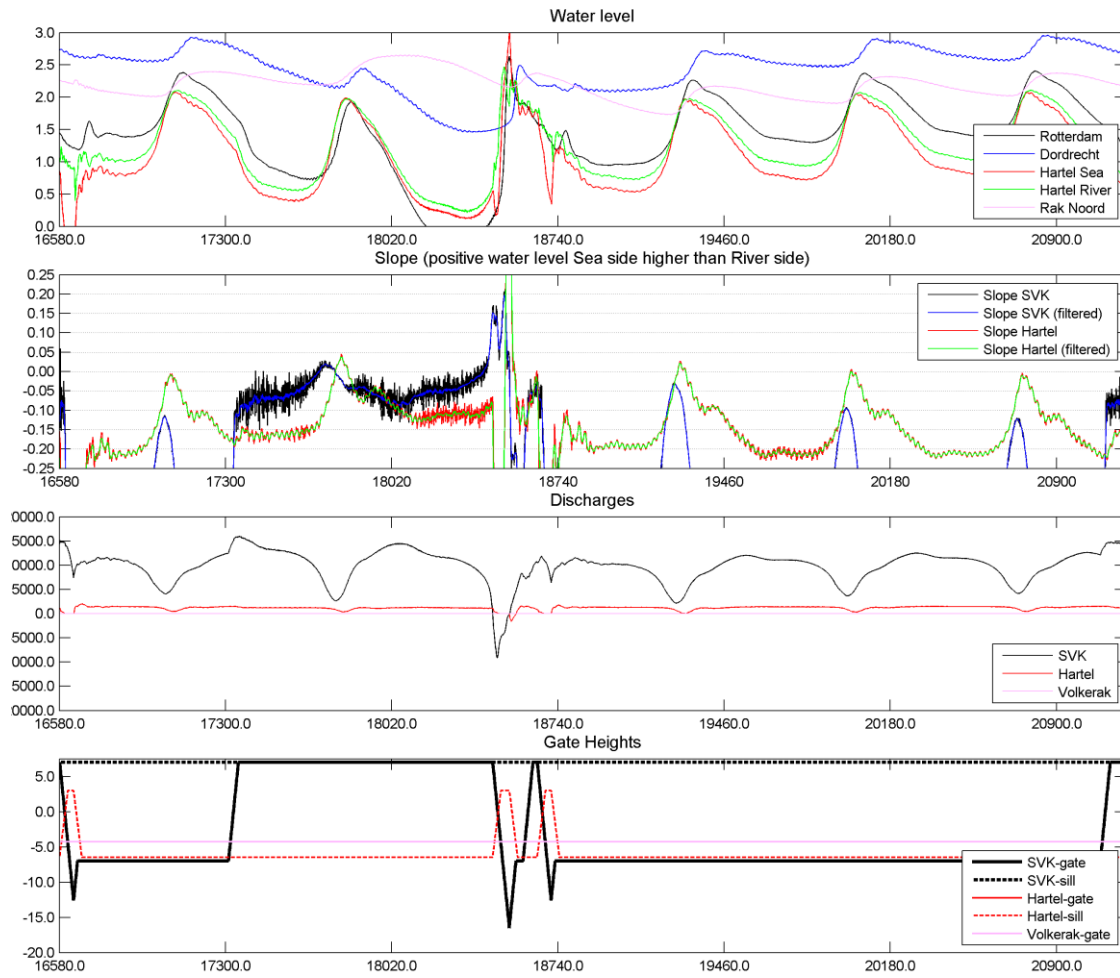
Het zijn dus 10 (14x), 13 (1x), 16 (1x) of 19 (5x) iteraties.

De berekeningen met ZP204/ZP304/ZP404 (allen 10 iteraties) lijken over het algemeen realistisch, zie bijvoorbeeld Figuur 5.9. Echter bij zeepeil ZP136 (springtij) en 10 iteraties (of meer) wordt het gedrag onrealistisch, zie Figuur 5.10. De kering komt in een 'flip/flop' toestand en blijft vervolgens gedurende de gehele berekening in drijvende toestand. Merk op dat voor deze berekening de kering initieel in drijvende toestand is gebracht, conform hetgeen is beschreven in paragraaf 2.7.2. Om het Keringenscript generiek toepasbaar te houden zijn er voor deze berekeningen geen aanpassingen gemaakt aan de aansturing van de keringen: de maximale waterstanden worden gehanteerd zoals berekend in deze berekeningen.

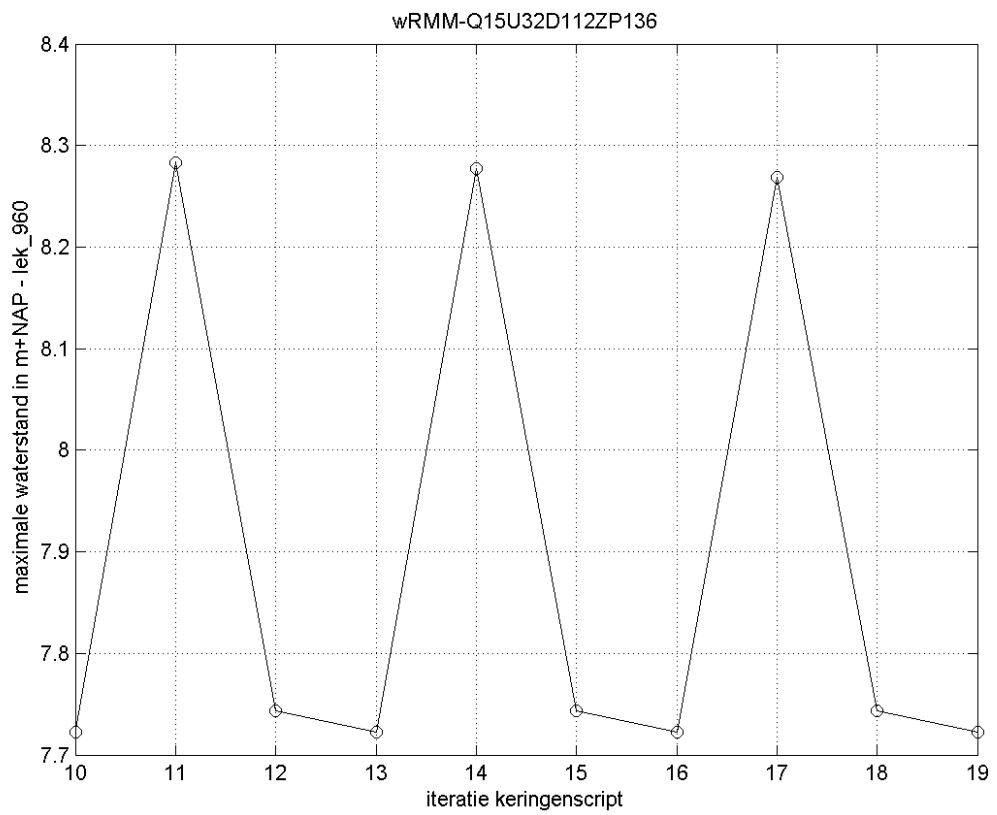
Het niet-realistische flip/flop gedrag treedt ook op in de berekeningen met 13, 16 en zelfs 19 iteraties. De berekeningen met 19 iteraties zijn afgebroken door een gebrek aan opslagruimte bij Amazon; in theorie zouden de berekeningen nog (veel) meer iteraties kunnen hebben doorlopen). Eén van de berekeningen met 19 iteraties is wRMM-Q15U32D112ZP136. Figuur 5.11 geeft voor deze berekening de maximale waterstand per iteratie van het Keringenscript op Lek km960 weer. Te zien is dat de maximale waterstand op deze locatie varieert bij geopende en gesloten toestand, maar dat het patroon zich iedere 3 iteraties herhaalt, met een licht dalende waterstand in het geval van gesloten keringen (door flip/flop-gedrag, maar steeds iets verder in de totale duur van de berekening). Als we dezelfde stochasten voor windsnelheid, richting en zeepeil hanteren, maar één afvoerniveau lager, sluiten de keringen niet (Figuur 5.12). Het wordt daarom niet realistisch geacht dat de keringen onder nog hogere rivierafvoer in de praktijk gesloten zullen worden (ondanks dat de sluiting lokaal wel een waterstandsverlagend effect kan hebben). Daarom is besloten om van berekeningen die de combinatie Q15-ZP136 bevatten en 19 iteraties hebben doorlopen, de sluitende berekeningen te negeren/verwijderen.



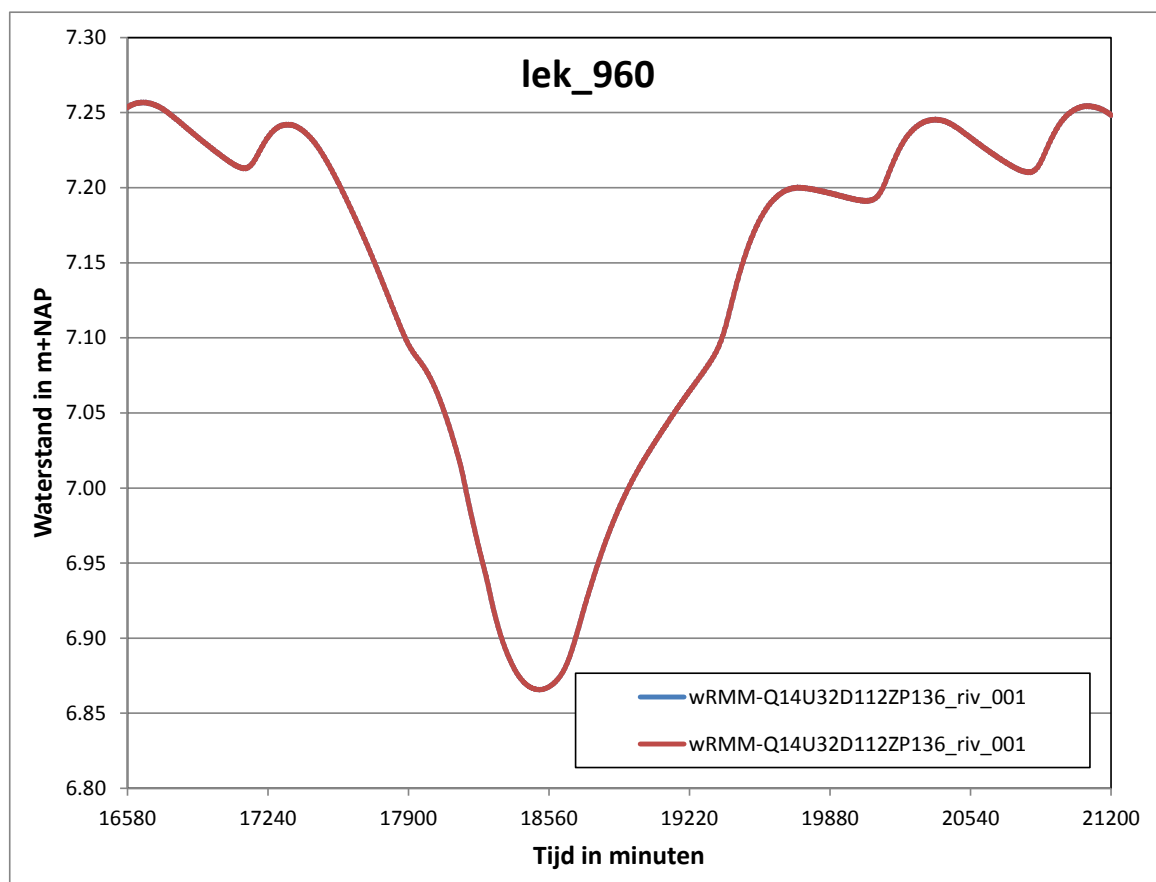
Figuur 5.9 Voorbeeld van een berekening met 10 iteraties van het Keringenscript, berekening wRMM-Q07U22D225ZP304.



Figuur 5.10 Berekening met 10 iteraties van het Keringenscript, berekening wRMM-Q15U43D045ZP136.



Figuur 5.11 Maximale waterstand op locatie lek_960 per iteratie van het Keringenscript.



Figuur 5.12 Waterstandsverloop op locatie lek_960 voor berekening wRMM-Q14U32D112ZP136.

5.4.2 Aantal iteraties Keringenscript uitgesplitst naar stochast

Figuur 5.5 geeft een overzicht van het aantal iteraties dat het Keringenscript heeft doorlopen. In 3680 van de beschouwde stochastcombinaties worden de keringen gesloten (paragraaf 5.4.1). Voor de vier RMM-stochasten rivierafvoer, zeepeil, windsnelheid en windrichting is gekeken in hoeveel berekeningen (procentueel t.o.v. alle berekeningen bij deze stochast) de keringen sluiten. In Figuur 5.13 t/m Figuur 5.16 is het aantal iteraties uitgesplitst naar respectievelijk rivierafvoer, zeepeil, windsnelheid en windrichting.

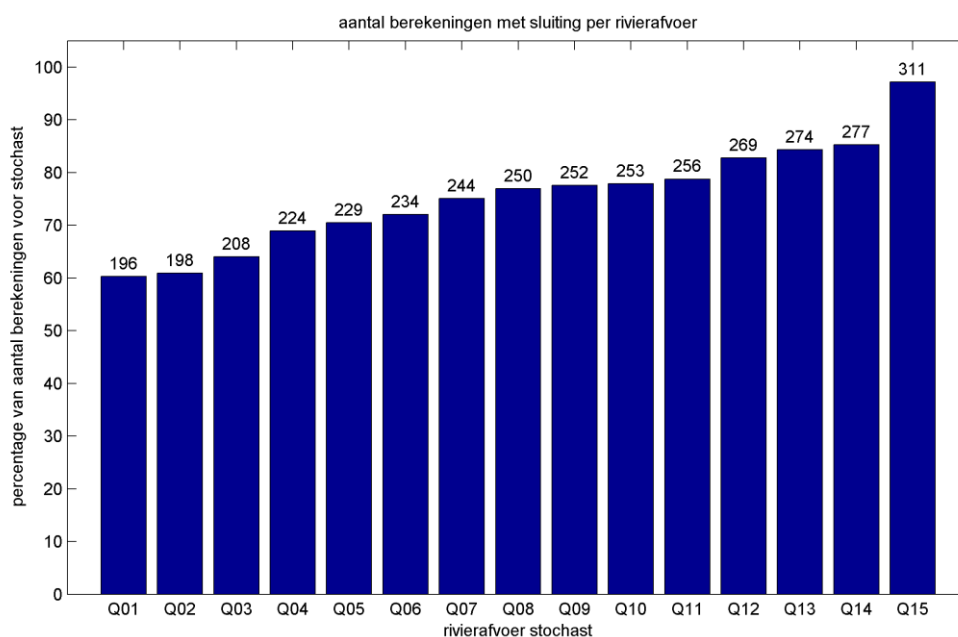
Zichtbaar is dat er sprake is van een consistent gedrag, waarbij (in het algemeen) een hogere rivierafvoer, een hoger zeepeil of een hogere windsnelheid leidt tot een hoger percentage sluitingen. Enkele uitzonderingen op deze algemene regel worden hieronder nader toegelicht.

Er is een duidelijke trend zichtbaar; bij stijgende afvoer neemt het percentage sluitingen toe. Opvallend is de relatief grote sprong van Q14 naar Q15. De verklaring hiervoor is dat als gevolg van de hoogste rivierafvoer de waterstand bij Rotterdam hoger wordt dan 3,00 m+NAP, ook bij de laagste zeepeilen. Conform de sturing van het Keringenscript gaat de Maeslantkering drijven omdat een volledige sluiting niet mogelijk is vanwege de hoge rivierafvoer. Dit drijven van de kering wordt als sluiting meegeteld.

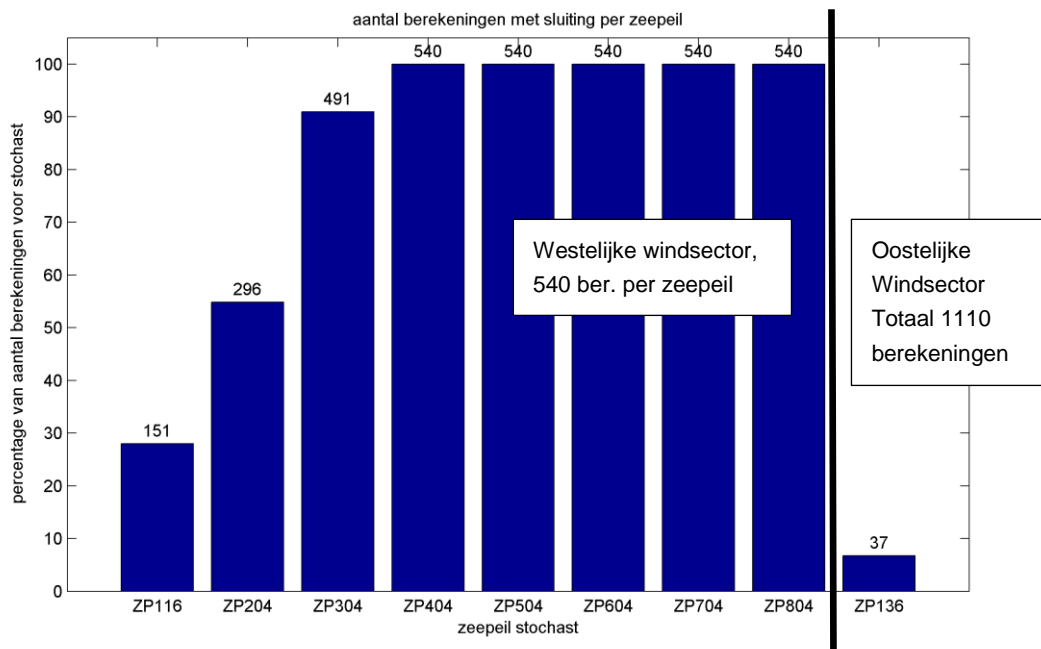
Het meest opvallende bij de zeepeilen is dat bij een zeepeil van 3,04 m+NAP toch niet in alle situaties sprake is van sluiting (terwijl de sluitcriteria op 3,00 m+NAP (Rotterdam) en 2,90 m+NAP (Dordrecht) liggen). In ongeveer 10% van de situaties blijft de kering open. Dit komt waarschijnlijk door windeffecten waardoor de waterstand net onder deze criteria blijft. Bij zeepeilen van 4,04 m+NAP en hoger gaan de stormvloedkeringen altijd dicht. Bij ZP116 en ZP136 is alleen rivierafvoer-gedomineerd sluiten noodzakelijk.

Bij toenemende windsnelheid, neemt over het algemeen het aantal sluitingen toe. Bij U43 zijn bijna evenveel sluitingen nodig als bij U47, echter procentueel gezien is het aantal sluitingen bij U43 kleiner. Dat komt omdat windsnelheid U47 alleen is beschouwd in de westelijke windsector.

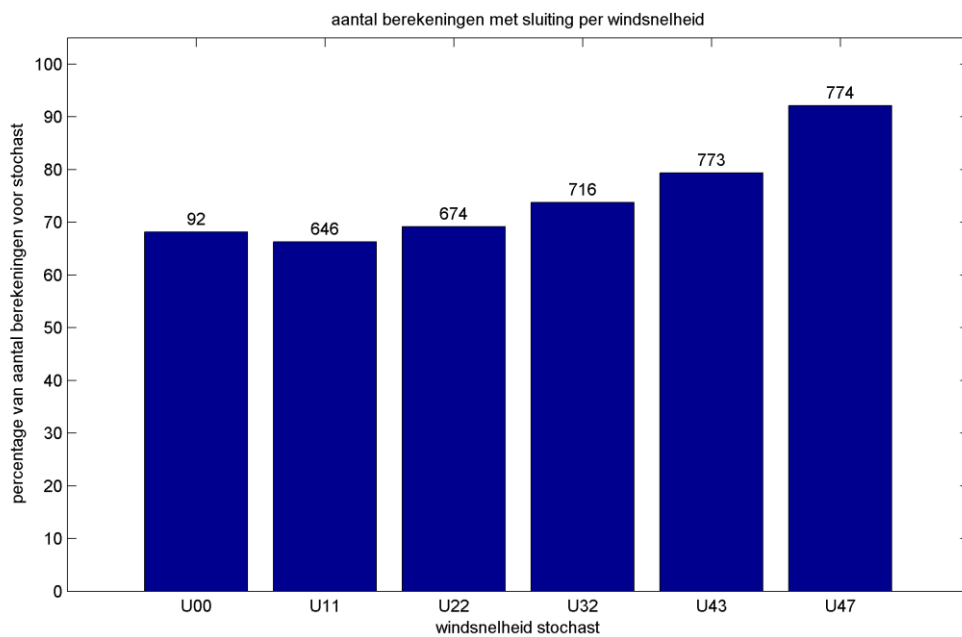
Voor wat betreft windrichting wordt het grootste aantal berekeningen met sluiting gevonden voor richting D292(,5), ofwel WNW. Dit is de richting waarbij de wind min of meer parallel aan de Nieuwe Waterweg staat, wat inderdaad tot relatief veel opzet zal leiden. Verder is te zien dat bij oostelijke windrichtingen (D022 t/m D202) vrijwel nooit sprake is van sluitingen. Bij de westelijke windrichtingen (D225 t/m D360) is bijna altijd sprake van sluitingen.



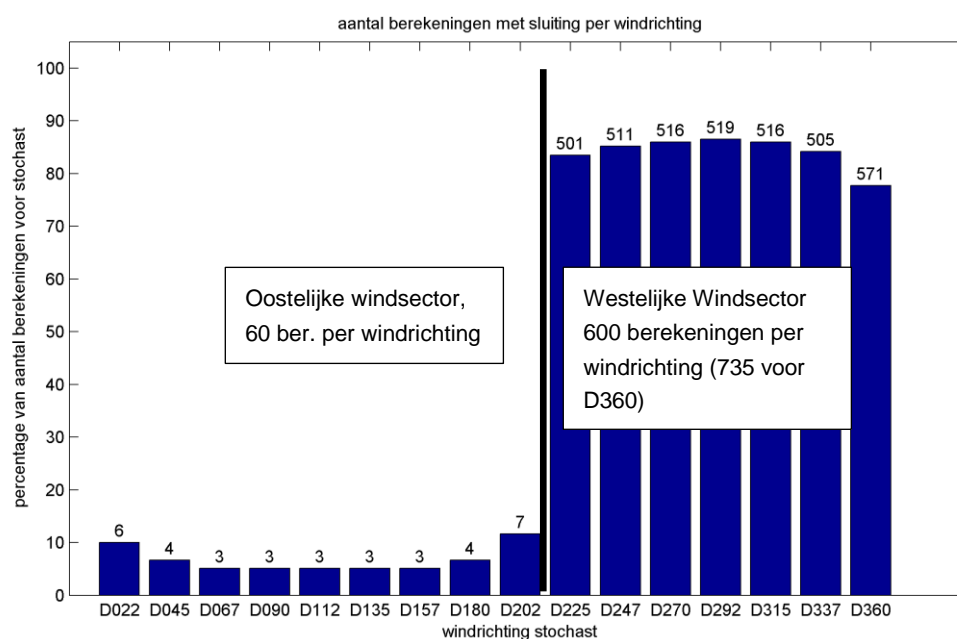
Figuur 5.13 Percentage sluitingen als functie van de stochast 'rivierafvoer'.



Figuur 5.14 Percentage sluitingen als functie van de stochast 'zeepil'.



Figuur 5.15 Percentage sluitingen als functie van de stochast 'windsnelheid'.



Figuur 5.16 Percentage sluitingen als functie van de stochast 'windrichting'.

5.4.3 Sluitingsduren keringen

In WT12011 is gecontroleerd of de sluitingsduur van de keringen trendmatig gedrag vertoont door de sluitingsduur van de Maeslantkering te vergelijken met die van de Hartelkering. Ook zijn toestandsveranderingen tussen de keringen met elkaar vergeleken. Deze analyses zijn hier herhaald. Algemene conclusie is dat destijds geconstateerde trends lastiger te onderscheiden zijn, omdat de inzet van waterberging in het Volkerak-Zoommeer sluitingstijden beïnvloedt.

De sluitingsduur, zoals aangehouden voor de controle, is gedefinieerd als de duur van de periode, tussen:

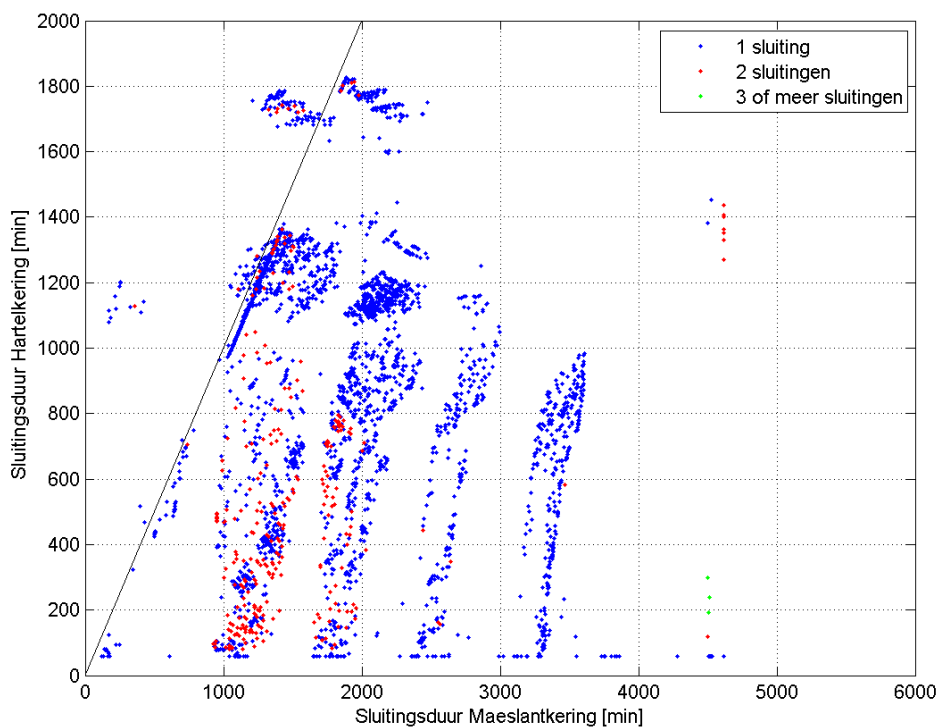
- Het eerste tijdstip, waarop de kering helemaal dicht is, oftewel het eerste tijdstip waarop de kering de laagste stand bereikt (zie hieronder), en
- Het tijdstip juist voordat de kering *volledig* geopend is.

In een aantal gevallen gaat de kering alweer open, voordat de kering geheel gesloten is. Voor die situaties moet gerekend worden met het eerste tijdstip waarop de kering de laagste stand bereikt. Voor de Maeslantkering wordt de periode waarin de kering drijft dus inbegrepen in de sluitingsduur.

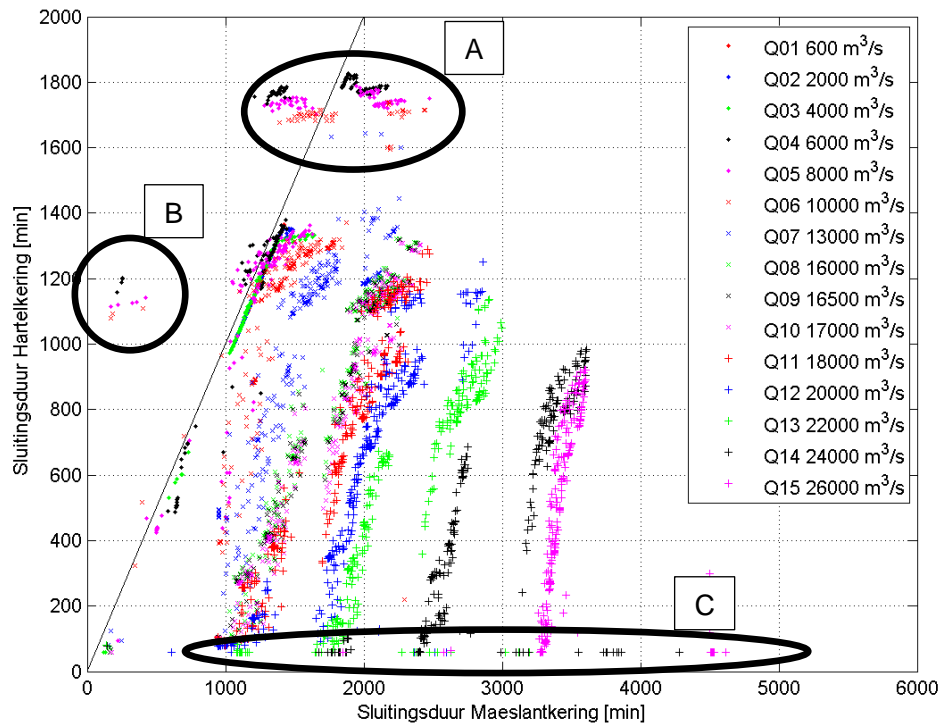
De werking van de keringen is allereerst voor de complete set gecontroleerd door de sluitingsduur van de Hartelkering en de Maeslantkering tegen elkaar uit te zetten. Het resultaat is weergegeven in onderstaande figuren. De 45-graden lijn is toegevoegd. In het algemeen valt op dat een groot deel van de sluitingen ongeveer op de 45-graden-lijn ligt, met een sluitingsduur van beide keringen tussen ca. 1000 en 1300 minuten. Doordat veel markers hier op elkaar liggen lijkt het aantal kleiner dan het in werkelijkheid is (dit was ookesignaleerd in WT12011). Waar de sluitingsduur verschilt, is meestal sprake van een relatief lange sluitingsduur van de Maeslantkering. Dit komt doordat de toestand "drijvend" ook is inbegrepen bij de sluitingsduur van de keringen.

Figuur 5.17 vergelijkt de sluitingsduur van MLK en HK uitgesplitst naar het aantal sluitingen. De daaropvolgende figuren maken eenzelfde vergelijking van de sluitingsduren maar dan uitgesplitst naar rivierafvoer (Figuur 5.18), zeepeil (Figuur 5.20), windsnelheid (Figuur 5.21) en windrichting (Figuur 5.22).

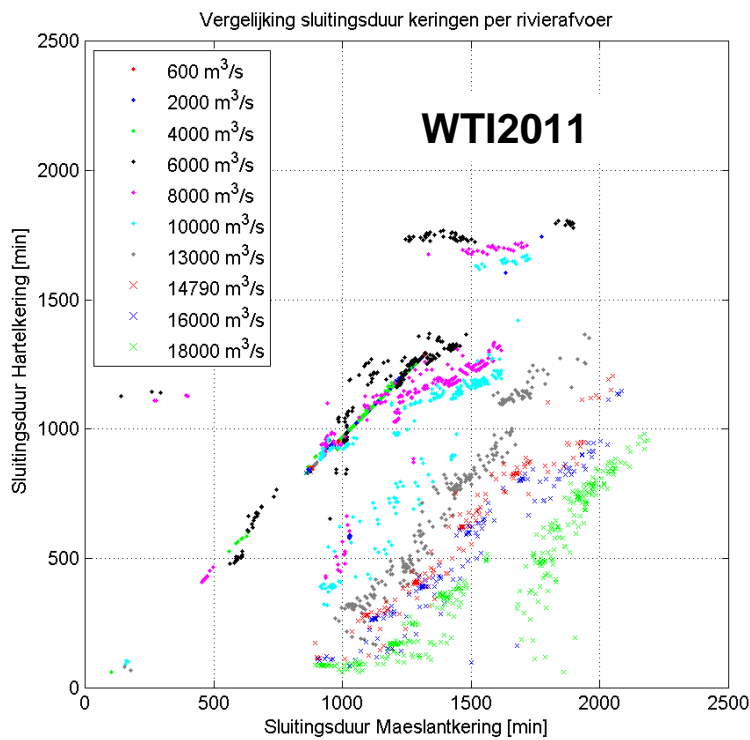
Voor de rivierafvoer is, ter vergelijking, ook het resultaat van WTI2011 bijgevoegd (Figuur 5.19). De hoogste afvoer was destijds 18.000 m³/s bij Lobith. De maximale sluitingsduur van de Maeslantkering was ongeveer 2.300 minuten, wat overeenkomt met de berekeningen voor Q11 uit WTI2017.



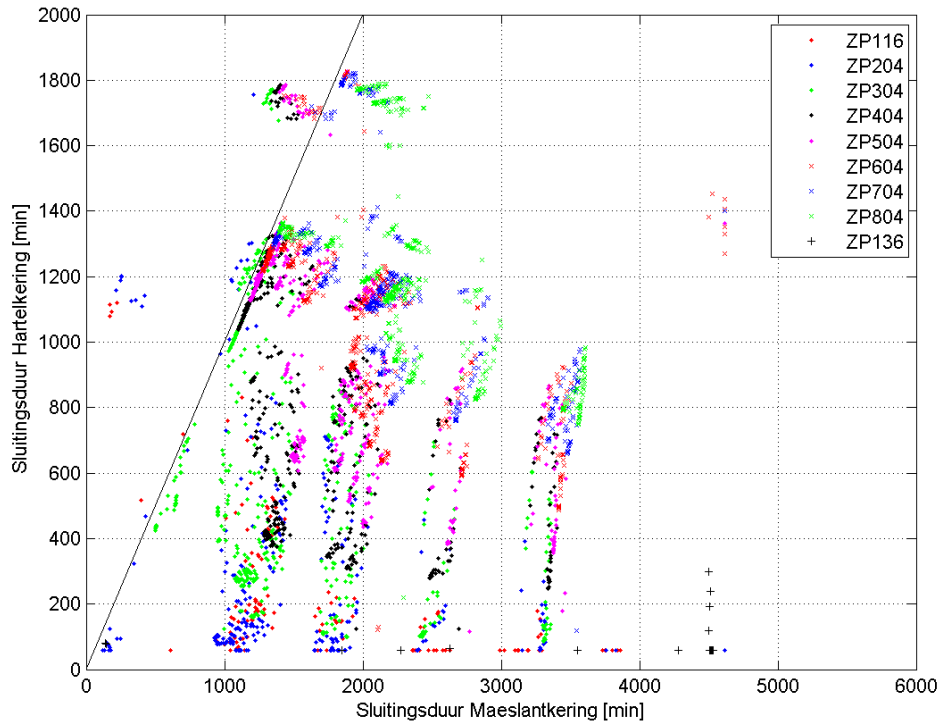
Figuur 5.17 Vergelijking van de sluitingsduur van de Hartel- en Maeslantkering per aantal sluitingen.



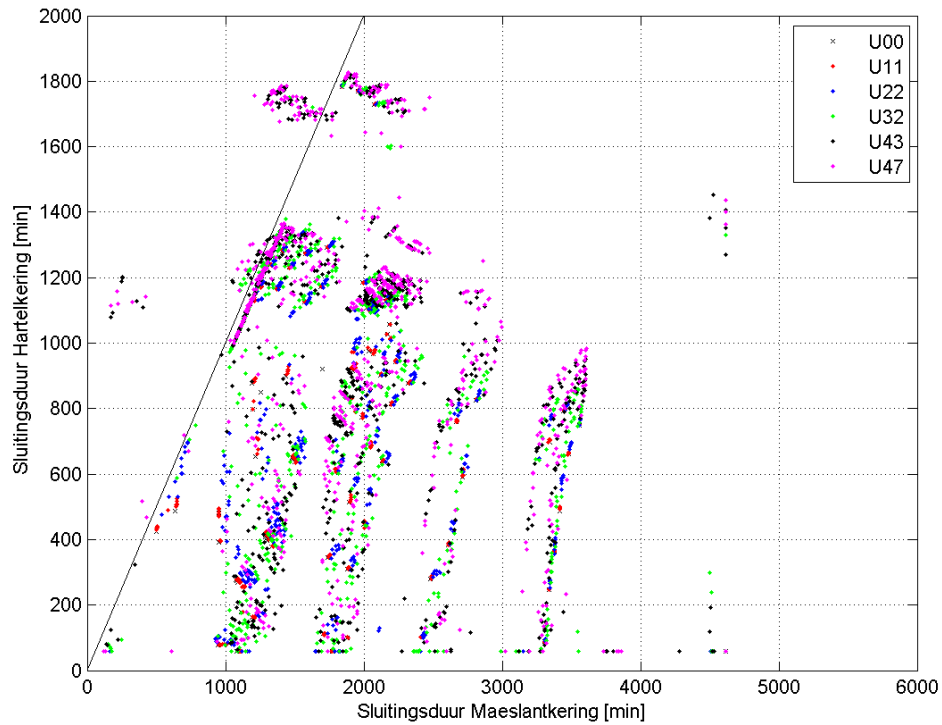
Figuur 5.18 Vergelijking van de sluitingsduur van de Hartel- en Maeslantkering per rivierafvoer.



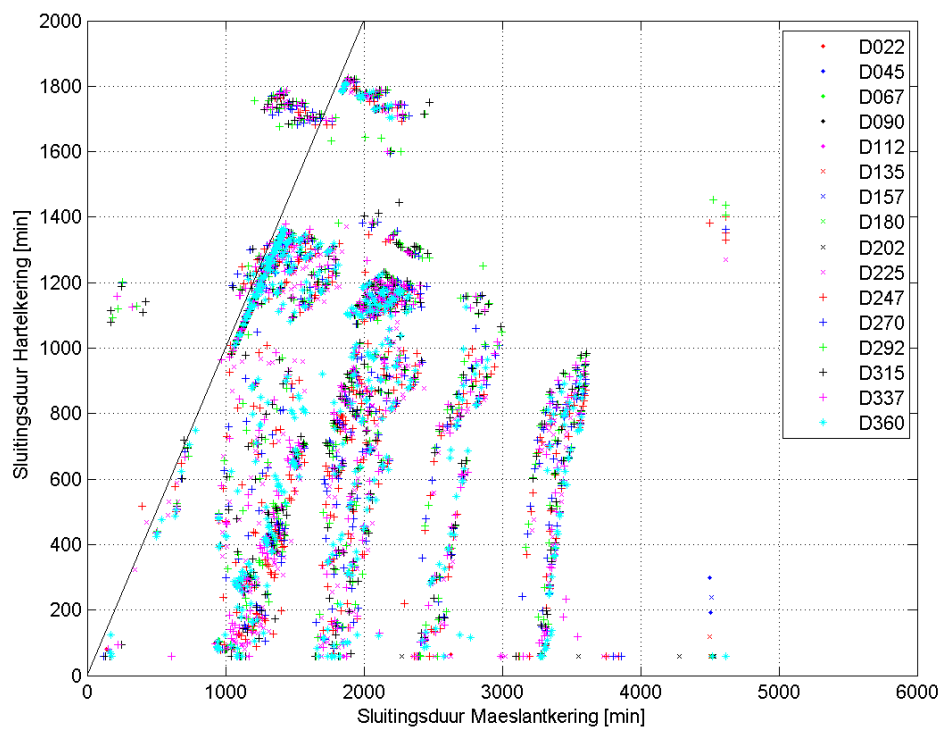
Figuur 5.19 Vergelijking van de sluitingsduur van de Hartel- en Maeslantkering per rivierafvoer uit WTI2011.



Figuur 5.20 Vergelijking van de sluitingsduur van de Hartel- en Maeslantkering per zeepeil.



Figuur 5.21 Vergelijking van de sluitingsduur van de Hartel- en Maeslantkering per windsnelheid.



Figuur 5.22 Vergelijking van de sluitingsduur van de Hartel- en Maeslantkering per windrichting.

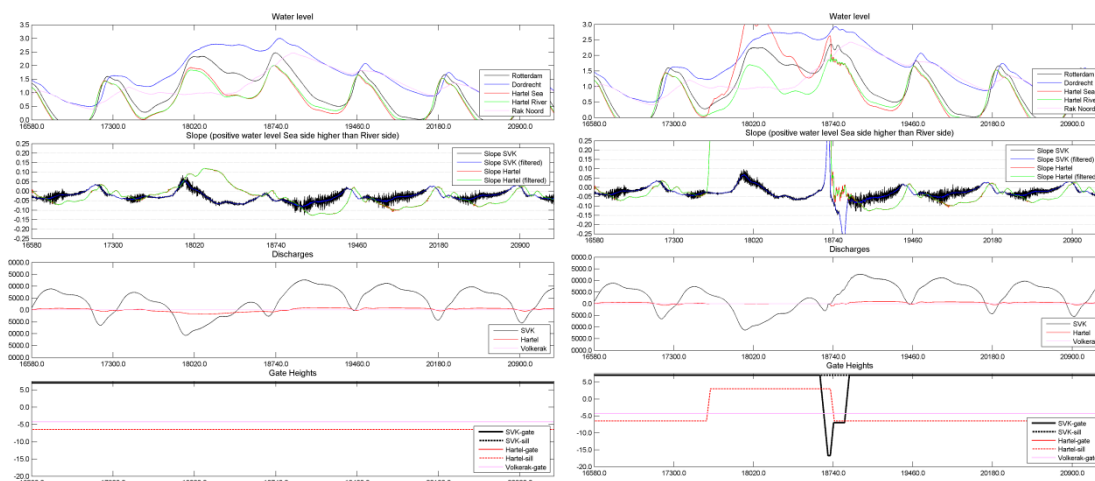
Hieronder volgt een beschrijving van de gemarkeerde gebieden in Figuur 5.18:

- A. Q04, Q05 en Q06, was ook zo in WTI2011, dus is correct verondersteld.
- B. Sluitingsduur Hartelkering >> sluitingsduur Maeslantkering, Dit komt voor bij een beperkte groep berekeningen, namelijk Q04-Q06 en ZP116/204 (zie Tabel 5.1).

somid	Nsluit	MLK_close	HK_close
wRMM-Q04U43D270ZP204	1	252	1.200
wRMM-Q04U43D292ZP204	1	256	1.201
wRMM-Q04U43D315ZP204	1	247	1.188
wRMM-Q04U47D337ZP204	1	216	1.159
wRMM-Q05U43D292ZP204	1	356	1.128
wRMM-Q05U47D225ZP204	1	429	467
wRMM-Q05U47D292ZP116	1	223	1.119
wRMM-Q05U47D315ZP116	1	169	1.114
wRMM-Q05U47D315ZP204	1	424	1.141
wRMM-Q05U47D337ZP204	1	325	1.125
wRMM-Q06U43D292ZP116	1	187	1.092
wRMM-Q06U43D315ZP116	1	168	1.079
wRMM-Q06U43D315ZP204	1	402	1.110
wRMM-Q06U47D247ZP116	1	399	518
wRMM-Q06U47D315ZP116	1	698	718

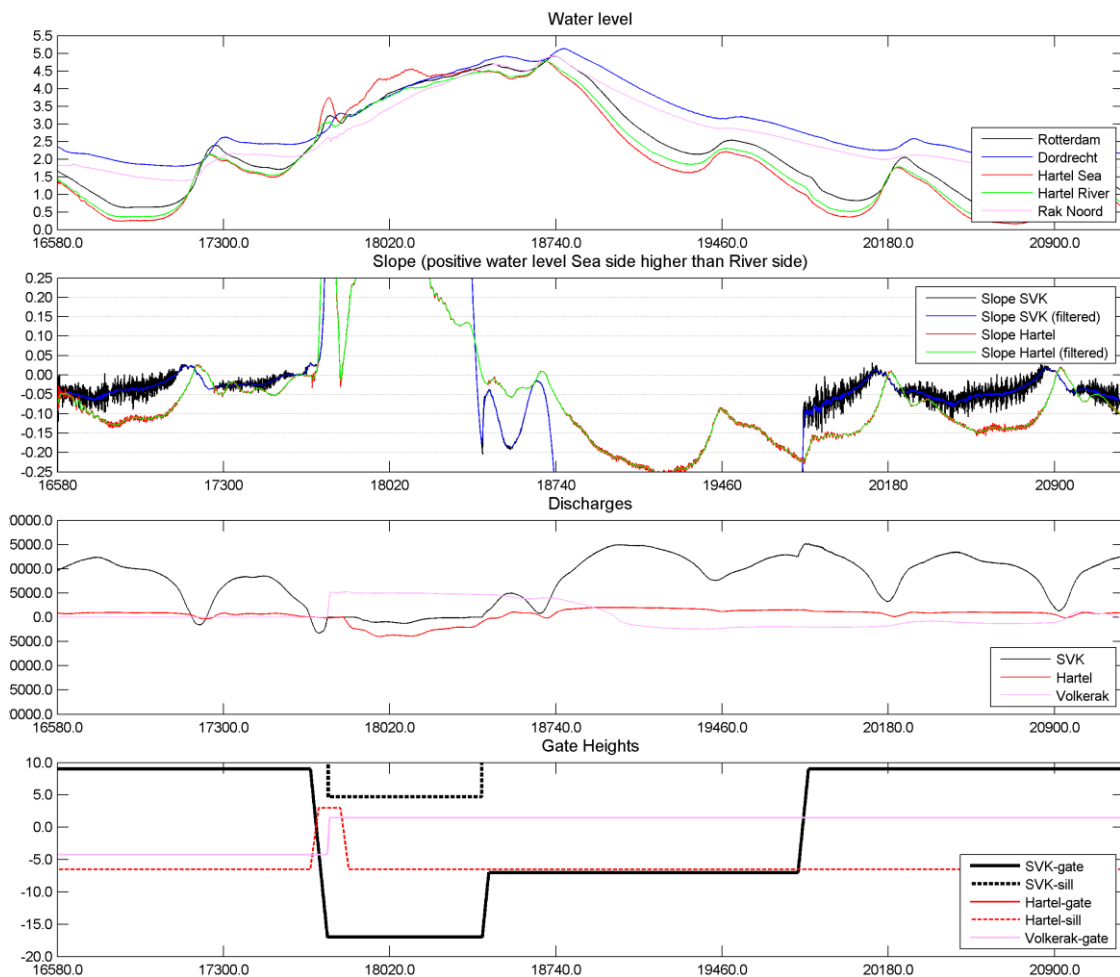
Tabel 5.1 Berekeningen waarin sluitingsduur HK >> sluitingsduur MLK.

Een voorbeeld waarin de sluitingsduur van de Hartelkering (HK) veel groter is dan de sluitingsduur van de Maeslantkering (MLK) is getoond in Figuur 5.23. Het betreft hier berekening wRMM-Q05U47D292ZP116 (sluitduur MLK = 223 min, sluitduur HK = 1.119 min). Het figuur laat zien dat de HK veel langer gesloten is dan de MLK doordat de HK eerder kan sluiten dan de MLK, als gevolg van het moment van kentering. Deze verklaring geldt ook voor de andere berekeningen in bovenstaande tabel.



Figuur 5.23 Eerste en vierde (laatste) iteratie Keringenscript voor Q05U47D292ZP116 (1 sluiting en Tsluitduur HK >> Tsluitduur MLK)

In de groep punten gemarkeerd met een 'C' in Figuur 5.18 heeft de Hartelkering een sluitingsduur van 60 minuten, terwijl de Maeslantkering veel langer gesloten blijft. De groep bevat blauwe, groene, zwarte en roze '+' wat overeenkomt met de hogere rivierafvoeren (Q12-Q15). Het gaat hier om berekeningen waarin de Maeslantkering in drijvende toestand is (= gesloten), terwijl de Hartelkering na sluiting direct weer geopend wordt. Dit is in Figuur 5.24 getoond voor de berekening wRMM-Q12U22D337ZP604, iteratie 5. Conform de instelling voor de sturing van de Hartelkering is de minimale tijd dat de kering gesloten moet zijn 60 minuten.



Figuur 5.24 Berekening wRMM-Q12U22D337ZP604, korte sluiting Hartelkering, gesloten/drijvende Maeslantkering.

5.4.4 Tijdstippen toestandsveranderingen keringen

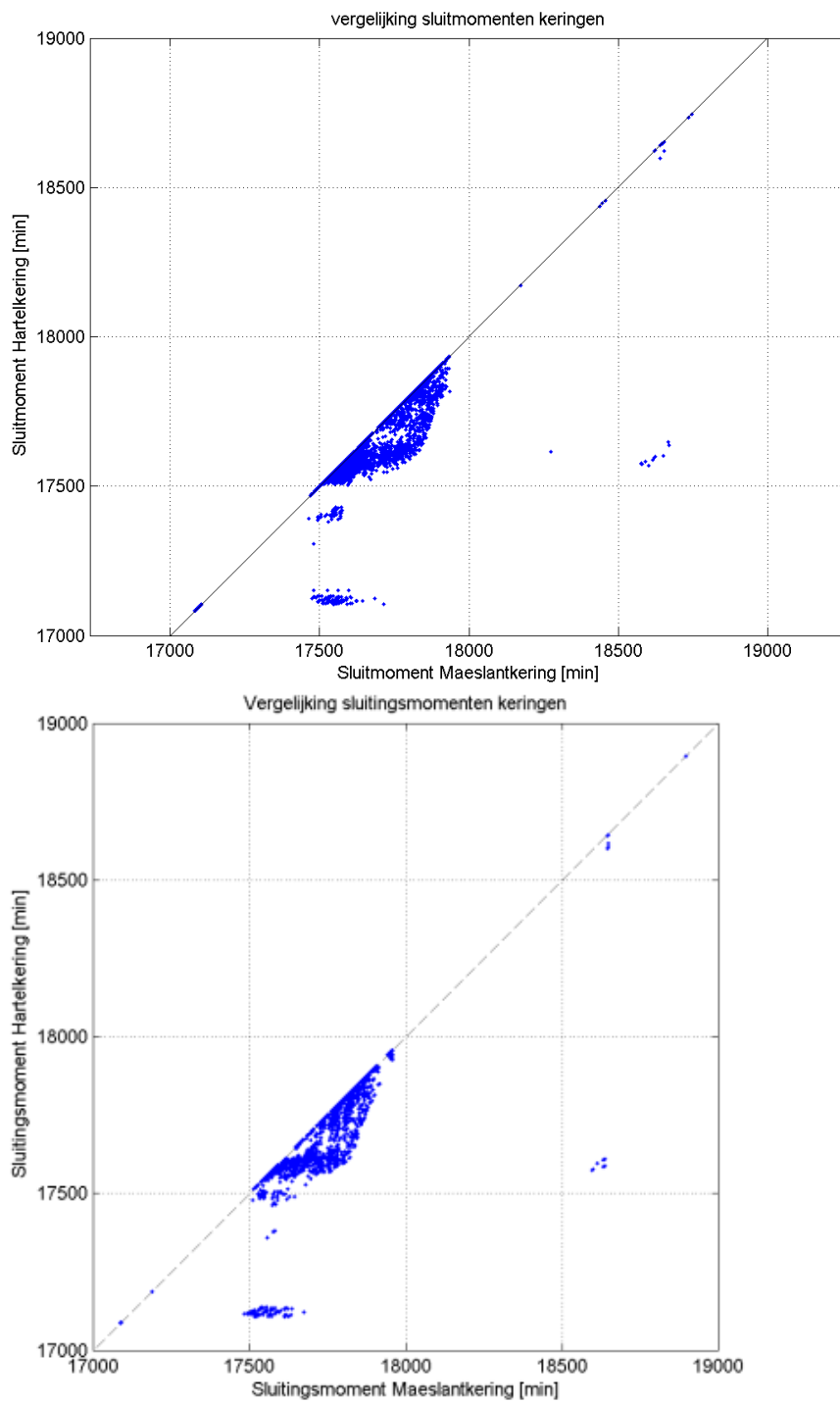
In Figuur 5.25 zijn de sluitingstijdstippen van beide keringen tegen elkaar uitgezet. Er zijn 110 berekeningen waarbij de keringen op "T=0" sluiten en de Maeslantkering initieel in drijvende toestand gezet wordt (zie [DATA-ARCHIEF]3.RMM\5.Controle_productiesommen\1.Waterstanden\output_bewerkt\RMM_FysContr_Keringenscript_tijden_v3_20151120.xlsx, tabblad 'bijzondere tijden', kolom B), conform hetgeen beschreven staat in paragraaf 2.7.2. Dit betreft:

- 3 berekeningen voor Q12 (alleen met zeepeil ZP116, zie Figuur 5.27 voor een voorbeeld, positief debiet door kering betekent richting zee)
- 10 berekeningen voor Q13 (9 ZP116, 1 ZP136)
- 21 berekeningen voor Q14 (waarvan twee met ZP604, zie Figuur 5.28 voor Q14U43D292ZP604, waarbij als gevolg van een continu positieve afvoer geen sluitingsmoment kan worden bepaald)
- 76 berekeningen voor Q15.

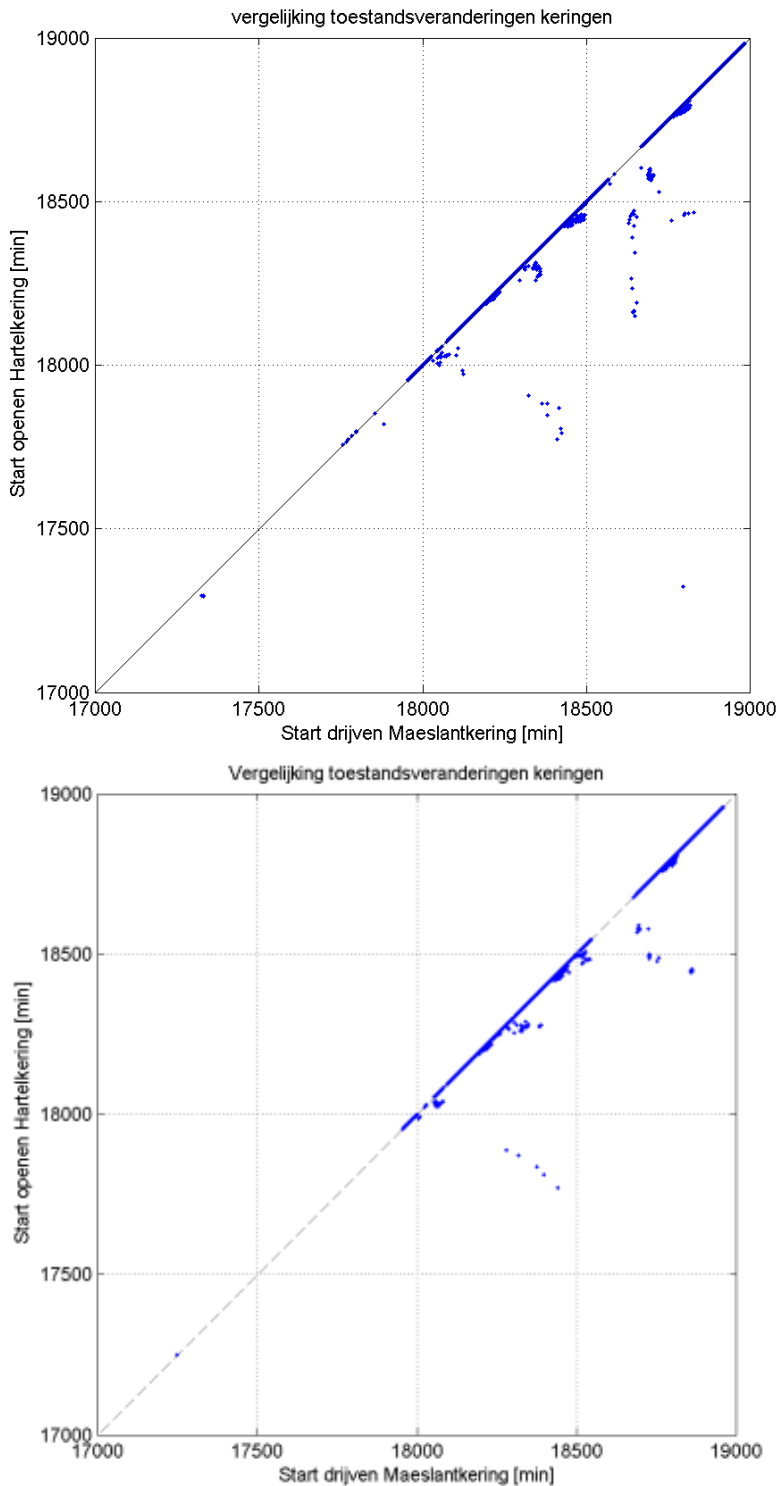
Deze in totaal 110 berekeningen zijn niet getoond in Figuur 5.25.

Uit Figuur 5.25 volgt dat de Hartelkering nooit later sluit dan de Maeslantkering. Deze afhankelijkheid is correct ingebouwd in het Keringenscript. Andersom kan de Hartelkering wel eerder sluiten dan de Maeslantkering. Het patroon is zeer vergelijkbaar met WTI2011; voor een analyse van "uitschieters" wordt dan ook verwezen naar Vuik et al. (2011b).

Na verloop van tijd gaat de Maeslantkering over naar de drijvende toestand, en de Hartelkering gaat over naar open toestand. Deze tijdstippen zijn vergeleken in Figuur 5.26. Ook hier is het patroon vergelijkbaar aan dat uit WTI2011, behalve die situaties waarbij de keringen initieel gesloten worden. De Hartelkering staat dan meteen open, de Maeslantkering gaat vanuit gesloten toestand naar drijvende toestand.



Figuur 5.25 Vergelijking sluitingsmomenten Maeslantkering en Hartelkering (boven: WT2017, onder: WT2011).

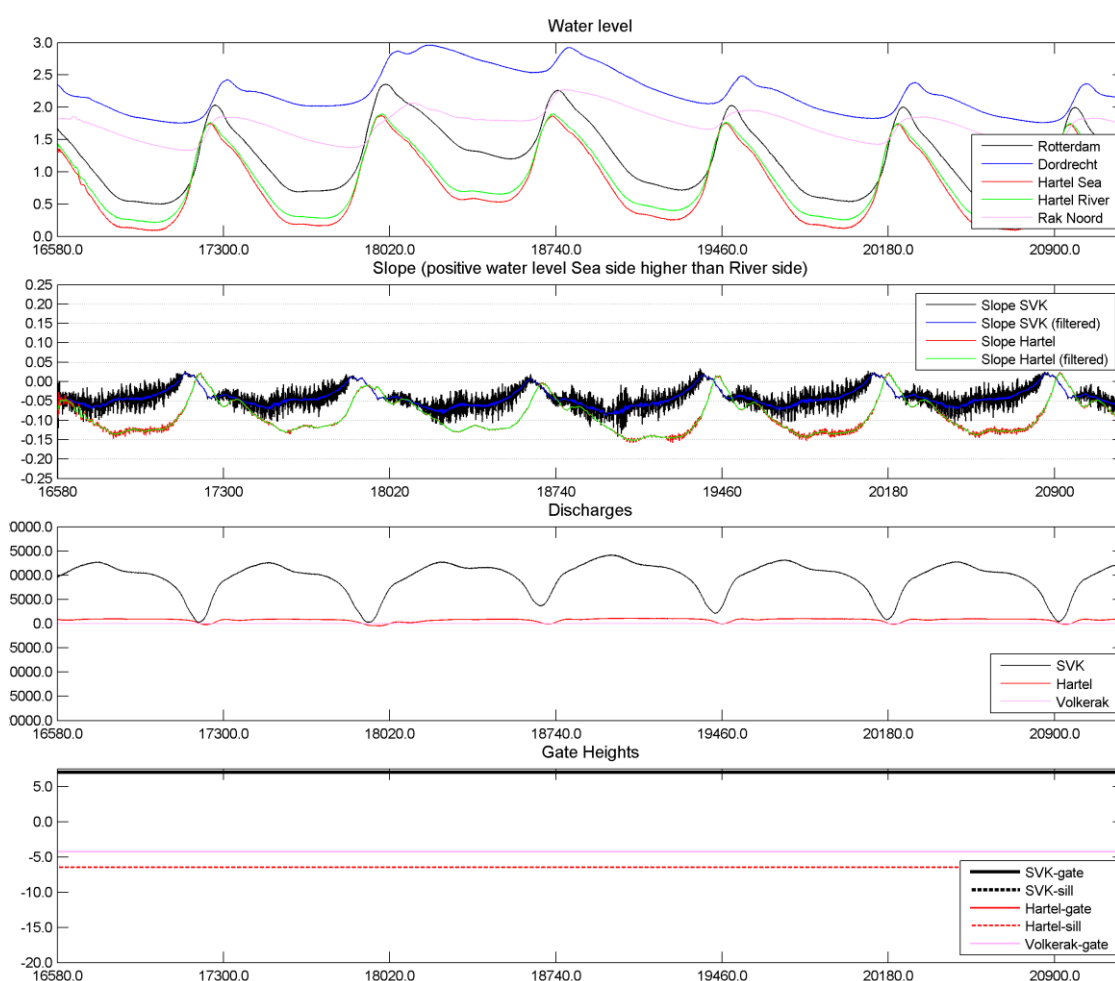


Figuur 5.26 Vergelijking einde (eerste) sluiting Maeslantkering (start drijvende toestand) en Hartelkering (start geopende toestand). Boven: WT12017, onder: WT12011.

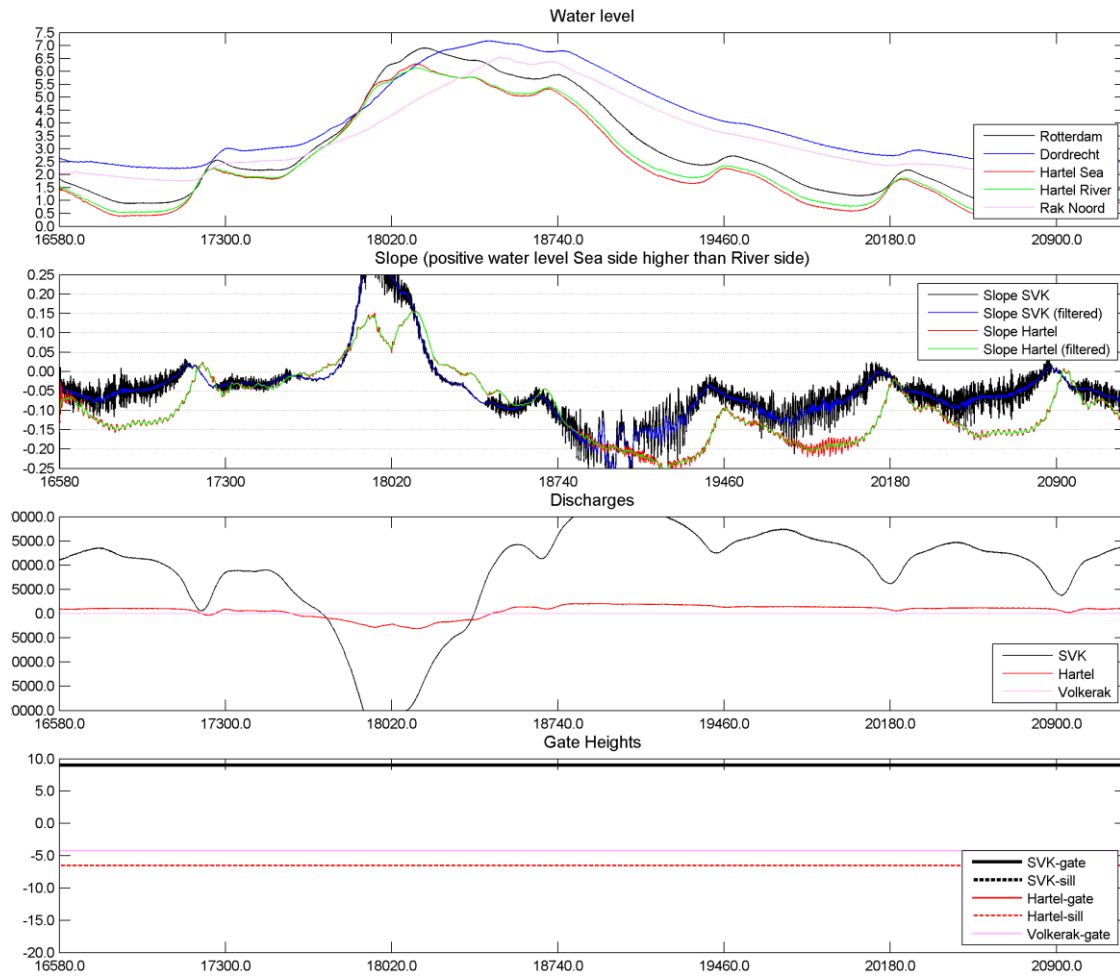
Er zijn 3 berekeningen met een sluitingsmoment groter dan 19.000 minuten, zie onderstaande tabel. De uitvoerpunten van deze drie berekeningen zijn in de voorgaande figuren niet meegenomen.

Berekening	Tsluit [min]
wRMM-Q15U43D067ZP136	19.238
wRMM-Q15U43D090ZP136	19.231
wRMM-Q15U43D112ZP136	19.231

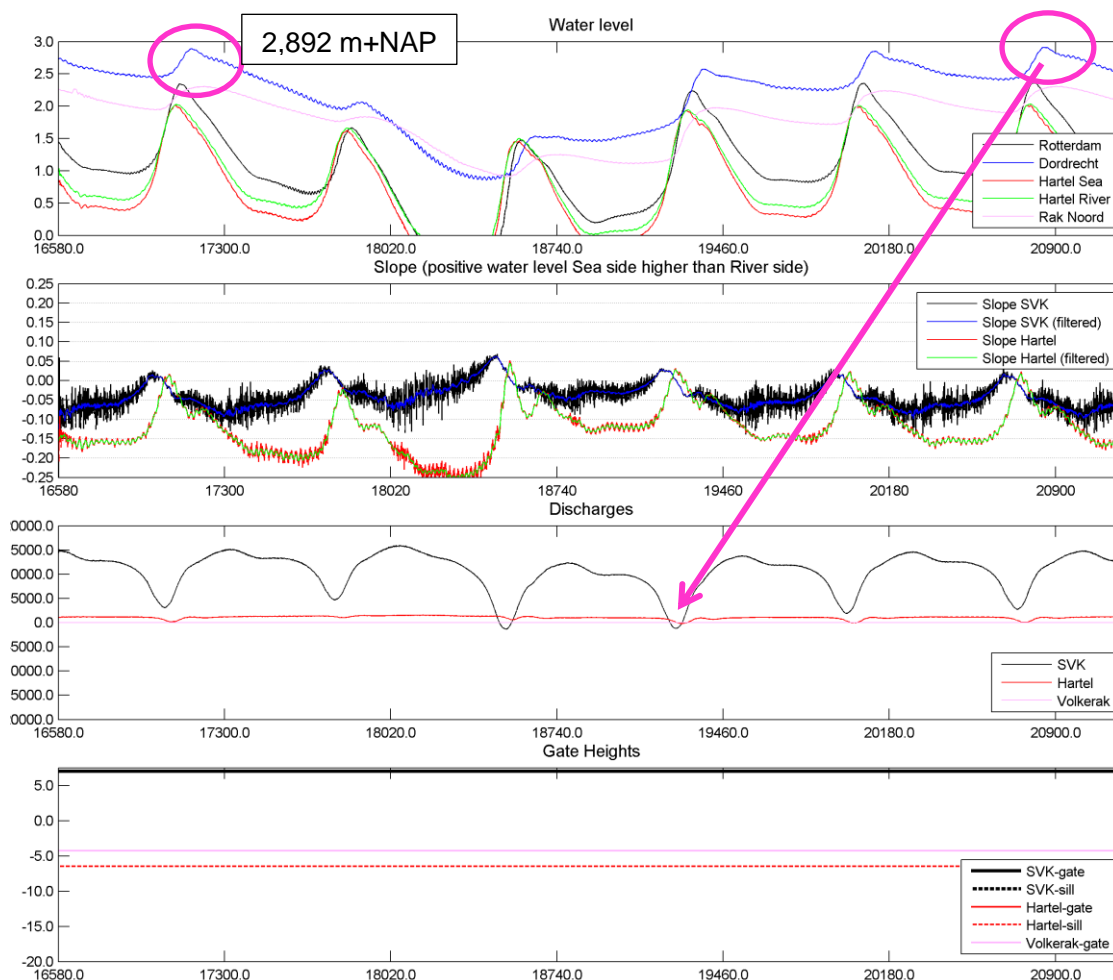
Figuur 5.29 geeft de tijdreeksen van waterstanden en afvoer bij de MLK voor berekening wRMM-Q15U43D090ZP136. De waterstand bij Dordrecht overschrijdt aan het einde van de berekening het sluitcriterium van 2,9 m+NAP (en aan het begin net niet), wat het relatief late sluitingsmoment verklaart.



Figuur 5.27 Eerste iteratie Keringenscript voor Q12U32D247ZP116. Door het ontbreken van een geschikt moment om te sluiten zullen de keringen op $T=0$ sluiten.



Figuur 5.28 Eerste iteratie Keringenscript voor Q14U43D292ZP604. Door het ontbreken van een geschikt moment om te sluiten zullen de keringen op $T=0$ sluiten.



Figuur 5.29 Eerste iteratie Keringenscript voor Q15U43D090ZP136. De pijl geeft het sluitmoment weer.

5.5 Maximale waterstanden in de as van de rivier

De maximale waterstanden in de as van de rivier geven een goede indicatie of berekeningen betrouwbaar en fysisch realistisch zijn. Op de volgende trajecten zijn de verlopen van maximale waterstanden (en afvoeren, hier niet gerapporteerd) gecontroleerd:

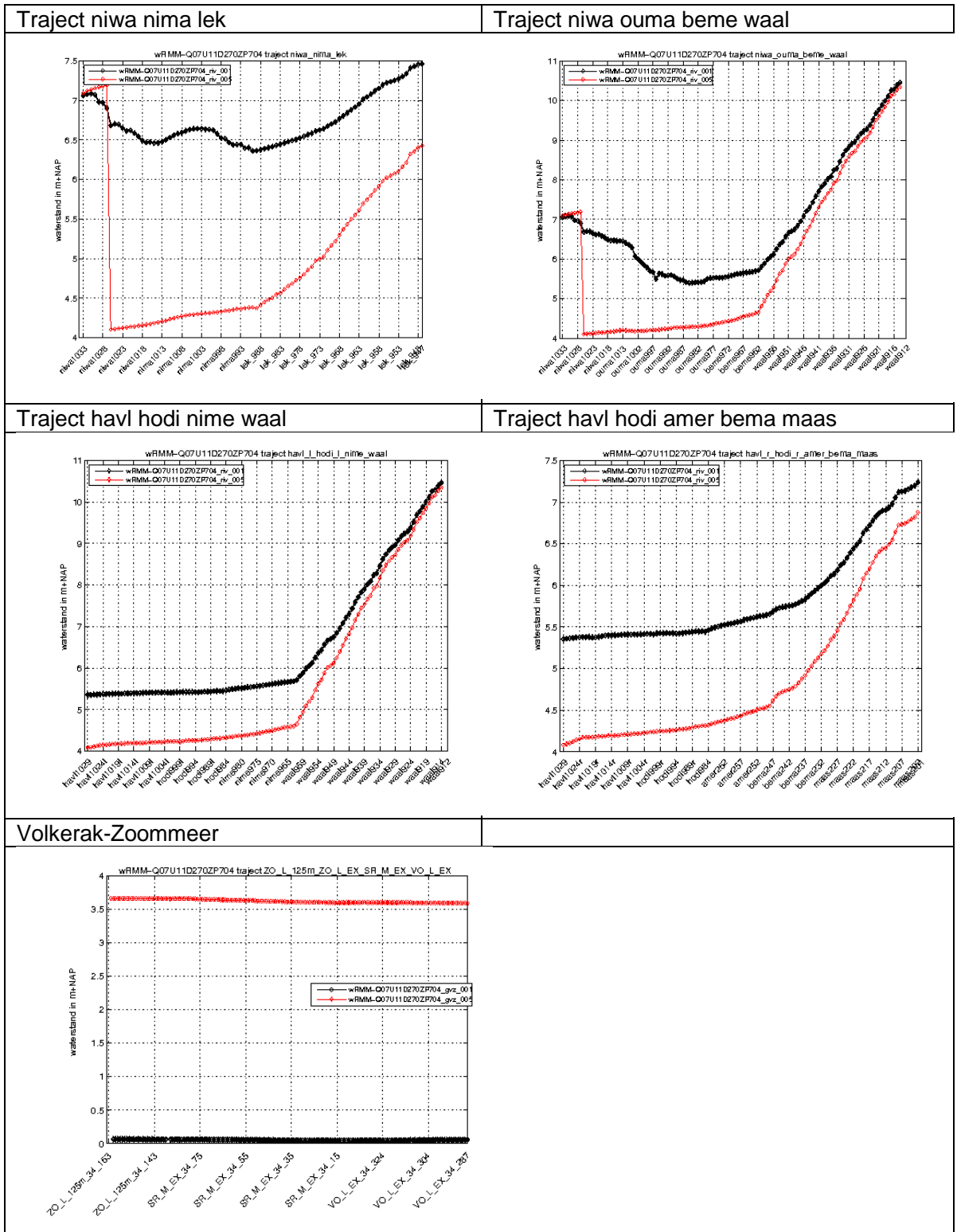
- Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Lek (niwa – nima – lek)
- Nieuwe Waterweg – Oude Maas – Beneden Merwede – Waal (niwa – ouma – beme – waal)
- Haringvliet – Hollands Diep – Nieuwe Merwede – Waal (havl – hodi – nime – waal)
- Haringvliet – Hollands Diep – Amer – Bergsche Maas – Maas (havl – hodi – amer – bema – maas)
- Volkerak-Zoommeer (alleen in geval van inzet waterberging Volkerak)

Voor deze analyse zijn de 'max13'-waarden gebruikt zoals die door getdata worden bepaald op basis van tijdreeksen van uitvoerlocaties, hier de aslocaties. Dat de parameter 'max13' voorzichtig gebruikt moet worden, blijkt uit enige voorbeelden in Bijlage C. Op dit punt wordt in de volgende paragrafen verder ingegaan, waarbij de maximale waterstanden in tijdsverlopen van waterstanden nader worden geanalyseerd.

Alle gegenereerde verlopen (te vinden in het data-archief, zie Tabel A.1) zijn visueel gecontroleerd, waarvan hier een aantal opvallende zaken worden gerapporteerd. Daarnaast is op een aantal punten in de RMM gecontroleerd of bepaalde, vanuit fysisch oogpunt te verwachten, patronen/verlopen zichtbaar zijn tussen de verschillende stochastcombinaties.

Figuur 5.30 geeft een voorbeeld van het verloop van de waterstanden voor een berekening met gemiddelde afvoer en een relatief hoge rivierafvoer. In de figuren is zowel de eerste iteratie van het Keringenscript (de geopende toestand) als de laatste iteratie van het Keringenscript (hier met sluiting en inzet waterberging) getoond. Het effect van sluiting van de keringen is goed terug te zien.

Om consistent verloop in waterstanden en andere parameters zoals het aantal droge punten te vergelijken tussen de verschillende berekeningen/stochastcombinaties is een Excel spreadsheet gemaakt. In Bijlage B is de werking van deze Excelsheet toegelicht en is een globale consistentiecheck uitgevoerd, door per stochast (rivierafvoer, zeepeil, windsnelheid en windrichting) de variatie in maximale waterstanden over een aantal trajecten te analyseren.

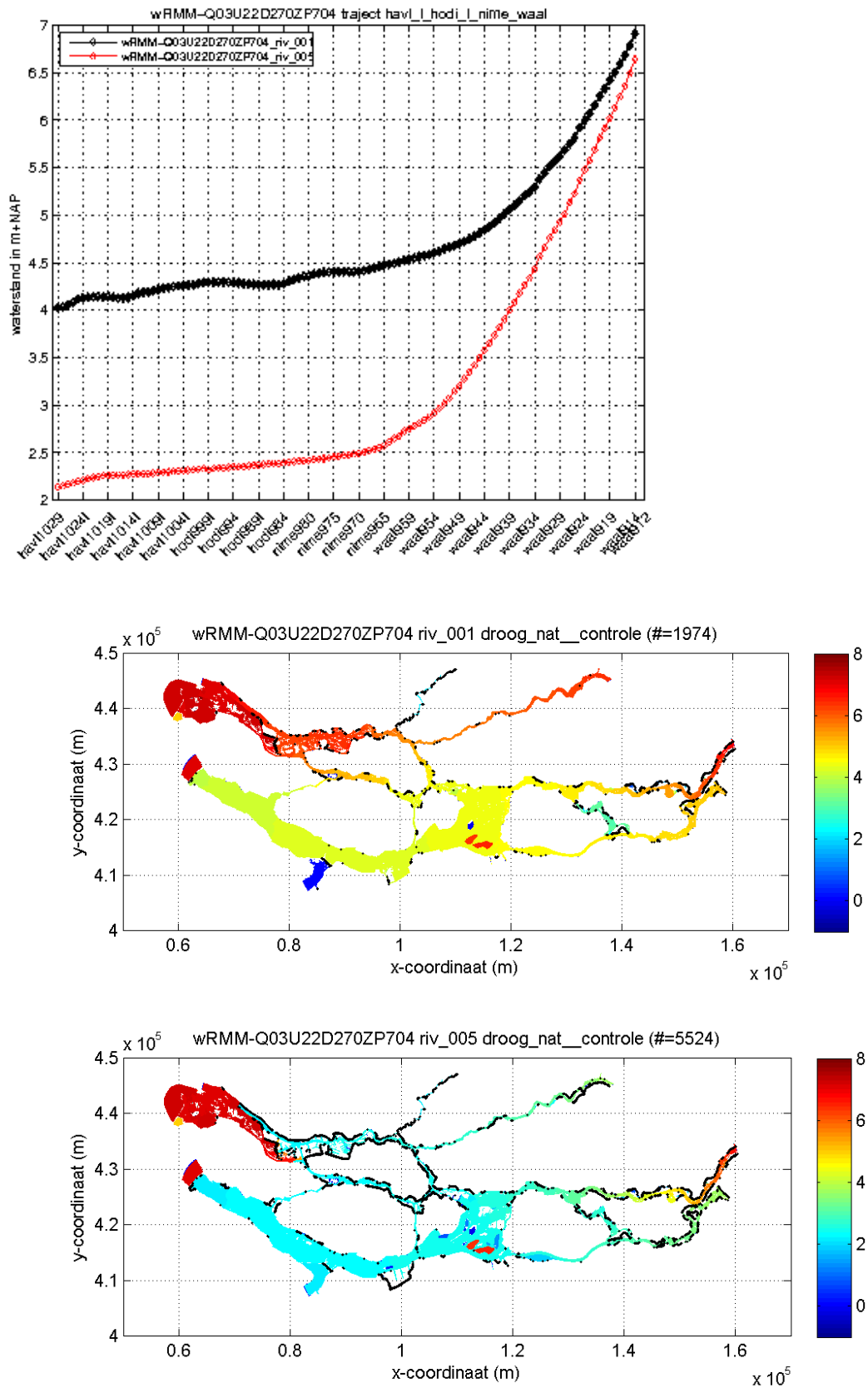


Figuur 5.30 Voorbeeld verloop waterstanden in de as van de rivier en het Volkerak-Zoommeer met gemiddelde rivierafvoer (zwart: eerste iteratie Keringenscript, rood: laatste iteratie Keringenscript).

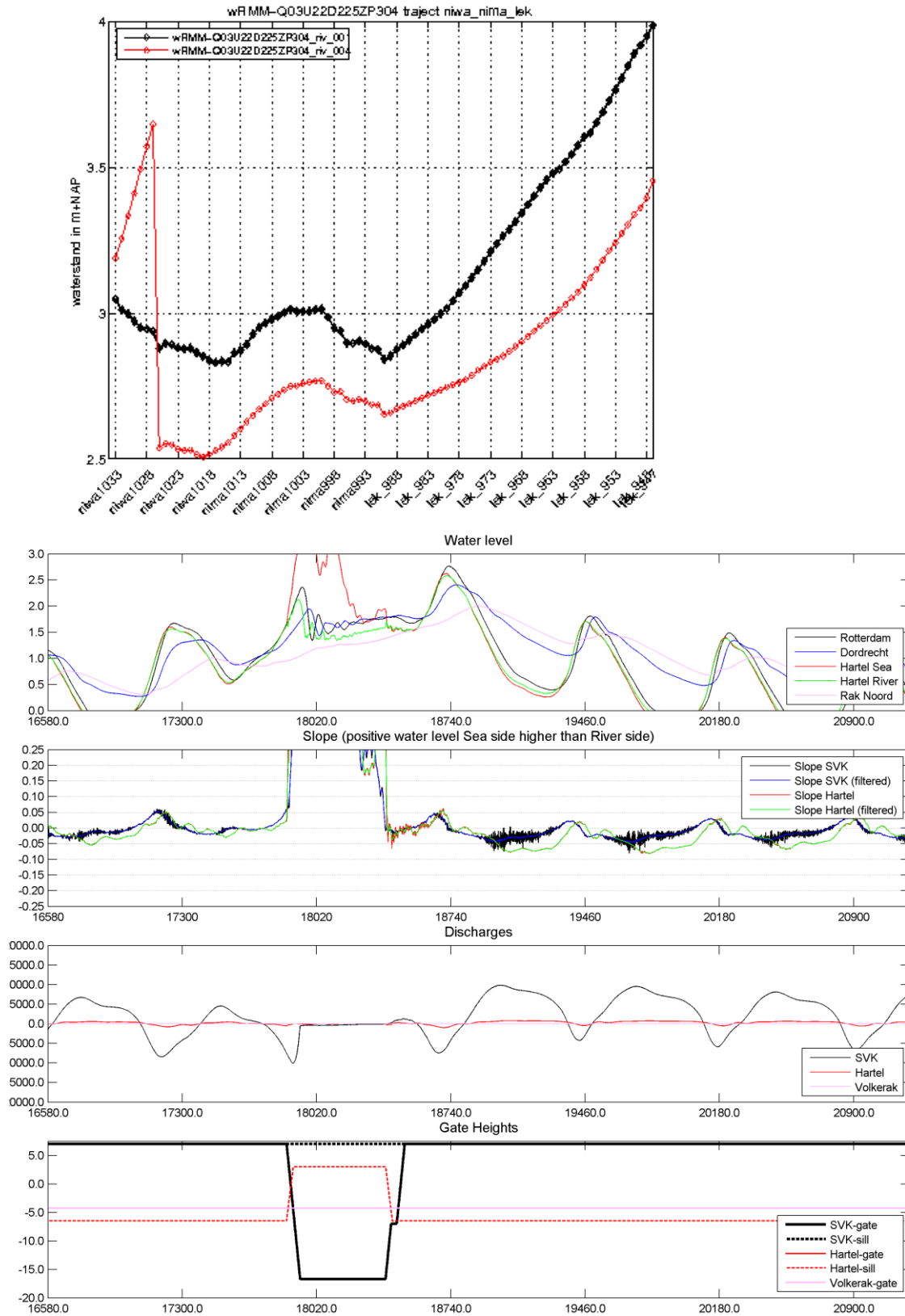
Figuur 5.31 toont het effect van de Haringvlietsluizen op de waterstanden in de Rijn-Maasmonding bij een lage rivierafvoer ($4.000 \text{ m}^3/\text{s}$), westenwind en een hoog zeepeil ($7,04 \text{ m+NAP}$ bij de Maasmond). Bij geopende stormvloedkeringen is de waterstand in de Nieuwe Waterweg ongeveer 7 m+NAP en in het Haringvliet net boven de 4 m+NAP . Dat is een fors verschil zoals ook te zien is in de 2D-figuren. Door de hoge zeewaterstanden kan geen water gespuid worden, waardoor een groot verschil ontstaat tussen de binnen- en buitenwaterstand bij de Haringvlietsluizen. In de situatie met gesloten stormvloedkeringen is het verschil in waterstand tussen de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet veel kleiner (Figuur 5.31).

Figuur 5.32 geeft een voorbeeld van een berekening met peilsluiting (Q03). De stormvloedkeringen worden gesloten omdat de verwachte waterstand bij de Nieuwe Waterweg (niwa1026) groter wordt dan 2 m+NAP . Figuur 5.33 geeft twee voorbeelden van een berekening met kenteringsluiting (Lobithafvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en meer), waarbij ook de triggerwaterstanden zijn getoond waarin te zien is dat de (verwachte) waterstanden bij Dordrecht groter wordt dan $2,9 \text{ m+NAP}$, waarop de keringen worden gesloten. Figuur 5.34 geeft een voorbeeld van een berekening met weinig verschil in waterstand tussen gesloten en geopende kering. Dit komt doordat de MLK vrijwel direct na sluiting in drijvende toestand gaat.

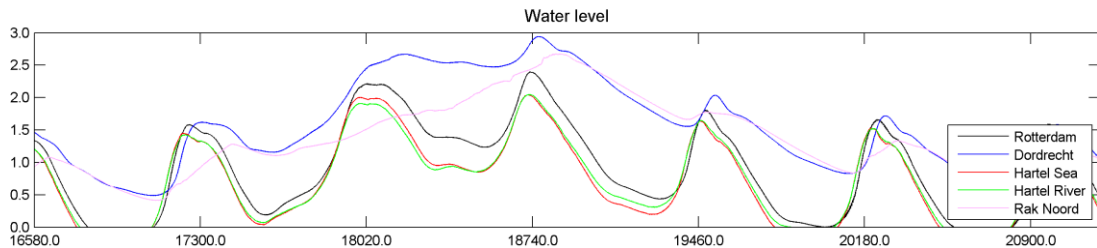
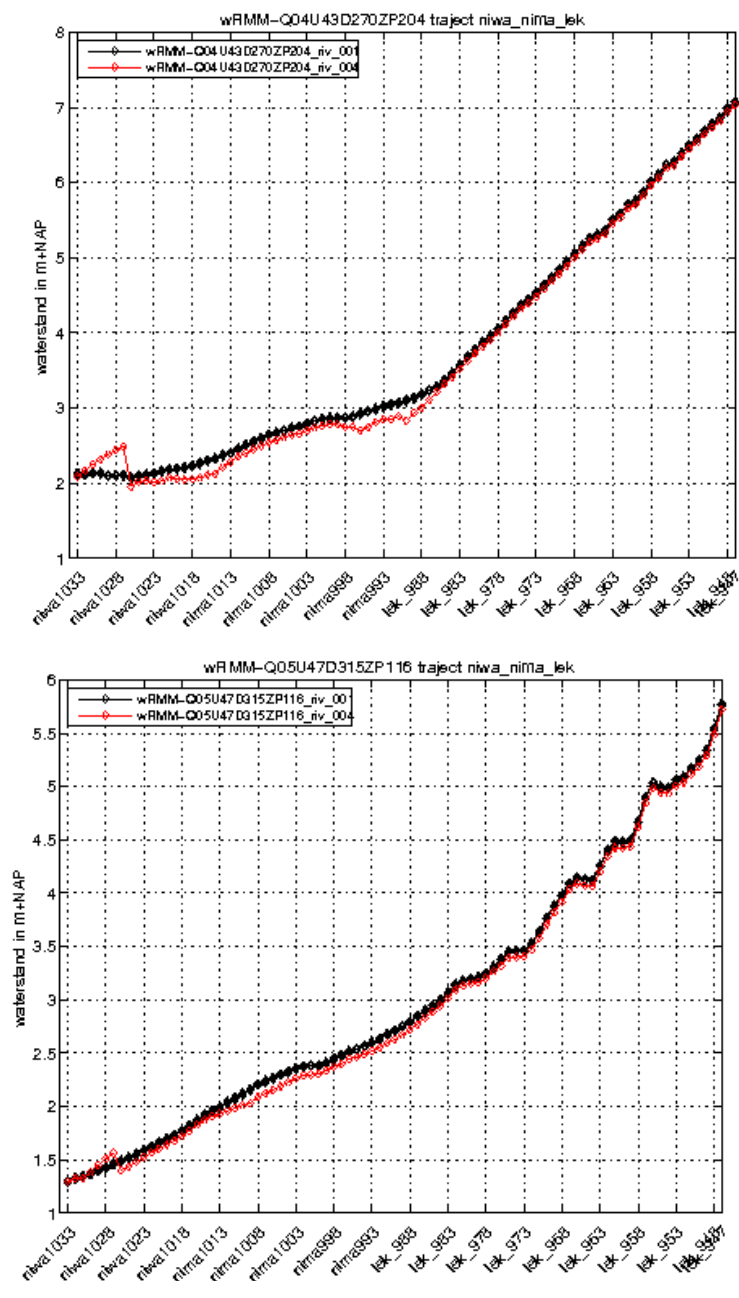
Figuur 5.35 toont het waterstandsverloop op het Volkerak-Zoommeer bij NNW wind (D337). Zowel bij geopende stormvloedkeringen als bij gesloten keringen vindt opwaaiing in zuidelijke richting plaats wat tot een flink waterstandsverhang leidt op het Zoommeer.



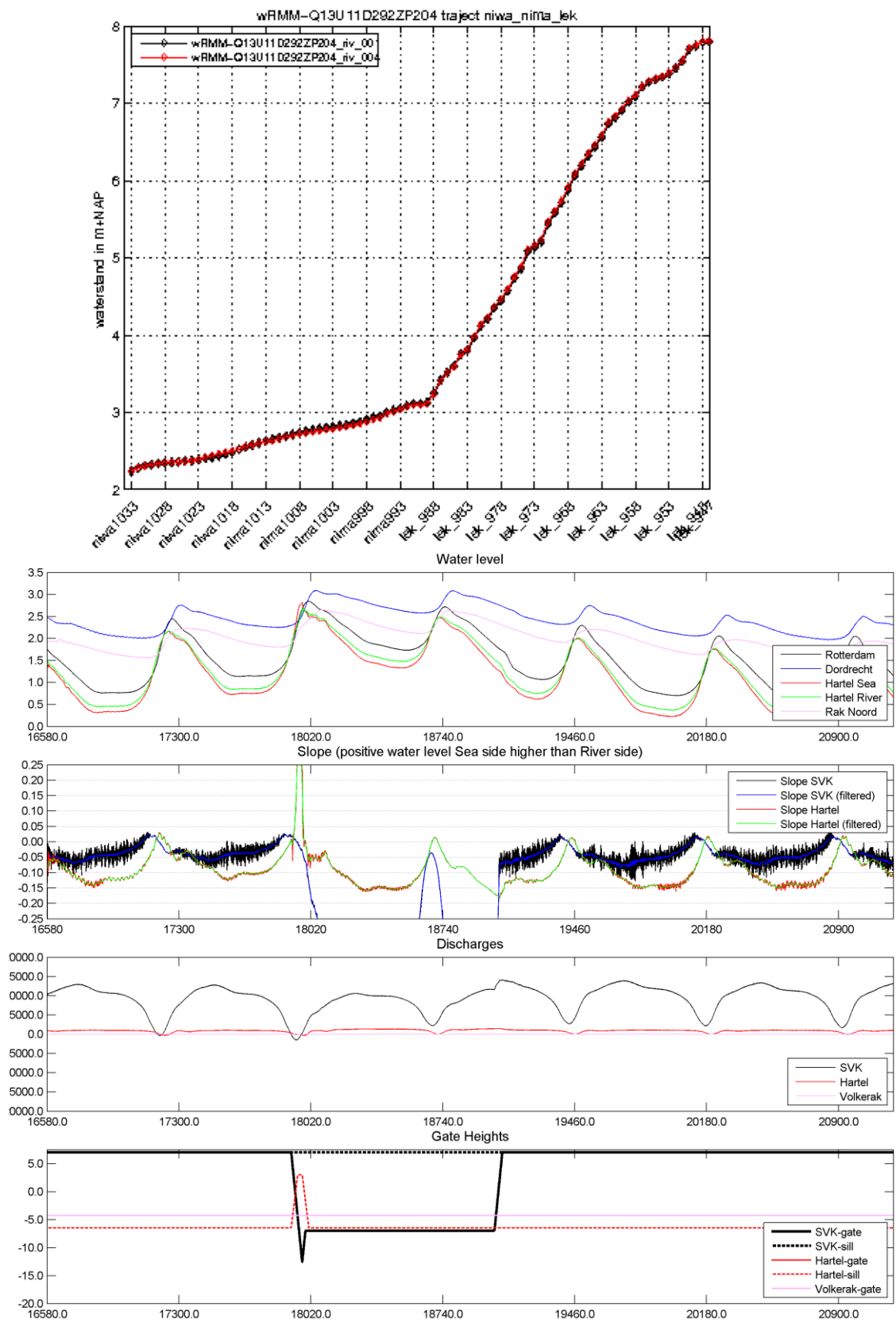
Figuur 5.31 Effect Haringvlietsluizen op waterstanden (m+NAP) in het rivierengebied.



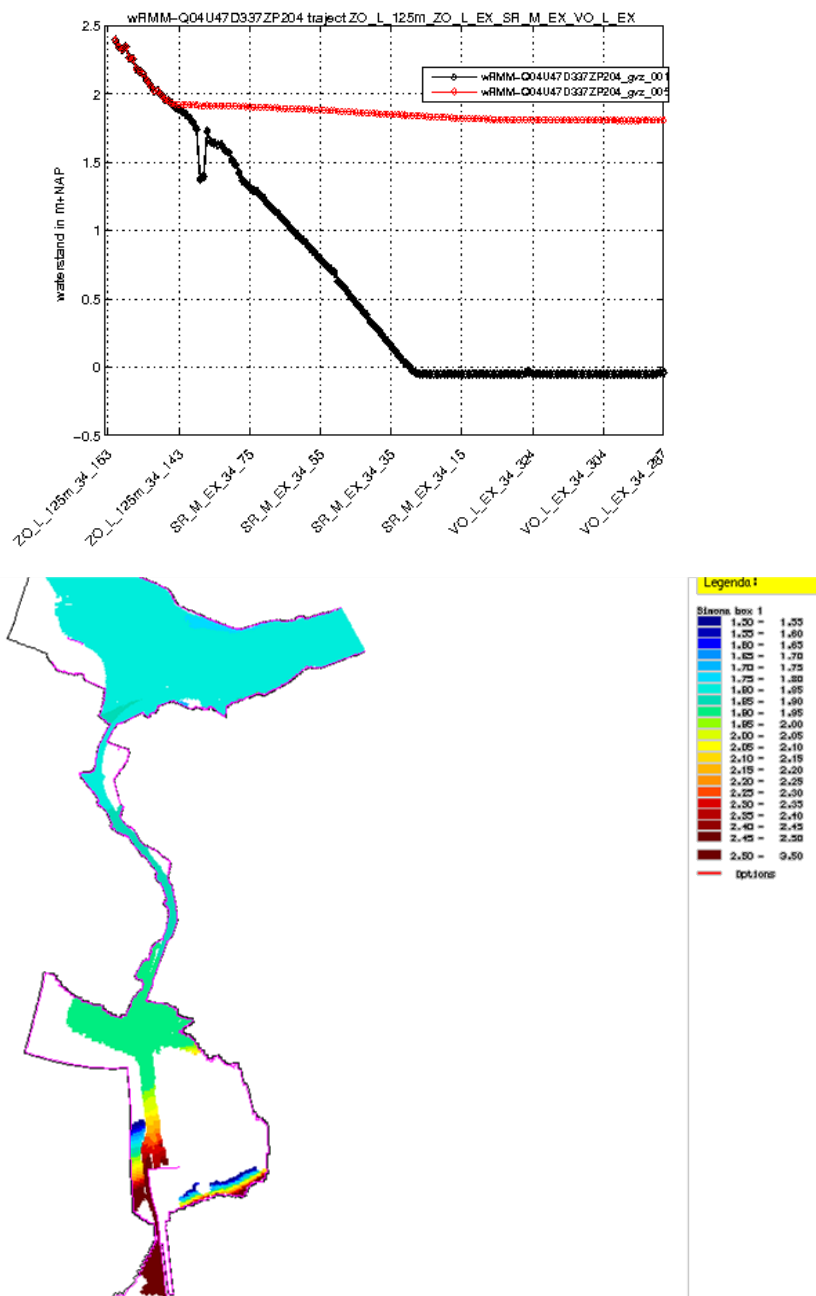
Figuur 5.32 Voorbeeld van een berekening met peilsluiting.



Figuur 5.33 Twee voorbeelden van een berekening met kenteringsluiting bij een relatief laag zeepeil, waarbij voor het tweede geval ook de sturende waterstanden (m+NAP) zijn getoond.



Figuur 5.34 Voorbeeld van een berekening met weinig verschil in waterstand tussen gesloten en geopende keringen.



Figuur 5.35 Opwaaiing in het Zoommeer bij windsnelheid 47 m/s uit NNW-richting (337°). Het onderste figuur toont de maximale waterstanden (m+NAP).

5.6 Controle 'max13'-waarden

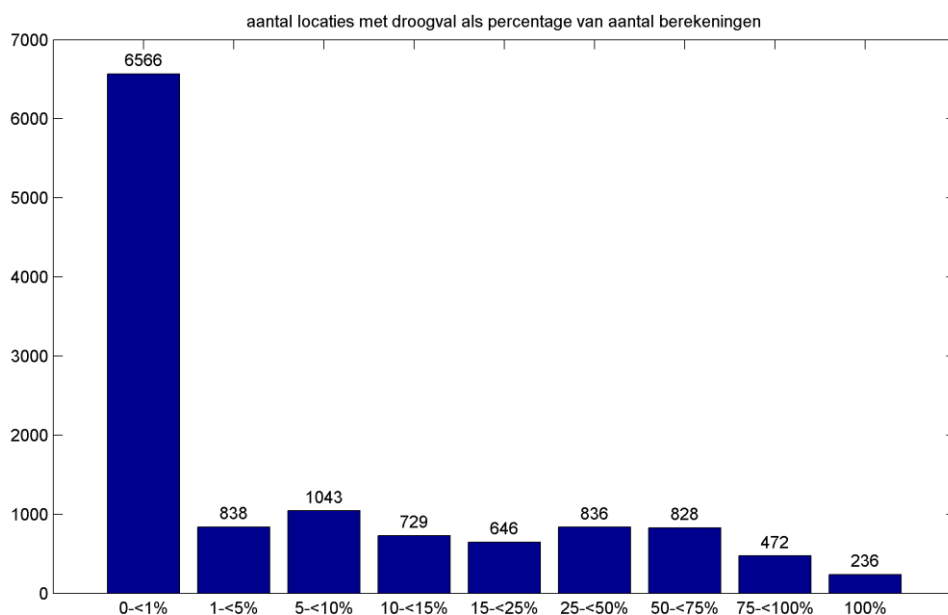
Voor iedere uitvoerlocatie wordt met 'getdata' de parameter 'max13' bepaald. Dit is het gemiddelde van de 13 uitvoerwaarden rond het maximum in een tijdreeks. De tijdreeks bevat uitvoerwaarden per 10 minuten; de 'max13'-waarde is dan het gemiddelde in een periode van twee uur (één uur voor de maximale 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 5.36 geeft een overzicht van het aantal uitvoerlocaties met droogval als percentage van het totaal aantal berekeningen. Het totaal aantal berekeningen is 8555, waarvan 4875 met geopende keringen, en 3680 berekeningen waarbij sluiting nodig is. Voor deze analyse zijn de 'backup'-locaties buiten beschouwing gelaten; dat betekent dat voor deze analyse 12194 van de 20339 locaties zijn beschouwd. In het figuur is te zien dat er 236 locaties permanent (dus in alle berekeningen) potentieel droog zijn. Tabel 5.2 geeft een overzicht van deze locaties. Opvallend is dat er een aantal aslocaties permanent droog staan; dit zijn locaties die buiten de modelbegrenzing vallen, maar wel zijn opgenomen als uitvoerlocatie. Verder zijn er vooral veel droge punten langs de Waal nabij dijkkring 'R_43', wat voor een deel ook locaties buiten de modelbegrenzing zijn. Figuur 5.37 geeft een ruimtelijk beeld van droge punten voor de berekeningen met het grootste en kleinste aantal droge punten.

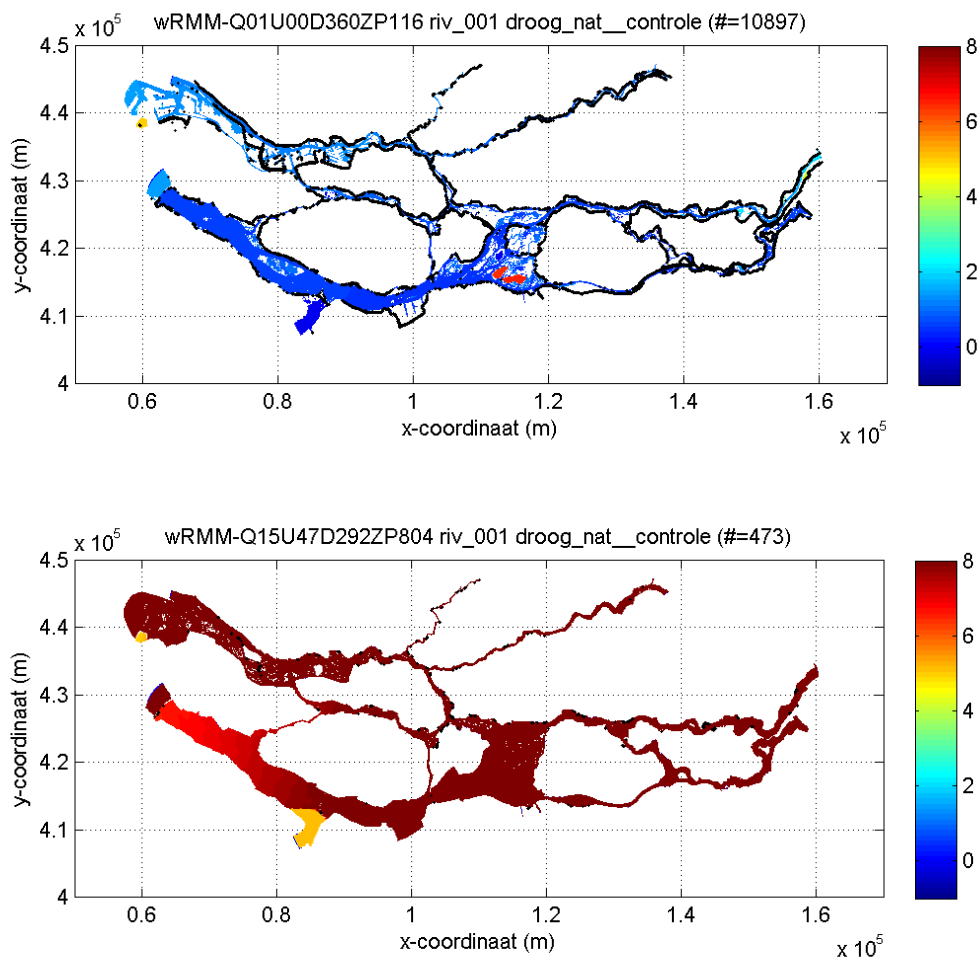


Figuur 5.36: Potentieel aantal uitvoerlocaties met droogval als percentage van het totaal aantal berekeningen.

Locatie of dijkkring	Nummer van de locatie
Hagesteinboven	
Lith_boven	
HAGSBVN	
Hoogezand	
Zuidersluisdam	
waal912	
waal913	
maas201	
HollDp ost1	
HarSl Nrd	
HollDp ost2	
HarSl Zd	
HarBinZd	
AF_60m_L_24	285;286;287;288
AM_60m_L_35	1
AM_80m_L_34-a	29;33;34
BE_60m_R_16	7;10;11;20;29;92;93;126;133;135
BM_60m_L_35	74;83;101;106
CK_60m_R_19	8;25;26
CK_80m_R_VB8	9;13
DK_60m_L_22	246;248;249;256
HD_110m_L_VB15	58;59;60
HI_60m_L_15	8;25;32;33;41;116;117;118;152;154;155;185;194;197
HI_60m_R_14	25;26;27;86;98;99;177
HV_110m_M_VB11	28;30;31
LE_60m_L_16	52;53;54;55;291;316;323;446;450;451;456
LE_60m_R_15	25;289;291;295;296
LE_60m_R_44	190;191;192;193
LE_ex_75	
MA_60m_L_36	669;670;671;672;673;674;675;676;677;678;679;680
MA_60m_R_41	431;432;433;434;435;436;437;438;439;440;441
NM_80m_L_17	56;70;120;122;123
NM_80m_R_14	227;251;283;284;285;286;324;370;407
NM_80m_R_15	209;211;226
NO_80m_R_16	167;168;169;170;184;192;195;196;212;215;253;254

OM_60m_L_20	524;525;526;527
OM_60m_L_22	341;345;351;355;358
OM_60m_R_17	249;269;287;288;383
WA_60m_L_24	42;43
WA_60m_L_38	26;27;28;29;110;114;117;118;290
WA_60m_L_40	7;8;9
WA_60m_L_41	319;320;321;322;323;324;325;326;327;328;329;330;331;393
WA_60m_R_16	512;515;536
WA_60m_R_43	635;636;637;638;639;640;641;642;643;644;645;646;647;710;711;712;713; 714;715;716;915;916;917;918;919;920;921;922;923;924;925;926;927;928; 929;1061;1062;1063;1064;1065;1066;1067;1068;1069;1070;1071;1076;1077; 1078;1079;1080;1093
WT_80m_R_22	214

Tabel 5.2 Uitvoerlocaties die in alle berekeningen droog zijn.



Figuur 5.37 Berekening met het grootste aantal droge punten (boven, 6098 zonder backup-locaties) en berekening met het kleinste aantal droge punten (onder, 239 zonder backup-locaties). De kleuren geven de maximale waterstand ($m+NAP$).

Tabel 5.3 geeft het percentage potentieel droge punten (ten opzichte van het totale aantal uitvoerpunten zonder backup-locaties) als functie van de rivierafvoer en het zeepeil weer. Er is, conform verwachting een sterke correlatie tussen het percentage droge punten en zowel de rivierafvoer als het zeepeil. De relatie tussen het aantal droge punten (#drpunt) en het zeepeil is veel eenduidiger dan die tussen droge punten en de rivierafvoer.

Afvoer	#drpunt	Sector	Zeepeil	#drpunt
Q01	27,8%	West	ZP116	22,3%
Q02	25,5%		ZP204	19,2%
Q03	22,3%		ZP304	17,7%
Q04	19,3%		ZP404	16,0%
Q05	15,9%		ZP504	13,7%
Q06	13,9%		ZP604	10,5%
Q07	12,2%		ZP704	8,4%
Q08	11,2%		ZP804	6,1%
Q09	11,1%	Oost	ZP136	27,4%
Q10	11,2%			
Q11	11,0%			
Q12	10,8%			
Q13	11,1%			
Q14	9,9%			
Q15	10,1%			

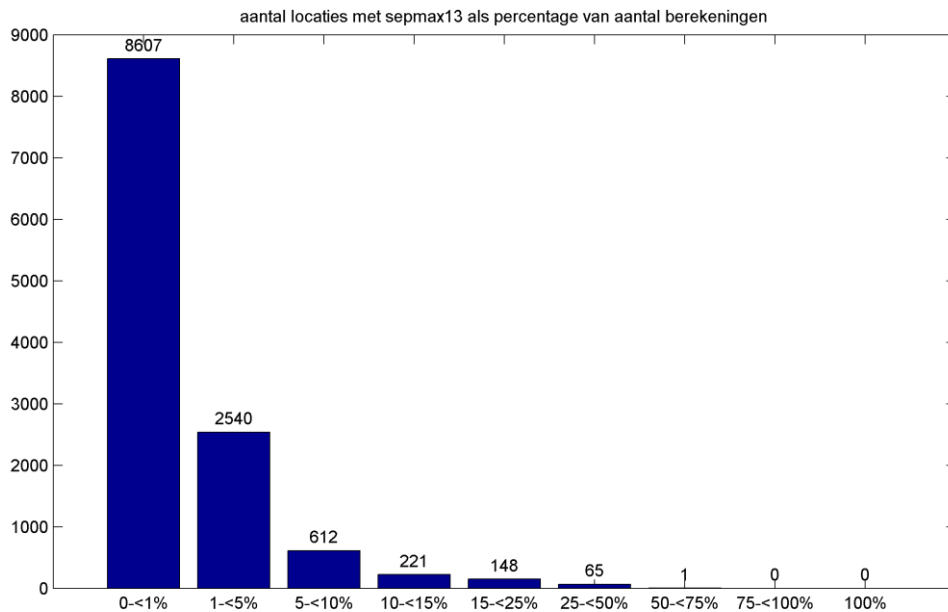
Tabel 5.3 Percentage potentieel droge punten als functie van de rivierafvoer (links) en het zeepeil (rechts).

5.7 Instabiliteiten in de maximale waterstand ('max13' vs 'sepmax')

Van iedere berekening worden zowel de absoluut maximale waterstand op tijdstapniveau bewaard als de waterstand gemiddelde over 13 minuten rond het maximum ('max13'). Wanneer het verschil tussen 'max13' en de daadwerkelijk maximaal berekende waterstand (MAXSEPSEP¹, bijgehouden per tijdstap), groot is, duidt dit op een instabiliteit in de berekening. Daarom is voor iedere locatie 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 <-0,03 m voor de Rijn-Maasmonding. 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.

Figuur 5.38 geeft een overzicht van het aantal uitvoerlocaties waarbij bovenstaand criterium wordt overschreden als percentage van het totaal aantal berekeningen. Er zijn geen uitvoerlocaties waarbij voor alle berekeningen aan het criterium wordt voldaan. Tabel 5.4 geeft een overzicht van de locaties waarbij in meer dan 15% van de berekeningen het criterium wordt overschreden (in totaal 214 locaties). De locaties liggen vooral rond de keringen in de Nieuwe Waterweg (Maeslantkering), het Calandkanaal en Hartelkanaal en bij de inlaatsluizen naar het Volkerak-Zoommeer (Figuur 5.39).

¹ In de dataverwerking 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'.

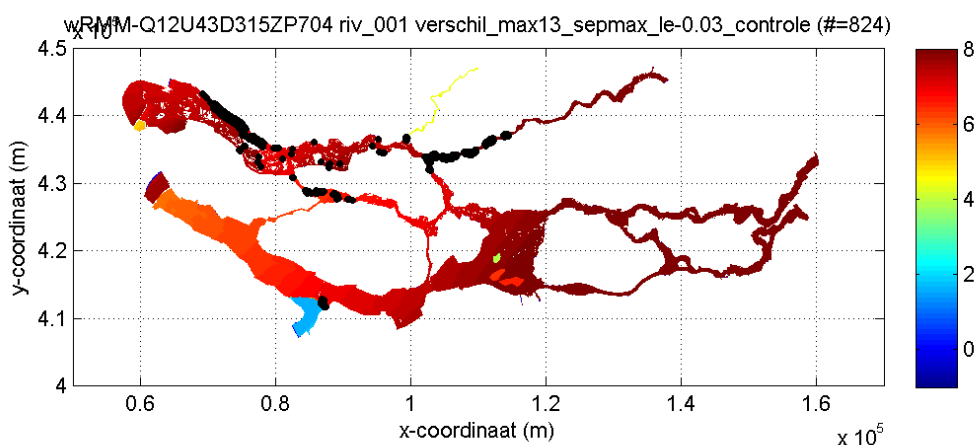


Figuur 5.38 Aantal uitvoerlocaties waarbij 'max13' sterk afwijkt van 'sepmax' als percentage van het totaal aantal berekeningen.

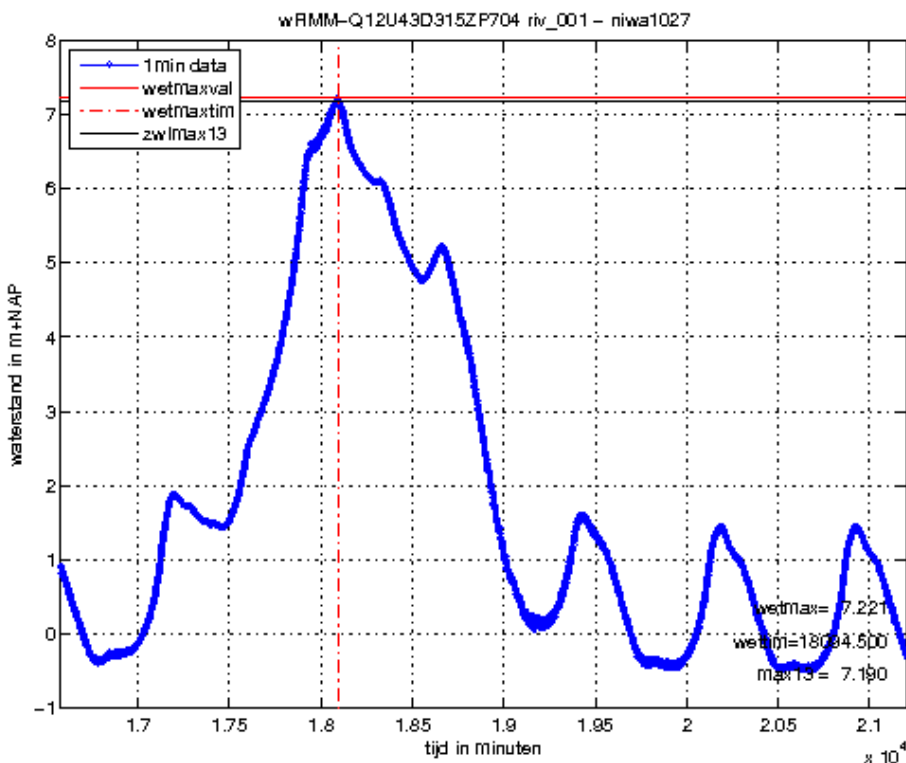
Locatie of dijkkring	Nummer van de locatie
CK_EX_R_19	9
HI_60m_L_15	191
HK_60m_L_20	161;162;163;164;165;166
HK_60m_L_VB9	1
HK_80m_M_VB9	126;127;128
HK_EX_L_20	214;215;216;217;218;219;220;222
HV_110m_L_25	250
HV_110m_M_VB11	33;35
Krimpen_ad_IJssel	
MA_60m_L_36	682;683;684
NM_EX_L_17	185
NW_60m_L_19	54;55;56;57;58;59;60;67;68;69;70;79;80;81
NW_60m_R_14	471;472;473;474;475;476;477;503;504;505;512;513;514;515;516;517;518; 519;520;525;526;527;528;529;530
NW_80m_L_VB8	70;71;72;73;74;75;78;79;80;81;82;83;84;85;86;87;88;89;90;91;92;93;94;95; 96;97;98;99;100;101;102;103;104;105;106;107;108;109;110;111;112;113;114; 115;116;117;118;119;120;121;122;123;124
NW_80m_M_VB8	135;136;142;143
NW_EX_L_19	1;2
NW_EX_L_VB9	146;148;150;151
NW_EX_R_14	159;160;161;162;163;164;165;169;171;172;173;174;175;176;177;178;181; 182;183;381;383;384;385;386;387;388;389;390;391;392;396;397;398
OM_60m_L_20	550;551;579;580
OM_60m_R_17	471
OM_EX_L_20	166;167

OM_EX_R_17	212;215;216;243;244;245;246;247;248
OM_EX_R_21	293
SP_EX_R_21	78
inl_volkerak_Nmidden	
inl_volkerak_Noord	
inl_volkerak_Zuid	

Tabel 5.4 Uitvoerlocaties waarbij in meer dan 15% van de berekeningen de 'max13' sterk afwijkt van 'sepmax'.



Figuur 5.39 Voorbeeld van een berekening waarbij 'max13' sterk afwijkt van 'sepmax', vooral rond de stormvloedkeringen (de zwarte bolletjes).



Figuur 5.40 Voorbeeld van een tijdreeks met een te groot verschil tussen 'sepmax' en 'max13'.

Figuur 5.40 geeft een voorbeeld van een tijdreeks met een te groot verschil (3,01 cm) tussen 'max13' en 'sepmax'. Op basis van dit criterium wordt de betreffende locatie afgekeurd. Deze afkeuring is mogelijk onterecht en om deze reden wordt er voorafgaand aan het vullen van de relationele database een aanvullende controle uitgevoerd. Deze controle wordt niet beschreven in dit rapport, maar is onderdeel van de vul-procedure van de relationele database.

Tabel 5.5 geeft het percentage punten met een instabiliteit in de maximale waterstand (ten opzichte van het totale aantal uitvoerpunten zonder backup-locaties) als functie van de rivierafvoer en het zeepeil weer. Bij toenemende rivierafvoeren neemt het percentage instabiele punten af, terwijl bij toenemend zeepeil het percentage instabiele punten juist toeneemt. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door een instabiel stroombeeld nabij de keringen bij een hoog zeepeil.

afvoer	#sepmax	Sector	zeepeil	#sepmax
Q01	2,1%	West	ZP116	1,0%
Q02	1,9%		ZP204	1,0%
Q03	1,9%		ZP304	1,3%
Q04	1,9%		ZP404	1,1%
Q05	1,8%		ZP504	1,0%
Q06	1,6%		ZP604	1,4%
Q07	1,6%		ZP704	1,9%
Q08	1,4%		ZP804	3,3%
Q09	1,4%	Oost	ZP136	1,9%
Q10	1,3%			
Q11	1,3%			
Q12	1,3%			
Q13	1,3%			
Q14	1,2%			
Q15	1,3%			

Tabel 5.5 Percentage punten met een instabiliteit in de maximale waterstand als functie van de rivierafvoer (links) en het zeepeil (rechts).

5.8 Instabiliteiten in het tijdsverloop van de waterstand

De basis van de controle op instabiliteiten in een tijdreeks is het verschil in waterstand tussen twee opeenvolgende tijdstappen (voor RMM in tijdstappen van 1 minuut). Er is een aanscherping van dit criterium nodig omdat het in geval van onderlopen van een locatie tijdens de berekening en/of snelle waterstandsverandering door windopzet het fysisch correct kan zijn dat de waterstand relatief snel verandert tussen twee opeenvolgende tijdstappen.

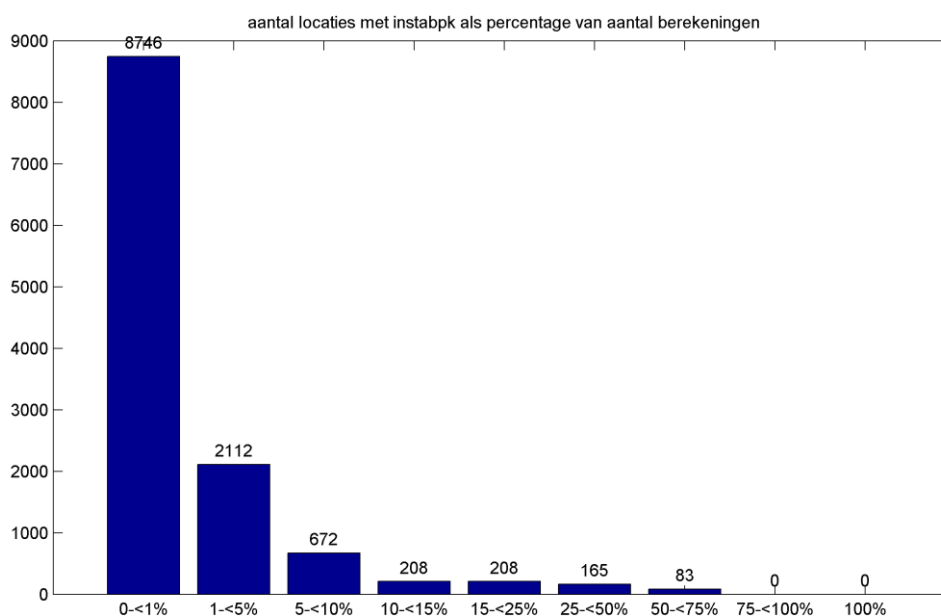
De controle op instabiliteiten in tijdreeksen gebeurt door toepassing van de volgende stappen:

- bereken het verschil in waterstand tussen twee opeenvolgende tijdstappen, waarbij de tijdreeks op minuut-basis wordt gehanteerd;
- controle of er verschillen groter van 4 cm zijn onder (a);
- bij het onderlopen van locaties en onder invloed van harde wind kan het fysisch correct zijn dat het verschil tussen twee opeenvolgende stappen groter dan 4 cm is. Daarom

wordt een tijdreeks alleen gemarkeerd met een instabiliteit, wanneer er een tekenwissel is in de vijf uitvoerwaarden rond het punt (of meerdere punten) gevonden onder (b).

Deze controle is beperkt tot een periode van 240 minuten rond de piek (waarbij de piek het maximum in de tijdreeks is).

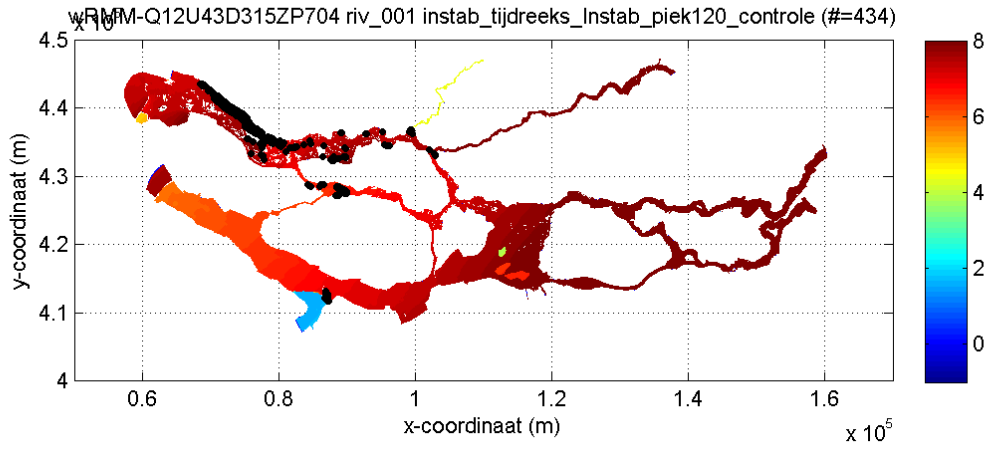
Figuur 5.41 geeft een overzicht van het aantal uitvoerlocaties waarbij bovenstaand criterium wordt overschreden als percentage van het totaal aantal berekeningen. Er zijn geen uitvoerlocaties waarbij voor alle berekeningen aan het criterium wordt voldaan. Tabel 5.6 geeft een overzicht van de locaties waarbij in meer dan 25% van de berekeningen het criterium wordt overschreden (in totaal dus 248 locaties). De locaties zijn vooral gesitueerd rond de keringen in de Nieuwe Waterweg (Maeslantkering) en het Hartelkanaal (Figuur 5.42). Figuur 5.43 geeft twee voorbeelden van tijdreeksen die als instabiel zijn gemarkeerd. In beide gevallen betreft de instabiliteit het onderlopen van een locatie met vervolgens een goed gedefinieerde maximale waterstand. Deze afkeuring is mogelijk onterecht en om deze reden wordt er voorafgaand aan het vullen van de database een aanvullende controle uitgevoerd. Deze controle wordt niet beschreven in dit rapport, maar is onderdeel van de vul-procedure van de relationele database.



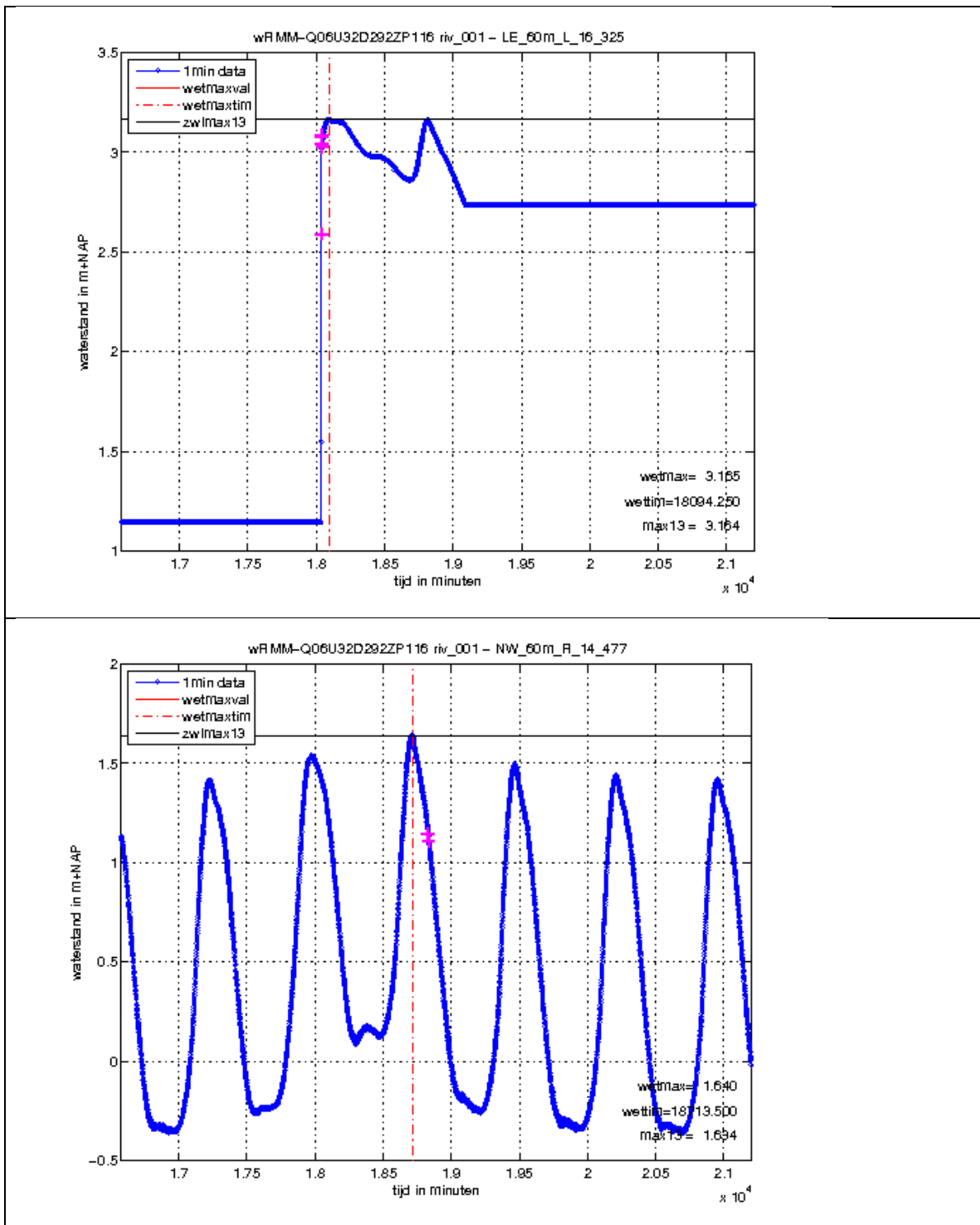
Figuur 5.41 Aantal locaties met instabiliteiten rond de piekwaterstand als percentage van het totaal aantal berekeningen.

Locatie of dijkkring	Nummer van de locatie
Hartelhaven	
HARTHVN	
MAASSS	
Maeslant-zee	
Maeslant-rivier	
Maeslantkering	
ss Volkerak beroep W	
niwa	1029;1028;1027;1026;1025;1024;1023;1022;1021;1020;1019;1018;1017; 1016;1015
Damwst1	NaN
Damwst5	NaN
AM_80m_L_34	1
CK_EX_R_19	9
HK_EX_L_20	214;215;216;217;218;219;220;222
NM_EX_L_14	103;123;124;125
NM_EX_R_14	298
NW_60m_L_19	54;55;56;57;58;59;60;65;66;67;68;69;70;71;77;78;79;80;81;82;83;84
NW_60m_R_14	471;472;473;474;475;476;477;503;504;512;513;514;515;516;517;518;519; 520;526;527;528;529;530
NW_80m_L_VB8	65;66;67;68;69;70;71;72;73;74;75;76;77;78;79;80;81;82;83;84;85;86;87;88; 89;90;91;92;93;94;95;96;97;98;99;100;101;102;103;104;105;106;107;108; 109;110;111;112;113;114;115;116;117;118;119;120;121;122;123;124;125
NW_80m_M_VB8	132;134;135;136;137;138;139;142;143;144;145;147
NW_EX_L_19	1;2
NW_EX_L_VB9	63;135;136;137;141;142;143;146;147;148;149;150;151;152;153;154;158;160; 161;162;163;164
NW_EX_R_14	154;155;156;157;158;159;160;161;162;163;164;165;166;167;168;169;170; 171;172;173;174;175;176;177;178;179;180;181;182;183;184;185;186;187; 188;189;191;192;193;194;195;203;204;205;206;207;380;381;382;383;384; 385;386;387;388;389;390;391;392;393;394;395;396;397;398;399;400

Tabel 5.6 Uitvoerlocaties waarbij in meer dan 25% van de berekeningen een instabiliteit rond de maximale waterstand optreedt.



Figuur 5.42 Voorbeeld van een berekening met instabiliteiten rond de piek, vooral rond de keringen.



Figuur 5.43 Twee voorbeelden van tijdreeksen die mogelijk onterecht als instabiel zijn gemarkeerd.

Tabel 5.7 geeft het percentage punten met een instabiliteit in het tijdsverloop van de waterstand 240 minuten rond de piek (#instpiek) en in de gehele tijdreeks (#insttrks) (ten opzichte van het totale aantal uitvoerpunten zonder backup-locaties) als functie van de rivierafvoer en het zeepeil weer. Bij toenemende rivierafvoeren neemt het percentage instabiele punten af, terwijl bij toenemend zeepeil het percentage instabiele punten juist toeneemt. Ook in dit geval wordt dit mogelijk veroorzaakt door een instabiel stroombeeld nabij de keringen bij een hoog zeepeil.

Afvoer	#insttrks	#instpiek	Sector	zeepeil	#insttrks	#instpiek
Q01	10,3%	3,6%	West	ZP116	6.1%	1,7%
Q02	10,2%	3,4%		ZP204	6.3%	1,4%
Q03	10,4%	3,1%		ZP304	7.5%	2,2%
Q04	9,8%	2,8%		ZP404	8.4%	2,2%
Q05	9,8%	2,6%		ZP504	9.4%	2,1%
Q06	9,5%	2,3%		ZP604	11.3%	2,5%
Q07	9,3%	2,2%		ZP704	12.9%	2,7%
Q08	9,6%	2,1%		ZP804	16.0%	4,0%
Q09	9,6%	2,0%	Oost	ZP136	5.7%	1,6%
Q10	9,8%	2,0%				
Q11	9,8%	1,9%				
Q12	9,6%	1,9%				
Q13	9,5%	1,9%				
Q14	9,4%	2,0%				
Q15	9,4%	2,0%				

Tabel 5.7 Percentage punten met een instabiliteit in het tijdsverloop van de waterstand 240 minuten rond de piek (#instpiek) en in de gehele tijdreeks (#insttrks) als functie van de rivierafvoer (links) en het zeepeil (rechts).

5.9 Droogval en instabiliteiten gerelateerd aan toestand keringen

Het RMM-model is een gecompliceerd WAQUA-model met drie gekoppelde deelgebieden, gecompliceerde randvoorwaarden en een groot aantal keringen. Dit alles maakt dat het model soms veel last heeft van instabiele punten. 'Instabiel' in deze context betekent dat de maximale waterstand ('sepmax') meer dan 3 cm afwijkt van de tijdsgemiddelde maximale waterstand ('max13') of dat de waterstand in 1 minuut meer dan 4 cm verandert en van teken wisselt.

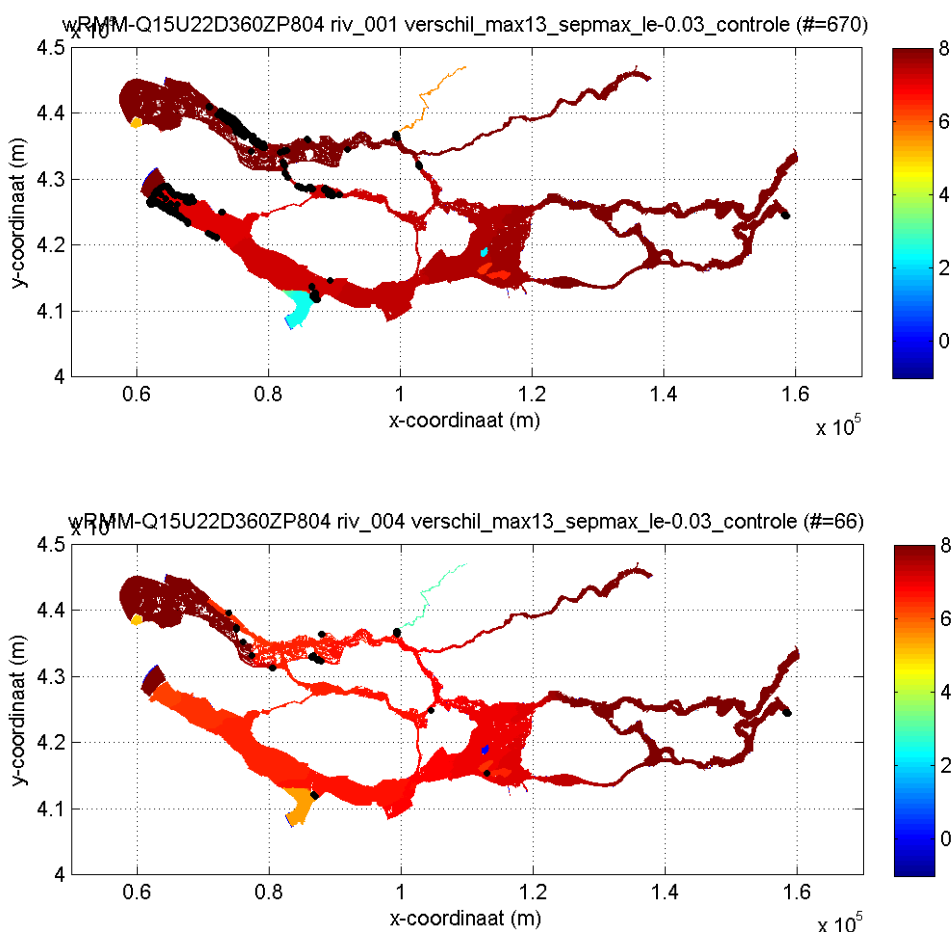
keringen	#drpunt	#insttrks	#instpiek	#sepmax
	#droog_nat	#instab_tot	#instab_pk	#difmax
open	14,6%	9,9%	2,7%	1,7%
dicht	14,6%	9,5%	1,9%	1,3%

Tabel 5.8 Percentage droge/instabiele punten als functie van de toestand van de kering.

Tabel 5.8 toont het percentage droge/instabiele punten als functie van de toestand van de (stormvloed)keringen. In geopende toestand (de eerste iteratie) treden meer instabiliteiten op dan in een gesloten toestand. In open toestand heeft 1,7% van de uitvoerlocaties een instabiel in de maximale waterstand (#sepmax), tegen 1,3% in de gesloten toestand.

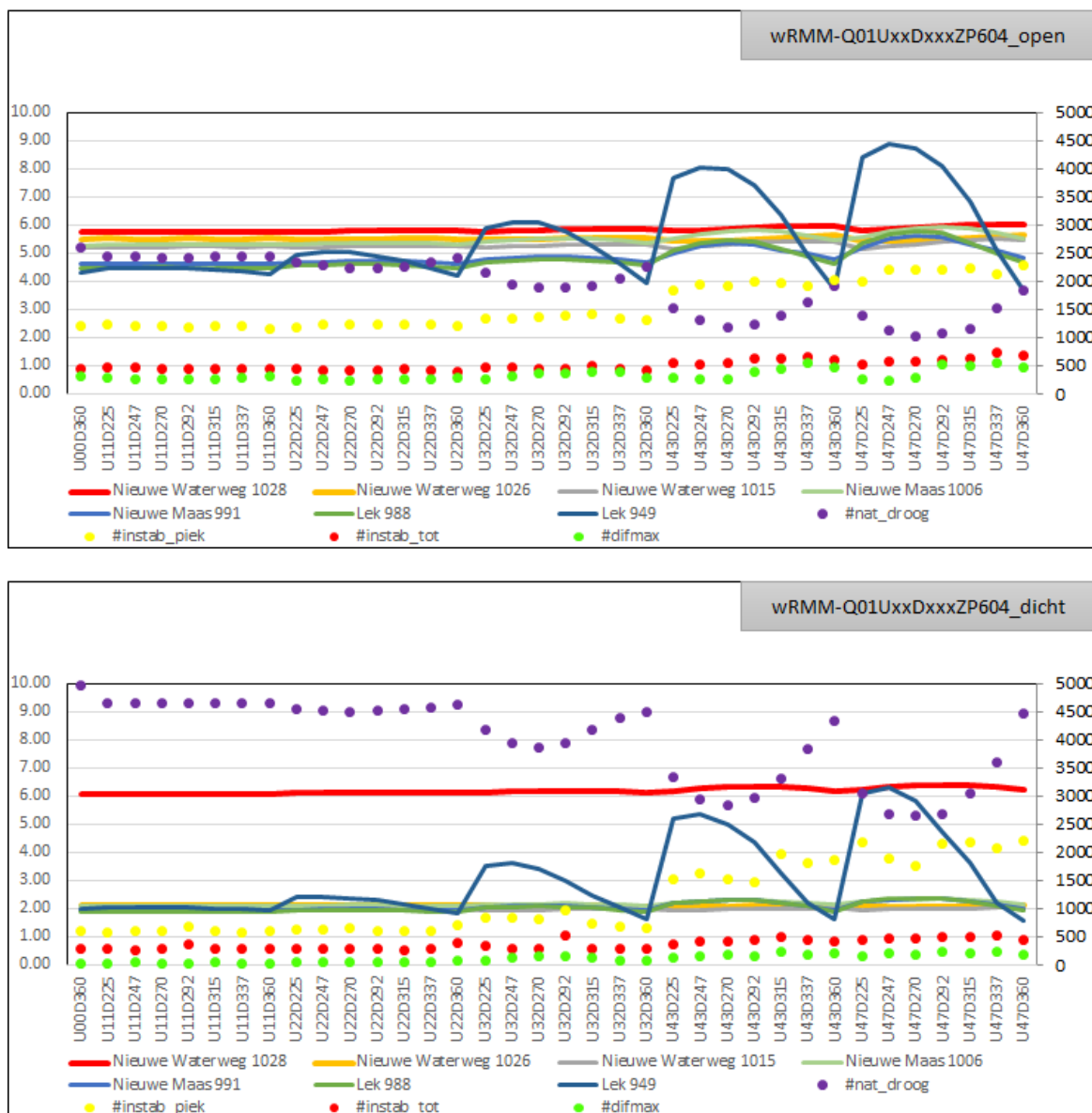
Een eerste oorzaak hiervoor is de aanwezigheid van de keringen in het RMM-model. Ook in een open toestand zijn de keringen (barriers) aanwezig in het WAQUA-model en zullen de keringen een invloed op het stroombeeld uitoefenen. Deze invloed is een verstoring van het stroombeeld en hiermee inherent destabiliserend. Een tweede oorzaak is de grotere invloed van de zee in open situaties en de hiermee gepaard gaande hogere stroomsnelheden in de verschillende takken. Ook dit aspect zal zorgen voor meer instabiliteiten.

In Figuur 5.44 is zichtbaar op welke locaties de instabiliteiten optreden bij een open (bovenste figuur) en gesloten (onderste figuur) toestand van de keringen. Goed zichtbaar is dat in de open toestand het grootste deel van de instabiliteiten optreedt bij de Maeslantkering en de Haringvlietsluizen.

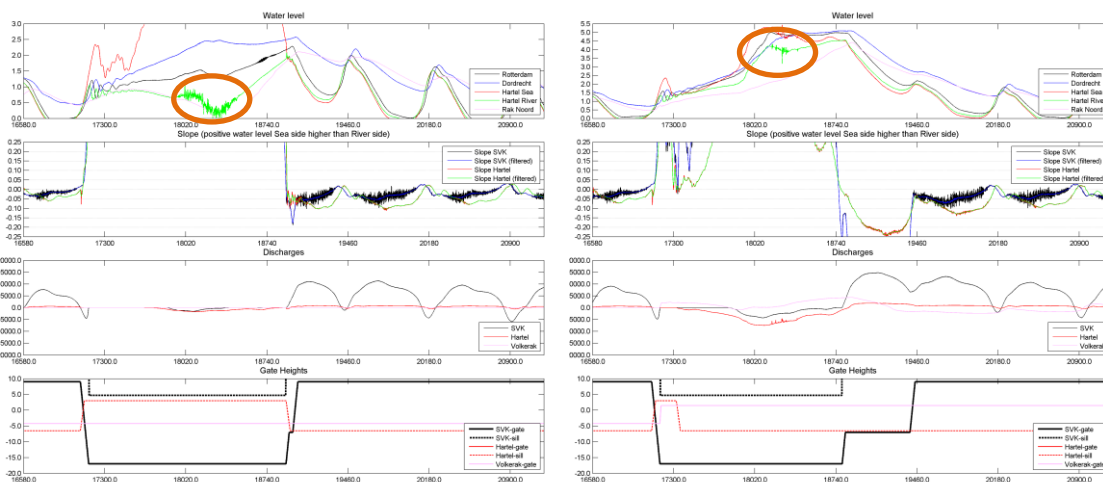


Figuur 5.44 Instabiele punten (zwart) in geopende toestand (boven) en gesloten toestand (onder).

In Figuur 5.45 is voor een reeks van berekeningen (alle windsnelheden en windrichtingen bij een zeepeil van 6,04 m+NAP en een Rijnafvoer van 600 m³/s) de maximale waterstand op de nieuwe Waterweg en Lek getoond voor de situatie met open en dichte keringen. Goed zichtbaar is dat het aantal instabiele punten (de rode en groene punten) in de open situatie hoger ligt dan in de gesloten situatie. In de situatie met geopende keringen is het aantal droge punten kleiner dan in de situatie met gesloten keringen. Dit is een direct gevolg van de geopende keringen omdat het hoge zeepeil (6,04 m+NAP) een aanzienlijke hogere waterstand in het binnengebied veroorzaakt.



Figuur 5.45 Instabiele punten in geopende toestand (boven) en gesloten toestand (onder). Zie Bijlage B voor een toelichting bij de informatie in de figuren.



Figuur 5.46 Instabiele tijdreeksen Hartelkanaal, links wRMM-Q04U47D270ZP604, rechts wRMM-Q06U43D247ZP804.

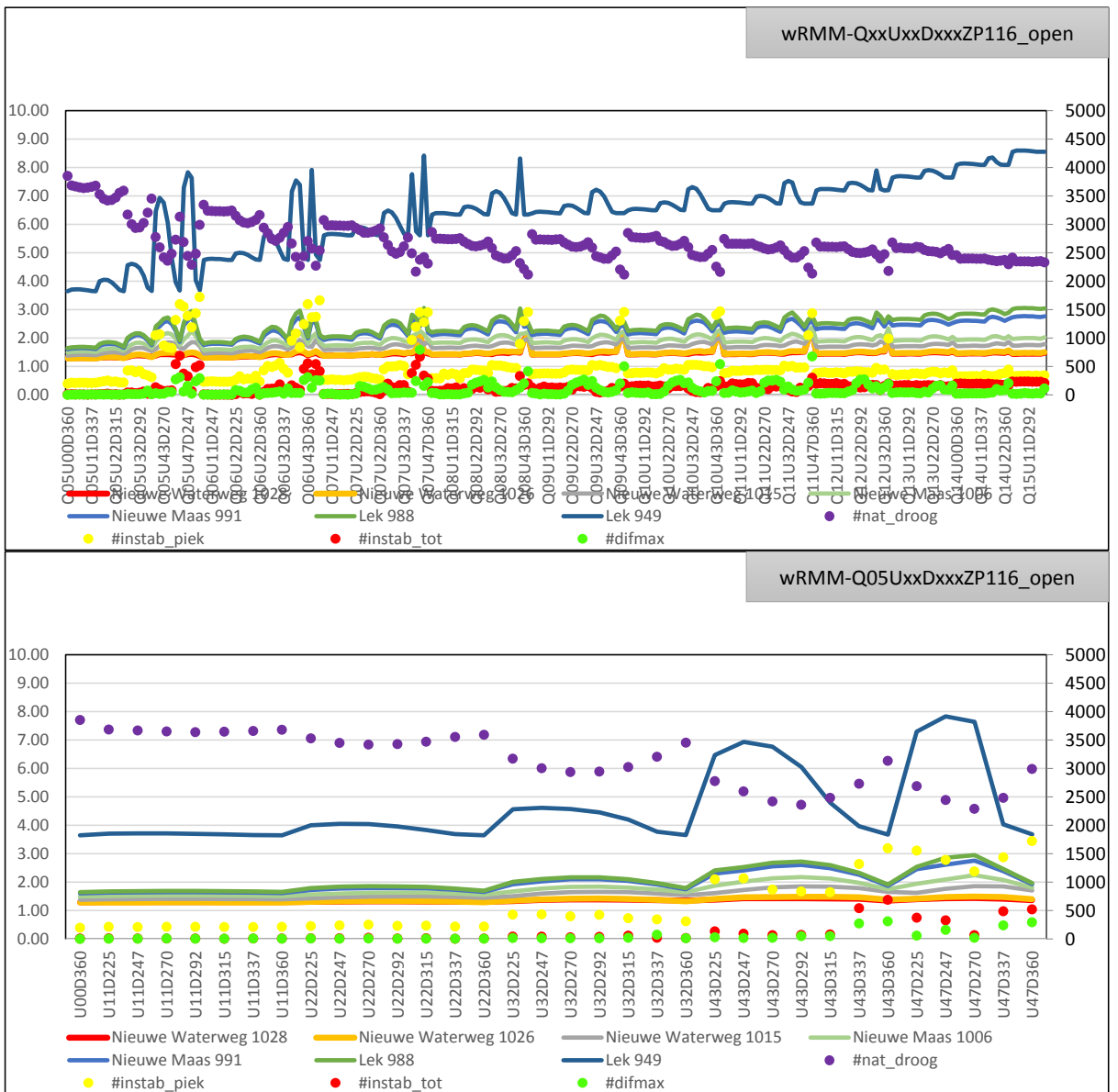
In twee berekeningen is bij gesloten keringen een instabiliteit geconstateerd in het Hartelkanaal (aan de rivierzijde), zie Figuur 5.46. In beide gevallen is sprake van een grote windsnelheid en indien zowel de Maeslantkering als de Hartelkering gesloten zijn (linker figuur) kan dit tot instabiliteiten leiden. In het rechter figuur is ten tijde van de instabiliteit de Maeslantkering gesloten terwijl de Hartelkering al geopend is. Dit leidt tot een relatief groter afvoer door het Hartelkanaal, wat mogelijk deze instabiliteit verklaart.

5.10 Geforceerd sluiten

5.10.1 ZP116

Alle berekeningen met ZP116 (maximale waterstand Maasmond 1,16 m+NAP) hebben 1 iteratie doorlopen. Het sluitcriterium is 0,1 m boven de maximale waterstanden uit het referentiescenario. Het is dus correct dat de keringen niet zijn gesloten.

Figuur 5.47 geeft een overzicht van de maximale waterstand op een aantal locaties voor alle berekeningen (bovenste figuur) en voor Q05 (onderste figuur). Wat opvalt, is de waterstand op de Lek bij ZP116. Voor lage afvoer is er bij harde wind uit zuidwest tot westelijke richting relatief veel opwaaiing naar de Lek. Deze spikes zijn dus verklaarbaar.



Figuur 5.47 Consistentiecheck maximale waterstand voor alle berekeningen (boven) en voor Q05 (onder). Zie Bijlage B voor een toelichting bij de figuren.

5.10.2 ZP204

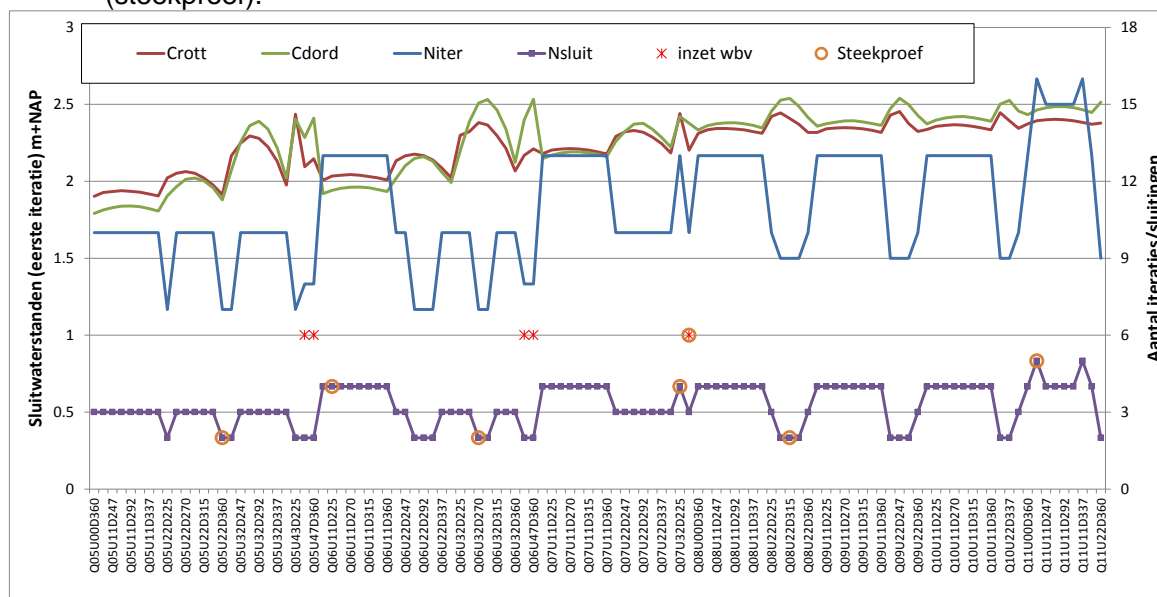
Bij alle geselecteerde berekeningen met ZP204 (maximale waterstand Maasmond 2,04 m+NAP, zie ook paragraaf 2.7.4) treedt sluiting op. De maximale afvoer is Q11 (bij ZP116 is dat Q15). Tabel 5.9 toont het aantal iteraties dat het Keringenscript heeft doorlopen.

#iteraties	#berekeningen
7	9
8	4
9	9
10	40
13	43
15	4
16	2
Totaal	111

Tabel 5.9 Aantal iteraties dat het keringenscript doorloopt in geval van geforceerd sluiten en ZP204.

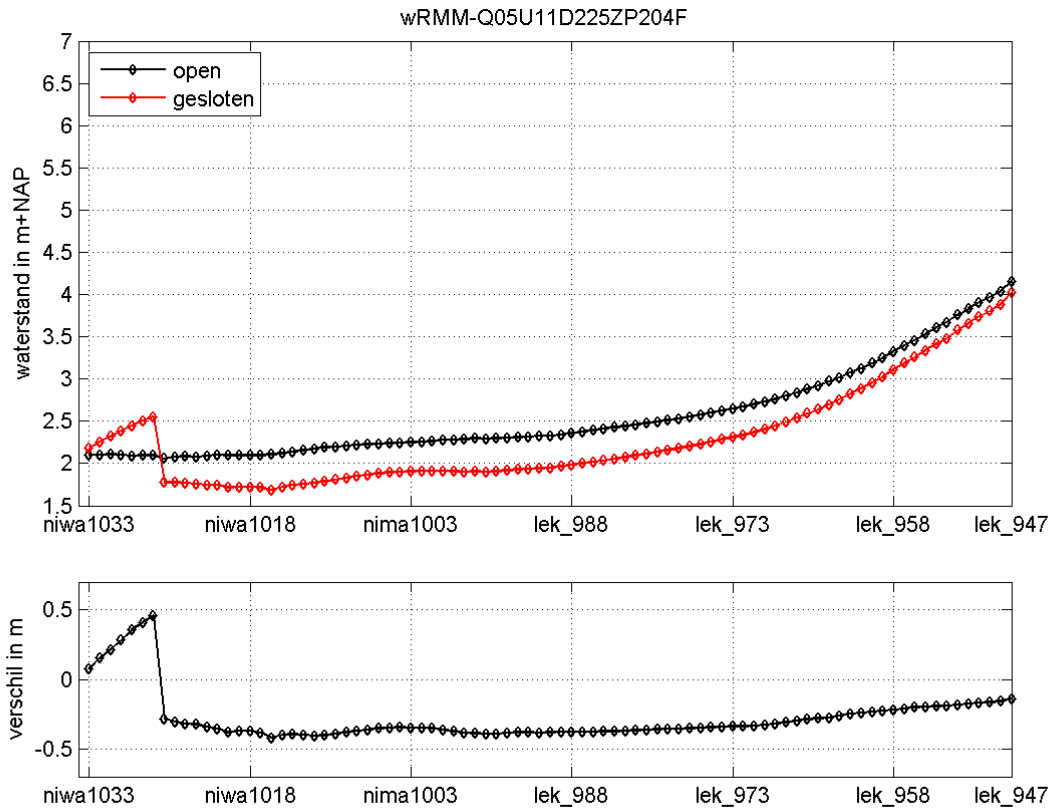
Het zijn dus altijd 7 iteraties of meer. Figuur 5.48 geeft een overzicht van:

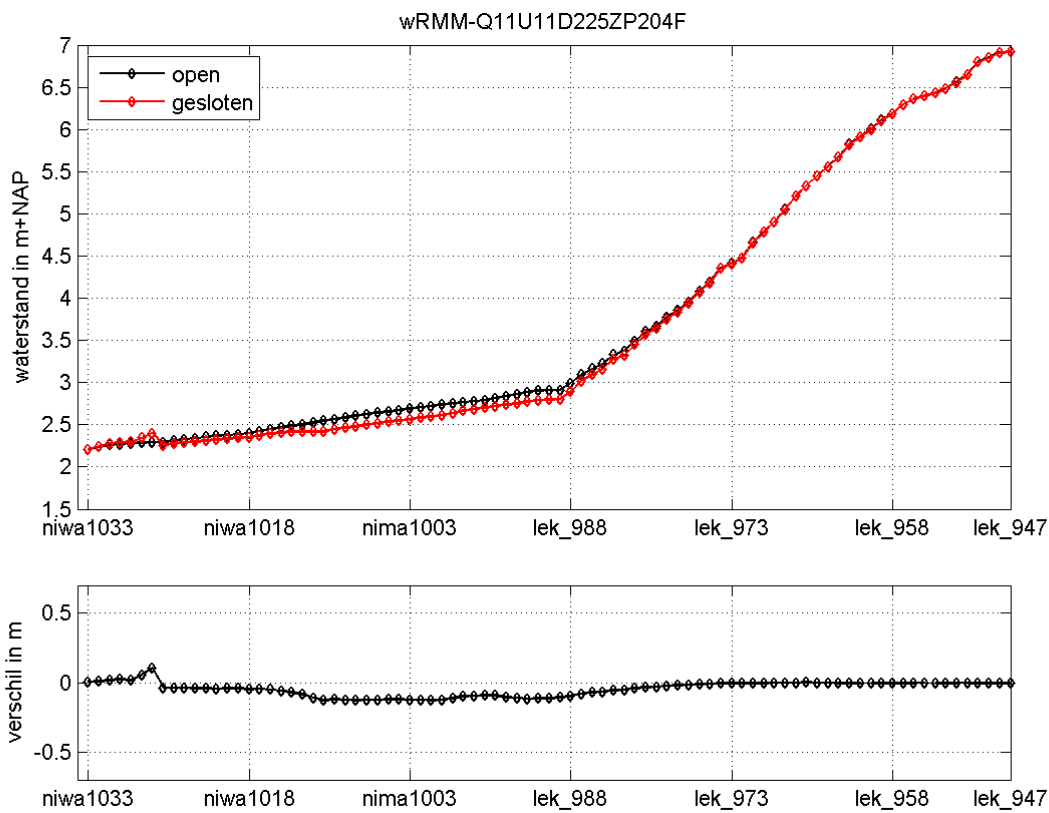
- De sluitcriteria bij Rotterdam (Crott) en Dordrecht (Cdord), in alle gevallen 36 cm onder de maximale waterstand bij Rotterdam en Dordrecht uit de referentieberekening.
- De berekeningen met inzet Waterberging Volkerak (inzet Wbv), het betreft hier 5 berekeningen met harde noordenwind:
 - wRMM-Q05U43D360ZP204F
 - wRMM-Q05U47D360ZP204F
 - wRMM-Q06U43D360ZP204F
 - wRMM-Q06U47D360ZP204F
 - wRMM-Q07U32D360ZP204F
- Het aantal iteraties dat het keringenscript heeft doorlopen (Niter).
- Het aantal sluitingen: 2, 3, 4 of 5 (Nsluit).
- Berekeningen die in het restant van deze paragraaf nader worden geanalyseerd (steekproef).



Figuur 5.48 Informatie sluitingen in geval van geforceerd sluiten en ZP204, zie tekst voor uitleg bij de figuur.

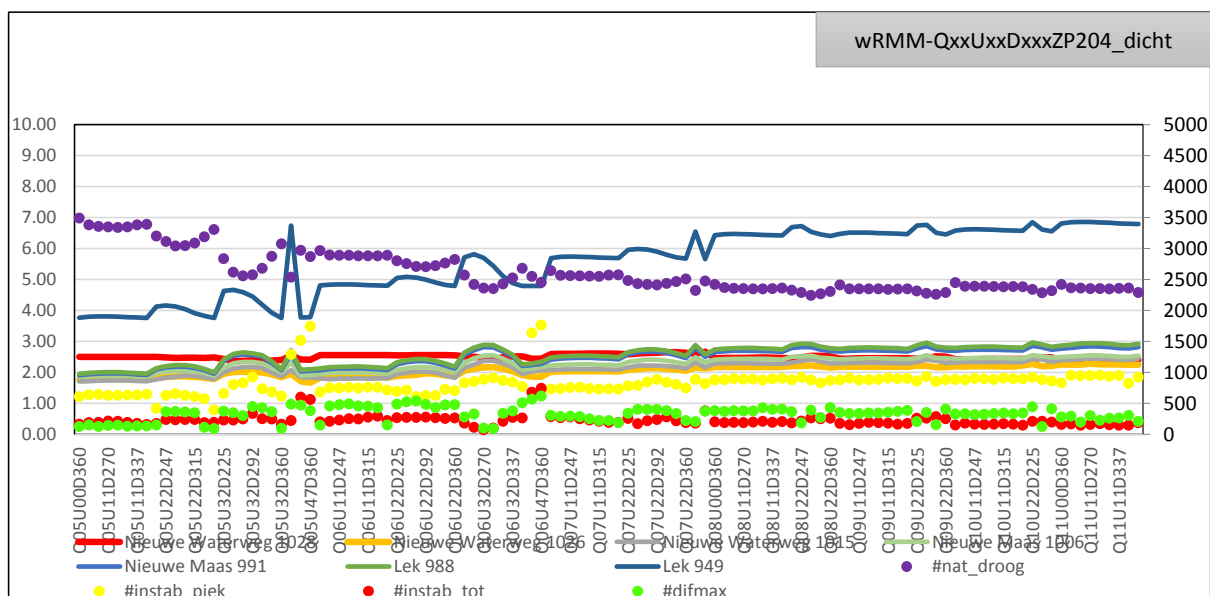
In alle gevallen is bij sluiting de maximale waterstand aan de rivierzijde van de Maeslantkering in de laatste iteratie lager dan in de eerste (geopende) iteratie, zie Figuur 5.49 voor twee voorbeelden. Bij hoge afvoer is het effect van het sluiten zeer beperkt door drijvende toestand van de kering (zie detailanalyse Q11U11D225ZP204F).





Figuur 5.49 Twee voorbeelden van het effect van een geforceerde sluiting op de waterstand in de Nieuwe Waterweg en bovenstrooms.

Voor de gesloten toestand zijn op het traject van de Nieuwe Waterweg geen afwijkende zaken te ontdekken, zowel in waterstanden als “droge/instabiele” punten (Figuur 5.50) op het eerder besproken effect van opwaaing op de Lek (paragraaf 5.10.1) na. Voor de overige trajecten (niet getoond) zijn ook geen afwijkingen geconstateerd.



Figuur 5.50 Consistentiecheck maximale waterstand op het traject Nieuwe Waterweg – Lek bij gesloten keringen, laatste iteratie van het Keringenscript. Zie Bijlage B voor een toelichting bij dit figuur.

In het restant van deze paragraaf is middels een steekproef het gemodelleerde functioneren van de keringen onderzocht. De sluitwaterstanden bij Rotterdam en Dordrecht zijn gegeven per scenario en afwijkende/opvallende resultaten zijn besproken.

Voor geforceerd sluiten is het sluitcriterium aangepast, waardoor keringen bij lagere waterstand dicht kunnen gaan, dan in de situatie zonder geforceerd sluiten. Conform WTI2011 is het criterium voor openen van de keringen niet aangepast, waardoor het kan voorkomen dat de kering direct na sluiten weer geopend moet worden indien de waterstand tussen het open- en het sluitcriterium ligt. Dit kan leiden tot het flip-flop-gedrag van de keringen zoals te zien is voor berekening Q11U11D225ZP204F op één van de volgende pagina's, zie ook paragraaf 2.7.4.

Conclusie, op basis van de steekproef, is dat de berekeningen met geforceerd sluiten conform het ingestelde gedrag functioneren. Wel zijn er enkele kanttekeningen te maken bij de uitgangspunten van het geforceerd sluiten. Met het verlagen van het sluitcriterium wordt de situatie gemodelleerd dat de kering sluit door te hoge verwachte waterstanden. Die verwachting zou in werkelijkheid natuurlijk naar beneden bijgesteld kunnen worden als tijdens de storm blijkt dat deze lager uitvalt. Maar wat hier gemodelleerd is dat in open/spuisituatie een hoge verwachting geldt en in gesloten situatie een lage verwachting. Dit uitgangspunt zou heroverwogen kunnen worden. Het grootste effect in de resultaten lijkt te zijn dat de MLK tussen twee toppen in- en uitvaart. Dat heeft enerzijds een waterstandsverlagend effect omdat de drijvende kering de afvoer niet belet en anderzijds een waterstandsverhogende werking omdat de tweede en navolgende sluiting meer tijd in beslag neemt door het invaren.

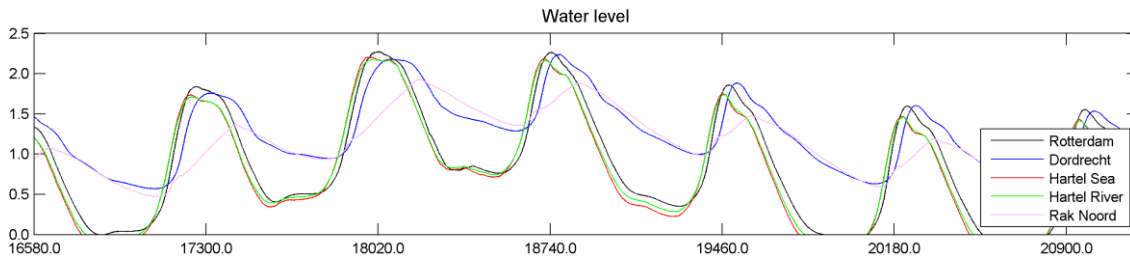
Q05U22D360ZP204F

Sluitcrit Rotterdam: 1,914 m+NAP

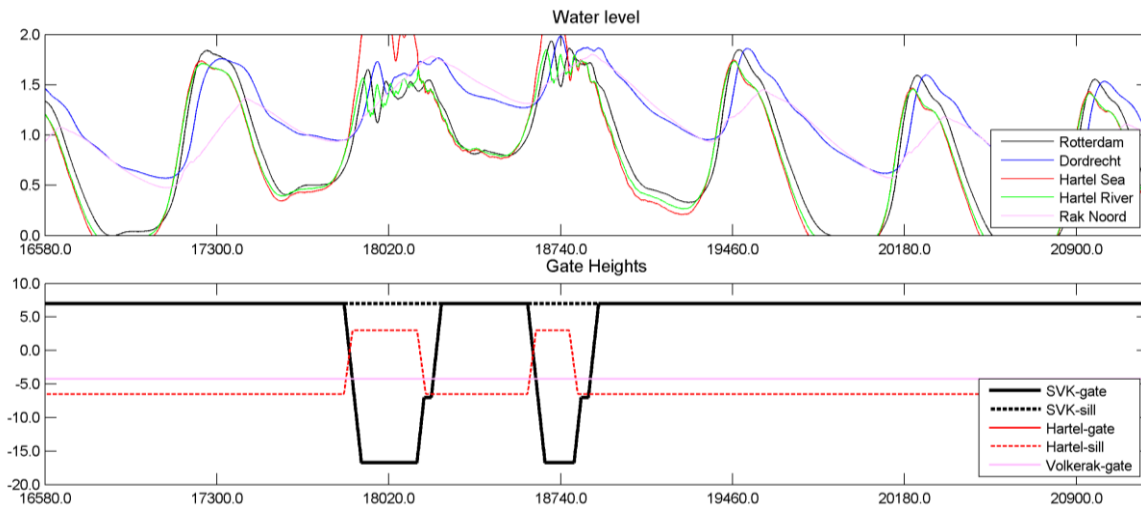
Sluitcrit Dordrecht: 1,879 m+NAP

2x sluiting op Rotterdam.

Iteratie 1



Iteratie 7



Q06U11D225ZP204F

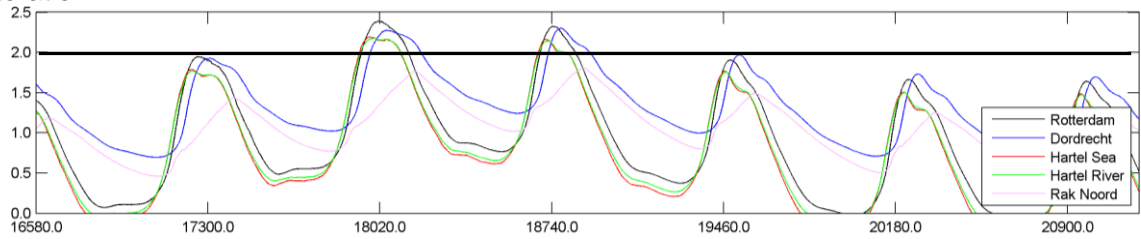
Sluitcrit Rotterdam: 2,034 m+NAP

Sluitcrit Dordrecht: 1.941 m+NAP

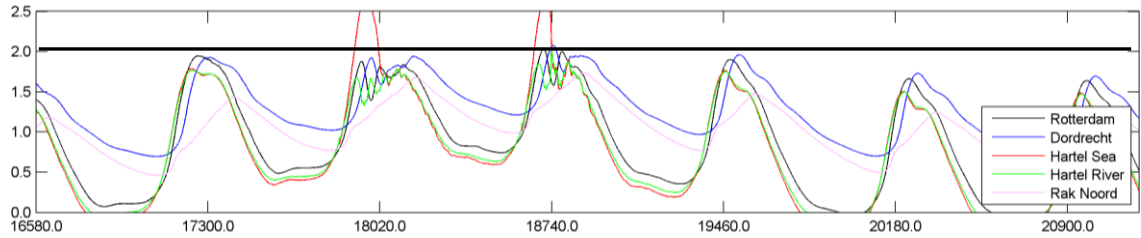
2m+NAP-lijn als hulplijn

Sluiting 1&2 op Rotterdam, 3&4 op Dordrecht. Totaal 4 sluitingen.

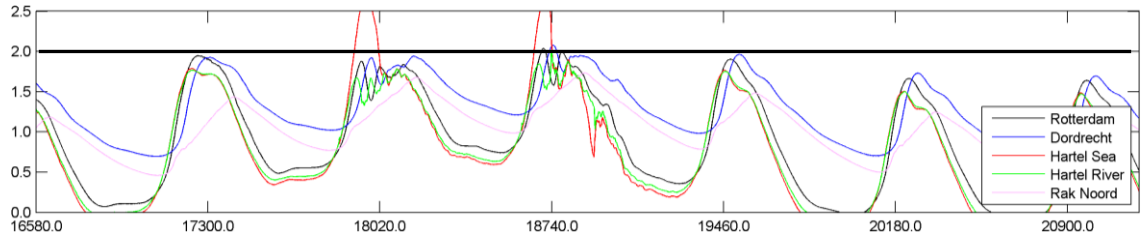
Iteratie 1



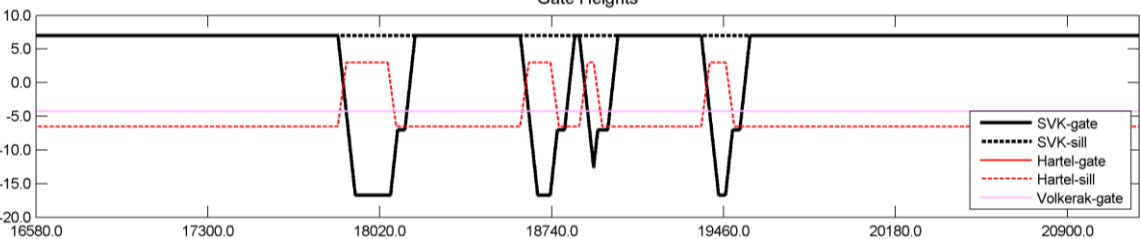
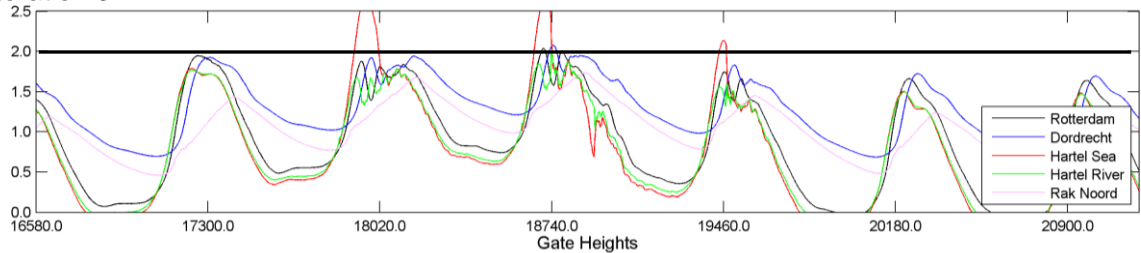
Iteratie 7



Iteratie 10



Iteratie 13



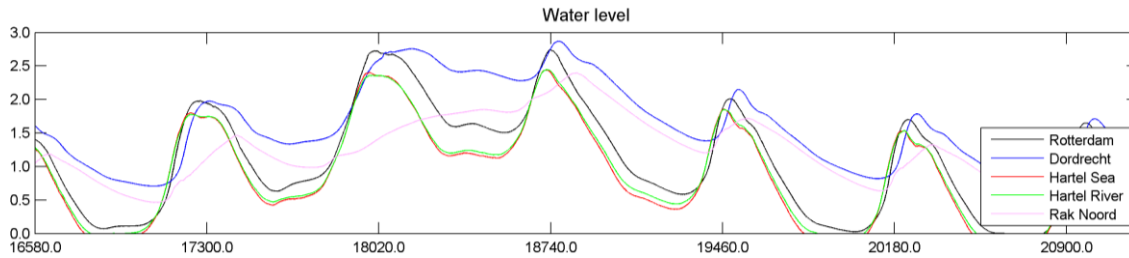
Q06U32D270ZP204F

Sluitcrit Rotterdam: 2,382 m+NAP

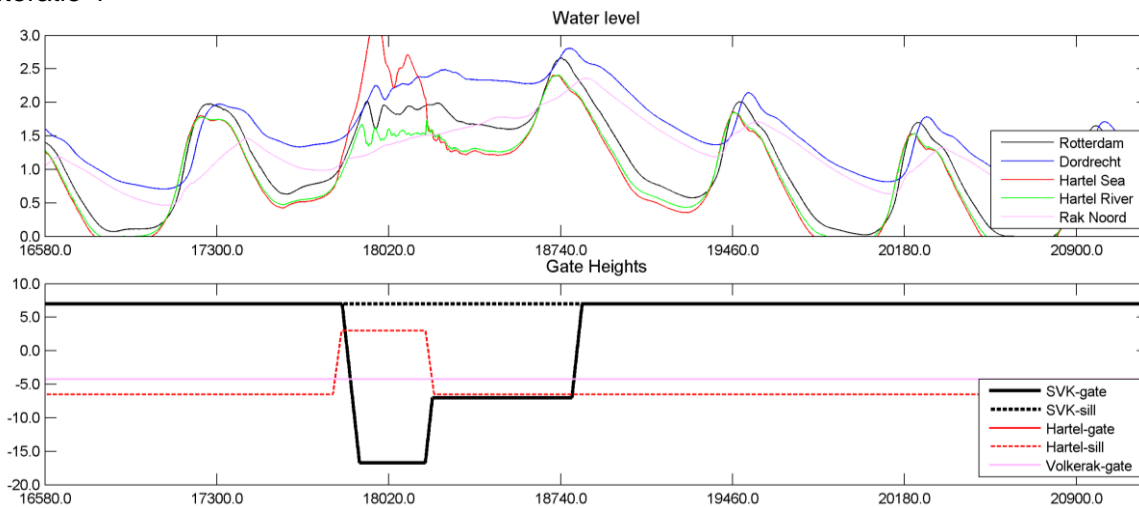
Sluitcrit Dordrecht: 2,509 m+NAP

Sluiting 1 op Rotterdam, blijft lang drijvend omdat waterstand lang rond het sluitcriterium blijft (moet 24 uur daaronder liggen), sluiting 2 op Dordrecht.

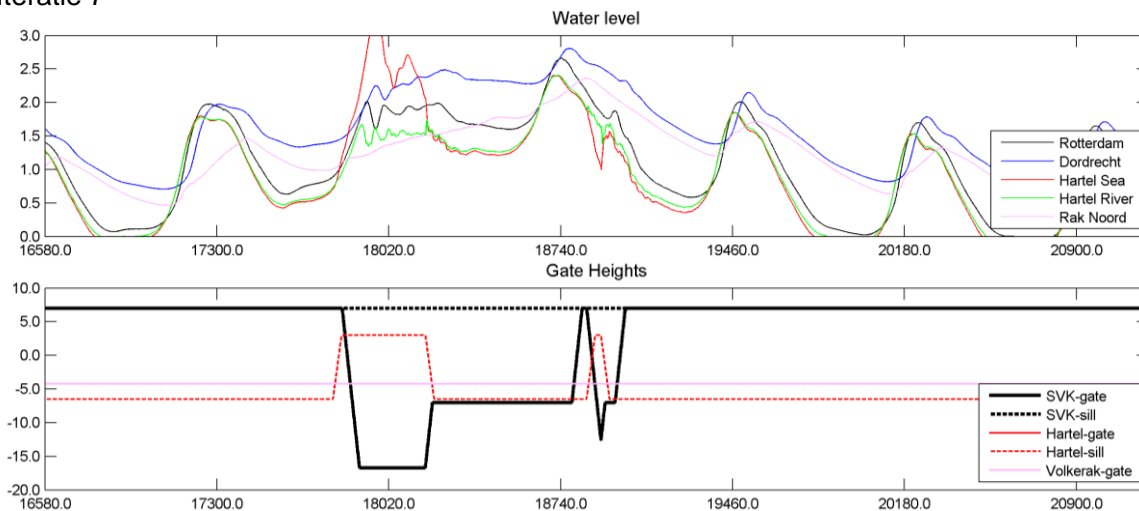
Iteratie 1



Iteratie 4



Iteratie 7



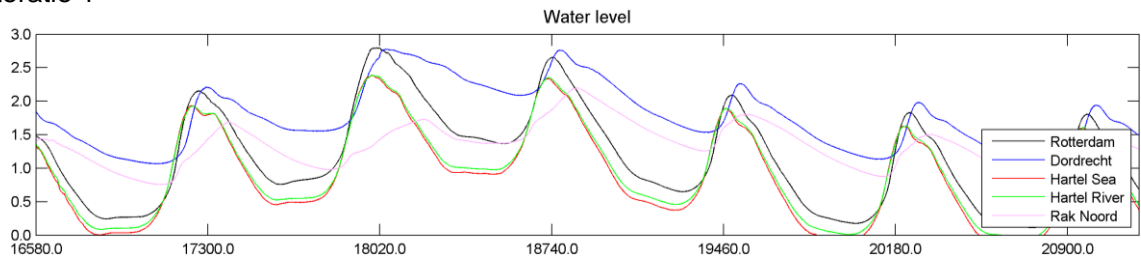
Q07U32D225ZP204F

Sluitcrit Rotterdam: 2,441 m+NAP

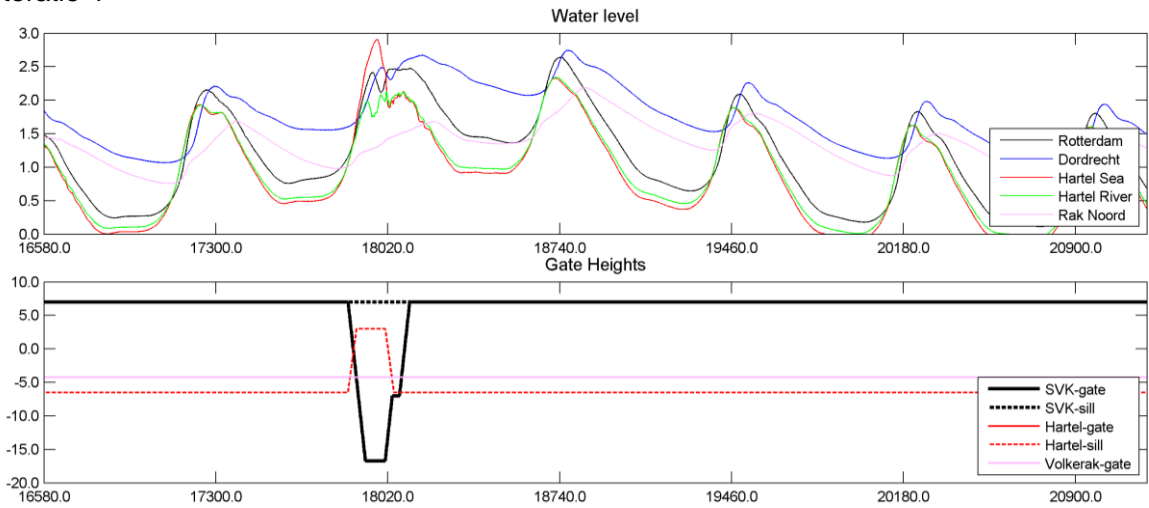
Sluitcrit Dordrecht: 2,421 m+NAP

Sluiging 1, 2 & 3 op Rotterdam (sluiging 2 2 cm overschrijding), sluiting 4 op Dordrecht.

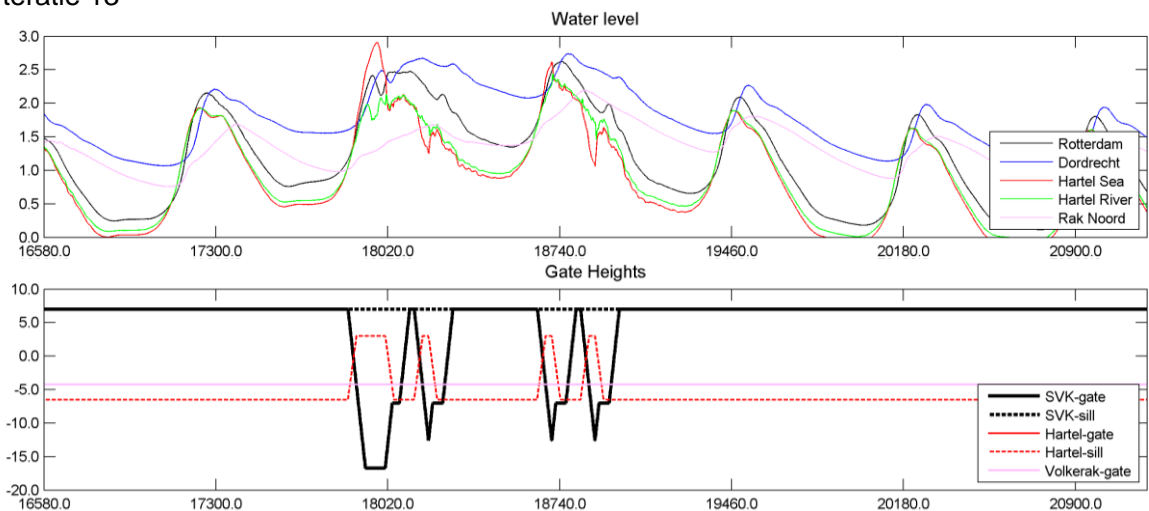
Iteratie 1



Iteratie 4



Iteratie 13



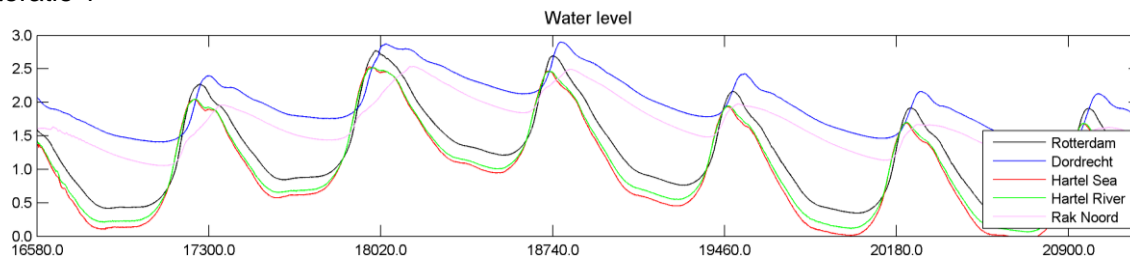
Q08U22D315ZP204F

Sluitcrit Rotterdam: 2,409 m+NAP

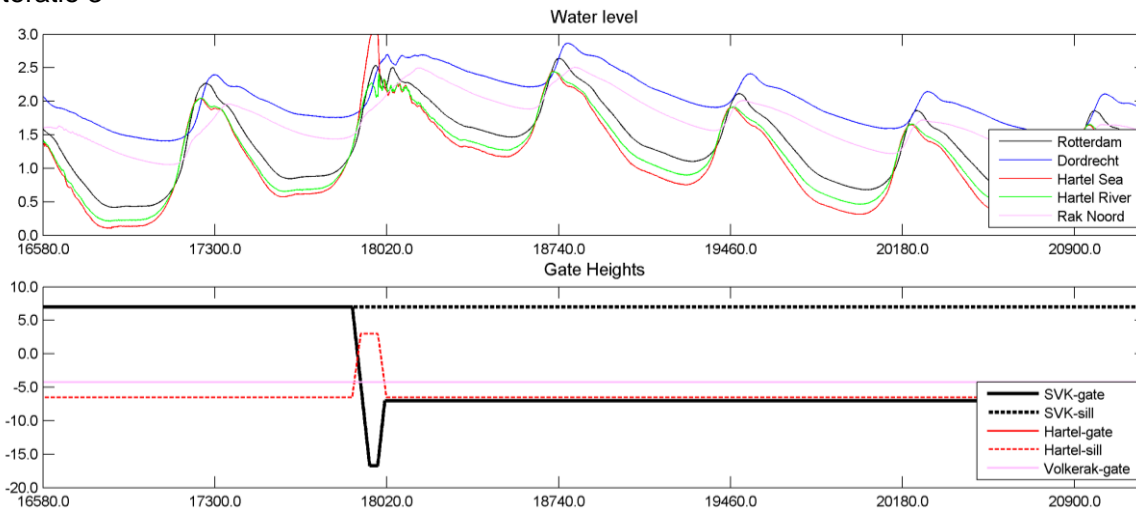
Sluitcrit Dordrecht: 2,539 m+NAP

Sluiting 1 op Rotterdam, vervolgens naar drijvend waarbij na enige tijd weer gesloten moet worden op Rotterdam (sluiting 2). Daarna nog een keer sluiting op Dordrecht (T=18.883 min). NB. Door de gekozen wijze van telling van het aantal sluitingen is in Figuur 5.48 het aantal sluitingen voor deze berekening 2.

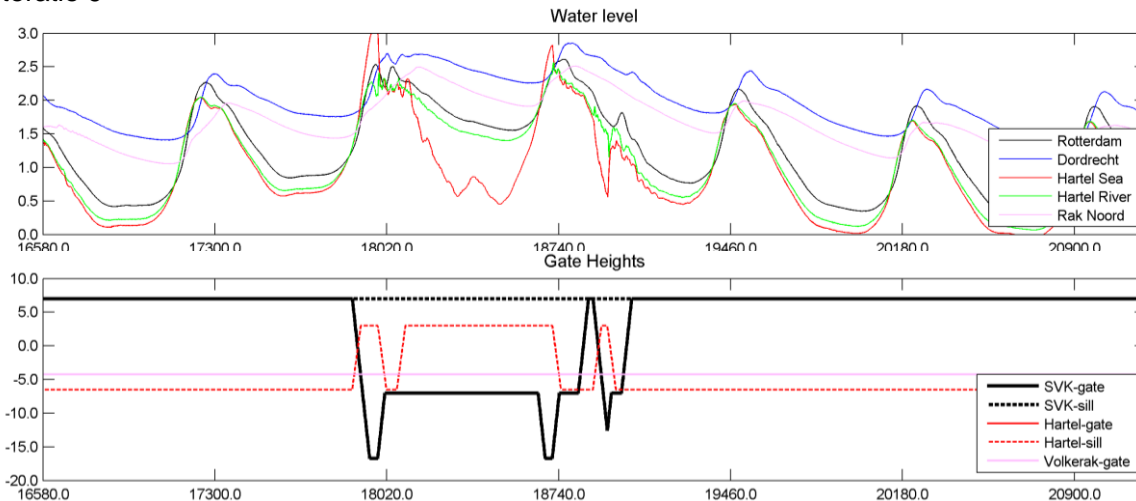
Iteratie 1



Iteratie 3



Iteratie 9



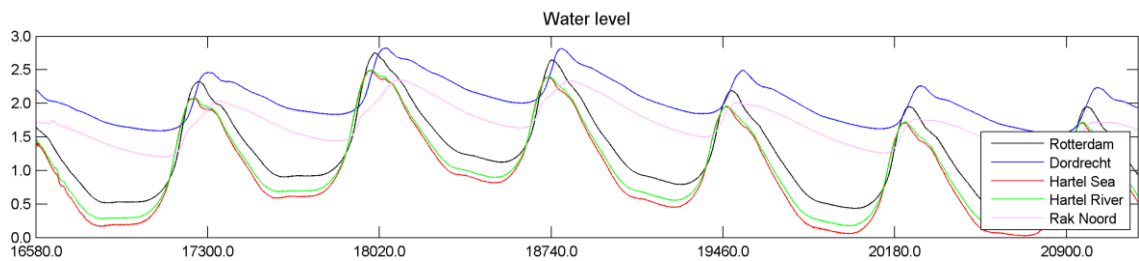
Q11U11D225ZP204F

Sluitcrit Rotterdam: 2,394 m+NAP

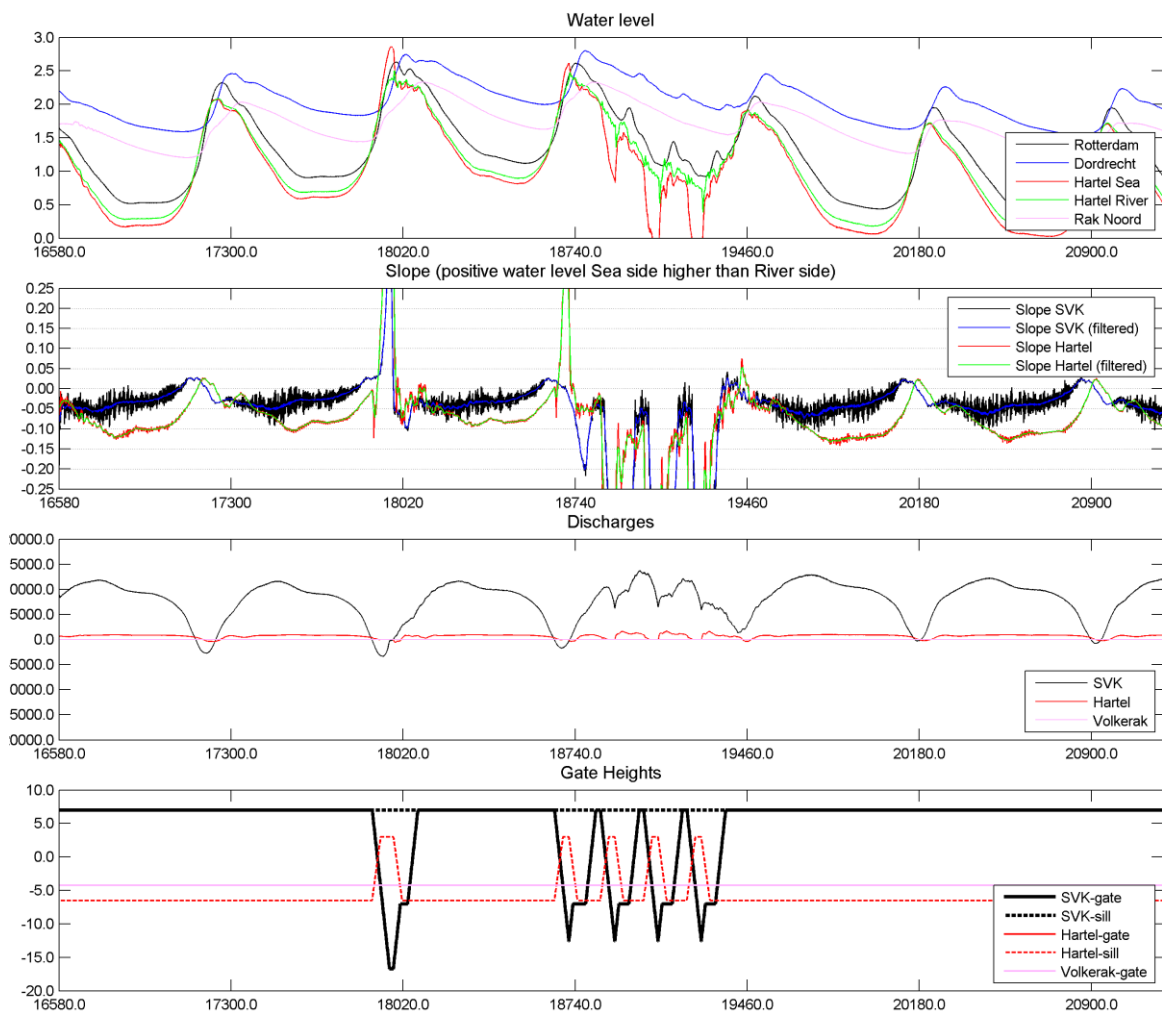
Sluitcrit Dordrecht: 2,463 m+NAP

Sluiting 1&2 op Rotterdam, daarna steeds op Dordrecht. Omdat er enkel sluitingstijden gevonden worden die voor een eerdere sluitingstijd liggen, blijft de kering "flipperen" net zo lang tot de waterstand bij Dordrecht lager wordt dan het sluitcriterium.

Iteratie 1



Iteratie 16



Q07U32D360ZP204F (met waterberging Volkerak door sterke noordenwind)

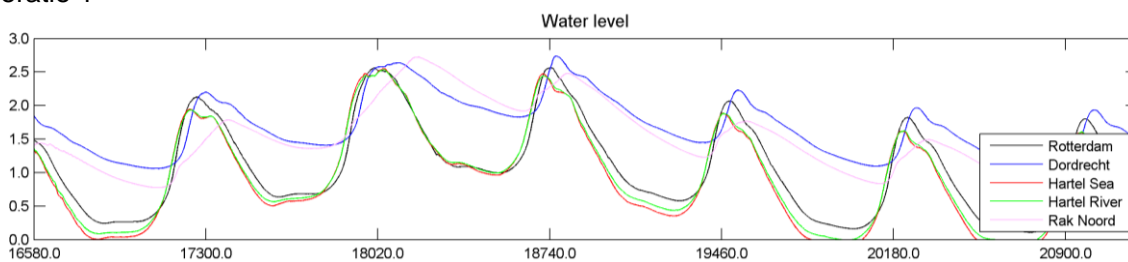
Sluitcrit Rotterdam: 2,202 m+NAP

Sluitcrit Dordrecht: 2,378 m+NAP

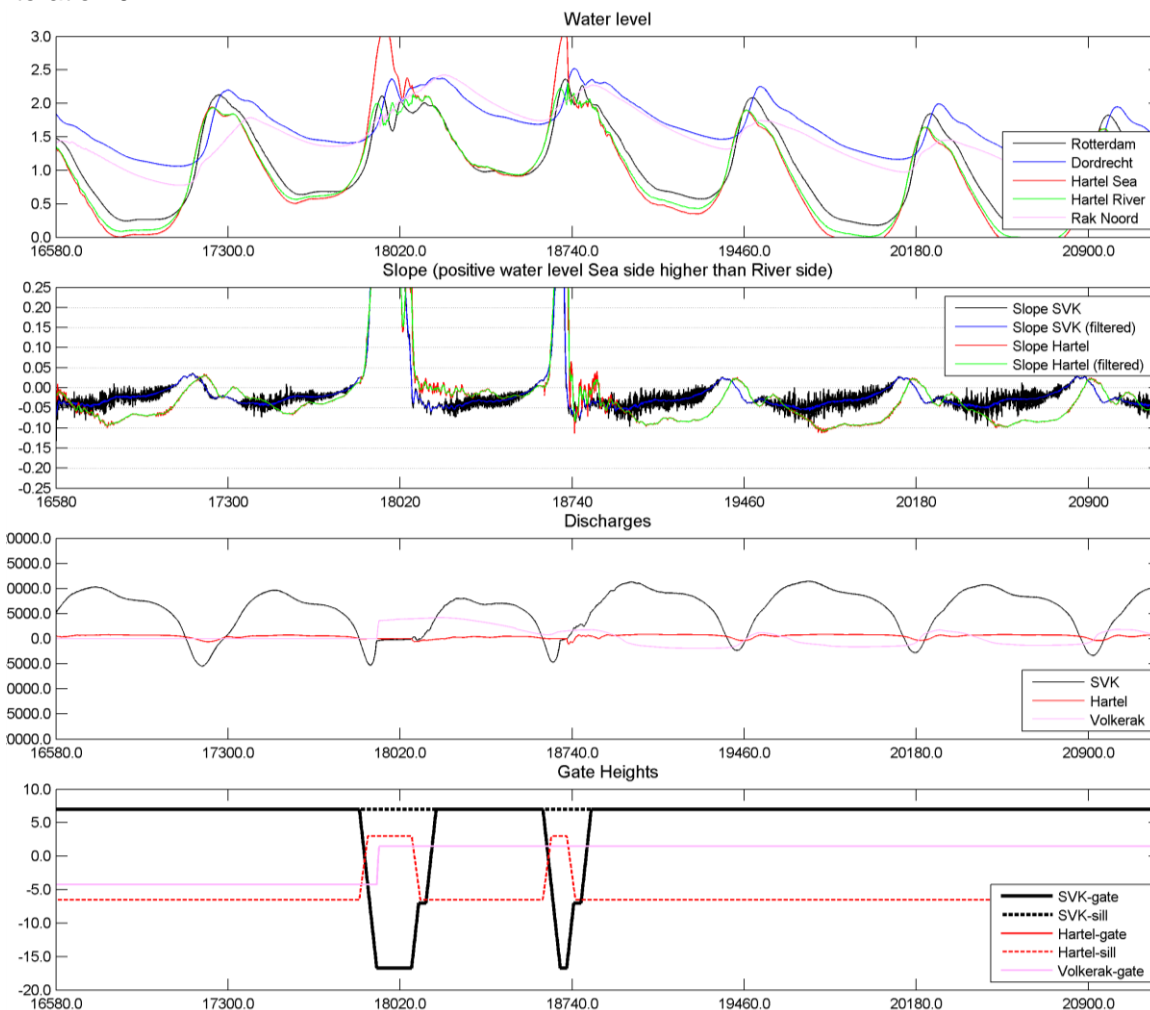
Het gemodelleerde sluitpatroon is verklaarbaar. Het totaal iteraties is 10, omdat in iteratie 2-4 sluiting op Rotterdam wordt gemodelleerd en dat wordt nog een keer overgedaan nadat waterberging wordt ingezet. Na inzet waterberging en 1^e sluiting is nog een 2^e sluiting op Rotterdam nodig.

NB in Figuur 5.48 staat voor deze berekening 3 sluitingen; door inzet waterberging wordt 1 sluiting "herhaald". Daar is in Figuur 5.48 geen rekening mee gehouden.

Iteratie 1



Iteratie 10



6 Conclusies

In het kader van WTI2017 zijn productieberekeningen uitgevoerd voor de Rijn-Maasmonding voor een groot aantal stochastcombinaties. De rivierafvoer is gemodelleerd als trage stochast wat betekent dat de rivierafvoeren stationair zijn. De (15 Rijndominante) rivierafvoeren zijn afgeleid uit rekenresultaten van de Bovenrivieren met piekafvoeren bij Lobith tussen 600 en 26.000 m³/s en bij Borgharen tussen 55 en 6.303 m³/s. De maximale waterstand bij de Maasmond als gevolg van getij en stormopzet is 8,04 m+NAP, waarbij rekening is gehouden met 10,5 cm zeespiegelstijging ten opzichte van 1985. Voor wat betreft de windrichting is onderscheid gemaakt tussen wind uit de oostelijke en westelijke sector. De (potentiele) windsnelheid is maximaal 42 m/s.

De gebruikte WAQUA-modelschematisaties zijn *waqua-rmm-gvz-hr2017_5-v3* (tot en met zeepeil 5,04 m+NAP) en *waqua-rmm-gvz-hr2017_5-v3_zp6plus* (zeepeil 6,04 m+NAP en hoger). De modelschematisaties bestaan uit 3 delen: een rivierendeel (riv), een zeedeel (zee) en het Grevelingen-Zoommeer (gvz), die met horizontale domeindecompositie zijn gekoppeld. Aangezien WAQUA niet in staat is om toekomstige waterstanden te voorspellen, is het in WAQUA zelf niet mogelijk om de Maeslantkering en de Hartelkering te sluiten, te openen of opnieuw te sluiten op basis van een verwachte waterstand binnen 24 uur. Om deze reden worden deze (stormvloed)keringen aangestuurd met behulp van een in Matlab geschreven Keringenscript. Daarin wordt ook de eventuele inzet van waterberging Volkerak aangestuurd. De criteria voor sluiting van de stormvloedkeringen zijn gebaseerd op waterstanden bij Rotterdam en Dordrecht. De inzet van waterberging Volkerak is gebaseerd op waterstanden bij Rak Noord. Voor beide genoemde modelschematisaties is een keringenscript beschikbaar. Daarnaast is een apart keringenscript beschikbaar voor het zogenaamde “geforceerd sluiten”. Met “*geforceerd sluiten*” wordt hier bedoeld dat volgens de vigerende regels (i.e. sluitwaterstanden) de keringen niet gesloten had hoeven te worden maar dat, middels een aanpassing van de criteria die de regels voor de aansturing van de kering gebruiken, de keringen toch zijn geforceerd om te sluiten.

Er treden situaties op waarbij het Keringenscript berekent dat sluiting moet plaatsvinden, maar dat in de berekening geen geschikt sluitmoment (i.e., lage stroomsnelheden) kan worden gevonden. Dit treedt vooral op wanneer sluiting nodig is door een hoge rivierafvoer in plaats van ten gevolge van stormopzet. Doordat het debiet ter hoogte van de Maeslantkering dan niet (meer) negatief wordt kan geen sluitmoment worden bepaald. Voor deze situaties wordt de Maeslantkering bij de start van de 2^e iteratie van het Keringenscript (wanneer sluiting nodig is) in drijvende toestand gebracht en wordt ook de Hartelkering eventueel geopend.

De productieberekeningen zijn uitgevoerd bij Amazon op 8-core machines. Daarvoor is het Matlab-keringenscript gecompileerd tot een standalone executable. In totaal zijn 4.875 berekeningen (met 1 of meer iteraties van het keringenscript) uitgevoerd voor “normaal sluiten” en 356 berekeningen voor “geforceerd sluiten”. De resultaten van de berekeningen (1^e en laatste iteratie) zijn opgeslagen in het data-archief bij Deltares en gecontroleerd op fysieke consistentie en onrealistische schommelingen in waterstanden.

Het geforceerde sluiten met aangepaste (i.e., verlaagde) sluitcriteria voor de stormvloedkeringen leidt tot sluiting van de stormvloedkeringen voor 111 combinaties die bij de normale sluitcriteria niet tot sluiting leiden. Zoals verwacht leidt dit tot een verlaging van rivierwaterstanden ten opzichte van de geopende situatie. De resultaten van de 111 berekeningen zijn consistent, al leidt het niet aanpassen van de criteria voor het openen van de keringen voor sommige combinaties tot “flip-flop”-gedrag van de keringen. Met normale sluitcriteria is voor ZP404 t/m ZP804 in alle berekeningen sprake van sluitende stormvloedkeringen. In totaal wordt bij 3675 van de 4875 berekeningen sluiting gemodelleerd. Voor toenemende windsnelheid neemt het aantal sluitingen toe. Voor wat betreft windrichting wordt het grootste aantal berekeningen met sluiting gevonden voor richting D292(,5), ofwel WNW. Dit is de richting waarbij de wind min of meer parallel aan de Nieuwe Waterweg staat, wat inderdaad tot relatief veel opzet zal leiden. De gemodelleerde sluittijdstippen en sluitingsduren zijn over het algemeen conform WTI2011; afwijkingen treden vooral op door inzet waterberging Volkerak en bij hoge rivierafvoeren en/of zeewaterstanden.

Het verloop van waterstanden (op basis van ‘max13’) is visueel gecontroleerd voor 4 trajecten in de Rijn-Maasmonding. Opvallende zaken zijn vooral geconstateerd bij “extreme” stochastcombinatie zoals lage rivierafvoer in combinatie met hoge zeewaterstanden, of precies het omgekeerde. Consistentiechecks op waterstanden als functie van de diverse combinaties laten consistente patronen zien. Ook het verloop van het aantal droge punten verloopt consistent met de verschillende stochasten.

Voor alle uitvoerlocaties is gecontroleerd of er grote afwijkingen zijn tussen de ‘max13’ en de maximale waterstand op tijdstapniveau, omdat dit kan duiden op onrealistisch/niet fysisch modelgedrag (het gehanteerde criterium is een toegestaan verschil van 3 cm). Daarnaast is gecontroleerd of de waterstand tussen twee tijdstappen niet te snel verandert (het toegestane verschil is 4 cm per 1 minuut). Wanneer één van de criteria wordt overschreden, is sprake van een afgekeurde locatie.

Ten opzichte van de WTI2017-productieberekeningen voor de Bovenrivieren en de IJssel-Vechtdelta worden relatief veel locaties afgekeurd. Het RMM-model is een gecompliceerd WAQUA-model met drie gekoppelde deelgebieden, gecompliceerde randvoorwaarden en een groot aantal keringen. Dit alles maakt dat het model soms veel last heeft van instabiele punten. Afgekeurde locaties liggen vooral rond de keringen in de Nieuwe Waterweg (Maeslantkering), het Calandkanaal en Hartelkanaal en bij de inlaatsluizen naar het Volkerak-Zoommeer. Opvallend is dat in geopende toestand (de eerste iteratie) meestal meer instabiliteiten optreden dan in een gesloten toestand (1,7% versus 1,3% van de controlepunten is instabiel). Zelfs in een open toestand zijn de keringen (als barrières) aanwezig in het WAQUA-model en zullen de keringen een invloed op het stroombeeld uitoefenen. Deze invloed is een verstoring van het stroombeeld en hiermee inherent destabiliserend. Een tweede oorzaak is de grotere invloed van de zee in open situaties en de hiermee gepaard gaande hogere stroomsnelheden in de verschillende takken. Ook dit aspect zal zorgen voor meer instabiliteiten. Wat verder opvalt is dat bij toenemende rivierafvoeren het percentage instabiele punten afneemt, terwijl bij toenemend zeepeil het percentage instabiele punten juist toeneemt.

Door de complexiteit van het RMM-model worden relatief veel locaties afgekeurd. Desondanks zijn consistente patronen gevonden in het verloop van gemodelleerde waterstanden en sluiten van de stormvloedkeringen als functie van de verschillende stochasten. Dit leidt tot de conclusie dat de berekeningen betrouwbaar zijn en gebruikt kunnen worden voor het vullen van de relationale databases. Daarbij is het van wezenlijk belang om de afgekeurde locaties nader te onderzoeken: zijn deze locaties bruikbaar in de database? In deze studie is afkeur van locaties gebaseerd op tijdreeksen van waterstanden. 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. Anderzijds kan aanpassing van de criteria door meer fysica te in beschouwing te nemen (bijvoorbeeld het momentum op een bepaalde locatie), dat er nog meer locaties worden afgekeurd. Deze stappen vallen buiten de scope van dit deelproject maar wel binnen de scope van WTI2017. Dit aspect zal meegenomen worden bij de probabilistische berekeningen.

7 Referenties

Bak, C.I. & Vlag, D.P. (1999). Achtergronden hydraulische belastingen dijken IJsselmeergebied, deelrapport 5, Modellerings waterbeweging (WAQUA), RIZA rapport 99.042

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 productieberekeningen WTI2017. Aanvulling op uitgangspunten vastgesteld in 2013. Deltares rapport 1209433-001-HYE-0005. A.J. Smale, juli 2014.

Deltares (2014b). Verbeteringen in baseline-waqua-rmm-beno14_5-v2 ten behoeve van WTI 2017. Deltares memo 1209449-005-ZWS-0016. J.S. de Jong, 23 december 2014.

Deltares (2015). Aanpassing Keringscript tbv geforceerd sluiten. Deltares memo 1220072-005-ZWS-0010. T. van der Kaaij, 7 oktober 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.

Deugd, H. de (2007), Waterloopkundige berekeningen TMR2006 Benedenrivierengebied. Beschrijving van de waterloopkundige methode. RWS RIZA rapport 2007.017, April 2007.

Jong, J. de (2015). Aanpassingen aan de RMM-keringen in waqua-rmm-gvz-hr2017_5-v3_zp6plus ten behoeve van WTI 2017. Deltares memo 1220072-005-ZWS-0007. 19 augustus 2015.

Kerkhoven, D. (2015). Flowdiagram en toestanden keringen RMM - WTI2017. Deltares memo 1220072-005-ZWS-0008. 26 augustus 2015.

Kuiper, K., Kerkhoven, D. & Van der Kaaij, T. (2014). Grevelingen-Volkerak-Zoommeer. WAQUA-model 5e generatie. Modelopzet en validatie stormopzet en afwaaiing. Deltares rapport 1209448-005-ZKS-0005, 17 december 2014, definitief.

RHDHV (2014). Testberekeningen t.b.v. productieberekeningen WTI 2017 Benedenrivieren. RDCHM_BD3957_R20141204_NL27708_f1.0. Versie 1.0. December 2014.

Sprengers, C. (2010). Productierandvoorwaarden IJsselmeer, Vecht- en IJsseldelta., Memorandum Deltares, 3 november 2010.

Vuik, V., Collard, E., Rotsaert, M. & Vieira da Silva, J. (2011a). WAQUA-productieberekeningen Benedenrivierengebied voor WTI-2011: rapportage fase 1. Rapport HKV/Svasek, december 2011 (Rapportage_BER_fase1_v4_def.pdf).

Vuik, V., Collard, E., Rotsaert, M. & Vieira da Silva, J. (2011b). WAQUA-productieberekeningen Benedenrivierengebied voor WTI-2011: rapportage fase 2. Rapport HKV/Svasek, december 2011 (Rapportage_BER_fase2_v4_def.pdf).

Waal, J.P. de (2003), Windmodellering voor bepaling waterstanden en golven. Een analyse van de bouwstenen. RIZA-werkdocument 2003.118x, Rijkswaterstaat-RIZA.

Zijl, F., D. Kerkhoven, A.Z. Visser en T. van der Kaaij (2011), WAQUA-model Rijn-Maasmonding, Modelopzet, calibratie en verificatie. Deltares rapport, 1202199-005.

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]\3.RMM\

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 vele tienduizenden 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. N.b. sommige mappen zijn ingepakt (zip) opgenomen in het data-archief.

Data beschikbaar op: [DATA-ARCHIEF]\3.RMM\5.Controle_productiesommen\1.Waterstanden\	
output_bewerkt\	<p>Bewerkte data als matfiles:</p> <p>(1) droog_nat__controle_PROD_wti2017.mat</p> <p>(2) instab_tijdreeks_Instab_piek120_controle_PROD_wti2017.mat</p> <p>(3) verschil_max13_sepmax_le-0.03_controle_PROD_wti2017.mat</p> <p>Deze matfiles bevatten per berekening generieke informatie over droogval, instabiliteiten rond de piek en het verschil tussen 'max13' en 'sepmax' (zie ook volgende punt en readme in de genoemde map).</p>
	RMM_FysContr_Keringenscript_tijden_v3_20151120.xlsx Dit is een xls-files met daarin informatie (en bewerking van) sluitingsduren en toestandsveranderingen van de keringen per berekening.
	RMM_FysContr_consistentie_checks_20150924.xlsx Deze Excellfile bevat per berekening (voor eerste en laatste iteratie) de 'max13'-waterstanden over 4 trajecten en het Volkerak-Zoommeer. In de tabel zijn macro's opgenomen om met het tabblad 'figuren' per gekozen variabele figuren te maken waarmee de consistentie van de berekeningen gecontroleerd kan worden.
	Voor geforceerd sluiten zijn (conform bovenstaande) beschikbaar: RMM_FysContr_consistentie_checks_GS_20151111.xlsm RMM_FysContr_keringenscript_tijden_v4F_20151112.xlsx
output_csv_getdta\	Folder waarin data van tijdreeksen wordt weggeschreven, zie onder deze tabel voor uitleg.
output_figuren_2Dplots_png\	2D figuren voor droogval, analyse instabiliteiten en verschillen tussen 'max13' en 'sepmax'. Ook van gradiënten in waterstanden (in dit rapport niet besproken) zijn hier figuren te

	vinden.
output_figuren_max13_png\	1D figuren met maximale waterstanden en afvoeren over 4 trajecten en het Volkerak-Zoommeer, gesorteerd per afvoerniveau.
output_figuren_tijdreeks\	“tar.gz”-files met figuren van tijdreeksen waarbij aan bepaalde controlecriteria is voldaan, i.e. locaties met instabiliteiten of grote afwijkingen tussen ‘max13’ en maximale waterstand. Uit ruimtebesparing zijn niet alle figuren gemaakt (zie paragraaf 5.2). N.B.: een deel van de bestanden staat onder ([DATA-ARCHIEF]\3.RMM\4.Uitvoeren_productiesommen\1.Waterstand en\ <somid>\output_figuren_tijdreeks\)< td=""> </somid>\output_figuren_tijdreeks\)<>
output_Keringenscript\	Figuren gemaakt door het Keringenscript (Muppet-files) voor alle berekeningen (en alle iteraties)
GS_batch33\	Figuren (PNG) voor geforceerd sluiten (inclusief Muppet files)

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

Er is een Matlab-script gemaakt waarmee tijdreeksen van uitvoerlocaties kunnen worden uitgelezen in een Matlab-struct. Tevens wordt de data weggeschreven naar een voorgedefinieerde Excel-file waarin een figuur van de tijdreeks voor de gevraagde locatie wordt getoond. Het script kan hier gevonden worden:

[DATA-ARCHIEF]\3.RMM\5.Controle_produktesommen\
1.Waterstanden\RMM_FysContr_getdata_somid_func.m

Aanroep vanuit linux (start putty, ga naar directory waar berekening staat, type ‘/opt/matlab/2013a/bin/matlab’ en start, voor ons geval, onderstaande commando):

outdta = RMM_FysContr_getdata_somid_func(somid, domain, locid, username, write_xls)
waarbij

- somid = naam van de somdirectory op amazon
- domain = riv/zee/gvz (van toepassing voor WAQUA)
- locid = naam van de locatie
- username = username voor inloggen in het data-archief
- write_xls = wel/niet wegschrijven naar xls (filename in .m file opgeven, in ons geval: \output_csv_getdta\timeseries_out.xlsx)

De Excelfile bevat ook informatie of de cel droog is en/of instabiele punten bevat. Tevens is de ‘max13’ bepaald (op een iets afwijkende wijze van WAQUA, om ook een ‘max13’ te kunnen bepalen wanneer het maximum zich aan het begin of einde van een reeks bevindt).

B Toelichting consistentiechecks

Om het grote aantal berekeningen (7.800 voor IJVD, ongeveer 9.000 voor RMM) snel op hoofdlijnen te kunnen beoordelen is een ‘fysische controle’ opgezet. Het principe achter de fysische controle is dat bij een veranderende stochast (bijvoorbeeld rivierafvoer, meer- of zeepeil, windkracht) een consistent beeld moet optreden in de berekende waterstanden op enkele vooraf gedefinieerde locaties.

B.1 Gehanteerde locaties

In het RMM-model zijn vier controleraaien gedefinieerd, zie paragraaf 5.5: In Figuur B.1 zijn de voor de consistentiechecks gebruikte locaties weergegeven.



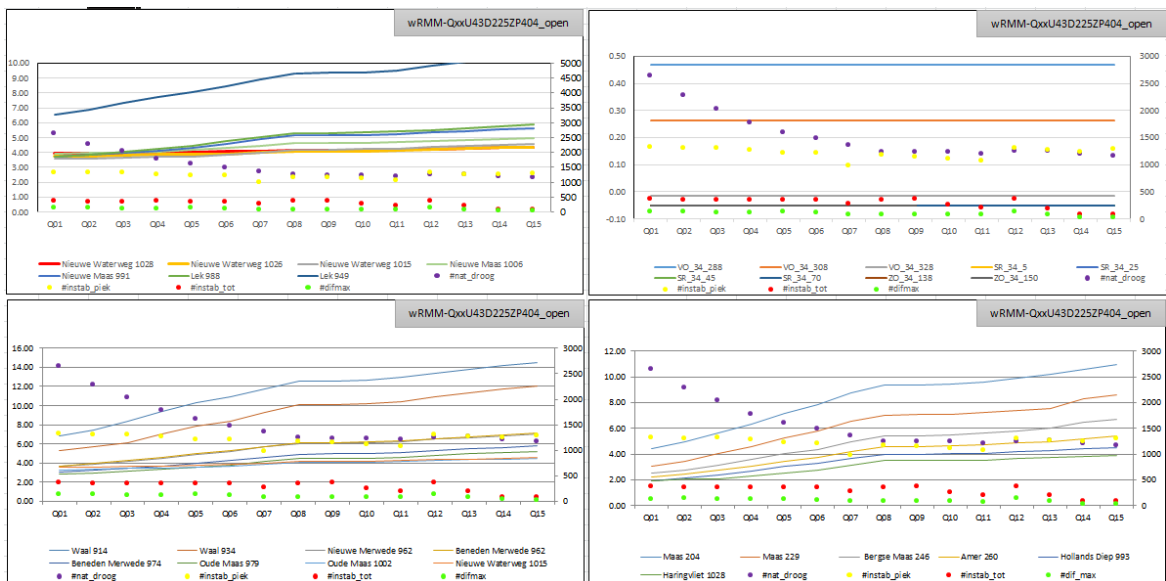
Figuur B.1 Locaties consistentiecheck RMM.

B.2 Spreadsheet

Voor de beoordeling van de consistentie is een spreadsheet gemaakt (zie Tabel A.1). Deze spreadsheet bevat voor de gedefinieerde controlepunten de maximale waterstanden van alle berekeningen, tezamen met de aantallen potentiële droge punten en instabiele punten. Iedere berekening is een combinatie van de volgende vijf stochasten: rivierafvoer, meerpeil, windkracht, windrichting en de toestand keringen. De gebruiker kan aangeven welke stochast(en) vast zijn; de resterende stochast(en) zijn dan variabel en laten dan alle mogelijke waarden zien. De mogelijke stochastwaarden zijn opgenomen in paragraaf 3.1. De onderstaande figuren tonen de fysische controle voor verschillende stochasten.

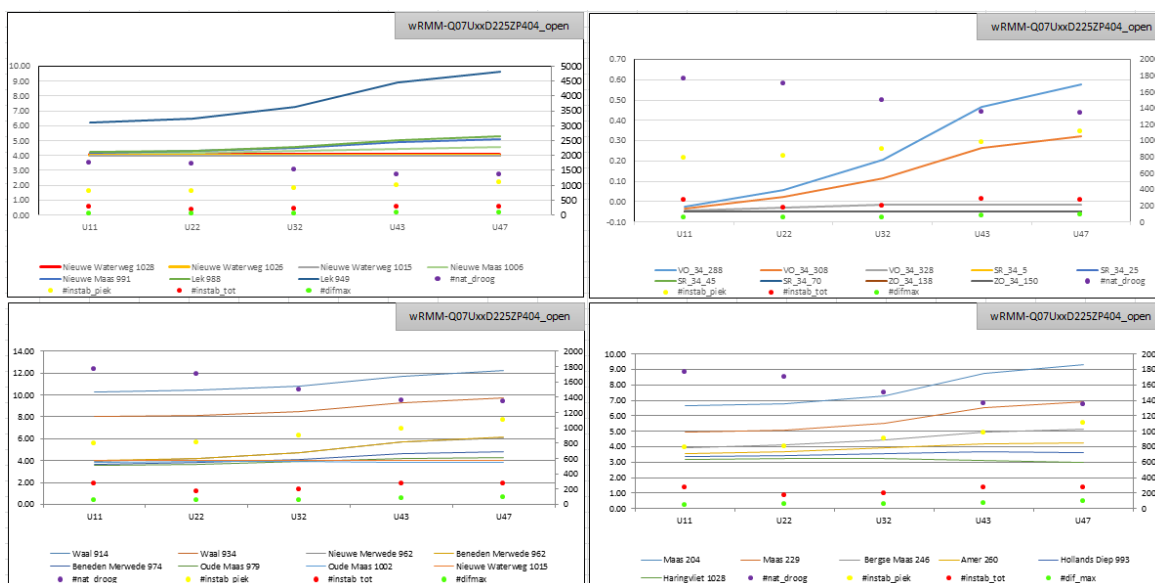
B.2.1 Afvoer

Bij een gekozen combinatie van windkracht, windrichting, zeepeil en keringen krijgt de gebruiker als functie van de stochast rivierafvoer de maximale waterstanden te zien, zie de onderstaande figuren. Deze figuren laten zien dat bij een toenemende rivierafvoer (de horizontale as) de berekende waterstanden hoger worden (de getrokken lijnen). Verder is goed zichtbaar dat het aantal droge punten afneemt met toenemende rivierafvoer. De figuren tonen dus een consistent beeld met betrekking tot de afvoer.



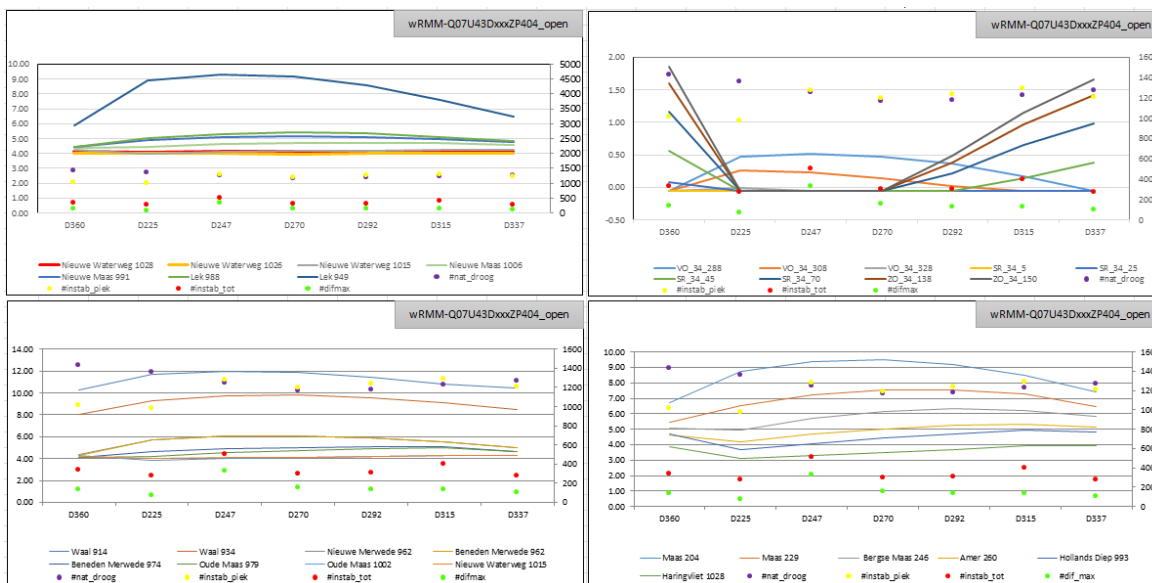
B.2.2 Windsnelheid

Bij een gekozen combinatie van rivierafvoer, windrichting, zeepil en keringen krijgt de gebruiker als functie van de stochast windkracht de maximale waterstanden te zien, zie de onderstaande figuren. Deze figuren laten zien dat bij een toenemende windkracht (de horizontale as) de berekende waterstanden hoger worden (de getrokken lijnen). Verder is goed zichtbaar dat het aantal droge punten beperkt afneemt met toenemende windkracht (en dus hogere waterstanden). Verder neemt het aantal instabiele punten (de gele rondjes) toe met toenemende windkracht. De figuren tonen dus een consistent beeld met betrekking tot de windkracht.



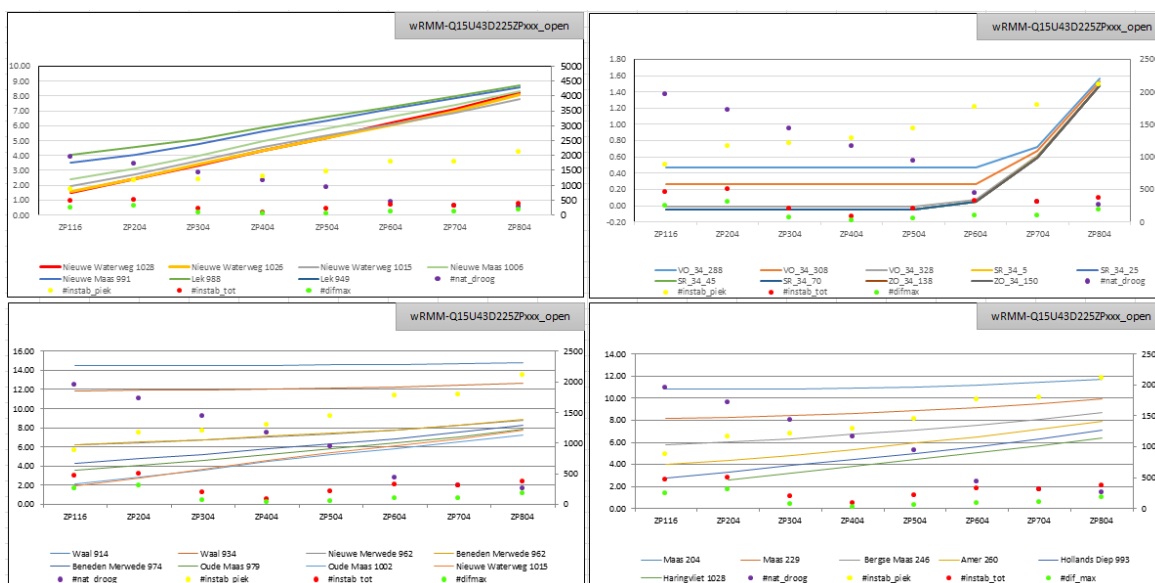
B.2.3 Windrichting

Bij een gekozen combinatie van rivierafvoer, windkracht, zeepil en keringen krijgt de gebruiker als functie van de stochast windrichting de maximale waterstanden te zien, zie de onderstaande figuren. Deze figuren laten zien hoe bij een draaiende windrichting (de horizontale as) de berekende waterstanden worden beïnvloed (de getrokken lijnen). Om deze figuren goed te kunnen duiden (met name de grote uitschieters op het Volkerak-Zoommeer, zie het plaatje rechtsboven) is gekeken waar de gebruikte controlepunten daadwerkelijk in het model liggen en op welke wijze deze punten worden beïnvloed door de wind (zie Figuur B.1). Uit deze beoordeling is geconstateerd dat hier sprake is van een consistent beeld.



B.2.4 Zeepeil

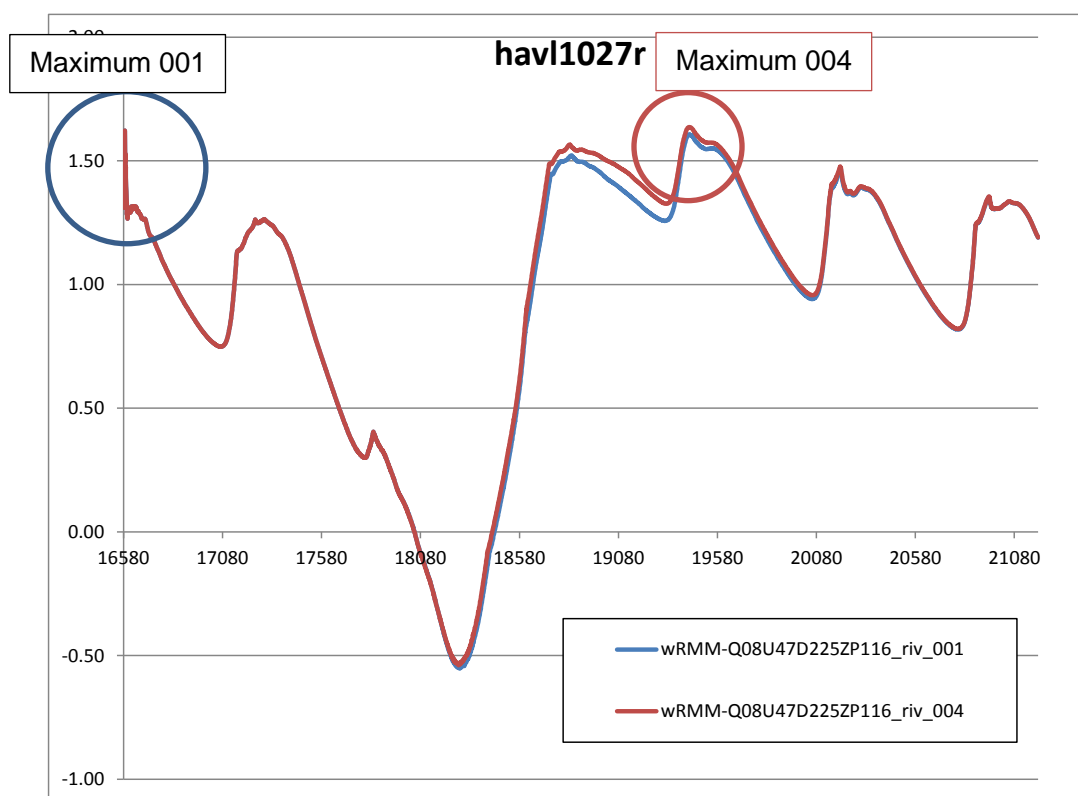
Bij een gekozen combinatie van rivierafvoer, windkracht, windrichting en keringen krijgt de gebruiker als functie van de stochast zeepeil de maximale waterstanden te zien, zie de onderstaande figuren. Deze figuren laten zien hoe bij een stijgend zeepeil (de horizontale as) de berekende waterstanden worden beïnvloed (de getrokken lijnen). Goed zichtbaar is dat de bovenstroomse controlepunten op de Waal (plaatje linksonder) en Maas (plaatje rechtsonder) nauwelijks tot niet worden beïnvloed door een verandering in het zeepeil. Hoe dichterbij de monding van de rivier in de zee, hoe groter de invloed van het zeepeil. Opvallend is de sterke doorwerking op de Lek van het zeepeil.



C Ontbrekende 'max13'-waarden

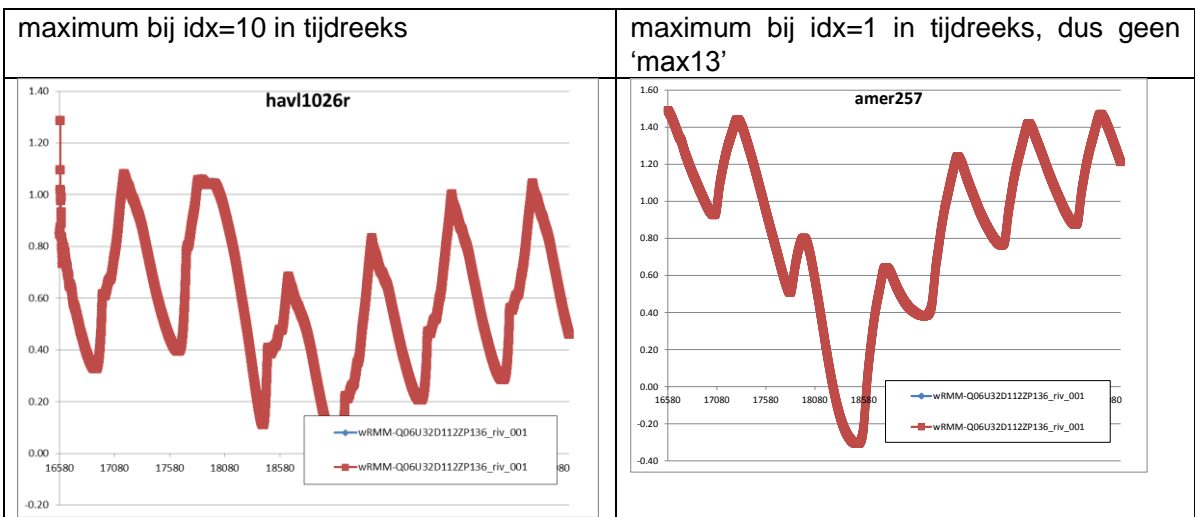
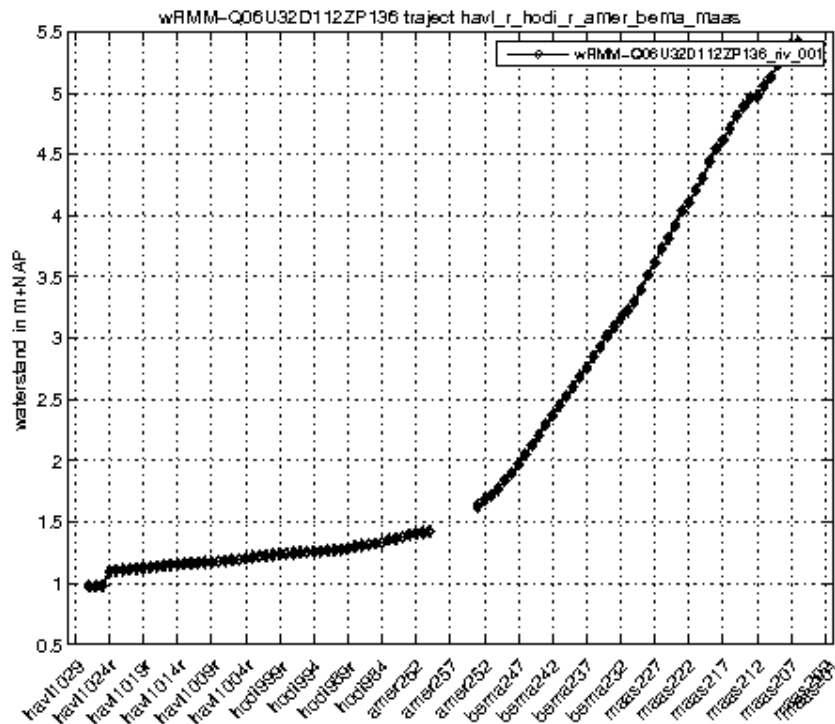
Voor iedere uitvoerlocatie is de grootte 'max13' beschikbaar. Deze variabele wordt, na afloop van een berekening, door getdata bepaald als een nabewerking op de beschikbare tijdreeksen. Voor iedere tijdreeks wordt het gemiddelde van de 13 waarden rond het maximum in die tijdreeks bepaald, om kleine slingeren uit te middelen. Deze nabewerking wordt toegepast op tijdreeksen met het in de siminp opgegeven tijdsinterval (TIHIST), hier 1 minuut. Wanneer het maximum zich direct aan het einde of begin van de tijdreeks bevindt, wordt geen 'max13' bepaald, omdat dit mogelijk duidt op een onrealistische waarde. 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 nan's worden gepresenteerd.

Door een subtiel verschil in tijdsverloop tussen een situatie met en zonder sluiting van de stormvloedkeringen kan het maximum op een andere locatie in de tijdreeks gevonden worden, wat ook gevolgen kan hebben voor de 'max13'-waarde (zie bijvoorbeeld Figuur C.1).

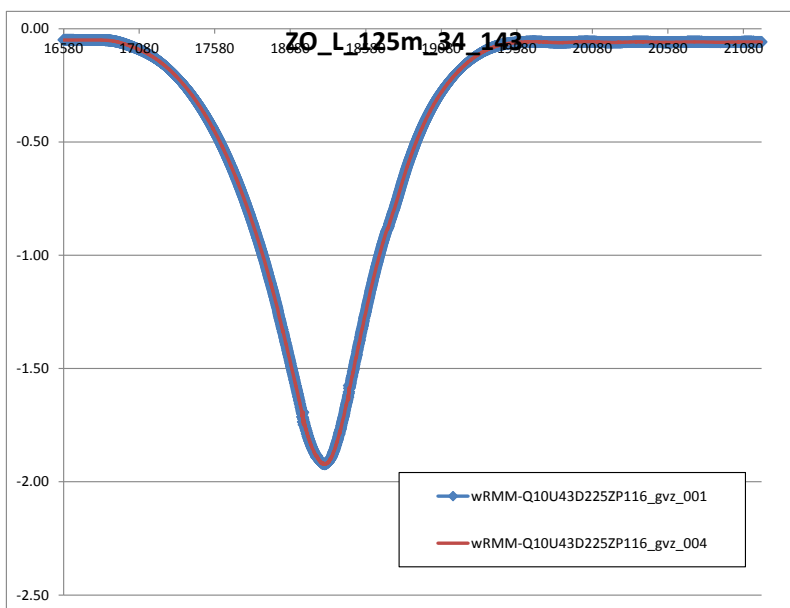
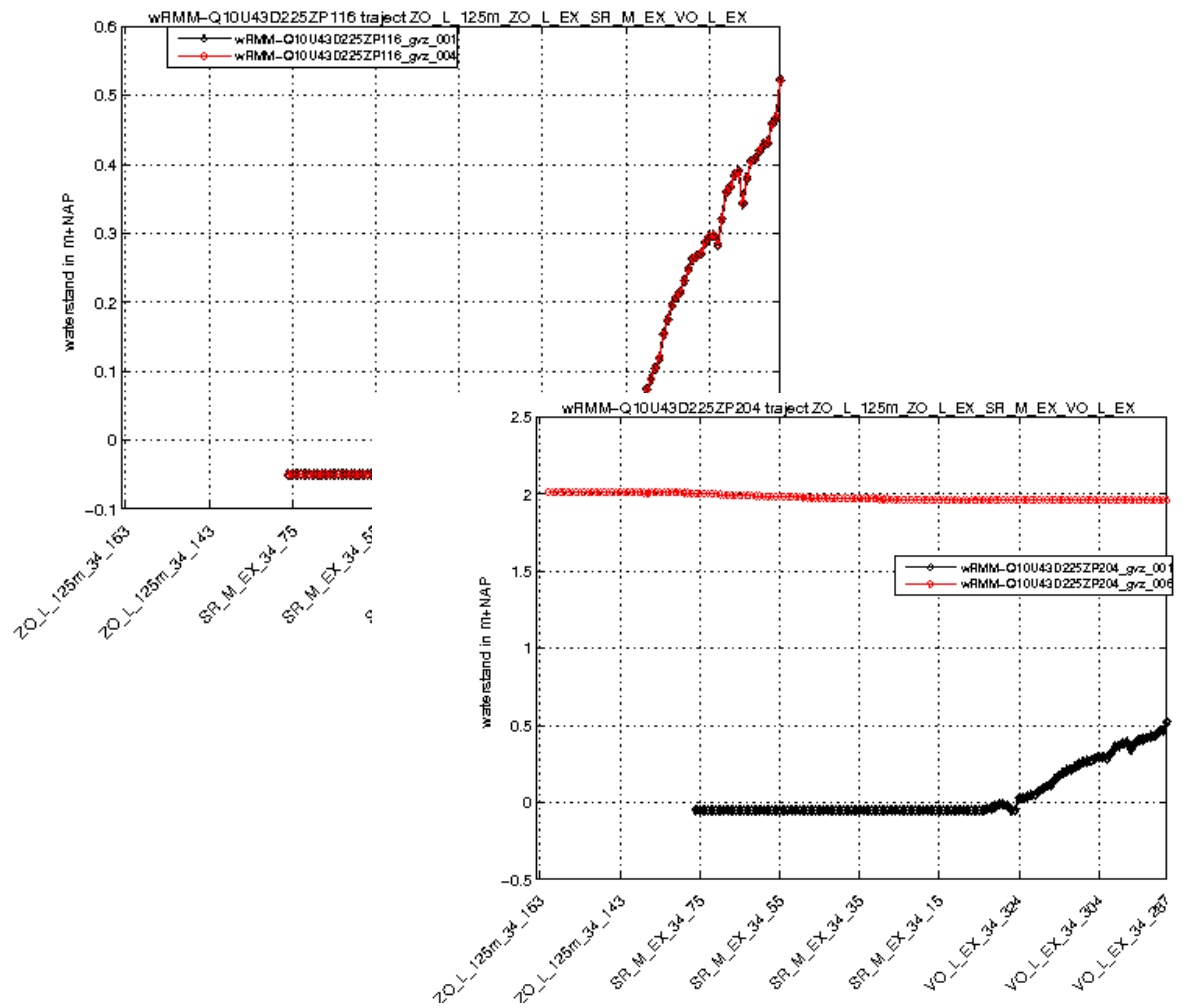


Figuur C.1 'max13'-bepaling, subtiel verschil tussen wel/geen sluiting.

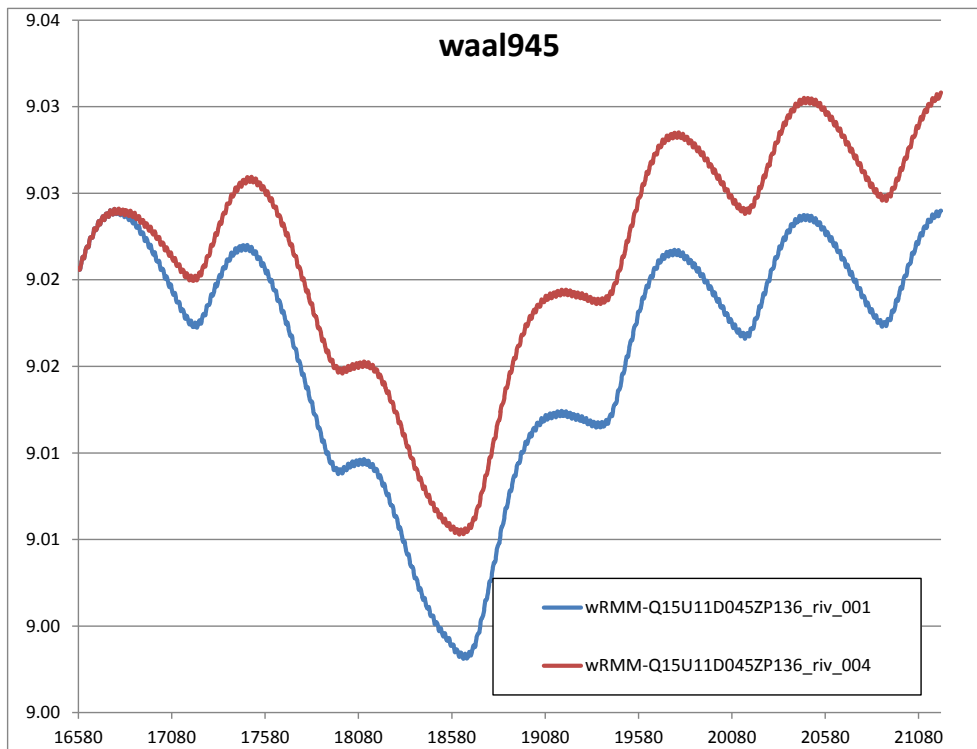
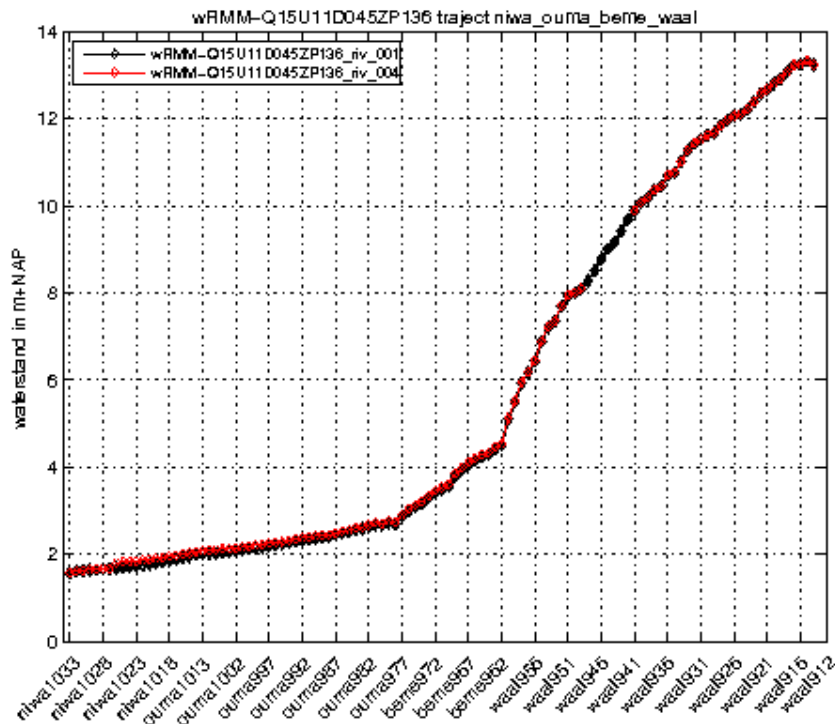
De overige figuren in deze bijlage geven nog enige voorbeelden van soortgelijke situaties waarbij door windeffecten de 'max13'-waarde verschilt tussen de situatie met gesloten en geopende keringen.



Figuur C.2 Sprong in de 'max13'-waarde bij Haringvlietsluizen (boven en links onder) als gevolg van afwaaiing en het ontbreken van een 'max13'-waarde bij amer257 (rechts onder).



Figuur C.3 Door afwaaiing op het VZM kan geen 'max13'-waarde worden bepaald (er is geen maximum).



Figuur C.4 Het maximum is voor de gesloten toestand aan het einde van de tijdreeks, waardoor geen 'max13'-waarde bepaald kan worden op een deel van de Waal.