Overstortgebeurtenissen in riooldistrict 10 in Rotterdam

Een onderzoek naar in hoeverre met metingen een beter beeld van de praktijk gevormd kan worden



Gemeente Rotterdam

Hogeschool VHL University of Applied Sciences

Caroline van Houwelingen

Overstortgebeurtenissen in riooldistrict 10 in Rotterdam

Een onderzoek naar in hoeverre met metingen een beter beeld van de praktijk gevormd kan worden

Auteur: C.E. (Caroline) van Houwelingen
Studentnummer: 830516003
Opleiding: Land- en Watermanagement (deeltijd)
Major: Grond-, Weg- en Waterbouw

Dit onderzoek is gedaan in het kader van:
Afstudeerproject bij de afdeling Watermanagement van de Gemeente Rotterdam

Begeleiding: K. (Koos) de Voogt, Gemeente Rotterdam
A. (Ad) Bot, Hogeschool van Hall – Larenstein

– 31 december 2013 –

Gemeente Rotterdam

Hogeschool VHL University of Applied Sciences

Trefwoorden: riolering, overstort, meten, modelleren

VOORWOORD

Voor je ligt het verslag van mijn afstudeeronderzoek over overstortgebeurtenissen in riooldistrict 10 in de gemeente Rotterdam. Het is mijn tweede afstudeerscriptie, maar dat maakt het niet minder bijzonder. Integendeel!

Ik ben erg blij met de kans die ik kreeg om aan de slag te gaan met een dataset met peilmetingen in district 10. Ik had van tevoren niet kunnen bedenken dat ik zo'n mooie combinatie zou kunnen maken van mijn eerste (universitaire) studie Sociale Geografie & Planologie, mijn werk als onderzoeker bij team Regio&Ruimte van het Centraal Bureau voor de Statistiek en de deeltijdopleiding Land- en watermanagement die ik met dit onderzoek nu afsluit.

Mijn doel met het volgen van deze opleiding was cultuurtechnische kennis op te doen. Ik zocht naar een thema waarin ik me kon specialiseren, maar waarbij wel nog steeds een regionaal gezichtspunt van belang is. Ik heb dit gevonden in het vakgebied stedelijk water/riolering. Daar komen verschillende terreinen samen, die mij van jongs af aan al boeien: weer/klimaat, geografie, scheikunde en water. Ook vind ik het analyseren van stromen erg interessant; iets waar ik me bij dit onderzoek volop in kon verdiepen.

Ik wil langs deze weg iedereen bedanken die mij geholpen heeft dit project mogelijk te maken. In het bijzonder gaat mijn dank uit naar Duncan en Chantal Beeckman. Dankzij jullie actieve inzet heb ik contact kunnen leggen met de gemeente Rotterdam en was ik meteen aan het goede adres; bij de juiste personen en de juiste afdeling.

Ik wil Koos de Voogt bedanken die mij vanuit de gemeente Rotterdam bij het project begeleid heeft. Je focus op het goed afbakenen van het onderwerp en het duidelijk structureren en specificeren van de resultaten heeft me erg geholpen. Dank ook aan Albert Kemeling voor je hulp bij het gebruik van SOBEK en je praktische adviezen. En tot slot wil ik ook Ad Bot nog bedanken voor je toewijding en begeleiding vanuit de Hogeschool.

Werken en studeren tegelijk is leuk, maar soms ook best lastig. Het vraagt veel van je; vooral veel vrije tijd die je anders met familie of vrienden zou doorbrengen. Aan hen allen: dank voor jullie steun en begrip! Hetzelfde geldt voor mijn collega's. Bedankt voor de aanmoediging die ik van jullie kreeg en de mogelijkheden die jullie mij boden waardoor ik flexibel met mijn werktijd kon omgaan.

Voorburg, 31 december 2013

Caroline van Houwelingen

SAMENVATTING

Overstortgebeurtenissen zijn voor de gemeente Rotterdam een belangrijk aandachtspunt. Naast aantasting van de waterkwaliteit kunnen overstortgebeurtenissen overlast veroorzaken voor bewoners. Om een beter beeld van overstortgebeurtenissen te verkrijgen zijn door de gemeente peilmetingen gedaan in district 10. In dit onderzoek is deze dataset bestudeerd. De volgende onderzoeksvraag stond daarbij centraal:

In welke mate kunnen de reeds gedane metingen in het rioolstelsel binnen district 10 bijdragen aan een beter inzicht in het daadwerkelijk (in de praktijk) hydraulisch functioneren van het stelsel?

Heel specifiek ging de interesse van de gemeente uit naar de waarde van het gemaalbassinpeil als indicatie voor overstortgebeurtenissen en het SOBEK-model als bron voor meer gedetailleerde informatie over deze gebeurtenissen.

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden zijn verschillende datasets verzameld met meetgegevens uit het meetproject (peilen), gemaalgegevens (peilen en debieten) en neerslaggegevens. Deze zijn allereerst gecontroleerd op bruikbaarheid. Bij 12 van de 17 sensoren uit het meetproject kon meer dan 90% van de metingen worden goedgekeurd. De overige 5 sensoren gaven beduidend minder goede metingen en zijn dan ook niet verder meegenomen in het onderzoek. De overige gegevens waren goed bruikbaar. Al was het deels ontbreken van neerslagmetingen van de regenmeter in district 10 een beperkende factor bij het modelleerwerk.

Vervolgens is het hydraulisch functioneren van het stelsel in de praktijk onder de loep genomen en is er een vergelijking gemaakt tussen de peilen bij de overstort en het gemaal-bassinpeil. Deze blijken elkaar goed te volgen. Echter het gemaalbassinpeil ligt veelal 10 à 20cm lager. Omdat het gemaalbassinpeil gebruikt wordt als indicator voor het plaatsvinden van overstortgebeurtenissen, zijn er hierdoor door de gemeente minder overstortingen geregistreerd dan er volgens de metingen hebben plaatsgevonden. Wel gaat het om kleine overstortgebeurtenissen van niet meer dan 2¼ uur.

Daarna is aandacht besteed aan het theoretisch hydraulisch functioneren van het stelsel door de overstortgebeurtenissen te modelleren in SOBEK. De berekende peilen blijken hoger te liggen dan de gemeten peilen. Omdat het SOBEK-model wordt gebruikt om te controleren of aan de normen wordt voldaan en om wateroverlast te voorkomen, is dit verklaarbaar en ook een goed uitgangspunt. Maar voor een goed beeld van overstortgebeurtenissen is het model minder geschikt.

Van de infiltratiecapaciteit was de verwachting dat deze de meeste invloed heeft op de modeluitkomsten. Door te variëren in de waarden daarvan, is geprobeerd theorie en praktijk dichter bij elkaar te brengen. Bij de gemodelleerde situatie in januari paste uiteindelijk een lagere maximum en minimum infiltratiecapaciteit dan bij de situatie in juni. Aannemelijk is dat dit te maken heeft met seizoensinvloed. Variëren met afname van de infiltratiecapaciteit (k-waarde) had een minder grote impact en bracht het model maar weinig dichter bij de praktijkuitkomsten. Bij een derde gemodelleerde situatie in augustus kon het berekende peil niet goed in overeenstemming gebracht worden met de gemeten peilen. Zeer waarschijnlijk is dit het gevolg van neerslaginput die niet de daadwerkelijke situatie weergeeft. Een onnauwkeurige neerslaginput heeft een groot effect op de uitkomsten. Daarom is bij modelleren vooral ook een goede neerslagmeting van belang.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD **1**

SAMENVATTING **2**

1 INLEIDING **6**

1.1 Achtergrond 6

1.2 Doelstelling 7

1.3 Afbakening 7

1.4 Probleemstelling & deelvragen 8

1.5 Gebiedsbeschrijving 8

1.5.1 Gebiedskenmerken *8*

1.5.2 Meetproject in gebied 10 ..... *10*

2 PRAKTISCHE AANPAK VAN HET ONDERZOEK **11**

2.1 Inleiding 11

2.2 Fase 1: Voorbereiding 11

2.2.1 Beschikbare datasets *11*

2.2.2 Gekozen peilperiode van de datasets *13*

2.3 Fase 2: Datavalidatie 14

2.3.1 Aanpak validatie meetgegevens *14*

2.3.2 Aanpak validatie gemaalgegevens *15*

2.3.3 Aanpak validatie neerslaggegevens *15*

2.4 Fase 3: Vergelijking peil bij overstort met gemaalbassinpeil 16

2.4.1 Selectie overstortgebeurtenissen *16*

2.4.2 Aanpak vergelijking gemaalbassinpeil met peilmetingen *17*

2.5 Fase 4: Modelleren & kalibreren 17

2.5.1 Aanpassen van het SOBEK-model *17*

2.5.2 Keuze situaties voor modelleren & kalibreren *19*

2.5.3 Bepaling neerslaginput voor SOBEK-model *20*

2.5.4 Kalibratieparameters *20*

3 DATAVALIDATIE **23**

3.1 Inleiding 23

3.2 Validatie meetgegevens 23

3.2.1 Volledigheid *23*

3.2.2 Tijdstempel *23*
3.2.3 Meetinterval *24*
3.2.4 Buiten bereik *25*
3.2.5 Outliers en staptrends *26*
3.2.6 Lineaire trend *26*
3.2.7 Onderlinge relaties *27*
3.2.8 Relatie met barometrische druk *28*
3.2.9 Totaalbeeld goedgekeurde / afgekeurde metingen *28*
3.3 Validatie gemaalgegevens 29
3.3.1 Volledigheid & meetinterval *29*
3.3.2 Buiten bereik *30*
3.4 Validatie neerslaggegevens 31
3.4.1 Volledigheid & meetinterval *31*
3.4.2 Buiten bereik *31*
3.4.3 Onderlinge vergelijking *31*

4 HYDRAULISCH FUNCTIONEREN IN DE PRAKTIJK 32
4.1 Inleiding 32
4.2 Overstortgebeurtenissen in de praktijk 32
4.2.1 Tijdstippen en duur *32*
4.2.2 Overstortvolumes *33*
4.3 Relatie tussen peilmetingen bij overstort en gemaalbassinpeil 33
4.3.1 Overstortregistratie op basis van gemaalbassinpeil *33*
4.3.2 Vergelijk peil bij overstort met gemaalbassinpeil *35*
4.3.3 Alternatief indicatieniveau *36*
4.4 Praktijksituatie in het stelsel tijdens overstortgebeurtenissen 37

5 RELATIE THEORIE EN PRAKTIJK 38
5.1 Inleiding 38
5.2 Uitgangssituatie 38
5.2.1 Theoretisch functioneren volgens model *38*
5.2.2 Eerste vergelijking met praktijk *40*
5.3 Kalibreren van het model 41
5.3.1 Uitgangspunten *41*
5.3.2 Eerder gedaan onderzoek *41*
5.3.3 Variëren met maximum en minimum infiltratiecapaciteit *43*
5.3.4 Variëren met afname infiltratiecapaciteit *44*

5.3.5 Aanpassing neerslag voor situatie augustus 45
5.4 Vergelijking best passend scenario met praktijk 47

6 CONCLUSIE & AANBEVELINGEN 49
6.1 Inleiding 49
6.2 Beantwoording deelvragen 49
6.3 Conclusie 51
6.4 Aanbevelingen 52
6.4.1 Goed beeld van overstortgebeurtenissen 52
6.4.2 Meetproject 52
6.4.3 Databeheer 53

7 BRONNEN 54

8 LIJST VAN TABELLEN & FIGUREN 55

BIJLAGE I: Kaart district 10 met meetlocaties 57
BIJLAGE II: Neerslaggegevens voor modellering 58
BIJLAGE III: Bepaling neerslaginput 5 augustus voor modellering 61
BIJLAGE IV: Neerslaggegevens van verschillende regenmeters 62
BIJLAGE V: Vergelijking peil bij overstort met gemaalbassinpeil 65
BIJLAGE VI: Overzicht tijdstippen en duur 68
BIJLAGE VII: Gemiddeld verschil peil bij overstort en gemaalbassinpeil 69
BIJLAGE VIII: Vergelijking peil binnen stelsel met gemaalbassinpeil 70
BIJLAGE IX: Uitkomsten modellering 73
BIJLAGE X: Uitkomsten kalibratie – min. & max. infiltratiecapaciteit 85
BIJLAGE XI: Uitkomsten kalibratie – afname infiltratiecapaciteit (k_a) 91
BIJLAGE XII: Uitkomsten kalibratie – aanpassing neerslaginput 97

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond

De gemeente Rotterdam is verantwoordelijk voor de rioleringszorg binnen haar grenzen. De wettelijke basis hiervoor is te vinden in de Wet Milieubeheer en de Waterwet. Hoe de gemeente aan deze zorgplicht invulling geeft is beschreven in het Gemeentelijk Rioleringsplan Rotterdam (GRP) 2011-2015.

Samengevat luidt de visie van de gemeente als volgt:
- Wateroverlast nu en in de toekomst voorkomen: droge voeten.
- Schoon en gezond oppervlaktewater: gezonde stad.

In het GRP heeft de gemeente dit nader gespecificeerd in een zestal doelstellingen:
1) Inzameling en transport van stedelijk afvalwater.
2) Doelmatige inzameling, transport en verwerking van hemelwater (voor zover niet door de particulier).
3) Het voorkomen van overlast en veiligheidsrisico's voor de gemeenschap.
4) Het minimaliseren van negatieve effecten op het milieu.
5) Een actieve wijze van communicatie naar burgers en bedrijven.
6) Zorgen dat (voor zover mogelijk en doelmatig) het grondwater de bestemming van een gebied niet structureel belemmert.

(Gemeente Rotterdam, 2011b)

Één van de wegen om deze doelstellingen, met name punt 2, 3 en 4, te bereiken is het onderzoeken van het theoretisch hydraulisch functioneren van het rioolstelsel. Op basis daarvan kunnen maatregelen worden benoemd en uitgevoerd. Periodiek (minimaal eens per 10 jaar) wordt door de gemeente het theoretisch functioneren van het rioolstelsel in de verschillende districten onderzocht. Zij maken daarbij gebruik van rekenmodellen in het computerprogramma SOBEK. Deze onderzoeken worden 'hydraulische herberekeningen' genoemd.

Echter, in de praktijk kan het functioneren afwijken. Een model is immers een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Het is een benadering. Als deze te veel van de werkelijkheid afwijkt, kan dat tot verkeerde conclusies leiden. Dat is natuurlijk niet de bedoeling en kan veel geld kosten. Om meer zicht op de praktijk te krijgen en de modellen op waarde te kunnen schatten zijn metingen nodig.

Een andere manier om een beeld te krijgen van het hydraulisch functioneren van het stelsel is het kijken naar zaken die er indirect iets over kunnen zeggen. Zo worden meldingen/klachten van water op straat bijgehouden en wordt gekeken of de knelpunten die daaruit opgemaakt kunnen worden dezelfde zijn als die afgeleid worden uit de modelberekening. En bijvoorbeeld worden gemaalbassinpeilen gebruikt als indicatie voor het plaatsvinden van overstort-gebeurtenissen. Toch hoeft dit niet altijd het juiste of totale beeld te geven. Zo bestaat er bij de gemeente het vermoeden dat er meer overstortgebeurtenissen plaatsvinden, dan er worden afgeleid uit de gemaalbassinpeilgegevens. Ook hier kunnen metingen meer duidelijkheid geven.

In een tweetal deelgebieden, district 10 en 12, in Rotterdam zijn op verschillende plekken in het rioolstelsel meters (druksensoren) opgehangen, zowel bij de overstorten als in enkele putten in het stelsel. De meters zijn binnen één bemalingsgebied geplaatst. Dit heeft inmiddels een grote dataset met peilgegevens opgeleverd.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit project is om meer zicht te krijgen op in hoeverre met behulp van metingen een beter beeld gevormd kan worden van het hydraulisch functioneren van het rioolstelsel in de praktijk in Rotterdam, en dan met name de situatie bij overstortgebeurtenissen.

1.3 Afbakening

De focus van dit onderzoek zal liggen op overstortgebeurtenissen. Voor de gemeente Rotterdam zijn deze namelijk een belangrijk aandachtspunt. Naast aantasting van de waterkwaliteit kunnen overstortgebeurtenissen overlast veroorzaken voor bewoners. Verontreiniging van oppervlaktewater door overstortingen wordt gezien als een belangrijk faalmechanisme[1] van de riolering. Met een beter beeld van overstortgebeurtenissen kan de gemeente bewoners en bestuur beter informeren over deze situaties. En ook kan ze bepaalde maatregelen/oplossingsrichtingen beter onderbouwen.

De gemeente streeft ernaar om overstortgebeurtenissen en –hoeveelheden zoveel mogelijk te beperken en zodoende een goede kwaliteit van het oppervlaktewater te behouden en bevorderen. In het verleden diende de gemeente te voldoen aan de basisinspanning[2] die met het waterschap was afgesproken. Op dit moment wordt er gewerkt aan een afvalwaterakkoord, waarin vergelijkbare afspraken zullen worden gemaakt. Daarnaast geldt voor Rotterdam dat een gedeelte van hun oppervlaktewater valt onder de Kader Richtlijn Water.

Heel specifiek gaat de interesse van de gemeente uit naar de waarde van het gemaalbassinpeil als indicatie voor overstortgebeurtenissen en het SOBEK-model als bron voor meer gedetailleerde informatie over deze gebeurtenissen.

De focus op overstortgebeurtenissen betekent dat er geen aandacht zal zijn voor ‘water op straat’ situaties of het functioneren van het stelsel bij droog weer. Bij de hydraulische herberekeningen worden de uitkomsten van het SOBEK-model gelegd naast meldingen/klachten over water op straat. De gemeente heeft hier dus al redelijk goed zicht op. Daarnaast is het rioolstelsel in Rotterdam een robuust systeem. De meeste buizen zijn relatief ruim gedimensioneerd en pompcapaciteit is over het algemeen ruim aanwezig. Ook zijn er geen aanwijzingen dat het stelsel bij droog weer niet goed functioneert.

Een tweede afbakening in dit onderzoek betreft het onderzoeksgebied. District 10 ‘Oosten’ zal centraal staan. Reden voor deze keuze is dat het gebied grenst aan de Kralingse Plas die valt onder de Kader Richtlijn Water. Er moet worden voldaan aan de strenge kwaliteitseisen die deze Richtlijn stelt aan (zwem)water. Omdat de singels in district 10 in verbinding staan met de Kralingse Plas kunnen overstortgebeurtenissen die daar plaatsvinden een negatieve invloed hebben op de waterkwaliteit van de Kralingse Plas.

Vanuit praktisch oogpunt weegt bij de keuze ook mee dat in de afgelopen maanden het theoretisch model van district 10 in SOBEK is geactualiseerd. Zij is in week 41 opgeleverd, waarna een extern bureau met de hydraulische herberekening aan de slag is gegaan. De vorige herberekening heeft plaatsgevonden in 2003.

[1] De opeenvolging van gebeurtenissen die leidt tot falen.
[2] Maatregelen om de vuiluitworp te beperken, zodat wordt voldaan aan de afgesproken maximaal toegestane vuiluitworp.

1.4 Probleemstelling & deelvragen

De centrale onderzoeksvraag van dit project luidt als volgt:

In welke mate kunnen de reeds gedane metingen in het rioolstelsel binnen district 10 bijdragen aan een beter inzicht in het daadwerkelijk (in de praktijk) hydraulisch functioneren van het stelsel?

Om de centrale onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, zal aan de volgende deelvragen aandacht worden besteed:

1) In welke mate zijn de gemeten gegevens bruikbaar?

2) In welke mate is het gemaalbassinpeil bruikbaar als indicatie voor overstortgebeurtenissen?

3) Hoe functioneert het stelsel in district 10 in de praktijk tijdens buien die overstortgebeurtenissen tot gevolg hebben?

4) Hoe functioneert het stelsel in district 10 in theorie, volgens het SOBEK model, tijdens deze buien die overstortgebeurtenissen tot gevolg hebben?

5) In hoeverre wijkt de praktijk (uit deelvraag 3) af van de theorie (uit deelvraag 4)?

6) Zijn er op basis van de praktijkdata en/of het theoretisch model verklaringen te vinden voor de verschillen tussen theorie en praktijk (deelvraag 5)?

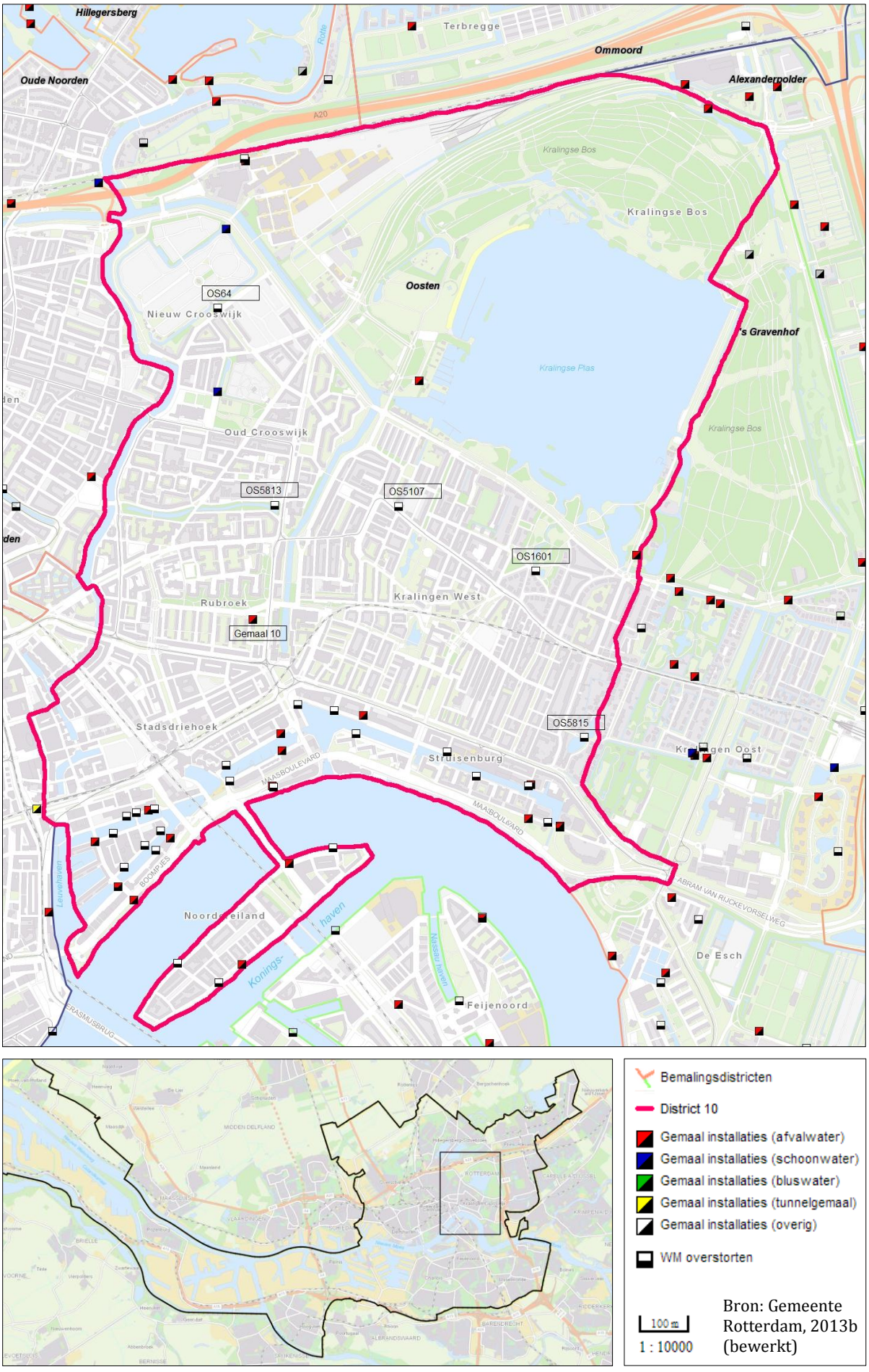
1.5 Gebiedsbeschrijving

1.5.1 Gebiedskenmerken

District 10 'Oosten' is een woongebied in het noordoosten van Rotterdam (figuur 1.1). Het grenst in het westen aan de rivier de Rotte, in het noorden aan de snelweg A20, in het oosten aan de straten Plaszoom (oostkant van de Kralingse Plas), Korte Kade en Essenlaan en tot slot in het zuiden aan de Maas. Qua grootte is het grofweg een rechthoek van 3,0km bij 2,5km. Er is één hoofdgemaal 'gemaal 10 Willem Schürmannstraat'. Het district kan worden onderverdeeld in een gebied dat direct afwatert op het hoofdgemaal en verder 16 onderbemalingen, die vooral aan de zuidkant zijn gelegen (Gemeente Rotterdam, 2003). Het gebied dat direct afwatert op het hoofdgemaal zal in het vervolg 'gebied 10' genoemd worden.

Het hoofdgemaal ontvangt naast rioolwater uit zijn eigen district ook rioolwater van de gemalen van districten 1 ('Hillegersberg'; via 13), 6 ('Noorden') en 13 ('Schiebroek'). Deze gemalen pompen het water direct in het bassin van gemaal 10. De gemalen van de onderbemalingen pompen het rioolwater op verschillende plekken in het collecteurriool binnen gebied 10. Het maximum debiet dat het gemaal naar de zuivering Kralingseveer kan verpompen is 7200 m^3/h. Hoofdgemaal 10 heeft extra afvoercapaciteit ten behoeve van overstortbemaling. Ook daarvan bedraagt het maximum debiet 7200 m^3/h. Als het peil in het stelsel erg hoog wordt, wordt de overstortbemaling in werking gesteld en wordt er rioolwater vanuit het gemaalbassin naar de Maas gepompt. Op die manier wordt de overstort op het binnenwater beperkt. Alle gemalen in district 10 kennen hun eigen inslag- en uitslagpeil, ook de overstortbemaling. Echter er kan op afstand via een besturingssysteem invloed worden uitgeoefend op het debiet dat de gemalen verpompen. Dit wordt 'dynamisch pompen' genoemd (Gemeente Rotterdam, 2009).

Figuur 1.1: Overzichtskaart district 10



Bron: Gemeente Rotterdam, 2013b (bewerkt)

1.5.2 Meetproject in gebied 10

In gebied 10 zijn op verschillende plekken in het stelsel peilmetingen gedaan. In bijlage I is een kaart opgenomen met de exacte locaties van de meetpunten. Er is onderscheid te maken tussen meetpunten binnen het stelsel en bij de overstort. Bij de overstort is verder een meter geplaatst net voor de overstortdrempel en één aan de buitenwaterkant. Naast peilmeters is er ook een regenmeter centraal in het gebied geplaatst. Verder maakte een luchtdrukmeter onderdeel uit van het meetproject[3]. Deze is bedoeld om de metingen van de druksensoren om te kunnen zetten naar een peilhoogte in m NAP.

Iedere meter heeft een eigen code gekregen (tabel 1.1), waarbij de letters staan voor het soort locatie: niveau overstort = OS, niveau buitenwater bij overstort = BU en niveau binnen het stelsel = SN. De regenmeter heeft de letters RAIN gekregen en de luchtdrukmeter PAIR. De cijfers in de code geven de locatie zelf aan. De codes corresponderen in de meeste gevallen met de codes die voor de putten in SOBEK worden gehanteerd. In dit rapport zullen de meetpunten steeds bij hun meetprojectcode genoemd worden.

Tabel 1.1: Locaties en codes van de meters

Code meetproject	Code in SOBEK-model	Locatie (straatnaam)
OS1601	1001601	Waldeck Pyrmontlaan
BU1601	N.v.t.	
OS5107	1005107	Oudedijk
BU5107	N.v.t.	
OS5813	1005813	Boezemsingel
BU5813	N.v.t.	
OS5815	1005815	Slotlaan
BU5815	N.v.t.	
OS64	1000065	Kerkhoflaan
BU64	N.v.t.	
SN108849	1008849	Goudse Rijweg
SN2174	1002174	Hoogstraat
SN243	1000243	Oostzeedijk
SN2577	1009224	St. Janstraat
SN2899	1002899	Lusthofstraat
SN5047	1005047	Waranda
SN5617	1005617	Lusthofstraat
PAIR229	N.v.t.	Groothandelsmarkt (district 12)
RAIN5107	N.v.t.	Oudedijk
AG010	1001483	Willem Schürmannstraat

Het totale district 10 kent 30 overstorten. Zes daarvan zijn gelegen in gebied 10. Bij vijf van deze zes overstorten zijn metingen gedaan. Uit onderzoek (met rekenprogramma InfoWorks) bleek namelijk dat informatie over de zesde overstort (Louise de Colignylaan) onderling uitwisselbaar is met OS1601 Waldeck Pyrmontlaan, oftewel dat deze overstorten vergelijkbaar gedrag vertonen en het dus voldoende was om maar bij één van de twee overstorten metingen te doen (Witteveen+Bos & Gemeentewerken Rotterdam, 2007).

[3] De luchtdrukmeter is geplaatst in district 12. Dit district maakte ook deel uit van het meetproject, maar zal in dit onderzoek buiten beschouwing blijven.

2 PRAKTISCHE AANPAK VAN HET ONDERZOEK

2.1 Inleiding

Dit onderzoek is onder te verdelen in een aantal fasen. Allereerst zijn de benodigde datasets verzameld: de 'ruwe' data (fase 1). Deze zijn bewerkt en gecontroleerd, zodat datasets beschikbaar kwamen waarop verder onderzoek gedaan kon worden (fase 2). Er is vervolgens gekeken naar de relatie met gemaalbassinpeilen (fase 3) en de relatie met het theoriemodel in SOBEK (fase 4). Hoe iedere fase is aangepakt wordt in dit hoofdstuk toegelicht.

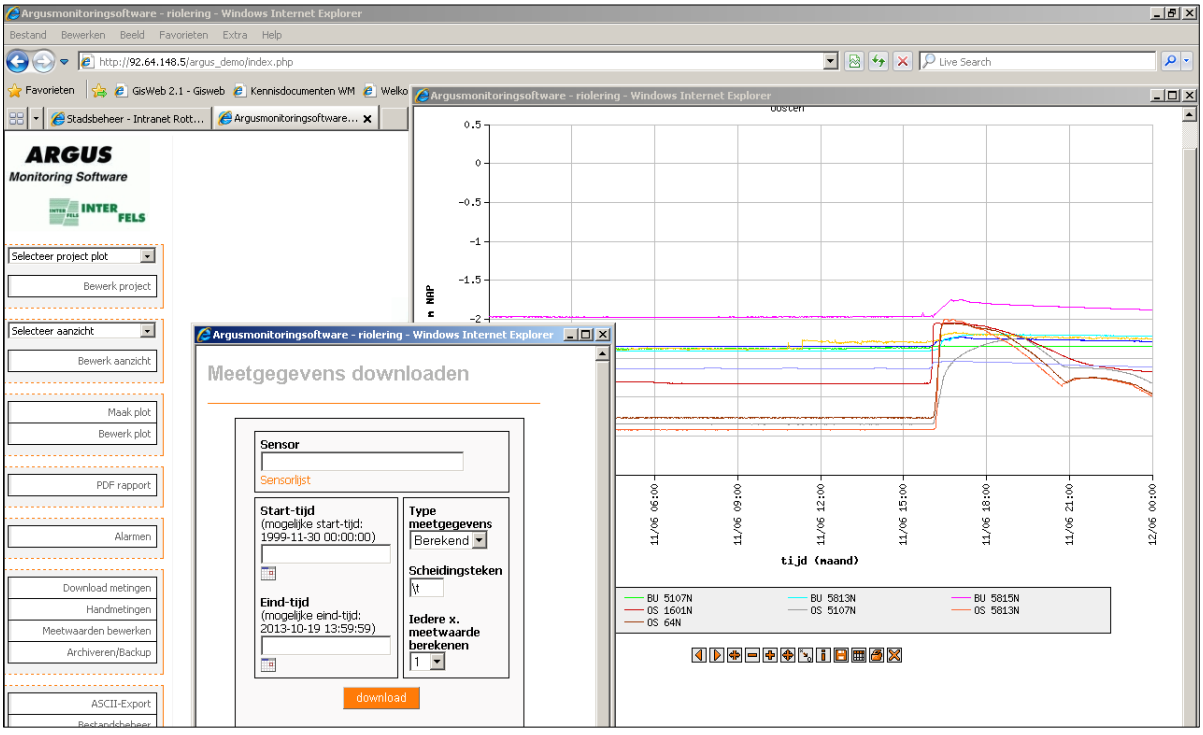
2.2 Fase 1: Voorbereiding

2.2.1 Beschikbare datasets

Meetgegevens uit het meetproject

Om de vragen die in dit onderzoek centraal staan te kunnen beantwoorden waren meerdere datasets nodig. In de eerste plaats een dataset met meetgegevens uit het meetproject. Deze waren beschikbaar binnen het softwaresysteem 'Argus Monitoring Software' (figuur 2.1). De data in dit systeem hadden reeds enige bewerking ondergaan. Zo waren ongeldige meetwaardes al verwijderd, de metingen al in chronologische volgorde gezet en het belangrijkste: de metingen waren al omgezet naar m NAP. Hoewel bij die bewerkingen al fouten kunnen zijn gemaakt, is daar binnen dit onderzoek geen controle op gedaan. De verwachting is dat, mochten er fouten in deze eerste bewerkingsslag zijn gemaakt, dit bij de datavalidatie in dit onderzoek (hoofdstuk 3.2) boven water zou komen en deze metingen zouden worden afgekeurd.

Figuur 2.1: Argus Monitoring Software



Bron: Gemeente Rotterdam, 2013a

Vanuit het Argussysteem zijn de meetgegevens gedownload en opgeslagen als Comma Separated Value bestanden (.csv). Het systeem is niet ingericht voor downloads van grote bestanden. Zo konden per keer slechts de metingen van 1 meetpunt voor een periode van 2 maanden (dat zijn ongeveer 100.000 records) tegelijk gedownload worden en duurde dit gemiddeld 7 minuten. De data is ingelezen in Microsoft Access en daar met behulp van query's samengevoegd. Uiteindelijk zijn de gecreëerde tabellen weer geëxporteerd naar tekstbestanden (.txt), zodat deze in de datavalidatiefase in SPSS ingelezen konden worden.

Luchtdrukmetingen

Voor één van de validatiestappen zijn luchtdrukmetingen nodig (hoofdstuk 3.2.8). Een luchtdrukmeter is onderdeel van het meetproject. Deze gegevens zijn op dezelfde wijze uit het Argussysteem gedownload als de meetgegevens. En ook hebben ze dezelfde bewerking ondergaan, namelijk dat ze zijn ingelezen in Microsoft Access, daar met behulp van query's samengevoegd en vervolgens geëxporteerd naar tekstbestanden (.txt), zodat ze in de datavalidatiefase in SPSS ingelezen konden worden.

Gemaalbassinpeil

In de derde plaats was een dataset met gemaalbassinpeilen van gemaal 10 nodig. Deze is gehaald uit overzichten van procesdata van de centrale meldkamer van de afdeling Watermanagement van de gemeente Rotterdam. Iedere minuut wordt er een meting van het peil in het gemaalbassin gedaan. Deze informatie is door een medewerker van de meldkamer aangeleverd in Microsoft Excel formaat (.xls). Het format van het veld met de datum/tijd waarop de meting is gedaan, is in overeenstemming gebracht met het format van hetzelfde veld in de dataset met meetgegevens. Het veld datum/tijd in de dataset met gemaalbassinpeilen betreft Midden-Europese tijd waarbij rekening wordt gehouden met zomertijd (MEZT). Om te kunnen koppelen zullen alle bestanden uitgaan van Midden-Europese tijd zonder zomertijd (MET). Daarom moet hiervoor worden gecorrigeerd. Bij de gegevens uit het meetproject was MET al het uitgangspunt. Na deze bewerkingen zijn de data geëxporteerd naar tekstbestanden (.txt), zodat ook deze in de datavalidatiefase in SPSS ingelezen konden worden.

Neerslaggegevens

Ten vierde vormden de neerslaggegevens een belangrijke bron van informatie in dit onderzoek. In het kader van het meetproject was een regenmeter binnen gebied 10 geplaatst. Daarnaast kon gebruik gemaakt worden van enkele al langer bestaande regenmetingen van de gemeente Rotterdam. De dichtstbijzijnde meters zijn gelegen in district 18 dat iets ten oosten van district 10 ligt en in district 12 dat enkele kilometers ten westen van district 10 ligt. De exacte locaties van deze twee regenmeters zijn de gemalen van het betreffende district. Verder was ook nog een KNMI-meting beschikbaar die als locatie Rotterdam – The Hague Airport heeft. De neerslaggegevens afkomstig van de eigen regenmeters betroffen minuutsommen. Van de KNMI-gegevens waren voor dit onderzoek enkel uursommen beschikbaar.
De metingen van de regenmeter in gebied 10 zijn gedownload uit het eerder al genoemde Argussysteem. Deze gegevens hebben vervolgens dezelfde bewerking ondergaan als beschreven bij de meetgegevens uit het meetproject en de luchtdrukmetingen. Het enige verschil is dat ze niet zijn geëxporteerd naar tekstbestanden, maar naar een bestand in Microsoft Excel (.xls). De metingen van de regenmeters in district 12 en 18 zijn verkregen via de centrale meldkamer van de afdeling Watermanagement van de gemeente Rotterdam. Ze zijn aangeleverd in Microsoft Excel formaat (.xls). De KNMI-gegevens, tot slot, zijn gedownload van de KNMI-website als tekstbestand (.txt), waarna binnen Microsoft Access de juiste peilperiode is geselecteerd en de gegevens ook zijn geëxporteerd naar Microsoft Excel (.xls). Omdat de KNMI-gegevens uitgaan van Wereldtijd (UT: 'Universal Time') zijn deze nog bewerkt naar MET.

Gemaaldebieten

Om goed te kunnen modelleren zijn tot slot gemaaldebieten nodig. Om een juiste waterbalans te verkrijgen, zijn niet alleen debieten van gemaal 10 verzameld. Maar ook de inkomende debieten vanuit district 1, 6 en 13 en daarnaast ook de debieten van de overstortbemaling van gebied 10. Gemaaldebieten worden in Rotterdam bepaald met 'echte' debietmeters (snelheidsmeting gecombineerd met doorstroomd oppervlak). Het debiet wordt dus niet afgeleid uit peilhoogtes. Deze metingen zijn zeer nauwkeurig. De data zijn ook weer aangeleverd door de centrale meldkamer van de afdeling Watermanagement van de gemeente Rotterdam in Microsoft Excel formaat (.xls). Het betreft minuutgegevens in m^3/h. Omdat deze gegevens in SOBEK zullen worden ingevoerd en daar uitgegaan wordt van m^3/s zijn de gegevens naar die eenheid omgerekend. Ook bij de datum/tijd van de debietmetingen werd rekening gehouden met zomertijd. Dit veld is dan ook bewerkt naar MET.

2.2.2 Gekozen peilperiode van de datasets

Meetgegevens (inclusief luchtdrukmeting)

Het meetproject is uitgevoerd door onderzoeksbureau Witteveen+Bos in samenwerking met de Veldmeetdienst en Laboratoriumgroep (VLG) van de gemeente Rotterdam. Door eerst-genoemde worden de metingen vanaf 7 oktober 2011 geschikt geacht voor analyse. Door Witteveen+Bos zijn voor de periode 7 oktober t/m 2 juli 2012 de gegevens al gevalideerd. In oktober 2012 is een eindrapport over het meetproject opgeleverd. Omdat geen verder vervolg aan het project werd gegevens is daarna ook geen onderhoud meer gepleegd aan de meters. De meters hangen in een 'agressieve' omgeving en kunnen daardoor snel problemen geven. De kwaliteit van de metingen neemt dan ook in de loop der tijd af (Witteveen+Bos & Gemeentewerken Rotterdam, 2012).

Om een aanvullend beeld te krijgen van de kwaliteit van de gegevens en geen dubbel werk te doen, is besloten om voor dit onderzoek te kijken naar het tweede halfjaar van 2012. Omdat er volgens de overstortregistratie van de gemeente alleen op 11 juni 2012 sprake was van een overstortsituatie is deze maand extra in de dataset meegenomen. De basisdataset met meetgegevens kende dus een peilperiode van 1 juni 2012 t/m 31 december 2012.

Omdat in dit onderzoek overstortgebeurtenissen centraal stonden en om een betere inschatting te kunnen maken van de algemeen geldendheid van de uitkomsten van dit onderzoek was het van belang om meerdere overstortgebeurtenissen te onderzoeken. Hoe de selectie van deze situaties is verlopen is beschreven in paragraaf 2.4.1. Omdat er uiteindelijk ook twee overstortgebeurtenissen buiten de basispeilperiode zijn meegenomen, is de dataset met meetgegevens in fase 3 uitgebreid met een week in januari 2012 en januari 2013. Deze zijn op vergelijkbare wijze gevalideerd als bepaald in hoofdstuk 3, maar niet daar ook nog beschreven.

Gemaalbassinpeil

Omdat het gemaalbassinpeil in dit onderzoek alleen nodig was voor situaties met overstortgebeurtenissen is de dataset daartoe beperkt. Om toch een goed beeld van de kwaliteit van de data te krijgen zijn maandbestanden opgevraagd: in eerste instantie van juni, augustus en december 2012, maar door toevoeging van de twee extra overstortsituaties ook van de maand januari 2012 en 10 dagen in januari/februari 2013.

Neerslaggegevens

Voor de neerslaggegevens geldt hetzelfde als voor het gemaalbassinpeil: deze was alleen nodig voor situaties met overstortgebeurtenissen. Omdat validatie van neerslaggegevens lastig is en om de hoeveelheid data te beperken, is deze data slechts voor een week rondom de overstortgebeurtenis opgevraagd.

Gemaaldebieten

De gemaaldebieten vormen input voor het model in SOBEK. Ze zijn dan ook enkel voor de overstortgebeurtenissen die zijn gemodelleerd opgevraagd, dus 3&4 januari, 11&12 juni en 5&6 augustus 2012. De keuze welke gebeurtenissen zijn gemodelleerd is toegelicht in paragraaf 2.5.2. De gemalen van district 1, 6, 10 en 13 zijn al deze dagen in werking geweest. De overstortbemaling echter alleen op 11 juni. Daarom was deze informatie voor de overige dagen niet nodig en is het dus ook niet opgevraagd.

Samengevat

Uiteindelijk zijn over de volgende perioden gegevens beschikbaar gesteld en gebruikt:

- Meetgegevens uit het meetproject:
  - Basis: 1 juni 2012 00:00:00 t/m 31 december 2012 23:59:59
  - Extra: 1 januari 2012 00:00:00 t/m 7 januari 2012 23:59:59
    28 januari 2013 00:00:00 t/m 3 februari 2013 23:59:59

- Gemaalbassinpeil:
  - Basis: 1 juni 2012 00:00:00 t/m 30 juni 2012 23:59:59
    1 augustus 2012 00:00:00 t/m 31 augustus 2012 23:59:59
    1 december 2012 00:00:00 t/m 31 december 2012 23:59:59
  - Extra: 1 januari 2012 00:00:00 t/m 31 januari 2012 23:59:59
    27 januari 2013 00:00:00 t/m 5 februari 2013 23:59:59

- Neerslaggegevens:
  - Basis: 9 juni 2012 00:00:00 t/m 15 juni 2012 23:59:59
    3 augustus 2012 00:00:00 t/m 9 augustus 2012 23:59:59
    21 december 2012 00:00:00 t/m 27 december 2012 23:59:59
  - Extra: 1 januari 2012 00:00:00 t/m 7 januari 2012 23:59:59
    28 januari 2013 00:00:00 t/m 3 februari 2013 23:59:59

- Debieten gemaal 1, 6, 10 en 13:
  - Basis: 3 januari 2012 00:00:00 t/m 4 januari 2012 23:59:59
    11 juni 2012 00:00:00 t/m 12 juni 2012 23:59:59
    5 augustus 2012 00:00:00 t/m 6 augustus 2012 23:59:59

- Debiet overstortbemaling gemaal 10:
  - Basis: 11 juni 2012 00:00:00 t/m 11 juni 2012 23:59:59

2.3 Fase 2: Datavalidatie

2.3.1 Aanpak validatie meetgegevens

Om te bepalen of de beschikbare datasets geschikt zijn voor analyse dient er datavalidatie plaats te vinden. Omdat de gemeente het meest geïnteresseerd is in een goed beeld van de kwaliteit van de peilgegevens uit het meetonderzoek, zijn deze het meest uitgebreid op bruikbaarheid beoordeeld.

Door onderzoeksbureau Witteveen+Bos zijn voor de periode 7 oktober 2011 t/m 2 juli 2012 reeds enkele kwaliteitschecks gedaan op de meetgegevens. Zij hebben naar een tiental verschillende aspecten gekeken:

- Volledigheid (iedere minuut een meting)
- Ongeldige meetwaardes
- Chronologie
- Tijdstempel (iedere meting op de hele minuut)
- Meetinterval (tijd tussen twee metingen)
- Buiten bereik (overschrijding boven- of ondergrens)
- Outliers en staptrends
- Lineaire trend (verloop van het nulpunt)
- Relatie met barometrische druk (invloed luchtdruk op metingen)
- Onderlinge relaties

Ook bij andere rapporten over validatie van meetgegevens worden deze aspecten behandeld (KRW, 2010; Stichting RIONED, 2009; Witteveen+Bos & Gemeentewerken Rotterdam, 2012).

Witteveen+Bos hanteerde vrij strenge regels voor goed- of afkeuring van metingen op basis van in het meetplan afgesproken uitgangspunten. Doel voor hen was om een dataset te verkrijgen die geschikt was voor nauwkeurige kalibratie van het rioleringsmodel. Omdat dit onderzoek een meer verkennend karakter heeft, zijn de regels voor goed-/afkeuring van metingen iets soepeler gehanteerd. Per onderdeel is in overleg met de opdrachtgever bepaald wanneer een meting op het betreffende onderdeel goed- of afgekeurd moet worden. Dit is verder uitgewerkt in hoofdstuk 3.2.

Omdat alle meetgegevens opgenomen zijn in de Argus database zijn controles op het gebied van 'ongeldige meetwaardes' en 'chronologie' niet nodig. Hier is bij invoer reeds op gecheckt.

2.3.2 Aanpak validatie gemaalgegevens

Als kwaliteitscheck van de gemaalgegevens zijn een tweetal controles uitgevoerd. In de eerste plaats is gekeken naar de volledigheid van de gegevens, oftewel of er van iedere minuut in de peilperiode gegevens beschikbaar waren. Indien dat niet het geval was, is gekeken hoe groot het interval tussen twee metingen was.

Daarnaast is het bereik van de metingen gecontroleerd. Voor de ondergrens is uitgegaan van de NAP-hoogte van de bodem van het gemaalbassin (-5,75m NAP) en voor de bovengrens van de NAP-hoogte van de bovenkant van het gemaalbassin (-0,84m NAP).

Op basis van deze informatie is in overleg met de opdrachtgever bepaald welke metingen goed- of afgekeurd worden. Hierover meer in hoofdstuk 3.3.

De gemaaldebieten (incl. de overstortbemaling) die de input vormen voor het model in SOBEK zijn niet nader gevalideerd. Deze gegevens worden al lange tijd gemeten en uit ervaringskennis is bekend dat deze gegevens nauwkeurig zijn en een goede kwaliteit hebben.

2.3.3 Aanpak validatie neerslaggegevens

Net als bij de gemaalgegevens is ook bij de neerslaggegevens als eerste controle gekeken naar volledigheid en het meetinterval. Ter controle van het bereik is als ondergrens gehanteerd dat metingen niet kleiner dan nul kunnen zijn. Er is geen bovengrens bepaald, maar er is gekeken of de maximum-waarden plausibel zijn. Tot slot zijn de metingen van de verschillende

regenmeters naast elkaar gezet en is gekeken of deze veel van elkaar afwijken en of dat verklaarbaar is.

2.4 Fase 3: Vergelijking peil bij overstort met gemaalbassinpeil

2.4.1 Selectie overstortgebeurtenissen

Binnen het meetproject zijn bij een vijftal overstorten metingen gedaan. Vooraf is voor iedere overstort de hoogte van de overstortdrempel opgemeten (tabel 2.1). Door deze hoogte te vergelijken met de gemeten peilen kan uit de dataset van het meetproject afgeleid worden of er bij de overstort een overstortgebeurtenis heeft plaatsgevonden. Als op een bepaald moment een gemeten peil boven de drempelhoogte uitkomt wordt er vanuit gegaan dat er een overstortgebeurtenis heeft plaatsgevonden. In het softwaresysteem Argus kan eenvoudig het verloop van de peilen in grafieken weergegeven worden. Door met dit systeem te kijken of ook het buitenwater een stijging laat zien en de peilmeting niet een enkele uitschieter betreft, is gecontroleerd of het daadwerkelijk om een overstortgebeurtenis ging.

Tabel 2.1 Kenmerken van de overstorten

Sensor	Drempelhoogte *m NAP*	Drempelbreedte *m*
OS1601	-2,125	3,0
OS5107	-1,925	5,4
OS5813	-2,127	6,0
OS5815	-2,128	4,6
OS64	-2,15	5,4

Bron: Gemeente Rotterdam, 2003; Witteveen+Bos & Gemeentewerken Rotterdam, 2012

In de periode juni tot en met december 2012 (de peilperiode van de basisdataset) is drie keer sprake geweest van overstortingen: op 11 juni, 5 augustus en 23 december. Voor de overstort met de laagst liggende drempel (OS64) is onderzocht of er buiten deze periode nog meer overstortgebeurtenissen zijn geweest. Hiervoor is ruwe, niet gevalideerde, meetdata gebruikt. In het jaar 2011 heeft bij deze overstort slechts één keer een overstortgebeurtenis plaatsgevonden: op 14 juli. In het eerste halfjaar van 2012 (naast 11 juni) één overstortgebeurtenis: op 3 januari. En in het eerste halfjaar van 2013 hebben er nog twee overstortgebeurtenissen plaatsgehad: op 30 januari en 21 mei. In tabel 2.2 staan deze uitkomsten nog eens samengevat.

Tabel 2.2: Overstortgebeurtenissen tussen 1 januari 2012 en 31 juli 2013

Jaar	Dag
2011	14 juli
2012	3 januari
	11 juni
	5 augustus
	23 december
2013	30 januari
	21 mei

Een andere werkwijze om overstortgebeurtenissen op te sporen is door te kijken naar de hoeveelheid neerslag die is gevallen en deze af te zetten tegen een combinatie van de berging in het stelsel en de pompcapaciteit. Volgens de systeemkenmerken kent district 10 een berging van ongeveer 9,8mm en een pompovercapaciteit van 0,5mm/h (Gemeente Rotterdam, 2010). Buien met een uursom van meer dan 10,3mm/h zouden dus mogelijk tot een overstortgebeurtenis kunnen leiden. Alle buien die volgens de KNMI-regenmeter op Rotterdam – The Hague Airport in de periode januari 2011 t/m september 2013 een uursom van meer dan 8,0mm hadden zijn in Argus visueel bekeken. Er zijn geen overstort (of bijna overstort) situaties gevonden dan degene die uit het eerdere onderzoek al naar voren kwamen.

Bij de visuele controle van de (mogelijke) overstortgebeurtenissen in Argus viel op dat de meetgegevens in de loop van 2013 slechter worden. Er zijn steeds vaker staptrends, uitschieters en ruis te zien.

Uiteindelijk is ervoor gekozen om voor het onderzoek naar de relatie tussen het gemaalbassinpeil en de peilmetingen bij de overstort te kijken naar de gebeurtenissen op 11 juni, 5 augustus en 23 december. Deze meetgegevens zijn uitgebreid gevalideerd (hoofdstuk 3.2) en dus geschikt voor verder onderzoek. Om meer betrouwbare uitspraken te kunnen doen zijn nog twee gebeurtenissen toegevoegd: degene op 3 januari 2012 en 30 januari 2013. De reden dat voor deze gebeurtenissen gekozen is, is dat ze qua datum het meest dicht in de buurt liggen van de andere drie gebeurtenissen en ze dus qua kwaliteit van de meetgegevens zeer waarschijnlijk het beste met de andere gebeurtenissen overeenkomen. De metingen van een week rondom deze data zijn op dezelfde wijze gevalideerd als beschreven in hoofdstuk 3.2.

2.4.2 Aanpak vergelijking gemaalbassinpeil met peilmetingen

Om het gemaalbassinpeil te kunnen vergelijken met de peilmetingen uit het meetproject zijn deze samengevoegd in één bestand. Om te beginnen zijn in SPSS selecties gemaakt rondom de datum van de overstortgebeurtenis en vervolgens zijn de gegevens op peilmoment (tijdstempel) gekoppeld. Hierdoor zijn een vijftal bestanden gecreëerd met gemaalbassinpeil én peilmetingen over:

- 3 t/m 5 januari 2012
- 10 t/m 12 juni 2012
- 4 t/m 6 augustus 2012
- 22 t/m 25 december 2012
- 29 t/m 31 januari 2013

Om een eerste beeld te krijgen van het verloop van de peilen bij de overstort en in het gemaalbassin zijn deze in grafieken uitgezet. Uit de bestanden zijn daarna kenmerken van de overstortgebeurtenissen afgeleid, zoals overstorttijdstippen en duur van de overstort. Maar ook konden er complexere analyses worden gedaan. Het verschil op peilmoment tussen het peil bij de overstort en in het gemaalbassin is bepaald en er zijn gemiddelden van deze verschillen berekend. Verder is gekeken naar correlaties tussen de metingen.

2.5 Fase 4: Modelleren & kalibreren

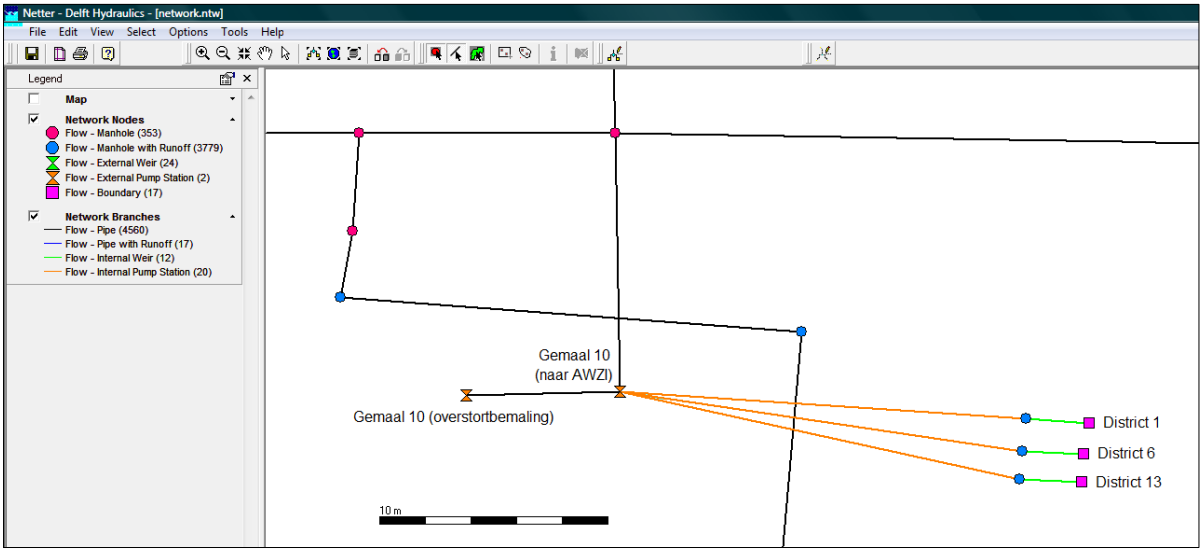
2.5.1 Aanpassen van het SOBEK-model

In week 41 van 2013 is een vernieuwde versie van het SOBEK-model van district 10 beschikbaar gekomen. Een onderzoeksbureau gaat daarmee de hydraulische herberekening uitvoeren die tienjaarlijks gedaan wordt. De vorige herberekening dateert uit 2003. Hoewel het model dus een actuele (ontwerp)versie betreft, waren toch nog enkele aanpassingen nodig om het model goed aan te laten sluiten bij dit onderzoek.

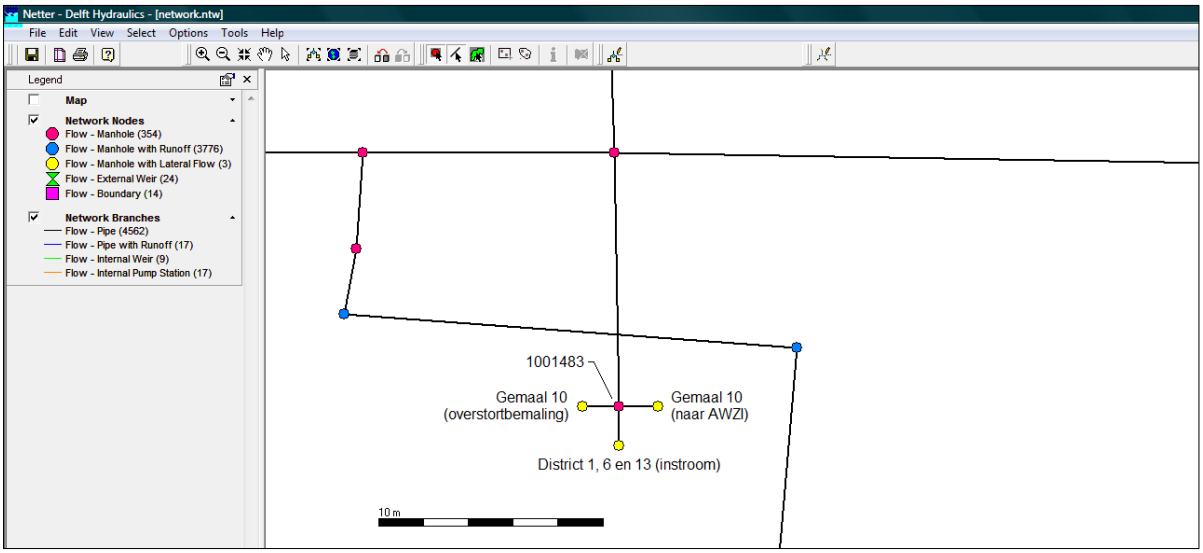
In het aangeleverde model is al vooruitgelopen op de praktijk. Het voornemen is namelijk om overstort OS5107 en OS1601 op te hogen naar -1,8m NAP. In het model stonden deze waarden al vermeld. Voor het meetproject zijn de drempelhoogtes van de overstorten ingemeten. Daarom is het model aangepast en is voor dit onderzoek uitgegaan van die ingemeten waarden (tabel 2.1, p. 16).

Omdat op afstand via een besturingssysteem invloed kan worden uitgeoefend op het debiet dat de gemalen verpompen kan in het model niet overal met een gemaal met in- en uitslagpeil worden gewerkt, maar zijn gemeten gemaaldebieten nodig. De gemalen in de onderbemalingsgebieden betreffen kleine gemalen die niet geregeld worden, maar volgens het inslag- en uitslagpeil werken. In SOBEK zijn de twee gemalen die gemodelleerd waren (hoofdgemaal en overstortbemaling) vervangen door een put (1001483) waarop drie 'nodes with lateral flow' zijn aangesloten. Figuren 2.2 en 2.3 geven een overzicht van respectievelijk de oorspronkelijke en aangepaste situatie.

Figuur 2.2: Oorspronkelijke situatie rond gemaal 10



Figuur 2.3: Aangepaste situatie rond gemaal 10



In de aangepaste situatie representeren de drie 'nodes with lateral flow':
- de uitstroom richting de zuivering;
- de uitstroom van de overstortbemaling;
- de instroom vanuit de districten 1, 6 en 13 (optelling).

De debieten zijn ingevoerd door de 'discharge' van de 'lateral flows' als functie van tijd te definiëren en een tabel met debieten te importeren. Bij de instroom zijn de debieten als positieve waarden opgenomen en bij de uitstroom als negatieve waarden.

Bij een eerste testmodellering bleek een grote instroom van buitenaf plaats te vinden. Dit bleek het gevolg te zijn van in het model ingevoerde peilhoogtes van het oppervlaktewater. Omdat voor de dagen die gemodelleerd worden op basis van de praktijkmetingen geen vermoedens zijn dat er deze dagen instroom van oppervlaktewater in het systeem heeft plaatsgevonden, zijn de peilhoogtes van het oppervlaktewater ('boundary condition') overal op -999 gezet.

Tot slot was in het model nog geen droogweerafvoer (DWA) ingevoerd. Van district 10 is bekend dat er gemiddeld 11906 m^3 per dag aan DWA wordt afgevoerd (Gemeente Rotterdam, 2010). Deze hoeveelheid is in het verleden door de gemeente bepaald door de gemiddelde afvoer te berekenen op een droge dag. Het betreft dus de afvoer van rioolwater afkomstig van bewoners en bedrijven en ook rioolvreemd water. Om dit in SOBEK in te voeren, moet er een omrekening gemaakt worden naar inwonerequivalenten. Uitgaande van een afvoer van 120L/persoon/dag betekent dit, dat er gerekend moet worden met een inwonertal van (11906/0,120≈) 99217. In het model is dit fictieve inwonertal gelijkmatig verdeeld over de 3776 putten ('manholes with runoff'), oftewel er is gerekend met (99217/3776≈) 26 personen per put. Het waterverbruik van iedere inwoner is gesteld op 120L/dag met de default in SOBEK opgenomen verdeling over de dag zoals aangegeven in tabel 2.3.

Tabel 2.3: Waterverbruik verdeeld over de dag

Uur	Verdeling %	Uur	(vervolg) Verdeling %
0	1,5	12	7,5
1	1,5	13	6,5
2	1,5	14	6
3	1,5	15	5
4	1,5	16	5
5	3	17	5
6	4	18	4
7	5	19	3,5
8	6	20	3
9	6,5	21	2,5
10	7,5	22	2
11	8,5	23	2
		Totaal	100

2.5.2 Keuze situaties voor modelleren & kalibreren

Omdat binnen dit onderzoeksproject beperkt tijd beschikbaar is voor het modelleren en kalibreren is gekozen niet te kijken naar alle situaties die bij de vergelijking met het gemaalbassinpeil zijn gebruikt. Er is gekozen om in deze fase stil te staan bij de gebeurtenissen op 3 januari, 11 juni en 5 augustus.

Voor januari en juni is gekozen omdat van deze situaties neerslaggegevens van de regenmeter binnen het gebied zelf beschikbaar zijn. Door lokale verschillen in neerslag is het vaak lastig om op basis van metingen in omliggende gebieden de juiste neerslaghoeveelheid in het gebied zelf in te schatten.

De buien in januari en juni duren beide ongeveer 3,5 uur, maar in januari ligt de piek (5,2mm) achteraan (een uur voor het eind) en in juni ligt de piek (6,8mm) juist vooraan (een uur na het begin) (bijlage II). Om ook een bui met een extreme piek te modelleren is ervoor gekozen toch ook naar de bui in augustus te kijken. Hiervoor is een gewogen neerslaghoeveelheid bepaald, waarbij de piek uitkomt op 13,32mm. Daarover meer in de volgende paragraaf.

Naar de gebeurtenissen in december 2012 en januari 2013 zal niet worden gekeken. Hiervan is te beperkt neerslaginformatie beschikbaar. Naast de meter in district 10 zijn er voor deze dagen ook geen metingen beschikbaar van de meter in het meest dichtbij gelegen district 18.

2.5.3 Bepaling neerslaginput voor SOBEK-model

Er zal als neerslaginput voor het model uitgegaan worden van vijf-minuutsommen. Er had in principe ook met minuutsommen kunnen worden gewerkt, dan waren de uitkomsten nog iets nauwkeuriger geweest. Maar met het oog op overzichtelijkheid en hanteerbaarheid van de data is voor vijf-minuutsommen gekozen. In bijlage II is een overzicht gegeven van de neerslaggegevens die als input voor het model zijn gebruikt.

Voor januari en juni is, zoals in de vorige paragraaf al naar voren kwam, gebruik gemaakt van de neerslaghoeveelheden volgens de regenmeter in district 10 zelf. De verwachting is dat deze regenmeter het beste de lokale neerslagsituatie weergeeft. Voor de situatie in augustus is een op basis van afstand gewogen gemiddelde neerslaghoeveelheid bepaald. De berekening hiervan is opgenomen in bijlage III.

Uit ervaringskennis met de eigen regenmeters in de gemeente Rotterdam is gebleken dat bij onverwachte pieken de metingen soms hoger dan de werkelijkheid kunnen uitvallen. Op 5 augustus laat de meter in gebied 18 een piek zien van ruim 22mm in vijf minuten. Om de piekmetingen van de eigen regenmeters wat af te vlakken is de keus gemaakt ook de KNMI-meting mee te nemen in de weging en wel door de uursommen te verdelen in gelijke vijfminuutsommen voor zo lang als er binnen het uur regen is gevallen. Over deze aanpak is discussie mogelijk. Het is dus zaak de uitkomsten van de situatie in augustus voorzichtig te interpreteren.

2.5.4 Kalibratieparameters

De belangrijkste parameters waar bij kalibratie van het SOBEK-model aan ‘gedraaid’ kan worden zijn:

- Afvoerend oppervlak
- Droogweerafvoer (DWA)
- Inloopverlies:
  - verdamping
  - berging op straat
  - infiltratiecapaciteit
  - vertraagde instroom
- Slib / verloren berging

Het afvoerend oppervlak zit al vrij nauwkeurig in het model. Dit is bepaald met behulp van een Geografisch Informatie Systeem (GIS). De gemeente beschikt over kaarten met de verschillende kenmerken van het oppervlak (verhard/onverhard, vlak/hellend etc.). Met nabijheid als criterium wordt per streng het gebied bepaald wat op de streng is aangesloten en door daarna intellingen te maken van de verschillende typen kan zeer gedetailleerd het afvoerend oppervlak naar type worden bepaald.

Verder kent het district een redelijk gelijkmatige verdeling van de inwoners over het gebied en is de DWA maar een kleine post in de waterbalans in vergelijking met de neerslag en de instroom vanuit andere gebieden, dus de invloed daarvan is beperkt.

De verwachting is dat het inloopverlies en dan met name de infiltratiecapaciteit en de berging op straat de meeste impact op de uitkomsten hebben. De invloed van verdamping is zeer beperkt en de invloed van vertraagde instroom is met name van invloed op de tijd.

Het belangrijkste verschil tussen berging op straat en de infiltratiecapaciteit is dat de eerste statisch is en de tweede afhankelijk van de tijd. Bij beide komt een deel van de neerslag niet in het riool. Dus het is lastig deze twee van elkaar te onderscheiden. In dit onderzoek is ervoor gekozen alleen naar infiltratiecapaciteit te kijken.

Bij de hydraulische herberekeningen wordt als 'default' uitgegaan van het inloopmodel dat wel 'NWRW 3.4' wordt genoemd, omdat het gebaseerd is op de NWRW publicatie 4.3 (NWRW, 1989). Tabel 2.4 geeft een overzicht van de gehanteerde parameters.

Tabel 2.4: Default inloopparameters

Type oppervlak	Type afstroming	Afstromings-vertraging (min^{-1})	Oppervlakte berging (mm)	Infiltratie capaciteit ($mm.h^{-1}$)		Tijdfactoren (h^{-1})	
				max.	min.	afname	herstel
gesloten verhard	hellend	0.5	0.0				
	vlak	0.2	0.5				
	vlak uitgestrekt	0.1	1.0				
open verhard	hellend	0.5	0.0	2.0	0.5	3.0	0.1
	vlak	0.2	0.5	2.0	0.5	3.0	0.1
	vlak uitgestrekt	0.1	1.0	2.0	0.5	3.0	0.1
dak	hellend	0.5	0.0				
	vlak	0.2	2.0				
	vlak uitgestrekt	0.1	4.0				
onverhard	hellend	0.5	2.0	5.0	1.0	3.0	0.1
	vlak	0.2	4.0	5.0	1.0	3.0	0.1
	vlak uitgestrekt	0.1	6.0	5.0	1.0	3.0	0.1

Bron: Stichting RIONED, 2004

De infiltratiecapaciteit waarmee in het SOBEK-model gerekend wordt, is gebaseerd op de formule van Horton. Deze formule kent drie variabelen: de minimum infiltratiecapaciteit, de maximum infiltratiecapaciteit en een constante 'k' (figuur 2.4).

Figuur 2.4: Formule van Horton zoals toegepast in SOBEK

afname infiltratiecapaciteit: $f(t) = f_e + (f_b - f_e)\, e^{-k_a t}$

herstel infiltratiecapaciteit: $f(t) = f_e + (f_b - f_e)\, e^{-k_h t}$

waarin:

$f(t)$ infiltratiecapaciteit op tijdstip t ($mm.h^{-1}$)

f_b maximale infiltratiecapaciteit (t=0) ($mm.h^{-1}$)

f_e minimale infiltratiecapaciteit ($mm.h^{-1}$)

k_a tijdsfactor afname infiltratiecapaciteit (h^{-1})

k_h tijdsfactor herstel infiltratiecapaciteit (h^{-1})

t tijd (h)

Bron: Stichting RIONED, 2004

In SOBEK wordt de constante 'k' onderverdeeld in een waarde voor de afname ('decrease') en voor het herstel ('recovery') wanneer de bui over is (om precies te zijn wanneer het oppervlak droog is en er geen water meer op geborgen wordt) (Deltares, 2013). Omdat voor dit onderzoek naar een enkele, relatief kortdurende bui wordt gekeken en wordt toegespitst op de overstort, zal de invloed hiervan beperkt zijn en zal dit niet als kalibratieparameter worden meegenomen.

In principe kan de neerslag ook worden gezien als kalibratieparameter. Voor dit onderzoek wordt de neerslag als een vast gegeven beschouwd en niet als kalibratieparameter.

3 DATAVALIDATIE

3.1 Inleiding

De verzamelde gegevens zijn onderzocht op bruikbaarheid. De meetgegevens zijn beoordeeld op basis van een achttal aspecten. Deze zullen achtereenvolgens worden besproken. Er is voor deze validatie alleen gekeken naar de basispeilperiode 1 juni 2012 t/m 31 december 2012. In een latere fase van het onderzoek is de dataset met meetgegevens uitgebreid met een week in januari 2012 en januari 2013. Deze zijn op vergelijkbare wijze gevalideerd, maar hier niet nader beschreven.

De gemaalgegevens en neerslaggegevens zijn wel voor de volledige peilperiode bekeken, maar hebben een beperktere kwaliteitscheck ondergaan. Er is vooral aandacht besteed aan volledigheid & meetinterval en of meetwaarden binnen, dan wel buiten bereik van de meter liggen.

3.2 Validatie meetgegevens

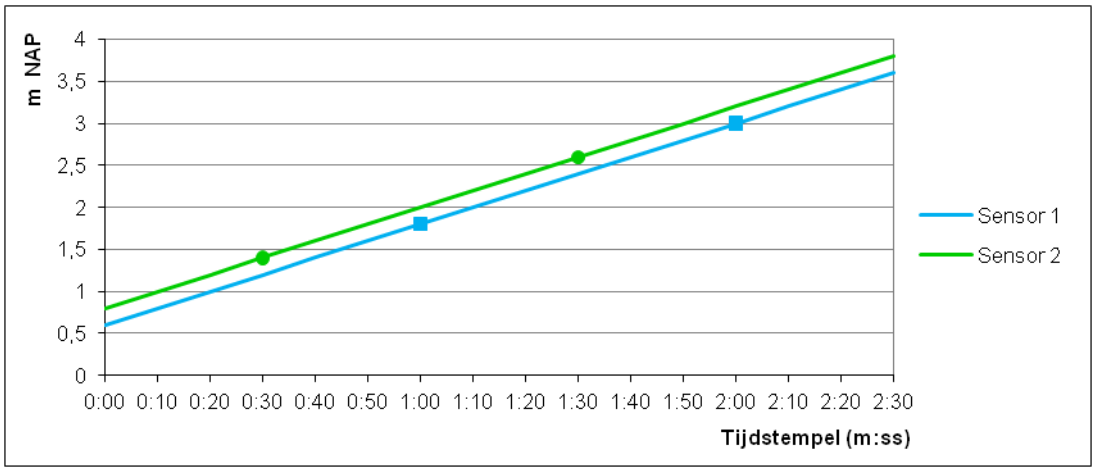
3.2.1 Volledigheid

Van alle sensoren zijn meetreeksen beschikbaar. Deze zijn niet allemaal volledig. De metingen van BU&OS5107 stoppen op 5 juli. De metingen van de sensoren BU&OS5815 stoppen op 16 oktober na een periode met regelmatig onderbrekingen in de reeks. Hoewel de overige sensoren wel over de gehele periode metingen hebben geleverd, hebben deze niet altijd iedere minuut plaatsgevonden. Hierop wordt in volgende paragrafen nog nader ingezoomd.

3.2.2 Tijdstempel

Er is nagegaan of de metingen steeds op of nabij de hele minuut zijn gedaan. Dit is nodig om de metingen goed onderling en met uitkomsten van het rioleringsmodel te kunnen vergelijken. Stel dat twee sensoren vrijwel hetzelfde peil meten, dan kunnen de uitkomsten toch nog verschillen als de één op de hele minuut (1:00) en de ander op een halve minuut later (1:30) het peil weergeeft (figuur 3.1).

Figuur 3.1: Invloed verschillende tijdstempel



Bij zes sensoren worden de metingen steeds op .58 t/m .02 gedaan (tabel 3.1). Bij vergelijking van sensormetingen onderling ligt het meetmoment dus hooguit 4 seconden uit elkaar. Van nog

eens vijf sensoren blijven de metingen binnen de marge van 5 seconden voor en 5 seconden na de hele minuut. Sensoren BU&OS5815 laten een zeer divers beeld zien qua tijdstempels.

Op basis van deze uitkomsten is ervoor gekozen om alle metingen die binnen de .55 en .05 rondom de hele minuut zijn gemeten goed te keuren. Dit betekent wel dat respectievelijk bijna 83% en ruim 86% van alle metingen van sensoren BU&OS5815 worden afgekeurd. Voor het vervolg van het onderzoek moet in het achterhoofd worden gehouden dat bij een extreme situatie met een peiltoename van 50cm per minuut een maximum verschil van 10 seconden tussen een meting een verschil van 8cm in peilniveau kan veroorzaken. Echter deze situatie komt weinig voor en een zeer beperkt aantal metingen kent een tijdverschil van meer dan 4 seconden.

Tabel 3.1: Overzicht metingen per sensor, naar tijdstempel

	Tijdstempel tussen .58 en .02	Tijdstempel tussen .55 en .57 & .03 en .05	Tijdstempel tussen .50 en .54 & .06 en .10	Overig	Totaal
Sensor	*% van totaal aantal metingen*				*aantal*
BU1601	98,4	0,6	0,9	0,1	296.112
OS1601	98,4	0,6	0,9	0,1	296.112
BU5107	99,6	0,4	0,0	0,0	47.365
OS5107	99,6	0,4	0,0	0,0	47.365
BU5813	100,0	0,0	0,0	0,0	296.120
OS5813	100,0	0,0	0,0	0,0	296.120
BU5815	8,8	8,4	16,5	66,4	184.075
OS5815	7,9	5,9	15,9	70,3	76.967
BU64	99,5	0,5	0,0	0,0	303.344
OS64	99,5	0,5	0,0	0,0	303.344
SN108849	100,0	0,0	0,0	0,0	303.046
SN2174	100,0	0,0	0,0	0,0	302.487
SN243	100,0	0,0	0,0	0,0	301.774
SN2577	100,0	0,0	0,0	0,0	302.699
SN2899	99,9	0,1	0,0	0,0	291.800
SN5047	97,0	0,0	0,1	2,9	299.262
SN5617	99,8	0,1	0,0	0,1	229.260

3.2.3 Meetinterval

In de meetreeksen komen regelmatig ‘gaten’ voor. Dat wil zeggen dat er metingen ontbreken. Soms gaat het om een hapering van de sensor, maar het komt ook voor dat metingen langduriger niet beschikbaar zijn. Dit kan verschillende oorzaken hebben; het kan zijn dat de accu niet werkt of dat het netwerk via welke de metingen naar de centrale computer worden verzonden een storing kent.

Percentueel zijn er weinig grote intervallen tussen twee metingen in de meetreeks aanwezig (tabel 3.2). Toch zijn er wel enkele opvallende zaken te noemen. De metingen van BU&OS5107 stoppen op 5 juli. OS5815 kent het grootste aantal ‘grote gaten’. Zo ontbreken metingen tussen 21 juli en 20 augustus, 4 en 8 oktober, 12 en 16 oktober en nog veel meer. Vanaf 16 oktober ’s middags stoppen de metingen volledig, vrijwel gelijk met BU5815 die in oktober ook al veel gaten kende. Één keer in de periode geven alle sensoren zo’n 40uur lang geen meting. Dat is tussen 3 juni 14uur en 5 juni 6uur.

Opvallend is dat het ook voorkomt dat een interval tussen twee metingen kleiner is dan 55 seconden. Het gaat regelmatig om metingen met slechts 1 of 2 seconden verschil. Navraag bij de uitvoerder van het meetproject wees uit dat dit zeer waarschijnlijk te maken heeft met synchronisatie van de klok van de sensor. Het enkele seconden terug zetten van de klok kan de start van een nieuwe meting veroorzaken. Dat verklaart ook waarom deze metingen nagenoeg dezelfde peilen geven.

Voor dit onderzoek is ervoor gekozen metingen met een interval kleiner dan 55 seconden af te keuren. In een later stadium zullen ten behoeve van koppelen de tijden afgerond worden op hele minuten. Met deze stap wordt voorkomen dat er dan dubbele metingen voorkomen.

Daarnaast worden metingen die meer dan 65 seconden na de vorige meting plaatsvinden afgekeurd. Deze metingen hoeven niet fout te zijn, maar omdat er blijkbaar een verstoring is geweest is het discutabel of de eerste meting die wel weer plaatsvindt wel betrouwbaar is.

Tabel 3.2: Overzicht interval tussen twee metingen, naar grootte

	< 55sec.	>= 55 en <= 65sec.	> 65sec. en <1uur	>= 1uur	Totaal
Sensor	*% van totaal aantal metingen*				*aantal*
BU1601	0,9	98,3	0,8	0,0	296.112
OS1601	0,9	98,3	0,8	0,0	296.112
BU5107	1,1	97,4	1,5	0,0	47.365
OS5107	1,1	97,4	1,5	0,0	47.365
BU5813	0,1	99,6	0,3	0,0	296.120
OS5813	0,1	99,6	0,3	0,0	296.120
BU5815	0,2	96,5	3,3	0,0	184.075
OS5815	0,3	96,6	2,9	0,3	76.967
BU64	0,0	99,9	0,1	0,0	303.344
OS64	0,0	99,9	0,1	0,0	303.344
SN108849	0,0	100,0	0,0	0,0	303.046
SN2174	0,0	100,0	0,0	0,0	302.487
SN243	0,0	100,0	0,0	0,0	301.774
SN2577	0,0	100,0	0,0	0,0	302.699
SN2899	0,4	95,9	3,7	0,0	291.800
SN5047	4,4	94,1	1,5	0,0	299.262
SN5617	0,4	99,0	0,6	0,0	229.260

3.2.4 Buiten bereik

De sensoren kennen een bereik waarbinnen zij metingen kunnen registreren (tabel 3.3). Metingen die daarbuiten vallen worden niet plausibel geacht en dus afgekeurd. Deze situatie komt zeer beperkt voor in de dataset. Tabel 3.4 geeft een overzicht (omdat het om een zeer klein aantal gaat, is hier geen percentage maar het aantal vermeld). De enige sensor die opvalt, is SN5617. Vrijwel alle metingen (90,9%) van deze sensor liggen onder de ondergrens. De vraag is of de ondergrens in dit geval wel juist is of mogelijk werkt de sensor niet goed. Binnen het kader van dit onderzoek kon dit niet nader onderzocht worden.

Tabel 3.3: Bereik van de sensoren

Sensor	Ondergrens *m NAP*	Bovengrens
BU1601	-3,646	-1,321
OS1601	-3,305	-1,678
BU5107	-3,789	-1,113
OS5107	-3,695	-1,113
BU5813	-3,598	-1,424
OS5813	-3,522	-1,424
BU5815	-3,382	-1,006
OS5815	-3,154	-1,006
BU64	-3,411	-0,059
OS64	-3,423	-0,070
SN108849	-2,974	-0,68
SN2174	-0,099	2,102
SN243	-2,633	-0,714
SN2577	1,763	3,942
SN2899	-3,083	-0,959
SN5047	-4,056	-1,08
SN5617	-3,316	-0,959

Tabel 3.4: Aantal metingen dat buiten het bereik van de sensor valt*

	Onder ondergrens *Aantal*	Boven bovengrens
BU1601	0	12
OS1601	8	9
BU5813	3	6
OS5813	0	5
BU64	13	0
OS64	0	0
SN2174	0	6
SN2899	11	0
SN5047	0	1
SN5617	208446	4

*) BU&OS5107, BU&OS5815, OS64, SN108849, SN243, SN2577 kennen geen metingen die buiten het bereik van de sensor vallen.

3.2.5 Outliers en staptrends

Het opsporen van outliers en staptrends[4] is lastig binnen deze dataset. Plotselinge peilwisselingen kunnen een foute meting betreffen, maar ook het gevolg zijn van neerslaggebeurtenissen en dus plausibel. Het beste zijn de fouten op te sporen door de reeks visueel te beoordelen. Omdat dat voor de complete dataset een flink karwei is, is dat in deze fase niet gedaan. In het vervolg van dit onderzoek wanneer specifieke gebeurtenissen worden gekozen, zal er een controle van de dan gekozen dataset op dit onderdeel plaatsvinden.

3.2.6 Lineaire trend

Door middel van het bepalen van een regressielijn is bekeken of de meetreeks in de loop der tijd een verloop kent. Het komt namelijk voor bij druksensoren dat het nulpunt in de loop van de tijd verschuift. De sensor moet hier soms voor gecorrigeerd worden. Als er geen verloop aanwezig is zou de trendlijn van de meetreeks horizontaal moeten zijn.

Deze analyse is uitgevoerd op metingen die op basis van in voorgaande paragrafen gegeven criteria goedgekeurd zijn. De BU-sensoren zijn buiten beschouwing gelaten, omdat deze veelal een grilliger verloop kennen en meer onder invloed staan van externe factoren. De meeste sensoren laten een lichte lineaire trend zien (tabel 3.5). Het meest opvallend zijn sensor OS5107 en SN5617. Het gaat hierbij om sensoren die een beperkt aantal goedgekeurde metingen kennen en in voorgaande stappen al vaker beperkt betrouwbaar zijn gebleken.

[4] Een meetreeks die plotseling stijgt/daalt waarna de metingen langere tijd op dit hogere of lagere niveau stabiel blijven.

Op basis van dit onderdeel zijn geen metingen goed- of afgekeurd, maar deze uitkomsten dienen om een beeld te krijgen van de nauwkeurigheid van de meetgegevens.

Tabel 3.5: Verloop trendlijn

Sensor	Trend *mm per 7 maanden*
OS1601	23
OS5107	768
OS5813	1
OS5815	16
OS64	38
SN108849	-37
SN2174	-54
SN243	12
SN2577	-12
SN2899	22
SN5047	18
SN5617	169

3.2.7 Onderlinge relaties

Door per set van twee sensoren de correlatiecoëfficiënt (R) te berekenen en deze te kwadrateren wordt de determinatiecoëfficiënt (R^2) verkregen. Deze geeft de sterkte van het verband tussen de meetreeksen van de twee sensoren aan.

In tabel 3.6 zijn de correlaties R^2 >=0,8 (zeer sterk verband) vetgedrukt weergegeven en correlaties R^2 >= 0,6 maar <0,8 (sterk verband) onderstreept weergegeven. Verwacht wordt dat sensoren op punten die dicht bij elkaar liggen een sterk verband kennen. Dit is bij enkele sensoren te zien. Bijvoorbeeld OS64, OS5107 en OS5813 die aan de noordwest kant van het gebied liggen correleren sterk. En ook SN5047 met OS5813 en OS5107, al is er tegelijkertijd ook een sterk verband met de verder weg gelegen sensor OS64.

SN5617 kent met veel sensoren een sterk verband. Aan de betrouwbaarheid moet echter worden getwijfeld, omdat deze meetreeks weinig (goedgekeurde) metingen omvat. Voor OS5815 waarvan de metingen ook vaak onbetrouwbaar bleken, valt juist het omgekeerde op: verbanden met de overige sensoren zijn niet aanwezig.

Omdat deze analyse over de gehele periode is bepaald en de meetreeksen nogal eens gaten vertonen, zijn ook op basis van dit onderdeel geen metingen goed- of afgekeurd. In een later stadium van dit onderzoek zal de correlatie tussen de sensoren voor specifieke situaties worden bekeken.

Tabel 3.6: Correlaties (R^2) tussen de meetreeksen*

Sensor	Sensor OS64	OS1601	OS5107	OS5813	OS5815	SN 108849	SN2174	SN243	SN2577	SN2899	SN5047	SN5617
OS64	x											
OS1601	0,44	x										
OS5107	**0,84**	0,36	x									
OS5813	**0,91**	0,37	**0,92**	x								
OS5815	0,02	0,09	0,00	0,01	x							
SN108849	0,56	0,27	0,34	0,54	0,00	x						
SN2174	0,05	0,05	0,03	0,03	0,01	0,07	x					
SN243	0,35	0,33	0,17	0,25	0,05	0,30	0,21	x				
SN2577	0,12	0,10	0,14	0,08	0,01	0,09	0,39	0,24	x			
SN2899	0,76	0,51	0,41	0,62	0,12	0,60	0,13	0,57	0,25	x		
SN5047	0,77	0,32	**0,88**	**0,85**	0,02	0,36	0,08	0,25	0,18	0,49	x	
SN5617	**0,94**	0,62	**0,82**	**0,89**	0,05	0,76	0,00	0,36	0,04	0,76	**0,80**	x

*) al deze correlaties zijn significant met een betrouwbaarheid van 99%

3.2.8 Relatie met barometrische druk

Er is gecontroleerd of de meetgegevens een relatie vertonen met de barometrische druk. Dit kan erop wijzen dat de barometrische correctie van een sensor niet goed functioneert. Een luchtdrukmeter is onderdeel van het meetproject. Deze gegevens zijn gevalideerd volgens twee van de drie in dit hoofdstuk bepaalde stappen. Er is niet gekeken naar een overschrijding van een boven- of ondergrens. Vervolgens zijn correlaties berekend met de andere metingen. Er blijkt geen verband tussen te bestaan. De determinatiecoëfficiënten (R^2) variëren tussen de 0,00 en 0,03.

3.2.9 Totaalbeeld goedgekeurde / afgekeurde metingen

Uiteindelijk zijn er een drietal validatieregels toegepast op de dataset:
- Metingen die buiten de .55 en .05 rondom de hele minuut zijn gemeten zijn afgekeurd.
- Metingen die minder dan 55 seconden of meer dan 65 seconden na de vorige meting plaatsvonden zijn afgekeurd.
- Metingen die buiten het bereik van de sensoren vallen zijn afgekeurd.

Samenvattend kan gezegd worden dat van de zeventien sensoren er 12 voor het overgrote deel betrouwbare metingen geven (tabel 3.7). Van alle 12 is meer dan 90% van de metingen goedgekeurd. De overige 5 sensoren laten dermate veel afgekeurde metingen zien, dat het beter is ze in het vervolgonderzoek niet mee te nemen. Daardoor blijven van de vijf metingen bij overstorten er maar drie over.

Verder moet bij vervolganalyses ondanks de grote aantallen goedgekeurde metingen nog steeds kritisch naar de uitkomsten worden gekeken. De meeste sensoren laten een lineaire trend zien en ook onderling laten sommige sensoren patronen zien die niet direct overeenkomen met meetpunten in de buurt. Daarnaast zijn outliers nog niet verwijderd.

Tabel 3.7: Overzicht goedgekeurde metingen

	Minuten met goedgekeurde meting	
Sensor	*aantal*	*% van totaal aantal minuten in periode**
BU1601	290.679	94,3
OS1601	290.673	94,3
BU5107	46.148	15,0
OS5107	46.148	15,0
BU5813	294.988	95,7
OS5813	294.989	95,7
BU5815	33.115	10,7
OS5815	10.740	3,5
BU64	303.115	98,4
OS64	303.128	98,4
SN108849	302.954	98,3
SN2174	302.393	98,1
SN243	301.670	97,9
SN2577	302.606	98,2
SN2899	279.972	90,9
SN5047	281.667	91,4
SN5617	20.715	6,7

*) De periode 1 juni 2012 00:00 t/m 31 december 2012 23:59 telt 308.160 minuten

3.3 Validatie gemaalgegevens

3.3.1 Volledigheid & meetinterval

Voor dit onderzoek zijn van vijf maanden gemaalbassinpeilgegevens beschikbaar. Binnen deze dataset zijn er voor het overgrote deel van iedere minuut gegevens. Slechts enkele keren komt er een interval groter dan 1 minuut voor (tabel 3.8). Vijf keer is er een uur of langer geen meting gedaan. Op 4 januari 2012 zijn er vanaf ongeveer 8:00uur twee uur lang geen metingen, kort daarop gevolgd door nog eens vier uur lang geen metingen. Omstreeks 23:00uur is er opnieuw, negen uur lang, een periode zonder metingen. Op 31 januari 2013 ontbreken de gehele dag metingen en op 5 februari 2013 rond middernacht nog eens bijna anderhalf uur lang.

Tabel 3.8: Overzicht interval tussen twee metingen, naar grootte

		0 min.	1min.	> 1min. en < 1uur	>= 1uur	Totaal*
Jaar	Maand	*% van totaal aantal gaten*				*Aantal*
2012	Januari	0,1	99,8	0,0	0,0	43.677
	Juni	0,1	99,9	0,0	0,0	40.319
	Augustus	0,0	100,0	0,0	0,0	43.198
	December	0,0	99,9	0,0	0,0	43.197
2013	Januari	0,0	99,9	0,0	0,0	12.878

*) De dataset van januari 2013 betreft 10 dagen, de andere datasets een maand

Er komen ook dubbele metingen voor in de dataset, oftewel metingen die op dezelfde minuut hebben plaatsgevonden. Op 3 januari om 23:00 uur zijn er een uur lang dubbele metingen gedaan. Op 7 juni vindt dezelfde situatie een kwartier lang plaats. Verder komt het incidenteel nog enige malen voor. De reden hiervan is niet duidelijk. De individuele gevallen worden mogelijk veroorzaakt door tijdsynchronisatie.

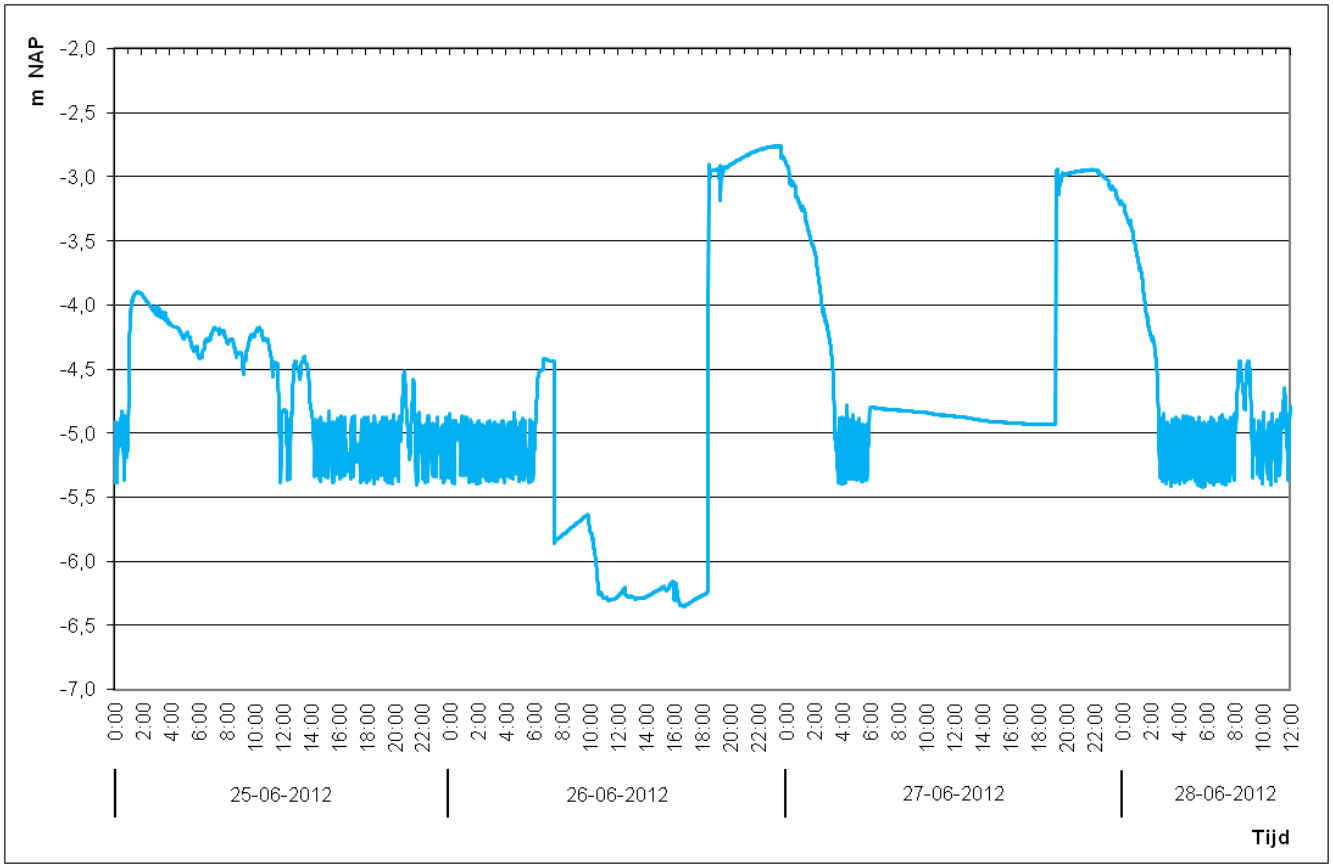
Uit nader onderzoek blijkt dat bij de dubbele metingen het peil dat is gemeten vrijwel altijd gelijk is. Daarom is van alle duo's de tweede meting afgekeurd. Daarnaast zijn metingen met een interval groter dan 1 minuut ten opzichte van de vorige meting afgekeurd, vergelijkbaar aan de aanpak bij de meetgegevens (paragraaf 3.2).

Omdat 3 januari een dag is met een overstortgebeurtenis en juist die dag en de dag erna (4 januari) enkele onvolkomenheden in de peilmetingen laten zien, moet hier in het vervolgonderzoek rekening mee worden gehouden. Hetzelfde geldt voor 31 januari 2013. Al zijn er geen directe aanwijzingen dat de overige metingen rond/op deze dagen niet goed zouden zijn.

3.3.2 Buiten bereik

De bodem van het gemaalbassin ligt op -5,75m NAP, de bovenkant op -0,84m NAP. Metingen die boven deze bovengrens of onder de ondergrens uitkwamen zijn afgekeurd. Op 23 januari is er twee keer een meting van +0m NAP gedaan. Een meting van exact nul is al bijzonder, maar in dit geval dus ook een overschrijding van de bovengrens. Meer bijzonder is de situatie op 26 t/m 28 juni (figuur 3.2). Op 26 juni ligt het gemaalbassinpeil volgens de metingen 9,5 uur lang onder de ondergrens. Omstreeks half acht 's avonds stijgt het peil in 10 minuten van -6,2m NAP naar -3,0m NAP. Het lijkt er sterk op dat er deze dagen werkzaamheden aan het gemaal of de meter hebben plaatsgevonden. Het verloop van het bassinpeil op 26 t/m 28 juni is aan te merken als zijnde onbetrouwbaar.

Figuur 3.2: Verloop gemaalbassinpeil op 26 t/m 28 juni 2012



3.4 Validatie neerslaggegevens

3.4.1 Volledigheid & meetinterval

Als onderdeel van het meetproject was in district 10 ook een regenmeter geplaatst. Deze stond op de plek van overstort OS5107. Echter net als bij de sensoren BU5107 en OS5107 ontbreken ook van deze regenmeter sinds de namiddag van 5 juli 2012 metingen. De meter in district 18 lijkt ook niet altijd te werken. Op 23 december 2012 en 30 januari 2013 geeft deze regenmeter steeds 0mm aan. Terwijl de andere regenmeters wel neerslag-hoeveelheden geven. De metingen worden vrijwel altijd om de minuut gedaan. Alleen op 4 januari 2012 missen er twee uur en later nog eens vier uur lang metingen.

3.4.2 Buiten bereik

Als ondergrens voor de neerslaggegevens wordt 0mm gehanteerd. Er zijn geen metingen die negatieve hoeveelheden laten zien. De bovengrens is lastiger te bepalen, daarom is enkel gekeken naar de maximum-waarden (tabel 3.9). Alleen de maximum minuutmeting in augustus van 8,4mm lijkt aan de hoge kant, maar de waarden van de minuten daar omheen liggen ook tussen 2,5mm en 5mm. Wel is uit ervaringskennis bekend dat de regenmeters in district 12 en 18 bij onverwachte pieken in de neerslag te hoge waarden aan kunnen geven. Of dat hier speelt, valt niet op te maken, maar hier dient in dit onderzoek wel rekening mee gehouden te worden.

Tabel 3.9: Maximum neerslaghoeveelheden

	Meter district 10	Meter district 12	Meter district 18	Meter KNMI 344
Situatie	*mm (minuutsom)*			*mm (uursom)*
3 januari 2012	5,0	3,5	2,9	4,9
11 juni 2012	2,0	0,8	0,5	12,4
5 augustus 2012	-	2,4	8,4	7,8
23 december 2012	-	0,2	0,0	5,1
30 januari 2013	-	0,2	0,0	4,8

3.4.3 Onderlinge vergelijking

Tot slot zijn de metingen van de vier regenmeters (voor zover ze niet ontbraken) voor de vijf geselecteerde overstortgebeurtenissen tegen elkaar afgezet. Bijlage IV geeft hiervan een overzicht. Omdat de KNMI-metingen uursommen betreffen en de metingen van de Rotterdamse regenmeters minuutmetingen, zijn de uitkomsten van deze laatsten opgeteld naar uursommen. De minuutmetingen van regenmeter 10 zijn steeds afgerond op veelvouden van 0,2mm. Daardoor is de optelling naar uursommen bij die meter niet helemaal zuiver.

De verschillende metingen laten behoorlijke verschillen zien. De buien lijken een sterk lokaal karakter te hebben gehad. Meter 18 valt opnieuw op. Op 5 augustus meet hij een beduidend grotere hoeveelheid neerslag dan de andere meters. Omdat de regenmeter in district 10 op deze datum niet meer werkt en de andere meters op langere afstand liggen, is niet te zeggen of de meting niet klopt of dat er sprake is van een bui met een sterk lokaal karakter.

4 HYDRAULISCH FUNCTIONEREN IN DE PRAKTIJK

4.1 Inleiding

Met behulp van de gevalideerde datasets kan het hydraulisch functioneren in de praktijk onder de loep worden genomen. Allereerst zal gekeken worden naar enkele kenmerken van de overstortgebeurtenissen, waarna vervolgens een vergelijking met het gemaalbassinpeil zal worden gemaakt. Tot slot zal er nog aandacht zijn voor het peilverloop binnen het stelsel tijdens de overstortgebeurtenissen.

4.2 Overstortgebeurtenissen in de praktijk

4.2.1 Tijdstippen en duur

In hoofdstuk 2.4.1 is toegelicht hoe uit de dataset met meetgegevens overstortgebeurtenissen konden worden afgeleid en welke daarvan zijn uitgekozen voor dit deel van het onderzoek. We zullen hier dus stilstaan bij vijf situaties: de overstortgebeurtenissen op 3 januari 2012, 11 juni 2012, 5 augustus 2012, 23 december 2012 en 30 januari 2013.

Voor de vijf overstortgebeurtenissen is bepaald hoe lang het peil de hoogte van de overstortdrempel overschreed (tabel 4.1). Omdat de metingen van sensor OS5107 en OS5815 voor een groot deel ontbraken of onbetrouwbaar bleken, zijn deze in het vervolg van dit onderzoek niet meegenomen. De overstortduur blijkt te variëren tussen enkele minuten en ruim twee uur. Het zijn dus geen langdurige overstorten.

Tabel 4.1 Tijdstip en duur overstortgebeurtenissen

Datum	Sensor	Begin overstort *tijdstip in h:mm*	Eind overstort	Overstortduur *duur in h:mm*
3 januari 2012	OS1601	-	-	-
	OS5813	16:15	16:22	0:07
	OS64	15:48	17:09	1:21
11 juni 2012	OS1601	16:05	18:17	2:12
	OS5813	16:22	17:45	1:23
	OS64	16:22	18:19	1:57
5 augustus 2012	OS1601	15:58	17:02	1:04
	OS5813	16:24	16:48	0:24
	OS64	16:22	17:06	0:44
23 december 2012	OS1601	5:04	6:33	1:29
	OS5813	5:11	6:06	0:55
	OS64	4:34	6:46	2:12
30 januari 2013	OS1601	8:38	9:15	0:37
	OS5813	8:45	8:45	0:00
	OS64	8:26	8:59	0:33

- = geen overstortgebeurtenis

4.2.2 Overstortvolumes

Met behulp van de formule die in figuur 4.1 is gegeven kunnen op basis van peilmetingen overstortvolumes worden berekend. Hierbij moet wel worden aangetekend dat peilmetingen bij de overstort op het moment dat de drempel wordt overschreden sterk in nauwkeurigheid afnemen. Wervelingen in het water kunnen de meting verstoren. Een kleine afwijking tussen de gemeten overstortende straal 'H' en de werkelijkheid kan duidelijk andere volumes opleveren. De 'H' is immers in de formule opgenomen tot de macht 1,5. Om een zo goed mogelijke peilmeting bij de overstort te verkrijgen zijn de meters bij dit meetproject meer dan een meter bij de overstortdrempel vandaan geplaatst.

Figuur 4.1: Formule voor berekening overstortvolume

$$Q = b * m * 1,7 * H^{1,5}$$

Waarbij:
Q = debiet [m^3/s]
m = overlaatcoëfficiënt, afhankelijk van de vorm [-]
b = drempelbreedte [m]
H = overstortende straal [m]

Bron: Stichting RIONED, 2003

Andere factoren die de uitkomsten kunnen beïnvloeden zijn de drempelbreedte ('b') en een vormfactor ('m') die in de formule voorkomen. De breedte van de overstortdrempel bij aanleg hoeft niet de huidige effectieve drempelbreedte te zijn. Er kan bijvoorbeeld vuil ophopen langs de randen, waardoor de breedte afneemt. Ook de werkelijke vormfactor is vaak lastig vast te stellen. Als gevolg hiervan moeten de resultaten voorzichtig worden geïnterpreteerd.

Hier wordt uitgegaan van de drempelhoogte en -breedte zoals vermeld in tabel 2.1 (p. 16) en een vormfactor van 0,8. Dit zijn waarden waarmee ook in het model wordt gerekend. Daarover meer in hoofdstuk 5. De overstortende straal is bepaald door voor iedere meting tijdens de overstortgebeurtenis het verschil tussen het gemeten peil en de overstortdrempel te berekenen. Voor iedere minuut is zo het debiet in m^3/s bepaald. Door dit te vermenigvuldigen met 60 wordt het aantal m^3/min. bepaald en door dit voor iedere minuut dat de overstort duurt bij elkaar op te tellen wordt het uiteindelijke totale overstortvolume in m^3 verkregen. De berekende overstortvolumes zijn vermeld in tabel 4.2.

Er valt geen duidelijk patroon te ontdekken. De overstortvolumes variëren sterk per situatie. Ze lopen uiteen van 0,1m^3 tot 964,9m^3. Ook zijn de volumes niet steeds het grootst bij de breedste overstort OS5813.

4.3 Relatie tussen peilmetingen bij overstort en gemaalbassinpeil

4.3.1 Overstortregistratie op basis van gemaalbassinpeil

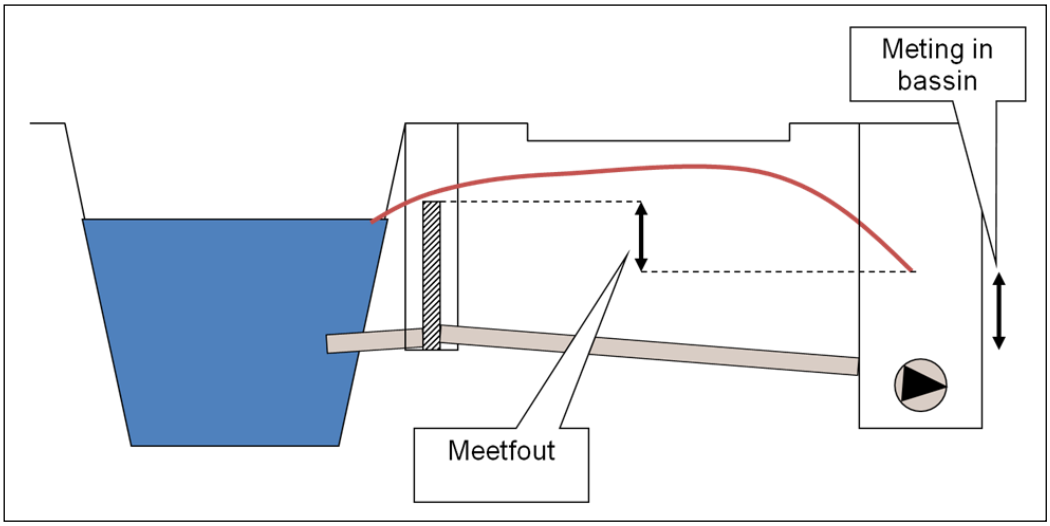
Voor de gemeente is het van belang te weten of er overstortgebeurtenissen hebben plaatsgevonden. De reden hiervan is reeds in hoofdstuk 1.3 toegelicht. Op dit moment gebruikt de gemeente het gemaalbassinpeil als indicator voor overstortgebeurtenissen. Er wordt vanuit gegaan dat wanneer het gemaalbassinpeil boven -2,1m NAP uitkomt, elders in het bemalingsgebied de overstorten in werking gaan.

Tabel 4.2: Overstortvolumes op basis van peilmetingen

Datum	Sensor	Overstortvolume m^3	% van som
3 januari 2012	OS1601	-	-
	OS5813	0,7	0,3
	OS64	241,3	99,7
	som	242,0	100
11 juni 2012	OS1601	447,8	20,1
	OS5813	964,9	43,3
	OS64	813,3	36,5
	som	2225,9	100
5 augustus 2012	OS1601	255,8	59,2
	OS5813	52,0	12,0
	OS64	124,6	28,8
	som	432,4	100
23 december 2012	OS1601	116,6	17,9
	OS5813	96,5	14,8
	OS64	439,3	67,3
	som	652,3	100
30 januari 2013	OS1601	26,0	31,5
	OS5813	0,1	0,1
	OS64	56,4	68,4
	som	82,5	100

Toch bestaan er twijfels of het gemaalbassinpeil wel een goede indicator is. In Rotterdam zijn de gemalen over het algemeen toegerust met een behoorlijke pompcapaciteit. Het gevolg daarvan is wel dat de verhanglijn van het water in het stelsel dicht bij het gemaal omlaag wordt getrokken. Figuur 4.2 geeft hiervan een schematische weergave.

Figuur 4.2: Gemaalbassinpeilen als indicator voor overstortgebeurtenissen



Bron: Gemeente Rotterdam, 2011a

Uit de overstortregistratie van de gemeente op basis van de gemaalbassinpeilen blijkt dat in 2011 er één overstortgebeurtenis is geregistreerd: op 14 juli. Dit komt overeen met de meetgegevens. Voor 2012 is er echter ook maar één gebeurtenis geregistreerd: op 11 juni. Uit de meetgegevens blijken er dat jaar nog drie te hebben plaatsgevonden (tabel 2.2, p. 16). Ook de twee overstortgebeurtenissen die in de eerste helft van 2013 plaats hadden zijn niet geregistreerd.

4.3.2 Vergelijk peil bij overstort met gemaalbassinpeil

Voor de vijf geselecteerde overstortgebeurtenissen is het verloop van het peil bij de overstort vergeleken met het verloop van het gemaalbassinpeil. In bijlage V is dit in grafieken weergegeven. Opvallend is dat ze een zeer vergelijkbaar verloop kennen, maar het gemaalbassinpeil over het algemeen iets lager ligt dan de peilen bij de overstorten.

Door gemiddelden te berekenen van de verschillen tussen het peil bij de overstort en het gemaalbassinpeil is een overzicht verkregen van de mate waarin de peilen van elkaar afwijken. Tabel 4.3 geeft het verschil tijdens de vulperiode[5], ledigingsperiode[6] en overstortperiode[7] weer. De exacte tijden van deze perioden zijn opgenomen in bijlage VI. En in bijlage VII is een uitgebreid overzicht van de gemiddelde verschillen te vinden, waarin ook de verschillen staan tussen de maximumniveaus en het verschil met het gemaalbassinpeil op de momenten waarop ieder peil zijn maximum bereikt.

Tabel 4.3: Gemiddeld verschil tussen peil bij overstort en gemaalbassinpeil

		Vulperiode	Ledigingsperiode	Overstortperiode*
Datum	Sensor	*m*		
3 januari 2012	OS1601	0,41	0,16	-
	OS5813	0,06	0,10	0,11
	OS64	0,39	0,13	0,15
11 juni 2012	OS1601	0,87	0,63	0,33
	OS5813	0,31	0,18	0,17
	OS64	0,23	0,22	0,18
5 augustus 2012	OS1601	2,52	0,25	0,52
	OS5813	0,35	0,14	0,14
	OS64	0,53	0,16	0,15
23 december 2012	OS1601	0,66	0,24	0,18
	OS5813	0,13	0,14	0,15
	OS64	0,40	0,16	0,17
30 januari 2013	OS1601	0,87	0,39	0,36
	OS5813	0,15	0,16	0,20
	OS64	0,38	0,20	0,30

*) De waarde van OS5813 op 30 januari 2013 is gebaseerd op 1 meting die boven de overstorthoogte uitkwam

[5] De periode tussen begin stijging van het peil en het maximumpeil (piek) tijdens de gebeurtenis.
[6] De periode tussen het maximumpeil (piek) en het moment waarop het peil weer voor 95% terug is op het niveau waarop de stijging begon. Er is voor dit 95%-punt gekozen omdat het door na-ijling (invloed van inkomend grondwater in de riolering) het vaak lang duurt voor het peil terug is op het niveau waarop de stijging begon.
[7] De periode tussen het moment waarop het peil boven de overstortdrempel uitkomt en het moment waarop ze daar weer onder valt.

Over het algemeen ligt het verschil tussen de peilen bij de overstort en het gemaalbassinpeil tussen de 10 en 20 cm. OS5813 en OS64 laten een vergelijkbaar patroon zien. Echter OS1601 wijkt iets af. Dat blijkt ook wanneer er correlaties worden berekend tussen het peilverloop bij de overstorten en het peilverloop bij het gemaal.

In tabel 4.4 zijn determinatiecoëfficiënten (R^2) opgenomen die de sterkte van het verband tussen het peilverloop bij de overstort en het verloop van het gemaalbassinpeil weergeven. Bij een R^2>=0,8 kan gesproken worden over een zeer sterk verband. Voor OS5813 en OS64 geldt dit voor bijna alle situaties. Ook hier laat OS1601 een ander beeld zien. Met name op 5 augustus is er vrijwel geen correlatie met het gemaalbassinpeil. Het lijkt erop dat dit vooral veroorzaakt wordt doordat op deze dag het peil van OS1601 ruim eerder dan het gemaalbassinpeil (en eerder dan de andere sensoren) zijn piekniveau bereikt. Al om 16:02uur bereikt OS1601 zijn piek, het niveau van het gemaalbassin ligt op dat moment nog 2,52m lager. Bijna een half uur later, om 16:28uur wanneer het gemaalbassinpeil zijn maximum bereikt, is het verschil tussen de twee nog maar 17cm. Daarnaast zal meespelen dat OS1601 verder weg van het collecteurriool ligt, dan de andere twee overstorten.

Tabel 4.4: Correlaties tussen verloop peil bij overstort en gemaalbassinpeil

Datum	Sensor	Tijdens periode tussen begin stijging en terug op 95%-peil R^2	Tijdens overstortperiode
3 januari 2012	OS1601	0,77	-
	OS5813	1,00	x
	OS64	0,91	0,93
11 juni 2012	OS1601	0,57	x
	OS5813	0,86	0,52
	OS64	0,81	0,77
5 augustus 2012	OS1601	0,10	0,29
	OS5813	0,89	0,89
	OS64	0,79	0,93
23 december 2012	OS1601	0,76	0,88
	OS5813	0,99	0,94
	OS64	0,88	0,98
30 januari 2013	OS1601	0,88	0,99
	OS5813	0,98	-
	OS64	0,82	x

- = geen overstortgebeurtenis (OS1601) of maar 1 meting boven overstorthoogte (OS5813)
x = berekende waarde bleek niet significant (dus onbetrouwbaar)

4.3.3 Alternatief indicatieniveau

Het indicatieniveau dat momenteel gebruikt wordt is -2,1m NAP. Uitgaande van de uitkomsten uit voorgaande subparagrafen kan de vraag gesteld worden of een peil van 20cm lager een betere indicator is. Dit is onderzocht voor de maanden waarop de gemaalbassinpeilgegevens beschikbaar zijn (januari, juni, augustus en december 2012). Er is gekeken op welke dagen het gemaalbassinpeil boven de -2,3m NAP uitkwam. Dat bleek enkel op de dagen waarop de overstortgebeurtenissen plaatsvonden het geval te zijn. Dus in deze maanden zouden, als was uitgegaan van dit lagere indicatieniveau, geen buien onterecht gedetecteerd zijn als zijnde

overstortgebeurtenissen. Om te kunnen zeggen of dit een algemeen geldende regel is, zou nog naar een uitgebreidere periode kunnen worden gekeken. Daarover meer in hoofdstuk 6.

4.4 Praktijksituatie in het stelsel tijdens overstortgebeurtenissen

Naast de peilmetingen bij de overstorten zijn er op een zevental plaatsen binnen het stelsel peilmetingen gedaan. In bijlage VIII zijn grafieken opgenomen met het verloop van deze peilen tijdens de vijf geselecteerde overstortgebeurtenissen. Het peil van SN5617 zal niet in dit onderzoek worden meegenomen, omdat de metingen hiervan bijna allemaal zijn afgekeurd (hoofdstuk 3).

De zes meetpunten liggen verspreid in het gebied. De putten waarin de sensoren zijn geplaatst kennen allen een verschillende diepte. Vandaar dat de peilen bij droog weer ieder rondom een ander peil variëren. Bij hevige regenval die leidt tot een overstortgebeurtenis, is de verwachting dat de peilen na verloop van tijd een moment op grofweg gelijke hoogte komen. Het stelsel loopt immers dermate vol dat de verhanglijn die eerst richting het gemaal afloopt, zich omdraait en het water zich richting overstort gaat verplaatsen. Wanneer de bui afneemt zal ook de overstort gaan afnemen en uiteindelijk stoppen en het stelsel weer richting gemaal leeglopen.

Bij vier van de zes sensoren is dit patroon terug te zien. Echter SN2174 en SN2577 wijken af. Deze punten liggen op een dijk aan de zuidrand van district 10 en zijn dus hoger gelegen dan de meetpunten in de rest van het gebied. De onderkant van de putten ligt er zelfs hoger dan het straatniveau van de andere putten. SN243 ligt ook aan de zuidrand van het gebied, maar ligt net onderaan de dijk.

In het gehele gebied stroomt het water onder vrij verval naar het gemaal. Door hun hogere ligging, ruim twee meter hoger dan de andere meetpunten, kennen SN2174 en SN2577 een groter verhang (tot wel 30‰). Het water stroomt er snel weg en zelfs bij extreme buien is er maar heel even een stijging en scherpe piek in het niveau te zien. Veelal is het peil binnen een uur weer terug op zijn oorspronkelijke niveau.

In de grafieken in bijlage VIII is ook het gemaalbassinpeil opgenomen. Opvalt dat ook de peilen binnen het stelsel veelal 10cm of meer boven het gemaalbassinpeil liggen. Dit ondersteunt de veronderstelling dat de grote pompen in het gemaal het peil omlaag trekken. Het verschil is namelijk al zichtbaar bij de dichtstbijzijnde meetpunten.

5 RELATIE THEORIE EN PRAKTIJK

5.1 Inleiding

Zoals in hoofdstuk 2.5.2 al is toegelicht zal voor drie neerslaggebeurtenissen het functioneren van het stelsel met een SOBEK-model berekend worden. Er zal gekeken worden naar de patronen die zichtbaar zijn en een vergelijking gemaakt worden met het hydraulisch functioneren van het stelsel in de praktijk, zoals dat in het vorige hoofdstuk aan de orde is gekomen. Vervolgens zal door modelkalibratie geprobeerd worden theorie en praktijk dichter bij elkaar te brengen.

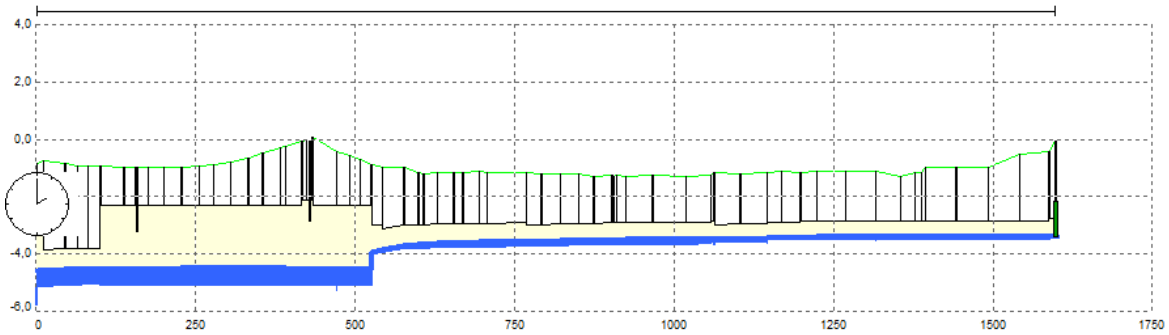
5.2 Uitgangssituatie

5.2.1 Theoretisch functioneren volgens model

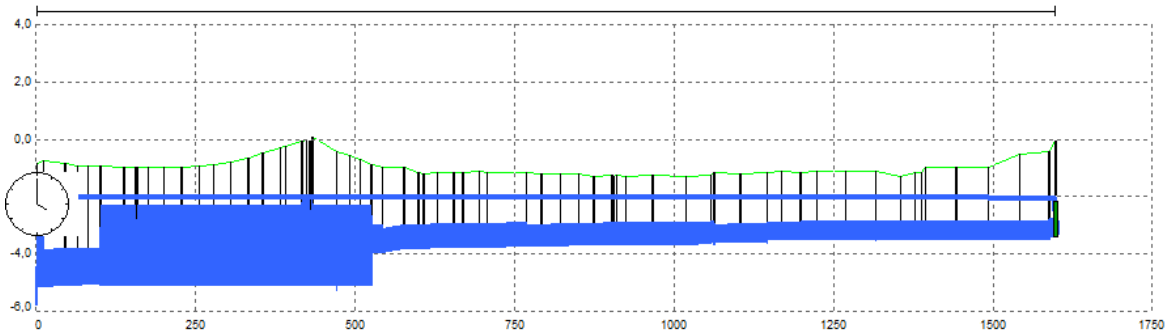
De drie buien in januari, juni en augustus zijn doorgerekend met het voor dit onderzoek aangepaste SOBEK-model. Bijlage IX geeft een grafische weergave van het peilverloop voor de verschillende meetpunten die in dit onderzoek worden gehanteerd.

De verwachting is dat bij hevige regenval het stelsel volloopt en het niveau een moment op grofweg dezelfde hoogte komt te liggen. De verhanglijn die eerst richting het gemaal loopt draait zich dan om en het water gaat zich richting de overstort verplaatsen. Dit verloop is terug te zien bij de gemodelleerde situaties. Figuren 5.1 en 5.2 geven hiervan een voorbeeld.

Figuur 5.1: Side view leiding tussen gemaalbassin en OS64, 3 januari 2012 14:00uur



Figuur 5.2: Side view leiding tussen gemaalbassin en OS64, 3 januari 2012 16:00uur



Bij alle drie de overstorten start de overstorting op een redelijk vergelijkbaar tijdstip. Er zit niet meer dan 10 minuten tussen de eerste en de laatste (tabel 5.1). OS64 kent bij deze situaties de langste overstortduur, maar het verschilt niet veel met de anderen. Bij de juni-bui was de overstortduur het langst.

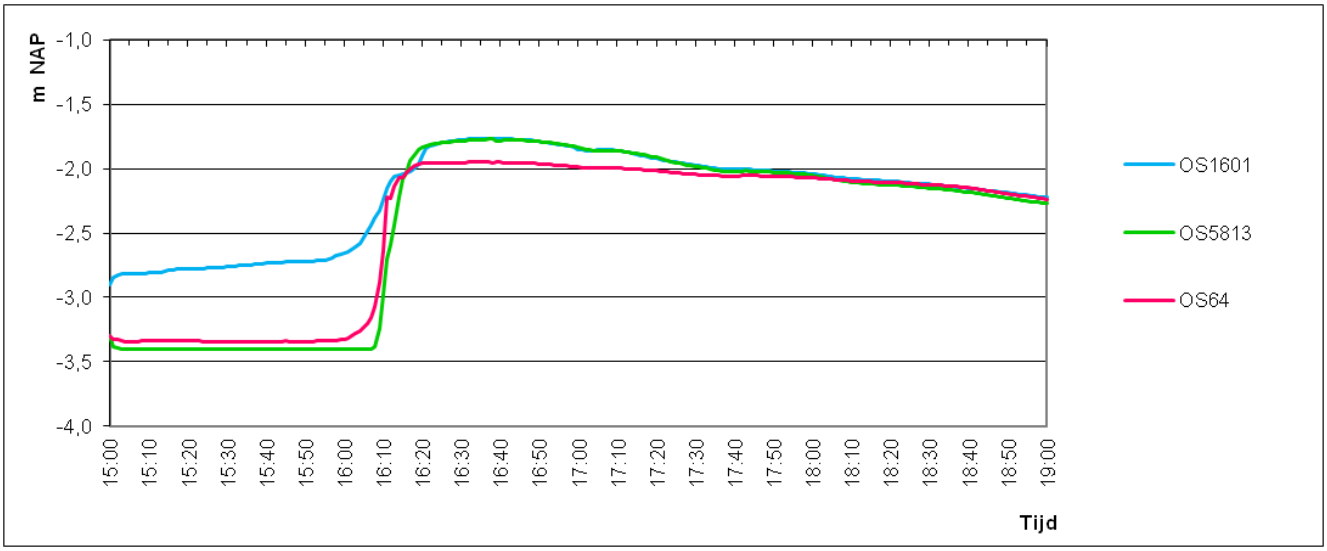
Tabel 5.1: Overstortduur uitgangssituatie

Datum	Sensor	Begin overstort *tijdstip in h:mm*	Op piekniveau	Eind overstort	Overstortduur *duur in h:mm*
3 januari 2012	OS1601	15:56	16:12	17:07	1:11
	OS5813	15:50	16:14	17:03	1:13
	OS64	15:46	16:03	17:03	1:17
11 juni 2012	OS1601	16:12	16:37	18:32	2:20
	OS5813	16:15	16:37	18:21	2:06
	OS64	16:13	16:40	18:41	2:28
5 augustus 2012	OS1601	16:06	16:17	17:51	1:45
	OS5813	16:10	16:21	17:46	1:36
	OS64*	16:08	16:12	>18:00	>1:52

*) het tijdstip eind overstort valt buiten de gemodelleerde periode, dus is de overstortduur ook niet goed vast te stellen.

Bij de situaties in juni en augustus ligt het piekniveau van OS64 ongeveer 20cm lager dan de andere twee overstorten OS1601 en OS5813 (figuur 5.3). Het is niet duidelijk waar dit door komt. Bij de praktijkmetingen is dit ook niet terug te zien.

Figuur 5.3: Peilverloop bij overstorten, situatie 11 juni 2012



De overstortvolumes van de gemodelleerde situaties verschillen per bui en per overstort, zoals verwacht mag worden (tabel 5.2). Wanneer de volumes bij de overstorten onderling worden vergeleken, blijkt OS5813 het meest m^3 over te storten. Toch is niet goed te zeggen of dit een algemeen geldend patroon is. Daarvoor variëren de verhoudingen tussen de overstorten bij de verschillende situaties te veel. In januari kennen OS64 en OS5813 vergelijkbare overstortvolumes en is bij OS1601 het volume twee keer zo klein. Gezien de smallere overstortdrempel van OS1601 (3m t.o.v. respectievelijk 6m en 5,4m bij OS5813 en OS64) lijkt dit logisch. Maar in juni en augustus kennen zowel OS1601 als OS64 een twee keer zo klein overstortvolume dan OS5813. Dit hangt samen met wat in de vorige alinea al beschreven is: OS64 laat in juni en augustus een lager peilverloop zien, dan de andere twee overstorten, waarvoor geen duidelijke oorzaak is aan te wijzen.

Tabel 5.2: Overstortvolumes uitgangssituatie

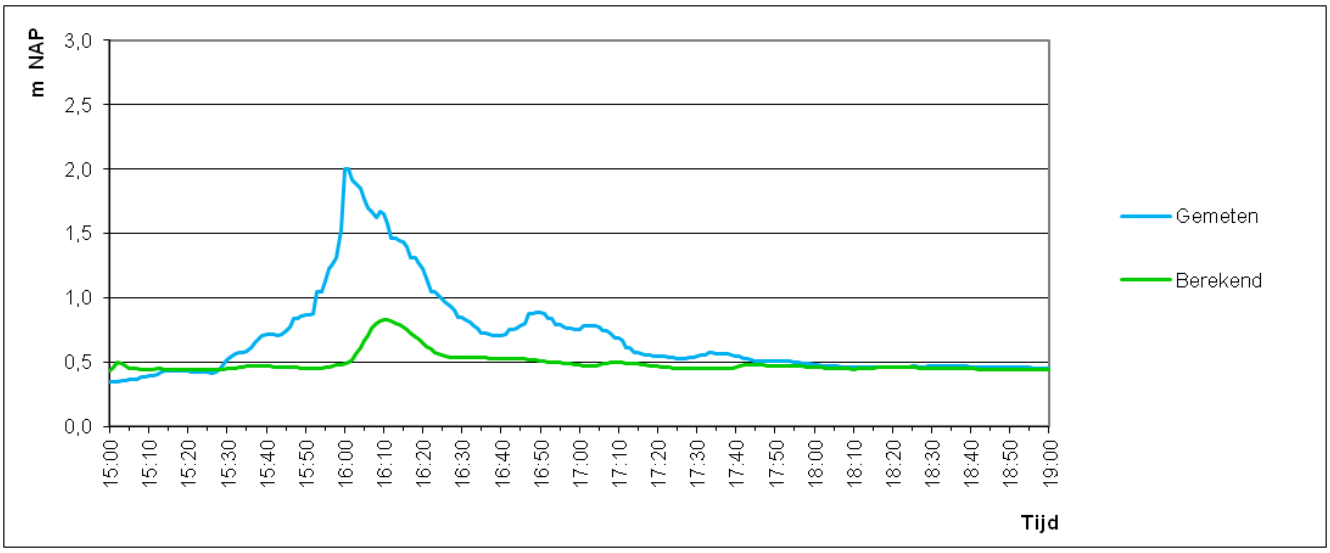
Datum	Sensor	Overstortvolume m^3	% van som
3 januari 2012	OS1601	315,9	19,5
	OS5813	655,7	40,4
	OS64	649,5	40,1
	som	1.621,1	100
11 juni 2012	OS1601	3.126,1	25,6
	OS5813	6.251,7	51,1
	OS64	2.852,6	23,3
	som	12.230,4	100
5 augustus 2012	OS1601	2.560,4	25,9
	OS5813	5.082,3	51,4
	OS64	2.247,0	22,7
	som	9.889.7	100

5.2.2 Eerste vergelijking met praktijk

Om een beeld te krijgen van de verschillen tussen theorie en praktijk zijn de uitkomsten van de eerste modelleringsronde afgezet tegen de gemeten peilen (bijlage IX). Na kalibratie (paragraaf 5.3) zullen de modeluitkomsten ook nog qua overstortduur en overstortvolumes met de praktijk vergeleken worden.

Bij alle drie de situaties komen de met het model berekende peilen bij vrijwel alle meetpunten hoger uit dan de gemeten peilen. Alleen bij SN2174 en SN2577 is het andersom. SN2174 laat ook als enige een sterk afwijkend patroon zien (figuur 5.4). Vermoedelijk is er vlakbij dit punt sprake van een verstopping, waardoor het water minder snel weg kan dan bij een schone buis waarmee het model rekent. Ook bij SN2577 lijkt het erop dat er sprake is van een verstopping/versmalling, waardoor het water er in de praktijk iets minder snel en gemakkelijk kan wegstromen dan in theorie.

Figuur 5.4: Berekend en gemeten peil bij SN2174, situatie 11 juni 2012



Wanneer de niveaus bij start van de gemodelleerde periode worden vergeleken, valt op dat bij de meeste meetpunten de gemeten peilen en berekende peilen licht van elkaar afwijken. Dit kan te maken hebben met de geconstateerde lineaire trend bij de peilmetingen, een afwijkende hoeveelheid DWA of een lichte verzakking van de putten. SN108849 valt het meest op. Het gemeten peil ligt bijna een halve meter lager dan het berekende peil. Omdat SN108849 een put in het collecteurriool betreft en deze een stevige fundering kent lijkt een verzakking niet de oorzaak. Het is dan ook de vraag of de meting wel juist is.

Nadat het piekniveau is bereikt gaat het peil weer dalen. Bij alle punten daalt het berekende peil sneller dan de gemeten peilen. Dit heeft zeer waarschijnlijk te maken met water in de bodem dat van buitenaf de buizen nog binnendringt, ook al is de bui voorbij. Door de regenval stijgt het grondwaterpeil in de bodem namelijk en kan grondwater de rioolbuizen binnendringen. Dit ijlt nog enige tijd na.

Tot slot is opvallend dat in januari de berekende peilen beter overeenkomen met de gemeten peilen dan in juni en augustus. Mogelijk is er sprake van seizoensinvloed op bepaalde parameters.

5.3 Kalibreren van het model

5.3.1 Uitgangspunten

In hoofdstuk 2.5.4 is toegelicht hoe de kalibratie aangepakt gaat worden. Er is de keuze gemaakt om de kalibratie toe te spitsen op het inloopmodel en meer specifiek daarbinnen de infiltratiecapaciteit, omdat naar verwachting de impact daarvan het grootst is. Er zal in de eerste plaats gekeken worden of door te variëren in de maximale en minimale infiltratiecapaciteit de uitkomsten van het model dichter bij de praktijkuitkomsten gebracht kunnen worden. Daarna zal ook nog onderzocht worden of door te variëren in de waarde voor de afname van de infiltratiecapaciteit dit nog verder kan worden toegespitst.

In open verhard oppervlak en onverhard oppervlak kan, zoals de naam eigenlijk al zegt, neerslag infiltreren in de bodem. Bij daken en gesloten verhard oppervlak is dit nagenoeg niet het geval. In het model van district 10 is geen onverhard oppervlak opgenomen. Daarom zal alleen gekeken worden naar de infiltratie in open verhard oppervlak.

5.3.2 Eerder gedaan onderzoek

In het verleden is door andere onderzoekers al studie gedaan naar de infiltratiecapaciteit, vanuit de behoefte de meest geschikte waarden van de infiltratiecapaciteit voor modellering te kunnen bepalen. In een publicatie van de Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (NWRW) worden de uitkomsten van twee studies van Van Dam & Schotkamp (1983) en Bebelaar & Bakker (1981) naast elkaar gezet (tabel 5.3) (NWRW, 1989). Daarnaast is door Van de Ven onderzoek gedaan en hij komt voor betonklinkers uit op een maximum infiltratiecapaciteit van gemiddeld 21mm/h en een minimum infiltratiecapaciteit van gemiddeld 7mm/h (Ven, 1989).

Uit de onderzoeken blijkt dat de waarden van de infiltratiecapaciteit sterk kunnen variëren. Hoe doorlatend een open verhard oppervlak is, is sterk afhankelijk van de staat van de voegen tussen de verharding. Doordat deze dichtslibben, neemt de infiltratiecapaciteit van een oppervlak na verloop van tijd (soms jaren) sterk af. Al verstopt de voeg meestal niet volledig, omdat door droging de voeg vaak weer krimpt (NWRW, 1989).

Tabel 5.3: Infiltratie in open verhard oppervlak volgens praktijkstudies

type bestrating			infiltratiecapaciteit (mm/h) spreiding	mediaan
Van Dam en Schotkamp:				
beton klinkers	20x10x7	cm	7 - 24	14
klinkers	20x20x8	cm	6 - 15	9
tegels	50x50x6	cm	7 - 16	10
asfalt				0
Bebelaar en Bakker:				
beton klinkers	22x11x8	cm	10 - 353	32
beton klinkers	22x9x6.5	cm	8 - 300	34
tegels	30x30x4	cm	1 - 254	16
asfalt				0

Bron: NWRW, 1989

Naast de maximum en minimum infiltratiecapaciteit kent de formule van Horton (die ten grondslag ligt aan de toepassing van de infiltratiecapaciteit in modellen) ook nog waarden voor de afname van de infiltratiecapaciteit en het herstel. Uit studies die de NWRW bestudeerd heeft, blijkt dat de afname varieert tussen 2–6/h en een herstel van 0,01–0,1/h (NWRW, 1989).

Een publicatie van Stichting RIONED over 'Meten en berekenen rioolstelsels' geeft als uitgangspunt voor kalibratie een tabel met de range waarbinnen de inloopparameters veelal variëren (tabel 5.4). Daarin wordt aangegeven dat de maximum infiltratiecapaciteit ligt tussen ongeveer 0–50mm/h, voor de minimum infiltratiecapaciteit tussen 0–10mm/h en de waarden voor afname en herstel van de infiltratiecapaciteit tussen respectievelijk 0–30 en 0–1/h (Stichting RIONED, 2003).

Tabel 5.4: Range inloopparameters

Inloop parameter	Omschrijving	eenheid	default	range	stap
F_b	maximum infiltratiecapaciteit	mm/h	0 – 5	0 – 50	1
F_e	minimum infiltratiecapaciteit	mm/h	0 – 1	0 – 10	1
K_a	afname infiltratiecapaciteit	h^{-1}	0 – 3	0 – 30	1
K_h	herstel infiltratiecapaciteit	h^{-1}	0 – 0,1	0 – 1	0,1
B_h	berging op hellend terrein	mm	0 – 2	0 – 10	1
B_{vu}	berging op vlak uitgestrekt terrein	mm	0 – 6	0 – 20	1
B_v	berging op vlak terrein	mm	0 – 4	0 – 50	1
A_h	afstromingsvertraging hellend terrein	min^{-1}	0,5	0 – 1	0,1
A_v	afstromingsvertraging vlak terrein	min^{-1}	0,2	0 – 1	0,1
A_{vu}	afstromingsvertraging vlak uitgestrekt terrein	min^{-1}	0,1	0 – 1	0,1

Bron: Stichting RIONED, 2003

In de publicatie van de NWRW wordt voorgesteld om bij modellering voor open verhard oppervlak uit te gaan van een maximum infiltratiecapaciteit van 10mm/h, een minimum van 2mm/h, een afname van 3/h en een herstel van 0,1/h overeenkomend met de mediaanwaarden van het onderzoek van Van Dam & Schotkamp. Daarbij wordt aangegeven dat

de waarden relatief laag zijn gekozen om de kans op onderschatting van de hoeveelheid neerslag die het riool inloopt te beperken (NWRW, 1989).

De Module C2100 van de Leidraad Riolering waarin de systematiek voor de opzet en uitvoering van hydraulische berekeningen is gegeven (waaronder het inloopmodel) heeft het rapport van de NWRW als uitgangspunt genomen, maar voor nog lagere waarden van de infiltratiecapaciteit gekozen. Ook weer vanuit de redenering dat het beste 'veilige' waarden kunnen worden gekozen. Het inloopmodel zoals beschreven in deze module, gaat uit van een maximum infiltratiecapaciteit van 2mm/h, een minimum van 0,5mm/h, een afname van 3/h en een herstel van 0,1/h (Stichting RIONED, 2004).

5.3.3 Variëren met maximum en minimum infiltratiecapaciteit

Omdat bij de gemeente Rotterdam voor de hydraulische herberekeningen wordt uitgegaan van het inloopmodel met waarden zoals beschreven in Module C2100 van de Leidraad Riolering, is daar bij de eerste modelleringsronde (paragraaf 5.2) vanuit gegaan.

Als eerste kalibratiestap zal gevarieerd worden met de maximum en minimum infiltratiecapaciteit. De k-waarde voor afname van de infiltratiecapaciteit wordt voorlopig nog gelijk gehouden op 3/h.

Met het oog op de uitkomsten van eerdere studies (paragraaf 5.3.2) zijn er twee scenario's bedacht, waarbij de maximum en minimum infiltratiecapaciteit 5 keer en 10 keer zo groot is gemaakt. Bij vergelijken van de uitkomsten bleek dat voor januari de praktijkuitkomsten tussen de uitgangssituatie en het scenario van 5 keer zo groot in lagen en dat voor juni en augustus de berekende uitkomsten de gemeten peilen nog niet voldoende naderden. Daarom zijn nog twee scenario's toegevoegd: een situatie met een 3 keer zo groot maximum en minimum infiltratiecapaciteit dan de uitgangssituatie (alleen voor de situatie in januari) en één met 20 keer zo groot maximum en minimum (alleen voor de situaties in juni en augustus). In tabel 5.5 staan de gekozen parameterwaarden voor de vijf scenario's nog eens samengevat.

Tabel 5.5: Uitgangspunten infiltratiecapaciteit bij de verschillende scenario's

Scenario's	Maximum *mm/h*	Minimum	Afname */h*	Herstel
Scenario 1: uitgangssituatie	2	0,5	3	0,1
Scenario 2: 3x zo groot*	6	1,5	3	0,1
Scenario 3: 5x zo groot	10	2,5	3	0,1
Scenario 4: 10x zo groot	20	5	3	0,1
Scenario 5: 20x zo groot**	40	10	3	0,1

*) alleen gemodelleerd voor de situatie op 3 januari 2012
**) alleen gemodelleerd voor de situaties op 11 juni 2012 en 5 augustus 2012

In bijlage X zijn grafieken opgenomen waarin het peilverloop bij de verschillende scenario's is weergegeven ter plaatse van het gemaal en de drie overstorten die in dit onderzoek centraal staan. Ter vergelijking zijn ook de gemeten peilen opgenomen in de grafieken.

Geconcludeerd kan worden dat een hogere waarde voor de maximum en minimum infiltratiecapaciteit tot gevolg heeft dat het peil enkele minuten (5 tot 10) later stijgt dan in de uitgangssituatie en een minder hoog peil (piek) bereikt.

Door de gekwadrateerde som van de verschillen tussen het gemeten en berekende peil te berekenen, kan bepaald worden welk scenario het beste past, namelijk degene met de kleinste som ('kleinste kwadraten methode'). In januari komt het peilverloop van scenario 1 het meest overeen met het verloop van de gemeten peilen. Doordat bij scenario 1 het vulgedrag beter wordt gevolgd, sluit dat scenario het beste aan. Al geeft scenario 2 een piekniveau dat beter past bij de gemeten waarden.

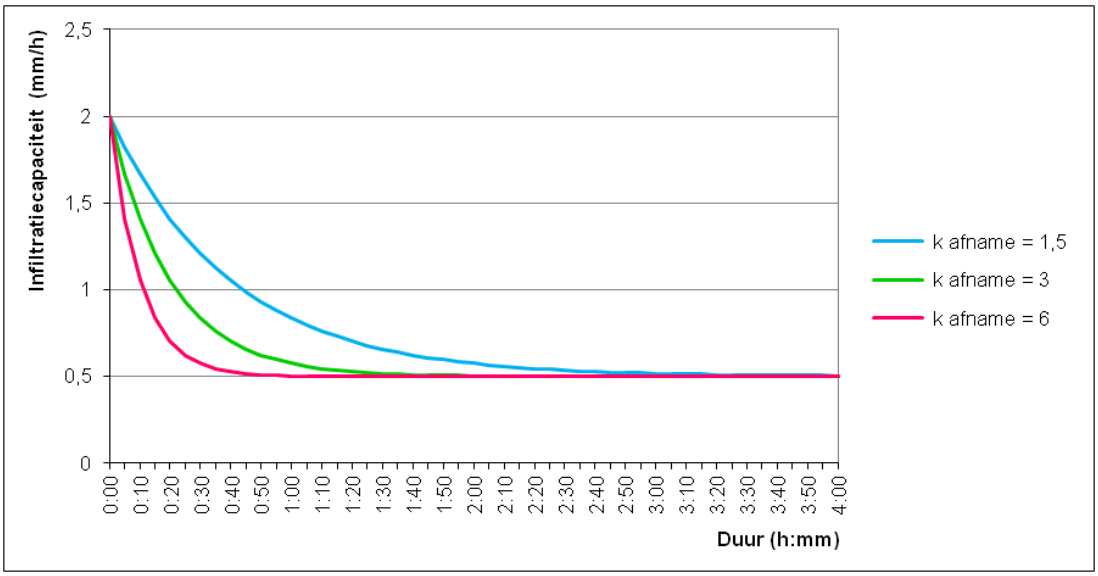
In januari is dus bij een relatief laag maximum en minimum infiltratiecapaciteit al een redelijk goede match met de gemeten peilen te maken. Voor juni en augustus is dit anders. Daar liggen zelfs bij scenario 5 de berekende peilen nog boven de gemeten peilen. In augustus is dit het meest opvallend. Daar wijken de berekende peilen van scenario 5 nog steeds ruim (10 tot 30cm) af van de gemeten peilen. De maximum en minimum infiltratiecapaciteit nog verder ophogen lijkt niet de oplossing. Vermoedelijk spelen voor augustus andere parameters nog een belangrijke rol.

Het verschil in best passende infiltratiecapaciteit tussen januari versus juni en augustus kan te maken hebben met seizoensinvloed. In januari is de grondwaterstand hoger en de grond daardoor over het algemeen vochtiger. En door de lagere temperatuur blijft de grond ook langer vochtig. Er kan dan minder neerslag infiltreren in de bodem.

5.3.4 Variëren met afname infiltratiecapaciteit

Als tweede kalibratiestap is gevarieerd in de waarde van de afname van de infiltratiecapaciteit, ook wel k_a-waarde genoemd. Als deze hoger is, betekent dat dat de infiltratiewaarde sneller afneemt en dus in kortere tijd van de maximumwaarde daalt naar de minimumwaarde (figuur 5.5).

Figuur 5.5: Voorbeeld verloop infiltratiecapaciteit bij verschillende k_a-waarden



Er is in deze fase doorgewerkt met het best passende scenario uit de vorige kalibratiestap. Voor januari was dat scenario 1 en voor juni en augustus scenario 5. Er zijn twee alternatieven gekozen: één met een 2 keer zo kleine k_a-waarde en één met een 2 keer zo grote k_a-waarde. Tabellen 5.6 en 5.7 geven een overzicht van de gebruikte infiltratieparameters.

Tabel 5.6: Uitgangspunten afname infiltratiecapaciteit bij de verschillende scenario's, situatie 3 januari 2012

Scenario's	Maximum *mm/h*	Minimum	Afname */h*	Herstel
Scenario 1A: afname 2x zo klein	2	0,5	1,5	0,1
Scenario 1B: uitgangssituatie	2	0,5	3	0,1
Scenario 1C: afname 2x zo groot	2	0,5	6	0,1

Tabel 5.7: Uitgangspunten afname infiltratiecapaciteit bij de verschillende scenario's, situaties 11 juni 2012 en 5 augustus 2012

Scenario's	Maximum *mm/h*	Minimum	Afname */h*	Herstel
Scenario 5A: afname 2x zo klein	40	10	1,5	0,1
Scenario 5B: uitgangssituatie	40	10	3	0,1
Scenario 5C: afname 2x zo groot	40	10	6	0,1

Hoe het peil verloopt bij de verschillende scenario's is te zien in de grafieken in bijlage XI. Bij een lagere waarde voor afname van de infiltratiecapaciteit is een latere stijging van het peil (minder dan 5 minuten) en een lager piekniveau (1 tot 3cm lager) te zien, dan wanneer wordt uitgegaan van een hogere waarde. Er is minder verschil tussen de scenario's dan bij de eerste kalibratiestap waar werd gevarieerd in maximum en minimum infiltratiecapaciteit.

Ook hier is weer de gekwadrateerde som van de verschillen bepaald. Daaruit blijkt dat voor de situatie in januari scenario 1C het best past bij de praktijkuitkomsten. Voor de situaties in juni en augustus is dit scenario 5A.

5.3.5 Aanpassing neerslag voor situatie augustus

Door de verschillen tussen juni en augustus bestaat het vermoeden dat voor de situatie op 5 augustus de neerslag die als input is gebruikt, niet goed past bij de praktijkuitkomsten. Kijkend naar het peilverloop binnen het stelsel lijkt de piek van de bui een minuut of vijf eerder te hebben plaatsgevonden. Aangezien de meting van de regenmeter in gebied 12 om 15:55uur een piek meet en de meter in gebied 18 om 16:05uur en daarbij combinerend dat de bui van het zuidwesten naar het noordoosten trok, lijkt het aannemelijk dat de bui vijf minuten eerder een piek kende. Bij de bepaling van de gewogen neerslag is daar niet voor gecorrigeerd. Daarom is getest of dezelfde neerslaggegevens, maar dan vijf minuten naar voren geschoven een betere match geven.

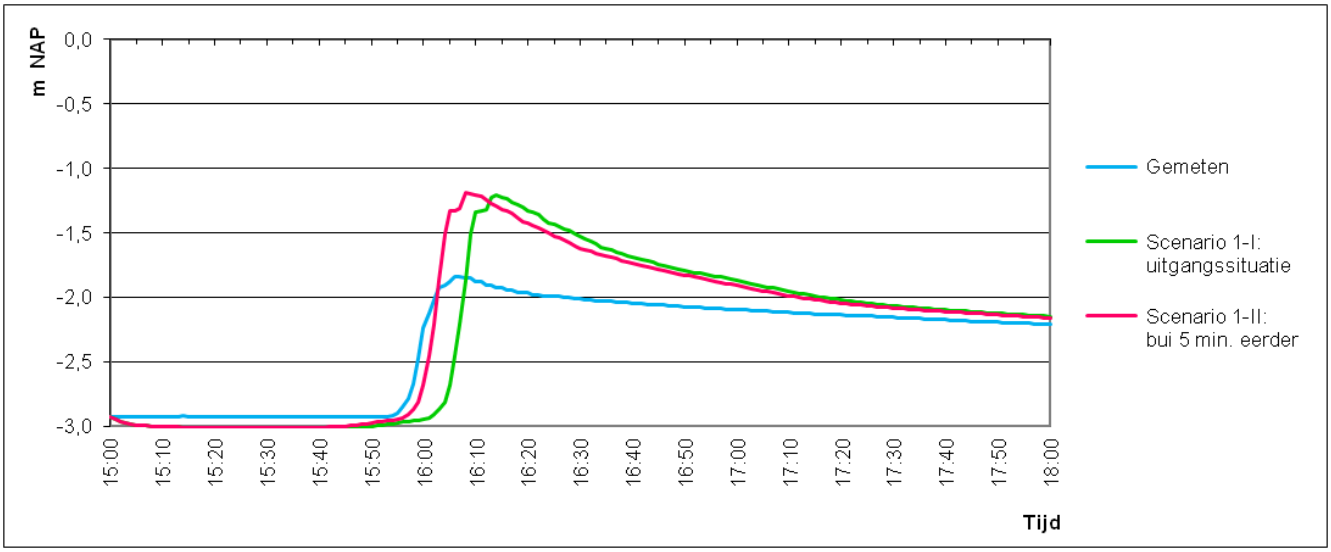
Ook bestaat het vermoeden dat de bui in gebied 10 een veel lagere neerslaghoeveelheid kende dan waarmee is gerekend. Daarom is ook getest of een lagere piek, bijvoorbeeld in plaats van 13,32mm maar 9,32mm (4mm lager), een betere match met de praktijkmetingen geeft.

Er is gerekend met de default infiltratiewaarden, waarmee in de uitgangssituatie is gerekend. In bijlage XII is voor de overstorten het peilverloop weergegeven van de uitgangssituatie, dus de gewogen neerslag zoals die voor dit onderzoek bepaald was (scenario 1-I), en de twee varianten:

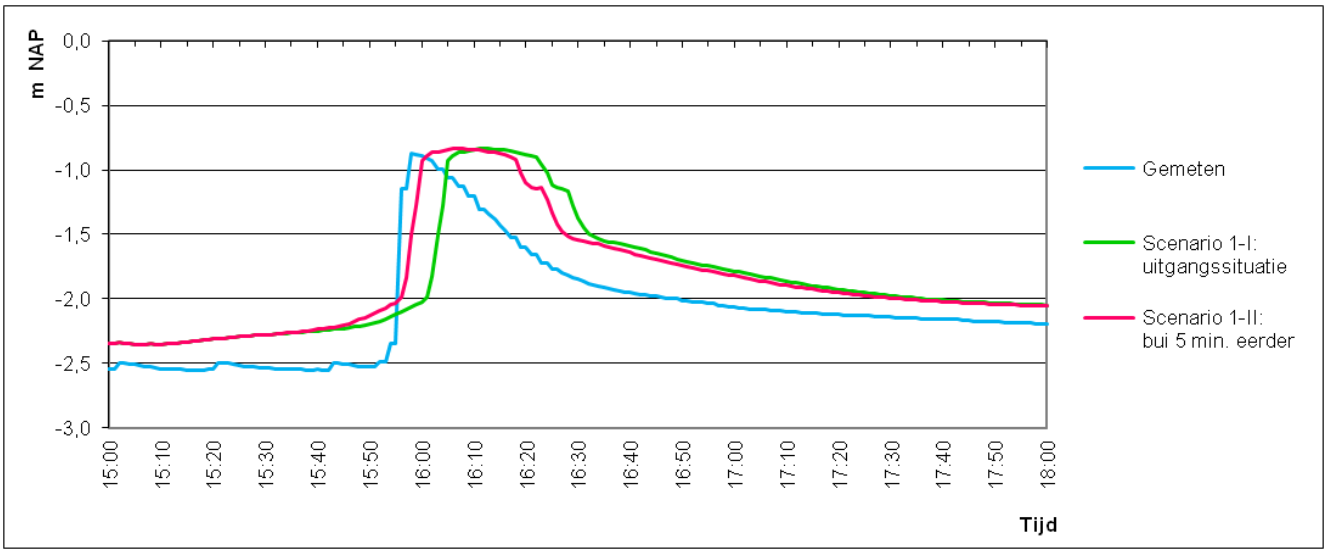
- bui 5 minuten eerder (scenario 1-II)
- een piek van 4mm lager (scenario 1-III)

Voor de meetpunten binnen het stelsel volgt bij scenario 1-II 'bui 5 minuten eerder' het berekende peil inderdaad het gemeten peil beter qua vulgedrag. Met name voor de punten aan de oostkant van het gebied. Figuren 5.6 en 5.7 geven hiervan voorbeelden. Opvallend is wel dat hetzelfde geldt voor overstort OS1601, maar niet voor de andere twee overstorten.

Figuur 5.6: Peilverloop op meetpunt SN243 bij scenario 1-II 'bui 5 minuten eerder'



Figuur 5.7: Peilverloop op meetpunt SN2899 bij scenario 1-II 'bui 5 minuten eerder'



Een lagere piek in de neerslag heeft vooral invloed op het maximum peil. Een verlaging van 4mm is niet voldoende om het berekende peil aan te laten sluiten op het gemeten peil. Er wordt met deze verlaging bijna hetzelfde niveau bereikt als bij scenario 5 waarin uitgegaan worden van een maximum infiltratiecapaciteit van 40 mm/h en een minimum van 10mm/h.

5.4 Vergelijking best passend scenario met praktijk

Net zoals eerder al voor de uitgangssituatie (paragraaf 5.2) is gedaan, is de overstortduur bij het best passende scenario bepaald (tabel 5.8). In tabel 5.9 zijn deze beide gezet naast de overstortduur die uit de praktijkmetingen is afgeleid (hoofdstuk 4.2.1). Dit geeft geen eenduidig beeld. Voor januari en augustus geldt dat de modeluitkomsten langere overstortduren geven. In juni is het verschil kleiner en deels geven de modeluitkomsten een kortere overstortduur.

Tabel 5.8: Overstortduur best passend scenario

Datum	Scenario	Sensor	Begin overstort	Op piekniveau	Eind overstort	Overstortduur
			tijdstip in h:mm			*duur in h:mm*
3 januari 2012	Scenario 1C	OS1601	15:54	16:12	17:08	1:14
		OS5813	15:49	16:04	17:03	1:14
		OS64	15:44	16:02	17:19	1:35
11 juni 2012	Scenario 5A	OS1601	16:27	16:42	18:02	1:35
		OS5813	16:23	16:38	17:53	1:30
		OS64	16:20	16:41	18:10	1:50
5 augustus 2012	Scenario 5A	OS1601	16:07	16:18	17:36	1:29
		OS5813	16:12	16:19	17:31	1:19
		OS64	16:09	16:15	17:47	1:38

Tabel 5.9: Vergelijking overstortduur

Datum	Sensor	Uitgangssituatie	Best passend scenario	Gemeten
		duur in h:mm		
3 januari 2012	OS1601	1:11	1:14	-
	OS5813	1:13	1:14	0:07
	OS64	1:17	1:35	1:21
11 juni 2012	OS1601	2:20	1:35	2:12
	OS5813	2:06	1:30	1:23
	OS64	2:28	1:50	1:57
5 augustus 2012	OS1601	1:45	1:29	1:04
	OS5813	1:36	1:19	0:24
	OS64*	>1:52	1:38	0:44

*) Op 5 augustus 2012 valt het tijdstip eind overstort buiten de gemodelleerde periode, dus is de overstortduur ook niet goed vast te stellen.

Voor de overstortvolumes geldt dat de volumes die berekend zijn op basis van de praktijkmetingen ruim lager liggen dan de volumes die bij de modelberekeningen zijn bepaald (tabel 5.10). Het op basis van de praktijkmetingen berekende overstortvolume ligt tussen 0,1% en 65,6% van het volume uit de modelberekeningen.

Tabel 5.10: Overstortvolumes gemeten, uitgangssituatie en best passend scenario

Datum	Sensor	Uitgangs-situatie m^3	Best passend scenario m^3	Gemeten m^3	*% van volume uitgangssituatie*	*% van volume best passend scenario*
3 januari 2012	OS1601	315,9	346,3	-	-	-
	OS5813	655,7	733,6	0,7	0,1	0,1
	OS64	649,5	689,0	241,3	37,2	35,0
11 juni 2012	OS1601	3.126,1	980,8	447,8	14,3	45,7
	OS5813	6.251,7	1.946,1	964,9	15,4	49,6
	OS64	2.852,6	1.240,4	813,3	28,5	65,6
5 augustus 2012	OS1601	2.560,4	1.412,3	255,8	10,0	18,1
	OS5813	5.082,3	2.823,4	52,0	1,0	1,8
	OS64	2.247,0	1.467,2	124,6	5,5	8,5

6 CONCLUSIE & AANBEVELINGEN

6.1 Inleiding

Tot slot zal in dit hoofdstuk de conclusie worden geformuleerd. Allereerst zullen de zes deelvragen worden beantwoord, waarna in de laatste paragraaf de uiteindelijke conclusie, oftewel de beantwoording van de centrale onderzoeksvraag, volgt.

6.2 Beantwoording deelvragen

Deelvraag 1
In welke mate zijn de gemeten gegevens bruikbaar?

Voor verslagperiode 1 juni t/m 31 december 2012 zijn de metingen uit de dataset van het meetproject gevalideerd. De metingen zijn voor het merendeel goed bruikbaar. Bij 12 van de 17 sensoren kon meer dan 90% van de metingen worden goedgekeurd. De overige 5 sensoren geven beduidend minder goede metingen en zijn dan ook niet verder meegenomen in het onderzoek.

De mate van bruikbaarheid is afhankelijk van het doel. Voor beeldvorming van de situatie in het rioolstelsel bij bepaalde gebeurtenissen zijn de gegevens goed bruikbaar. Voor heel exacte kalibratie van het model met behulp van deze gegevens is de data op dit moment minder bruikbaar, maar er ligt wel een goede basis. De kwaliteit van de data neemt namelijk in de loop der tijd af, doordat door onduidelijkheid over het vervolg van het meetproject er sinds ongeveer halverwege 2012 geen onderhoud aan de sensoren meer gepleegd wordt. Er is bijvoorbeeld een verschuiving van het nulpunt van de sensor te zien (lineaire trend). Metingen laten ook in de loop der tijd vaker ruis zien.

De gemaalbassinpeilen, gemaaldebieten en neerslaggegevens zijn minder uitgebreid op bruikbaarheid onderzocht. Voor dit onderzoek waren de datasets goed bruikbaar. Alleen was het vanaf juli ontbreken van een werkende neerslagmeter in district 10 een beperkende factor bij het modelleerwerk.

Deelvraag 2
In welke mate is het gemaalbassinpeil bruikbaar als indicatie voor overstortgebeurtenissen?

Voor een vijftal overstortgebeurtenissen is het verloop van de gemeten peilen tijdens deze situaties vergeleken met het verloop van het gemaalbassinpeil. Deze blijken elkaar goed te volgen. Vooral de overstorten OS5813 en OS64 kennen een zeer sterk verband met het gemaalbassinpeil, maar ook OS1601 laat een sterk verband zien.

Als indicatie gaat de gemeente er op dit moment vanuit dat wanneer het peil bij de overstort op -2,1m NAP komt, er elders in het gebied overstortingen plaatsvinden. Uit de meetgegevens blijkt dat wanneer van deze indicatie wordt uitgaan, het aantal overstortgebeurtenissen wordt onderschat. In 2011 is er één overstortgebeurtenis geweest, die ook op basis van het gemaalbassinpeil is geregistreerd. Echter in 2012 hebben er vier overstortgebeurtenissen plaatsgevonden, waarvan er maar één is geregistreerd. En ook de overstortgebeurtenissen die in de eerste helft van 2013 hebben plaatsgevonden, zijn niet geregistreerd.

Over het algemeen ligt het gemaalbassinpeil 10 à 20cm lager dan het peil bij de overstort. Op basis van die uitkomst is onderzocht of het aanpassen van het indicatieniveau naar -2,3m NAP in plaats van -2,1m NAP een betere maat is. In de onderzochte periode (de maanden januari, juni, augustus en december 2012) worden met dit indicatieniveau alle overstortgebeurtenissen geregistreerd en geen buien zonder overstort ten onrechte gedetecteerd als

overstortgebeurtenis. Echter om te kunnen zeggen of dit in zijn algemeenheid geldt, zou meer onderzoek gedaan moeten worden, daarover meer bij de aanbevelingen (paragraaf 6.4).

Het lijkt op basis van deze uitkomsten aannemelijk dat de grote pompen in het gemaal het peil in het gemaalbassin omlaag trekken. Al op de dichtstbijzijnde meetpunten is het verschil van 10 à 20 cm aanwezig.

Deelvraag 3
Hoe functioneert het stelsel in district 10 in de praktijk tijdens buien die overstort-gebeurtenissen tot gevolg hebben?

De peilmetingen laten zien dat het verwachte patroon gevolgd wordt: het stelsel vult zich en het niveau komt na verloop van enige tijd een moment op grofweg gelijke hoogte te liggen, waarbij het water zich richting overstort gaat verplaatsen in plaats van enkel richting het gemaal. De overstortingen die plaatsvinden variëren qua duur tussen enkele minuten en ruim twee uur. Het gaat niet om langdurige overstortgebeurtenissen.

Er is een duidelijk verschil tussen het zuiden en het noorden. De zuidrand van het gebied wordt gevormd door een dijk; de meetpunten daar kennen een NAP-hoogte van ruim 2m hoger dan de rest van het gebied. Door het grotere verhang (tot wel 30‰) loopt het water daar sneller weg en is er maar even een sterke stijging en piek van het peil te zien. Veelal is het peil binnen een uur weer terug op zijn oorspronkelijke niveau.

Deelvraag 4
Hoe functioneert het stelsel in district 10 in theorie, volgens het SOBEK model, tijdens deze buien die overstortgebeurtenissen tot gevolg hebben?

Op basis van beschikbare neerslaggegevens en gemaaldebieten zijn de overstortgebeurtenissen met een SOBEK-model doorgerekend. Ook nu komen de uitkomsten grofweg overeen met de verwachtingen. Wel wordt bij de overstorten de drempel ruim overschreden. Al valt op dat de piek van het peil bij overstort OS64 lager ligt dan bij OS5813 en OS1601. De overstort-gebeurtenissen duren tussen de één en tweeënhalf uur.

Er valt meer over het hydraulisch functioneren van het stelsel in theorie te zeggen, wanneer dit wordt vergeleken met de praktijkuitkomsten. Daarover meer in deelvraag 5.

Deelvraag 5
In hoeverre wijkt de praktijk (uit deelvraag 3) af van de theorie (uit deelvraag 4)?

De uitkomsten van het model zijn vergeleken met de praktijkuitkomsten. Het patroon komt goed overeen. Maar wel liggen de met het model berekende peilen hoger dan de gemeten waarden. Dat is verklaarbaar, omdat het model bedoeld is om te controleren of aan de normen wordt voldaan en om wateroverlast te voorkomen. Om te voorkomen dat knelpunten worden onderschat wordt er gerekend met conservatieve uitgangspunten. Echter voor een goed beeld van overstortgebeurtenissen is het model minder geschikt. In dit onderzoek was de met het model berekende duur van de overstortgebeurtenissen vaak langer en in combinatie met het hogere peil was ook het overstortvolume dat met het model werd bepaald hoger dan in uit de gemeten peilen werd afgeleid. Echter gezien de werkwijze bij de overstortvolume-berekening moeten de uitkomsten voorzichtig worden geïnterpreteerd.

Deelvraag 6
Zijn er op basis van de praktijkdata en/of het theoretisch model verklaringen te vinden voor de verschillen tussen theorie en praktijk (deelvraag 5)?

Om de uitkomsten van het model dichter bij de praktijkmetingen te brengen is het model gekalibreerd door enkele parameters aan te passen. Het onderzoek heeft zich toegespitst op de infiltratiecapaciteit, omdat de invloed van deze parameter op de uitkomsten aanzienlijk kan zijn. Van de andere parameters was de verwachting dat deze al redelijk goed in het model verwerkt zijn (bijvoorbeeld aangesloten verhard oppervlak) of dat de impact op de uitkomsten klein is (bijvoorbeeld DWA-toevoer, verdamping en vertraagde instroom).

Voor de overstortgebeurtenissen in januari en juni kon door de infiltratiecapaciteit aan te passen een betere match met de praktijkuitkomsten worden bereikt. Wel waren er tussen deze situaties verschillen op te merken. Het verschil tussen theorie en praktijk was bij de januari-bui kleiner dan bij de bui in juni. Ook paste bij de januari-bui een lagere infiltratiecapaciteit dan bij de juni-bui. Aannemelijk is dat dit te maken heeft met seizoensinvloed. Variëren met afname van de infiltratiecapaciteit (k-waarde) heeft een minder grote impact en brengt het model maar weinig dichter bij de praktijkmetingen.

Voor de overstortgebeurtenis in januari en juni was een neerslagmeting binnen het onderzoeksgebied beschikbaar. Echter voor augustus kon alleen gebruik gemaakt worden van neerslagmeters in de omgeving: in district 12, 18 en de KNMI-meting op Rotterdam – The Hague Airport. De modeluitkomsten van augustus bleken het meest af te wijken van de praktijkuitkomsten. Variëren met de infiltratiecapaciteit leverde slechts in beperkte mate een beter beeld op. Door de neerslagpiek met enkele mm omlaag te brengen kwam het berekende peil wel dichter bij het gemeten peil, maar lag het nog steeds te hoog. Hieruit valt te concluderen dat een onnauwkeurige neerslaginput een groot effect heeft op de uitkomsten.

6.3 Conclusie

Centrale onderzoeksvraag
In welke mate kunnen de reeds gedane metingen in het rioolstelsel binnen district 10 bijdragen aan een beter inzicht in het daadwerkelijk (in de praktijk) hydraulisch functioneren van het stelsel?

De gedane metingen in het rioolstelsel in district 10 kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan meer inzicht in het hydraulisch functioneren van dit stelsel. De mate van bruikbaarheid is wel afhankelijk van het doel. Zonder onderhoud van de sensoren neemt de kwaliteit van de data in de loop van de tijd af en wordt minder nauwkeurig, dus voor exacte kalibratie van het model steeds minder bruikbaar. Daarentegen kunnen door naar patronen te kijken wel interessante vraagstukken worden beantwoord.

Ten eerste blijkt dat het gemaalbassinpeil bij overstortgebeurtenissen een grote samenhang kent met de peilen bij de overstort. Echter de indicator die de gemeente gebruikt voor overstortgebeurtenissen (een gemaalbassinpeil van -2,1m NAP) onderschat het werkelijke aantal overstortgebeurtenissen. Het gemaalbassinpeil ligt bij deze gebeurtenissen veelal 10 à 20 cm lager dan het peil bij de overstort.

Ten tweede wijst vergelijking van modeluitkomsten met praktijkuitkomsten uit dat het model de werkelijkheid juist overschat. Ook hier is de vraag of dit een probleem is weer afhankelijk van het doel. Om te berekenen of aan de normen wordt voldaan en om wateroverlast te voorkomen (vraagstukken waarvoor het model over het algemeen wordt gebruikt), is deze aanpak gerechtvaardigd. Echter om een goede inschatting te maken van wat er werkelijk gebeurt bij overstortgebeurtenissen (overstortduur en volumes) is het minder geschikt. Het

huidige model geeft vaak een langere overstortduur en hoger peilniveau tijdens overstort. En dus ook hogere overstortdebieten dan er in werkelijkheid waarschijnlijk zijn geweest.

Hoewel de praktijkmetingen dus interessante inzichten kunnen opleveren, is niet alleen een focus op deze informatie nodig, maar is vooral ook een goede neerslagmeting van grote waarde. Uit dit onderzoek is gebleken dat het lastig is om zonder neerslagmeting in het gebied zelf de lokale neerslagsituatie goed in te kunnen schatten. Er kunnen grote lokale verschillen zijn. En een klein verschil in neerslaginput kan in het model duidelijk andere uitkomsten opleveren. En kalibratie van het model lastig maken.

6.4 Aanbevelingen

6.4.1 Goed beeld van overstortgebeurtenissen

Uit dit onderzoek is gebleken dat het gemaalbassinpeil in district 10 bij overstort-gebeurtenissen veelal 10 à 20 cm lager ligt dan het peil bij de overstort. Een interessant aanvullend onderzoek zou zijn om te kijken of ditzelfde ook in andere districten geldt.

Verder biedt een gemaalbassinpeil van -2,2m NAP of -2,3m NAP mogelijk een betere indicatie van overstortgebeurtenissen dan het huidige peil dat gehanteerd wordt: -2,1m NAP. Bij een lager peil als indicatieniveau bestaat wel de kans dat situaties ten onrechte als overstortgebeurtenis worden gedetecteerd. Voor de in dit onderzoek bekeken periode bleek dit niet het geval. Maar om te kunnen zeggen of dit in zijn algemeenheid geldt, is nader onderzoek nodig. Dit kan vrij eenvoudig gedaan worden door over een langere tijdsperiode te kijken op welke dagen (tijdstippen) het gemaalbassinpeil bijv. -2,3m NAP bereikt. En dan in het Argussysteem, waarin de praktijkmetingen zijn opgeslagen, te kijken of de sensoren bij de overstort een peilniveau boven hun overstortdrempel laten zien of (net) niet.

Op dit moment wordt het model gebruikt om te controleren of aan de normen wordt voldaan en om wateroverlast te voorkomen. Als het doel van de gemeente is om het ook te gaan gebruiken voor een goed beeld van overstortgebeurtenissen, zou het model nog exacter gekalibreerd moeten worden. Wat daarbij van groot belang is, is een goede neerslagmeting. Doordat neerslag soms heel lokaal valt, is werken met een gewogen gemiddelde van omliggende regenmeters veelal niet geschikt. Een klein verschil in neerslaginput kan in het model duidelijk andere uitkomsten opleveren. Zo bleek ook in dit onderzoek. Doordat district 10 een groot oppervlak beslaat, kan overwogen worden om meer dan één regenmeter te plaatsen of gebruik te maken van nauwkeurige neerslagradarbeelden. Door fijnmaziger meten van de neerslag kan de regionale spreiding beter worden bepaald.

6.4.2 Meetproject

Naast het werkend houden van de regenmeter in het onderzoeksgebied, is ook onderhoud van de overige meters van belang. Ze hangen in een ‘agressieve’ omgeving en kunnen daardoor snel problemen geven, waarop alert gereageerd moet worden. Dus een aanbeveling is om bij voortzetting van het meetproject voldoende energie te steken in monitoring en onderhoud. Problemen dienen op tijd opgemerkt te worden en opgelost, zodat een zo volledig mogelijke dataset van goede kwaliteit gecreëerd kan worden.

6.4.3 Databeheer

Voor dit onderzoek is een diversiteit aan datasets gebruikt. Deze waren erg versnipperd. Het betrof veel kleine, losse bestanden in verschillende bestandsformaten, waardoor het veel werk kostte om alles in overeenstemming met elkaar te brengen en, voor zover nodig, aan elkaar te koppelen. Ook lastig was dat de ene dataset uitging van Midden-Europese tijd zonder dat rekening werd gehouden met zomertijd (MET), een andere dataset uitging van Midden-Europese tijd met zomertijd (MEZT) en weer een andere van wereldtijd (UT).

De Argus software waarin de meetgegevens uit het meetproject zijn opgeslagen, biedt interessante mogelijkheden voor grafische weergave van de metingen tijdens een kortdurende gebeurtenis. Het systeem is echter minder geschikt voor uitgebreider onderzoek.

Als het doel van de gemeente is om op data meer onderzoek te doen, dan is daar nog een slag in te maken. Indien het doel enkel is om kleine selecties te maken (bijvoorbeeld een bui van enkele uren of één dag) dan is het minder relevant om hier energie in te steken.

7 BRONNEN

Buienradar (2013), *Radararchief*. Beschikbaar op internet; <http://www.buienradar.nl/radararchief> [6 december 2013].

Deltares (2013), *SOBEK Hydrodynamics, Rainfall Runoff and Real Time Control; User manual*. Delft: Deltares.

Gemeente Rotterdam (2003), *Herberekening Oosten (10); Analyse van het functioneren van het huidige rioolstelsel*. Rotterdam: Gemeentewerken Rotterdam.

Gemeente Rotterdam (2009), *Bedieningsplan gemaal G0010; Bemalingsdistrict "Het Oosten" 10*. Rotterdam: Gemeentewerken Rotterdam.

Gemeente Rotterdam (2010), *Systeemkenmerken gemaal 0010*. Rotterdam: Gemeentewerken Rotterdam.

Gemeente Rotterdam (2011a), *De kurkmethode; meten van overstorten* (PowerPointpresentatie van dhr. K. de Voogt).

Gemeente Rotterdam (2011b), *Gemeentelijk Rioleringsplan Rotterdam 2011-2015; hoofdrapport*. Beschikbaar op internet: <http://www.rotterdam.nl/GW/Document/Waterloket/GRP%20rapport%202011-2015%20juni2011.pdf> [25 september 2013].

Gemeente Rotterdam (2013a), *Argus Monitoring Software.* Beschikbaar op internet (inloggen vereist): <http://92.64.148.5/argus_demo/index.php> [27 december 2013].

Gemeente Rotterdam (2013b), *GisWeb 2.1*. Beschikbaar op internet (inloggen vereist): <http://www.gis.rotterdam.nl/gisweb2/default.aspx> [27 december 2013].

KWR Watercycle Research Institute (2010), *Over de kwaliteit, frequentie en validatie van druksensorreeksen*. Beschikbaar op internet: <http://www.kwrwater.nl/uploadedFiles/Website_KWR_Waterware/Menyanthes/Asmuth%202011%20kwaliteit%20frequentie%20validatie.pdf> [24 oktober 2013].

Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (NWRW) (1989), *Neerslag, inloop, overstort model beschrijving en analyse*; *NWRW publicatie 4.3*. Den Haag: Staatsuitgeverij.

Stichting RIONED (2003), *Meten en berekenen rioolstelsels; Een systematische en stapsgewijze methodiek voor het verbeteren van de betrouwbaarheid van hydraulische modelberekeningen.* Beschikbaar op internet (inloggen vereist): <http://www.riool.net/riool/pages/showPage.do?instanceid=31&itemid=5719&style=default> [4 oktober 2013].

Stichting RIONED (2004), *Leidraad Riolering Module C2100; Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren*. Beschikbaar op internet (inloggen vereist): <http://www.riool.net/riool/leidraad.do> [4 oktober 2013].

Stichting RIONED (2009), *Leidraad Riolering Module C2830; Verwerken en analyseren meetgegevens*. Beschikbaar op internet (inloggen vereist): <http://www.riool.net/riool/leidraad.do> [4 oktober 2013].

Ven, F.H.M. van de (1989), *Van neerslag tot rioolinloop in vlak gebied*. Beschikbaar op internet: <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid:650ad497-e122-4fb7-a7d6-9e444474365f/> [7 december 2013].

Witteveen+Bos, Gemeentewerken Rotterdam (2007), *Strategisch meetplan Rotterdam & Operationele meetplannen Oosten en Spaanse Polder*. Breda: Witteveen+Bos.

Witteveen+Bos, Gemeentewerken Rotterdam (2012), *Meet- en monitoringsplan riolering districten 10 en 12; Eindrapport (concept)*. Almere: Witteveen+Bos.

8 LIJST VAN TABELLEN & FIGUREN

Tabellen pagina

Hoofdstuk 1
Tabel 1.1: Locaties en codes van de meters 10

Hoofdstuk 2
Tabel 2.1 Kenmerken van de overstorten 16
Tabel 2.2: Overstortgebeurtenissen tussen 1 januari 2012 en 31 juli 2013 16
Tabel 2.3: Waterverbruik verdeeld over de dag 19
Tabel 2.4: Default inloopparameters 21

Hoofdstuk 3
Tabel 3.1: Overzicht metingen per sensor, naar tijdstempel 24
Tabel 3.2: Overzicht interval tussen twee metingen, naar grootte 25
Tabel 3.3: Bereik van de sensoren 26
Tabel 3.4: Aantal metingen dat buiten het bereik van de sensor valt 26
Tabel 3.5: Verloop trendlijn 27
Tabel 3.6: Correlaties (R^2) tussen de meetreeksen 28
Tabel 3.7: Overzicht goedgekeurde metingen 29
Tabel 3.8: Overzicht interval tussen twee metingen, naar grootte 29
Tabel 3.9: Maximum neerslaghoeveelheden 31

Hoofdstuk 4
Tabel 4.1 Tijdstip en duur overstortgebeurtenissen 32
Tabel 4.2: Overstortvolumes op basis van peilmetingen 34
Tabel 4.3: Gemiddeld verschil tussen peil bij overstort en gemaalbassinpeil 35
Tabel 4.4: Correlaties tussen verloop peil bij overstort en gemaalbassinpeil 36

Hoofdstuk 5
Tabel 5.1: Overstortduur uitgangssituatie 39
Tabel 5.2: Overstortvolumes uitgangssituatie 40
Tabel 5.3: Infiltratie in open verhard oppervlak volgens praktijkstudies 42
Tabel 5.4: Range inloopparameters 42
Tabel 5.5: Uitgangspunten infiltratiecapaciteit bij de verschillende scenario's 43
Tabel 5.6: Uitgangspunten afname infiltratiecapaciteit bij de verschillende scenario's, situatie 3 januari 2012 45
Tabel 5.7: Uitgangspunten afname infiltratiecapaciteit bij de verschillende scenario's, situaties 11 juni 2012 en 5 augustus 2012 45
Tabel 5.8: Overstortduur best passend scenario 47
Tabel 5.9: Vergelijking overstortduur 47
Tabel 5.10: Overstortvolumes gemeten, uitgangssituatie en best passend scenario 48

Figuren pagina

Hoofdstuk 1
Figuur 1.1: Overzichtskaart district 10 9

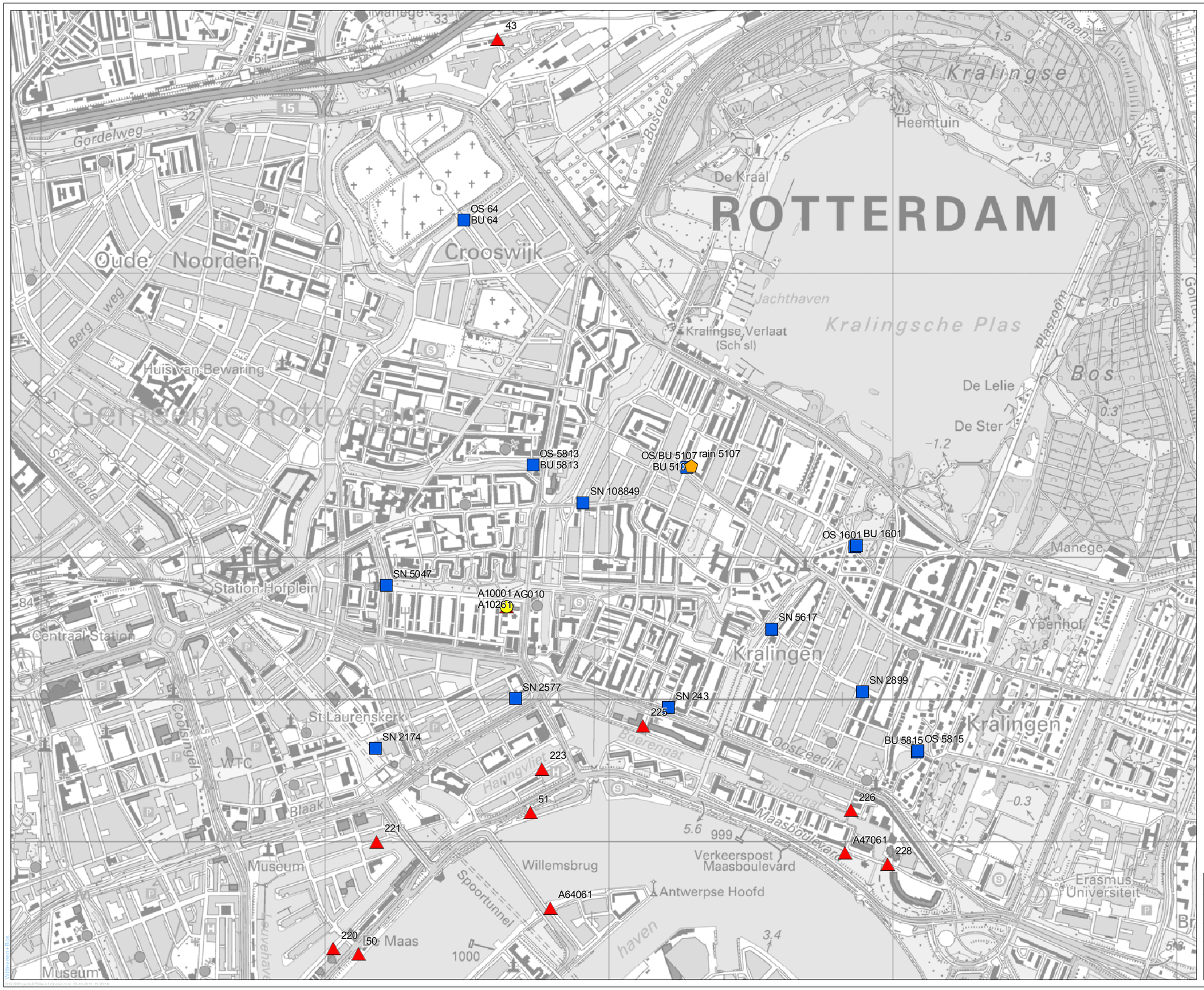
Hoofdstuk 2
Figuur 2.1: Argus Monitoring Software 11
Figuur 2.2: Oorspronkelijke situatie rond gemaal 10 18
Figuur 2.3: Aangepaste situatie rond gemaal 10 18
Figuur 2.4: Formule van Horton zoals toegepast in SOBEK 22

Hoofdstuk 3
Figuur 3.1: Invloed verschillende tijdstempel 23
Figuur 3.2: Verloop gemaalbassinpeil op 26 t/m 28 juni 2012 30

Hoofdstuk 4
Figuur 4.1: Formule voor berekening overstortvolume 33
Figuur 4.2: Gemaalbassinpeilen als indicator voor overstortgebeurtenissen 34

Hoofdstuk 5
Figuur 5.1: Side view leiding tussen gemaalbassin en OS64, 3 januari 2012 14:00uur 38
Figuur 5.2: Side view leiding tussen gemaalbassin en OS64, 3 januari 2012 16:00uur 38
Figuur 5.3: Peilverloop bij overstorten, situatie 11 juni 2012 39
Figuur 5.4: Berekend en gemeten peil bij SN2174, situatie 11 juni 2012 40
Figuur 5.5: Voorbeeld verloop infiltratiecapaciteit bij verschillende k_a-waarden 44
Figuur 5.6: Peilverloop op meetpunt SN243 bij scenario 1-II 'bui 5 minuten eerder' 46
Figuur 5.7: Peilverloop op meetpunt SN2899 bij scenario 1-II 'bui 5 minuten eerder' 46

BIJLAGE I: Kaart district 10 met meetlocaties



Legenda

- bestaande gemaalmeting
- bestaande niveaumeting
- nieuwe neerslagmeting
- nieuwe niveaumeting

N

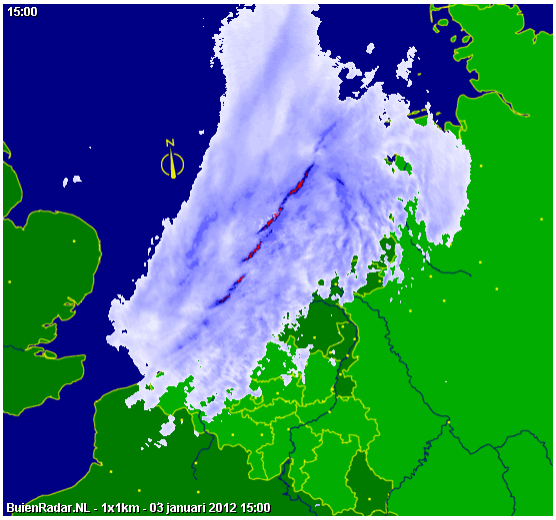
Meetlocaties Rotterdam	
District 10 Oosten	
schaal:	0 50 100 150 200 250 m
projectcode:	RT504-2-1
versie:	1
datum:	23-12-2011
getekend:	ir. P.H. Roeleveld
gecontroleerd:	ing. G. Tommassen
goedgekeurd:	ing. G. Tommassen

Witteveen + Bos

BIJLAGE II: Neerslaggegevens voor modellering

Situatie 3 januari 2012

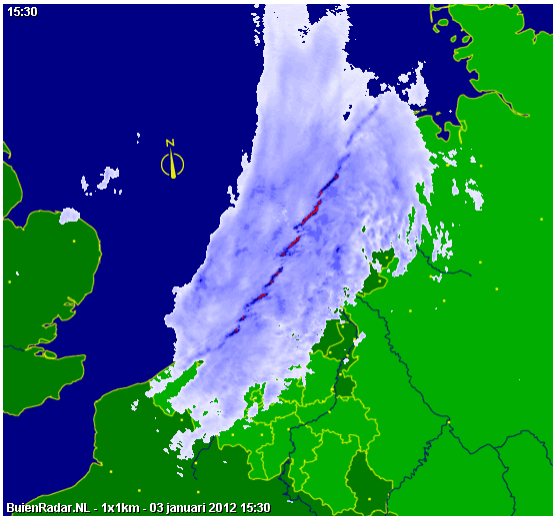
15:00uur



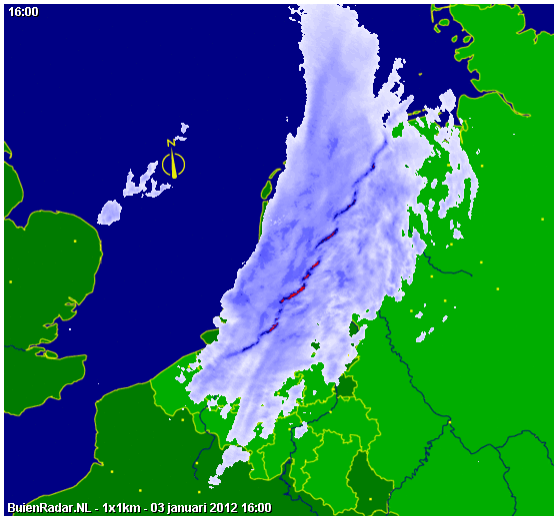
Een lange strook met neerslag trekt van west naar oost over Nederland.

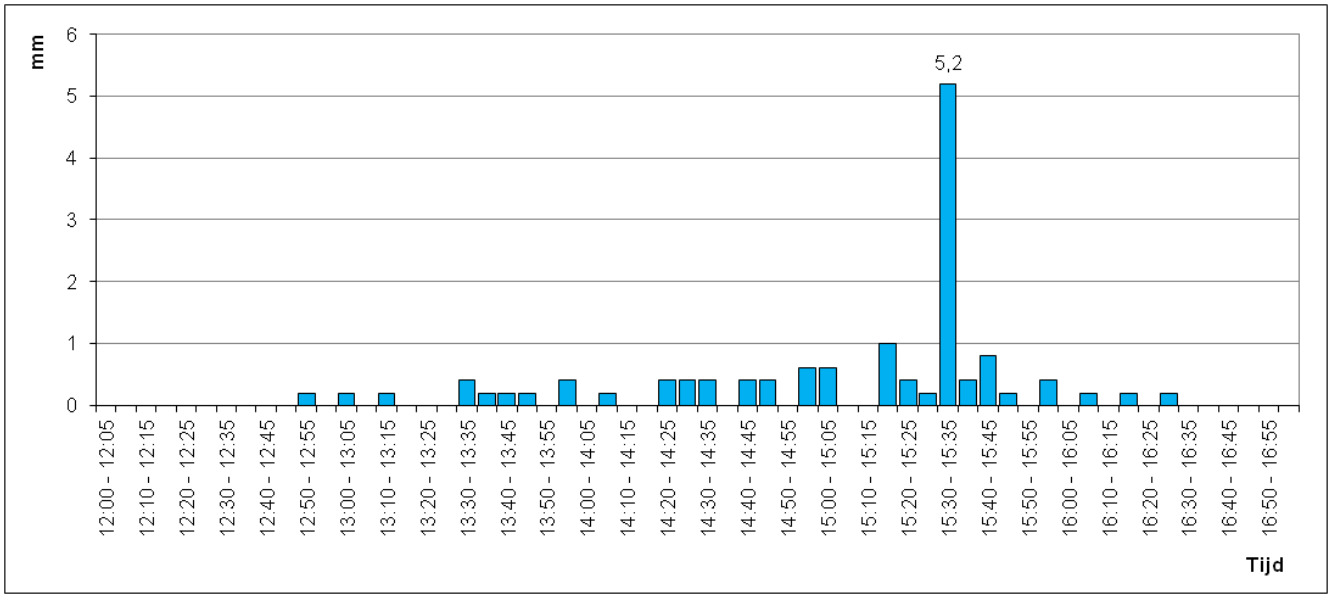
Bron: Buienradar, 2013

15:30uur



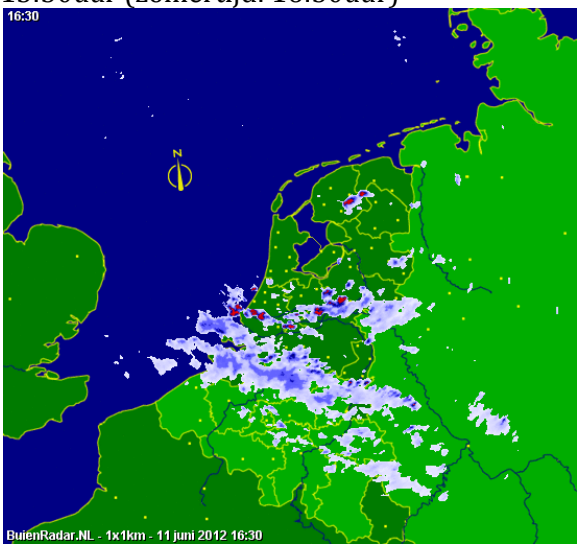
16:00uur





Situatie 11 juni 2012

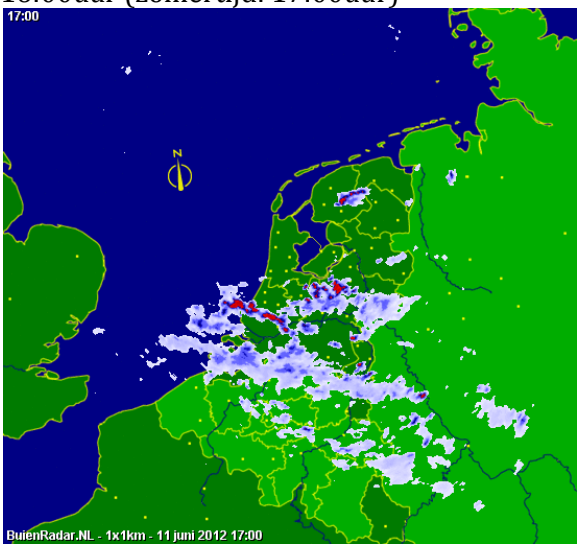
15:30uur (zomertijd: 16:30uur)



Verspreid over Nederland regent het op enige plaatsen flink, de buien trekken naar het westen weg.

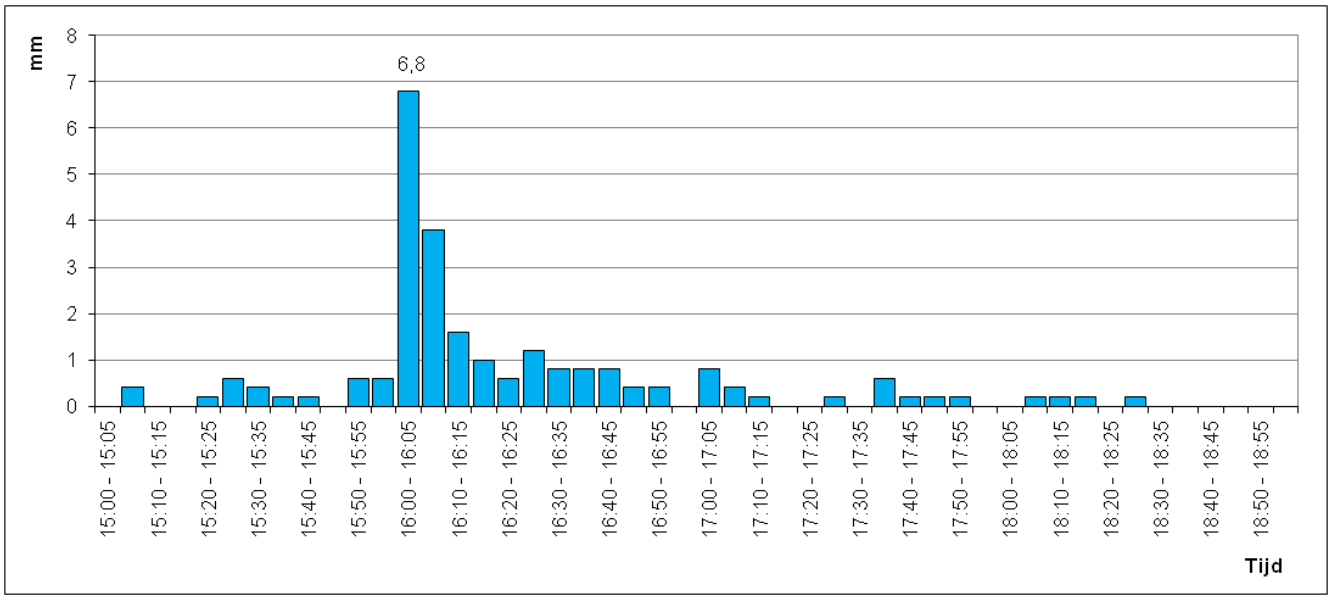
Bron: Buienradar, 2013

16:00uur (zomertijd: 17:00uur)



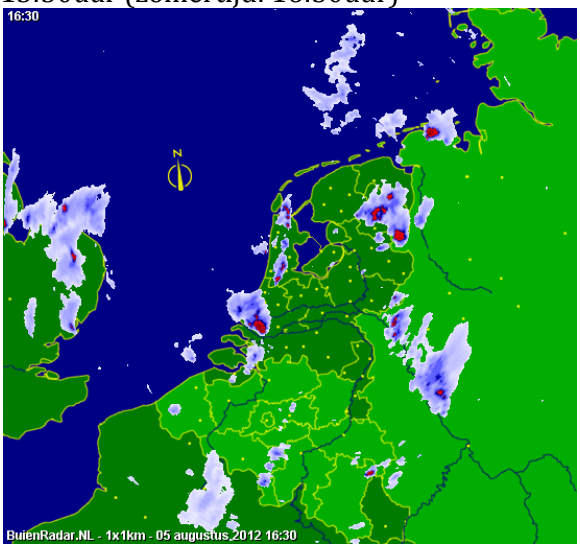
16:30uur (zomertijd: 17:30uur)





Situatie 5 augustus 2012

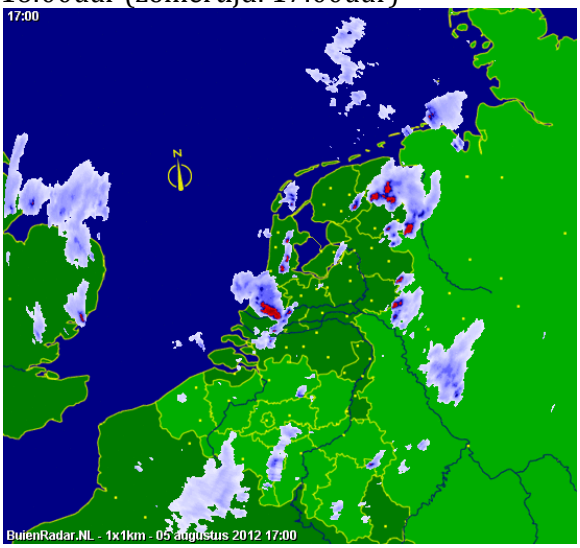
15:30uur (zomertijd: 16:30uur)



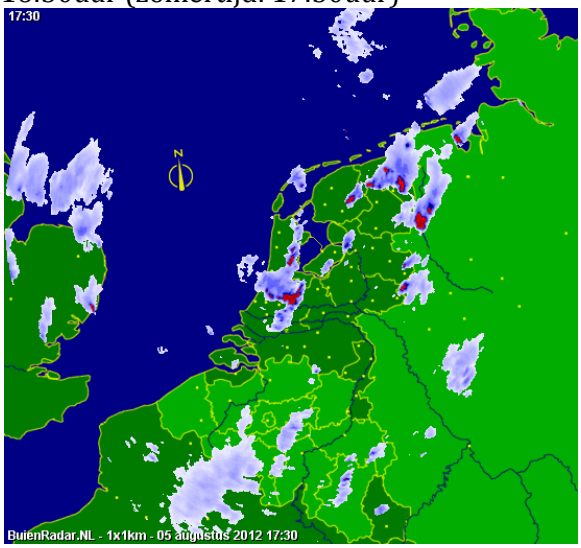
Verspreid over Nederland regent het op enige plaatsen flink, de buien trekken naar het noordoosten weg.

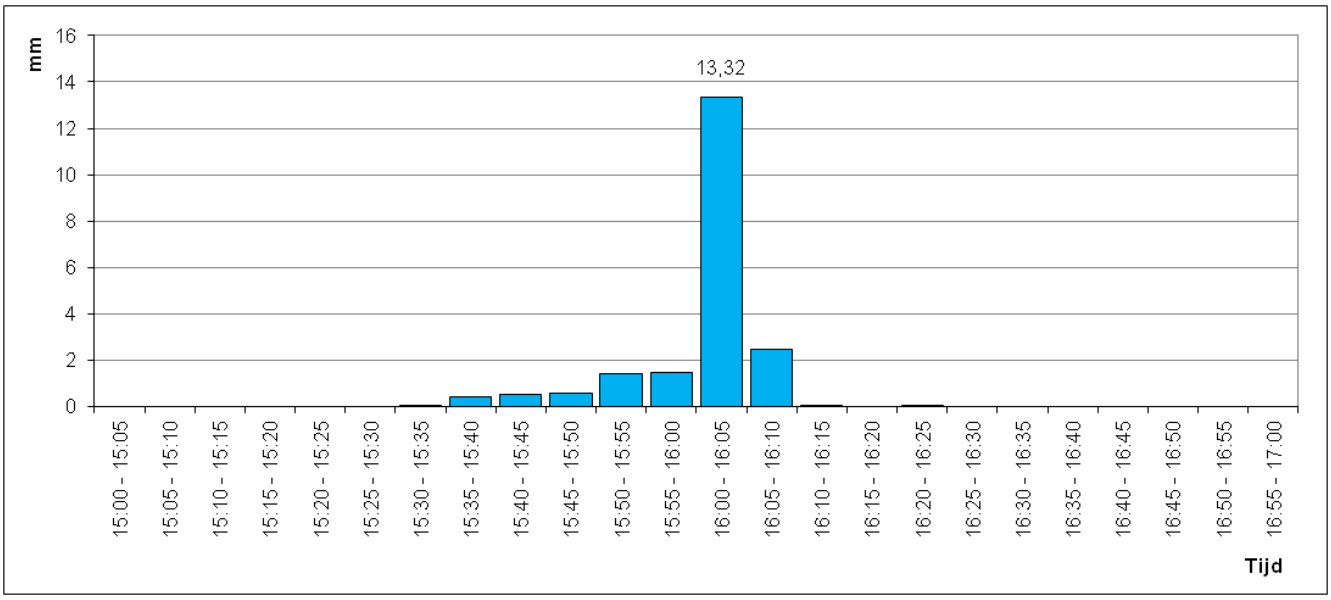
Bron: Buienradar, 2013

16:00uur (zomertijd: 17:00uur)



16:30uur (zomertijd: 17:30uur)





BIJLAGE III: Bepaling neerslaginput 5 augustus voor modellering

Formule 'Inverse distance weighted' (IDW):

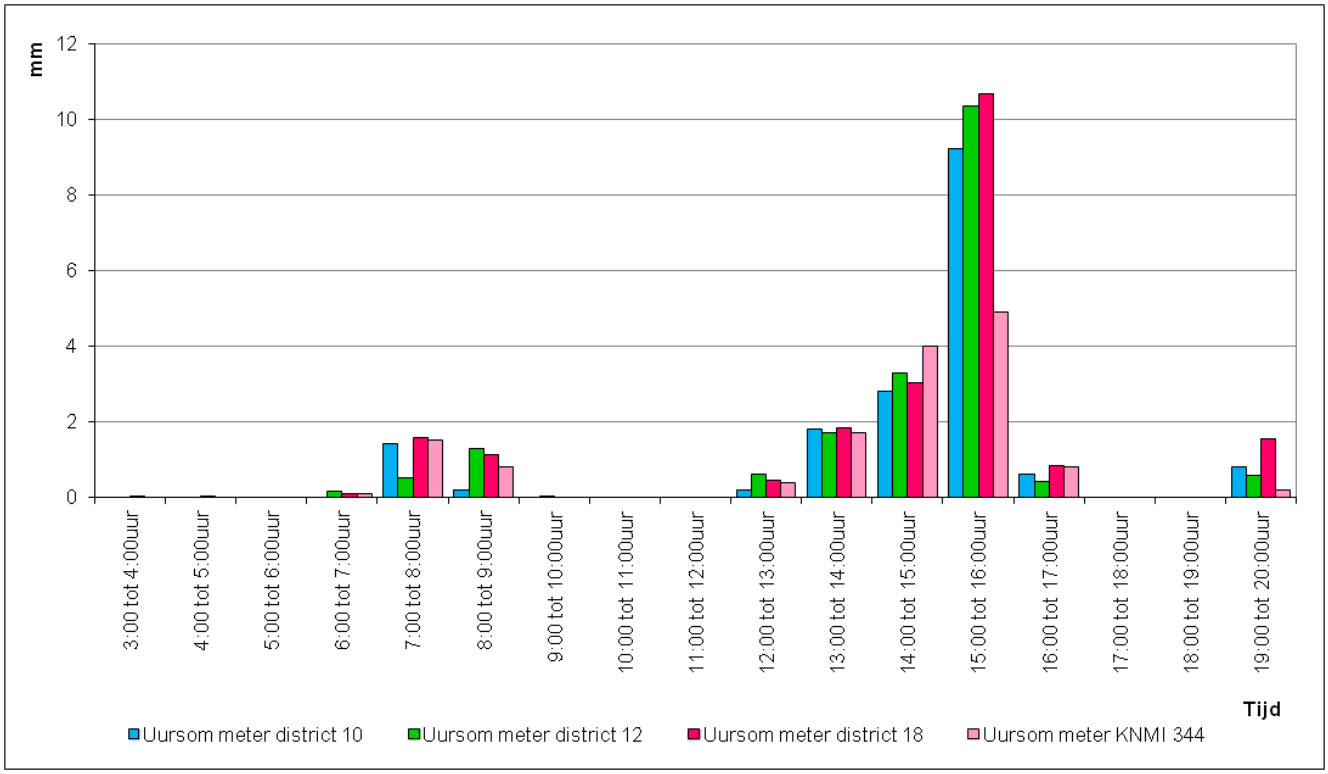
$$\frac{\frac{C_1}{d_1^2} + \frac{C_2}{d_2^2} + \frac{C_3}{d_3^2}}{\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} + \frac{1}{d_3^2}}$$

	Afstand tot midden district 10 (grofweg)		
	Meter district 12	Meter district 18	Meter KNMI 344
	km		
	d_1=	d_2=	d_3=
	5,8	3,3	4,8

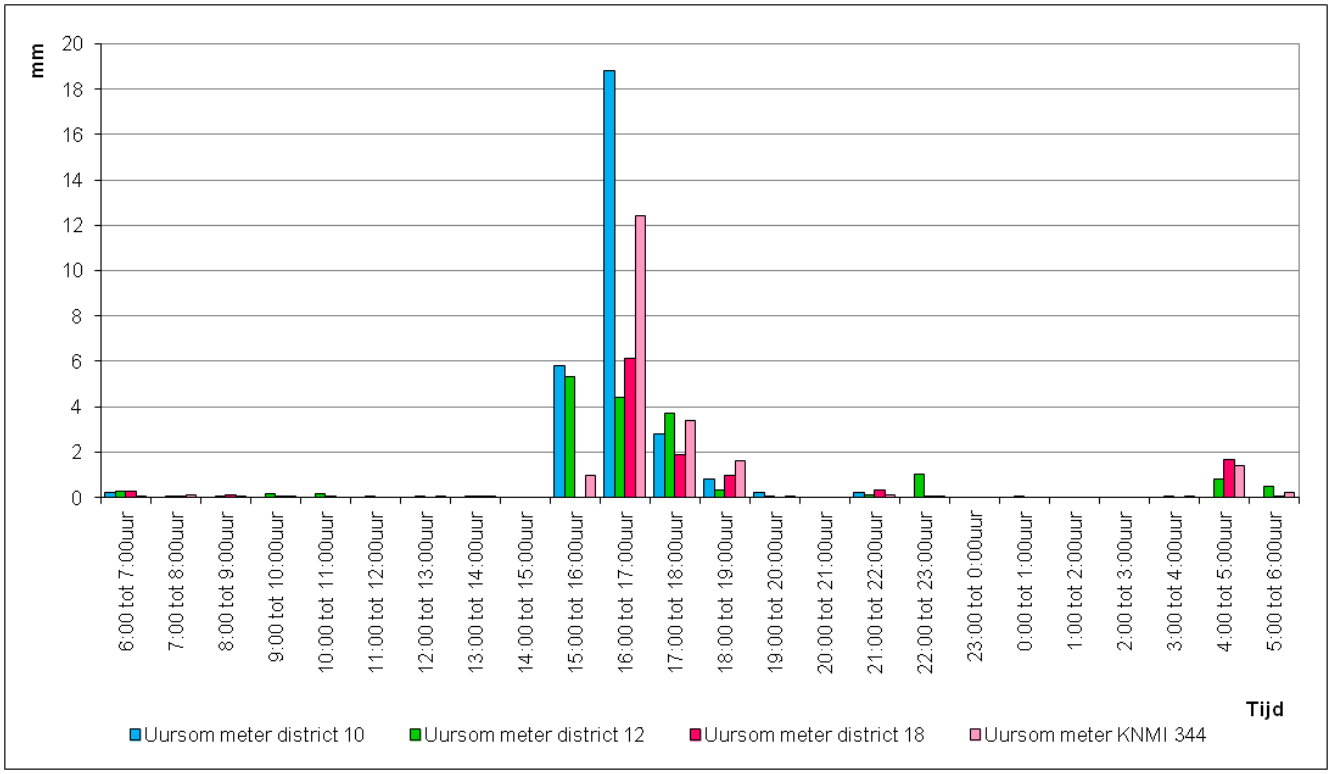
Tijd	Meter district 12	Meter district 18	Meter KNMI 344	Gewogen neerslag
	mm (vijfminuutsommen)			
	C_1=	C_2=	C_3=	
15:00 - 15:05	0	0	0	0
15:05 - 15:10	0	0	0	0
15:10 - 15:15	0	0	0	0
15:15 - 15:20	0	0	0	0
15:20 - 15:25	0	0	0	0
15:25 - 15:30	0	0	0	0
15:30 - 15:35	0,02	0	0	0,00
15:35 - 15:40	0,08	0	1,56	0,42
15:40 - 15:45	0,48	0,01	1,56	0,50
15:45 - 15:50	0,76	0,02	1,56	0,56
15:50 - 15:55	4,85	0,22	1,56	1,41
15:55 - 16:00	3,06	0,89	1,56	1,46
16:00 - 16:05	0,19	22,89	2,05	13,32
16:05 - 16:10	0,01	3,42	2,05	2,45
16:10 - 16:15	0	0,04	0	0,02
16:15 - 16:20	0	0	0	0
16:20 - 16:25	0,01	0	0	0,00
16:25 - 16:30	0	0	0	0
16:30 - 16:35	0	0	0	0
16:35 - 16:40	0	0	0	0
16:40 - 16:45	0	0	0	0
16:45 - 16:50	0	0	0	0
16:50 - 16:55	0	0	0	0
16:55 - 17:00	0	0	0	0

BIJLAGE IV: Neerslaggegevens van verschillende regenmeters

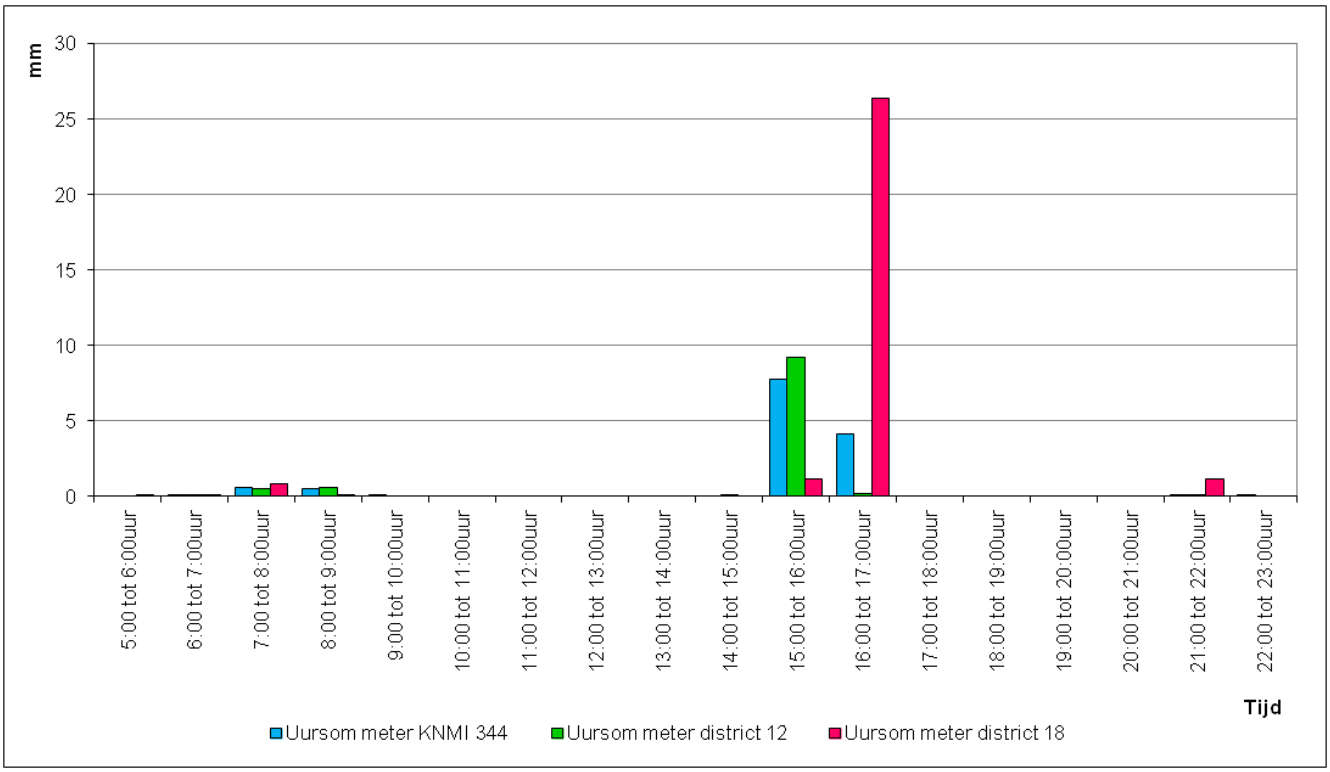
Situatie 3 januari 2012 (3:00uur tot 20:00uur)



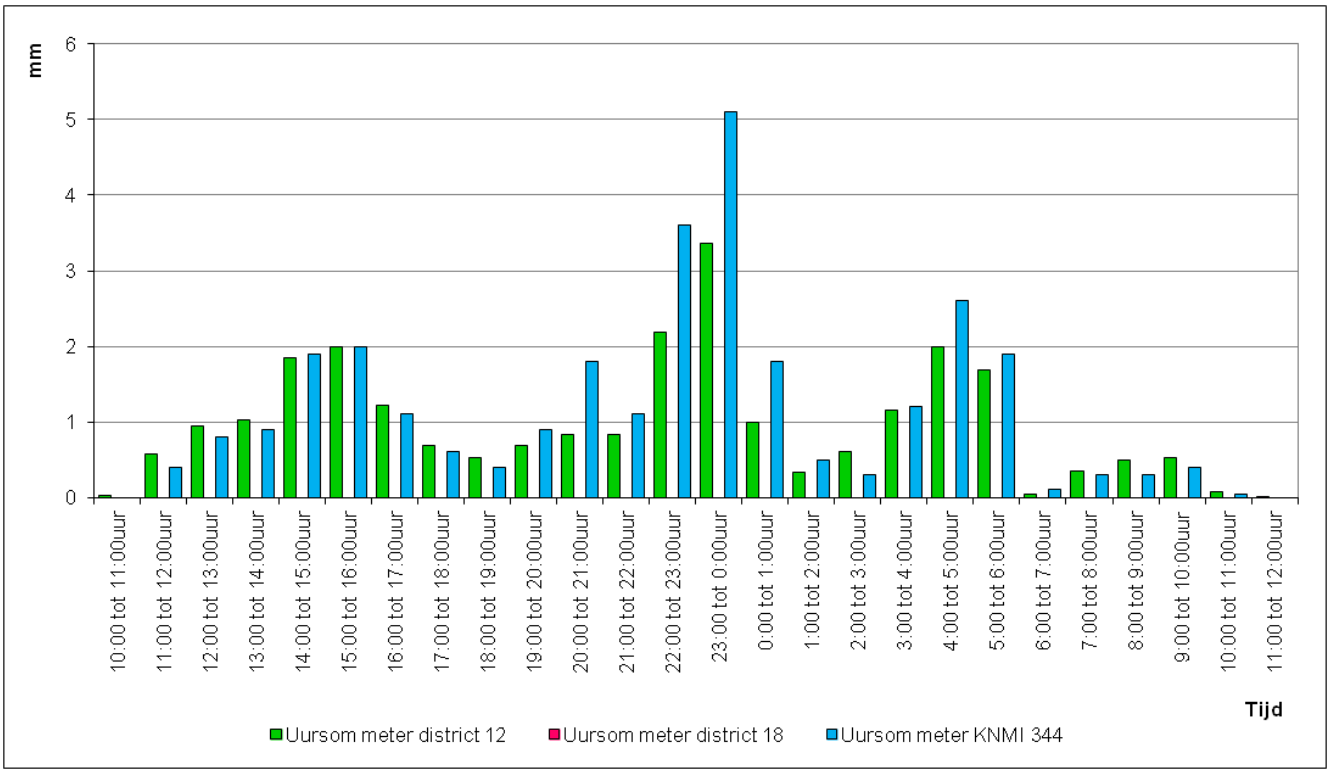
Situatie 11 juni 2012 (6:00uur; zomertijd: 7:00uur) tot 12 juni (6:00uur; zomertijd: 7:00uur)



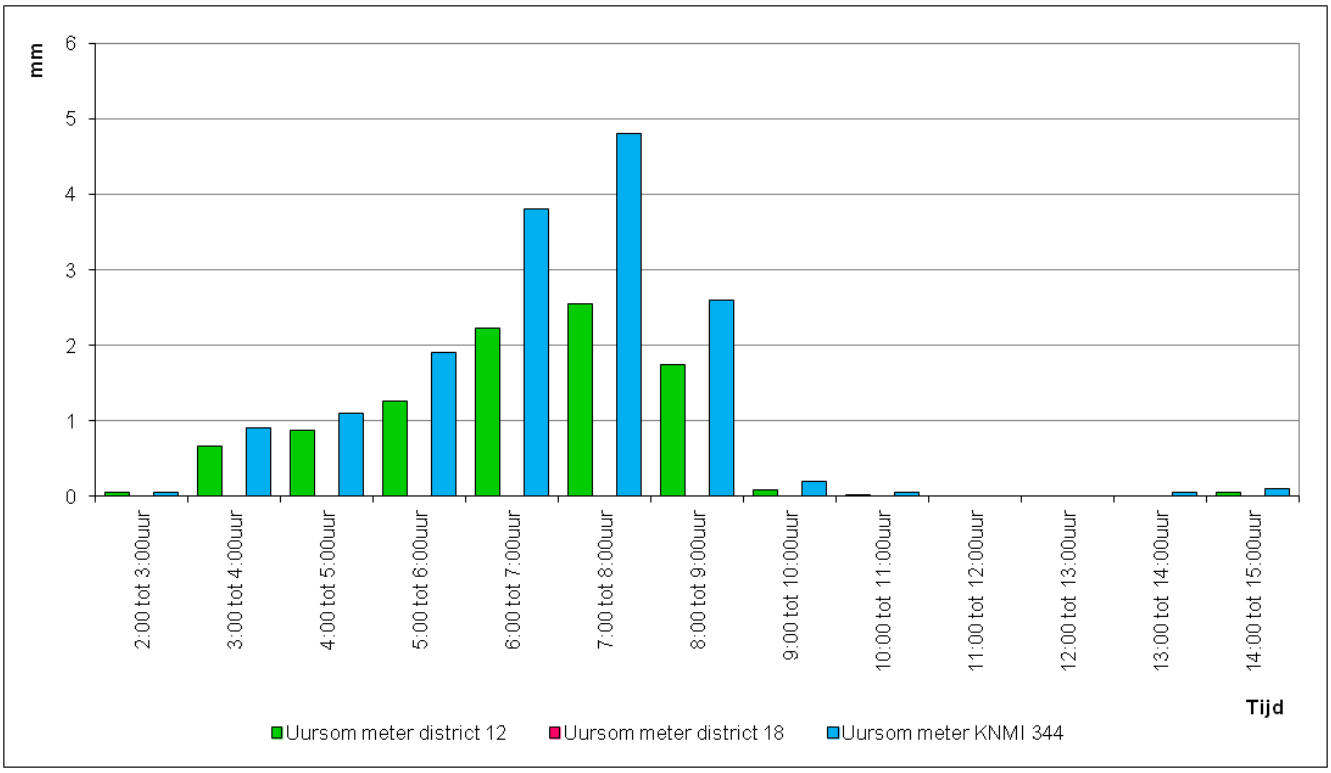
Situatie 5 augustus 2012 (5:00uur tot 23:00uur; zomertijd: 6:00uur tot 6 augustus 0:00uur)



Situatie 23 december 2012 (10:00uur) tot 24 december (12:00uur)



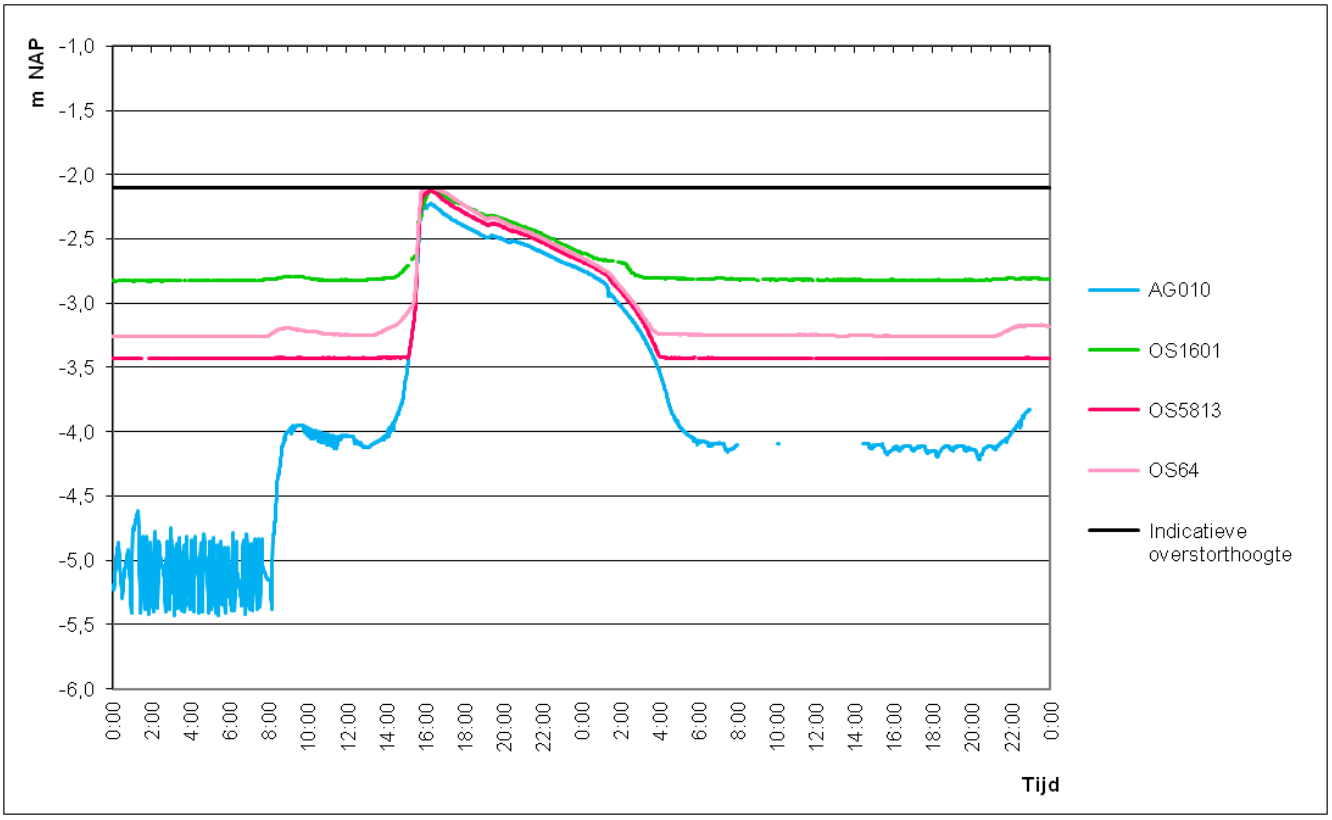
Situatie 30 januari 2013 (3:00uur tot 15:00uur)



BIJLAGE V: Vergelijking peil bij overstort met gemaalbassinpeil

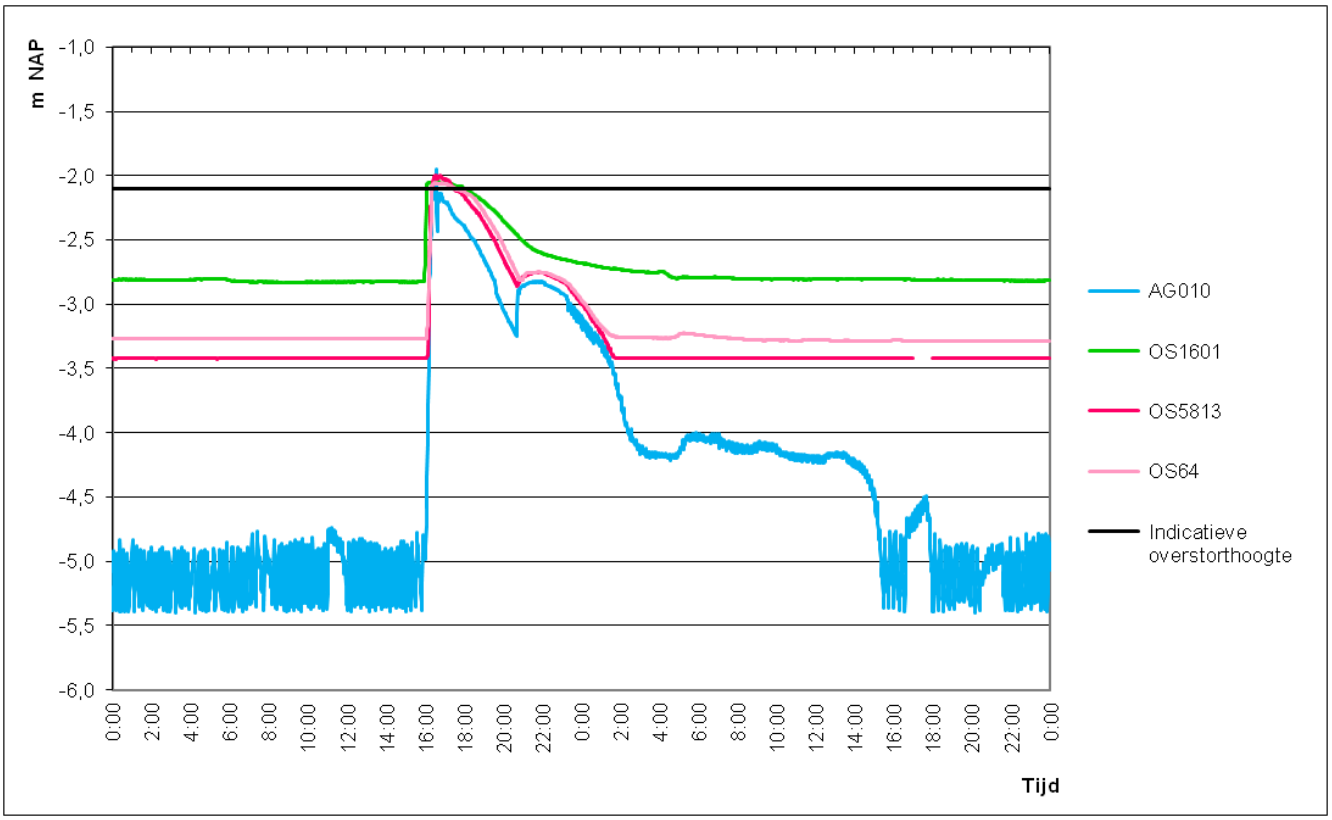
De putten waarin de sensoren zijn geplaatst kennen allen een verschillende diepte, vandaar dat de peilen bij droog weer ieder rondom een ander peil variëren.

Situatie 3 januari 2012 (0:00uur) tot 5 januari 2012 (0:00uur)



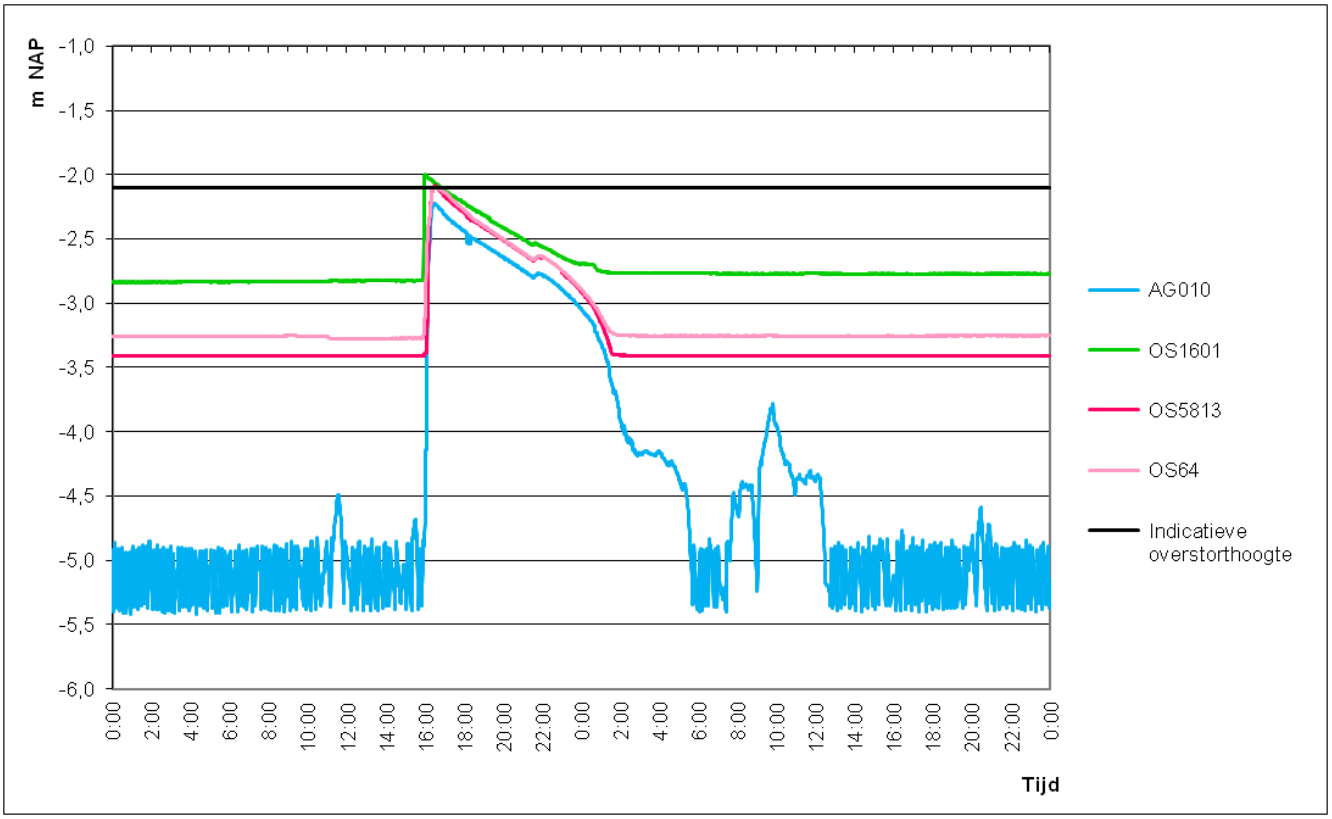
Situatie 11 juni 2012 (0:00uur) tot 12 juni 2012 (0:00uur)

Zomertijd: 11 juni 2012 (1:00uur) tot 12 juni 2012 (1:00uur)

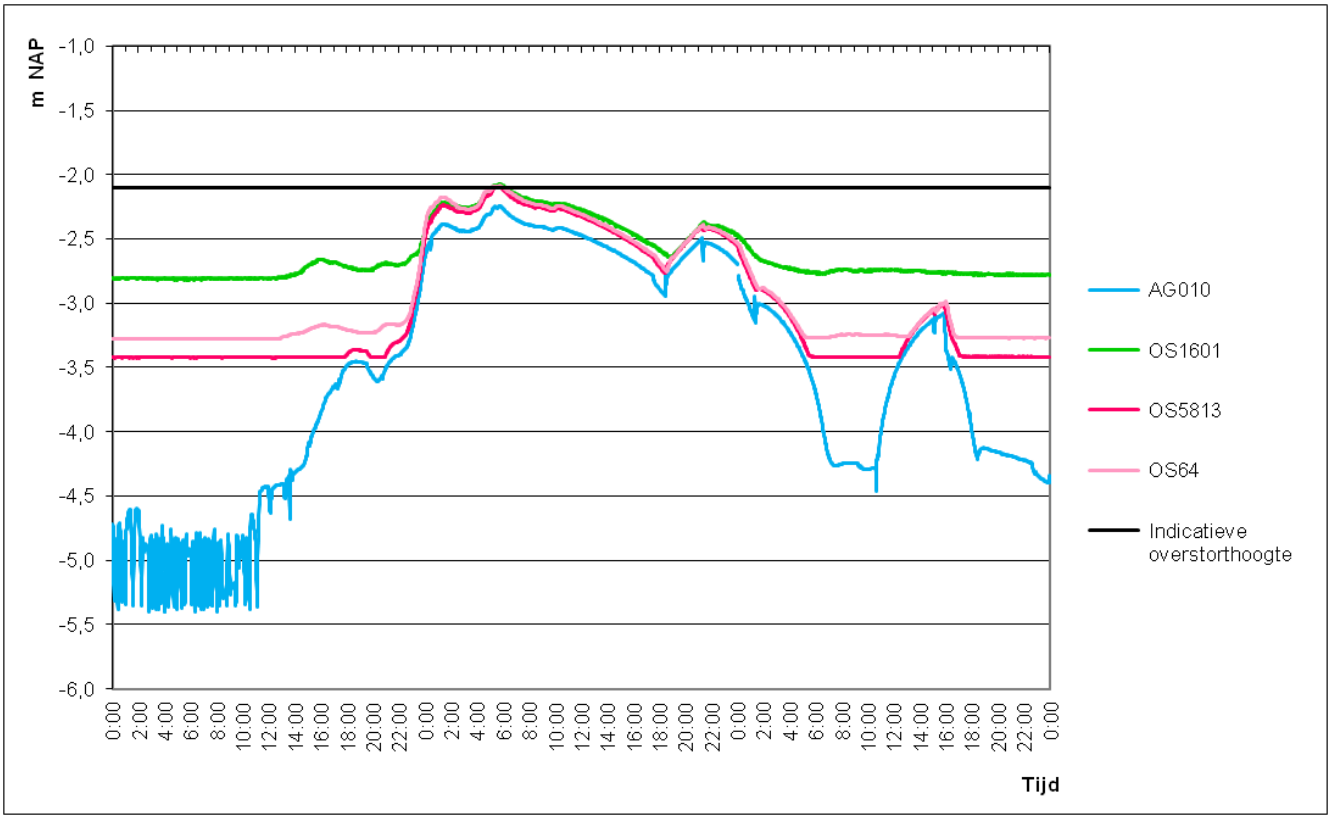


Situatie 5 augustus 2012 (0:00uur) tot 6 augustus 2012 (0:00uur)

Zomertijd: 5 augustus 2012 (1:00uur) tot 6 augustus 2012 (1:00uur)

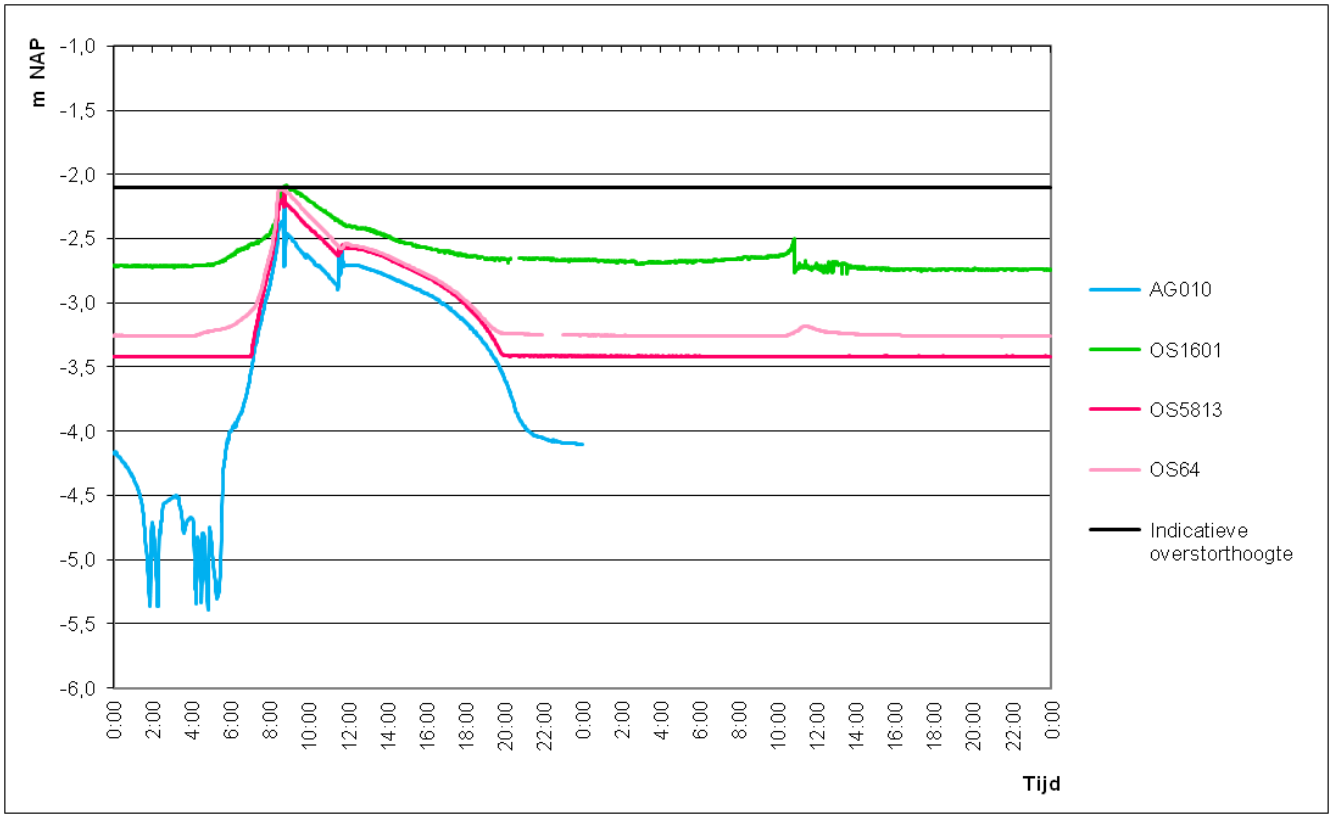


Situatie 22 december 2012 (0:00uur) tot 24 december 2012 (0:00uur)



Situatie 30 januari 2013 (0:00uur) tot 31 januari 2013 (0:00uur)

OS1601 liet op deze dagen veel uitbijters zien. De waarden die meer dan 0,08m per minuut toe- of afnamen en tussenliggende uitbijters zijn daarom verwijderd. Dit betreft een aanvulling op de validatieregels zoals bepaald in hoofdstuk 3.



BIJLAGE VI: Overzicht tijdstippen en duur

Datum	Sensor	Begin stijging niveau	Begin overstort	Op piekniveau	Eind overstort	95% terug op peil bij begin stijging
		Tijdstip in d-m-jjjj h:mm				
3 januari 2012	AG010	3-1-2012 13:45		3-1-2012 16:18		4-1-2012 5:04
	OS1601	3-1-2012 14:45	-	3-1-2012 16:20	-	4-1-2012 2:28
	OS5813	3-1-2012 15:12	3-1-2012 16:15	3-1-2012 16:18	3-1-2013 16:22	3-1-2012 18:44
	OS64	3-1-2012 14:41	3-1-2012 15:48	3-1-2012 16:19	3-1-2013 17:09	4-1-2012 3:09
11 juni 2012	AG010	11-6-2012 16:02	11-6-2012 16:27	11-6-2012 16:35	11-6-2012 16:36	12-6-2012 14:52
	OS1601	11-6-2012 15:58	11-6-2012 16:05	11-6-2012 16:42	11-6-2012 18:17	12-6-2012 4:31
	OS5813	11-6-2012 16:03	11-6-2012 16:22	11-6-2012 16:36	11-6-2012 17:45	12-6-2012 1:26
	OS64	11-6-2012 16:06	11-6-2012 16:22	11-6-2012 16:50	11-6-2012 18:19	12-6-2012 1:16
5 augustus 2012	AG010	5-8-2012 15:52		5-8-2012 16:28		6-8-2012 5:36
	OS1601	5-8-2012 15:55	5-8-2012 15:58	5-8-2012 16:02	5-8-2012 17:02	5-8-2012 22:17
	OS5813	5-8-2012 15:58	5-8-2012 16:24	5-8-2012 16:32	5-8-2012 16:48	6-8-2012 1:11
	OS64	5-8-2012 15:56	5-8-2012 16:22	5-8-2012 16:32	5-8-2012 17:06	6-8-2012 1:26
23 december 2012	AG010	22-12-2012 11:09		23-12-2012 5:44		24-12-2012 7:59
	OS1601	22-12-2012 13:26	23-12-2012 5:04	23-12-2012 5:42	23-12-2012 6:33	24-12-2012 5:00
	OS5813	22-12-2012 17:55	23-12-2012 5:11	23-12-2012 5:43	23-12-2012 6:06	24-12-2012 5:16
	OS64	22-12-2012 12:57	23-12-2012 4:34	23-12-2012 5:43	23-12-2012 6:46	24-12-2012 4:53
30 januari 2013	AG010	30-1-2013 5:29		30-1-2013 8:46		x
	OS1601	30-1-2013 5:33	30-1-2013 8:38	30-1-2013 8:53	30-1-2013 9:15	30-1-2013 18:47
	OS5813	30-1-2013 7:04	30-1-2013 8:45	30-1-2013 8:45	30-1-2013 8:45	30-1-2013 19:45
	OS64	30-1-2013 6:27	30-1-2013 8:26	30-1-2013 8:34	30-1-2013 8:59	30-1-2013 18:48

(vervolg)

Datum	Sensor	Overstort	Vullen	Ledigen	Datum	Sensor	Overstort	Vullen	Ledigen
		duur in h:mm					*duur in h:mm*		
3 januari 2012	AG010	n.v.t.	2:33	12:46	23 december 2012	AG010	n.v.t.	18:35	26:15
	OS1601	-	1:35	10:08		OS1601	1:29	16:16	23:18
	OS5813	0:07	1:06	2:26		OS5813	0:55	11:48	23:33
	OS64	1:21	1:38	10:50		OS64	2:12	16:46	23:10
11 juni 2012	AG010	n.v.t.	0:33	22:17	30 januari 2013	AG010	n.v.t.	3:17	x
	OS1601	2:12	0:44	11:49		OS1601	0:37	3:20	9:54
	OS5813	1:23	0:33	8:50		OS5813	0:00	1:41	11:00
	OS64	1:57	0:44	8:26		OS64	0:33	2:07	10:14
5 augustus 2012	AG010	n.v.t.	0:36	13:08					
	OS1601	1:04	0:07	6:15					
	OS5813	0:24	0:34	8:39					
	OS64	0:44	0:36	8:54					

- = geen overstortgebeurtenis
x = waarde kon niet bepaald worden vanwege ontbrekende gegevens

BIJLAGE VII: Gemiddeld verschil peil bij overstort en gemaalbassinpeil

Datum	Sensor	Vul-periode *m*	Ledigings-periode	Overstort-periode	verschil OS-piek vs GBP-piek*	Verschil OS-piek vs GBP-peil op tijdstip OS-piek*	Verschil OS-peil vs GBP-piek op tijdstip GBP-piek*
3 januari 2012	OS1601	0,41	0,16	-	0,10	0,10	0,10
	OS5813	0,06	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11
	OS64	0,39	0,13	0,15	0,13	0,13	0,13
11 juni 2012	OS1601	0,87	0,63	0,33	-0,10	0,14	-0,11
	OS5813	0,31	0,18	0,17	-0,05	0,08	-0,06
	OS64	0,23	0,22	0,18	-0,11	0,09	-0,11
5 augustus 2012	OS1601	2,52	0,25	0,52	0,23	2,52	0,17
	OS5813	0,35	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13
	OS64	0,53	0,16	0,15	0,13	0,13	0,12
23 december 2012	OS1601	0,66	0,24	0,18	0,17	0,17	0,16
	OS5813	0,13	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15
	OS64	0,40	0,16	0,17	0,16	0,16	0,15
30 januari 2013	OS1601	0,87	0,39	0,36	0,02	0,38	0,01
	OS5813	0,15	0,16	0,18	-0,02	0,18	-0,04
	OS64	0,38	0,18	0,30	-0,02	0,27	-0,03

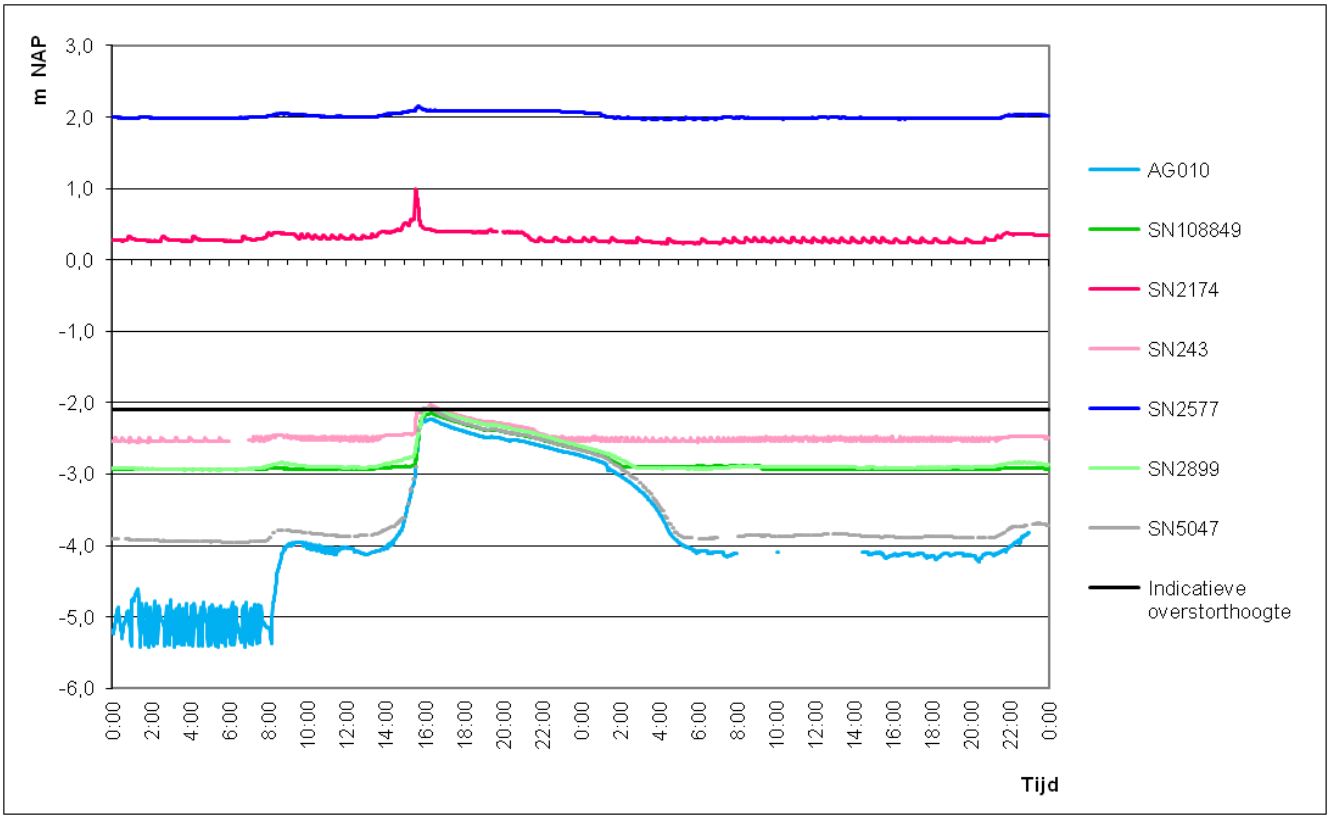
- = geen overstortgebeurtenis

*) OS-piek = piekniveau bij de overstort
OS-peil = peil bij de overstort
GBP-piek = piekniveau in het gemaalbassin
GBP-peil = peil in het gemaalbassin

BIJLAGE VIII: Vergelijking peil binnen stelsel met gemaalbassinpeil

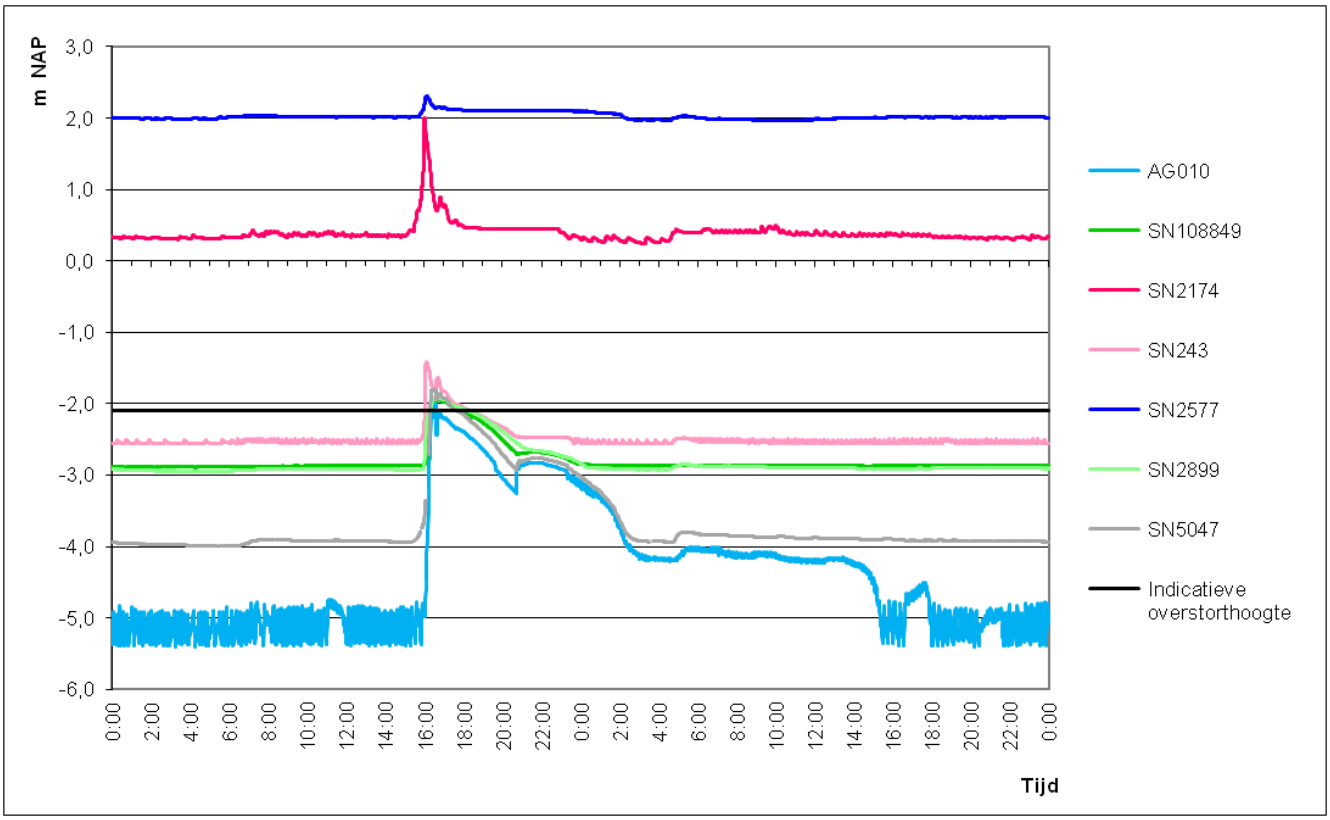
De putten waarin de sensoren zijn geplaatst kennen allen een verschillende diepte, vandaar dat de peilen bij droog weer ieder rondom een ander peil variëren.

Situatie 3 januari 2012 (0:00uur) tot 5 januari 2012 (0:00uur)



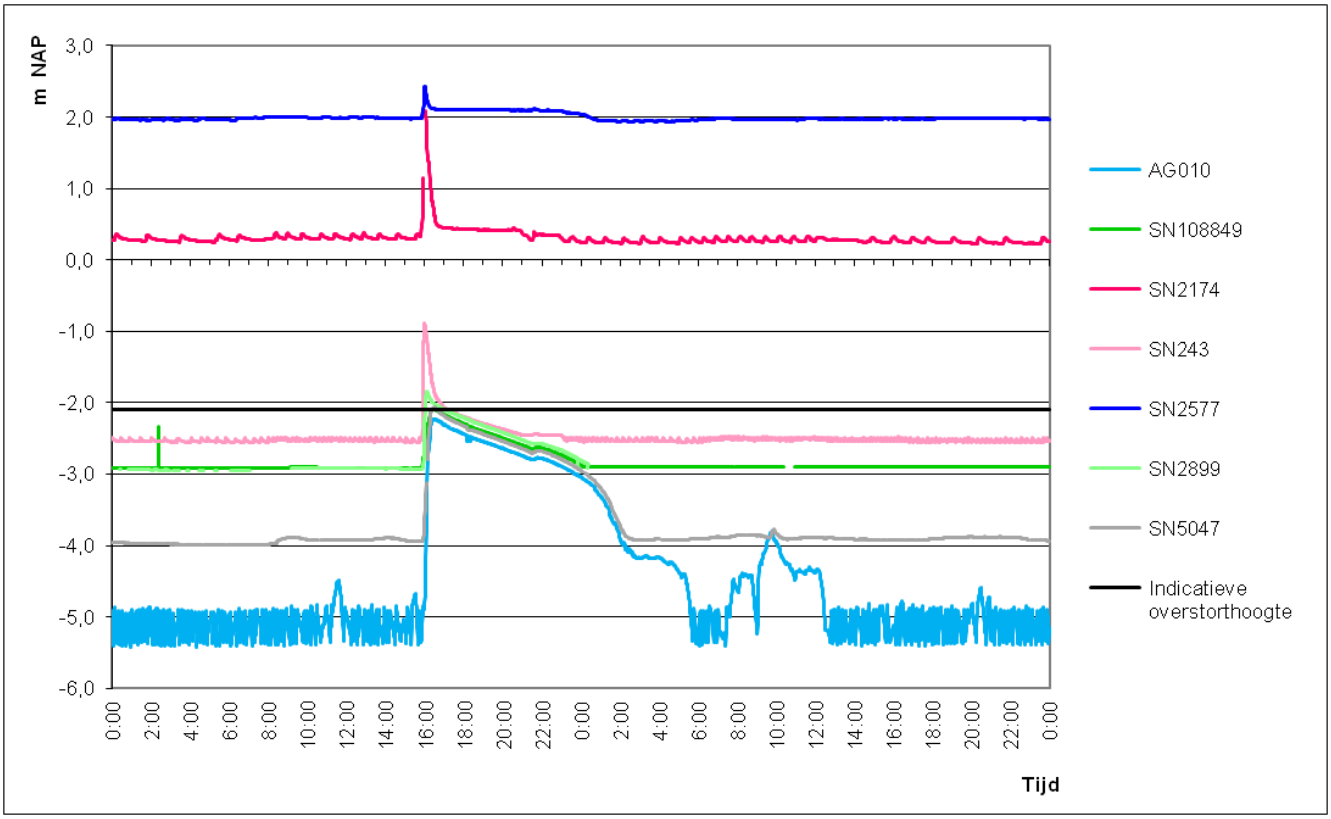
Situatie 11 juni 2012 (0:00uur) tot 12 juni 2012 (0:00uur)

Zomertijd: 11 juni 2012 (1:00uur) tot 12 juni 2012 (1:00uur)

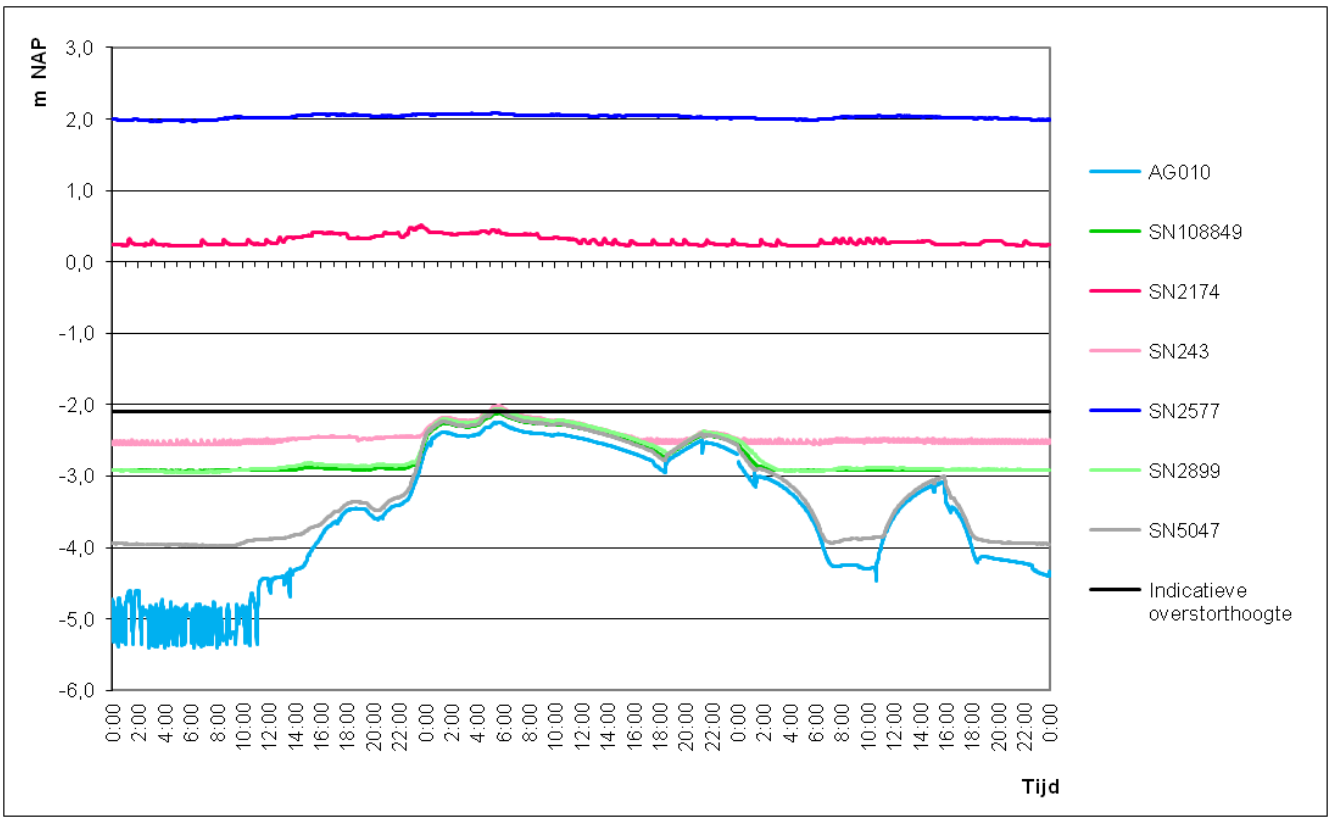


Situatie 5 augustus 2012 (0:00uur) tot 6 augustus 2012 (0:00uur)

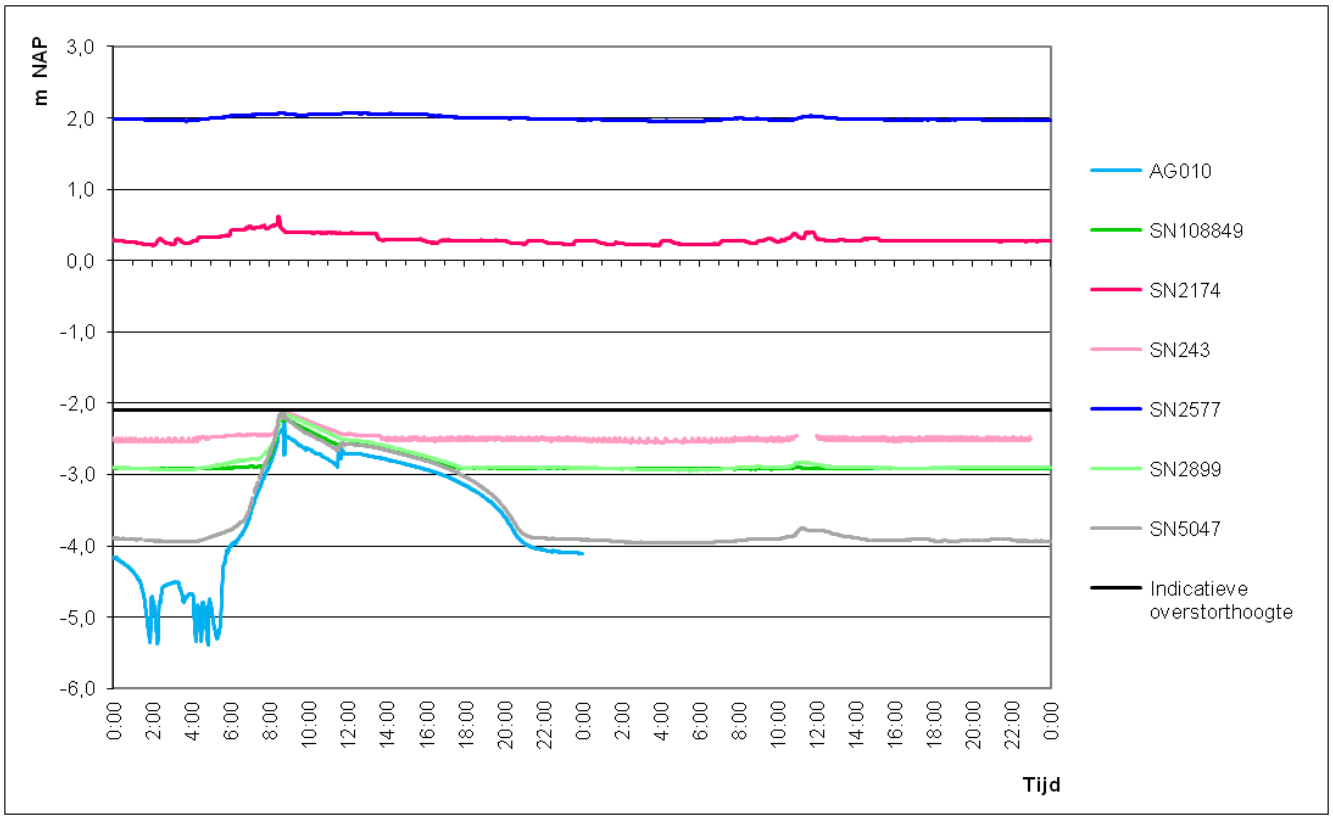
Zomertijd: 5 augustus 2012 (1:00uur) tot 6 augustus 2012 (1:00uur)



Situatie 22 december 2012 (0:00uur) tot 24 december 2012 (0:00uur)



Situatie 30 januari 2013 (0:00uur) tot 31 januari 2013 (0:00uur)

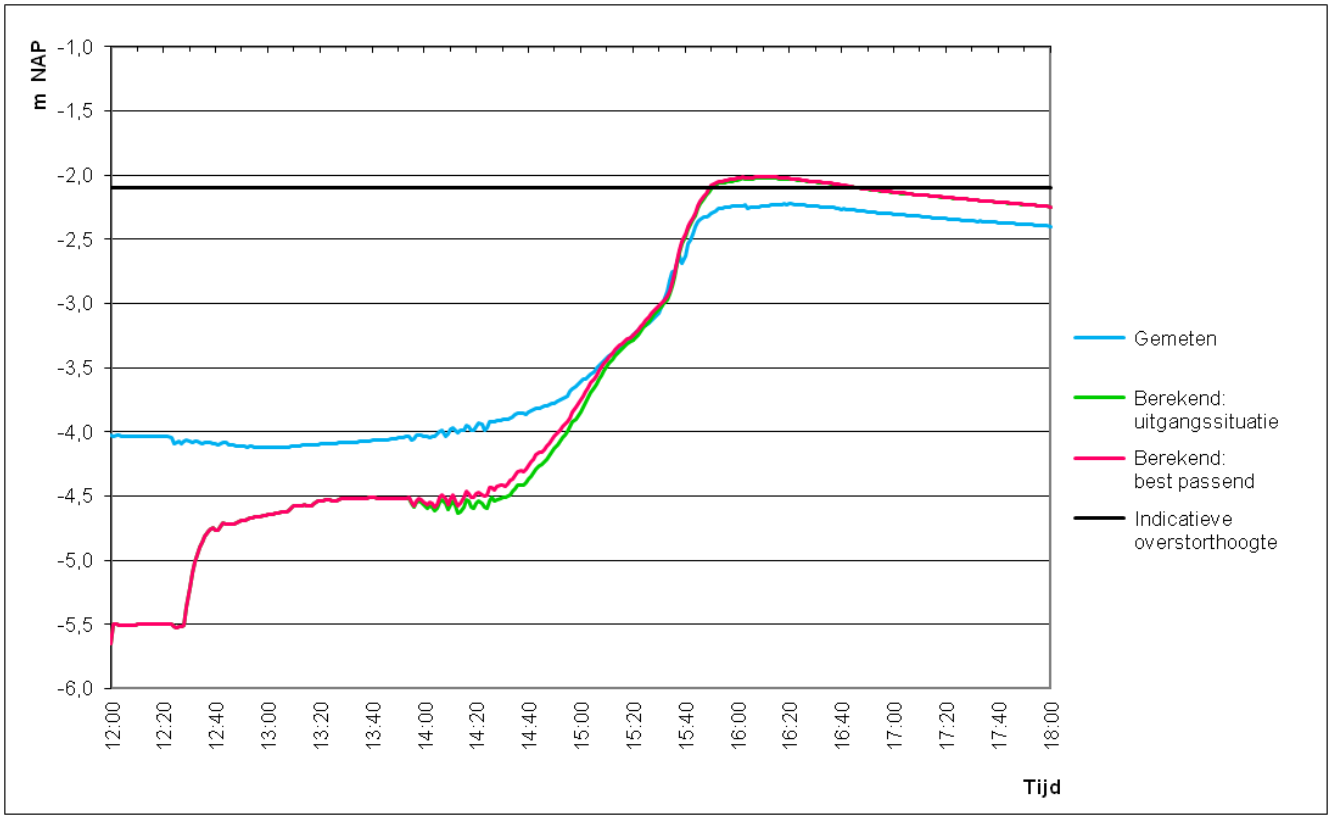


BIJLAGE IX: Uitkomsten modellering

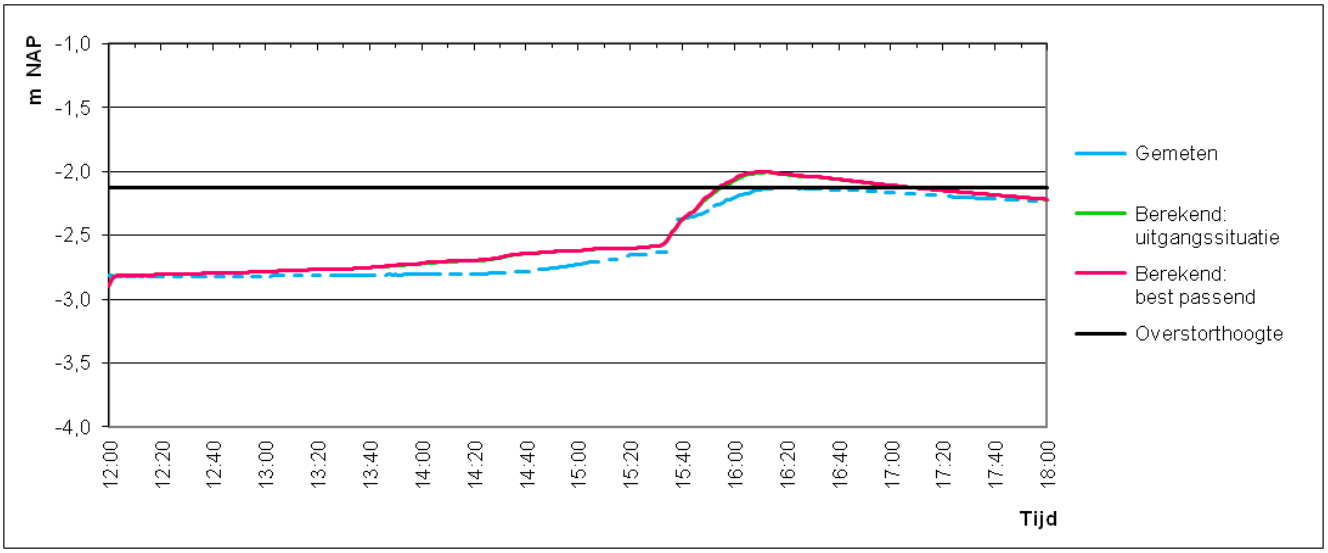
Situatie 3 januari 2012

Bij de situatie in januari ligt het peil van de uitgangssituatie heel dichtbij het peil van het best passende scenario (scenario 1C). In de grafieken vallen ze dus ook deels over elkaar en is het peil van de uitgangssituatie soms niet zichtbaar.

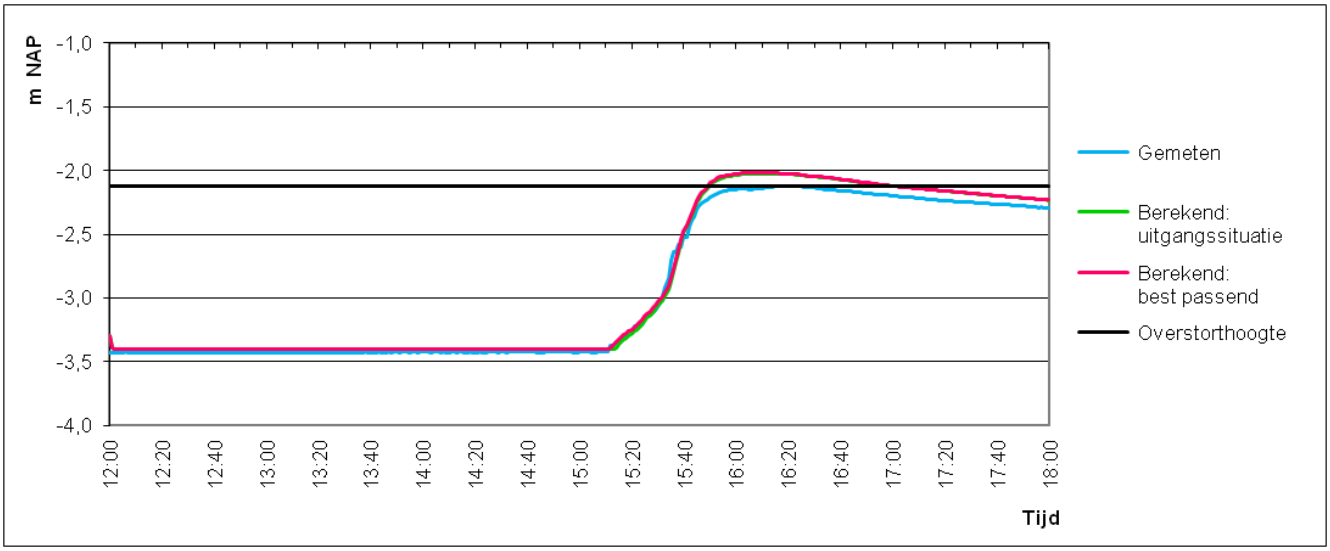
AG010 (gemaalbassin)



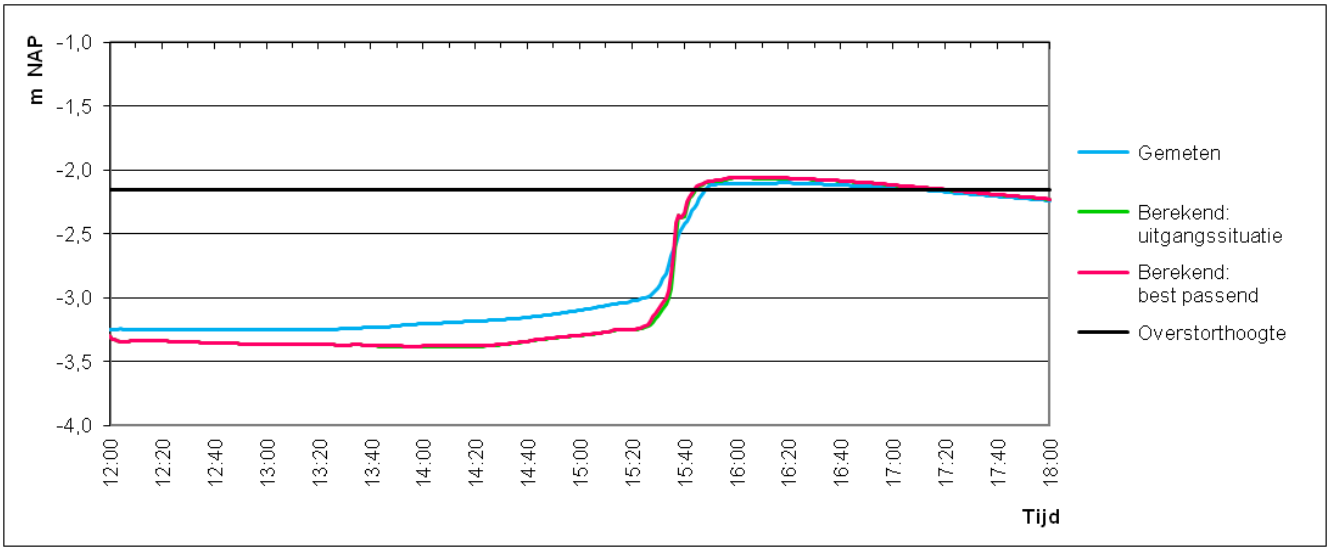
OS1601



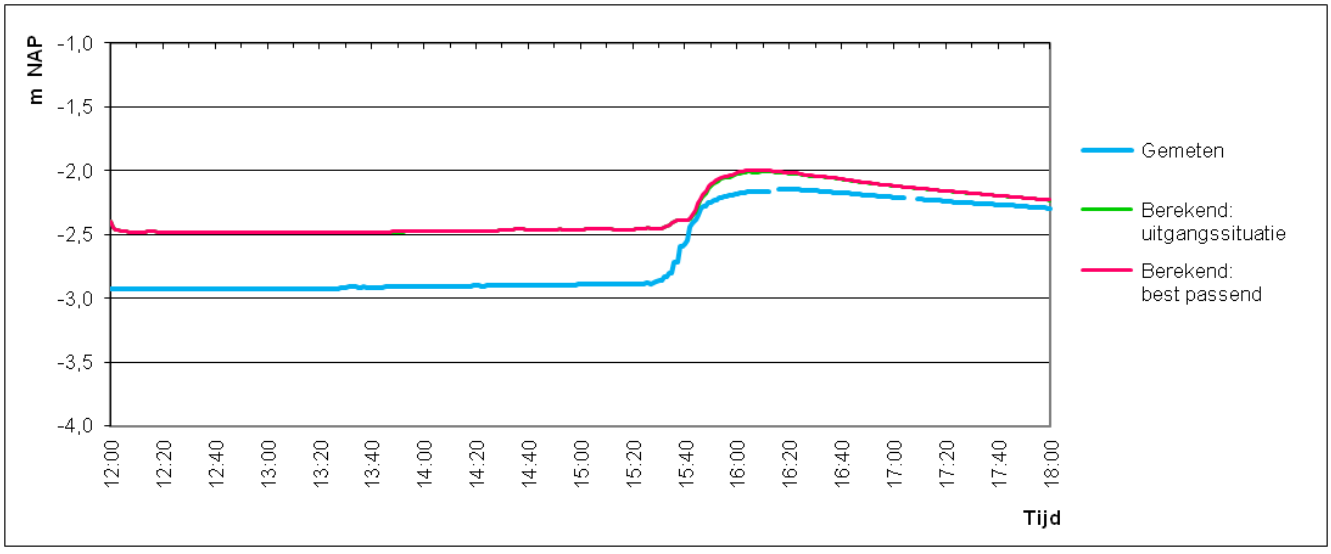
OS5813



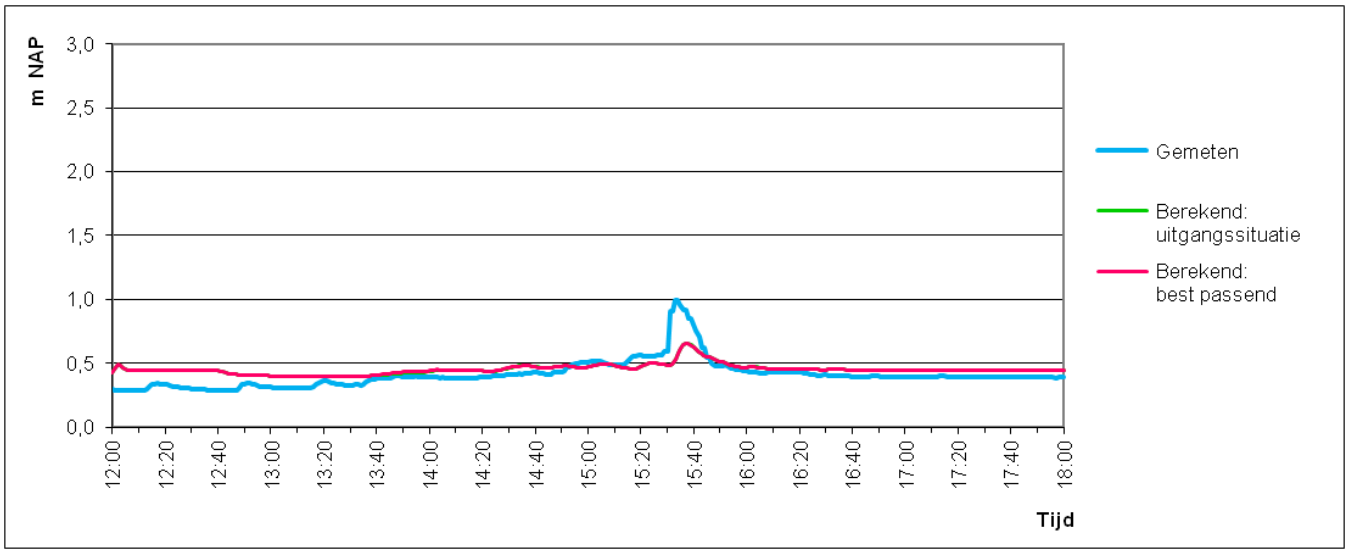
OS64



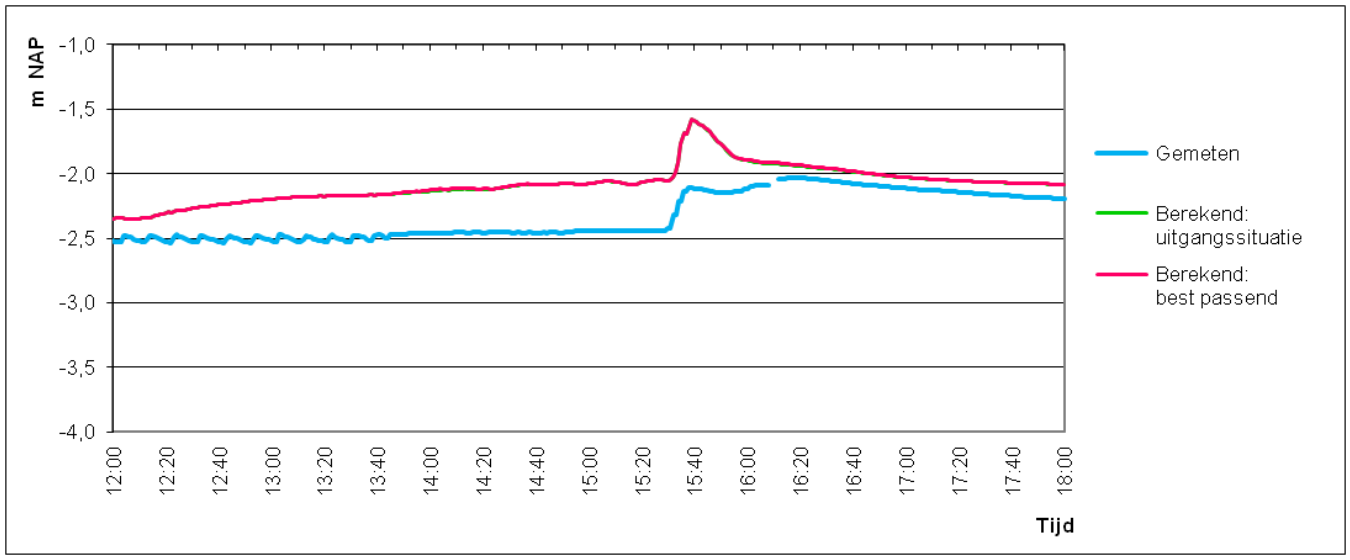
SN108849



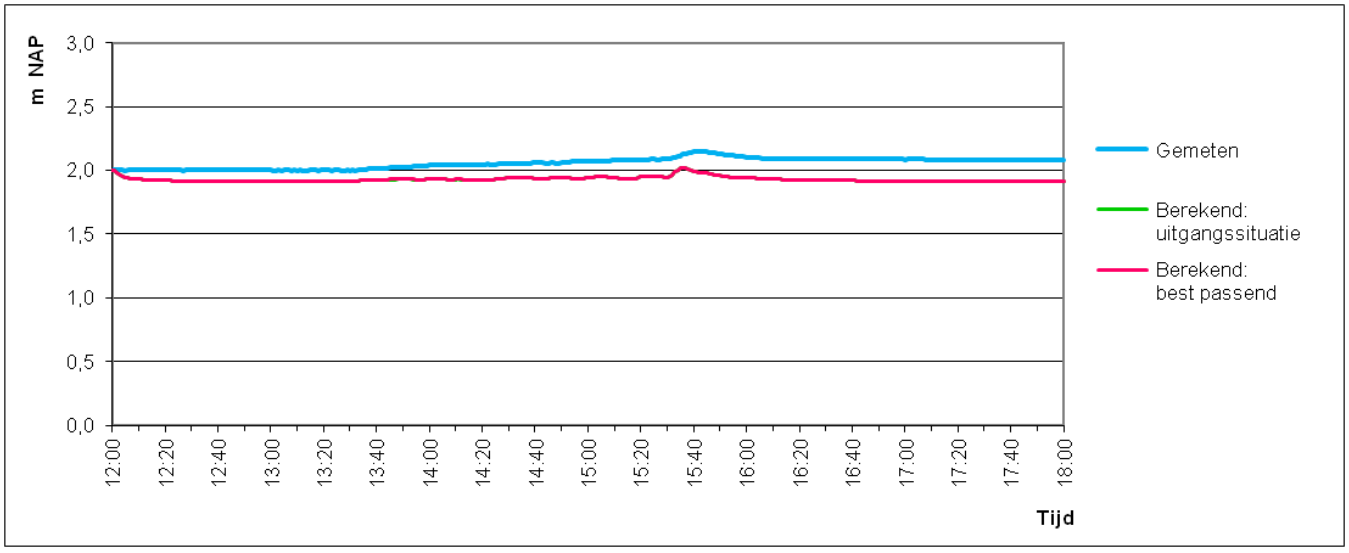
SN2174



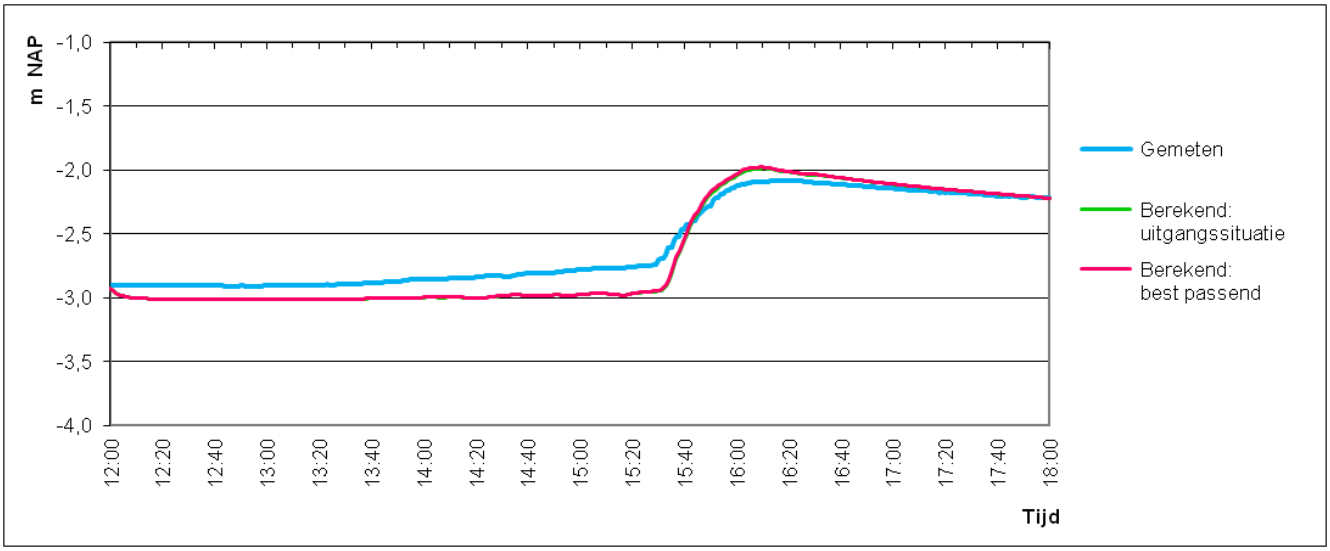
SN243



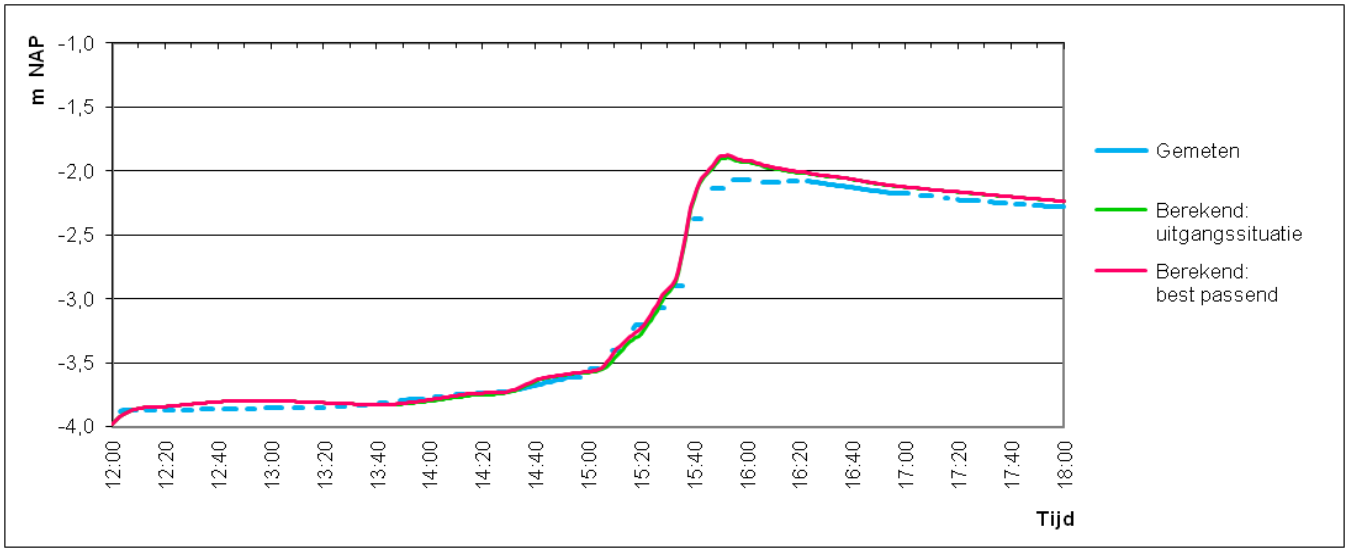
SN2577



SN2899

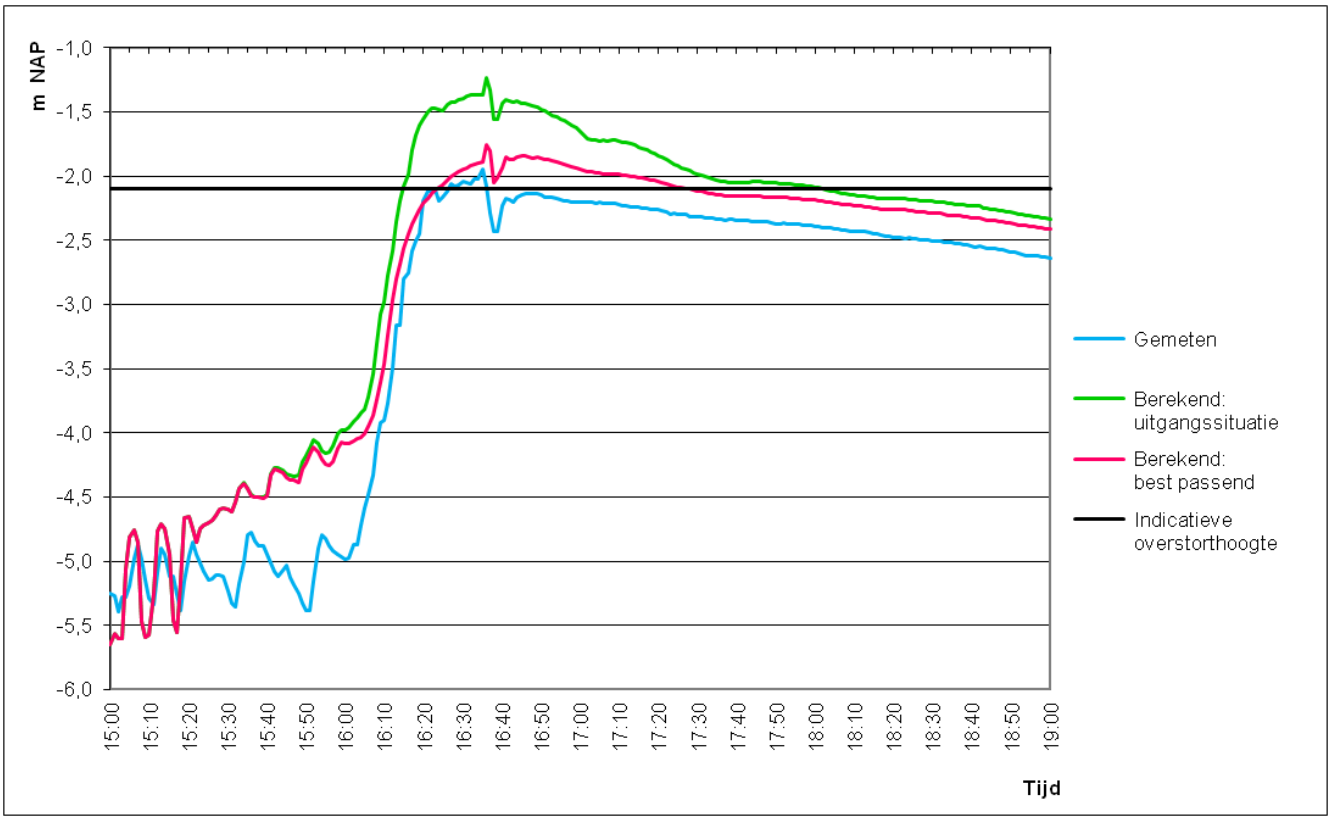


SN5047

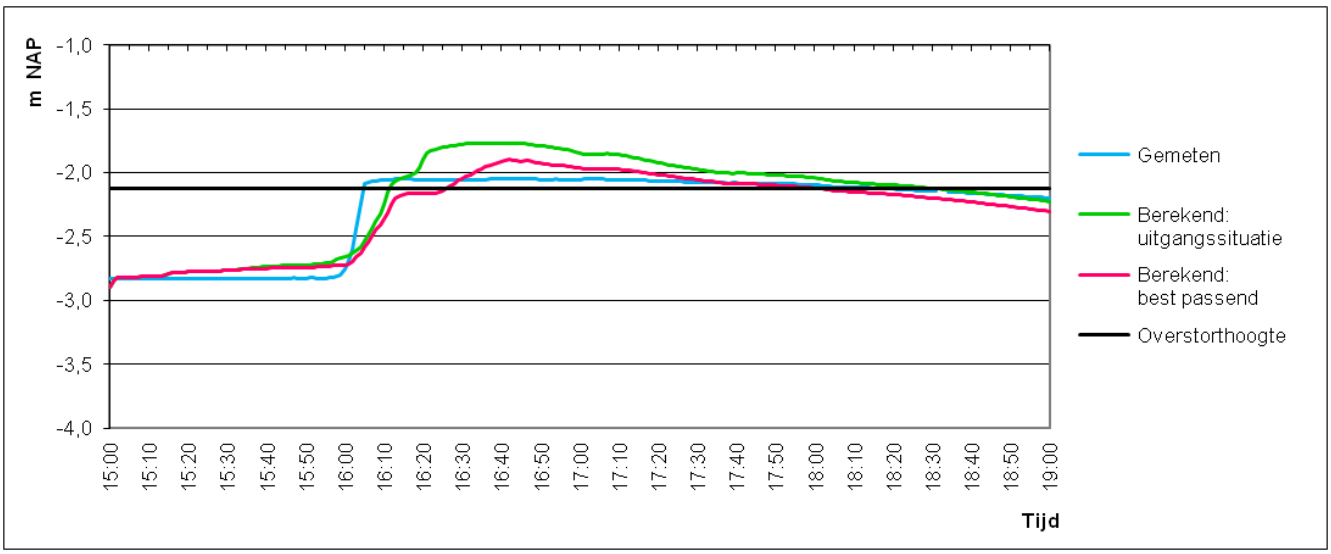


Situatie 11 juni 2012

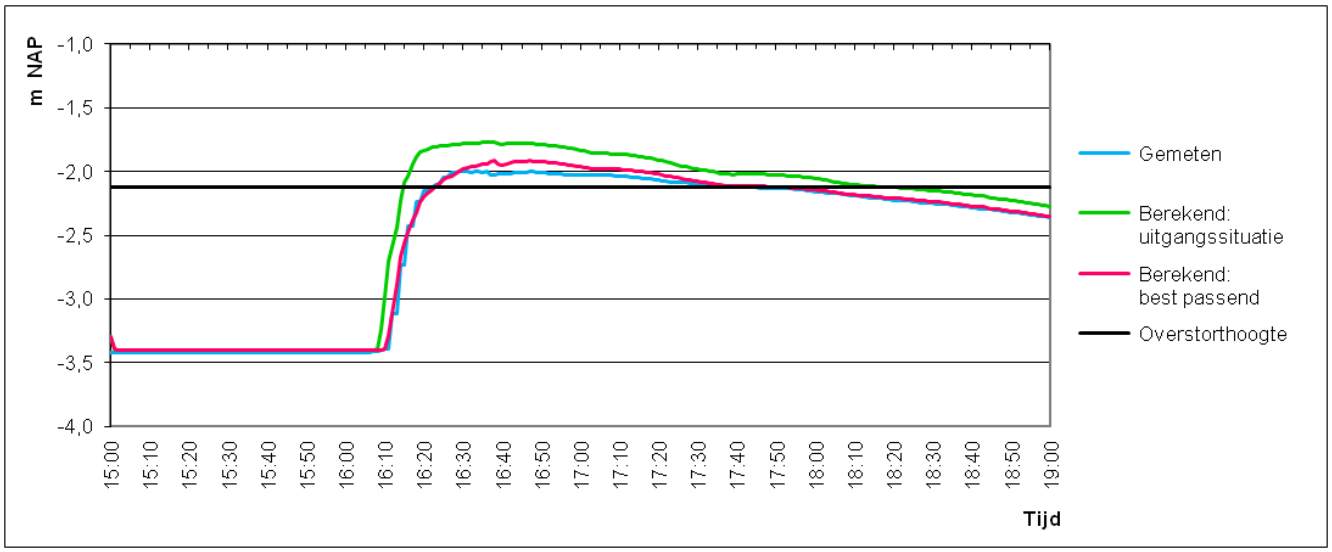
AG010 (gemaalbassin)



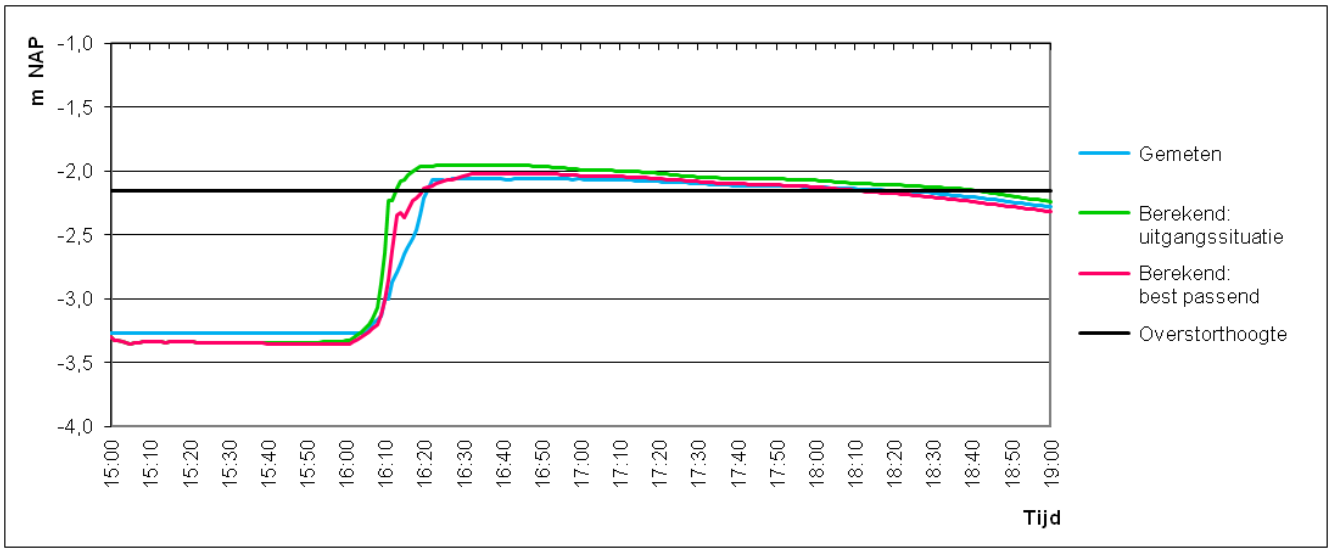
OS1601



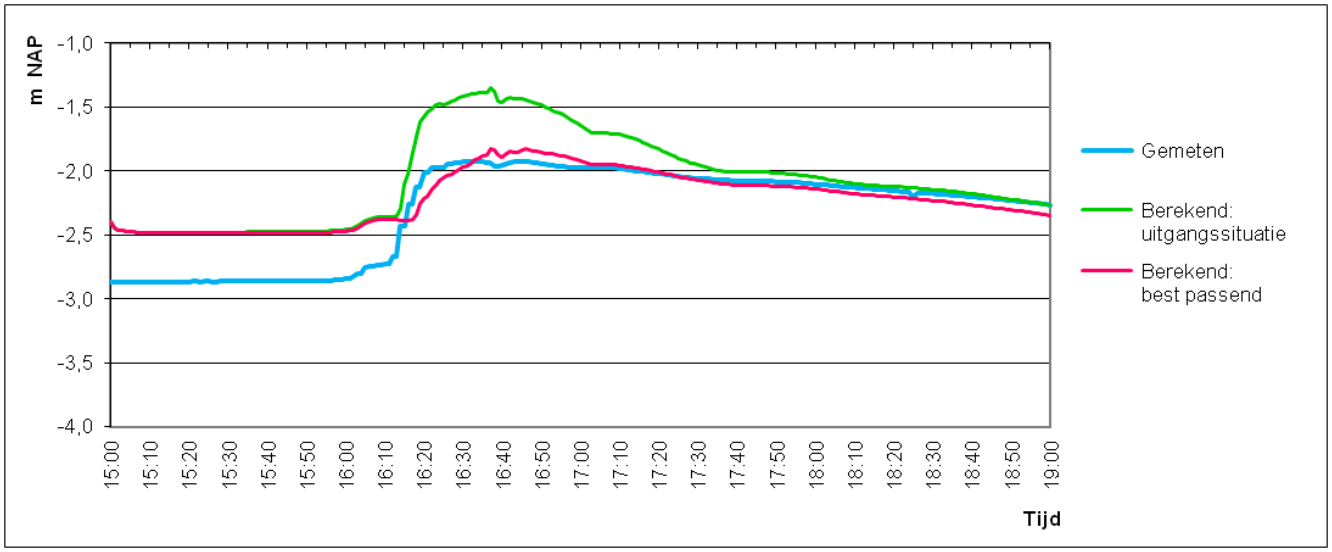
OS5813



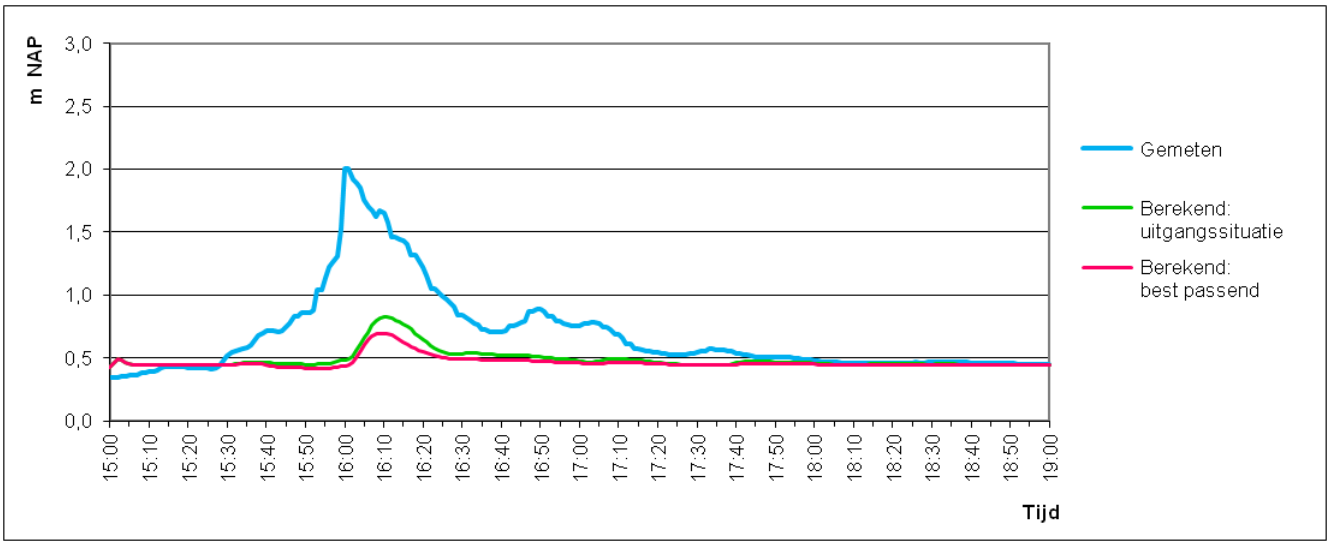
OS64



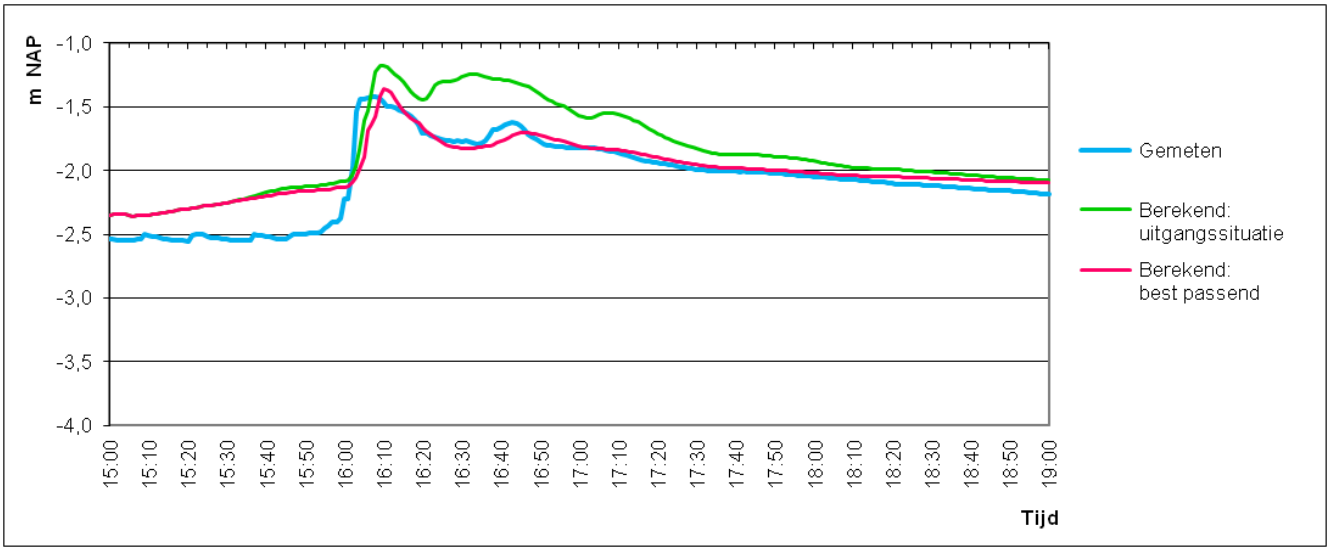
SN108849



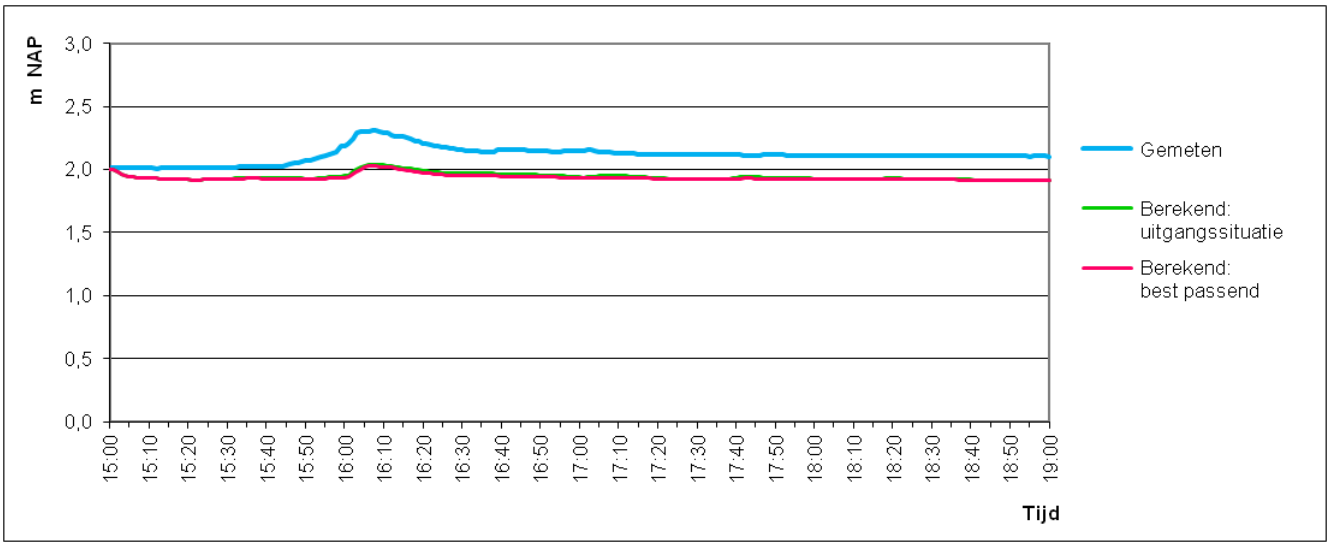
SN2174



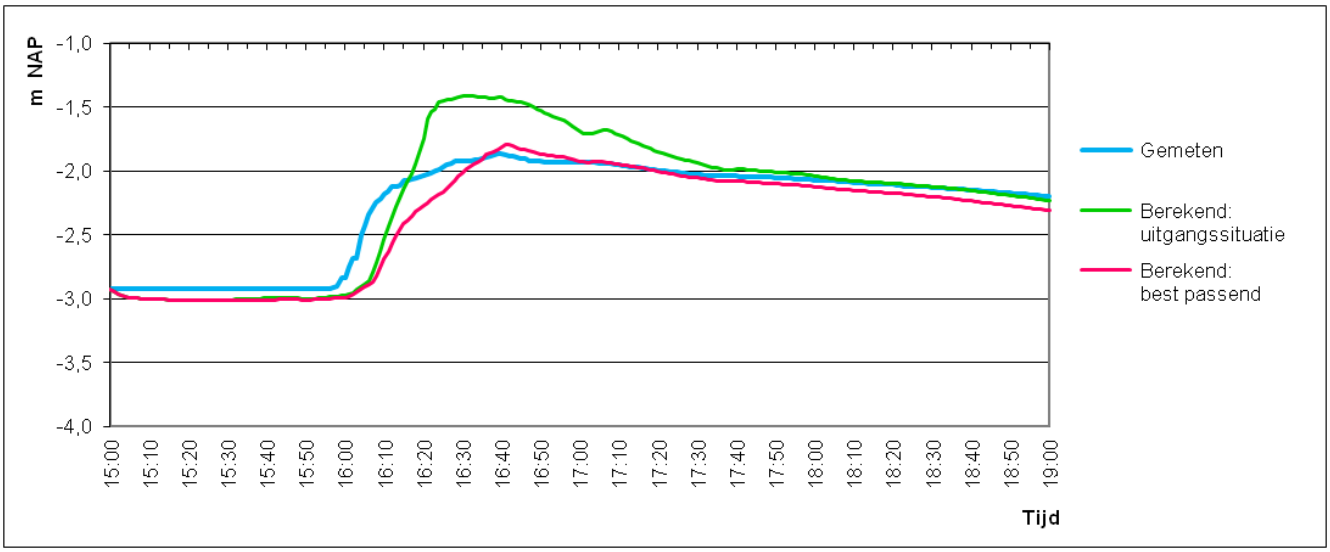
SN243



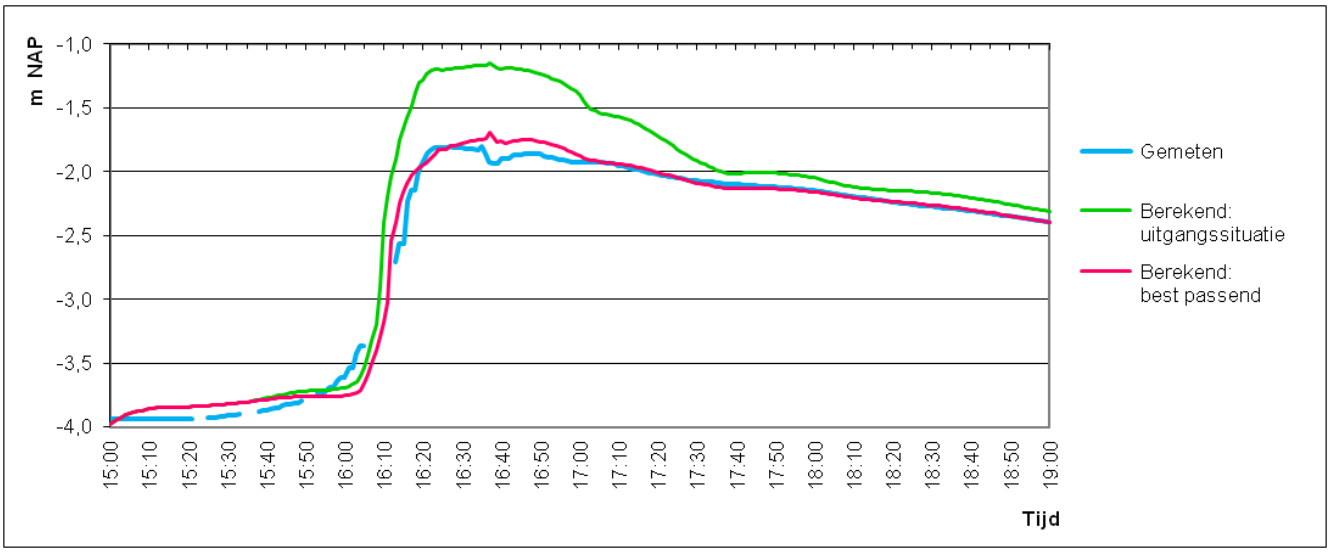
SN2577



SN2899

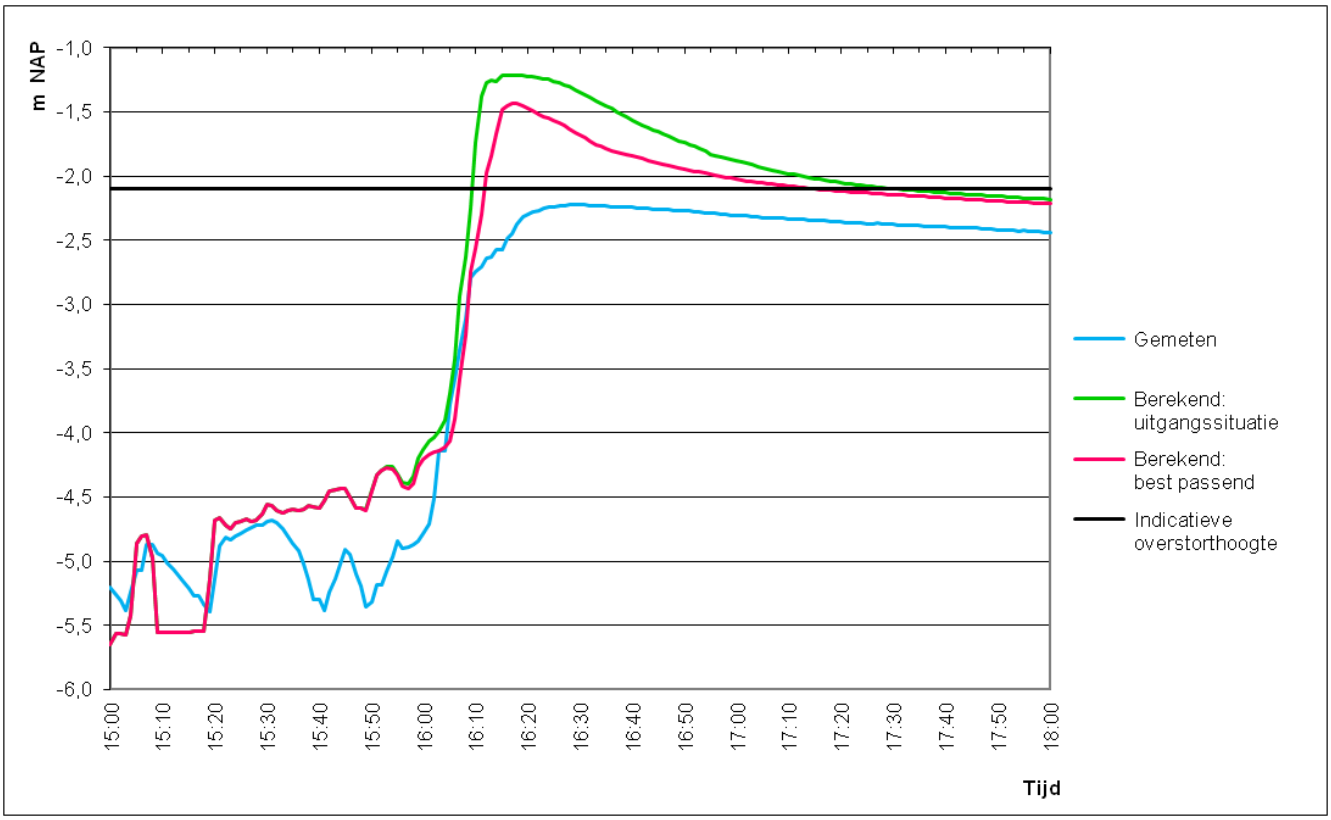


SN5047

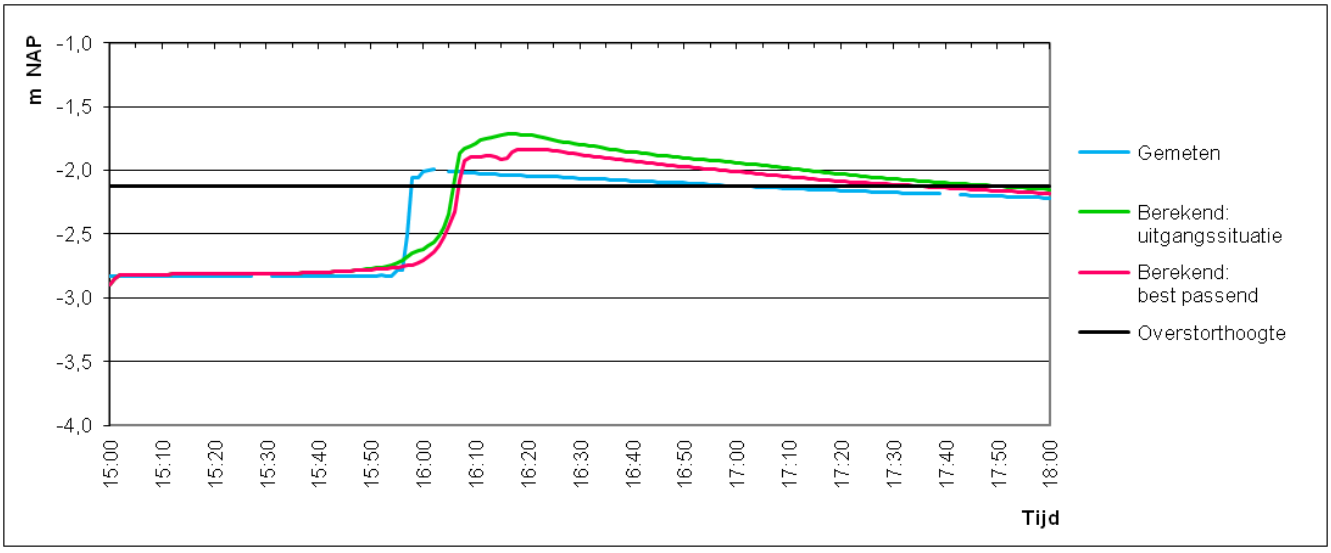


Situatie 5 augustus 2012

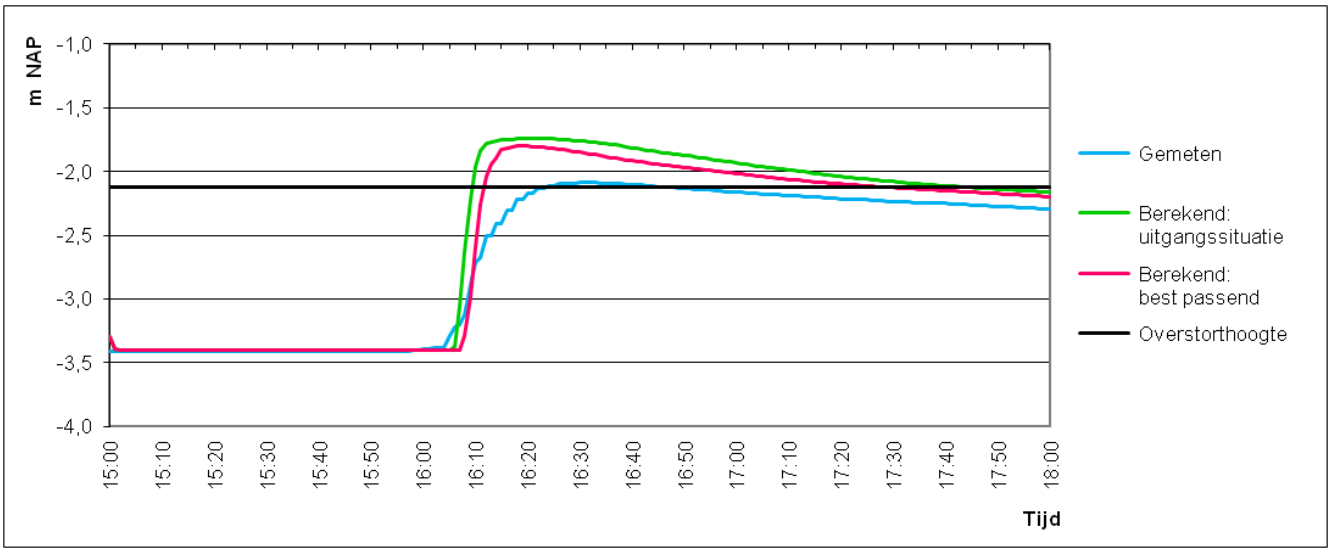
AG010 (gemaalbassin)



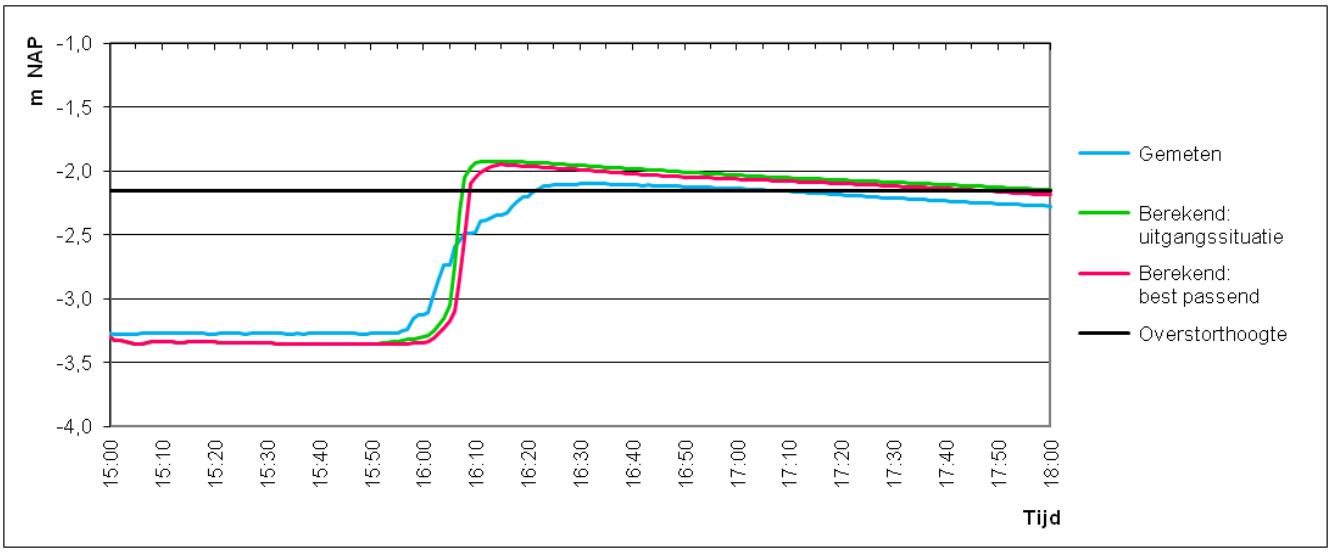
OS1601



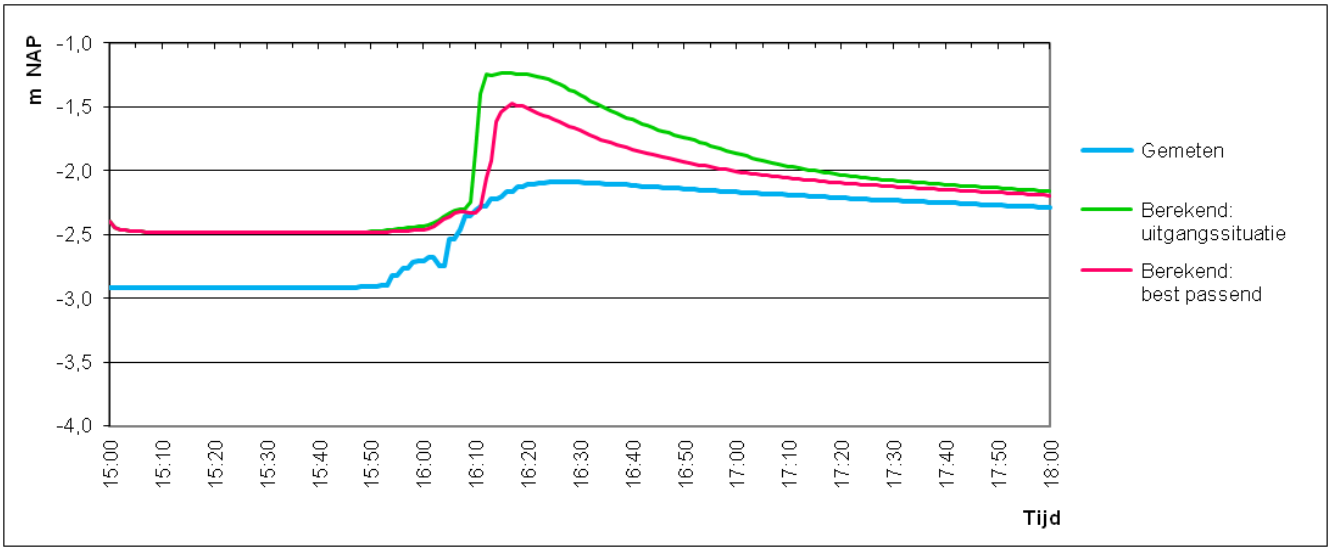
OS5813



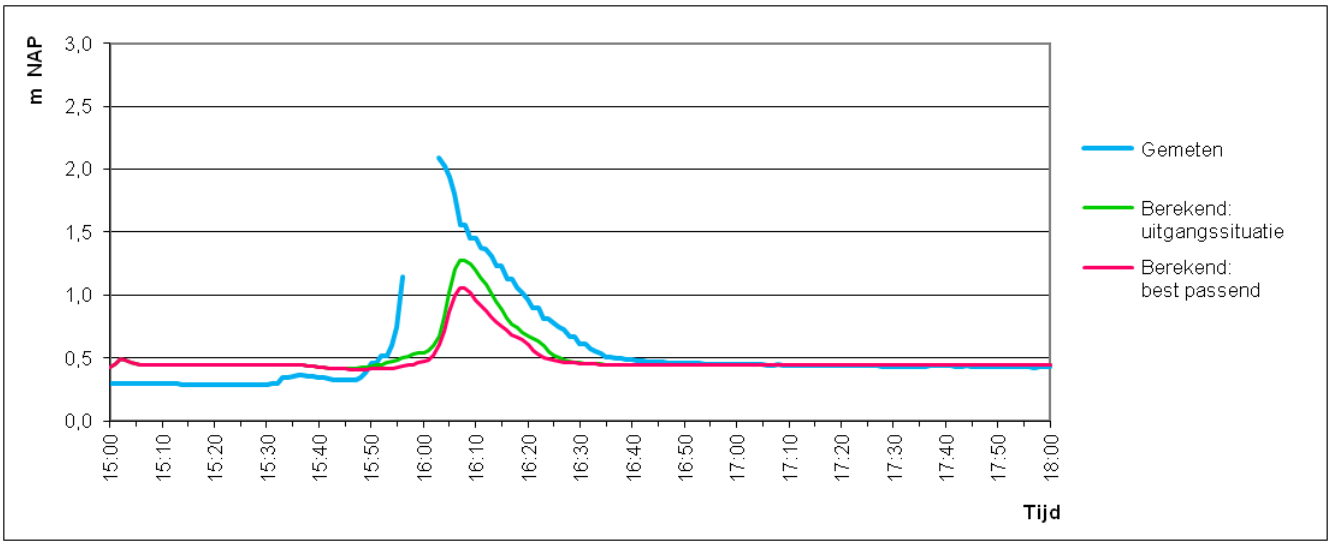
OS64



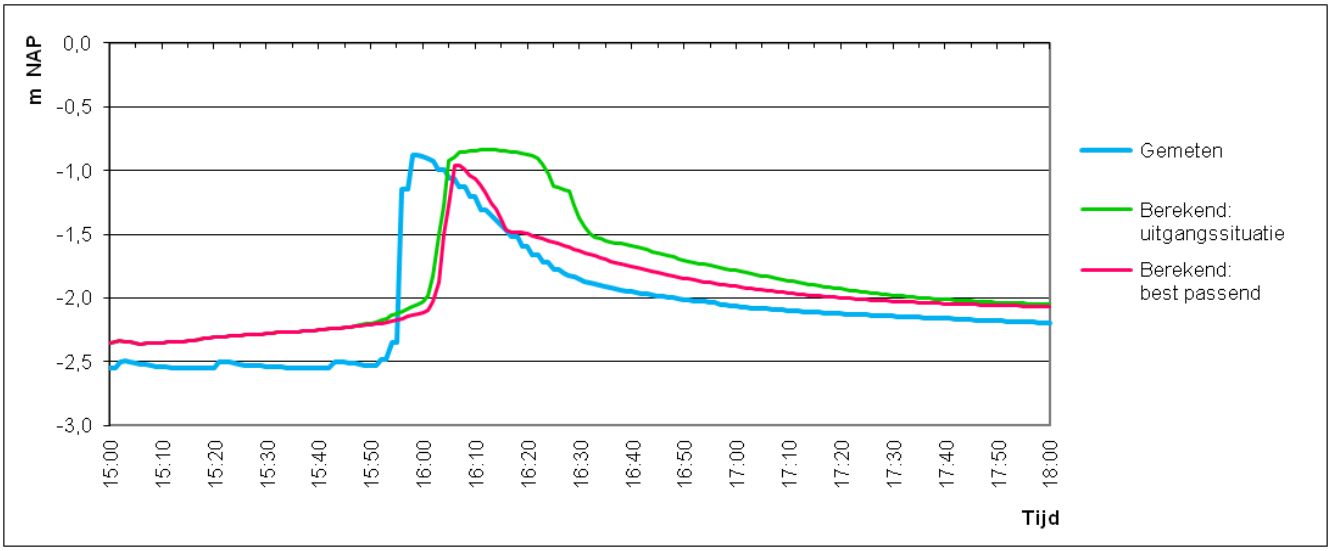
SN108849



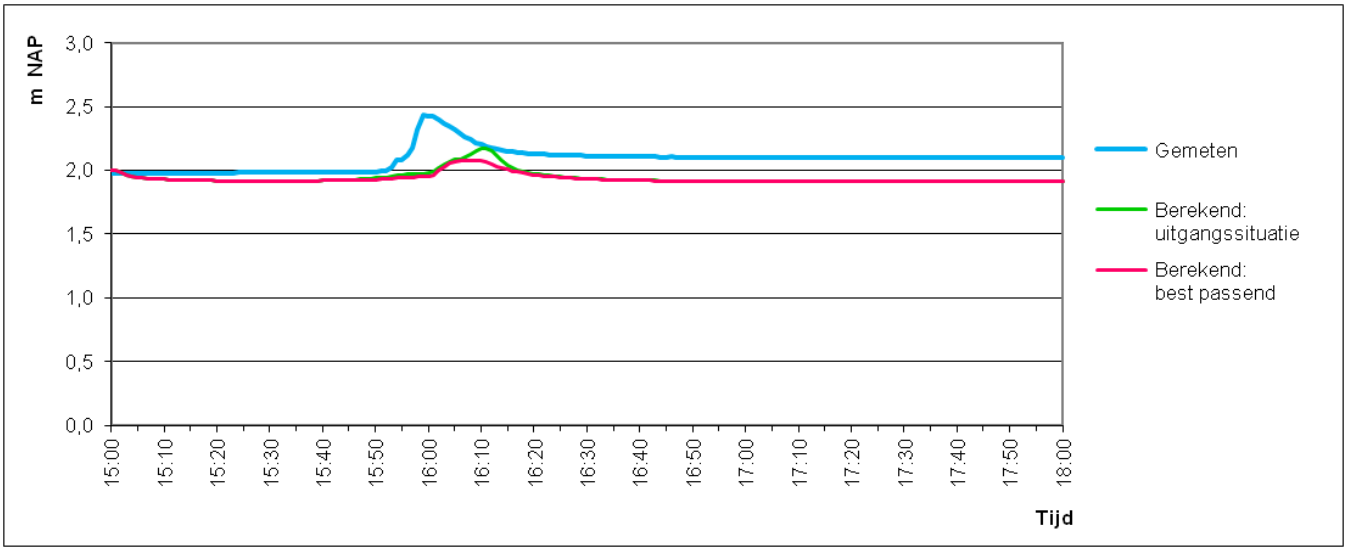
SN2174



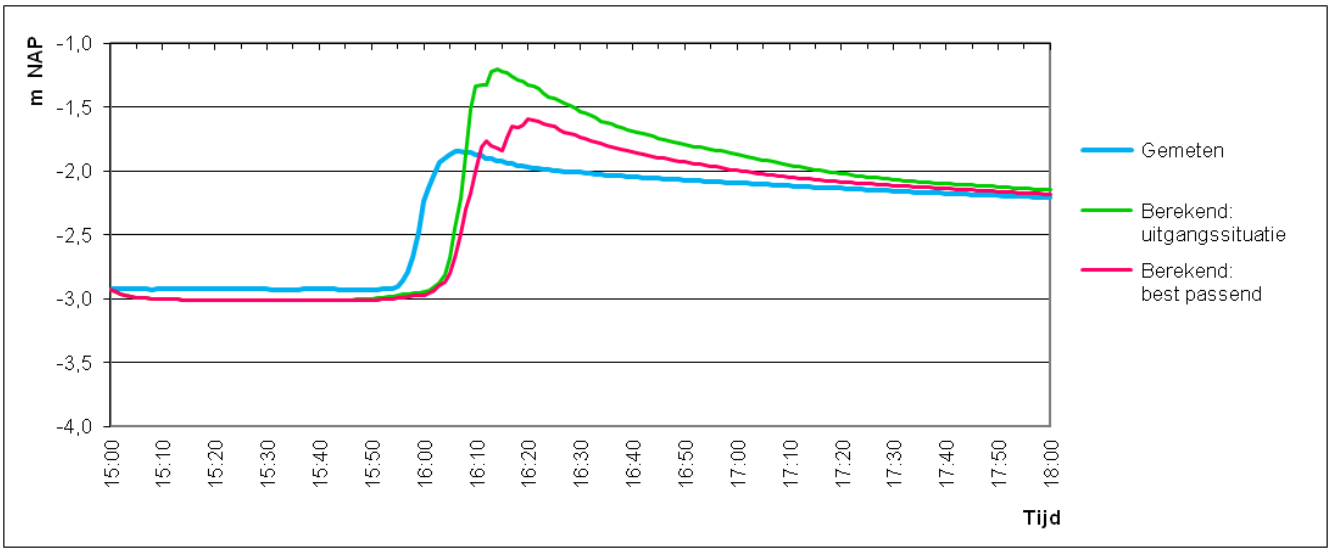
SN243



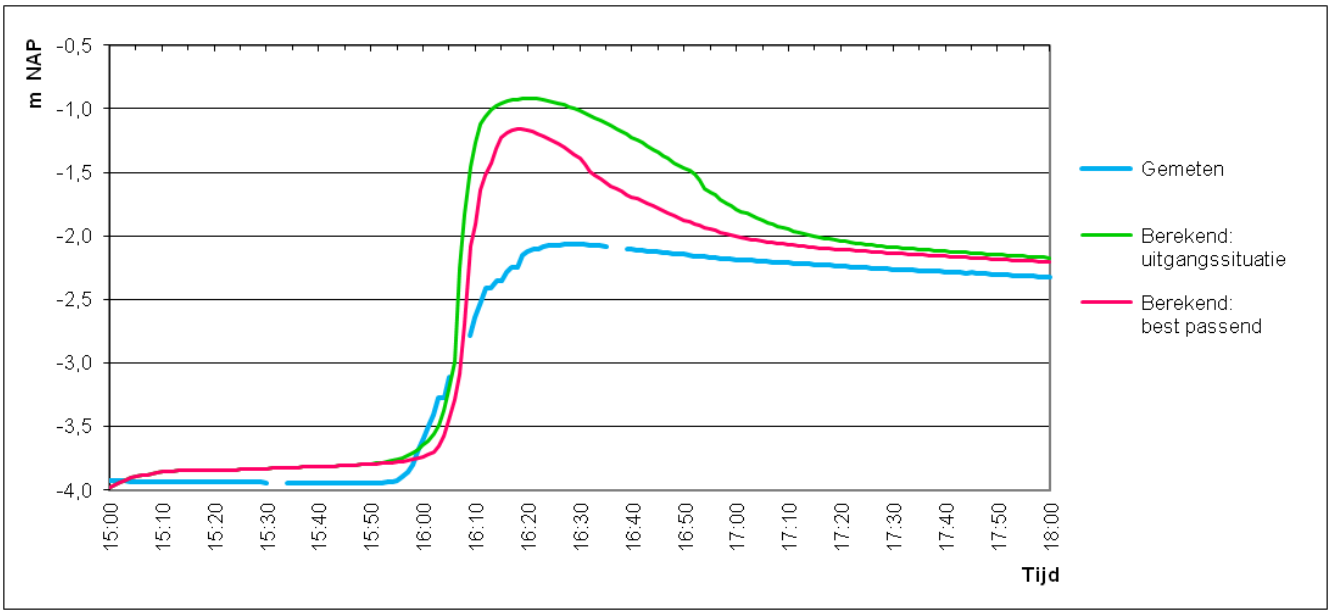
SN2577



SN2899



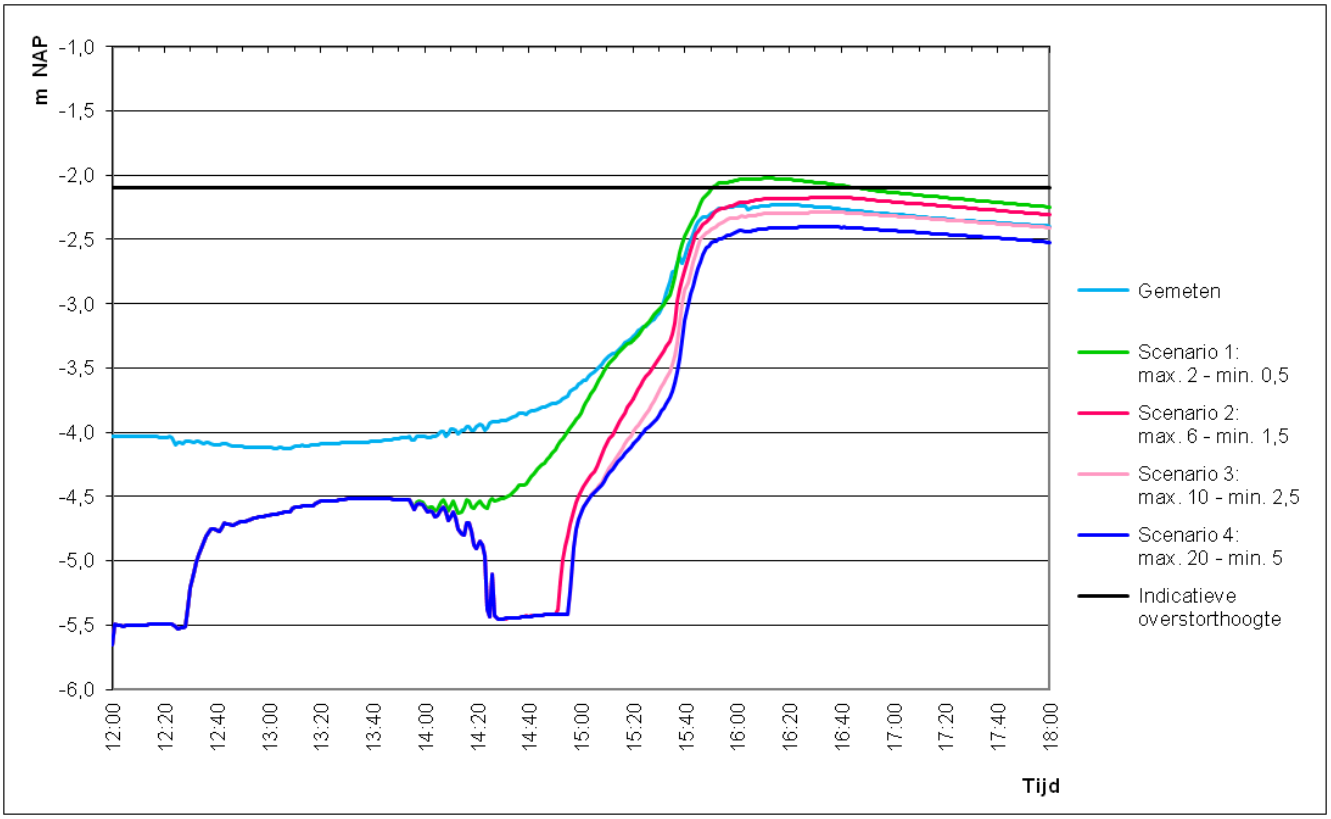
SN5047



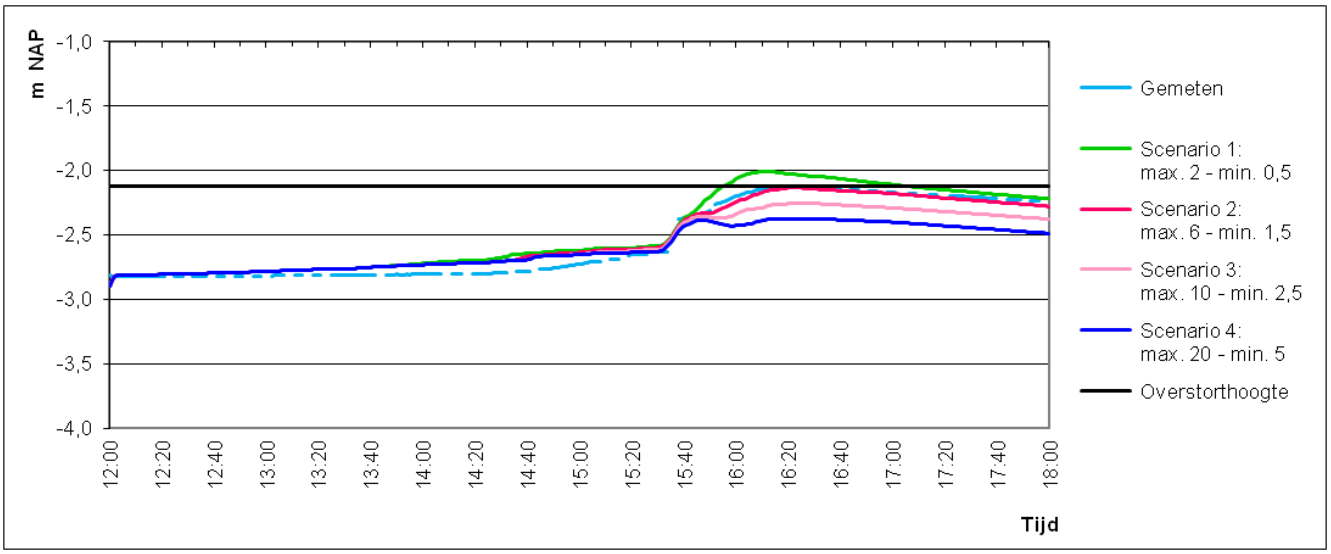
BIJLAGE X: Uitkomsten kalibratie – min. & max. infiltratiecapaciteit

Situatie 3 januari 2012

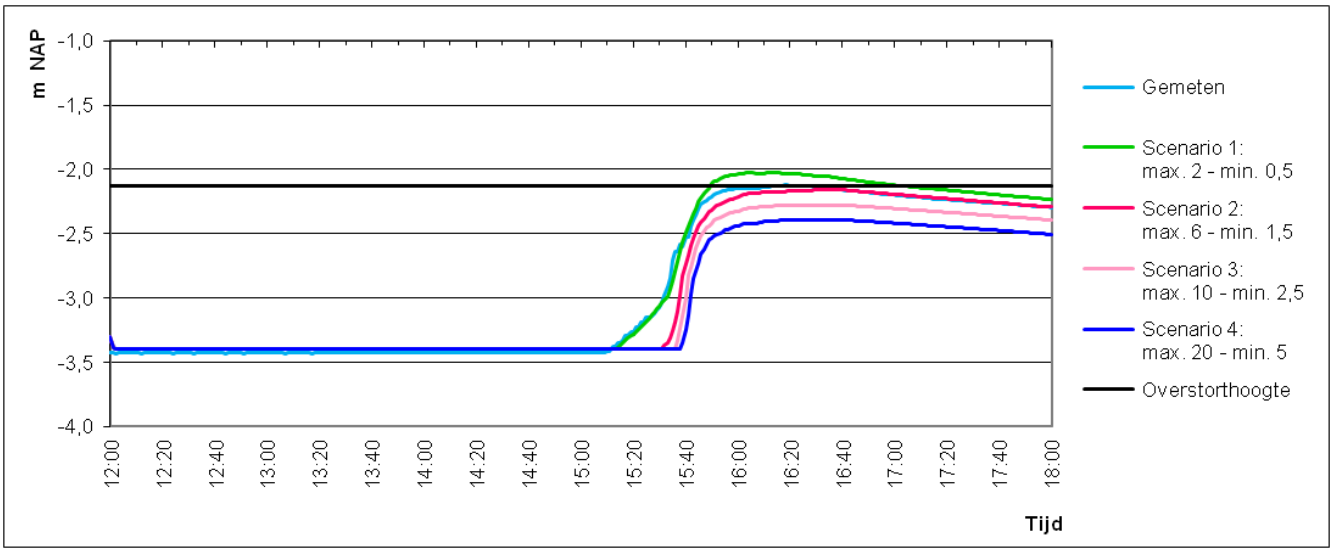
AG010 (gemaalbassin)



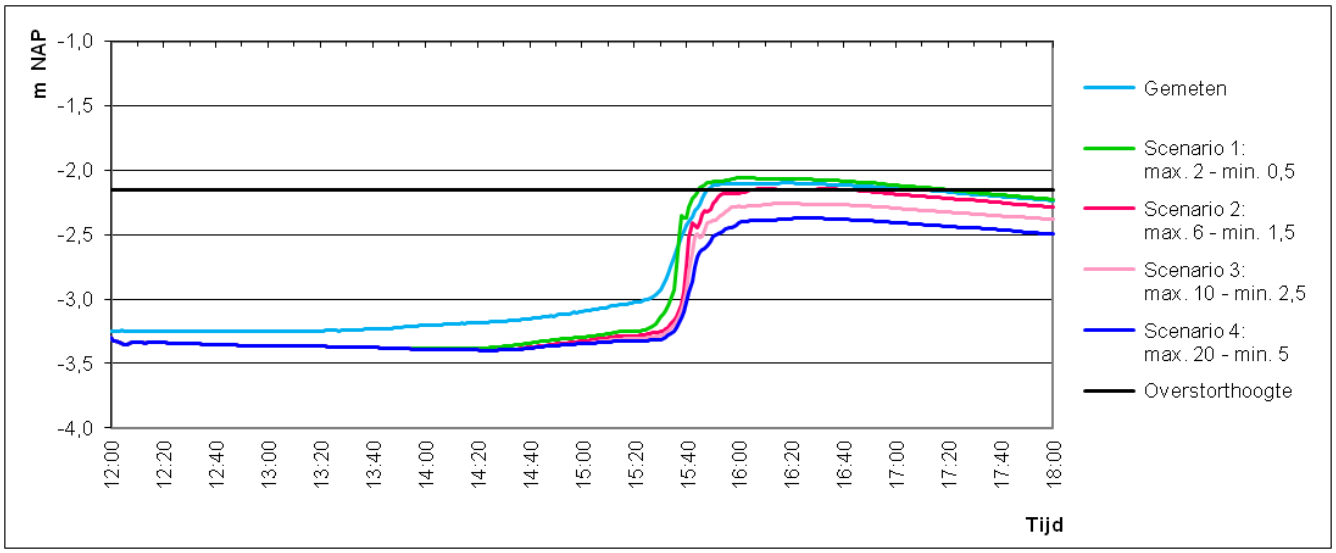
OS1601



OS5813

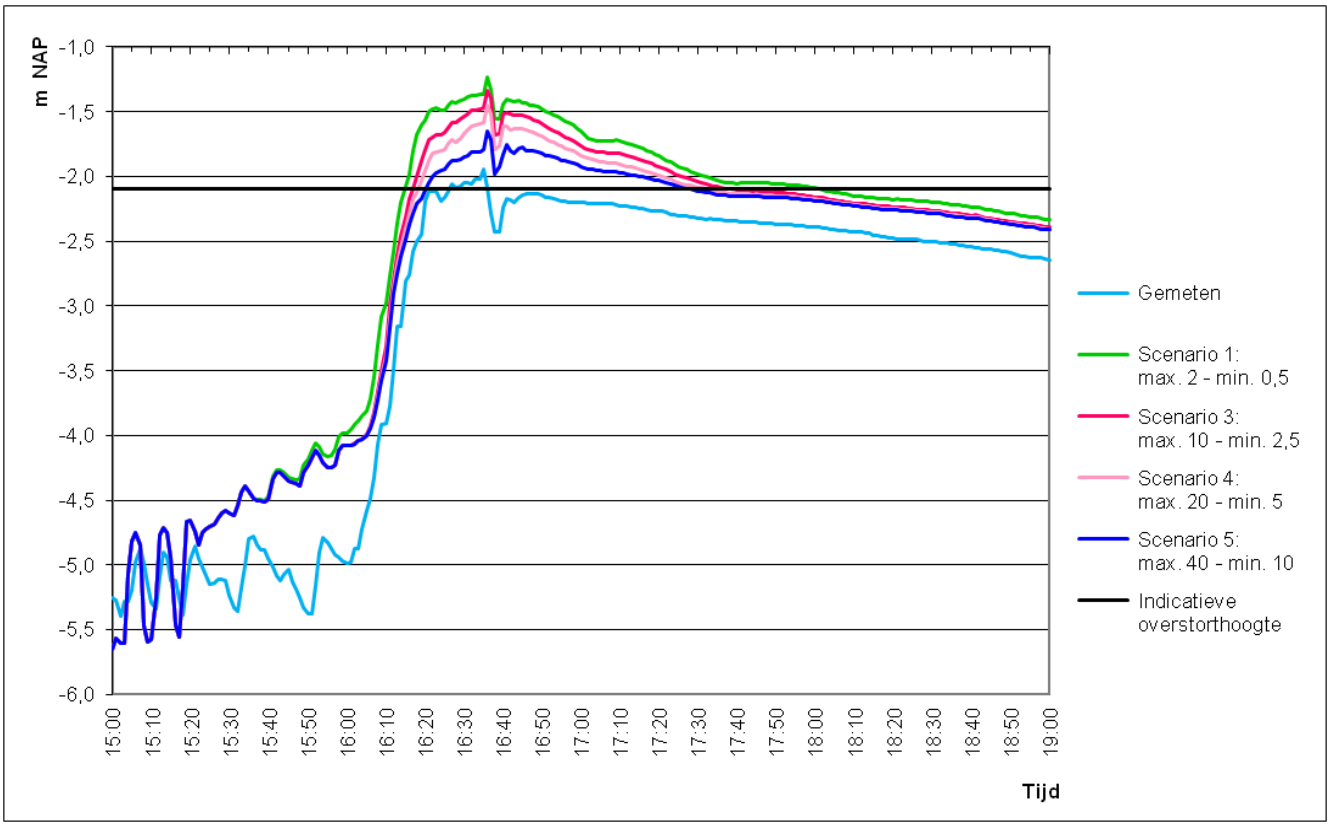

m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
12:00
12:20
12:40
13:00
13:20
13:40
14:00
14:20
14:40
15:00
15:20
15:40
16:00
16:20
16:40
17:00
17:20
17:40
18:00
Tijd
Gemeten
Scenario 1: max. 2 - min. 0,5
Scenario 2: max. 6 - min. 1,5
Scenario 3: max. 10 - min. 2,5
Scenario 4: max. 20 - min. 5
Overstorthoogte

OS64

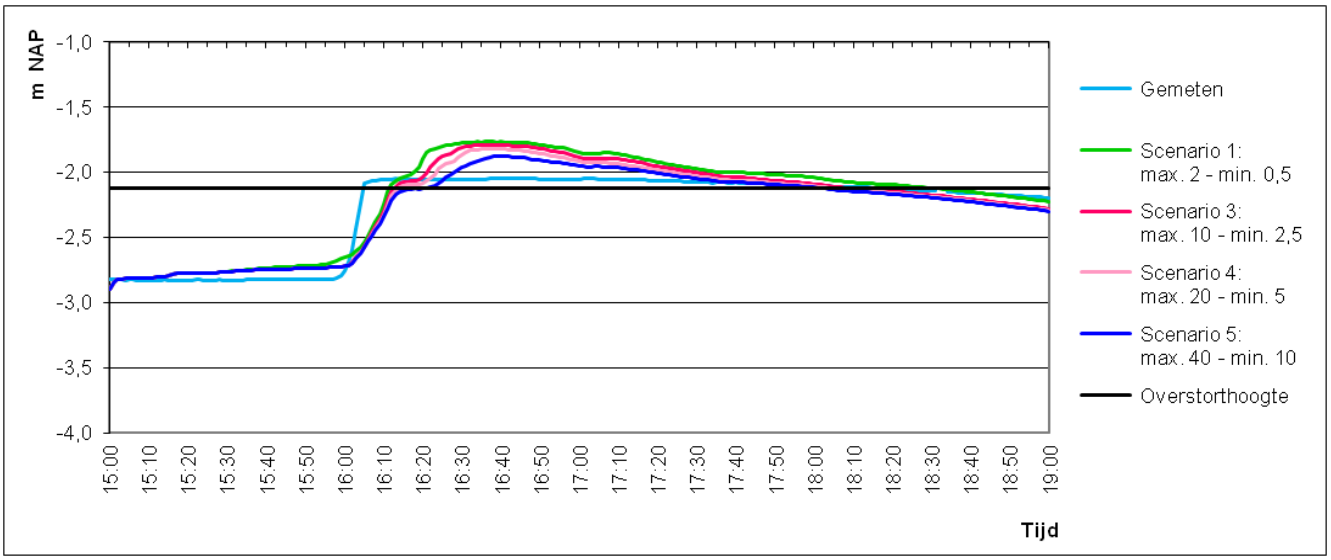

m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
12:00
12:20
12:40
13:00
13:20
13:40
14:00
14:20
14:40
15:00
15:20
15:40
16:00
16:20
16:40
17:00
17:20
17:40
18:00
Tijd
Gemeten
Scenario 1: max. 2 - min. 0,5
Scenario 2: max. 6 - min. 1,5
Scenario 3: max. 10 - min. 2,5
Scenario 4: max. 20 - min. 5
Overstorthoogte

Situatie 11 juni 2012

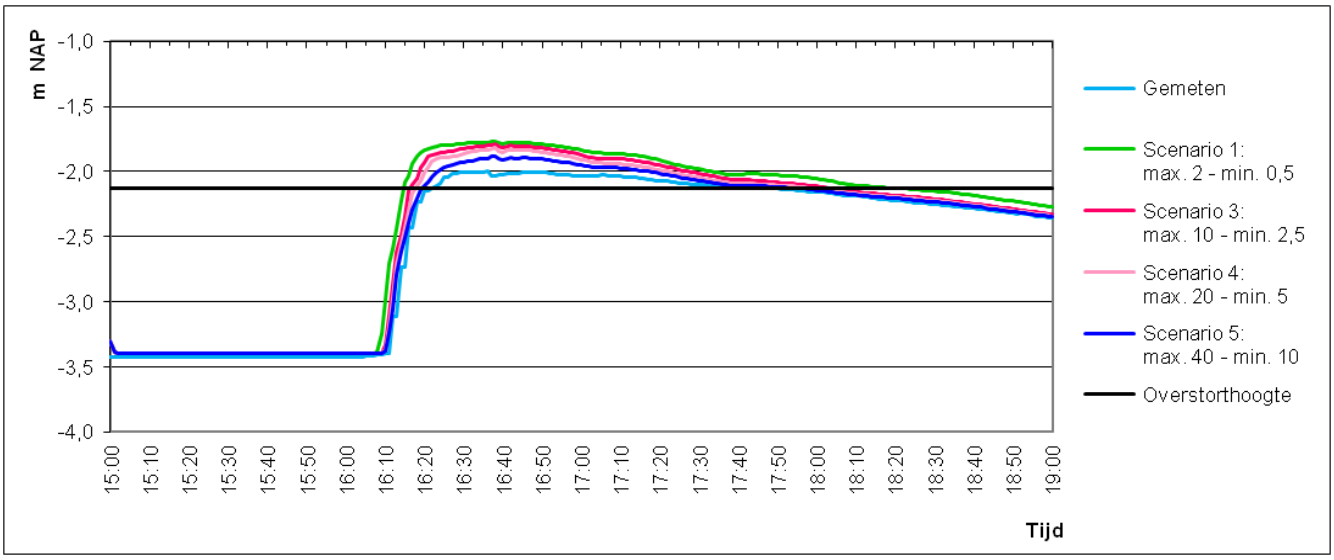
AG010 (gemaalbassin)



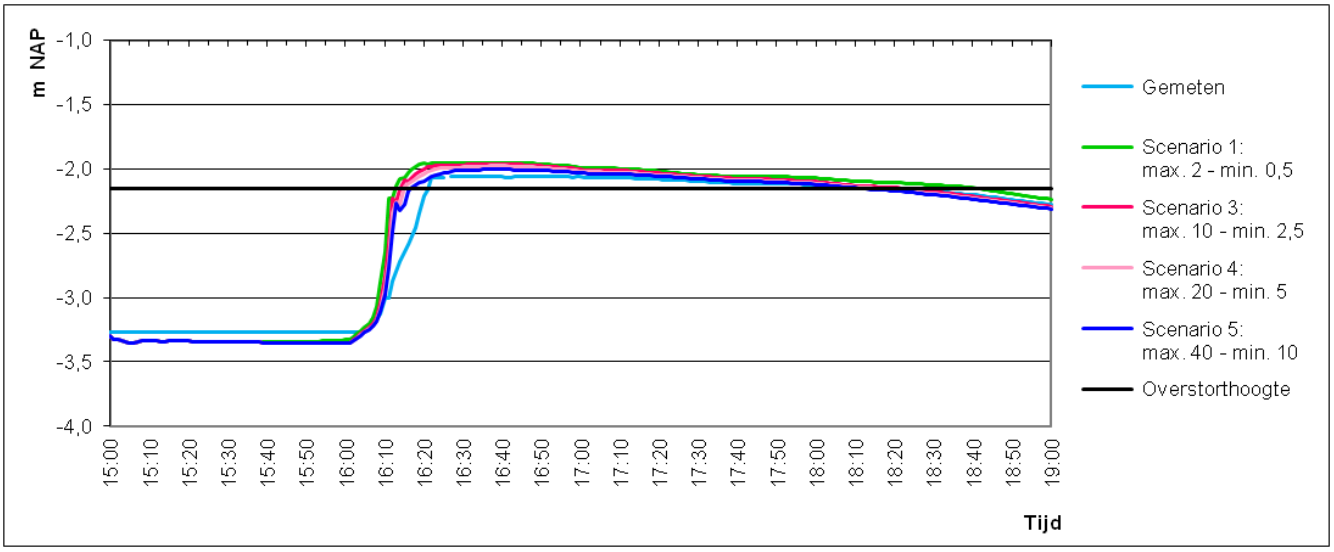
OS1601



OS5813

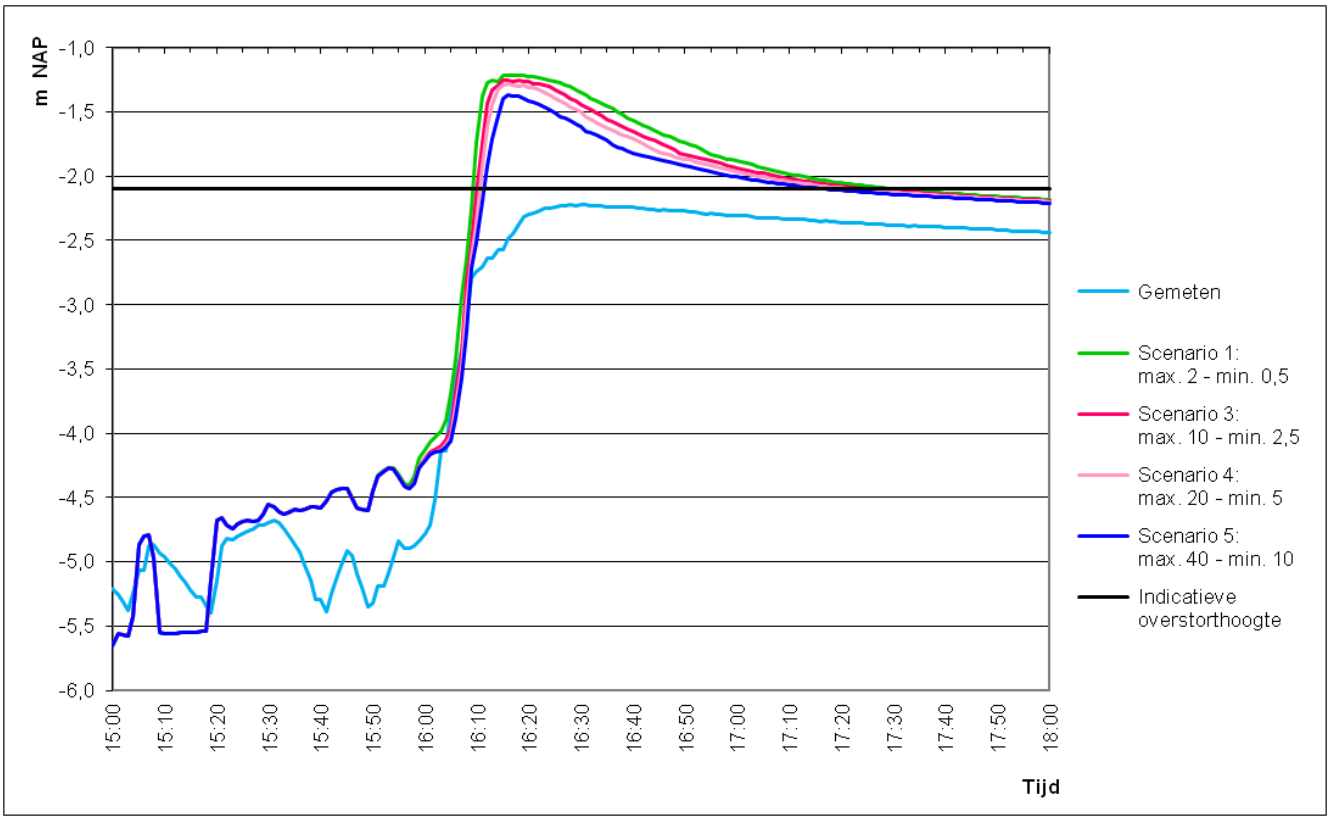

m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
15:00
15:10
15:20
15:30
15:40
15:50
16:00
16:10
16:20
16:30
16:40
16:50
17:00
17:10
17:20
17:30
17:40
17:50
18:00
18:10
18:20
18:30
18:40
18:50
19:00
Tijd
Gemeten
Scenario 1: max. 2 - min. 0,5
Scenario 3: max. 10 - min. 2,5
Scenario 4: max. 20 - min. 5
Scenario 5: max. 40 - min. 10
Overstorthoogte

OS64

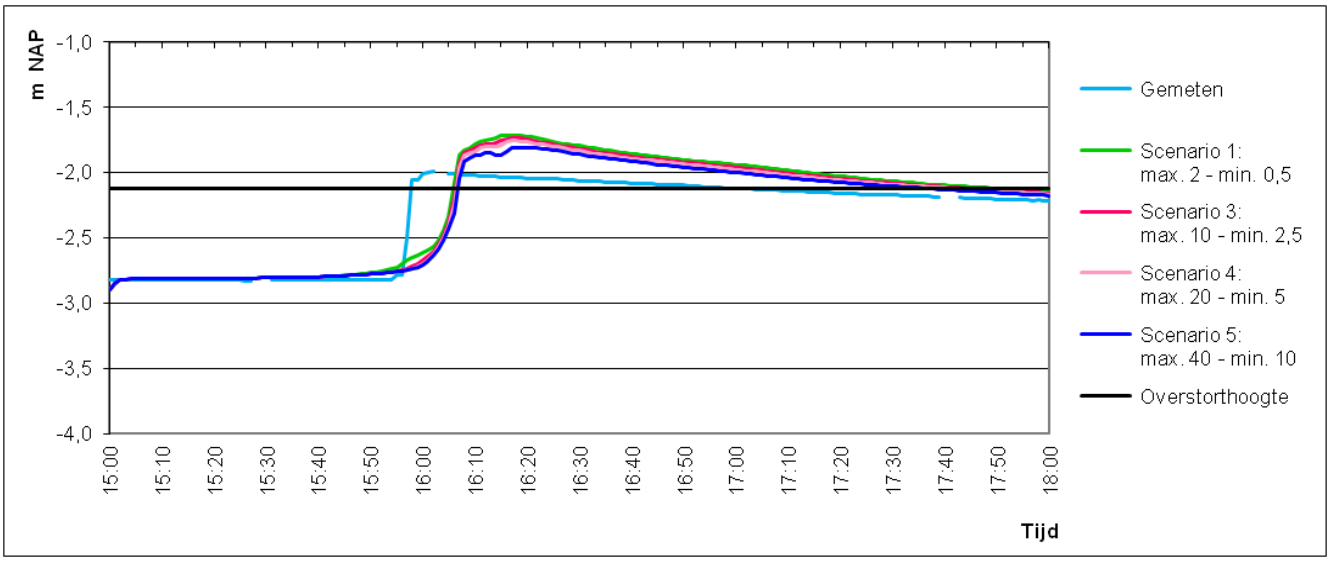

m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
15:00
15:10
15:20
15:30
15:40
15:50
16:00
16:10
16:20
16:30
16:40
16:50
17:00
17:10
17:20
17:30
17:40
17:50
18:00
18:10
18:20
18:30
18:40
18:50
19:00
Tijd
Gemeten
Scenario 1: max. 2 - min. 0,5
Scenario 3: max. 10 - min. 2,5
Scenario 4: max. 20 - min. 5
Scenario 5: max. 40 - min. 10
Overstorthoogte

Situatie 5 augustus 2012

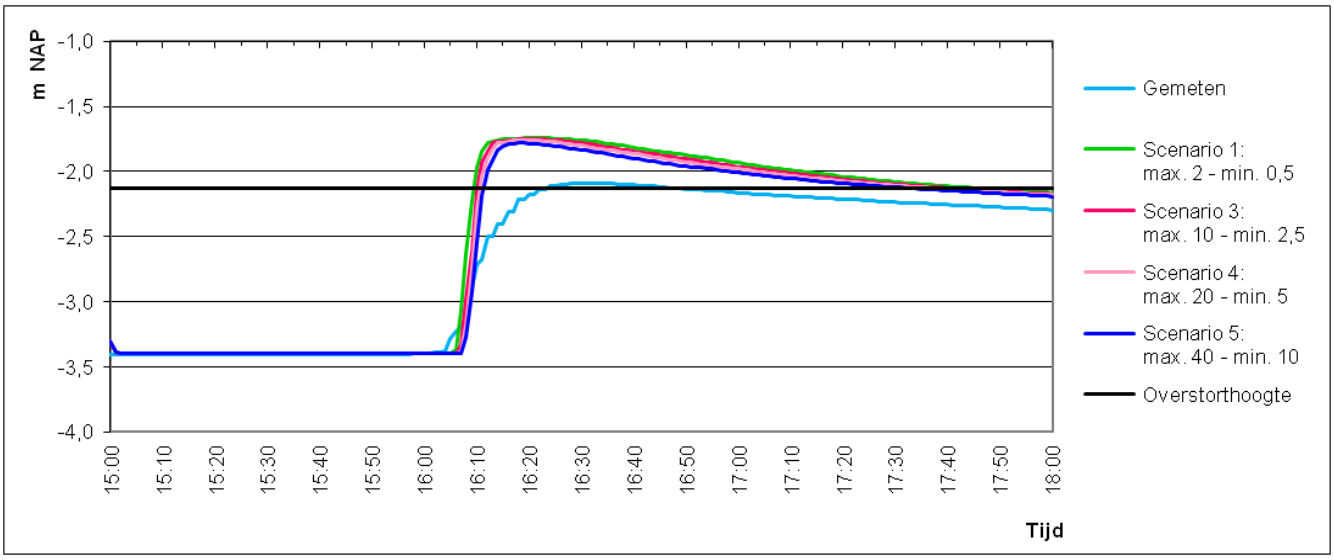
AG010 (gemaalbassin)



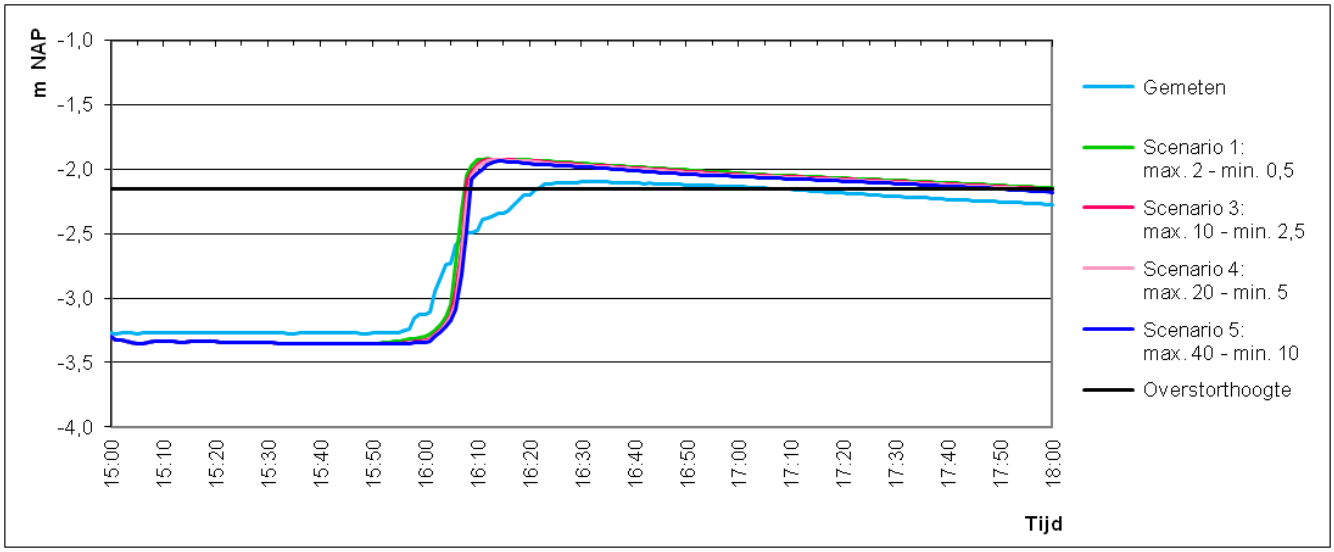
OS1601



OS5813


m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
15:00
15:10
15:20
15:30
15:40
15:50
16:00
16:10
16:20
16:30
16:40
16:50
17:00
17:10
17:20
17:30
17:40
17:50
18:00
Tijd
Gemeten
Scenario 1: max. 2 - min. 0,5
Scenario 3: max. 10 - min. 2,5
Scenario 4: max. 20 - min. 5
Scenario 5: max. 40 - min. 10
Overstorthoogte

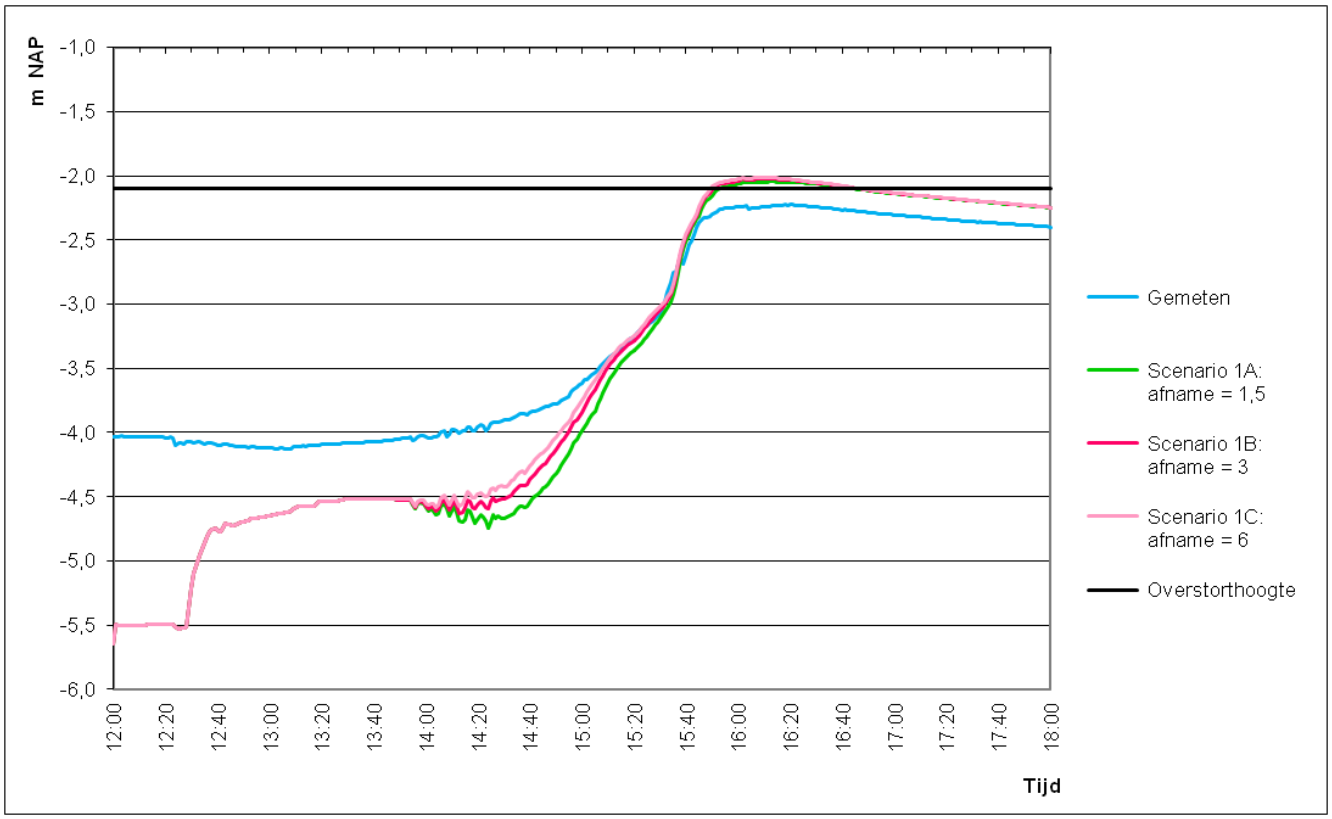
OS64


m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
15:00
15:10
15:20
15:30
15:40
15:50
16:00
16:10
16:20
16:30
16:40
16:50
17:00
17:10
17:20
17:30
17:40
17:50
18:00
Tijd
Gemeten
Scenario 1: max. 2 - min. 0,5
Scenario 3: max. 10 - min. 2,5
Scenario 4: max. 20 - min. 5
Scenario 5: max. 40 - min. 10
Overstorthoogte

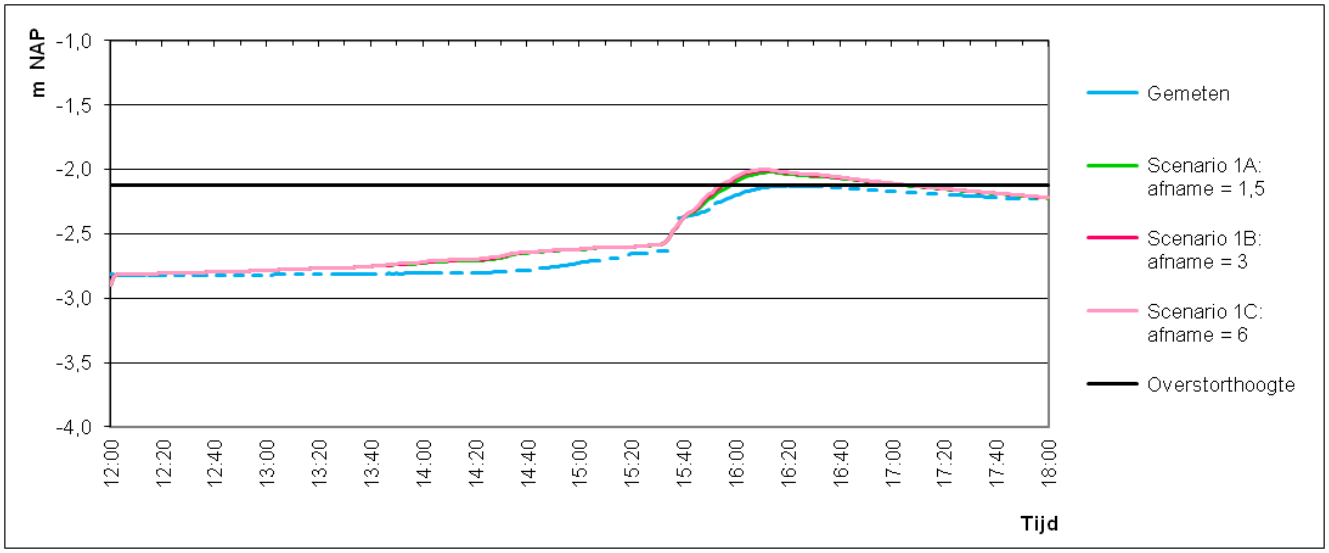
BIJLAGE XI: Uitkomsten kalibratie – afname infiltratiecapaciteit (k_a)

Situatie 3 januari 2012

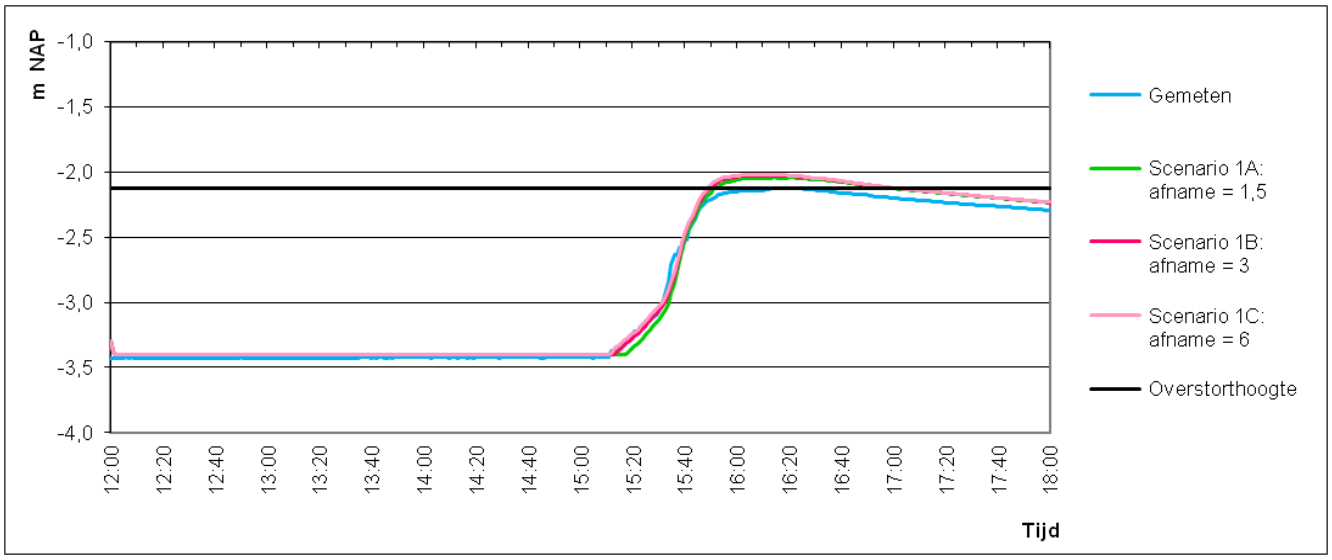
AG010 (gemaalbassin)



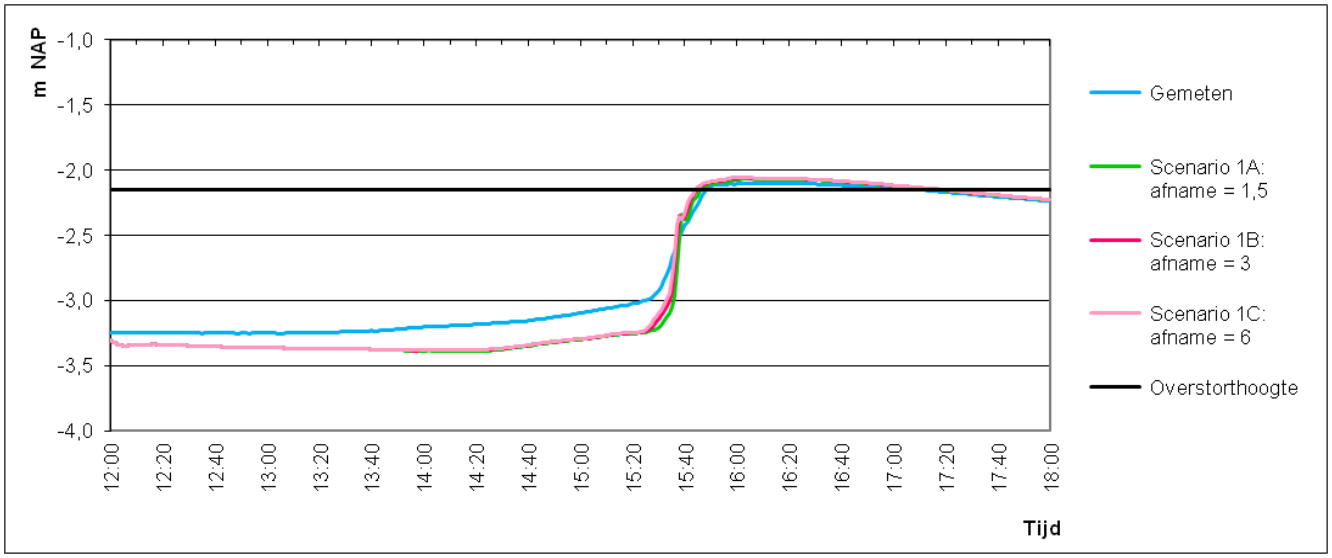
OS1601



OS5813

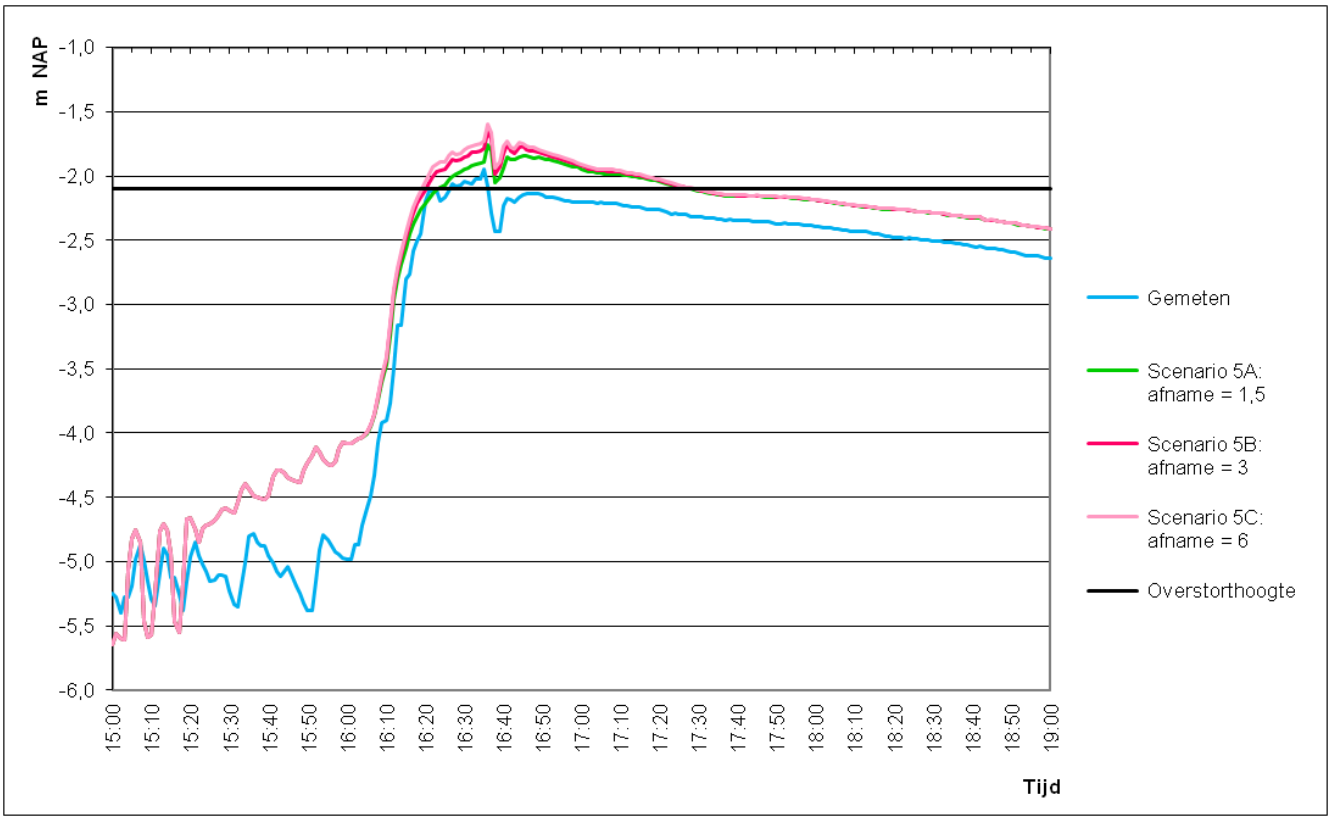

m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
12:00
12:20
12:40
13:00
13:20
13:40
14:00
14:20
14:40
15:00
15:20
15:40
16:00
16:20
16:40
17:00
17:20
17:40
18:00
Tijd
Gemeten
Scenario 1A: afname = 1,5
Scenario 1B: afname = 3
Scenario 1C: afname = 6
Overstorthoogte

OS64

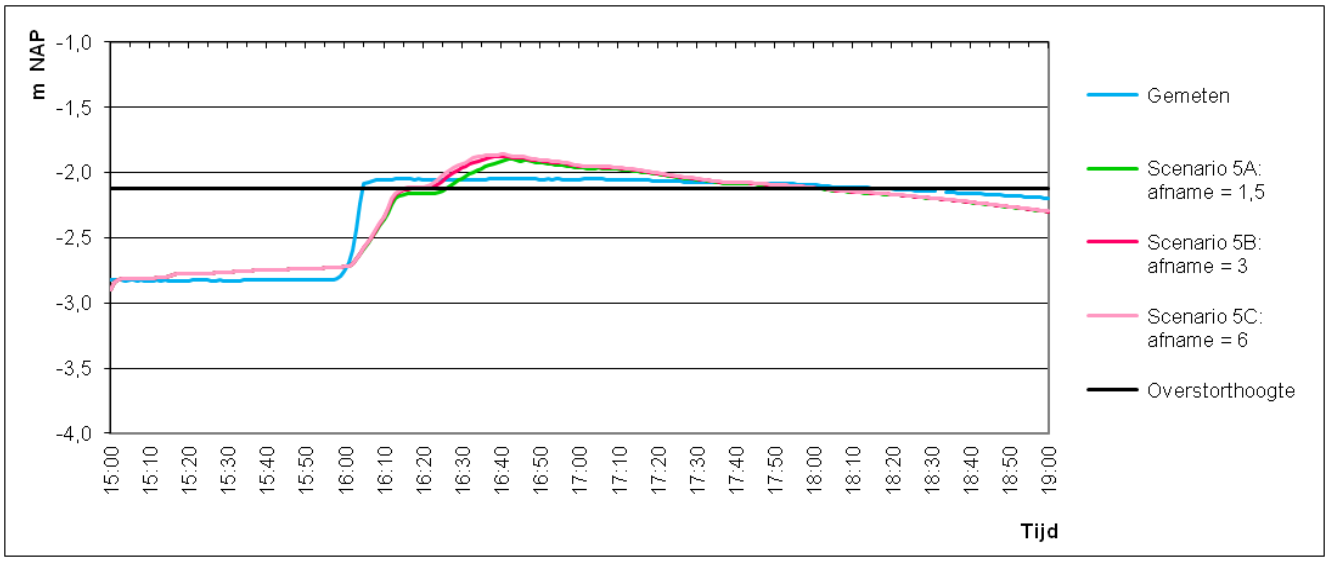

m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
12:00
12:20
12:40
13:00
13:20
13:40
14:00
14:20
14:40
15:00
15:20
15:40
16:00
16:20
16:40
17:00
17:20
17:40
18:00
Tijd
Gemeten
Scenario 1A: afname = 1,5
Scenario 1B: afname = 3
Scenario 1C: afname = 6
Overstorthoogte

Situatie 11 juni 2012

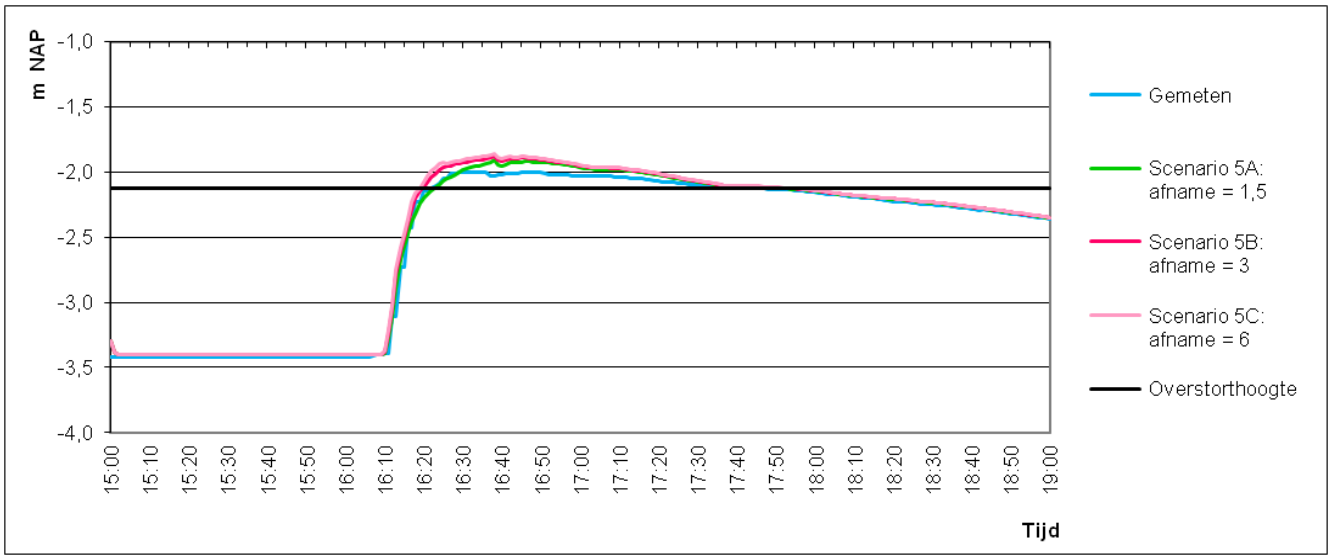
AG010 (gemaalbassin)



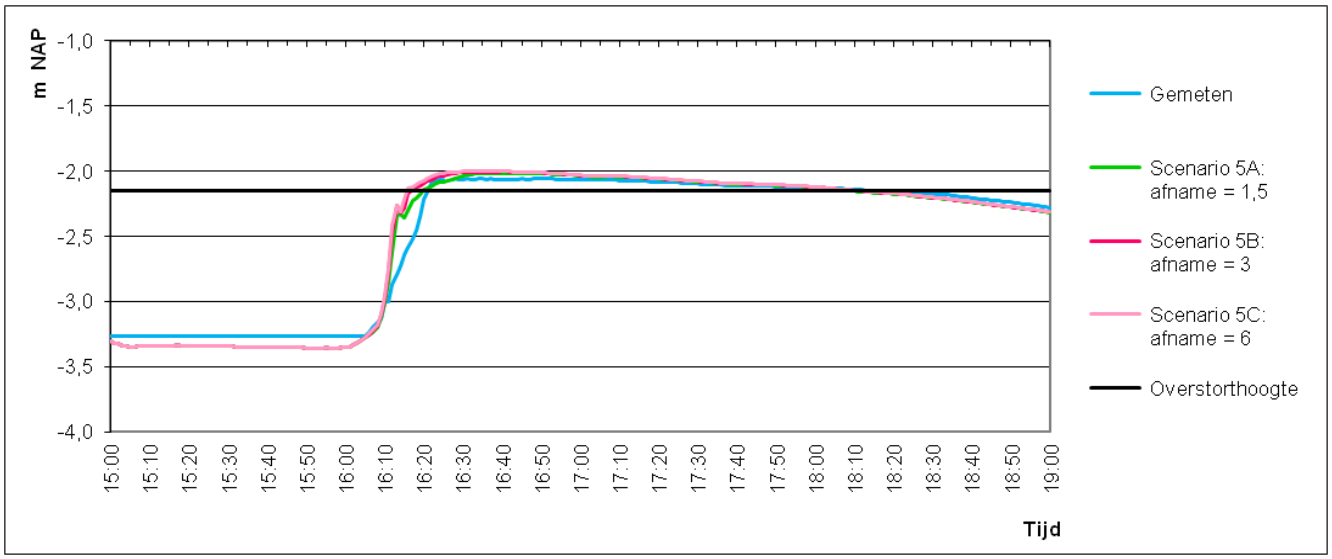
OS1601



OS5813

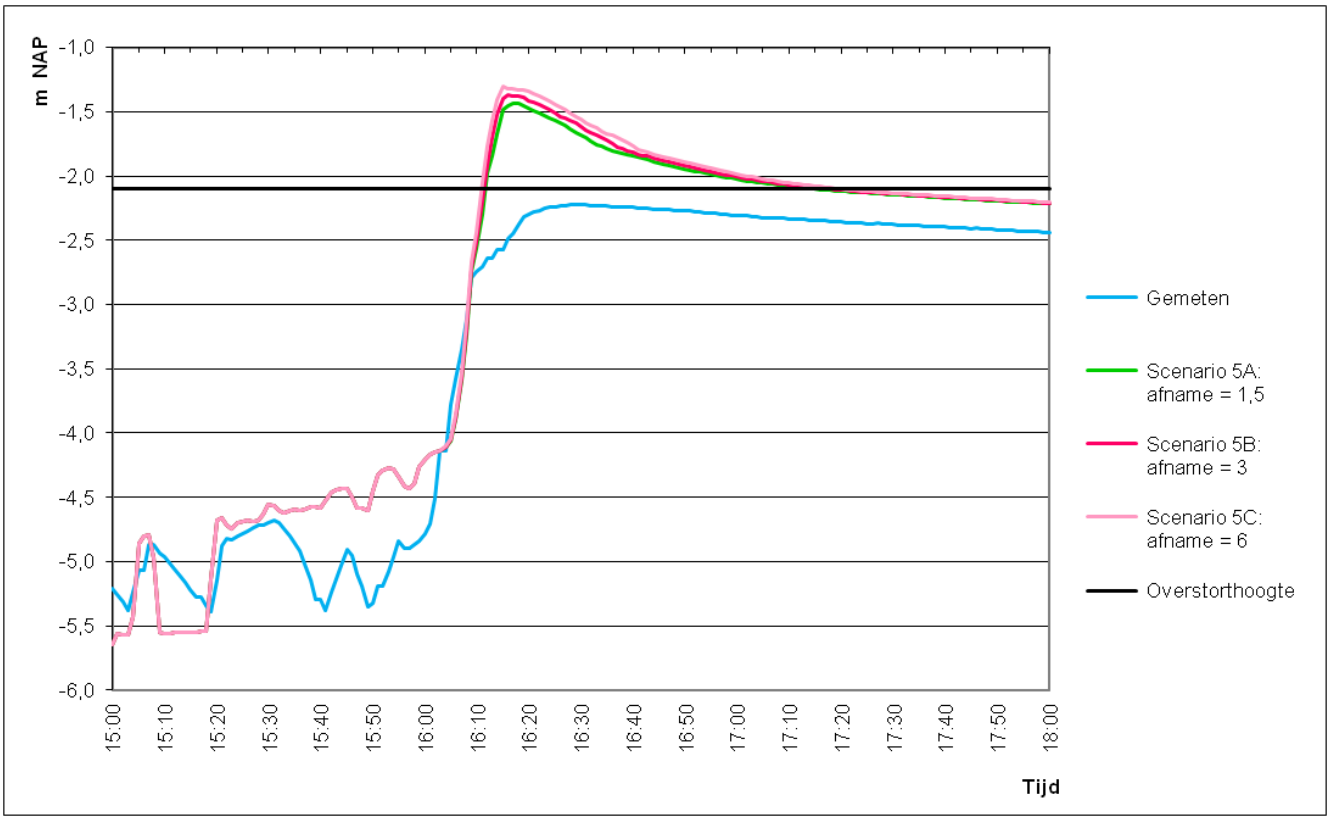

m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
15:00
15:10
15:20
15:30
15:40
15:50
16:00
16:10
16:20
16:30
16:40
16:50
17:00
17:10
17:20
17:30
17:40
17:50
18:00
18:10
18:20
18:30
18:40
18:50
19:00
Tijd
Gemeten
Scenario 5A: afname = 1,5
Scenario 5B: afname = 3
Scenario 5C: afname = 6
Overstorthoogte

OS64

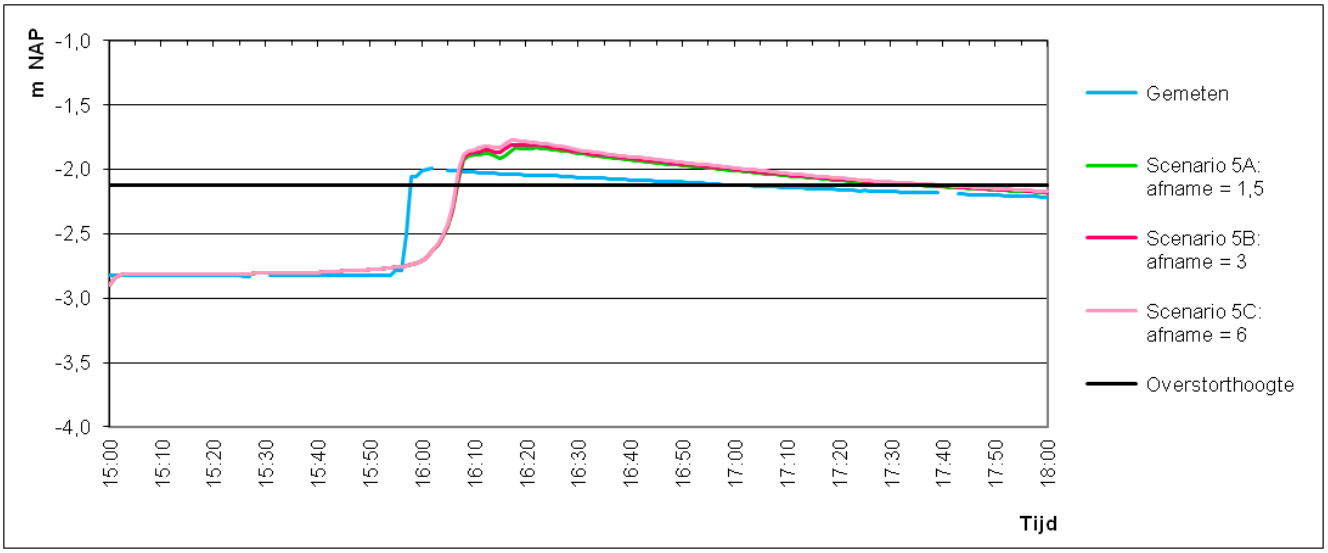

m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
15:00
15:10
15:20
15:30
15:40
15:50
16:00
16:10
16:20
16:30
16:40
16:50
17:00
17:10
17:20
17:30
17:40
17:50
18:00
18:10
18:20
18:30
18:40
18:50
19:00
Tijd
Gemeten
Scenario 5A: afname = 1,5
Scenario 5B: afname = 3
Scenario 5C: afname = 6
Overstorthoogte

Situatie 5 augustus 2012

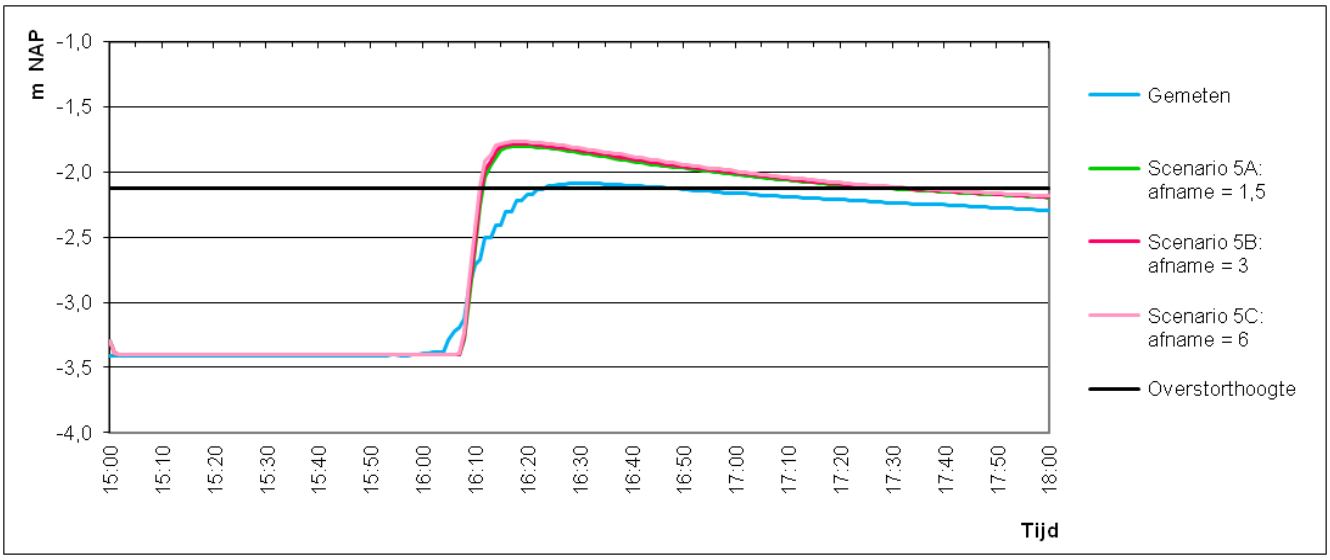
AG010 (gemaalbassin)



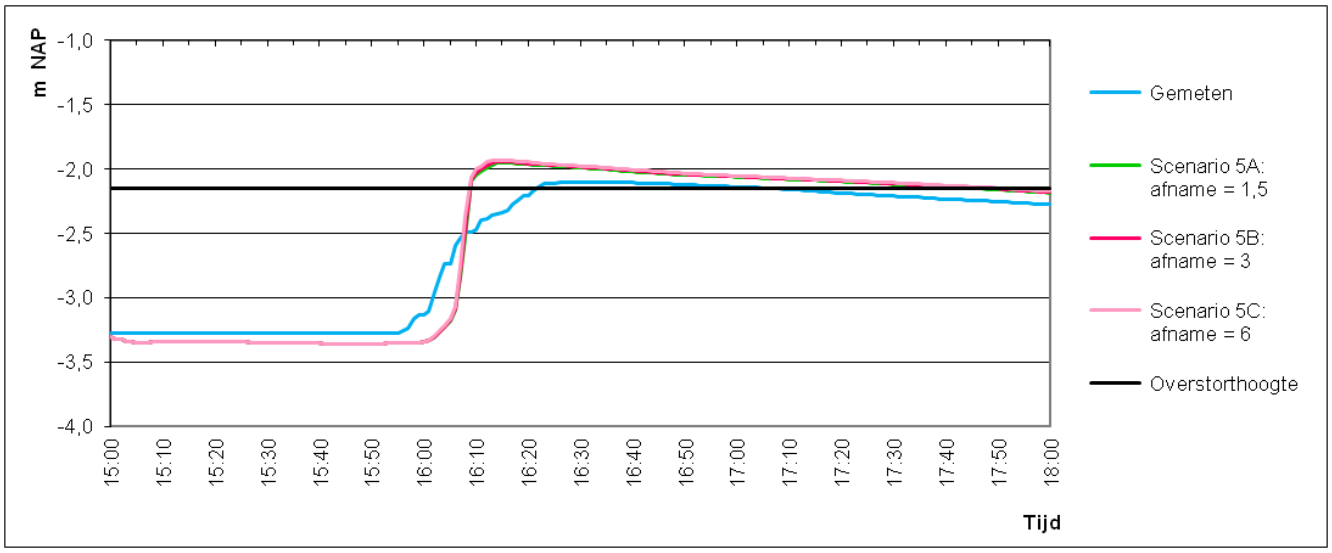
OS1601



OS5813


m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
15:00
15:10
15:20
15:30
15:40
15:50
16:00
16:10
16:20
16:30
16:40
16:50
17:00
17:10
17:20
17:30
17:40
17:50
18:00
Tijd
Gemeten
Scenario 5A: afname = 1,5
Scenario 5B: afname = 3
Scenario 5C: afname = 6
Overstorthoogte

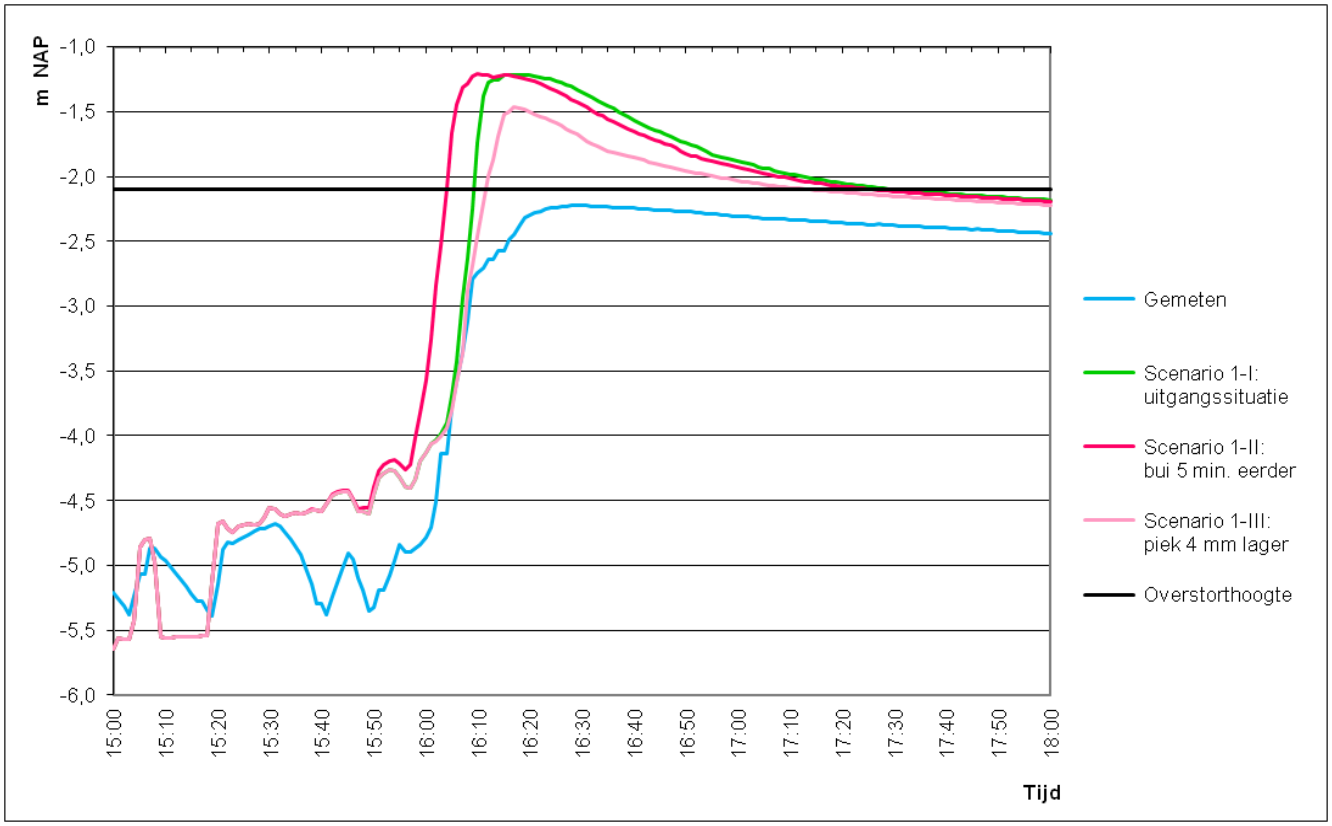
OS64


m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
15:00
15:10
15:20
15:30
15:40
15:50
16:00
16:10
16:20
16:30
16:40
16:50
17:00
17:10
17:20
17:30
17:40
17:50
18:00
Tijd
Gemeten
Scenario 5A: afname = 1,5
Scenario 5B: afname = 3
Scenario 5C: afname = 6
Overstorthoogte

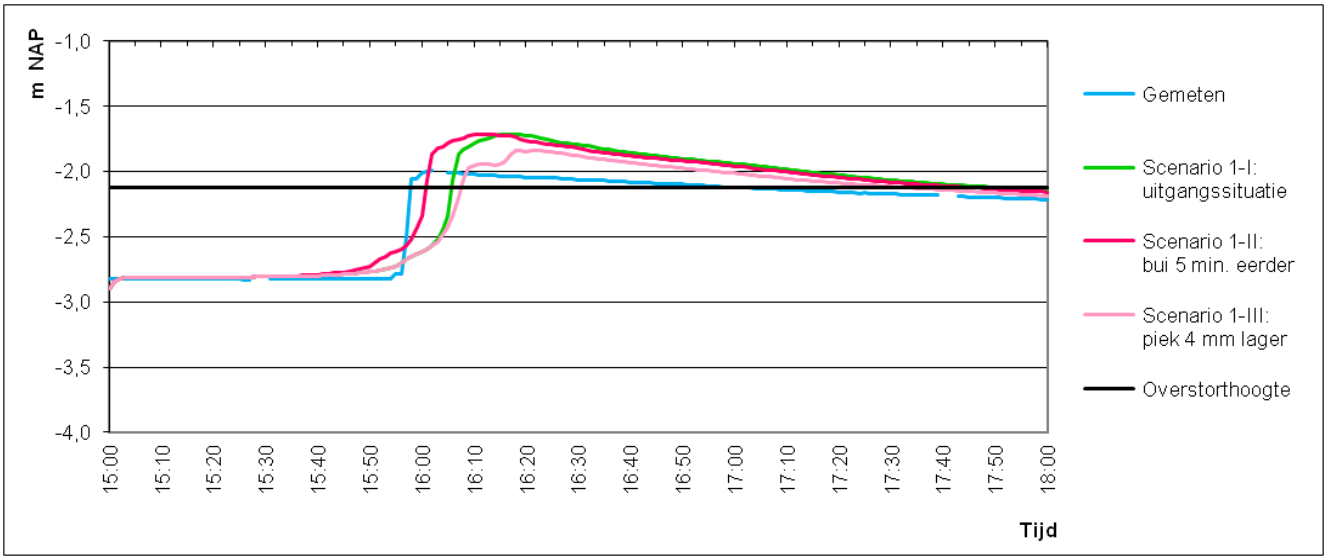
BIJLAGE XII: Uitkomsten kalibratie – aanpassing neerslaginput

Situatie 5 augustus 2012

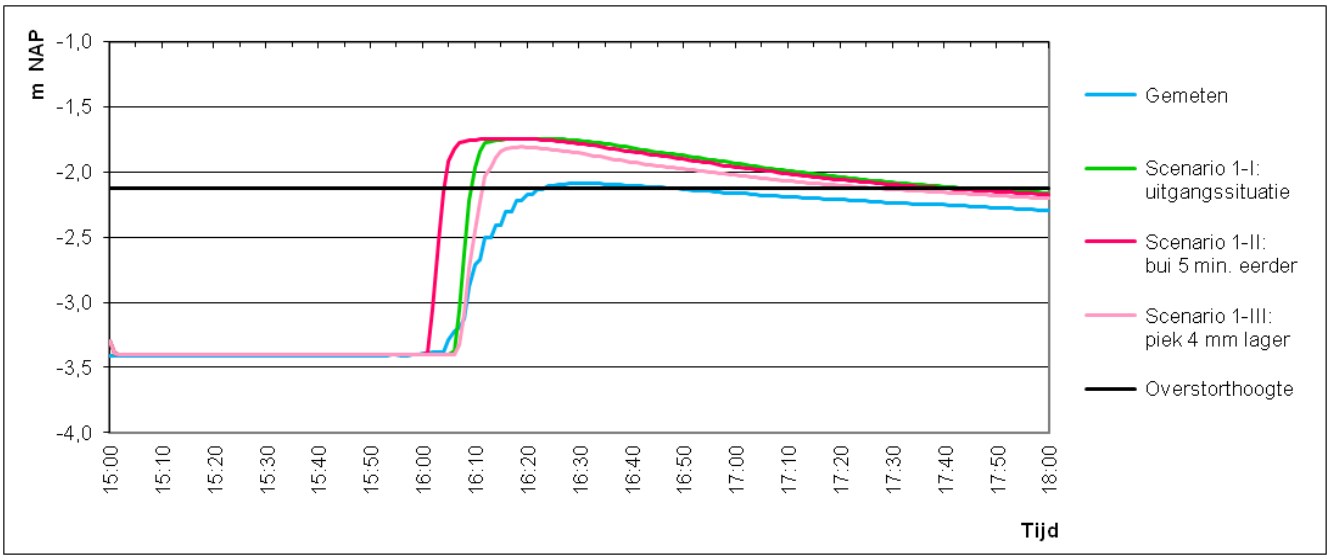
AG010 (gemaalbassin)



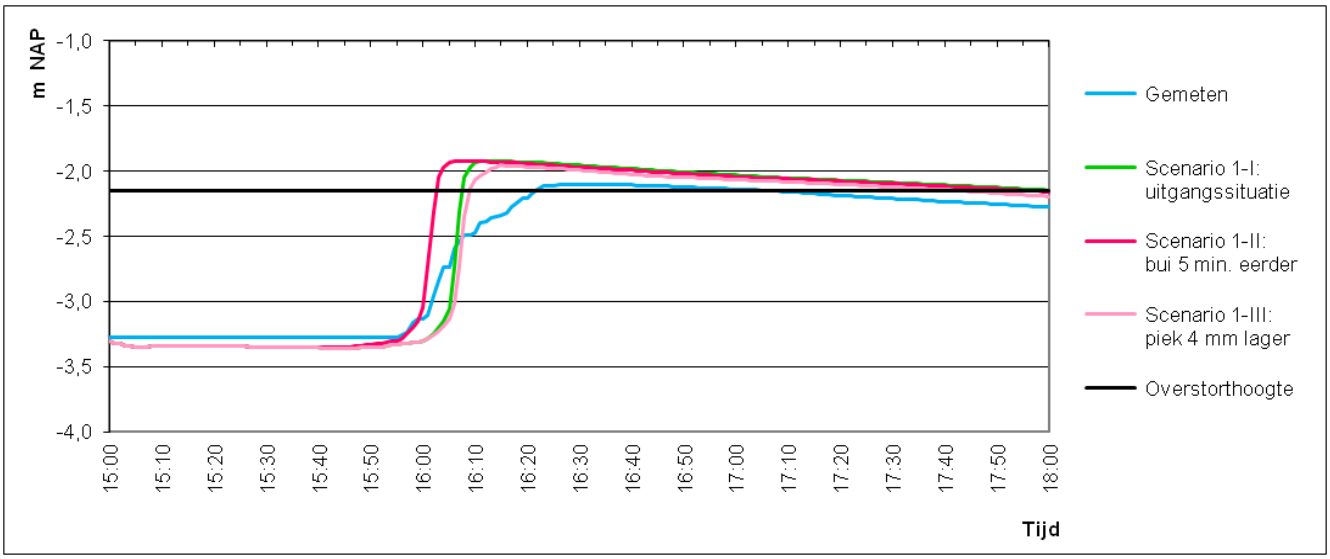
OS1601



OS5813


m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
15:00
15:10
15:20
15:30
15:40
15:50
16:00
16:10
16:20
16:30
16:40
16:50
17:00
17:10
17:20
17:30
17:40
17:50
18:00
Tijd
Gemeten
Scenario 1-I: uitgangssituatie
Scenario 1-II: bui 5 min. eerder
Scenario 1-III: piek 4 mm lager
Overstorthoogte

OS64


m NAP
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
-3,0
-3,5
-4,0
15:00
15:10
15:20
15:30
15:40
15:50
16:00
16:10
16:20
16:30
16:40
16:50
17:00
17:10
17:20
17:30
17:40
17:50
18:00
Tijd
Gemeten
Scenario 1-I: uitgangssituatie
Scenario 1-II: bui 5 min. eerder
Scenario 1-III: piek 4 mm lager
Overstorthoogte