

## Sensortechnologie voor slim transport rioolwater

Eindrapportage

WLN  
Rijksstraatweg 85  
9756 AD Glimmen  
T: 050 402 2121  
E: [info@wln.nl](mailto:info@wln.nl)

# Sensortechnologie voor slim transport rioolwater

WLN  
Rijksstraatweg 85  
9756 AD Glimmen  
T: 050-402 2121  
E: info@wln.nl  
W: www.wln.nl

|                   |  |
|-------------------|--|
| Projectnaam:      | Sensortechnologie voor slim transport rioolwater   |
| Datum:            | 3 maart 2017   |
| Status:           | Definitief   |
| Auteur:           | Ir. A. Mous en dr.ir. P.M.F. van der Maas  |
| Documentnaam:     | R001 Sensortechnologie voor slim transport rioolwater def 130217 voor check Astrid   |
| Vrijgave          |  |
| Goedgekeurd door: | Ir. D.v.d. Woerd    |
| Opdrachtgever:    | Gemeenten Leeuwarden, Groningen en Assen, waterschappen Hunze en Aa's, Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân, Waterbedrijf Groningen en Waterleidingmaatschappij Drenthe |



Het kwaliteitsmanagementsysteem van WLN is gecertificeerd volgens ISO 9001 : 2008 en is van toepassing op het op projectmatige basis adviseren op het gebied van watertechnologie.

Ondanks alle zorg die aan de samenstelling van deze uitgave is besteed, kan noch de auteur, noch WLN b.v. aansprakelijkheid aanvaarden voor schade die het gevolg is van enige fout in deze uitgave.

© WLN

Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van WLN b.v., noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

# SAMENVATTING

In dit project is de potentie van sensortechnologie voor het actief sturen van rioolwater in gemengde stelsels op basis van waterkwaliteit oriënterend onderzocht. De gedachte is dat, in geval van hevige neerslag, het rioolwater zover wordt verdund met (schoon) regenwater, dat het via Real Time Control (RTC) kan worden geloosd op (ruim) oppervlaktewater zonder dat dit leidt tot waterkwaliteitsproblemen. Hiermee wordt zowel het rioolstelsel als de RWZI ontlast. De potentiële winst zit dan in (1) het voorkomen van overstorten op kritische locaties, (2) het verminderen van de netto vuilemissie naar het oppervlaktewater en (3) het verminderen van pomp- en beluchtingsenergie voor zuivering en transport van rioolwater.

De toepasbaarheid van geleidbaarheid en troebelheid voor het online monitoren van rioolwater is onderzocht op vijf locaties in de gemeenten Assen, Groningen en Leeuwarden in de periode van september 2015 t/m september 2016. Uit de resultaten is gebleken dat geleidbaarheid en troebelheid goede surrogaatparameters kunnen zijn voor de kwaliteit van rioolwater (BZV, TSS, N-kj en t-P) en de mate van verdunning door regenwater. Voor een betrouwbare meting worden voorwaarden gesteld aan de positionering van de sensoren: deze moeten continu in contact staan met water en er moet voldoende stroming aanwezig zijn om vervuiling van de sensoren tegen te gaan. De beste resultaten zijn verkregen bij rioolwater afkomstig van woonwijken (huishoudelijk afvalwater). Het afvalwater afkomstig van een bedrijventerrein in Groningen toonde bij DWA een sterk schommelende EGV, dit maakt de correlatie met (verdunning) door regenwater meer complex. Ook bij een eindemaal in Groningen (zeer diverse herkomst van het rioolwater) was het verband tussen de surrogaatparameters en de kwaliteitsparameters minder sterk.

Gebaseerd op de (kwalitatief goede) data verkregen in de wijk Bilgaard in Leeuwarden is de winst van gecontroleerde overstort o.b.v. waterkwaliteit oriënterend geschat. Uitgangspunt daarbij is dat het water rechtstreeks (actief) naar oppervlaktewater gaat bij een EGV < 20 mS/m. In dat geval is het afvalwater circa 8 keer verdund met regenwater en is de kwaliteit globaal vergelijkbaar met RWZI effluent. Op jaarbasis voldoet circa 9% van het rioolwater van Bilgaard aan het criterium EGV < 20 mS/m, d.w.z. komt in aanmerking om eventueel rechtstreeks op oppervlaktewater te worden geloosd. Dit komt qua ordegrootte overeen met de berekende hoeveelheid rioolwater die jaarlijks (passief) overstort op oppervlaktewater uit een gemengd stelsel dat voldoet aan de basisinspanning. Uit overstortdata van de locatie Bilgaard in Leeuwarden blijkt dat in de huidige situatie overstort (ongecontroleerd, passief) plaatsvindt wanneer het rioolwater sterk verdund is (EGV < 20 mS/m). Het consistente beeld suggereert dat waterkwaliteit directer gerelateerd is aan het waterniveau in riool dan aan de buiendynamiek. Het lijkt daarom aannemelijk dat, bij goed gedimensioneerde stelsels, de winst van gecontroleerde overstort (RTC) o.b.v. waterkwaliteit beperkt is. Wel kan met sensortechnologie de bestaande situatie (eenmalig of periodiek) worden geoptimaliseerd via aanpassing van de bestaande riolering, zodanig dat een optimale balans wordt bereikt tussen:

1. Het voorkomen dat te veel dun water naar de RWZI wordt getransporteerd.
2. Het voorkomen dat geconcentreerd rioolwater overstort.

Aanbevolen wordt om op andere plaatsen het beeld van Leeuwarden Bilgaard te verifiëren en in concrete situaties de ruimte voor optimalisatie m.b.v. sensortechnologie nader vast te stellen.

# INHOUDSOPGAVE

|   |           |
|---|-----------|
| AFKORTINGEN.....  | V         |
| <b>1 INLEIDING.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 ACHTERGROND.....  | 1         |
| 1.2 PROJECT EN ONDERZOEKSVRAGEN .....   | 1         |
| 1.3 LEESWIJZER .....  | 3         |
| <b>2 ONDERZOEKSOPZET .....</b>  | <b>4</b>  |
| 2.1 PROEFLOCATIES .....   | 4         |
| 2.2 WATERKWALITEITSMONITORING .....   | 7         |
| 2.2.1 RIOOLWATER .....  | 7         |
| 2.2.2 OPPERVLAKTEWATER.....   | 8         |
| 2.2.3 AANPASSINGEN ONLINE METERS .....  | 9         |
| 2.3 POTENTIESCHATTING .....   | 9         |
| <b>3 RESULTATEN WATERKWALITEITSMONITORING .....</b>                           | <b>10</b> |
| 3.1 RIOOLWATER .....  | 10        |
| 3.1.1 EGV/TROEBELHEID ALS SURROGAATPARAMETERS.....                            | 10        |
| 3.1.2 BETROUWBAARHEID ONLINE METERS EN ONDERHOUD .....                        | 12        |
| 3.1.3 VARIATIE RIOOLWATERKWALITEIT.....                                       | 15        |
| 3.1.3.1 GRONINGEN .....   | 15        |
| 3.1.3.2 ASSEN .....   | 16        |
| 3.1.3.3 LEEUWARDEN .....  | 17        |
| 3.1.4 RELATIE WATERKWALITEIT EN REGENWATER .....                              | 18        |
| 3.2 OPPERVLAKTEWATER .....  | 20        |
| 3.2.1 KWALITEIT OPPERVLAKTEWATER .....  | 20        |
| 3.2.2 IMPACT VAN OVERSTORT .....  | 21        |
| 3.3 CONCLUSIES WATERKWALITEITSMONITORING.....                                 | 23        |
| <b>4 POTENTIE STUREN RIOOLWATER O.B.V. WATERKWALITEIT.....</b>                | <b>24</b> |
| 4.1 LEEUWARDEN: OPTIMALISATIE T.B.V. ONTLASTEN OPPERVLAKTEWATER EN RWZI ..... | 24        |
| 4.2 ASSEN: OPTIMALISATIE AFVOER MET BBB EN RWZI .....                         | 24        |
| 4.3 GRONINGEN: ALTERNATIEVE AFVOER IN GESELECTEERDE BEMALINGSGEBIEDEN .....   | 25        |
| 4.4 POTENTIËLE WINST VAN RTC O.B.V. WATERKWALITEIT.....                       | 25        |
| <b>5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....</b>                                    | <b>30</b> |
| 5.1 TECHNISCHE TOEPASBAARHEID ONLINE MONITORING.....                          | 30        |
| 5.2 GECONTROLEERD OVERSTORTEN: KANSEN EN WINST .....                          | 31        |
| 5.3 AANBEVELINGEN.....  | 31        |
| <b>6 REFERENTIES .....</b>  | <b>33</b> |

## BIJLAGEN:

1. Kenmerkbladen Assen, Leeuwarden en Groningen
2. Correlaties lab en online metingen
3. Kwaliteit rioolwater
4. Kwaliteit oppervlaktewater
5. Relatieve vuilbelasting stadswater a.g.v. overstort bui 08
6. EGV histogram bedrijventerrein Euvelgunne (GR 2)
7. The effect of historic rainfall on the quality of sewage

## AFKORTINGEN

|      |                                 |
|------|---------------------------------|
| BZV  | biochemisch zuurstofverbruik    |
| BBB  | bergbezinkbassin                |
| DWA  | droogweerafvoer                 |
| EGV  | elektrische geleidbaarheid      |
| FTU  | troebelheid                     |
| i.e. | inwonersequivalent              |
| LN   | natuurlijke logaritme           |
| N-Kj | Kjeldahl stikstof               |
| POC  | pompoevercapaciteit             |
| RTC  | real time control               |
| RWA  | regenweerafvoer (DWA + POC)     |
| RWZI | rioolwaterzuiveringsinstallatie |
| TSS  | totaal opgeloste stoffen        |
| t-P  | totaal fosfaat                  |
| t-N  | totaal stikstof                 |

# 1 INLEIDING

## 1.1 Achtergrond

Ondanks dat steeds meer regenwater apart wordt ingezameld via regenwaterriolen, wordt een groot deel van het regenwater in de bebouwde omgeving nog ingezameld via gemengde rioolstelsels. Tijdens regenweersituaties wordt dit gemengde rioolstelsel hydraulisch zwaar belast, met als gevolg dat:

- Bij hoosbuien en langdurige regenval lozingen plaatsvinden van rioolwater op oppervlaktewater via overstorten;
- Rioolwaterzuiveringsinstallaties een grote vuilpiek ontvangen die de zuiveringscapaciteit én hydraulische capaciteit vaak te boven gaat.

Deze situatie kan, naar verwachting, verbeterd worden door de toevoer van rioolwater vanuit het gemeenteriool naar de RWZI te reguleren. Dit zou kunnen door bepaalde gemalen (o.b.v. bergingscapaciteit in het riool) voorrang te geven op anderen. Verdere optimalisatie is alleen mogelijk indien, naast de meting van de waterkwantiteit, ook (continu) de waterkwaliteit van het rioolwater wordt meegenomen in de sturing van de gemalen/rioolwatertransport. In dat geval kan ervoor worden gekozen om op bepaalde locaties bewust verdund rioolwater over te storten, mits de waterkwaliteit dat toelaat. De gedachte achter een dergelijke aanpak is dat:

- Overstorten elders worden voorkomen, d.w.z. op locaties waar overstort niet gewenst is;
- De vuilvracht naar de RWZI beter kan worden gereguleerd;
- De netto vuilemissie naar oppervlaktewater wordt verlaagd;
- Minder energie nodig is voor pompen, chemicaliën en zuivering.

Volgens verschillende auteurs kan met deze relatief eenvoudige en betaalbare sensoren, zoals geleidbaarheid en troebelheid, een goede indruk worden verkregen van de waterkwaliteit (Van Daal-Rombouts et al., 2013, Moens et al., 1999, Bersinger et al., 2013, Lombard et al., 2010). Echter, deze sensoren zijn vooral onderzocht op correlatie met CZV en zwevende stof, de correlatie met nutriënten (N, P) en BZV (zuurstofvraag) is veel minder duidelijk. Ook is niet helder wat de “winst” is van het sturen van rioolwater op waterkwaliteit, d.w.z. gecontroleerd overstorten onder regenweercondities, daar waar de waterkwaliteit het toelaat.

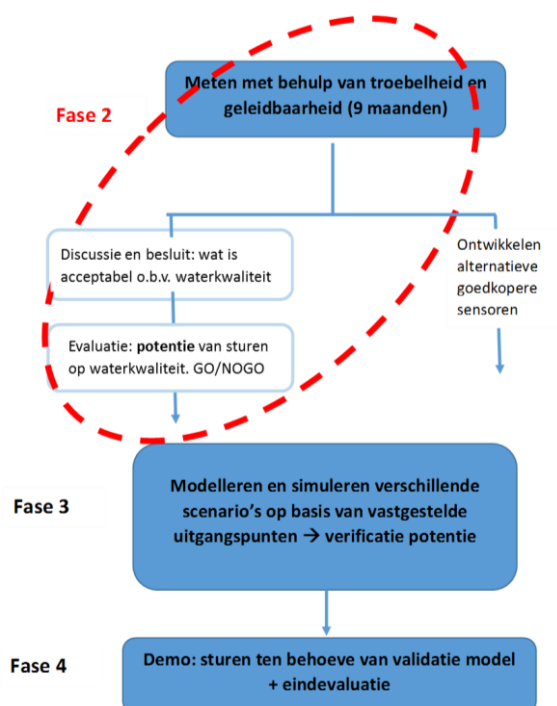
## 1.2 Project en onderzoeksvragen

In een samenwerkingsverband van de gemeenten Assen, Groningen en Leeuwarden, de waterschappen Hunze en Aa's, Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân en de waterbedrijven Waterleidingmaatschappij Drenthe en Waterbedrijf Groningen wordt de meerwaarde van online waterkwaliteitsmonitoring van rioolwater in gemengde stelsels en modellering t.b.v. slimme inzameling en transport van rioolwater gedemonstreerd en globaal gekwantificeerd. De online waterkwaliteitsmonitoring is gebaseerd op de geleidbaarheid en troebelheid als surrogaat-parameter. Het project moet meer zicht geven op de toepasbaarheid van eenvoudige sensoren op verschillende locaties en onder verschillende condities. Ook moet het project een eerste inschatting bieden m.b.t. de meerwaarde van monitoring van en sturing op waterkwaliteit.

Het project kent verschillende fases, zoals geïllustreerd in Figuur 1. Fase 1 was voorbereidend van aard: vorming van samenwerking, definiëren van het onderzoek en projectplan. In Fase 2 wordt de potentie

van sensortechnologie voor slimme inzameling en transport van rioolwater in gemengde stelsels onderzocht. De volgende onderzoeksvragen worden beantwoord:

1. Kan met relatief eenvoudige online meters (EGV en troebelheid) een goed beeld worden verkregen van de kwaliteit van rioolwater en de mate van verdunning door regenwater?
2. Wat is het effect van (a) neerslag op de kwaliteit van rioolwater en (b) overstort op de kwaliteit van oppervlaktewater?
3. Op welke locaties in Groningen, Leeuwarden en Assen en onder welke condities is het bewust overstorten van (sterk verdund) rioolwater kansrijk?
4. Wat is de geschatte winst van Real Time Control (RTC) op basis van waterkwaliteit m.b.t. reductie vuilemissie naar oppervlaktewater, reductie van overstorten op kritische locaties (overlast) en reductie van energie (voor pompen en zuivering)?



Figuur 1 – Fasering van het project

Om deze vragen te kunnen beantwoorden is een **meetcampagne** uitgevoerd op een aantal locaties in de gemeenten Leeuwarden, Assen en Groningen. Daarnaast zijn **berekeningen** uitgevoerd m.b.t. de lokale situaties (overstorten in relatie tot oppervlaktewater) in de drie steden om een eerste schatting te maken van de potentie van bewust overstorten onder bepaalde omstandigheden.

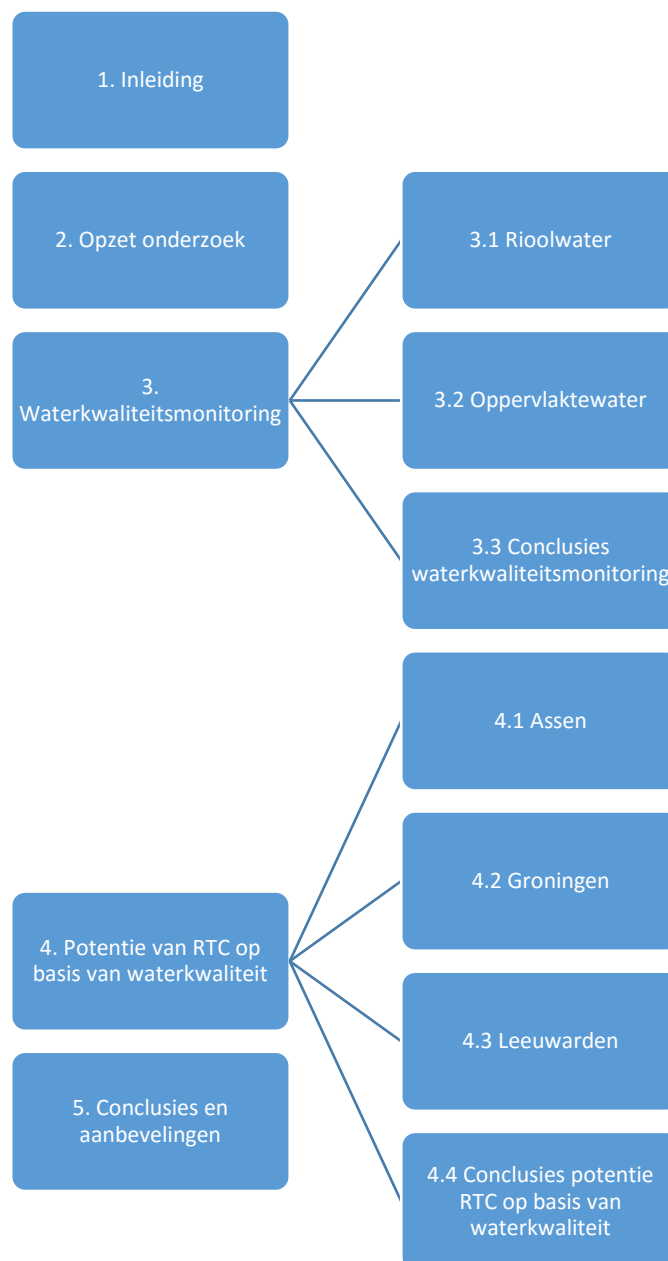
Projectfase 2 is uitgevoerd en begeleid door een projectgroep en werkgroep bestaande uit:

Hans de Vries (Noorderzijlvest, vz.), Dries Jansma (Groningen), Vincent van der Neut (Leeuwarden), Eric Lanoooy (Assen), Jan-Egberts Eleveld (Hunze en Aa's), Bonnie Bult (Wetterskip Fryslân), Olaf Jansen (Assen), Rob Lindeboom (Assen), Roelof Veeningen (Wetterskip Fryslân), Harry Kiewiet (Wetterskip Fryslân), Harry Feenstra, Adriana Groen (Leeuwarden), Jelle Merkus (Leeuwarden), Kees van de Ven (Noorderzijlvest), John Laninga (Noorderzijlvest), Peter van der Maas (WLN, pl.) en Astrid Mous (WLN).

Voor specifieke ondersteuning is door WLN een beroep gedaan op Petra Ross en Joost Veurink van Arcadis.

### 1.3 Leeswijzer

Dit rapport is het eindproduct van projectfase 2. De opbouw van het rapport is schematisch gepresenteerd in Figuur 2. De opzet van het onderzoek wordt beschreven in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 behandelt de resultaten m.b.t. de waterkwaliteitsmonitoring en de evaluatie van de toepasbaarheid van de sensoren. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 ingegaan op mogelijkheden en kansen voor sturing van rioolwater in de gemeenten Assen, Groningen en Leeuwarden. In hoofdstuk 5 worden tenslotte de conclusies en aanbevelingen samengevat.



Figuur 2 – Schematische opbouw van het rapport



## 2 ONDERZOEKSOPZET

Om de onderzoeksvragen (paragraaf 1.2) te kunnen beantwoorden zijn de volgende aspecten oriënterend onderzocht:

- De geschiktheid van geleidbaarheid en troebelheid als indicatorparameters voor rioolwaterkwaliteit. Voor een deel is dit verificatie van eerder onderzoek elders: Van Daal-Rombouts et al. (2013), Moens et al.,(1999), Bersinger et al. (2013), Lombard et al (2010), Lepot et al. (2013).
- De betrouwbaarheid van de sensoren voor online monitoring;
- Het effect van neerslag op de kwaliteit van rioolwater;
- Het effect van overstort van rioolwater op oppervlaktewater.

Hiervoor is een meetcampagne uitgevoerd in de gemeenten Leeuwarden, Groningen en Assen in de periode augustus 2015 t/m september 2016. Met de verkregen resultaten is vervolgens de potentie geschat van de toepassing van RTC van rioolwatertransport o.b.v. waterkwaliteit.

### 2.1 Proeflocaties

Om betrouwbare uitspraken over de hierboven genoemde aspecten te kunnen doen, zijn uiteenlopende proeflocaties gekozen. De locaties zijn dusdanig gekozen dat de herkomst van het rioolwater varieert, evenals de grootte van de bemalingsgebieden. In overleg met de gemeenten zijn de volgende locaties geselecteerd:

1. Gemeente Assen: Pittelo Zuid
2. Gemeente Groningen: Damsterdiep en bedrijventerrein Euvelgunne
3. Gemeente Leeuwarden: Bilgaard

Met deze selectie is de herkomst van het water variabel (Pittelo Zuid en Bilgaard zijn woonwijken, Euvelgunne bedrijventerrein en Damsterdiep, een groot eindgemeal met zeer diverse herkomst). Ook de omvang van het voorliggend gebied varieert (omvang Damsterdiep > Bilgaard > Pittelo Zuid). De exacte meetlocaties zijn praktisch gekozen, d.w.z. locaties waar voorzieningen aanwezig waren voor online monitoring (zoals electriciteit) en (toegang) voor monsternamen. De individuele locaties worden hieronder besproken.

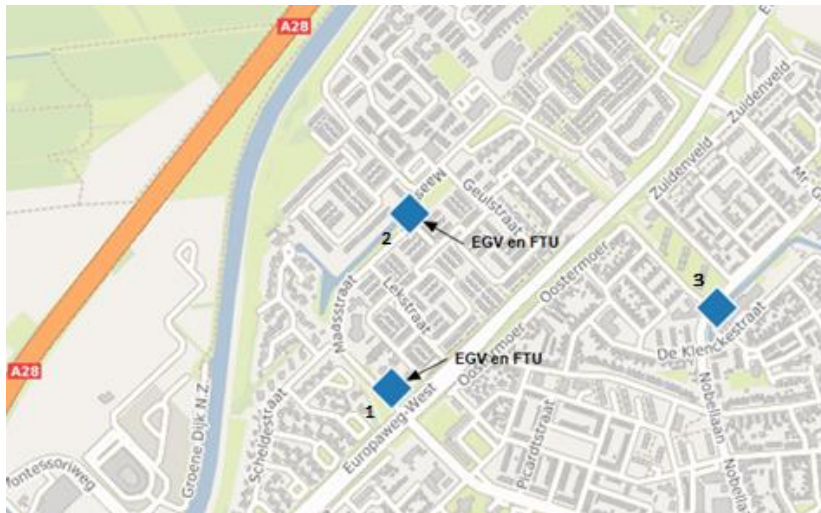
#### Gemeente Assen: Pittelo Zuid

De wijk Pittelo Zuid heeft 2.000 i.e. en de wijk wordt met name vertegenwoordigd door de leeftijdscategorie 45+ (65%). In het stelsel zijn 2 locaties waar online meters (EGV en troebelheid, zie paragraaf 2.2.1) zijn geïnstalleerd, namelijk bij een mechanische schuif (1) en bij de overstort (2) (Figuur 3 en Tabel 1). Deze keuze is gemaakt om de kwaliteit van het afgepompte water te kunnen koppelen aan de kwaliteit van het water bij de overstort. De overstort vindt plaats bij punt 3 (Figuur 3).

Tabel 1 – Benaming, codering en x/y coördinaten bemonsteringslocaties Assen

| Assen          |     | X coördinaten | Y coördinaten |
|----------------|-----|---------------|---------------|
| Schuif         | AS1 | 53°00'10.1''N | 6°32'21.4''E  |
| Overstort      | AS2 | 53°00'21.3''N | 6°32'23.3''E  |
| Nobellaan (OW) | AS3 | 53°00'15.2''N | 6°32'56.0''E  |

Het rioelstelsel van Pittelo Zuid heeft een berging van 1290 m<sup>3</sup>, overeenkomend met 10,6 mm. Daarnaast ligt de POC op 0,7 mm/u. Het kenmerkenblad is in bijlage 1 bijgevoegd.



Figuur 3 – Locaties online meters en bemonstering in Assen

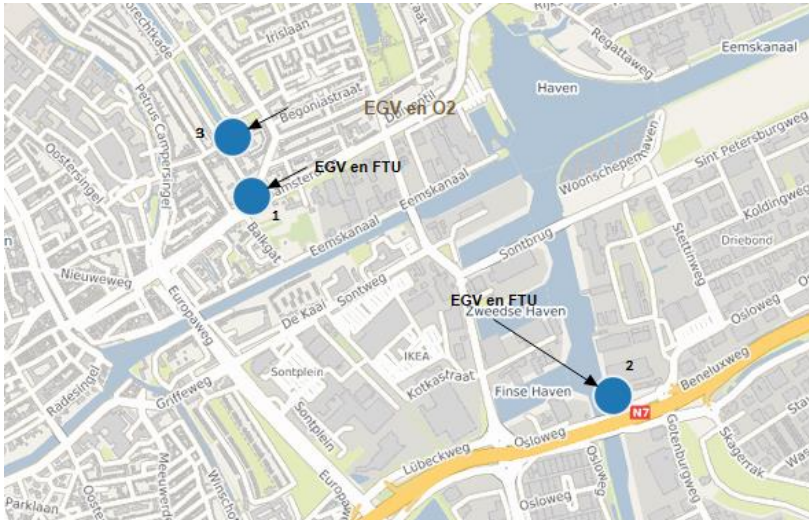
#### Gemeente Groningen: Damsterdiep en bedrijventerrein Euvelgunne

In Groningen zijn twee verschillende stroomgebieden geselecteerd: Gemaal Damsterdiep (punt 1): verzamelstroom vanuit de binnenstad, met daarbij water afkomstig van het UMCG en bedrijventerrein Euvelgunne (totaal 81.800 i.e.) en bedrijventerrein Euvelgunne (punt 2) met 8.300 i.e. (Figuur 4 en Tabel 2). In Groningen is gekozen voor twee verschillende watertypes om inzicht te krijgen in de toepasbaarheid van sensoren bij sterk variërende herkomst van het afvalwater. Naast de twee rioelwaterlocaties wordt bij Linnaeusplein online gemeten bij de overstortlocatie (punt 3).

Tabel 2 – Benaming, codering en x/y coördinaten bemonsteringslocaties Groningen

| Groningen                   |     | X coördinaten | Y coördinaten |
|-----------------------------|-----|---------------|---------------|
| Eindgemaal                  | GR1 | 53°13'14.0''N | 6°34'58.1''E  |
| Bedrijventerrein Euvelgunne | GR2 | 53°12'53.6''N | 6°36'00.0''E  |
| Linnaeusplein (OW)          | GR3 | 53°13'20.1''N | 6°34'54.9''E  |

Het rioelstelsel van bemalingsgebied Damsterdiep heeft een bruto berging van 41.601 m<sup>3</sup>, overeenkomend met 7,4 mm. Daarnaast ligt de POC van het eindgemaal op 0,5 mm/u. Het kenmerkenblad is in bijlage 1 (in concept) bijgevoegd.



Figuur 4 – Locaties online meters en bemonstering in Groningen

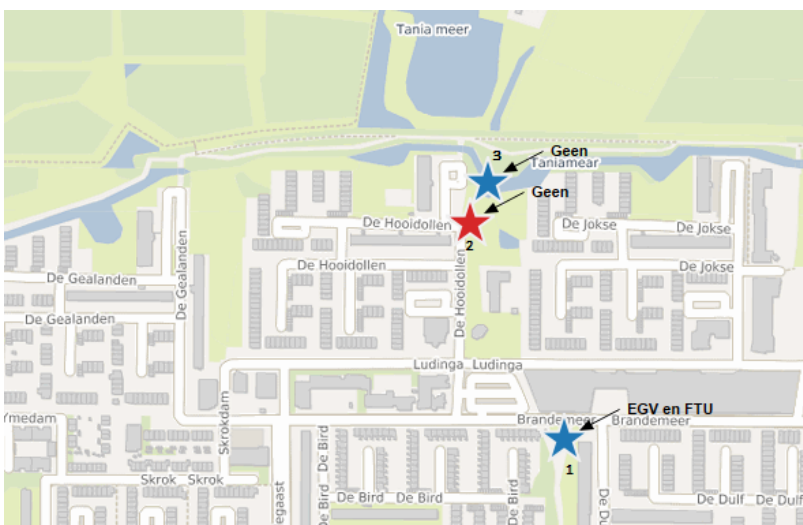
### Gemeente Leeuwarden: Bilgaard

De wijk Bilgaard heeft een grootte van 10.000 i.e. en heeft nagenoeg een gelijke spreiding van bewoners tussen de 25 en 65+. In het gebied zijn 2 overstorten, een bergbezinkbassin (BBB) en een gemaal aanwezig. Zoals in Figuur 5 zichtbaar wordt er online gemeten bij het pompgemaal (punt 1). In het BBB (punt 2) is een monsternamecarrousel (elk kwartier monstername bij overstort) aanwezig. Deze is geïnstalleerd om verandering in de kwaliteit van het overstortende water te kunnen volgen. Vanuit de afloop van het BBB stort het water over in het oppervlaktewater (punt 3). De bemonsteringslocaties zijn nogmaals met codering en x/y coördinaten weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 – Benaming, codering en x/y coördinaten bemonsteringslocaties Leeuwarden

| Leeuwarden       |      | X coördinaten | Y coördinaten |
|------------------|------|---------------|---------------|
| Pompgemaal       | LWD1 | 53°12'53.7"N  | 5°47'35.5"E   |
| Bergbezinkbassin | LWD2 | 53°13'01.6"N  | 5°47'29.8"E   |
| Bilgaard (OW)    | LWD3 | 53°13'03.1"N  | 5°47'30.9"E   |

Het rioelstelsel van Bilgaard heeft een berging van 7 mm en randvoorzieningen welke 2 mm kunnen bergen (totaal 9 mm). De POC bedraagt 0,7 mm/u. Het kenmerkenblad is in bijlage 1 bijgevoegd.



Figuur 5 – Locaties online meters en bemonstering in Leeuwarden

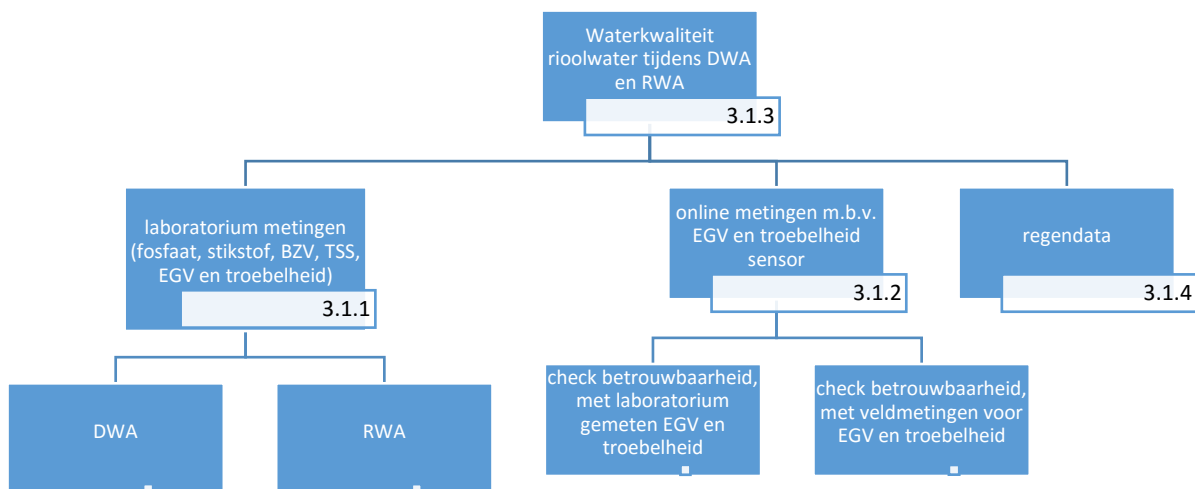
## 2.2 Waterkwaliteitsmonitoring

De waterkwaliteitsmonitoring is opgedeeld in twee categorieën: rioolwater en oppervlaktewater. Met de waterkwaliteitsmonitoring van rioolwater wordt onderzocht of en zo ja, onder welke condities, met relatief eenvoudige online meters (EGV en troebelheid) een goed beeld kan worden verkregen van de kwaliteit van rioolwater en de mate van verdunning door regenwater. Met de monitoring van oppervlaktewater wordt onderzocht wat het effect van overstort is op de kwaliteit van oppervlaktewater.

### 2.2.1 Rioolwater

Figuur 6 presenteert schematisch de uitgevoerde waterkwaliteitsmonitoring m.b.t. rioolwater. De waterkwaliteit van het rioolwater is gemeten met zowel laboratoriumanalyses als online metingen.

- Met de laboratoriumanalyses wordt de kwaliteit van het rioolwater gekarakteriseerd. De lab-analyses worden gebruikt om relaties te leggen tussen de surrogaatparameters (EGV en troebelheid) en parameters waarmee rioolwater normaliter wordt gekarakteriseerd (BZV, N, P etc.), verder “kwaliteitsparameters” genoemd. De kwaliteitsparameters (gemeten in het WLN laboratorium) zijn weergegeven in Tabel 4. Aanvankelijk (najaar 2015) vond monsternamen maandelijks plaats. Later is alleen bemonsterd tijdens RWA. Op die manier is per locatie een dataset opgebouwd van circa 10 monsternamen bij variërende regencondities;
- De online metingen zijn uitgevoerd met troebelheids- en geleidbaarheidssensoren (Hach Lange respectievelijk type SOLITAX sc T-line en 3798-S sc). Verwacht wordt dat de geleidbaarheid daalt tijdens regenweercondities en dat de troebelheid bij het begin van de bui zal stijgen (first flush), om vervolgens te dalen onder invloed van verdunning met regenwater. De data van de online metingen zijn elke 30 minuten gelogd met een datalogger. Er is gemeten over een periode van 13 maanden vanaf september 2015. De sensoren van de online meters worden tweewekelijks schoongemaakt en gecontroleerd met lab/veldmetingen. Indien de meters afwijken (> 1%) van de controle (veld)meting vindt correctie via kalibratie plaats.



Figuur 6 – Schematische opzet waterkwaliteitsmonitoring rioolwater en de paragrafen waar de resultaten besproken worden

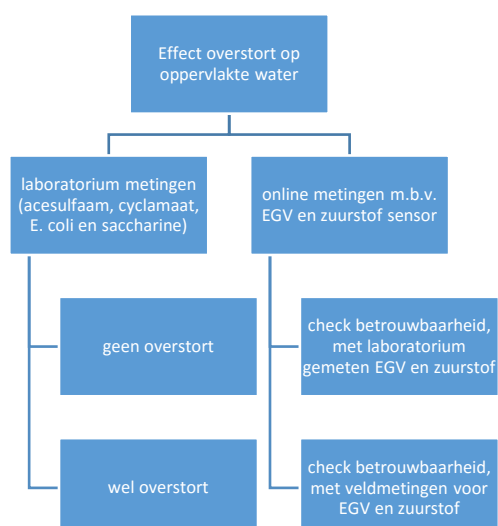
Tabel 4 – Kwaliteitsparameters rioolwater

| Rioolwater  |                      |
|-------------|----------------------|
| Parameter   | Eenheid              |
| BZV         | mg O <sub>2</sub> /l |
| TSS         | mg/l                 |
| Kjeldahl N  | mg N/l               |
| totaal-P    | mg P/l               |
| EGV         | mS/m                 |
| Troebelheid | FTU                  |

## 2.2.2 Oppervlaktewater

Figuur 7 presenteert schematisch de uitgevoerde waterkwaliteitsmonitoring m.b.t. oppervlaktewater. Ook in het oppervlaktewater worden zowel laboratorium als online metingen uitgevoerd. Om praktische redenen (d.w.z. mogelijkheden voor installatie sensoren) vindt online monitoring alleen plaats bij het Linnaeusplein in Groningen (GR 3).

- De laboratorium analyses worden gebruikt om het effect van overstort op het oppervlaktewater te monitoren. De kwaliteitsparameters die geanalyseerd worden zijn weergegeven in Tabel 5. De zoetstof acesulfaam is een tracer voor huishoudelijk afvalwater. *E. coli* duidt op fecale besmetting, maar de indicator-bacterie hoeft niet perse afkomstig te zijn van rioolwater (kan ook afkomstig zijn van bijv. watervogels). Om een goed beeld te krijgen van de achtergrondwaardes van het oppervlaktewater is de kwaliteit geanalyseerd tijdens DWA (d.w.z. geen overstort). Daarnaast is er ook bemonsterd vlak na overstort;
- De online metingen worden gedaan met een EGV en zuurstof sensor (Hach Lange respectievelijk 3798-S sc en type LDO sc). Verwacht wordt dat de EGV door overstort omhoog gaat en zuurstof naar beneden. Hiermee zouden deze sensoren goede indicatoren zijn voor een overstort. De sensoren van de online meters worden tweewekelijks schoongemaakt en gecontroleerd met lab/veldmetingen. Indien de meters afwijken (>1%) van de controle (veld)meting vindt correctie plaats.



Figuur 7 – Schematische opzet waterkwaliteitsmonitoring oppervlaktewater

Tabel 5 – Kwaliteitsparameters oppervlaktewater

| Oppervlaktewater |           |
|------------------|-----------|
| Parameter        | Eenheid   |
| acesulfaam       | µg/l      |
| cyclamaat        | µg/l      |
| <i>E. coli</i>   | kve/100ml |
| saccharine       | µg/l      |
| EGV              | mS/m      |
| O <sub>2</sub>   | mg/l      |

### 2.2.3 Aanpassingen online meters

Na installatie van de online meters kwam naar voren dat enkele meters droogvielen bij relatief lage waterstanden in het riool. Er zijn maatregelen genomen om dit zoveel mogelijk te voorkomen:

- Op 17 november zijn in Leeuwarden (LWD 1) de online meters verlaagd;
- Op 20 januari is bij de schuif (AS 1) het waterniveau verhoogd door de sluis deels te knijpen en is bij de overstort (AS 2) het waterniveau met zandzakken verhoogd.

Begin februari 2016 bleken de EGV meters af te wijken naarmate het kouder werd. EGV wordt beïnvloedt door temperatuur. De functie in de online meter om hiervoor te corrigeren bleek uit te staan, met terugwerkende kracht is de data alsnog gecorrigeerd voor temperatuur bij 20 °C. De temperatuurcorrectie is aangezet op:

- 3 februari 2016 in Leeuwarden en Assen;
- 4 februari 2016 in Groningen.

## 2.3 Potentieschatting

Zoals beschreven in hoofdstuk 1, ligt de potentie van actief sturen op waterkwaliteit (RTC) in principe bij (a) het verminderen van vuilemissie, (b) het verminderen van probleemlocaties en (c) het verminderen van energie voor transport en zuivering. De potentieschatting is per gemeente bediscussieerd in bijeenkomsten met specialisten en gebiedsdeskundigen. Een belangrijke vraag voor het schatten van de potentie is waar riooloverstorten op dit moment, dus in de huidige situatie zonder sturing, (mogelijk) kritisch zijn. Kritische locaties doen zich in beginsel voor wanneer:

1. De vuiluitwerp groot is ten opzichte van de capaciteit van het ontvangende water;
2. Er hogere gebruikseisen aan het water worden gesteld, bijv. esthetisch (stadsgezicht) en/of hygiënisch (hengelaars of zwemmers).

Deze kritische locaties zijn bepaald m.b.v. een kaart met de verschillende bemalingsgebieden (gemengd stelsel). Om de discussie te voeden is per bemalingsgebied het overstortvolume berekend bij standaardbui 08 uit de Leidraad Riolering. Dit volume is vertaald naar een relatieve vuilbelasting op het oppervlaktewater door het overstortvolume te relateren aan de hoeveelheid oppervlaktewater per bemalingsgebied en te vermenigvuldigen met de inwonerdichtheid (inw/ha verhard oppervlak). De kaarten waarin de uitkomsten van deze berekeningen zijn verwerkt zijn opgenomen in bijlage 5.

## 3 RESULTATEN WATERKWALITEITSMONITORING

### 3.1 Rioolwater

Om de online metingen van geleidbaarheid en troebelheid als indicator voor de kwaliteit c.q. verdunning van rioolwater te kunnen gebruiken is het essentieel dat:

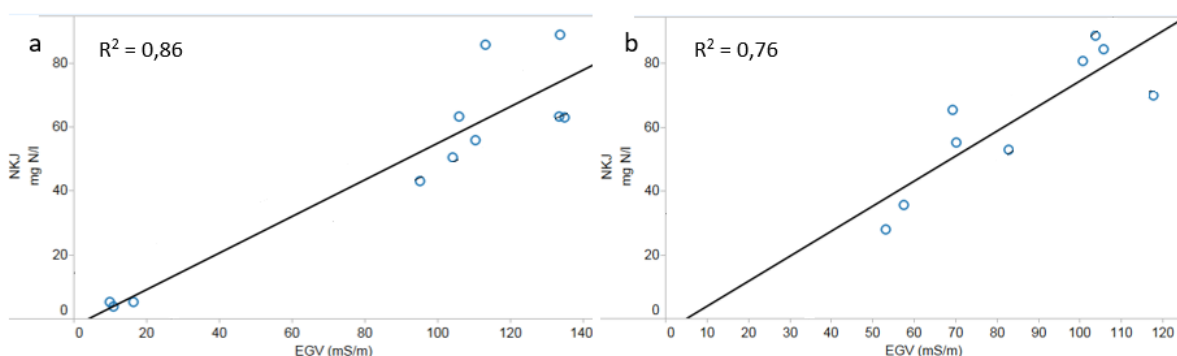
- Er een verband is tussen de surrogaatparameters (EGV/troebelheid) en de kwaliteitsparameters (N-Kj, P-totaal, TSS, BZV);
- De online meters (EGV/troebelheid) betrouwbare resultaten genereren.

Deze punten worden in de volgende paragrafen besproken. Daarna volgt een evaluatie van de rioolwaterkwaliteitsvariatie op de verschillende locaties en wordt ingegaan op het effect van neerslag op de kwaliteit van rioolwater.

#### 3.1.1 EGV/troebelheid als surrogaatparameters

De vertaalslag van online metingen naar waterkwaliteit wordt gemaakt door een lineaire relatie vast te stellen tussen de online metingen en de kwaliteitsparameters. De verklarende variantie van de correlatie ( $R^2$ ) tussen de kwaliteitsparameters en EGV/troebelheid bepaalt of er een statistisch verband bestaat tussen de twee, en daarmee de ene parameter gebruikt kan worden als surrogaat voor de ander.

Een lineair verband is weergegeven met een regressielijn. In Figuur 8 is als voorbeeld de relatie tussen EGV en N-Kjeldahl gepresenteerd voor locaties in Leeuwarden (LWD 1) en Assen (AS 1). Beide locaties hebben een andere verdeling van de waarden. In Leeuwarden zijn de waarden duidelijk verdeeld in DWA (rechtsboven in grafiek) en RWA (linksonder). In Assen zijn de meetwaarden meer verspreid over de regressielijn. Om betrouwbare uitspraken te kunnen doen over correlaties is een normale verdeling gewenst (zie kader). De in dit project verkregen data zijn (vanwege de beperkte dataset) niet normaal verdeeld. Om meer betrouwbare uitspraken te kunnen doen over de relatie tussen de surrogaatparameters en de kwaliteitsparameters is het gewenst om meer data te verzamelen, m.n. tijdens RWA.



Figuur 8 – Correlatiecoëfficiënt grafiek N-Kjeldahl en EGV voor pompgemaal Bilgaard (LWD 1) (a) en de schuif (AS 1) (b)



### Correlaties

Voor het maken van correlatie/regressielijnen geldt de algemene aanname dat de x waardes willekeurig geselecteerd zijn. Mocht dit niet het geval zijn, dan is de correlatie niet onafhankelijk. In ons geval zijn deze x waardes willekeurig en staan los van elkaar. Daarnaast wordt er gesteld dat de x waardes ook normaal verdeeld moeten zijn. Door de kleine dataset is er over normale verdeling van onze meetpunten weinig te zeggen. Het is van belang dat dit in het achterhoofd gehouden wordt bij het interpreteren van de varianties.

De mate van verband is als volgt gedefinieerd:

Tabel 6 – Mate van statistisch verband tussen de surrogaat- en kwaliteitsparameters

|                    |                     |        |
|--------------------|---------------------|--------|
| $R^2 < 0,25$       | (zeer) zwak verband | Red    |
| $0,25 < R^2 < 0,5$ | matig verband       | Yellow |
| $0,5 < R^2 < 0,75$ | sterk verband       | Green  |
| $R^2 > 0,75$       | zeer sterk verband  | Blue   |

De varianties van de correlatiecoëfficiënten zijn in Tabel 7 (troebelheid) en Tabel 8 (EGV) weergegeven en gebaseerd op circa 10 meetpunten per locatie. De kleurindicatie is gerelateerd aan de mate van statistisch verband zoals weergegeven in Tabel 6. Op locatie AS 1 geeft het rioolwater een sterke correlatie tussen Troebelheid en N-Kj, de overige parameters tonen een matig verband. Wanneer de natuurlijke logaritme (LN) van de troebelheid en van de kwaliteitsparameters worden gecorreleerd, dan blijken de correlaties sterker te worden. Transformatie naar LN resulteert in een normalere verdeling van data met een (positieve) helling, zoals in ons geval de hogere meetfrequentie bij DWA. Deze normaler verdeling leidt tot een sterkere correlatie en variantie van de correlatie.

Bij de overstort (AS 2) toont de troebelheid een (zeer) zwak verband met alle kwaliteitsparameters. Transformatie naar LN toont een sterke toename van het verband tussen troebelheid en BZV/TSS. Ditzelfde geldt voor het bedrijventerrein (GR 2). Bij het eindgemaal Damsterdiep (GR 1) toont de troebelheid een zeer sterk verband voor BZV, maar dit verband verdwijnt wanneer de LN van de meetwaarden wordt genomen. Bij Bilgaard pomp-gemaal (LWD 1) toont de troebelheid een (zeer) sterk verband met alle kwaliteitsparameters.

Tabel 7 – Variantie ( $R^2$ ) van troebelheid met de kwaliteitsparameters. Kleurcode geeft statistisch verband conform Tabel 6

|      | Schuif (AS 1) | LN AS 1 | Overstort (AS 2) | LN AS 2 | Eindgemaal (GR 1) | LN GR 1 | Bedrijventerrein (GR 2) | LN GR 2 | Pomp-gemaal (LWD 1) | LN LWD 1 |
|------|---------------|---------|------------------|---------|-------------------|---------|-------------------------|---------|---------------------|----------|
| BZV  | 0,47          | 0,67    | 0,08             | 0,71    | 0,84              | 0,12    | 0,02                    | 0,65    | 0,85                | 0,80     |
| TSS  | 0,42          | 0,58    | 0,08             | 0,72    | 0,36              | 0,65    | 0,34                    | 0,51    | 0,87                | 0,95     |
| N-Kj | 0,61          | 0,80    | 0,11             | 0,20    | 0,01              | 0,11    | 0,02                    | 0,04    | 0,80                | 0,78     |
| t-P  | 0,35          | 0,61    | 0,08             | 0,19    | 0,45              | 0,14    | 0,02                    | 0,31    | 0,72                | 0,76     |

De EGV toont voor de schuif in Pittelo Zuid (AS 1) een zeer sterk verband met N-Kj, sterk met BZV en matig met TSS en t-P. Transformatie naar LN leidt ook hier tot een toename van de correlatie. Bij de overstort (AS 2) toont EGV een (zeer) sterk verband voor alle parameters, behalve TSS. De relatie met TSS is ook bij het pomp-gemaal in Bilgaard (LWD 1) matig (zonder LN transformatie), maar de overige kwaliteitsparameters tonen daar een (zeer) sterk verband met EGV. Bij het eindgemaal Damsterdiep (GR 1) is voor EGV alleen een zeer sterk verband zichtbaar met N-Kj. De andere kwaliteitsparameters zijn (zeer) zwak gecorreleerd, maar de  $R^2$  is bij t-P en BZV substantieel hoger bij de LN van de meetwaarden. Bij bedrijventerrein Euvelgunne (GR 2) tonen alle parameters een sterk verband met EGV, echter hier leidt LN transformatie juist tot substantieel zwakkere verbanden.



Tabel 8 – Variantie ( $R^2$ ) van EGV met de kwaliteitsparameters. Kleurcode geeft statistisch verband conform Tabel 6

|      | Schuif (AS 1) | LN AS 1 | Overstort (AS 2) | LN AS 2 | Eindgemaal (GR 1) | LN GR 1 | Bedrijventerrein (GR 2) | LN GR 2 | Pomp-gemaal (LWD 1) | LN LWD 1 |
|------|---------------|---------|------------------|---------|-------------------|---------|-------------------------|---------|---------------------|----------|
| BZV  | 0,56          | 0,76    | 0,66             | 0,65    | 0,01              | 0,57    | 0,56                    | 0,00    | 0,70                | 0,95     |
| TSS  | 0,29          | 0,39    | 0,26             | 0,37    | 0,00              | 0,00    | 0,67                    | 0,01    | 0,44                | 0,76     |
| N-Kj | 0,76          | 0,97    | 0,72             | 0,80    | 0,76              | 0,70    | 0,65                    | 0,70    | 0,86                | 0,97     |
| t-P  | 0,44          | 0,64    | 0,67             | 0,78    | 0,13              | 0,62    | 0,65                    | 0,16    | 0,91                | 0,98     |

Uit de Tabellen 7 en 8 blijkt dat de mate van correlatie per locatie varieert. Onze resultaten komen gedeeltelijk overeen met de literatuur. Moens et al vonden correlaties tussen troebelheid en onopgeloste stof ( $R^2 = 0,80$ ) en CZV ( $R^2 = 0,83$ ). Besinger et al. rapporteert een goede correlatie tussen de natuurlijke logaritmes (LN) van troebelheid en onopgeloste stof ( $R^2 = 0,92$ ), troebelheid en CZV ( $R^2 = 0,86$ ) en tussen EGV en N-totaal ( $R^2 = 0,83$ ). Lombard et al (2010) rapporteert hoge correlatie coëfficiënten tussen troebelheid en CZV ( $R^2 = 0,99$ ) en tussen troebelheid en onopgeloste stof ( $R^2 = 0,98$ ).

De relaties tussen de surrogaatparameters en de kwaliteitsparameters zijn locatie-specifiek (Tabel 9). Dit betekent in algemene zin dat, indien de surrogaatparameter wordt gebruikt om concentraties van P, BZV etc. te schatten, deze relatie per locatie moet worden vastgesteld. Echter, indien enkel de verdunningsfactor door regenwater van belang is, dan geldt alleen de relatieve concentratie: het vaststellen van de locatie-specifieke relatie is dan niet noodzakelijk.

Tabel 9 – Lineaire verbanden tussen surrogaatparameters EGV/troebelheid en waterkwaliteitsparameters. Kleurcode geeft statistisch verband conform Tabel 6 (zonder LN transformatie)

| Pomp-gemaal (LWD 1) | EGV (x)             | FTU (x)             |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| BZV (y)             | $y = 2,05x - 12,7$  | $y = 1,76x + 13,5$  |
| TSS (y)             | $y = 1,29x - 7,7$   | $y = 1,25x - 0,1$   |
| N-Kj (y)            | $y = 0,62x - 4,5$   | $y = 0,46x + 9,6$   |
| t-P (y)             | $y = 0,07x - 0,3$   | $y = 0,05x + 1,5$   |
| Schuif (AS 1)       | EGV (x)             | FTU (x)             |
| BZV (y)             | $y = 6,48x - 202,3$ | $y = 2,47x + 54,6$  |
| TSS (y)             | $y = 3,88x - 145,8$ | $y = 1,93x - 48,3$  |
| N-Kj (y)            | $y = 0,82x - 6,2$   | $y = 0,30x + 27,1$  |
| t-P (y)             | $y = 0,11x - 1,9$   | $y = 0,04x + 2,6$   |
| Overstort (AS 2)    | EGV (x)             | FTU (x)             |
| BZV (y)             | $y = 4,14x - 49,2$  | $y = 0,73x + 195,7$ |
| TSS (y)             | $y = 2,65x - 53,0$  | $y = 0,75x + 74,7$  |
| N-Kj (y)            | $y = 1,18x - 27,9$  | $y = 0,07x + 57,6$  |
| t-P (y)             | $y = 0,13x - 3,3$   | $y = 0,01x + 6,5$   |

### 3.1.2 Betrouwbaarheid online meters en onderhoud

De online metingen worden periodiek gecontroleerd met lab analyses. Deze controle en eventuele correctie is van belang om de representativiteit van de online metingen te kunnen garanderen. De varianties ( $R^2$ ) van de correlaties zijn gepresenteerd in Tabel 10 en in grafiekvorm weergegeven in bijlage 2.

Uit Tabel 10 blijkt dat de online EGV metingen het meest betrouwbaar zijn (op de specifieke locaties in deze studie). Met name de online EGV metingen in Groningen en Leeuwarden komen goed overeen met de lab metingen (controles). De online EGV meting bij de overstort (AS 2) heeft een matig verband met de lab metingen. Bij de schuif (AS 1) tonen beide online metingen (EGV en troebelheid) een erg

zwak verband met de lab metingen. Alleen het pompgebraal (LWD 1) toont een sterk verband tussen troebelheid en de laboratorium controles.

Tabel 10 – Varianties van de correlatie ( $R^2$ ) tussen lab en online gemeten EGV en troebelheid. Kleurcode geeft statisch verband conform Tabel 6.

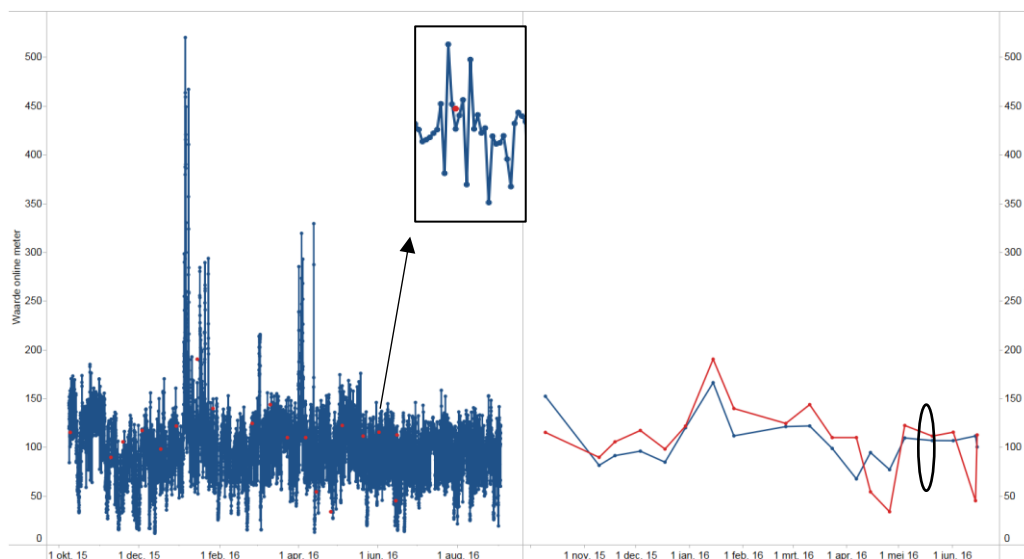
| Locatie                 | EGV  | Troebelheid |
|-------------------------|------|-------------|
| Schuif (AS 1)           | 0,00 | 0,01        |
| Overstort (AS 2)        | 0,47 | 0,15        |
| Eindgemaal (GR 1)       | 0,67 | 0,00        |
| Bedrijventerrein (GR 2) | 0,62 | 0,08        |
| Pompgebraal (LWD 1)     | 0,69 | 0,56        |

### Vergelijken online meting en lab analyse

Een kanttekening bij de varianties is dat de online metingen per halfuur EGV en troebelheid registreren. Het tijdstip van monsternamen voor lab analyse komt niet precies overeen met het registratietijdstip van de online meters. Hierdoor is een kleine afwijking in EGV/troebelheid te verwachten. Het werkelijke verband is waarschijnlijk sterker dan in Tabel 10 gepresenteerd.

Ter illustratie is de vergelijking tussen de online data en de referentie metingen voor het eindgemaal (GR 1) weergegeven in Figuur 9. Links in de figuur zijn de bemonsteringsmomenten aangegeven op de online meting en rechts is de vergelijking gemaakt tussen de dichtstbijzijnde registratie van de online meter en de bemonstering voor EGV. Uitvergroot is de trend met daarin het bemonsteringspunt (rood, tijdstip bemonstering en meetwaarde lab-analyse). Hierin is te zien dat het bemonsteringspunt een vergelijkbare waarde heeft met het punt direct links, maar omdat de tijd van monsternamen dichterbij het punt onder het bemonsteringspunt ligt, is deze gebruikt voor de vergelijking lab-online. Dit zou met terugwerkende kracht kunnen worden gewijzigd door handmatig het punt ter vergelijking van de online meter te selecteren of in de toekomst de online waarde te noteren exact tijdens monsternamen. Omdat voor alle locaties dezelfde methode is gehanteerd, heeft het voor het vergelijken van de varianties van de locaties naar verwachting weinig tot geen effect.

Daarnaast is het van belang om in het achterhoofd te houden dat bij bemonstering bij lage waterstanden makkelijk bezinsel meegenomen kan worden in de monsterfles. Aangezien de monsterfles bij laag waterstanden dichtbij de bodem van het riool gevuld wordt.



Figuur 9 – Vergelijking EGV lab data en online metingen voor het eindgemaal (GR 1)

De betrouwbaarheid van de online metingen kan worden verlaagd door vervuiling van de sensor, bijv. door het aangroeien van een vuillaag of door het plotseling blokkeren door 'grofvuil'. Vervuiling is van invloed op alle online meters die in het riool worden geplaatst. Rioolwater bevat veel zwevend materiaal, zoals wc papier, waardoor sensoren bedekt kunnen raken.

Het ontwerp en meetprincipe van de sensoren zijn mede bepalend voor de mate van gevoeligheid voor vervuiling. Zoals in Figuur 10 te zien is, heeft de EGV sensor een ring waar het water doorheen stroomt en wordt gemeten. In het geval van de troebelheidssensor stroomt het water op de kopse kant van de sensor af en wordt met behulp van een wisser vervuiling verwijderd van de sensor. De sensor wordt vanwege het meetprincipe (lichtdemping) en fysiek ontwerp (tegen de stroming in) sterker beïnvloed door vervuiling die tegen de sensor aangeplakt zit dan de EGV sensor. Dit verschil is zichtbaar in de meetprestaties (lees: het aantal foutmetingen) van de sensoren.

Daarnaast lijkt de locatie van de online meters invloed te hebben op de vervuilingssnelheid van de sensoren. De sensoren bij LWD 1 zijn geplaatst in een licht turbulente, continue waterstroom en vervuiling spoelt nagenoeg gelijk van de sensoren af. De sensoren bij de schuif (AS 1) en de overstort (AS 2) hangen in een langzaam doorstromende water, die sporadisch droogvalt, en zijn bij de tweewekelijkse schoonmaak zeer vervuild. De schoonmaakfrequentie van eens per 2 weken is in het geval van Assen niet voldoende om vervuiling en veelvuldige foutmetingen te voorkomen, hetgeen zich uit in een zwak verband tussen de online en lab meetwaarden (Tabel 10). In het eindgemaal (GR 1) hangen de sensoren dichtbij het gemaal, waardoor ook hier veel turbulentie is. Nadat de pomp is aangeslagen vallen de sensoren een korte tijd droog. De sensoren van het bedrijventerrein (GR 2) hangen constant in de waterstroom en hebben hierdoor nauwelijks foutmetingen. Een goede locatieselectie en met name het voorkomen van het droogvallen van de sensoren is van invloed op de schoonmaakfrequentie van de sensoren en de betrouwbaarheid van de gegenereerde data. Toch blijkt het continu watercontact geen garantie voor betrouwbare meting: bedrijventerrein (GR 2) valt niet droog tijdens de meetperiode, maar toont toch grote afwijkingen van de laboratoriummetingen. Mogelijk heeft dit te maken met afwijkende watertype bij het bedrijventerrein (GR 2), d.w.z. bedrijfsafvalwater versus huishoudelijk afvalwater, maar dit kan niet met zekerheid gezegd worden. Om de afwijking te duiden is aanvullend onderzoek nodig.



*Figuur 10 – Vervuiling EGV (links) en troebelheid (rechts) sensoren bij LWD 1*

In juni 2016 is besloten de schoonmaakfrequentie bij zowel de EGV als de troebelheidssensoren te verlagen van eens per twee weken naar eens per maand. Dit resulteerde niet in een trendbreuk, noch in een langzame afwijking (drift). Dit betekent dat de schoonmaakfrequentie verlagen voor de locaties met een goede EGV of troebelheidsmeting geen probleem is. Voor locaties met veel foutmetingen,, zoals bij de schuif (AS 1), zal het verhogen van de schoonmaak frequentie wenselijk zijn voor het verbeteren van de kwaliteit van de online meetdata.

### 3.1.3 Variatie rioolwaterkwaliteit

Tabel 11 presenteert de kwaliteit van het rioolwater per locatie. Een overzicht van alle analyseresultaten in grafiekvorm is opgenomen in bijlage 3. De kwaliteit is, zoals eerder genoemd, bepaald met lab analyses.

In Assen geven beide meetpunten (AS 1 en 2) een vergelijkbaar beeld voor alle parameters. Bij het pompemaal (LWD 1) ligt de EGV hoger, N-Kj en t-P lager en BZV ook aanzienlijk lager dan in Assen. Bij het eindemaal (GR 1) is het beeld vergelijkbaar met Leeuwarden, afgezien van lagere waardes voor BZV. Het bedrijventerrein (GR 2) toont veel hogere EGV waardes, de mediaan ligt rond de 277 mS/m, en daarnaast zijn TSS, N-Kj, t-P en BZV aanzienlijk lager dan bij de andere locaties.

Het is opvallend dat de EGV van Assen gemiddeld 30 mS/m lager ligt dan Leeuwarden aangezien de origine van het rioolwater, nl. huishoudelijk afvalwater, vergelijkbaar lijkt. Om dit verschil nader te duiden is nader onderzoek nodig.

Tabel 11 – Kwaliteit rioolwater per locatie, o.b.v. bemonstering en lab analyses (maximum, minimum, mediaan en 90 percentiel waarde) N = min. 10 metingen per parameter.

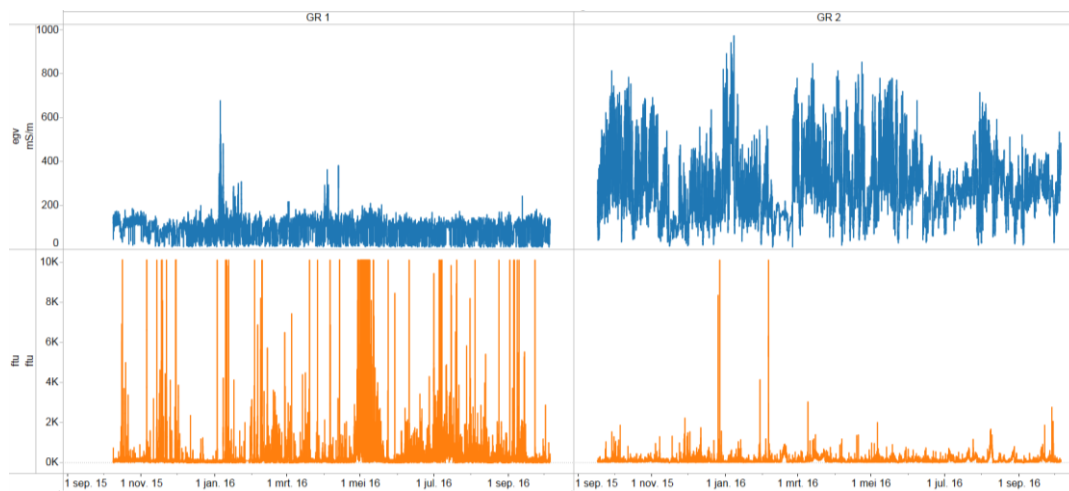
|                         |            | Troebelheid (FTU) | EGV (mS/m)   | TSS (mg/l) | N-Kj (mg N/l) | t-P (mg P/l) | BZV (mg O <sub>2</sub> /l) |
|-------------------------|------------|-------------------|--------------|------------|---------------|--------------|----------------------------|
| Schuif (AS 1)           | Max        | 249,0             | 117,8        | 497        | 89            | 15,9         | 727                        |
|                         | Min        | 18,8              | 16,9         | 38         | 29            | 3,2          | 127                        |
|                         | <b>Med</b> | <b>106,7</b>      | <b>82,9</b>  | <b>119</b> | <b>68</b>     | <b>7,2</b>   | <b>305</b>                 |
|                         | 90 perc.   | 184,9             | 112,1        | 492        | 89            | 15,5         | 721                        |
| Overstort (AS 2)        | Max        | 502,0             | 128,8        | 3070       | 109           | 13,2         | 1146                       |
|                         | Min        | 49,5              | 33,5         | 66         | 30            | 3,4          | 138                        |
|                         | <b>Med</b> | <b>125,1</b>      | <b>86,9</b>  | <b>121</b> | <b>68</b>     | <b>7,4</b>   | <b>274</b>                 |
|                         | 90 perc.   | 345,4             | 110,2        | 2522       | 107           | 12,9         | 998                        |
| Eindemaal (GR 1)        | Max        | 279,0             | 190,5        | 874        | 67            | 8,0          | 356                        |
|                         | Min        | 47,3              | 34,0         | 36         | 18            | 1,7          | 60                         |
|                         | <b>Med</b> | <b>115,3</b>      | <b>113,3</b> | <b>123</b> | <b>47</b>     | <b>5,7</b>   | <b>137</b>                 |
|                         | 90 perc.   | 229,0             | 142,7        | 848        | 65            | 7,8          | 317                        |
| Bedrijventerrein (GR 2) | Max        | 252,0             | 523,0        | 329        | 58            | 5,3          | 272                        |
|                         | Min        | 30,9              | 38,4         | 28         | 11            | 0,8          | 18                         |
|                         | <b>Med</b> | <b>107,8</b>      | <b>277,0</b> | <b>113</b> | <b>31</b>     | <b>2,9</b>   | <b>59</b>                  |
|                         | 90 perc.   | 147,9             | 490,9        | 316        | 56            | 4,8          | 267                        |
| Pompmaal (LWD 1)        | Max        | 186,3             | 140,1        | 278        | 103           | 10,2         | 377                        |
|                         | Min        | 9,6               | 10,1         | 13         | 4             | 0,5          | 10                         |
|                         | <b>Med</b> | <b>109,2</b>      | <b>113,4</b> | <b>102</b> | <b>56</b>     | <b>5,9</b>   | <b>181</b>                 |
|                         | 90 perc.   | 185,7             | 138,3        | 275        | 97            | 10,1         | 371                        |

#### 3.1.3.1 Groningen

Figuur 11 presenteert de online metingen van EGV en troebelheid in Groningen. Opvallend is met name dat de EGV bij het bedrijventerrein (GR 2) grofweg een factor 3 hoger ligt dan bij het eindemaal (GR 1) onder DWA omstandigheden. EGV is een maat voor de zoutconcentratie. Het rioolwater van het bedrijventerrein (GR 2) heeft een hogere zoutvracht. In januari laten beide rioolwateren een verhoging in EGV zien. Deze piek heeft te maken met ijzel in de noordelijke provincies. Om gladheid te bestrijden is zout gestrooid. Tijdens momenten dat zout gestrooid wordt is de EGV geen goede stuurparameter.

Ondanks dit wordt er verwacht dat hevige regenval niet optreedt tijdens ijzelperiodes, waardoor de ijzelbestrijding geen effect zal hebben op de sturing o.b.v. EGV.

De troebelheidsmeting van het bedrijventerrein (GR 2) is erg goed, met weinig foutmetingen. Bij het eindgemaal (GR 1) wordt het beeld enigszins verstoord door foutmetingen. Deze foutmetingen worden gekarakteriseerd door meetwaarden tot het maximum. Daarnaast is het beeld grilliger voor het eindgemaal (GR 1) i.v.m. het bedrijventerrein (GR 2). Dit zou kunnen komen door de aanwezigheid van meer zwevende stoffen in het water van het eindgemaal, zoals toiletpapier.



Figuur 11 – EGV en troebelheid bij het eindgemaal (GR 1) (links) en het bedrijventerrein (GR 2) (rechts).

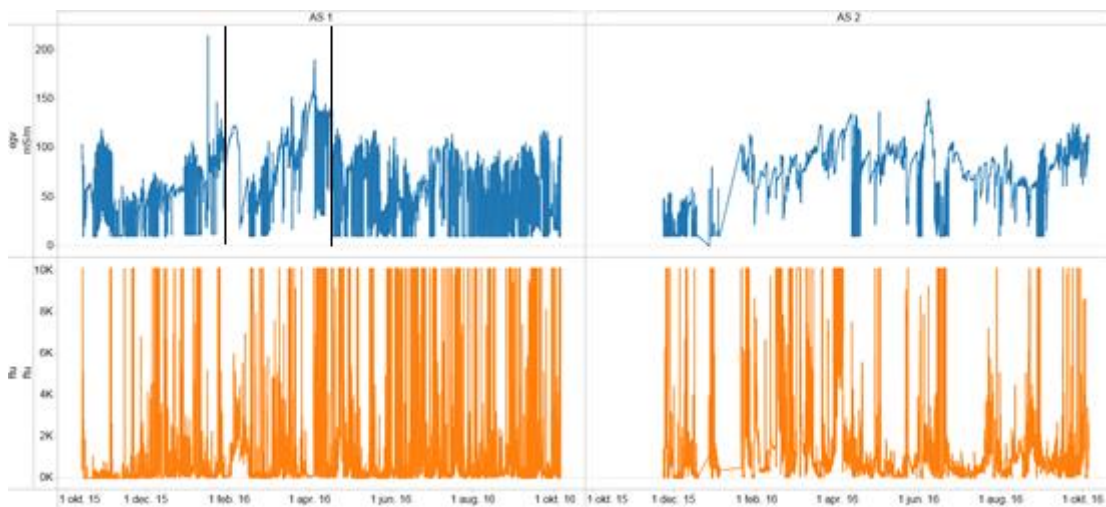
### 3.1.3.2 Assen

In Figuur 12 zijn de EGV en troebelheidsmetingen van de schuif (AS 1) en de overstort (AS 2) weergegeven. In Assen is de grootte van de wijk, in dit geval, niet voldoende om genoeg water te produceren zodat de sensoren continu onder water staan. Om de sensoren zoveel mogelijk watercontact te bieden zijn er ingrepen gedaan, zoals de schuif iets te knippen of zandzakken stroomafwaarts van de sensoren in de overstort (AS 2) te plaatsen. Hierdoor zal in beide gevallen het waterniveau in het riool stijgen en hebben de sensoren minder last van nulmetingen. Bij het verhogen van het waterniveau gaat vervuilen langzaam, omdat er zich water ophoopt. Hierdoor kan het effect van vervuiling op de sensor nog steeds groot zijn. Om deze reden wordt verwacht dat een verhoging van het waterniveau weinig effect zal hebben op foutmetingen van de troebelheidssensor. Dit wordt ook teruggezien in Figuur 12. Daarnaast geeft het verhogen van het waterniveau geen representatief beeld van de werkelijke kwaliteit van het rioolwater en de waardes van EGV en troebelheid. Tijdens de testperiode was dit van belang om goede data te genereren maar voor RTC zullen andere locaties, met van nature een hogere waterstand, geselecteerd moeten worden.

De schuif (AS 1) is vanaf februari tot half april tijdelijk deels geknepen en hierdoor is het niveau in het riool verhoogd. Hierdoor heeft de EGV tijdelijk geen foutmetingen gehad. Per abuis is de schuif half april weer geopend (aangegeven in de grafiek). Ook de verhoging van de schuif geeft geen representatief beeld van de waterkwaliteit in het riool maar was voor het genereren van data wel van belang.

Ondanks dat de schuif (AS 1) en overstort (AS 2) zich in hetzelfde stelsel bevinden lijkt er een verschil te zitten in de EGV waardes. Dit verschil wordt niet gezien in de lab analyses. Die zijn gelijk. Daarnaast blijkt uit Tabel 10 dat de varianties van de online metingen bij de schuif (AS 1) laag liggen en het verband erg zwak is. In dit geval blijkt de online meting van de schuif (AS 1) geen representatief beeld te geven van

de EGV en troebelheid in het rioolstelsel. Voor de overstort (AS 2) is het verband matig voor EGV en deze ligt grofweg rond de mediaan van 85 mS/m.

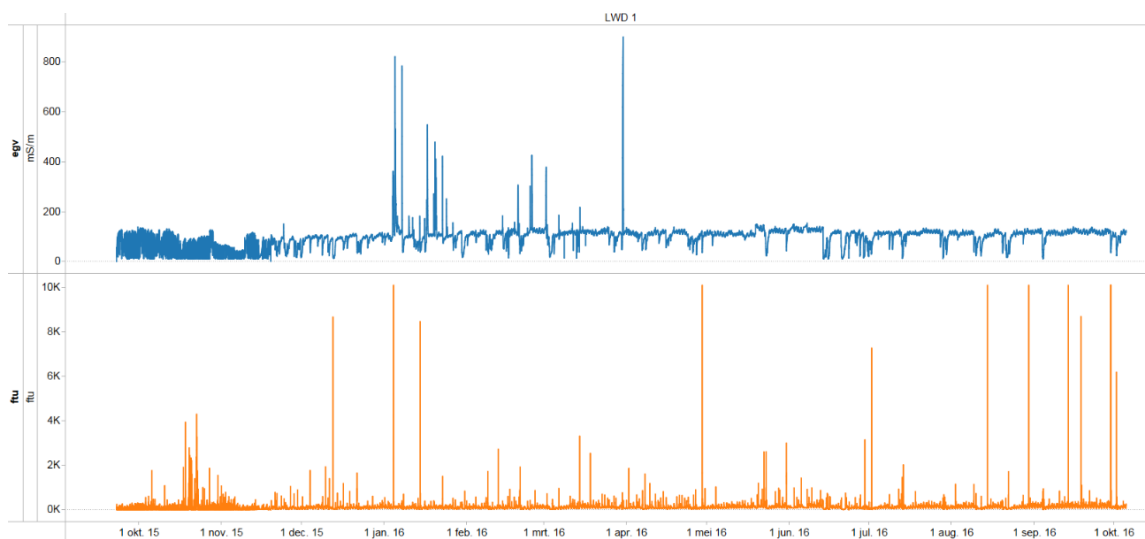


Figuur 12 – EGV en troebelheid van rioolwater bij de schuif (AS 1) (links) en de overstort (AS 2) (rechts)

### 3.1.3.3 Leeuwarden

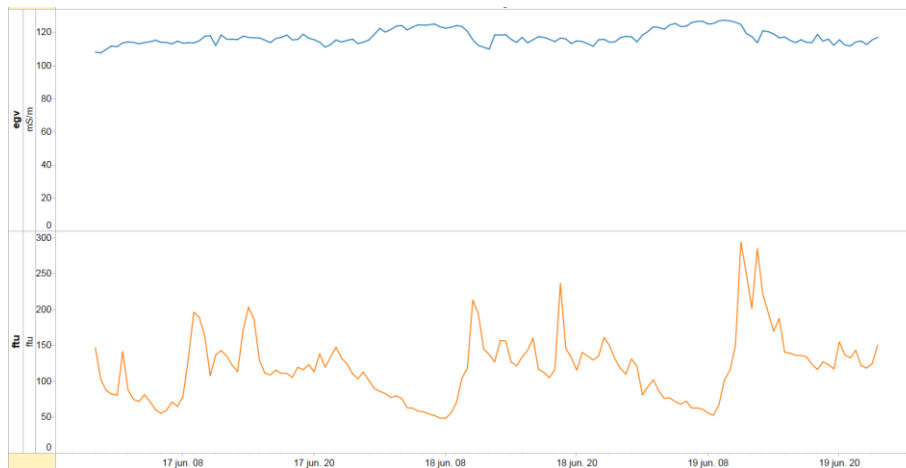
In Figuur 13 zijn de EGV en troebelheidsmetingen van het pompgebouw (LWD 1) weergegeven. De EGV in het net van het pompgebouw (LWD 1) ligt bij DWA rond de 110 mS/m. In de EGV zijn in januari en begin maart pieken zichtbaar. Deze pieken komen wederom door gladheidsbestrijding. De troebelheid laat over het algemeen een rustig patroon zien, met een paar pieken van, naar verwachting, foutmetingen (door vervuiling).

Vanaf half november 2015 zijn de sensoren bij het pompgebouw (LWD 1) verlaagd. Vanwege installatie bij hoogwater kwamen de sensoren bij laagwater soms droog te staan. Tijdens deze periode (voor medio november 2015) gaat de EGV periodiek naar nul. Bij de troebelheid resulteert dit in hogere troebelheidsmetingen. Naar verwachting komt dit door indrogen van vervuiling op de sensor (tijdens laagwater).



Figuur 13 – EGV en troebelheid van het rioolwater bij het pompgebouw (LWD 1)

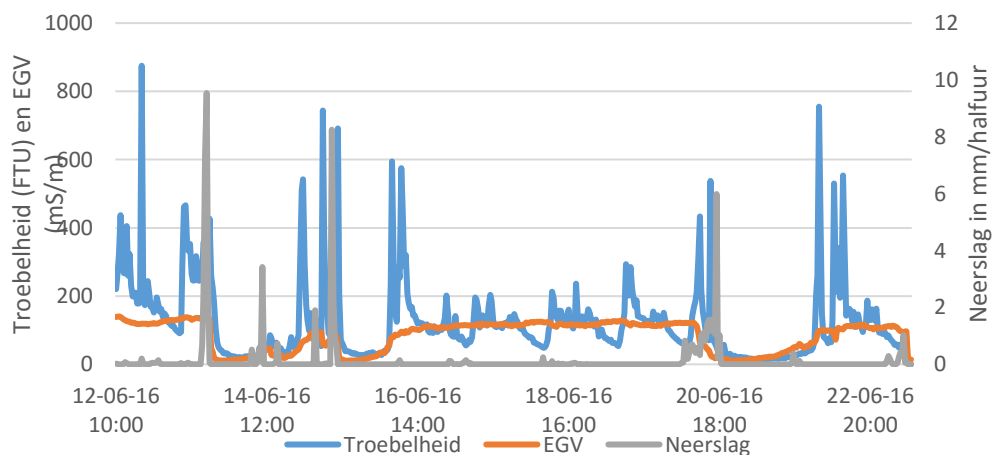
Op het moment dat er ingezoomd wordt op de EGV en troebelheidsmetingen van het pompemaal (LWD 1) wordt een dagpatroon zichtbaar. Dit patroon is niet zichtbaar voor de andere locaties, omdat dit beeld verstoord wordt door nul- en foutmetingen. Het patroon is weergegeven in Figuur 14 voor de periode: 16-20 juni. De EGV blijft nagenoeg stabiel over de dag en wordt niet tot nauwelijks beïnvloed. Voor de troebelheid geldt het omgekeerde. De troebelheid daalt geleidelijk in de nacht en stijgt snel in de vroege morgen. Naar verwachting komt dit doordat er weinig water het riool in komt in de loop van de avond en onopgeloste stoffen bezinken. In de ochtend neemt het waterverbruik toe en wervelen de onopgeloste stoffen weer op.



Figuur 14 – Verloop van de EGV/troebelheid van 16-20 juni 2016 voor het pompemaal (LWD 1)

### 3.1.4 Relatie waterkwaliteit en regenwater

Logischerwijs mag worden verwacht dat er een relatie bestaat tussen EGV en/of troebelheid en neerslag. Regenwater bevat namelijk weinig zouten en zwevende stof, waardoor bij vullen van het rioolstelsel met neerslag verdunning van het rioolwater zal optreden. Daarnaast kan een verhoogde stroom water door het riool zorgen voor opwerveling van zwevende stof, waardoor een verhoging van de troebelheid ook mogelijk is. Het effect op de troebelheid is naar verwachting niet eenduidig. Deze verwachting wordt bevestigd in Figuur 15. Na een regenbui daalt de EGV onmiddellijk. De troebelheid laat direct na de regenbui een sterke verhoging zien en daalt daarna snel. Aan het einde van de bui laat de troebelheid nog weer een piek zien, voordat deze zich stabiliseert naar het 'gewone' patroon.



Figuur 15 – EGV en troebelheid respons op neerslag voor het pompemaal (LWD 1)

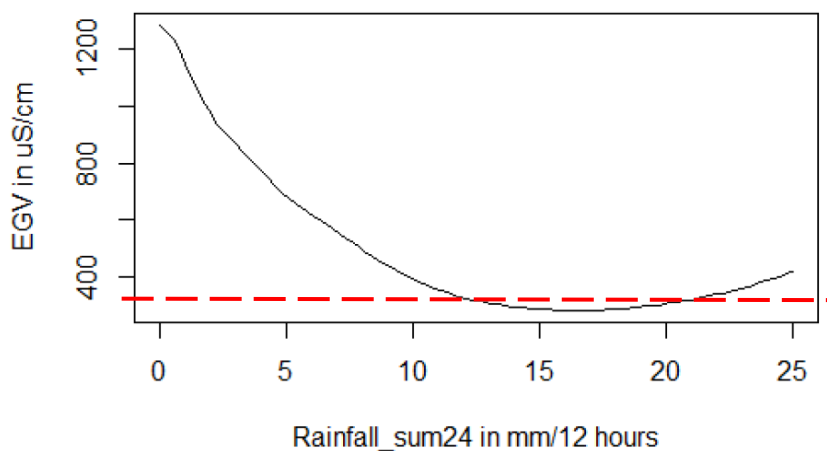


Tijdens de meetperiode (augustus 2015 t/m september 2016) zijn er 3 situaties bij het pompemaal (LWD 1) voorgekomen met veel neerslag en sterke verdunning van het rioolwater waarbij de waterkwaliteit via laboratoriumanalyses is vastgesteld. Uit Tabel 12 blijkt dat in dergelijke situaties het rioolwater circa 90% verdund is. Op 27 augustus 2015, 13 juni en 20 juni 2016 is een overstort geconstateerd. Op grond van deze resultaten kan worden gesteld dat het rioolwater vergaand verdund is bij overstort uit het bergbezinkbassin Bilgaard. Dit ondersteunt de CIW richtlijnen, op basis waarvan het rioolstelsel in Bilgaard gedimensioneerd is.

Tabel 12 – Regenweer bemonstering bij het pompemaal (LWD 1)

| Datum      | Neerslag      | EGV (mS/m) | Troebelheid (FTU) | TSS (mg/l) | N-Kj (mg N/l) | t-P (mg P/l) | BZV (mg O <sub>2</sub> /l) |
|------------|---------------|------------|-------------------|------------|---------------|--------------|----------------------------|
| 27-08-2015 | 9 mm/uur      | 17         | 9,6               | 13         | 5,3           | 0,73         | 16                         |
| 13-06-2016 | 23 mm/2,5 uur | 10         | 42,6              | 28,1       | 5,0           | 0,70         | 13,5                       |
| 20-06-2016 | 31 mm/12 uur  | 11         | 13,4              | 21,5       | 3,8           | 0,51         | 9,8                        |

Met behulp van lineaire verbanden is er gekeken naar de relatie tussen EGV/troebelheid en neerslag. Dit is uitgevoerd voor de data van het pompemaal (LWD 1), aangezien deze het meest representatief is voor de werkelijke kwaliteit van het rioolwater. Wanneer alle regendata (d.w.z. incl. droogweer) en online EGV metingen in beschouwing worden genomen is het verband zwak,  $R^2 = 0,011$ . Deze variantie doet verwachten dat de relatie tussen neerslag en EGV complexer is dan een direct lineair verband. In het kader van een MSc-stage heeft Masja Bronts, student Toegepaste Wiskunde aan de Rijksuniversiteit Groningen, deze complexere relatie onderzocht met behulp van statistische analyse en black box (data-gedreven) modellering. Uit dit beperkte onderzoek bleek dat de vertraging op EGV respons na neerslag, tezamen met temperatuur van invloed was op de correlatie (Figuur 16). De variantie ( $r^2$ ) van de correlatie ligt, na modellering, op 0,61. Dit is een sterk verband. Het verslag van Masja Bronts over het effect van de (historische) neerslag op de rioolwaterkwaliteit is bijgevoegd in bijlage 7. Toepassing van regendata, of bijvoorbeeld het waterniveau in de riolering als indirecte parameter van de rioolwaterkwaliteit, kan interessant zijn omdat deze parameters eenvoudiger en goedkoper online gemeten kunnen worden dan waterkwaliteit. Aanbevolen wordt om de relatie tussen kwantitatieve parameters als neerslag en waterniveau, en waterkwaliteit nader te onderzoeken.



Figuur 16 – De relatie tussen de neerslagsom van 12 uur (mm/12 uur) en de EGV ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) van rioolwater, Bilgaard Leeuwarden. De rode stippellijn ligt bij 20 mS/m (grenswaarde, ter discussie in H4).



## 3.2 Oppervlaktewater

### 3.2.1 Kwaliteit oppervlaktewater

Tabel 13 toont het overzicht, van achtergrondwaardes, van de oppervlaktewaterkwaliteit van het Linnaeusplein (GR 3) en oppervlaktewater Bilgaard (LWD 3, aangevuld met metingen van Wetterskip Fryslân). De data zijn gebaseerd op circa 13 metingen (BZV, t-N, t-P, Enterococcen) of circa 28 metingen (*E. coli* en zuurstof) per locatie. Een overzicht van alle metingen is opgenomen in bijlage 4 in grafiekvorm, incl. de online metingen van EGV en zuurstof bij het Linnaeusplein (GR 3).

Tabel 13 – Overzicht waterkwaliteit oppervlaktewater en referentie aan grenswaarden (gelden formeel niet voor deze locaties). Locatie Bilgaard BBB = LWD 3, metingen bij Bilgaard West, Kalksloot en Oost zijn gedaan door Wetterskip Fryslân.

|   | Linnaeusplein (GR 3) | Bilgaard West | Bilgaard BBB | Bilgaard Kalksloot | Bilgaard Oost |
|---|----------------------|---------------|--------------|--------------------|---------------|
| <b>BZV (mg O<sub>2</sub>/l)</b>             |                      |               |              |                    |               |
| Minimum                                     | 3                    | 1             | 1            | 1                  | 1             |
| Maximum                                     | 11                   | 45            | 7            | 6                  | 15            |
| Mediaan                                     | 4                    | 2             | 3            | 2                  | 2             |
| 90-percentiel                               | 7                    | 6             | 7            | 5                  | 6             |
| <b>Intestinale enterococcen (kve/100ml)</b> |                      |               |              |                    |               |
| Minimum                                     | 0,9                  | 15            | 50           | 15                 | 20            |
| Maximum                                     | 480                  | 34659         | 34659        | 2100               | 34659         |
| Mediaan                                     | 30                   | 80            | 220          | 140                | 110           |
| 90-percentiel                               | 71                   | 290           | <b>1008</b>  | <b>574</b>         | <b>720</b>    |
| Zwemwaterrichtlijn                          | 330                  | 330           | 330          | 330                | 330           |
| <b>E. coli (kve/100ml)</b>                  |                      |               |              |                    |               |
| Minimum                                     | 28                   | 15            | 15           | 20                 | 15            |
| Maximum                                     | 800                  | 8300          | 51000        | 1300               | 34659         |
| Mediaan                                     | 228                  | 230           | 470          | 290                | 350           |
| 90-percentiel                               | 572                  | 624           | <b>12137</b> | 490                | 852           |
| Zwemwaterrichtlijn                          | 900                  | 900           | 900          | 900                | 900           |
| <b>N-totaal (mg/l)</b>                      |                      |               |              |                    |               |
| Minimum                                     | 0,7                  | 0,8           | 0,9          | 0,9                | 0,8           |
| Maximum                                     | 2,4                  | 2,1           | 2,9          | 3,2                | 4,4           |
| Mediaan                                     | 1,3                  | 1,5           | 1,6          | 1,7                | 1,5           |
| 90-percentiel                               | 2,1                  | 2,1           | 2,3          | <b>2,9</b>         | <b>2,9</b>    |
| KRW sloten goed                             | 2,4                  | 2,4           | 2,4          | 2,4                | 2,4           |
| <b>P-totaal (mg/l)</b>                      |                      |               |              |                    |               |
| Minimum                                     | 0,1                  | 0,1           | 0,2          | 0,2                | 0,1           |
| Maximum                                     | 0,5                  | 1,4           | 1,4          | 1,6                | 1,1           |
| Mediaan                                     | 0,2                  | 0,6           | 0,6          | 0,5                | 0,5           |
| 90-percentiel                               | <b>0,5</b>           | <b>1,2</b>    | <b>1,2</b>   | <b>1,3</b>         | <b>1,0</b>    |
| KRW sloten goed                             | 0,22                 | 0,22          | 0,22         | 0,22               | 0,22          |
| <b>Zuurstof (mg/l)</b>                      |                      |               |              |                    |               |
| Minimum                                     | 4,3                  | 2,4           | 1,6          | 2,2                | 0,5           |
| Maximum                                     | 16,5                 | 12,7          | 12,3         | 11,0               | 13,6          |
| Mediaan                                     | 9,1                  | 5,8           | 4,8          | 7,5                | 5,6           |
| 10-percentiel                               | 5,8                  | <b>3,1</b>    | <b>2,1</b>   | <b>3,4</b>         | <b>2,8</b>    |
| Richtlijn MTR                               | 5                    | 5             | 5            | 5                  | 5             |

### 3.2.2 Impact van overstort

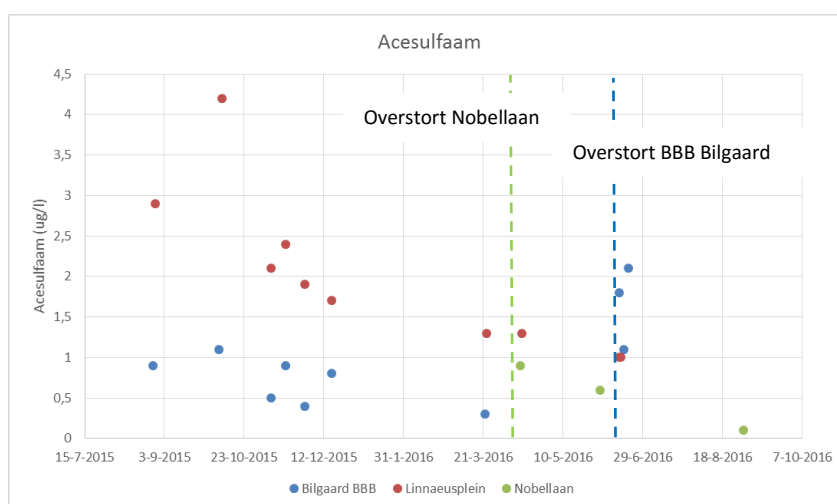
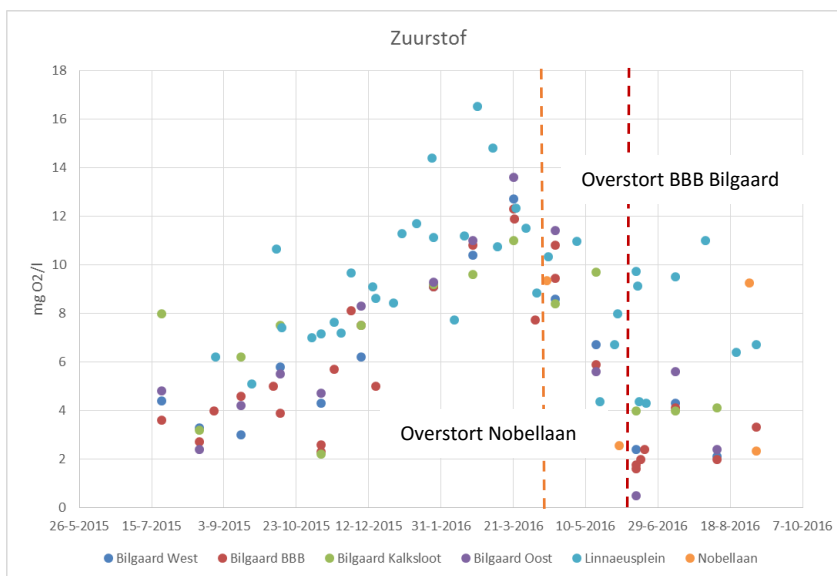
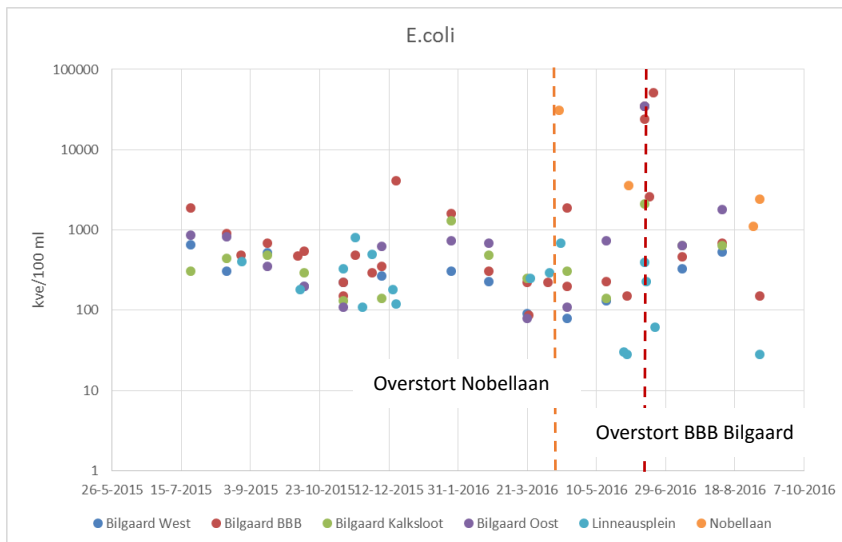
Figuur 17 presenteert het verloop van *E. coli*, zuurstof en acesulfaam op de verschillende locaties. Hieruit blijkt dat de overstort op 13 juni 2016 in Leeuwarden Bilgaard (LWD 3) leidt tot forse verhoging van de *E. coli* concentratie: van circa 150 kve/100 ml (achtergrondwaarde) naar >24.000 kve/100 ml. Deze stijging geldt ook voor Enterococcen (bijlage 3). Echter, 3 dagen na overstort (17 juni 2016) is de *E. coli* concentratie weer gedaald tot 2.600 kve/100 ml. Dit komt door afsterving. Overstort op 20 juni 2016 leidde vervolgens weer tot een sterke verhoging: 51.000 kve/100 ml (direct na overstort, 20 juni 2016).

Bij Bilgaard lijkt de overstort op 13 juni 2016 ook te leiden tot forse daling van het zuurstofgehalte in het oppervlaktewater (< 2 mg/l op 14 juni, daags na overstort). Dit is niet het geval bij het oppervlaktewater van de Nobellaan (AS 3): de zuurstof concentratie was daar op 13 april (daags na overstort) circa 9 mg/l. Daarbij wordt aangetekend dat het oppervlaktewater aan de Nobellaan (AS 3), behalve door de overstort, wordt beïnvloed door instromend water uit andere watergangen. Hierdoor kan de impact van de overstort ter plekke van de meetlocatie minder groot zijn dan in Leeuwarden, alwaar vlakbij de overstort is gemeten. N.B.: de zuurstof concentratie kan, behalve door overstort, ook worden beïnvloed door factoren als bladinal, eenden, honden en maatregelen zoals baggeren of een fontein. Het effect van overstort op de zuurstof acesulfaam concentratie is bij locatie Bilgaard (LWD 3) ook zichtbaar, d.w.z. de hoogste concentraties werden gemeten kort na overstort. Voor de overige parameters (BZV, t-N, t-P) lijkt het effect van overstort op de kwaliteit van oppervlaktewater minder groot. Dit wordt bevestigd door de volgende theoretische exercitie.

Uit de verkregen data m.b.t. de kwaliteit van riool- en oppervlaktewater kan worden afgeleid dat overstort, ook bij 90% verdunning met regenwater, altijd zal leiden tot een (tijdelijke) verhoging van concentraties in oppervlaktewater. In Tabel 14 is de achtergrondconcentratie in oppervlaktewater (mediaan-waarde van alle metingen in deze studie) vergeleken met de kwaliteit van overstortwater (d.w.z. huishoudelijk afvalwater 90% verdund met regenwater). Hieruit blijkt dat de factor het grootst is bij de hygiënische parameters *E. coli* en Enterococcen. Uit deze berekening blijkt dat er niet of nauwelijks verhoging van de P-totaal concentratie in oppervlaktewater optreedt na overstort. Daarnaast neemt BZV met een factor 6,3 toe en N-tot met een factor 3,6. Dit is laag in verhouding tot de factor waarmee Enterococcen en *E. coli* toenemen na een overstort.

Tabel 14 – Berekening van de relatieve impact van overstort (huishoudelijk afvalwater dat 90% verdund is met regenwater) op oppervlaktewater (concentraties berekend zijn de mediaan-waarden van alle metingen uit deze studie, Enterococcen en *E. coli* afvalwater gebaseerd op expert-guess)

| Parameter      |            | OW achtergrond (50 percentiel) | Overstort (90% verdunning) | Factor |
|----------------|------------|--------------------------------|----------------------------|--------|
| BZV            | mg/l       | 3                              | 19                         | 6,3    |
| Enterococcen   | kve/100 ml | 116                            | 100000                     | 900    |
| <i>E. coli</i> | kve/100 ml | 314                            | 1000000                    | 3200   |
| N-totaal       | mg/l       | 1,5                            | 5,4                        | 3,6    |
| P-totaal       | mg/l       | 0,5                            | 0,6                        | 1,2    |
| Acesulfaam     | µg/l       | 1                              | 7                          | 7      |



Figuur 17 – Concentratie E. coli (boven, logaritmische schaal) en zuurstof (midden) en acesulfaam (onder) in oppervlaktewater op verschillende locaties. Overstorten bij Nobellaan (AS 3) op 12 april 2016 en Bilgaard BBB (LWD 3) op 13 en 20 juni 2016.

### 3.3 Conclusies waterkwaliteitsmonitoring

Op basis van de voorgaande paragrafen wordt het volgende geconcludeerd:

#### Toepasbaarheid sensoren

- EGV en troebelheid kunnen dienen als indicator voor de kwaliteit (mate van verdunning) van rioolwater. EGV toont sterke verbanden met BZV, N-kj en t-P, behalve bij het eindgemaal Damsterdiep (GR 1). Troebelheid toont sterke verbanden met onopgeloste bestanddelen (TSS) en BZV. De sterkere verbanden bij Leeuwarden en Assen dan bij eindgemaal Damsterdiep (GR 1) zijn mogelijk een gevolg van het feit dat het afvalwater in Assen en Leeuwarden afkomstig is van woonwijken, d.w.z. huishoudelijk afvalwater (relatief homogene herkomst), terwijl bij het eindgemaal (GR 1) het rioolwater afkomstig is van een groot deel van de stad (herkomst afvalwater zeer heterogeen). Onduidelijk is in hoeverre de fysieke omstandigheden ter plekke (bijv. pompslag of veel bezinksel) de verbanden beïnvloedt. Er is meer onderzoek nodig om het verschil in correlatie tussen bijv. pompgemaal (LWD 1) en eindgemaal (GR 1) te kunnen duiden;
- De betrouwbaarheid van de meting van de sensoren is acceptabel onder voorwaarde dat het rioolwater ter plekke een goede doorstroming heeft en niet droogvallen. Met name voor troebelheid is continu watercontact en doorstroming essentieel, echter geen garantie voor een betrouwbare meting. Meer onderzoek naar het zwakke verband tussen lab en online data voor het bedrijventerrein (GR 2) is gewenst;
- De benodigde schoonmaakfrequentie (om betrouwbaarheid te borgen) wordt met name bepaald door locatie van sensoren in het riool. Locaties met turbulentie en gegarandeerd niveau (altijd onder water) maken dat de interval tussen schoonmaakbeurten kan worden verlengd tot minimaal 1 maand.

#### Kwaliteit rioolwater

- Huishoudelijk afvalwater heeft bij DWA een EGV van 100-130 mS/m en laat een dag/nacht patroon zien voor troebelheid. Wanneer het rioolwater (deels) afkomstig is van bedrijven (Euvelgunne, factor 3 hoger) is met name het EGV patroon afwijkend;
- In situaties met hevige regenval (>10 mm/h), d.w.z. reële situaties voor overstort, treedt sterke (> 90%) verdunning van het rioolwater op. In dat geval is de kwaliteit globaal vergelijkbaar met RWZI effluent.

#### Kwaliteit oppervlaktewater

- Overstorten van rioolwater leiden, ook wanneer het afvalwater met >90% verdund is met regenwater, tot een (tijdelijke) verhoging van de concentraties (*E. coli*, BZV) etc. in oppervlaktewater en mogelijk tot daling van het zuurstof gehalte.
- De mate waarin de verhoging c.q. daling plaatsvindt is afhankelijk van zowel de parameter als van de locatie. De sterkste verhoging vindt plaats bij *E. coli* en Enterococcen (concentratie in overstortwater factor 1000-3000 hoger dan achtergrondconcentratie oppervlaktewater). Bij sterke verdunning met regenwater is het effect op de P-concentratie waarschijnlijk verwaarloosbaar. De mate waarin overstort leidt tot kwaliteitsverslechtering is een resultante van de ontvangstcapaciteit van het watersysteem (grootte, doorstroming, achtergrondconcentratie). Ook de duur van de verlaging (zuurstof) c.q. verhoging is afhankelijk van lokale factoren.

## 4 POTENTIE STUREN RIOOLWATER O.B.V. WATERKWALITEIT

De potentieschatting, d.w.z. de toepasbaarheid en mogelijke winst in de praktijk van het sturen van rioolwater o.b.v. waterkwaliteit, is per gemeente bediscussieerd in bijeenkomsten, zie paragraaf 2.3. Hieronder zijn de uitkomsten beschreven.

### 4.1 Leeuwarden: optimalisatie t.b.v. ontlasten oppervlaktewater en RWZI

Met name aan de noordwestkant van de stad (Euterpestraat Kalksloot/Bilgaard) zijn 's zomers waterkwaliteitsproblemen, o.a. vanwege stilstaand oppervlaktewater: geen verversing. Verder is er de wens om, vanuit zowel esthetisch als hygiënisch oogpunt, bij de stadsrand geen of minimaal rioolwater over te stortten. Overstorten op deze kritische locaties kunnen mogelijk worden voorkomen/verminderd door de overstort actief te sturen via drempelverlaging bij ruim (boezem)water. In de boezem is dermate veel water aanwezig dat vermoedelijk geen overlast ontstaat door overstortwater. Geconcludeerd wordt dat het eventueel meer (gecontroleerd) overstorten een interessante optie is, indien dit winst oplevert op andere locaties en onder de voorwaarde dat toename van overstortwater acceptabel is vanuit waterkwaliteitsoogpunt. Concrete locaties voor gestuurde overstorten zijn:

- Bilgaard / Kalksloot, ontlasten via Dokkumer Ee;
- Snekerkade, ontlasten via Harlinger Vaart;
- Bemalingsgebied RWZI (omgeving stadsstrand), ontlasten via Harinxmakanaal / RWZI.

Daarnaast kan gestuurd overstorten leiden tot ontlasten van de RWZI en daarmee leiden tot een netto reductie van vuilemissie op oppervlaktewater. RWZI Leeuwarden wordt gevoed vanuit het vrij vervalstelsel via het influentgemaal (RWA-capaciteit ongeveer 1.250 m<sup>3</sup>/uur) en verschillende persleidingen die achter het gemaal lozen. De totale capaciteit van de RWZI bedraagt 8.000 m<sup>3</sup>/uur. Actief overstorten vanuit het vrij vervalstelsel van sterk verdund rioolwater (RWA) op ruim oppervlaktewater (boezem of Harinxmakanaal) kan overbelasting van de RWZI tegengaan. Hetzelfde geldt voor het verkleinen van de aanvoerdebieten via persleidingen. De mogelijke winst zit in reductie van de vuilvracht naar oppervlaktewater door het aftoppen van de RWA piek. Om deze winst te schatten moet een overzicht worden gemaakt van de relatie tussen het influentdebiet van RWZI Leeuwarden en de vuilemissie (bijv. N, P, zwevende stof) naar oppervlaktewater.

### 4.2 Assen: optimalisatie afvoer met BBB en RWZI

Er wordt potentie gezien in het beter gebruiken van het bergbezinkbassin (BBB) bij gemaal Hobokenstaat, i.c.m. de RWZI (vlakbij het BBB gelegen). Door gerealiseerde afkoppelprojecten en wijzigingen in het rioolstelsel (Marsdijk op ringpersleiding) is overcapaciteit gecreëerd in het BBB en het influentgemaal (in BBB). Het BBB Hobokenstraat stort over op het havenkanaal, vlakbij de effluentlozing van de RWZI. Het BBB, gerealiseerd in 1997 en met een inhoud van 3400 m<sup>3</sup>, kan overtollig rioolwater bergen voordat het overstort vanuit het gemengd stelsel bij gemaal Hobokenstraat. Dat gemaal wordt gevoed met rioolwater via vrij verval en voert af naar de RWZI Assen. De pompcapaciteit van het gemaal is 800 m<sup>3</sup>/h (DWA) – 2700 m<sup>3</sup>/h (RWA). Een interessante optie is om (onder bepaalde voorwaarden m.b.t. weersomstandigheden en waterkwaliteit) zoveel mogelijk water naar het BBB te laten stromen, waar water nu vooral binnen bemalingsgebieden overstort in het lokale RWA systeem. Dit kan door te sturen via de schuiven: volledig open om daarmee verschillende bemalingsgebieden bovenstrooms maximale afvoercapaciteit te geven naar het eindgemaal en het BBB. De gedachte is om standaard, in ieder geval tijdens de eerste RWA piek (vuilprop) de schuiven helemaal open te zetten (Fase 1). Wanneer

het BBB helemaal gevuld is en/of het water schoon genoeg is voor lokale overstort wordt de schuif geknepen (sturing op kwaliteit): Fase 2. Er wordt op die manier extra capaciteit gecreëerd, zowel in berging als in zuiveringsrendement (bezinking in BBB). Fase 3: weer openen van de schuiven in geval de vuilgraad toeneemt of de bui is gestopt. De haalbaarheid en effectiviteit van deze optie/aanpak moet verder worden onderzocht.

Ook de RWZI kan meedoen in deze regeling. Bij het begin van een regenbui (RWA piek) gaat zoveel mogelijk water vanuit het gemaal Hobokenstraat naar de RWZI, het overtollige water stort over in het BBB (Fase 1). Wanneer het water sterk verdund raakt kan de aanvoer naar de RWZI worden gereduceerd (Fase 2, sturing op waterkwaliteit) en stort nog over naar het BBB. Door het reduceren van het aanvoerdebiet naar de RWZI wordt extra verblijftijd gecreëerd in de RWZI. Hierdoor kan de vuilprop die binnenkomt bij beginnend RWA beter worden verwerkt, zo is de verwachting. Indien de aanvoer vanuit het gemaal weer is gereduceerd tot DWA wordt het water uit het BBB teruggepompt naar het gemaal t.b.v. doorvoer naar de RWZI (Fase 3). Ook hier geldt dat de haalbaarheid en effectiviteit van deze RWZI-sturing nader moet worden onderzocht en bevestigd, voordat maatregelen in de praktijk worden doorgevoerd.

### 4.3 Groningen: alternatieve afvoer in geselecteerde bemalingsgebieden

Vanwege de hoogteligging van het maaiveld t.o.v. het waterpeil van ruim oppervlaktewater, zijn de mogelijkheden om in Groningen actief over te storten op ruim oppervlaktewater beperkt. Bij nader inzien vervalt (vanwege de hoogteligging) de eerder besproken optie om vanuit het eindgemaal Damsterdiep (maaiveld orde grootte NAP +0,50 m) over te storten op het Eemskanaal (NAP +0,53 m) om daarmee de Gorechtvijver te ontlasten. Ook het Reitdiep (westkant, NAP +0,53 m) en het Noord-Willemskanaal (zuiden, NAP +0,53 m) liggen te hoog voor dergelijke overstorten. Los van de hoogteligging, lijken de mogelijkheden om actief over te storten vanuit eindgemaal Damsterdiep bovendien beperkt vanwege het feit dat daar bij beginnend RWA veel vuil wordt verzameld (laagste punt). Mogelijkheden voor gecontroleerde, geforceerde overstorten (o.b.v. waterkwaliteit) lijken er wel te liggen bij het Van Starkenborghkanaal. Het Van Starkenborghkanaal ligt relatief laag (NAP -0,93 m) en dan met name voor (verdund) rioolwater uit de gebieden:

- Oosterpark: via Gorechtvijvers, creëren van doorspoeling vanuit Eemskanaal?
- Selwerd en Vinkhuizen: ontlasting wijkvijvers
- Korreweg: ontlasting wijkvijvers.

Een alternatief hierbij is doorvoering van het rioolwater naar het bestaande, ruim gedimensioneerde stelsel van de wijk Leeuwenborg. Verder lijkt het interessant om o.b.v. waterkwaliteit bij regen (sterk verdund) rioolwater uit de binnenstad gecontroleerd over te storten op de Diepenring, evt. met gestuurde doorstroming. Bij Beijum lijken er mogelijkheden te liggen om o.b.v. waterkwaliteit actief over te storten op polderwater. Hetzelfde geldt voor afvalwater van Euvelgunne (bedrijventerrein) op het Eemskanaal. Door deze alternatieve sturing van rioolwater worden overstorten op lokaal (relatief klein en kwetsbaar) oppervlaktewater gereduceerd en wordt de RWZI Garmerwolde hydraulisch ontlast.

### 4.4 Potentiële winst van RTC o.b.v. waterkwaliteit

Gebaseerd op voorgaande paragrafen blijkt dat de potentie voor het sturen van rioolwater op waterkwaliteit mogelijk ligt bij het gecontroleerd lozen van sterk verdund rioolwater uit de geselecteerde bemalingsgebieden op aanpandig (ruim) oppervlaktewater. In dat geval zit de winst in

het verminderen van vuilemissie op kritische locaties (bijv. woonwijken, stadsgrachten) alsook vermindering van de vuilemissie via RWZI effluent door het optimaal gebruiken van bestaande infrastructuur (berging die niet wordt gebruikt) en het hydraulisch ontlasten van RWZI's in RWA-situaties. Tijdens dit project is getracht om de discussie m.b.t. de regulering van gecontroleerde overstort op gang te brengen (zie kader). Deze discussie is nog niet afgerond. Voor introductie van gecontroleerde overstort (RTC) o.b.v. waterkwaliteit in de praktijk, moet regulering o.b.v. normen verder worden uitgewerkt.

### **Gecontroleerde overstort in relatie tot kwaliteit oppervlaktewater**

Overstort leidt, ook wanneer dit gecontroleerd gebeurt tot tijdelijke verslechtering van oppervlaktewater (paragraaf 3.2.2). De vraag is waar de grens ligt tussen acceptabel en onacceptabel. Voor stedelijk oppervlaktewater gelden, wanneer het water geen natuur- of zwemwaterfunctie heeft, geen formele waterkwaliteitsnormen. (M.b.t. de doelafleiding overige wateren is inmiddels een traject gestart in Noordelijk verband. Het streven is dat begin 2019 voor alle overige wateren ook doelen voor ecologie en waterkwaliteit zijn vastgesteld).

De mate van beïnvloeding van de lozing op oppervlaktewater is afhankelijk van:

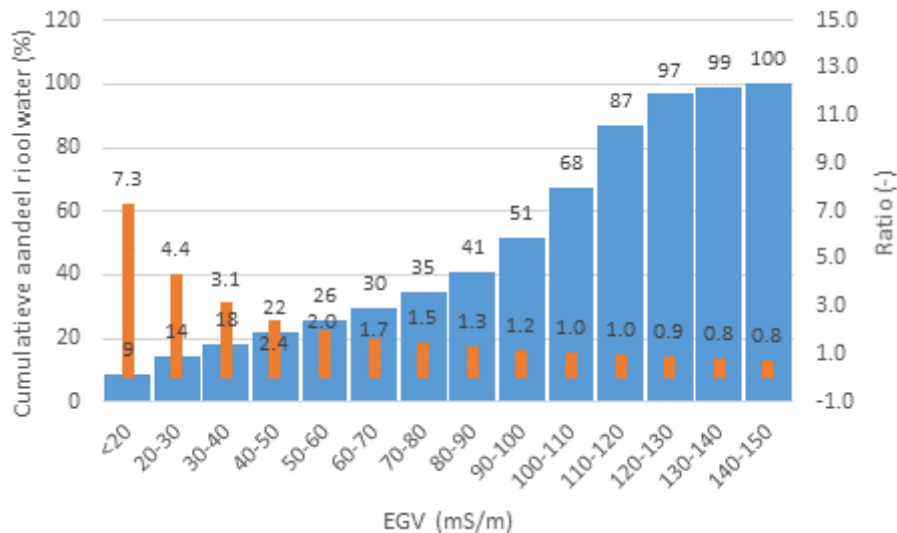
- De hoeveelheid water die op het oppervlaktewater wordt geloosd;
- De waterkwaliteit van de lozing;
- Het volume van het ontvangend oppervlakte;
- De achtergrond kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater;
- De doorstroming / verversing van het oppervlaktewater.

Om de discussie tijdens dit project te starten is de stelling geponeerd dat gecontroleerde lozing tenminste acceptabel is indien de kwaliteit van het overstortende water min of meer vergelijkbaar is met RWZI effluent. Immers, RWZI effluenten worden continu geloosd op (ruim) oppervlaktewater. Gecontroleerde overstort, bijv. bij EGV < 20 mS/m, zijn discontinu en gedurende een zeer beperkte tijdperiode (circa 55 uur per jaar). Mogelijk biedt de Emissie immissietoets (CIW 2000) een bruikbaar instrumentarium om de mogelijkheid van gecontroleerde overstort in concrete gevallen te toetsen. Uitgangspunten bij de Emissie immissietoets zijn:

1. De lozing mag niet significant bijdragen aan het overschrijden van de kwaliteitsdoelstelling voor het watersysteem (water en waterbodem) waarop wordt geloosd;
2. De lozing mag binnen de mengzone niet leiden tot acuut toxische effecten voor waterorganismen;
3. De lozing mag binnen de mengzone niet leiden tot acuut toxische effecten voor sediment bewonende.

De vraag is echter hoe groot de winst van RTC is ten opzichte van de huidige situatie, d.w.z. ongecontroleerde overstort. Daartoe is een theoretische exercitie uitgevoerd voor Bilgaard, waarbij is aangenomen dat rioolwater met een EGV < 20 mS/m (> 83% verdunning, kwaliteit komt dan in grote lijn overeen met RWZI effluent) acceptabel is voor overstort.

Figuur 18 presenteert het aandeel rioolwater per EGV klasse (histogram) o.b.v. de verkregen online EGV data van het pompemaal (LWD 1). Hieruit kan worden afgeleid dat op jaarbasis circa 9% van het rioolwater een EGV heeft van < 20 mS/m, en dat bij < 20 mS/m het debiet ruim 7,3x DWA bedraagt. Deze waarde (EGV < 20 mS/m) wordt gehaald gedurende 1,5% van de tijd.



Figuur 18 – Aandeel rioolwater per EGV klasse o.b.v. de verkregen online data van LWD 1

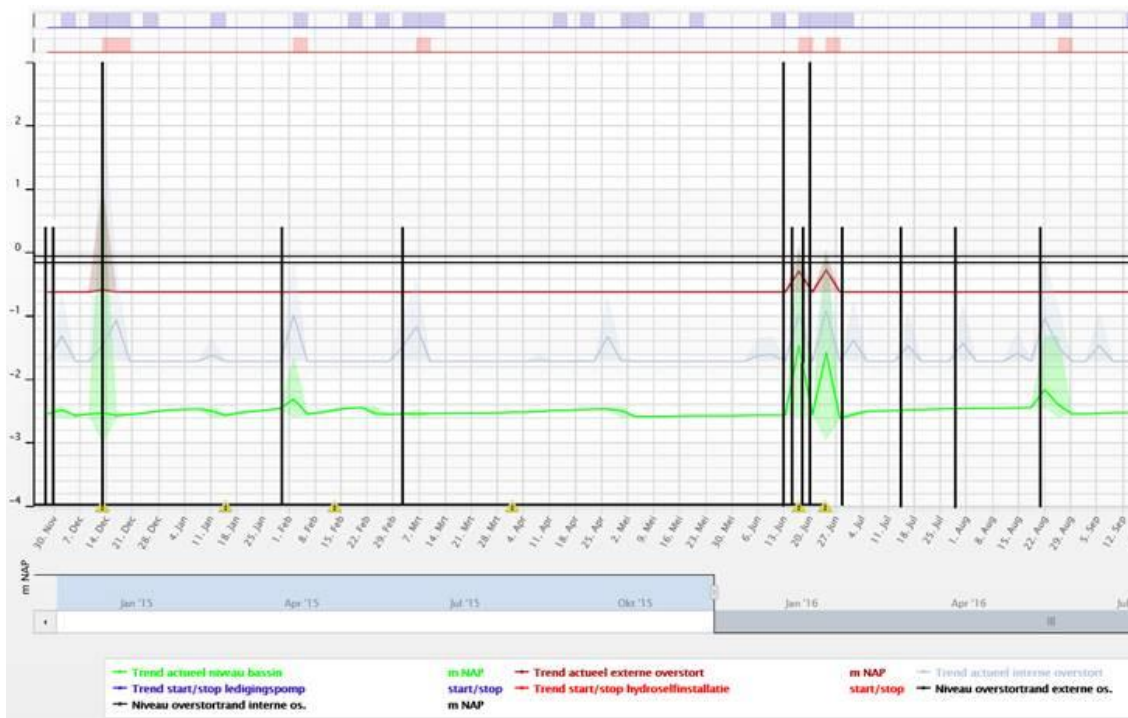
De uitgangspunten die zijn gehanteerd bij de afleiding zijn:

- De EGV is omgekeerd evenredig met de mate van verdunning door regenwater (lineaire correlatie, paragraaf 3.1.1);
- De EGV bij DWA (d.w.z. zonder substantiële invloed van neerslag/verdunning) bedraagt 110 mS/m. De mediaan EGV van de 182 gemeten data (meetinterval 30 minuten) onder < 20 mS/m bedraagt 15 mS/m (online metingen periode november 2015 t/m juli 2016);
- Het DWA debiet bedraagt 121 liter per persoon (of v.e.) per dag (gemiddeld drinkwater verbruik).

Eenzelfde exercitie bij bedrijventerrein Euvelgunne (bijlage 6) geeft aan dat (ook daar) gedurende 1,5% van de tijd het rioolwater een EGV heeft < 44 mS/m (> 83% verdunning). De hoeveelheid water in die EGV klasse bedraagt op jaarbasis gemiddeld 9 %. De EGV data voor de overige locaties zijn niet geschikt om een dergelijke afleiding te maken, met name vanwege droogval van de EGV sensoren bij het eindgemaal (GR 1) en de schuif (AS 1). De scheiding tussen regenweersituaties en het langzaam aflopen van de EGV door droogvallen sensor is niet duidelijk. Bij de overstort (AS 2) is het EGV beeld vertekend door de langzame verversing van het water bij het meetpunt door de benedenstreams geplaatste zandzakken.

Uit berekeningen met buienreeksen kan, met bepaalde aannames, worden afgeleid dat, bij gemengde stelsels die voldoen aan de basisinspanning (berging stelsel 7 mm + randvoorziening 2 mm, POC 0,7 mm/h), op jaarbasis gemiddeld circa 7% van het rioolwater via overstort wordt geloosd op oppervlaktewater (CIW, 2001). Dit komt qua ordegrrootte overeen met de afleiding voor het pompemaal Bilgaard (LWD 1): 9% van het rioolwater voldoet aan het criterium: EGV < 20 mS/m. De vraag is nu of het water dat (ongecontroleerd) overstort inderdaad overeenkomt met EGV < 20 mS/m. Deze vraag wordt voor Bilgaard bevestigd: de momenten waarop interne overstort plaatsvindt, d.w.z. het BBB wordt gevuld, komen overeen met de momenten waarop het rioolwater voldoet aan het criterium EGV < 20 mS/m (Figuur 19).





Figuur 19 - Momenten van (interne) overstort BBB Bilgaard (lichtgrijze lijn) en momenten waarop de EGV van het rioolwater beneden 20 mS/m was (verticale staven). De drie lange verticale staven komen overeen met externe overstort (rode lijn).

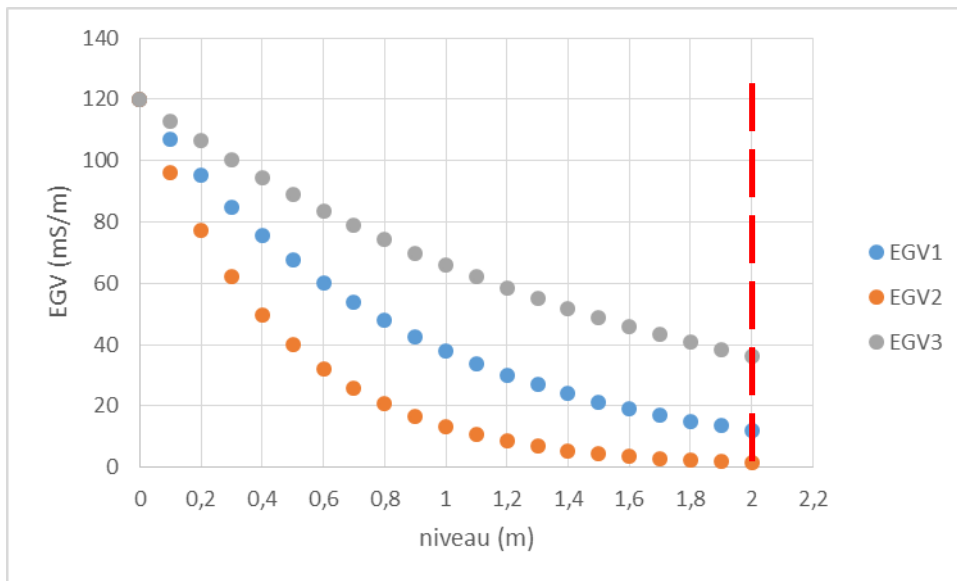
Op grond van deze exercitie is het aannemelijk dat de vuilemissie uit gemengde stelsels die voldoen aan de basisinspanning en goed zijn ingesteld beperkt is, d.w.z. het rioolwater is sterk verdund (circa 90%) tijdens overstort. Bovendien lijkt bij goed gedimensioneerde stelsels de winst van gecontroleerde (actieve) overstort (bijv. via sturing van gemalen) o.b.v. waterkwaliteit beperkt. In elk geval voor de situatie in Bilgaard lijkt er weinig te verbeteren aan het “schakelmoment” waarop nu (zonder RTC o.b.v. waterkwaliteit) intern wordt overgestort. De metingen in Bilgaard geven een consistent beeld:  $EGV < 20 \text{ mS/m} \leftrightarrow$  overstort. Dit suggereert dat waterkwaliteit afhankelijk is van niveau in riool (komt het water over de overstortrand, dan is de  $EGV < 20 \text{ mS/m}$ ) en niet van buidynamiek.

De winst van RTC lijkt op grond van dit onderzoek dus heel beperkt. Wel kan (tijdelijke) online monitoring bijdragen aan optimalisatie van gemengde rioolstelsels door via hardware wijzigingen in het stelsel, (indien mogelijk via kleppen en schuiven), zodanig dat een optimale balans wordt bereikt tussen:

1. Het voorkomen dat te veel dun water naar de RWZI wordt getransporteerd;
2. Het voorkomen dat geconcentreerd rioolwater overstort.

Door het verband tussen waterniveau in het riool en waterkwaliteit (bijv. met EGV, FTU of andere online parameters) in kaart te brengen, wordt zicht verkregen op de huidige situatie: vuilbelasting van oppervlaktewater, belasting van de RWZI met dun water en gebruik berging in het stelsel. Indien de situatie ruimte biedt voor optimalisatie (Figuur 20) kunnen locatiespecifieke maatregelen worden getroffen, zodat bijv.:

- Minder dun water naar het eindgemaal c.q. RWZI gaat, en meer dun water naar oppervlaktewater;
- Bestaande bergingscapaciteit beter wordt benut.



Figuur 20 – Fictief, mogelijk verloop van EGV ten opzichte van het waterniveau in het riool. Bij DWA heeft het rioolwater een EGV van 120 mS/m. Als het gaat regenen stijgt het waterniveau en daalt de EGV. Overstortdrempel op 2 m. Verloop EGV 1 is optimaal: overstort bij EGV < 20 mS. Bij EGV 2 is er ruimte voor optimalisatie: er wordt (te) veel dun water naar het eindgemaal / RWZI geleid. Bij EGV 3 stort water over terwijl het (nog) relatief geconcentreerd is. N.B.: de kritische EGV waarde (bijv. 20 mS/m) is afhankelijk van de capaciteit van het ontvangende oppervlaktewater en is daarom in principe locatie-specifiek.

## 5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit project is de toepasbaarheid van sensortechnologie voor sturing van transport van rioolwater in gemengde stelsels oriënterend onderzocht. De volgende onderzoeksvragen stonden daarbij centraal:

1. Kan met relatief eenvoudige online meters (EGV en troebelheid) een goed beeld worden verkregen van de kwaliteit van rioolwater en de mate van verdunning door regenwater?
2. Wat is het effect van (a) neerslag op de kwaliteit van rioolwater en (b) overstort op de kwaliteit van oppervlaktewater?
3. Op welke locaties in de gemeenten Groningen, Leeuwarden en Assen en onder welke condities is het bewust overstorten van (sterke verdund rioolwater) kansrijk?
4. Wat is de geschatte winst m.b.t. reductie vuilemissie naar oppervlaktewater, reductie van overstorten op kritische locaties (overlast) en reductie van energie (voor pompen en zuivering)?

Met de uitgevoerde meetcampagne is veel informatie verkregen. Behalve resultaten voor beantwoording van de onderzoeksvragen is via (online) waterkwaliteitsmonitoring bovendien inzicht in het functioneren van het rioolstelsel verkregen. Dit inzicht is een extra opbrengst van het project.

Hieronder worden de conclusies samengevat. Daarbij wordt nogmaals aangetekend dat de conclusies zijn gebaseerd op een beperkte meetcampagne, en een dataset die niet normaal verdeeld is. Dit is een beperking bij het vaststellen van statistische verbanden.

### 5.1 Technische toepasbaarheid online monitoring

Geconcludeerd wordt dat de gebruikte sensoren (EGV en troebelheid) een goed beeld geven van de kwaliteit van rioolwater en de mate van verdunning, onder de voorwaarde dat (1) het rioolwater redelijk homogeen is qua herkomst en (2) de sensoren zo opgesteld staan dat vervuiling wordt beperkt. De metingen bij het pompgebied (LWD 1) gaven een goed beeld van de waterkwaliteit, en de EGV metingen bij de overstort (AS 2), het bedrijventerrein (GR 2), het eindgebied (GR 1) een redelijk goed beeld. De troebelheidsmetingen zijn in de laatste drie gevallen en de schuif (AS 1) minder representatief. Onduidelijk is in hoeverre de fysieke omstandigheden ter plekke (bijv. pompslag of veel bezinksel) de correlaties beïnvloeden. Er is meer onderzoek nodig om het verschil in correlatie tussen bijv. het pompgebied (LWD 1) (woonwijk) en het eindgebied (GR 1) te kunnen duiden.

Uit dit onderzoek is gebleken dat met name de online meting van troebelheid gevoelig is voor vervuiling. De locatie van deze sensor is belangrijk voor een betrouwbare meting: turbulentie en voortdurend watercontact. In dat geval kan de schoonmaakfrequentie waarschijnlijk zonder problemen worden verlengd naar eens per maand. In situaties met stagnerend water en/of (periodiek) droogvallen is de troebelheidsmeting niet betrouwbaar. Het droogvallen bleek niet altijd de oorzaak van onbetrouwbare meetwaarden: ook de troebelheidsmeting van het bedrijventerrein (GR 2) had een slechtere correlatie tussen lab en online metingen, ondanks dat de meter op deze locatie vrijwel altijd onder water stond.

Met de sensoren en onder de hiervoor genoemde condities (turbulentie, homogene herkomst) is de invloed van regenwater op de waterkwaliteit met name voor EGV goed zichtbaar. Met behulp van statistische data-analyse is een relatie afgeleid voor Bilgaard: deze relatie beschrijft het effect van de historische neerslag op de EGV. Hieruit blijkt dat de kwaliteit van rioolwater in situaties met hevige regenval (> 13 mm/12 uur) en (bijna) overstort, circa 90% verdund is met regenwater, d.w.z. vergelijkbaar met RWZI effluent. De EGV waarde is dan, bij afvalwater voornamelijk afkomstig van

huishoudens, rond 20 mS/m. Mogelijk zou dit als grenswaarde kunnen worden gebruikt voor (uit oogpunt van waterkwaliteit) “acceptabele overstort”.

## 5.2 Gecontroleerd overstorten: kansen en winst

De potentie voor het sturen van rioolwater op waterkwaliteit ligt in principe bij het gecontroleerd lozen van sterk verdund rioolwater uit de geselecteerde bemalingsgebieden op aanpandig (ruim) oppervlaktewater. De winst zit dan in het verminderen van vuilemissie op kritische locaties (bijv. woonwijken, stadsgrachten) alsook vermindering van vuilemissie via RWZI effluent door het optimaal gebruiken van bestaande infrastructuur (berging die niet wordt gebruikt) en het hydraulisch ontlasten van RWZI's in RWA-situaties. Echter, het is de vraag of met actieve sturing (RTC) in de praktijk winst kan worden behaald. De situatie bij het pompemaal Bilgaard (LWD 1) lijkt al optimaal: overstort vindt nu (ongecontroleerd) plaats alleen wanneer het rioolwater sterk verdund is ( $EGV < 20$  mS/m, kwaliteit globaal vergelijkbaar met RWZI effluent). Bovendien is het beeld in de huidige situatie (ongecontroleerd) consistent, dit betekent dat RTC op dit moment bij locatie Bilgaard geen substantiële meerwaarde biedt.

Gebaseerd op het onderzoek lijkt het aannemelijk dat bij goed gedimensioneerde stelsels de winst van gecontroleerde (actieve) overstort o.b.v. waterkwaliteit beperkt is. Wel kan met sensortechnologie de bestaande situatie (eenmalig of periodiek) worden geoptimaliseerd via wijziging van de bestaande riolering, zodanig dat een optimale balans wordt bereikt tussen:

1. Het voorkomen dat te veel dun water naar de RWZI wordt getransporteerd;
2. Het voorkomen dat geconcentreerd rioolwater overstort.

Locaties die in aanmerking lijken te komen voor optimalisatie zijn in Leeuwarden: Bilgaard / Kalksloot (ontlasten via Dokkumer Ee), Snekerkade (ontlasten via Harlinger Vaart) en het bemalingsgebied van de RWZI (ontlasten via Harinxmakanaal/RWZI). Bij Assen ligt potentie bij het beter gebruik van het bergezinkbassin (BBB) bij gemaal Hobokenstaat, i.c.m. ontlasting van de RWZI. In Groningen lijken er kansen te liggen bij het Van Starckenborghkanaal voor het lozen van (sterk verdund) rioolwater uit een aantal wijken (Oosterpark, Selwerd, Vinkhuizen en Korreweg) t.b.v. doorspoeling en ontlasting van wijkvijvers. Ook liggen er op verschillende plekken kansen om het bestaande stelsel beter in te zetten om hevige buien op te vangen (Euvelgunne, Lewenborg).

## 5.3 Aanbevelingen

In dit onderzoek is gebleken dat, om een aantal zaken beter te duiden, aanvullend onderzoek nodig is.

Op het gebied van waterkwaliteitsmonitoring:

- Meer meetgegevens, met name tijdens RWA, zijn nodig om betrouwbaardere uitspraken te kunnen doen over het verband tussen de surrogaatparameters EGV en troebelheid enerzijds en waterkwaliteitsparameters anderzijds;
- Metingen bovenstrooms van het eindgemaal (GR 1), om de mogelijke invloed van pompslag op de correlatie tussen surrogaat- en waterkwaliteitsparameters, uit te sluiten;
- Nader onderzoek is nodig om de verschillen in correlaties (surrogaat – waterkwaliteit) tussen de verschillende meetlocaties beter te kunnen duiden (hypothese homogene versus heterogene herkomst);
- Nader onderzoek is nodig om het verschil in EGV tussen de locaties LWD 1 en AS 1/AS 2 beter te duiden;

- In dit onderzoek is de relatie tussen neerslaghistorie en waterkwaliteit in gemengde stelsels slechts zeer globaal onderzocht. Nader onderzoek is nodig om deze relatie beter in kaart te brengen.

Op gebied van de winst van verbeterde sturing:

- Aanbevolen wordt om op andere plaatsen het beeld van Leeuwarden Bilgaard (overstort  $\leftrightarrow$  EGV  $< 20$  mS/m) te verifiëren en in concrete situaties de ruimte voor optimalisatie m.b.v. sensortechnologie vast te stellen. Dit kan bijv. door de EGV variatie in andere stelsels te monitoren en de data centraal te verzamelen, bijv. via Rioned;
- De ruimte voor optimalisatie van bestaande gemengde stelsels kan worden afgeleid m.b.v. de relatie tussen waterpeil en waterkwaliteit in de riolering. Aanbevolen wordt deze relatie door onderzoek vast te stellen in verschillende (RWA) situaties en op verschillende locaties.

## 6 REFERENTIES

Bersinger T., Pigot T., Bareille G., Le Hecho I. (2013). Continuous monitoring of turbidity and conductivity: a reliable, easy and economic tool for sanitation management. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 171, 151-162.

Commissie Integraal Waterbeheer (2001). Riooloverstorten. Deel 1: Knelpuntcriteria riooloverstorten - Methodiek ter beoordeling van riooloverstorten met betrekking tot waterkwaliteit, volksgezondheid en diergezondheid.

Lepot M., Aubin J-B., Bertrand-Krajewski J-L. (2013) Accuracy of different sensors for the estimation of pollutant concentrations (Total suspended solids and dissolved chemical oxygen demand) in wastewater and stormwater. *WST*, 68, 462-471.

Lombard V., Toloméo S., Bertrand-Krajewski J-L., Debray R., Comte C., de Bénédittis J. (2010). Design and operation of pollutant loads monitoring stations for an integrated approach of sewer systems. Novatech 2010.

Moens M., Grum M., Aalderink M. (1999). Inzet van troebelheidsmeters ter bepaling CZV en drogestof in gemengde rioolstelsels. *H2O*, 8, 22-24.

Van Daal-Rombouts P., Schilperoort R., Langeveld J., Clement F. (2013). CSO pollution analysis based on conductivity and turbidity measurements and implications for application of RTC. Novatec 2013.

# BIJLAGE 1: Kenmerkbladen Assen, Leeuwarden en Groningen

## ASSEN – PITTELO ZUID

|                            |       |              |                 |                 |     |
|----------------------------|-------|--------------|-----------------|-----------------|-----|
| <b>Bemalingsgebied:</b>    | 5     | <b>Naam:</b> | Pittelo zuid    | <b>Stelsel:</b> | G/G |
| <b>BHP opgesteld door:</b> | Assen |              | dd/nr: 23-04-08 |                 |     |

| DWA                                  | 2008        |        | 2015        |        |  |  |
|--------------------------------------|-------------|--------|-------------|--------|--|--|
|                                      | direct      | indir. | direct      | indir. |  |  |
| <b>WONINGEN</b>                      | )1          |        | )1          |        |  |  |
| > aantal woningen                    | 870         |        | 870         |        |  |  |
| > aantal inwoners                    | 2.007       |        | 2.007       |        |  |  |
| > gem. woningbezetting               | 2,31        |        | 2,31        |        |  |  |
| > hoeveelheid in m <sup>3</sup> /u   | 25          | 0      | 25          | 0      |  |  |
| <b>BIJZ. BEBOUWING</b>               |             |        |             |        |  |  |
| > aantal i.e.                        |             |        |             |        |  |  |
| > hoeveelheid in m <sup>3</sup> /u   | 0           | 0      | 0           | 0      |  |  |
| <b>RECREATIE</b>                     |             |        |             |        |  |  |
| > aantal i.e.                        |             |        |             |        |  |  |
| > hoeveelheid in m <sup>3</sup> /u   | 0           | 0      | 0           | 0      |  |  |
| <b>TOTAAL HHA</b>                    |             |        |             |        |  |  |
| > aantal i.e.                        | 2.007       | 0      | 2.007       | 0      |  |  |
| totaal direct en indirect            | 2.007       |        | 2.007       |        |  |  |
| > hoeveelheid in m <sup>3</sup> /u   | 25          | 0      | 25          | 0      |  |  |
| totaal direct en indirect            | 25          |        | 25          |        |  |  |
| <b>BEDRIJVEN</b>                     |             |        |             |        |  |  |
| > aantal i.e.                        |             |        |             |        |  |  |
| totaal direct en indirect            | 0           |        | 0           |        |  |  |
| > hoeveelheid in m <sup>3</sup> /u   |             |        |             |        |  |  |
| totaal direct en indirect            | 0           |        | 0           |        |  |  |
|                                      | <b>2008</b> |        | <b>2015</b> |        |  |  |
| <b>Totaal DWA in i.e.</b>            | 2.007       | 0      | 2.007       | 0      |  |  |
| totaal direct en indirect            | 2.007       |        | 2.007       |        |  |  |
| <b>Totaal DWA in m<sup>3</sup>/u</b> | 25          | 0      | 25          | 0      |  |  |
| totaal direct en indirect            | 25          |        | 25          |        |  |  |

| BEMALINGSCAP.               | 2008                  | 2015                  |  |  |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|--|--|
| Pompevercapaciteit          | 86 m <sup>3</sup> /u  | 86 m <sup>3</sup> /u  |  |  |
| DWA inwoners                | 25 m <sup>3</sup> /u  | 25 m <sup>3</sup> /u  |  |  |
| DWA recreatie               | 0 m <sup>3</sup> /u   | 0 m <sup>3</sup> /u   |  |  |
| DWA bijz. bebouwing         | 0 m <sup>3</sup> /u   | 0 m <sup>3</sup> /u   |  |  |
| DWA bedrijven               | 0 m <sup>3</sup> /u   | 0 m <sup>3</sup> /u   |  |  |
| <b>EIGEN GEBIED</b>         | 111 m <sup>3</sup> /u | 111 m <sup>3</sup> /u |  |  |
| Invoer drukriolering        | 0 m <sup>3</sup> /u   | 0 m <sup>3</sup> /u   |  |  |
| Subtotaal                   | 111 m <sup>3</sup> /u | 111 m <sup>3</sup> /u |  |  |
| <b>Invoer uit andere BG</b> | m <sup>3</sup> /u     | m <sup>3</sup> /u     |  |  |
| >                           | m <sup>3</sup> /u     | m <sup>3</sup> /u     |  |  |
| >                           | m <sup>3</sup> /u     | m <sup>3</sup> /u     |  |  |
| >                           | m <sup>3</sup> /u     | m <sup>3</sup> /u     |  |  |
| >                           | m <sup>3</sup> /u     | m <sup>3</sup> /u     |  |  |
| >                           | m <sup>3</sup> /u     | m <sup>3</sup> /u     |  |  |
| >                           | m <sup>3</sup> /u     | m <sup>3</sup> /u     |  |  |
| Subtotaal                   | 111 m <sup>3</sup> /u | 111 m <sup>3</sup> /u |  |  |
| Afronding                   |                       |                       |  |  |
| <b>Totaal</b>               | 111 m <sup>3</sup> /u | 111 m <sup>3</sup> /u |  |  |

Verklaring: )1 aansluitingen via drukriolering e.d.

| Afvoerend verhard opp. Fv  |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| > woongebied               | 12,24 ha              |
| > uitbr. woongebied        | ha                    |
| > bedrijventerrein         | ha                    |
| > uitbr. bedrijven terrein | ha                    |
| Totaal verhard oppervlak   | 12,24 ha              |
| Afvoeringscoëfficiënt      | 1                     |
| Afvoerend verhard opp.     | 12,24 ha              |
| Fv woongebied              | 141 m <sup>2</sup> /w |
|                            | 61 m <sup>2</sup> /i  |
| <b>BERGING</b>             |                       |
| > onderdrempelberging      | 1293 m <sup>3</sup>   |
| > helft DWA-riool          | m <sup>3</sup>        |
| > bovendrempelberging      | m <sup>3</sup>        |
| > in uitbreidingen         | m <sup>3</sup>        |
| <b>SUB-TOTAAL</b>          | 1293 m <sup>3</sup>   |
| > bergingsriolen           | m <sup>3</sup>        |
| > bergbezinkvoorz.         | m <sup>3</sup>        |
| > verloren berging         | m <sup>3</sup>        |
|                            |                       |
| <b>TOTALE BERGING</b>      | 1293 m <sup>3</sup>   |
| <b>BERGING in MM</b>       | 10,6 mm               |
| Pompevercap.               | 0,70 mm/u             |
| Overstortfreq.             | p.j.                  |

| Overstorten: |       |       |
|--------------|-------|-------|
| Nummer       | dr.h. | dr.b. |
| 5-260        | 10,60 | 2,50  |
| 5-88         | 10,60 | 2,50  |

# KENMERKENBLAD GRONINGEN – DAMSTERDIEP (CONCEPT)

| <i>Rioleringskenmerken</i>                                   |         |                                 |          |                   |             |                   |       |
|--|---------|---------------------------------|----------|-------------------|-------------|-------------------|-------|
| Hoofdbemalingsgebied   | Eenheid | Norm                            | Gemengd  | Type rioolstelsel |             | DWA               |       |
|  |         |                                 |          | HWA               | DWA         |                   |       |
| <b>Inwoners en bedrijven</b>                                 |         |                                 |          |                   |             |                   |       |
| Aantal woningen  |         |                                 |          | 50.731            |             |                   | 573   |
| Aantal inwoners  |         |                                 | totaal   | 74.326            |             |                   | 1.223 |
| Gem. woningbezetting   |         |                                 |          | 1,5               |             |                   | 2,1   |
| <b>Overig DWA</b>  |         |                                 |          |                   |             |                   |       |
| UMCS   | m3/u    |                                 |          | 147               | m3/u        |                   |       |
| Extra afvoer op basis van waterverbruik                      | m3/u    |                                 |          | 35                | m3/u        |                   |       |
| Grootverbruikers *   | m3/u    |                                 |          | 0                 | m3/u        |                   |       |
| Bedrijventerreinen   | m3/u    | 0,5 m3/uur/ha (bruto oppervlak) | (350 ha) | 175               | m3/u        |                   |       |
| <b>Droogweerafvoer</b>                                       |         |                                 |          |                   |             |                   |       |
| DWA inwoners   | m3/uur  | 0,015 m3/uur/inw.               |          | 1.115             |             |                   |       |
| DWA agrarische bedrijven                                     | m3/uur  | 1/0,1                           |          | 0                 |             |                   |       |
| DWA overig   | m3/uur  |                                 |          | 356               |             |                   |       |
| <b>Aangesloten verharding</b>                                |         |                                 |          |                   |             |                   |       |
| Open verharding [OV]   | ha      |                                 |          | 665,64            | 151,12      |                   |       |
| Gesloten verharding [GV]                                     | ha      |                                 |          | 201,01            | 62,32       |                   |       |
| Hellende daken [DH]  | ha      |                                 |          | 130,80            | 37,44       |                   |       |
| Vlakke daken [DV]  | ha      |                                 |          | 107,17            | 4,09        |                   |       |
| Open verharding uitgestrekt [OU]                             | ha      |                                 |          | 178,89            | 41,69       |                   |       |
|  |         |                                 |          | 47,78             | 5,58        |                   |       |
| <b>Bergingsinhoud</b>  |         |                                 |          |                   |             |                   |       |
| Bergingsinhoud bruto   | m3      |                                 |          | 41.601            |             |                   | 435   |
| Bergingsinhoud randvoorzieningen                             | m3      |                                 |          | 8.673             |             |                   | 0     |
| Verloren berging   | m3      |                                 |          | 1.040             |             |                   | 0     |
| Bergingsinhoud netto   | m3      |                                 |          | 49.233            |             |                   | 6,40  |
| Bergingsinhoud netto   | mm      |                                 |          | 7,40              |             |                   |       |
| <b>Ledigingstijd (op basis aanwezige pompovercapaciteit)</b> |         |                                 |          |                   |             |                   |       |
| Ledigingstijd riolering                                      | uur     |                                 |          | 12,0              |             |                   |       |
| Ledigingstijd randvoorzieningen                              | uur     |                                 |          |                   |             |                   |       |
| <b>Gemalen</b>   |         |                                 |          |                   |             |                   |       |
| Geïnstalleerde capaciteit                                    | m3/uur  |                                 |          | 4.600             |             |                   |       |
| Pompovercapaciteit [zie poc norm]                            | m3/uur  |                                 |          | 5.891             |             |                   |       |
| DWA capaciteit eigen gebied                                  | m3/uur  |                                 |          | 1.471             |             |                   |       |
| <b>Pompovercapaciteit (poc) norm:</b>                        |         |                                 |          |                   |             |                   |       |
| 4x dwa   | m3/uur  | 4                               |          | 4.460             |             |                   |       |
| 0,7 mm/u/ha verhard oppervlak bedrijventerreinen             | m3/uur  | 0,7 mm/uur/ha                   |          | 1.432             |             |                   |       |
| <b>Benodigde capaciteit</b>                                  |         |                                 |          |                   |             |                   |       |
| Aanwezige pompovercapaciteit                                 | m3/uur  |                                 |          | 7.362             |             |                   |       |
| Aanwezige pompovercapaciteit                                 | m3/uur  |                                 |          | 3.129             |             |                   |       |
| Aanwezige pompovercapaciteit                                 | mm/uur  |                                 |          | 0,47              |             |                   |       |
| <b>Bijzondere constructies</b>                               |         |                                 |          |                   |             |                   |       |
| Nummer   |         |                                 |          | Lengte [m]        | Diameter[m] | Inhoud riogl [m3] |       |
|  |         |                                 |          |                   |             |                   |       |
|  |         |                                 |          |                   |             |                   |       |
|  |         |                                 |          |                   |             |                   |       |

\* waterverbruik >1000 m3/jaar



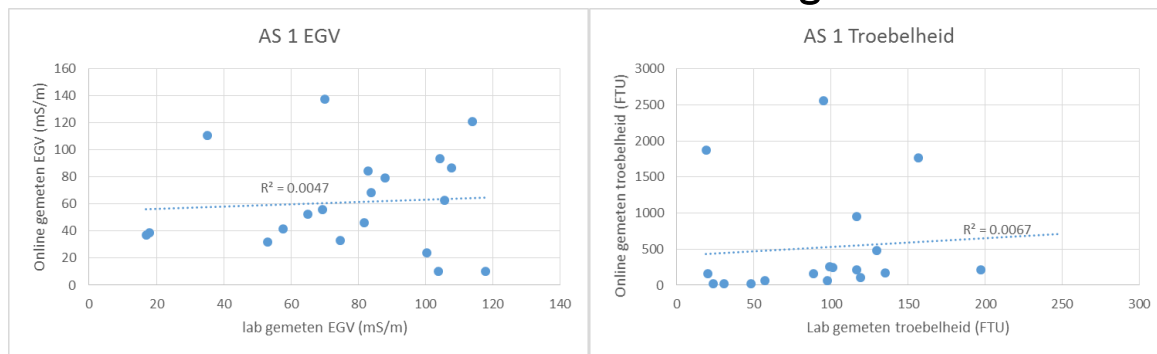
# LEEUWARDEN - BILGAARD

Opdrachtgever: Gemeente Leeuwarden  
 Project: Basisrioleringsplan Leeuwarden  
 Onderwerp: Kenmerkenblad  
 Datum: 05 november 2014

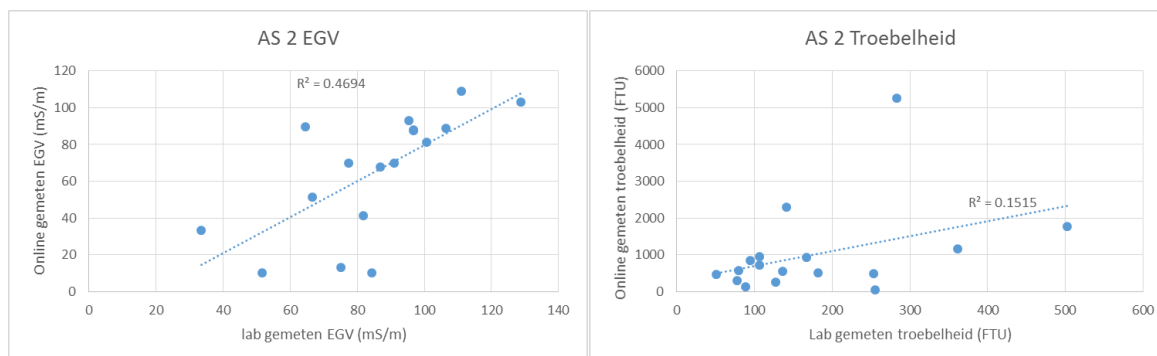
| Bemalingsgebied                                     |               | Snekerkade    | Westende     | Bilgaard     |
|---|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Stelseltype   |               | Gemengd       | Gemengd      | Gemengd      |
| <b>Woningen naar type riolering</b>                 |               |               |              |              |
| mech.riolering/dwa                                  | stuks         |               |              |              |
| gemengd   | stuks         | 5295          | 1753         | 3106         |
| gescheiden  | stuks         |               |              |              |
| verbeterd gescheiden                                | stuks         |               |              |              |
| <b>totaal</b>                                       | <b>stuks</b>  | <b>5295</b>   | <b>1753</b>  | <b>3106</b>  |
| <b>Dwa biologisch</b>                               |               |               |              |              |
| woningbezetting                                     | lnw/won       | 1.96          | 2.31         | 1.93         |
| huishoudelijk op basis van inwoneraantallen         | v.e.          | 10383         | 4049         | 6010         |
| bedrijfsmatig obv drinkwaterverbruik                | v.e.          | 7132          | 2190         | 4116         |
| <b>Totaal</b>                                       | <b>v.e.</b>   | <b>17515</b>  | <b>6239</b>  | <b>10126</b> |
| <b>Dwa hydraulisch</b>                              |               |               |              |              |
| huishoudelijk op basis van inwoneraantallen         | m3/uur        | 103.8         | 40.5         | 60.1         |
| bedrijfsmatig obv drinkwaterverbruik                | m3/uur        | 164.0         | 50.4         | 94.7         |
| <b>totaal</b>                                       | <b>m3/uur</b> | <b>267.9</b>  | <b>90.9</b>  | <b>154.8</b> |
| <b>Afvoerend oppervlak naar type</b>                |               |               |              |              |
| gesloten weg-/terreinverharding                     | ha            | 17.89         | 4.01         | 11.25        |
| open weg-/terreinverharding                         | ha            | 55.34         | 10.67        | 18.03        |
| dak oppervlak hellend                               | ha            | 25.44         | 9.33         | 0.34         |
| dak oppervlak vlak                                  | ha            | 24.65         | 1.82         | 14.35        |
| <b>totaal afvoerend verhard oppervlak</b>           | <b>ha</b>     | <b>123.33</b> | <b>25.84</b> | <b>43.97</b> |
| <b>Berging</b>                                      |               |               |              |              |
| onderdrempelberging                                 | m3            | 10618.0       | 2986.1       | 4711.4       |
| verloren berging                                    | m3            | 289.1         | 35.6         | 147.3        |
| verloren berging                                    | mm            | 0.2           | 0.1          | 0.3          |
| verloren berging                                    | %             | 2.7%          | 1.2%         | 3.1%         |
| netto berging                                       | m3            | 10328.9       | 2950.5       | 4564.1       |
| netto berging                                       | mm            | 8.4           | 11.4         | 10.4         |
| berging randvoorziening                             | m3            | 600.0         | 660.0        | 1080.0       |
| berging randvoorziening                             | mm            | 0.5           | 2.6          | 2.5          |
| berging totaal                                      | m3            | 10928.9       | 3610.5       | 5644.1       |
| berging totaal                                      | mm            | 8.9           | 14.0         | 12.8         |
| <b>Huidige oopcapaciteiten</b>                      |               |               |              |              |
| pompovercapaciteit bij theoretisch oppervlak        | mm/h          | 0.7           | 0.7          | 0.7          |
| pompovercapaciteit bij theoretisch oppervlak        | m3/uur        | 863.3         | 180.9        | 307.8        |
| pompovercapaciteit bij aangesloten oppervlak        | mm/h          | 0.7           | 0.5          | 0.5          |
| dwa-afvoer eigen gebied                             | m3/uur        | 267.9         | 90.9         | 154.8        |
| debiet benodigd eigen gebied                        | m3/uur        | 1131.1        | 271.7        | 462.6        |
| injecties / onderbemaling (totaal)                  | m3/uur        | 1156.3        | 0.0          | 40.5         |
| Westende  | m3/uur        | 211.0         |              |              |
| Bilgaard  | m3/uur        | 418.0         |              |              |
| Camstraburen  | m3/uur        |               |              | 31.0         |
| Zwettestraat  | m3/uur        | 518.0         |              |              |
| Oldehove  | m3/uur        |               |              |              |
| Leksum  | m3/uur        |               |              |              |
| Snakkerburen  | m3/uur        |               |              |              |
| Egelantierstraat                                    | m3/uur        |               |              |              |
| Poppeweg  | m3/uur        |               |              |              |
| Kanaalweg   | m3/uur        |               |              |              |
| Windum Kem  | m3/uur        |               |              |              |
| Windum West   | m3/uur        |               |              |              |
| Wielenspöle   | m3/uur        |               |              |              |
| Hulzum Dorp   | m3/uur        |               |              |              |
| De Merodestraat                                     | m3/uur        |               |              |              |
| Wijngaard   | m3/uur        |               |              |              |
| Bisschopsrak  | m3/uur        | 1.7           |              |              |
| Biltsaerd   | m3/uur        |               |              |              |
| Bostulp   | m3/uur        |               |              |              |
| Businesspark  | m3/uur        | 6.4           |              |              |
| Goutum Noord (West)                                 | m3/uur        |               |              |              |
| Groene Ster   | m3/uur        |               |              |              |
| Harlingerstraatweg                                  | m3/uur        | 0.02          |              |              |
| Havankpark  | m3/uur        |               |              | 9.5          |
| It Anker  | m3/uur        |               |              |              |
| Jachthavenlaan                                      | m3/uur        |               |              |              |
| Kalverdijkje  | m3/uur        |               |              |              |
| Newtonweg   | m3/uur        |               |              |              |
| Vierhuisterweg                                      | m3/uur        | 1.2           |              |              |
| Windum Zuid   | m3/uur        |               |              |              |
| Zonneweide  | m3/uur        |               |              |              |
| benodigde pompcapaciteit                            | m3/uur        | 2287.4        | 271.7        | 503.1        |
| geïnstalleerde capaciteit                           | m3/uur        | 2339.0        | 211.0        | 418.0        |
| reserve capaciteit                                  | m3/uur        | 51.6          | -60.7        | -85.1        |
| voert af naar                                       |               | RWZI          | Snekerkade   | Snekerkade   |
| <b>Ledigingstijd</b>                                |               |               |              |              |
| Ledigingstijd bij geïnstalleerde gemaalcapaciteiten | uur           | 12            | 16           | 15           |

| Bemalingsgebied            |       | Snekerkade             | Westeinde          | Billgaard       |
|----------------------------|-------|------------------------|--------------------|-----------------|
| Stelseltype                |       | Gemengd                | Gemengd            | Gemengd         |
| <b>Externe overstorten</b> |       |                        |                    |                 |
| Overstort                  |       | Camstraburen           | Douwe Kalmaleane   | De Gealanden    |
| putnummer                  | nr    | 05067                  | 19057              | 20702           |
| drempelhoogte              | m NAP | -0,06                  | -0,06              | 0,34            |
| drempellengte              | m     | 2,00                   | 6,00               | 4,00            |
| Overstort                  |       | Euterpestraat          | Jan Jelles Hofeane | De Hooidolen    |
| putnummer                  | nr    | 18008                  | 19341              | 20200           |
| drempelhoogte              | m NAP | -0,06                  | -0,06              | -0,06           |
| drempellengte              | m     | 12,00                  | 5,00               | 20,00           |
| Overstort                  |       | Fonteinstraat          |                    | Mondriaanstraat |
| putnummer                  | nr    | 02237                  |                    | 21362           |
| drempelhoogte              | m NAP | -0,06                  |                    | 0,34            |
| drempellengte              | m     | 2,25                   |                    | 2,55            |
| Overstort                  |       | Haringertrekweg        |                    |                 |
| putnummer                  | nr    | 02012                  |                    |                 |
| drempelhoogte              | m NAP | -0,06                  |                    |                 |
| drempellengte              | m     | 1,50                   |                    |                 |
| Overstort                  |       | Haringertrekweg        |                    |                 |
| putnummer                  | nr    | 02095                  |                    |                 |
| drempelhoogte              | m NAP | -0,06                  |                    |                 |
| drempellengte              | m     | 2,50                   |                    |                 |
| Overstort                  |       | Heliconweg             |                    |                 |
| putnummer                  | nr    | 02058                  |                    |                 |
| drempelhoogte              | m NAP | -0,06                  |                    |                 |
| drempellengte              | m     | 6,25                   |                    |                 |
| Overstort                  |       | Mr. P. J. Troelstraweg |                    |                 |
| putnummer                  | nr    | 18600                  |                    |                 |
| drempelhoogte              | m NAP | 0,34                   |                    |                 |
| drempellengte              | m     | 1,40                   |                    |                 |
| Overstort                  |       | Noordersingel          |                    |                 |
| putnummer                  | nr    | 05109                  |                    |                 |
| drempelhoogte              | m NAP | -0,06                  |                    |                 |
| drempellengte              | m     | 1,75                   |                    |                 |
| Overstort                  |       | Noordersingel          |                    |                 |
| putnummer                  | nr    | 05117                  |                    |                 |
| drempelhoogte              | m NAP | -0,06                  |                    |                 |
| drempellengte              | m     | 3,50                   |                    |                 |
| Overstort                  |       | Snekertrerkweg         |                    |                 |
| putnummer                  | nr    | 38025                  |                    |                 |
| drempelhoogte              | m NAP | -0,06                  |                    |                 |
| drempellengte              | m     | 2,50                   |                    |                 |
| Overstort                  |       | Snekertrerkweg         |                    |                 |
| putnummer                  | nr    | 38034                  |                    |                 |
| drempelhoogte              | m NAP | -0,06                  |                    |                 |
| drempellengte              | m     | 2,65                   |                    |                 |
| Overstort                  |       | Snekertrerkweg         |                    |                 |
| putnummer                  | nr    | 38035                  |                    |                 |
| drempelhoogte              | m NAP | -0,06                  |                    |                 |
| drempellengte              | m     | 2,65                   |                    |                 |
| Overstort                  |       | Spanjaardslaan         |                    |                 |
| putnummer                  | nr    | 03003                  |                    |                 |
| drempelhoogte              | m NAP | -0,06                  |                    |                 |
| drempellengte              | m     | 3,55                   |                    |                 |
| Overstort                  |       | Westersingel           |                    |                 |
| putnummer                  | nr    | 02257                  |                    |                 |
| drempelhoogte              | m NAP | -0,06                  |                    |                 |
| drempellengte              | m     | 3,40                   |                    |                 |
| Overstort                  |       |                        |                    |                 |
| putnummer                  | nr    |                        |                    |                 |
| drempelhoogte              | m NAP |                        |                    |                 |
| drempellengte              | m     |                        |                    |                 |
| Overstort                  |       |                        |                    |                 |
| putnummer                  | nr    |                        |                    |                 |
| drempelhoogte              | m NAP |                        |                    |                 |
| drempellengte              | m     |                        |                    |                 |

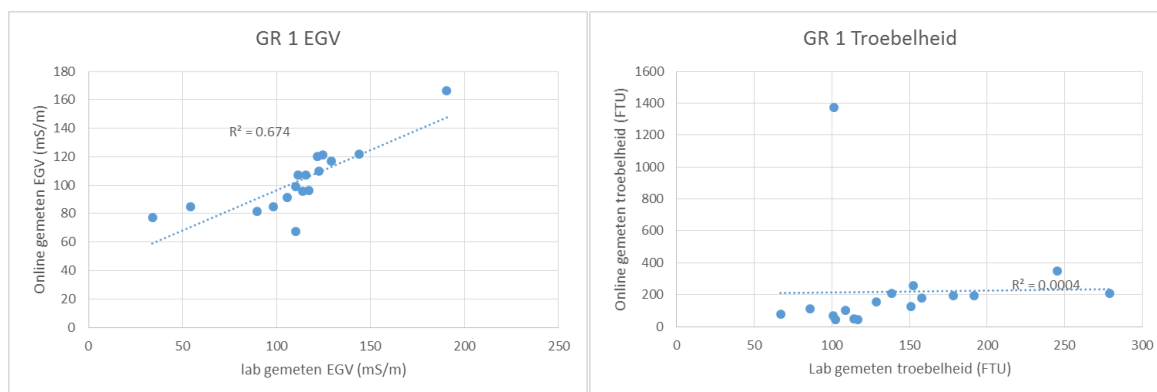
## BIJLAGE 2: Correlaties lab en online metingen



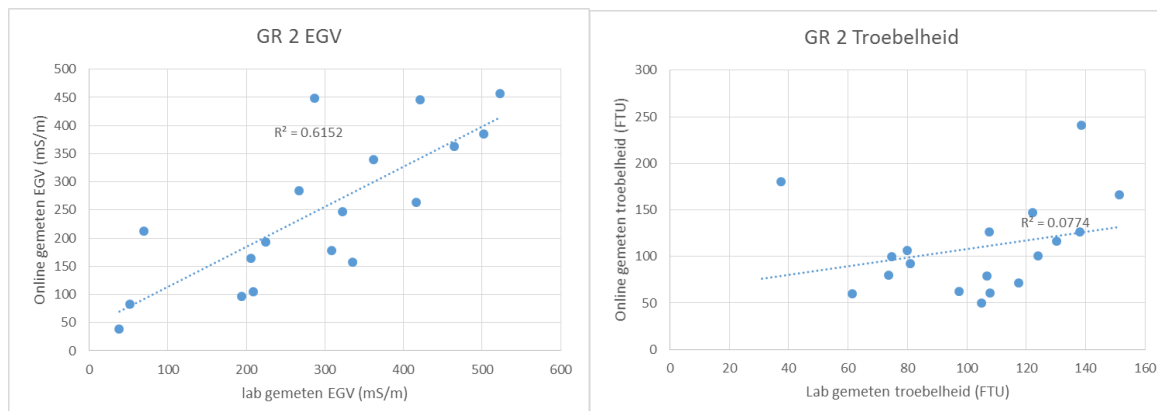
Figuur 20 – Correlatie EGV en troebelheid lab en online gemeten voor AS 1



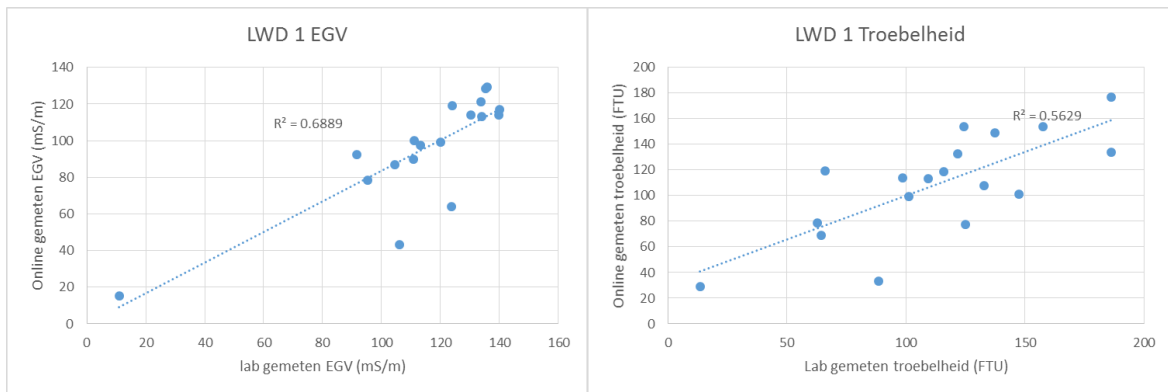
Figuur 21 – Correlatie EGV en troebelheid lab en online gemeten voor AS 2



Figuur 22 – Correlatie EGV en troebelheid lab en online gemeten voor GR 1



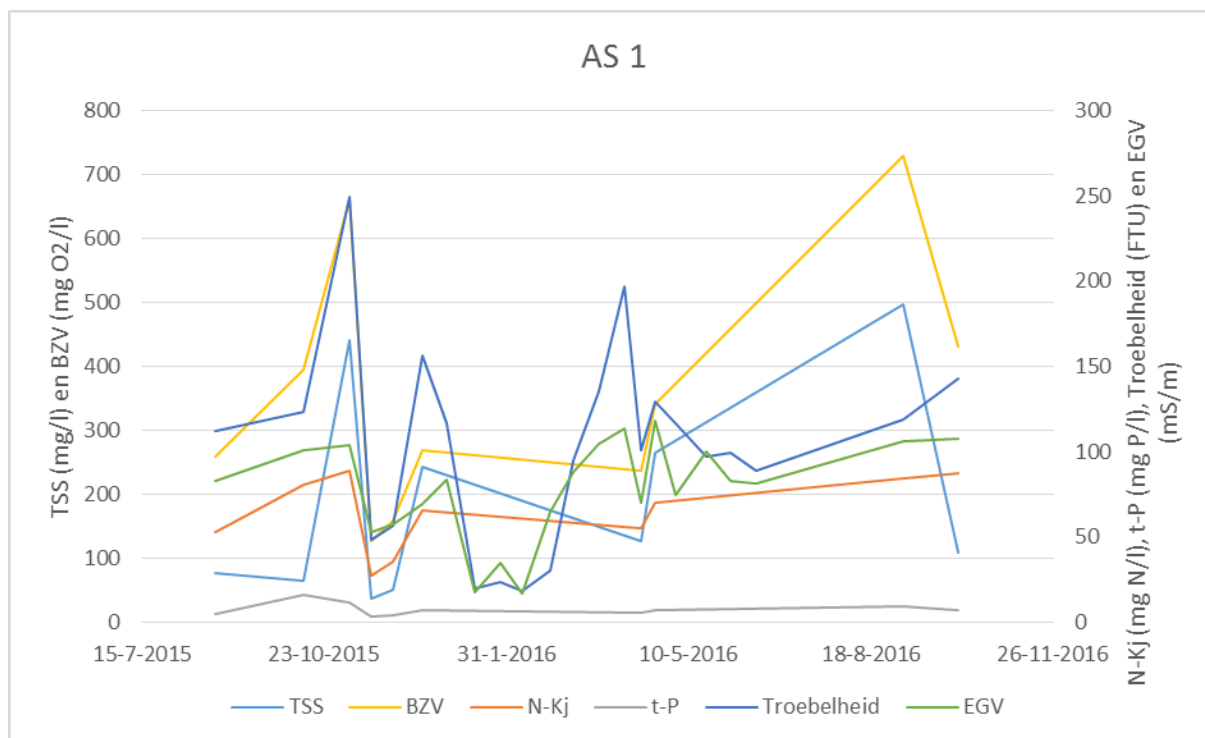
Figuur 23 – Correlatie EGV en troebelheid lab en online gemeten voor GR 2



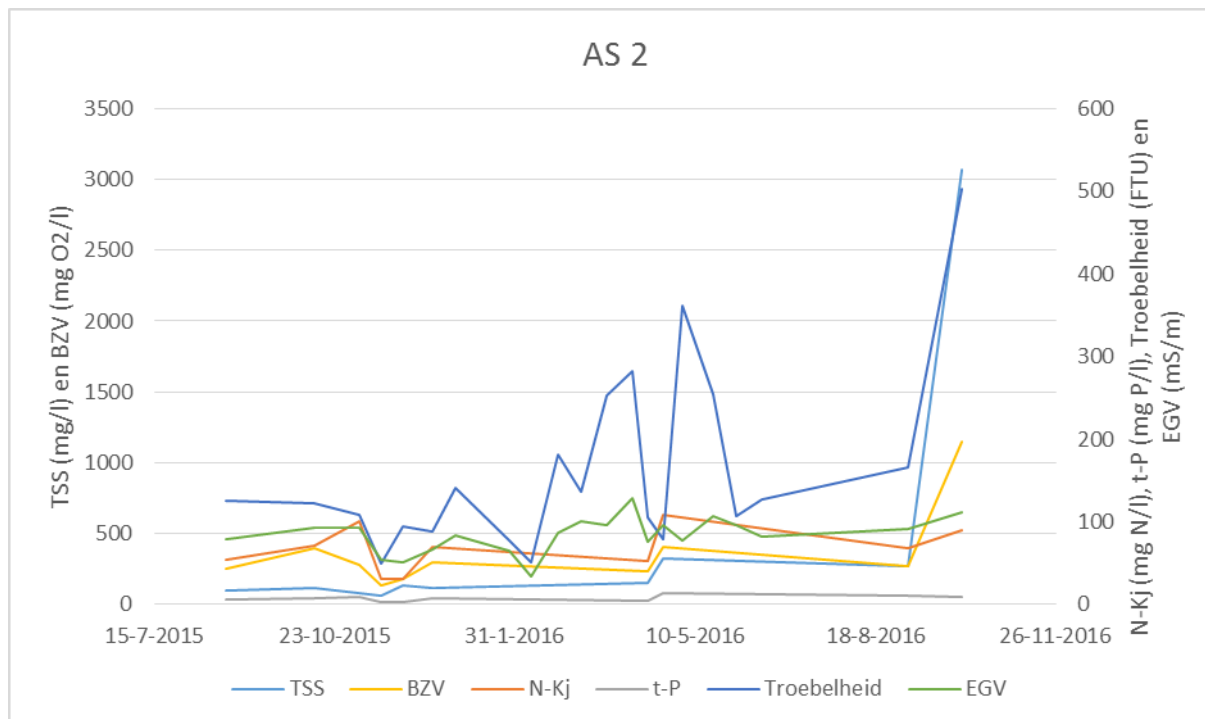
Figuur 24 – Correlatie EGV en troebelheid lab en online gemeten voor LWD 1

## BIJLAGE 3: Kwaliteit rioolwater

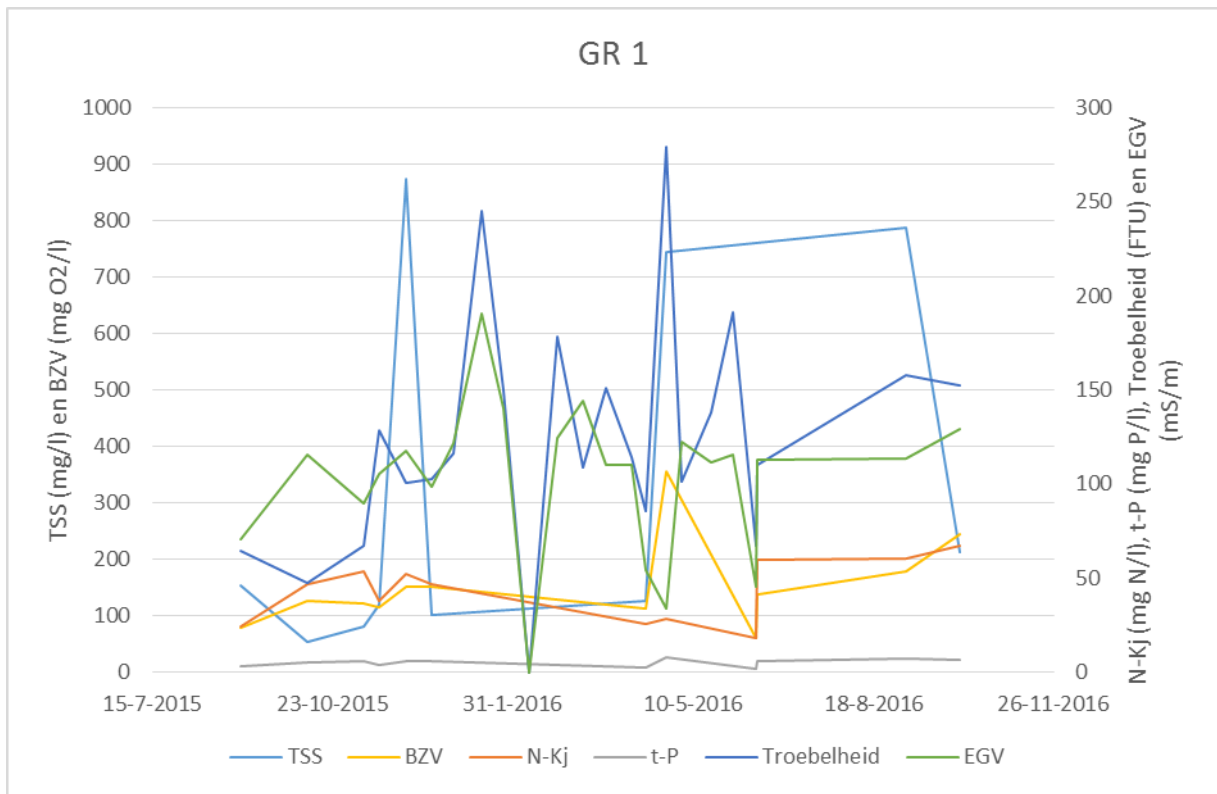
De individuele meetpunten zijn gepresenteerd als lijngrafiek om de variatie over de tijd te benadrukken.



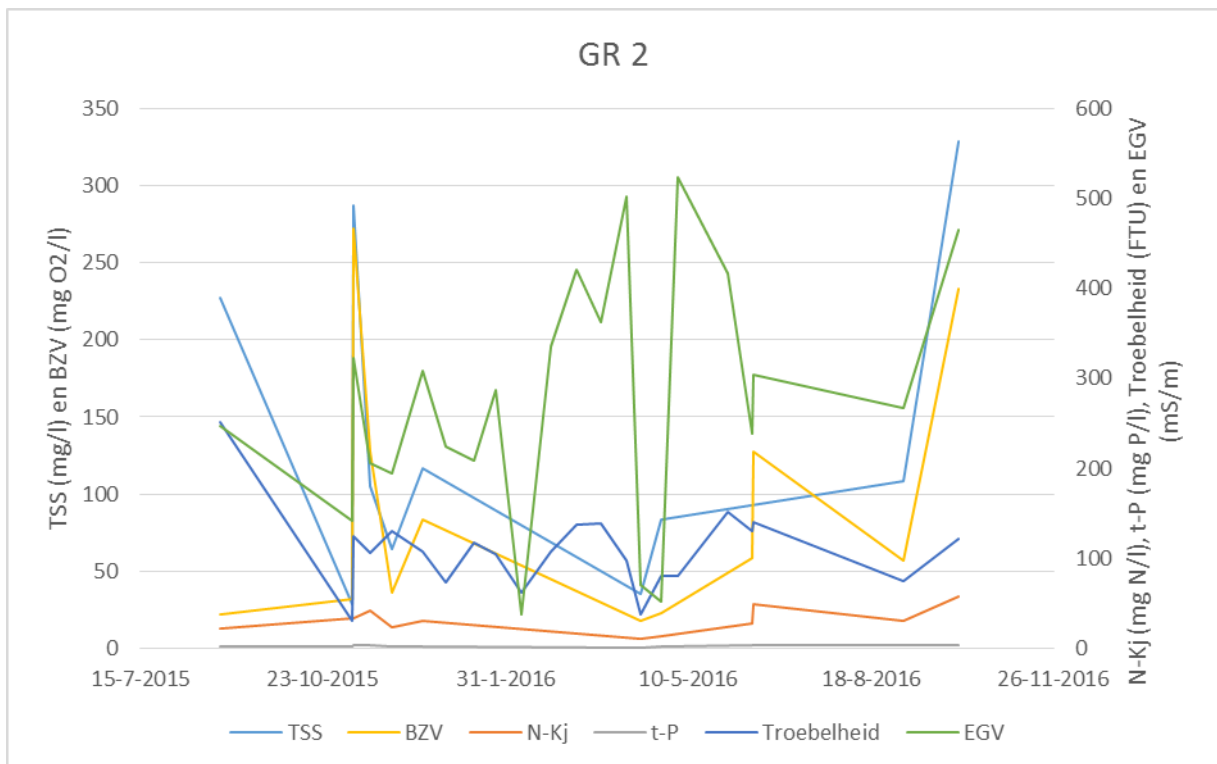
Figuur 25 – Alle analyseresultaten voor AS 1 over de tijd



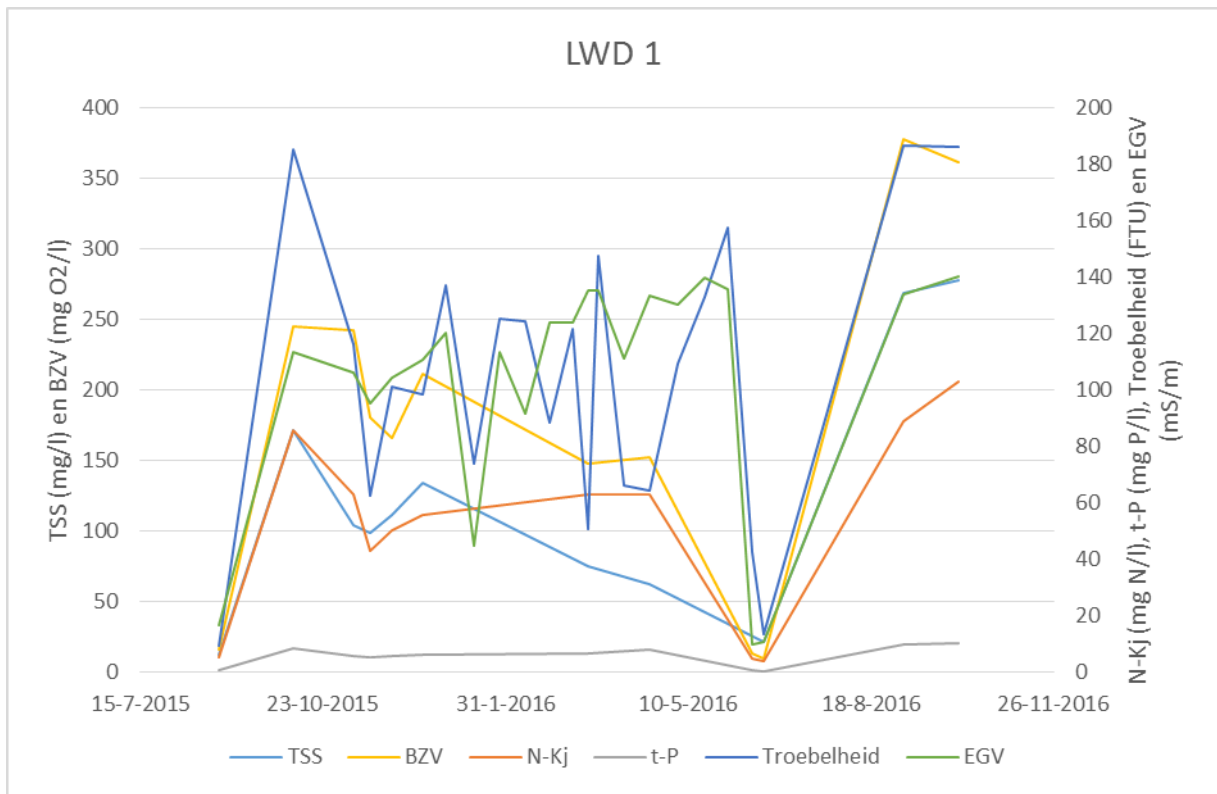
Figuur 26 – Alle analyseresultaten voor AS 2 over de tijd



Figuur 27 – Alle analyseresultaten voor GR 1 over de tijd

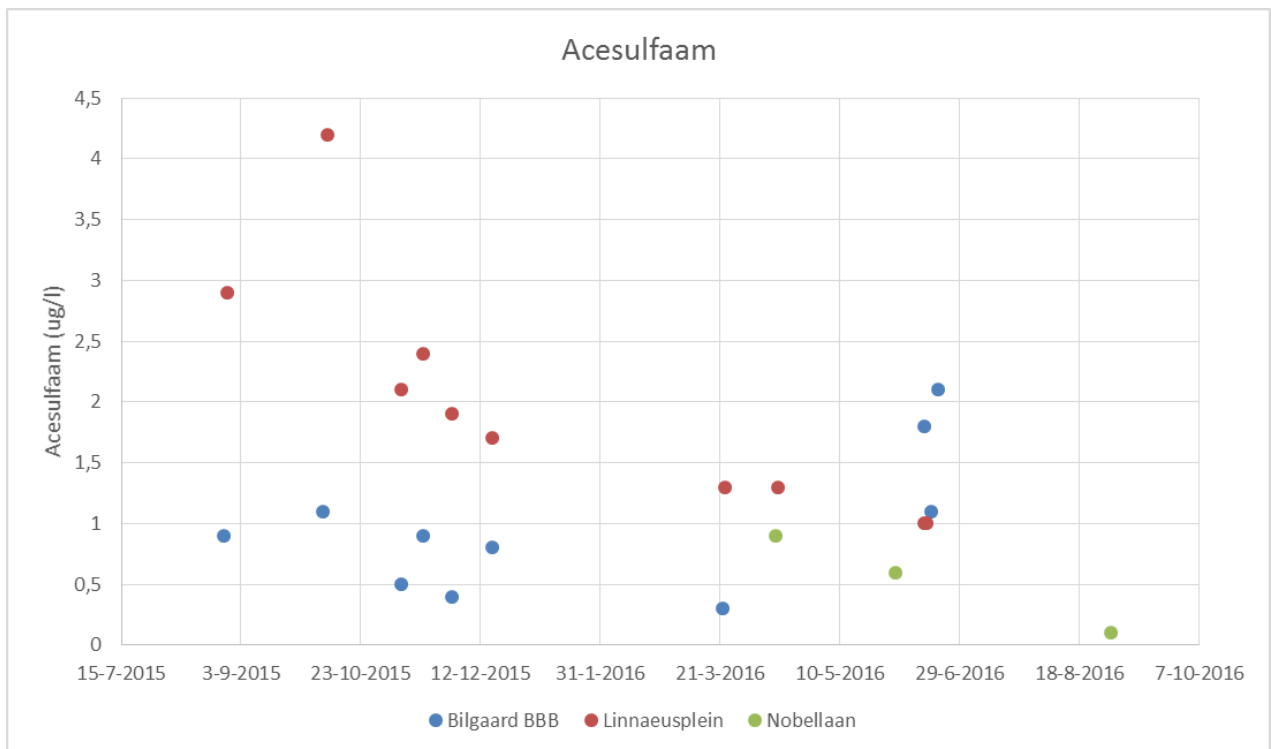


Figuur 28 – Alle analyseresultaten voor GR 2 over de tijd

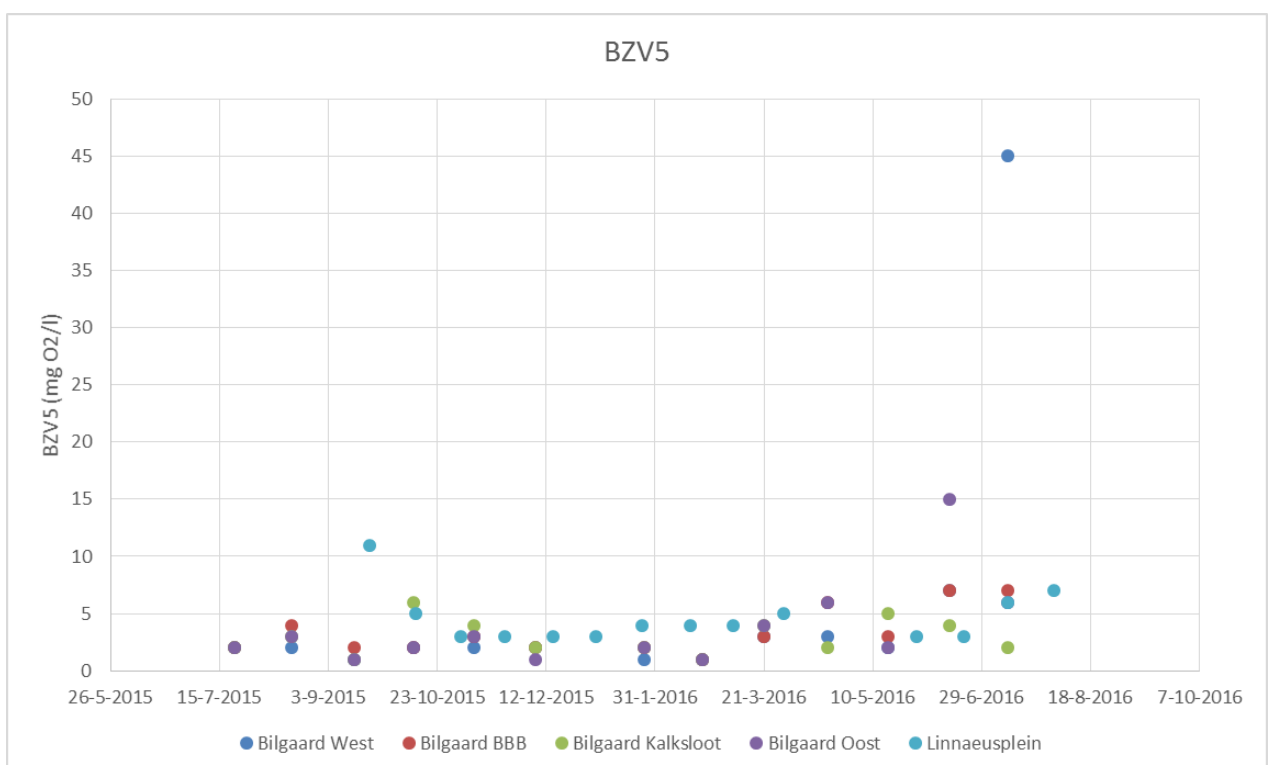


Figuur 29 – Alle analysesresultaten voor LWD 1 over de tijd

## BIJLAGE 4: Kwaliteit oppervlaktewater

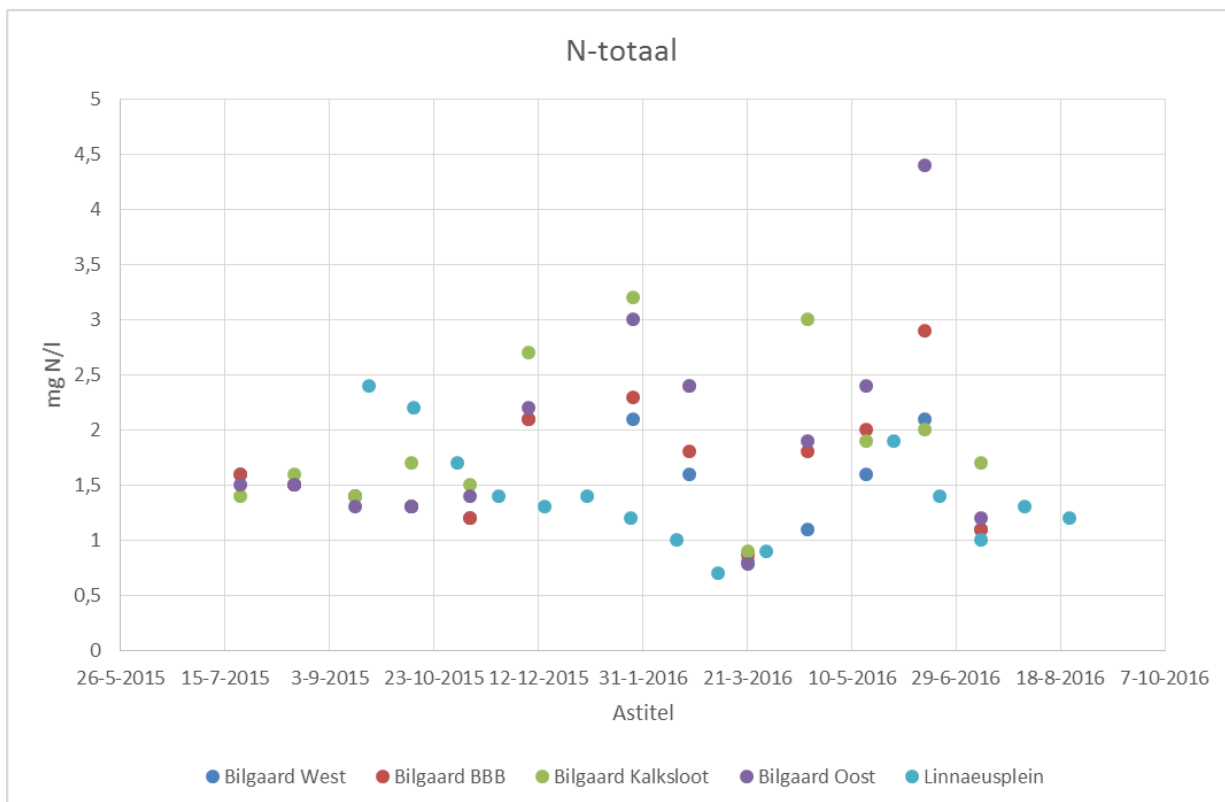


Figuur 30 – Acesulfaam concentratie in de oppervlaktewateren tussen juli 2015 en oktober 2016

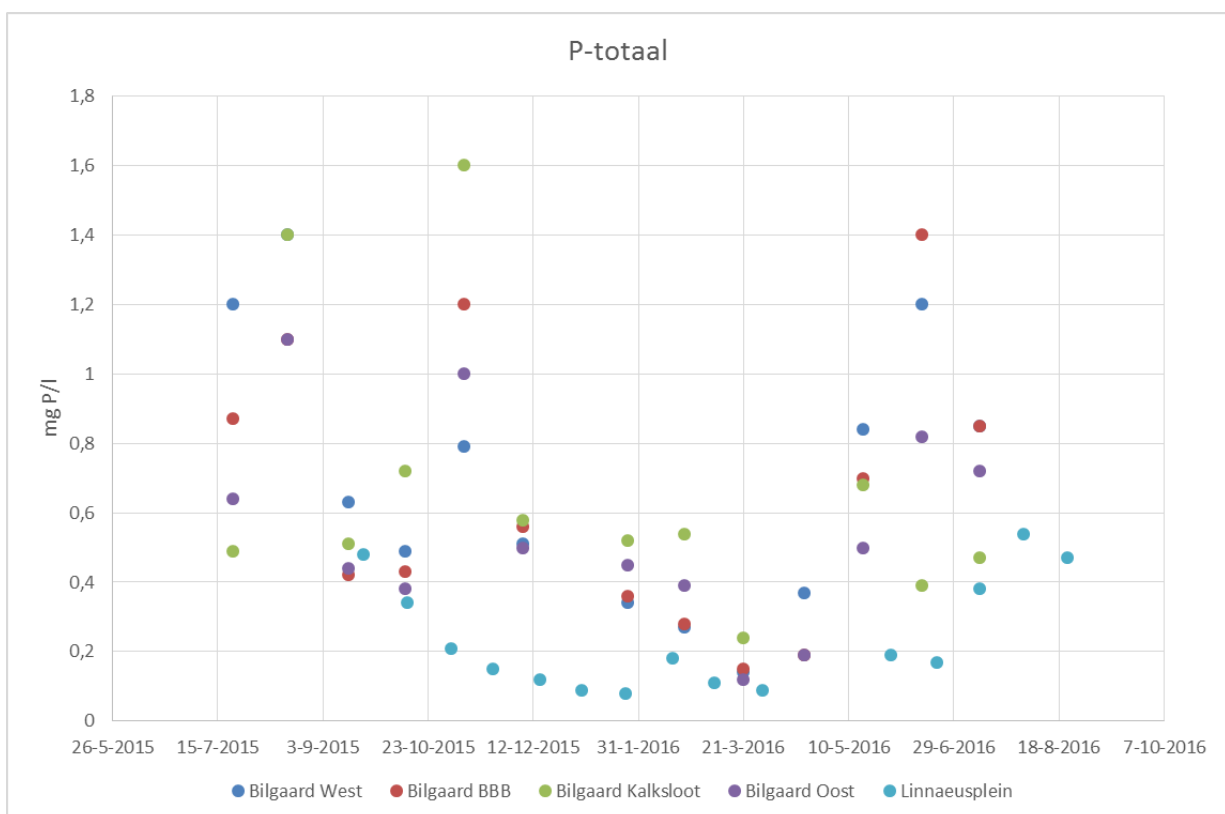


Figuur 31 – BZV<sub>5</sub> concentratie in de oppervlaktewateren tussen juli 2015 en oktober 2016

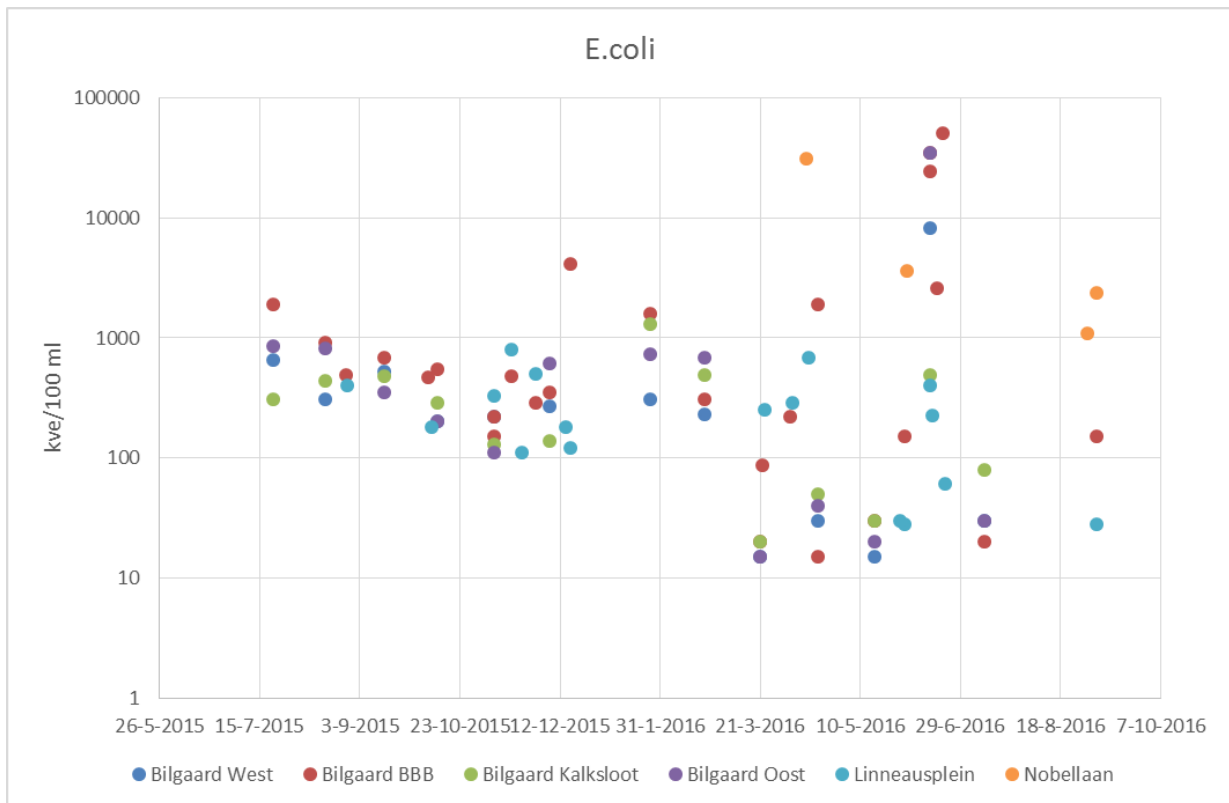




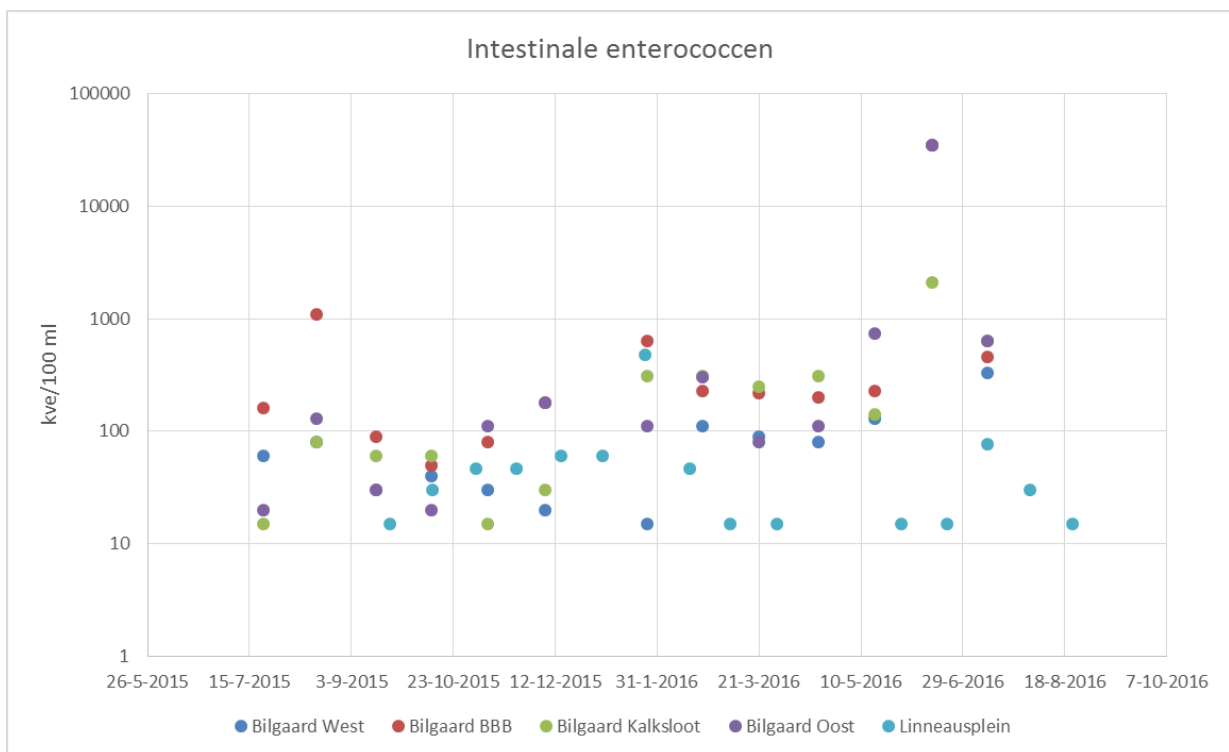
Figuur 32 – Totaal stikstof concentratie in de oppervlaktewateren tussen juli 2015 en oktober 2016



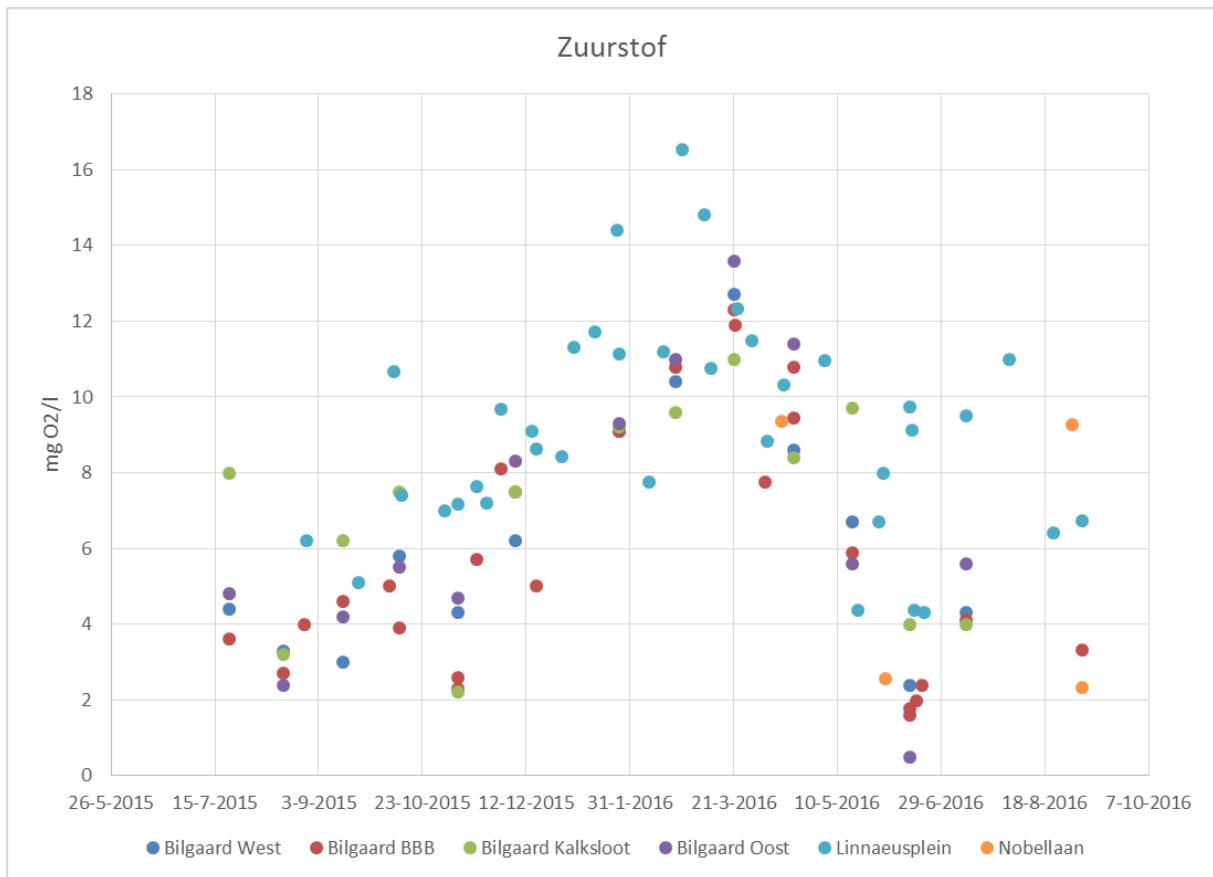
Figuur 33 – Totaal fosfaat concentratie in de oppervlaktewateren tussen juli 2015 en oktober 2016



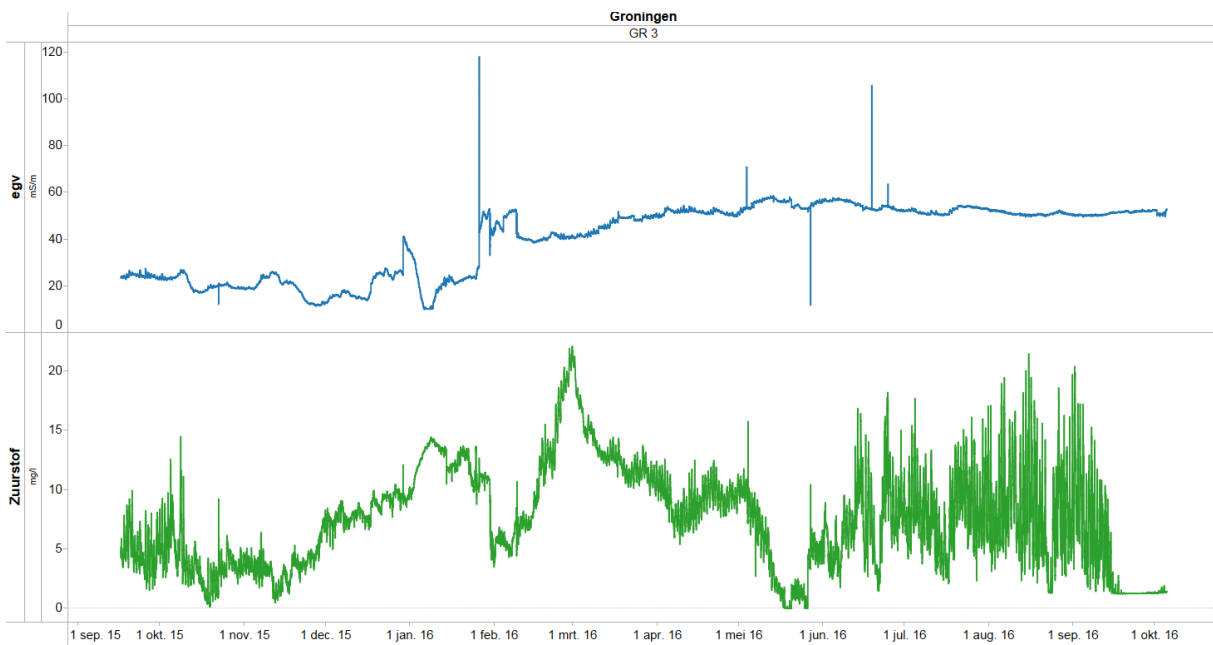
Figuur 34 – E. coli concentratie in de oppervlaktewateren tussen juli 2015 en oktober 2016



Figuur 35 – Intestinale Enterococcen concentratie in de oppervlaktewateren tussen juli 2015 en oktober 2016

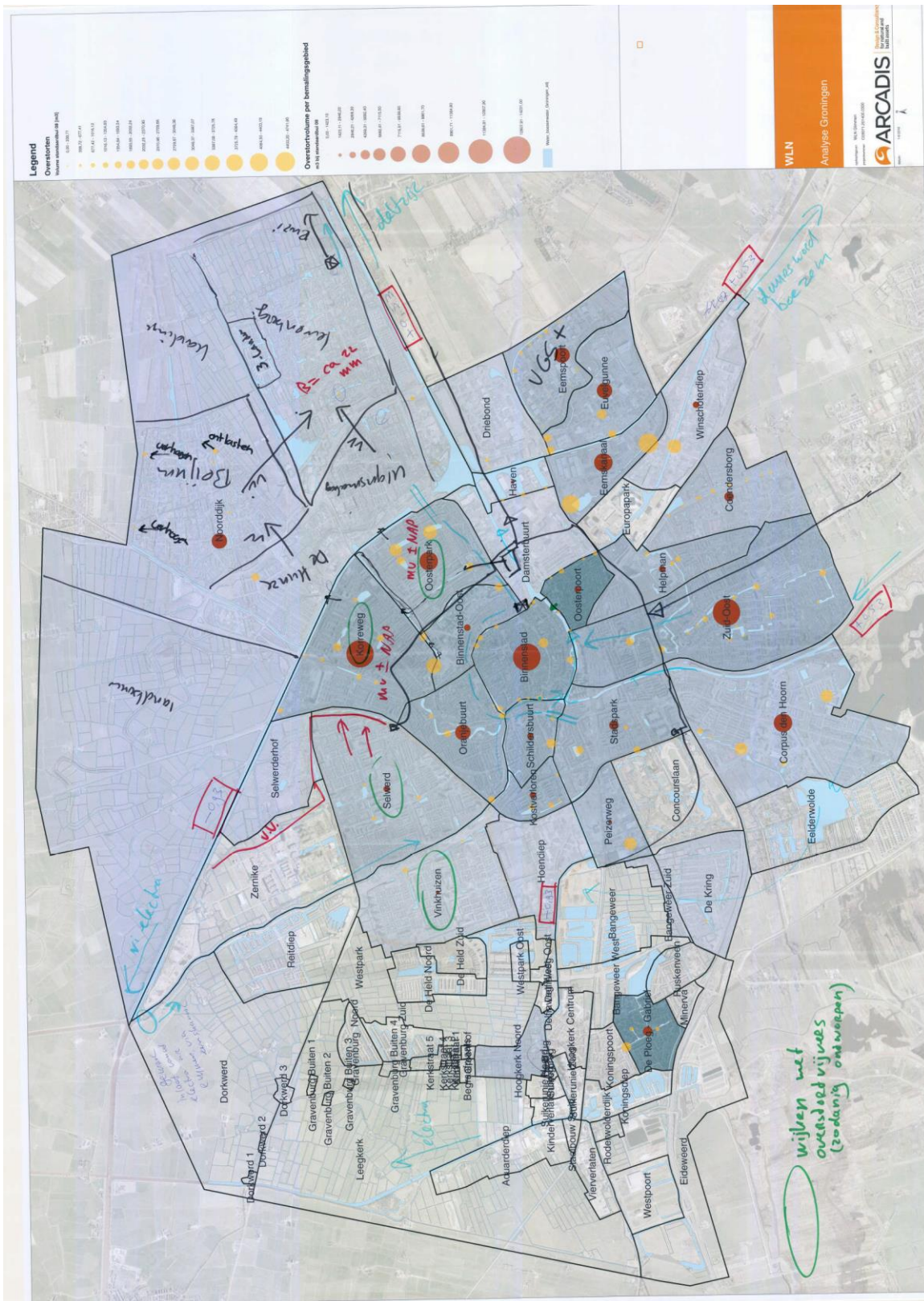


Figuur 36 – Zuurstof concentratie in de oppervlaktewateren tussen juli 2015 en oktober 2016



Figuur 37 – EGV en Zuurstof online meting bij Linnaeusplein (GR 3)

# BIJLAGE 5: Relatieve vuilbelasting stadswater a.g.v. overstort bui 08 - Groningen



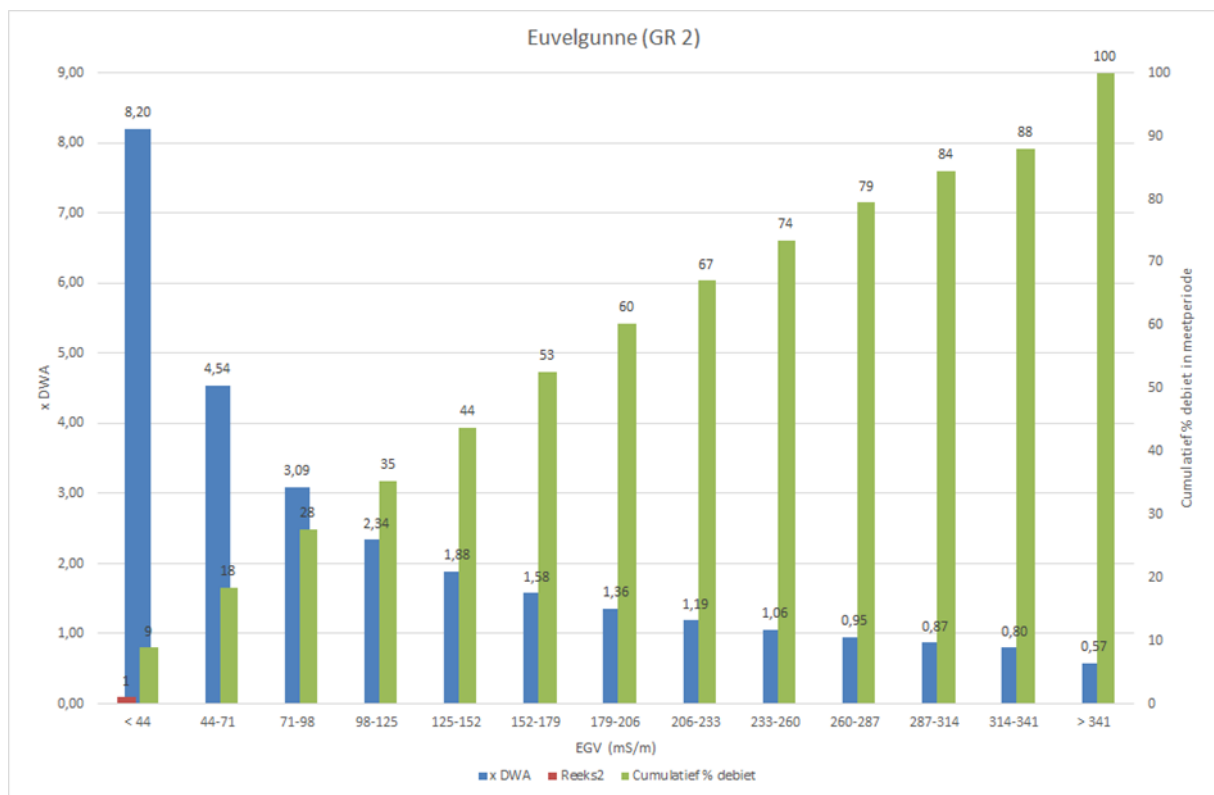








## BIJLAGE 6: EGV histogram bedrijventerrein Euvelgunne (GR2)



Figuur 38 - Aandeel rioolwater per EGV klasse o.b.v. de verkregen online data van bedrijventerrein Euvelgunne (GR 2). Groen: percentage water in een bepaalde EGV klasse. Blauw: factor x DWA in bepaalde EGV klasse.

Uitgangspunten die bij de berekening voor het bedrijventerrein (GR 2) gehanteerd zijn, zijn:

- De EGV bij DWA bedraagt 260 mS/m;
- De mediaan EGV van 274 gemeten data (meetinterval 30 minuten) onder < 44 mS/m bedraagt 31,8 mS/m (online metingen periode september 2015 t/m juli 2016).

# BIJLAGE 7: The effect of historic rainfall on the quality of sewage





rijksuniversiteit  
 groningen

faculty of mathematics  
 and natural Sciences



# The effect of historic rainfall on the quality of sewage



Internship Applied Mathematics

November 2016

Student: M.M. Bronts, s1992740

Company: WLN, Glimmen, department of technology, water quality and advice

Internal RUG supervisor: prof. dr. H.L. Trentelman

External supervisor: Dr. ir. P. van der Maas

## Abstract

In 2015 WLN started monitoring the quality of sewage and surface water on several locations in Groningen, Assen and Leeuwarden using EC sensors (measuring conductivity) and turbidity sensors. In periods of long term rain, the sewage is diluted and can cause unwanted overflow on surface water which might become contaminated. It is expected that there is a relation between historic rainfall and the sewage quality. In this report we tried to answer the research question whether there is a relation between historic rainfall and the sewage quality (EC sensor) for the location Leeuwarden, Bilgaard. This is a relevant question, because if such a relation can be found, it is not longer necessary to use the sensors to measure the water quality. Instead, historic rainfall can be used as an important steering parameter for optimized urban wastewater management.

We used data that was measured by an EC sensor in the sewer system in Leeuwarden, Bilgaard and we used historic rainfall data that was collected from a local weather station in Leeuwarden. We expect a non-linear relation between historic rainfall and the sewage quality, because we have time series data which means that there is autocorrelation between the EC measurements over time. To answer the research question we used Generalized Additive Models (GAMs) in R. The model we found gives an R-squared value of 0.61. This model gave the best approximation of the EC.

# Contents

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduction</b>                      | <b>4</b>  |
| 1.1      | About WLN . . . . .                      | 4         |
| 1.2      | Problem description . . . . .            | 4         |
| 1.3      | Outline of this report . . . . .         | 5         |
| <b>2</b> | <b>Preliminaries</b>                     | <b>6</b>  |
| 2.1      | Generalized additive models . . . . .    | 6         |
| 2.2      | Programming language R . . . . .         | 7         |
| 2.2.1    | Modelling GAMs in R . . . . .            | 8         |
| 2.2.2    | GAM diagnostics and summary . . . . .    | 9         |
| <b>3</b> | <b>Statistical analysis</b>              | <b>11</b> |
| 3.1      | Data preparation . . . . .               | 11        |
| 3.2      | Exploring the data . . . . .             | 14        |
| <b>4</b> | <b>Results</b>                           | <b>16</b> |
| <b>5</b> | <b>Discussion</b>                        | <b>21</b> |
| <b>6</b> | <b>Conclusion</b>                        | <b>22</b> |
| 6.1      | Summary . . . . .                        | 22        |
| 6.2      | Advice . . . . .                         | 23        |
|          | <b>Appendices</b>                        | <b>25</b> |
| A        | Script with overview of models . . . . . | 25        |
| B        | Histograms of EC and Rainfall . . . . .  | 29        |

# 1 Introduction

## 1.1 About WLN

WLN is an independent water laboratory, founded in 1976, where the quality of water is monitored, controlled and treated when necessary. They have experts in biology, chemistry and technology which results in a variety of services offered and thus a broad span of customers. WLN advises the water companies in Groningen and Drenthe, but also governments, knowledge institutes and other companies such as energy companies, chemical industries and recreational institutes. Around 70 people work at WLN, divided over three departments: laboratories for biological and chemical research (28), the department for technology, water quality and advice (12) and the department for business, finance and support (23). This internship was at the department for technology, water quality and advice and took place from 05-09-2016 until 11-11-2016.

In 2015 WLN started a project where the quality of sewage and surface water is monitored using sensors on several locations in the sewer system in Groningen, Assen and Leeuwarden. The sewer system on these locations is a combined system in which rain water and urban wastewater are drained via the same pipe to the sewage treatment plant. In periods of long term rain the sewage becomes diluted. If there is too much diluted sewage, there can be an unwanted overflow at a location which cannot cope with the diluted sewage. In principle this can be minimized by controlling overflow at chosen locations which can cope with this diluted sewage.

The goal of this project by WLN is to determine the potency of sensor technology for overflow control, to optimize the capacity of the existing infrastructure for the drainage and treatment of urban wastewater. This internship is part of this project.

## 1.2 Problem description

WLN has monitored the sewage quality using sensors on five locations in Groningen, Assen and Leeuwarden over the past year (from September 2015 until October 2016).

1. Groningen: Damsterdiep (population equivalent (p.e.) of 81.838)
2. Groningen: industrial area Euvelgunne (p.e. 8300)
3. Assen: Pittelo Zuid (two locations) (p.e. 2000)
4. Leeuwarden: Bilgaard (p.e. 10.000)

At these locations there are EC sensors measuring the electrical conductivity in the sewage (according to the amount of salt in the water) in  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and sensors that measure turbidity in FTU. We will only look at the EC sensor data, because this sensor gives a good representation of the quality of the water. Furthermore, local rainfall data

in mm per 30 minutes has been collected over the past year.

In periods of long term rain, the sewage is diluted, which theoretically leads to a decrease in the value of the EC sensor (since rain water does not contain much salt). The latter fact seems to be validated by the data. Linear modelling techniques have been applied, with the EC measurements as the response variable, and rainfall measurements as a predictor variable. Unfortunately, the application of these techniques was not successful. This gave a low R-squared value of 0.01 which means that the regression does not give a good approximation of the real data. Therefore it was not possible to conclude anything immediately.

The challenge is to find a relation between: historic rainfall and sewage quality. If we can find such a relation, it is not longer necessary to use the sensors to measure the water quality. Instead, we can use historic rainfall data as important steering parameter for optimal urban wastewater management.

At the beginning of this internship the objective was to analyse all these data and try to find a relation between historic rainfall on location X and the sewage quality on location Y. This appeared to be a lot more work than we thought. Since, the data from Leeuwarden, Bilgaard seemed to be the best data to work with, we reformulated the objective to only analyzing the data from Leeuwarden, Bilgaard and trying to find a relation between historic rainfall and the sewage quality for that specific location. The research question therefore is as follows: ‘is there a relation between historic rainfall and the sewage quality (EC sensor) for the location Leeuwarden, Bilgaard?’

### **1.3 Outline of this report**

During this internship I worked with the programming language R which is introduced in Section 2.2. Within R, I used Generalized Additive Models to analyse the EC data from Leeuwarden. In Section 2.1 it is explained what Generalized Additive Models are. In Section 3, some exploratory and formal data analysis is presented. Then I will do a model analysis in Section 4 and discuss which model fits the data best. I will end with a summary and some advice for future research at WLN in Section 6. In the appendices one can find a script with all the models and some illustrative figures of EC and rainfall per month.

## 2 Preliminaries

Before analyzing the problem I will explain the tools that are used during the statistical analysis in Section 3. I will explain what Generalized Additive Models are, and I will introduce the language R.

### 2.1 Generalized additive models

Since linear regression with the EC sensor as the response variable and rainfall as a predictor variable gave a low R-squared value of 0.01 we know that linear regression does not give a good approximation of the real data. Our data is more complex, because we have measurements that are taken over time which can be seen as only one experiment. We do not have multiple experiments that can be compared with each other. Since we have time series data, we have to deal with correlation between the EC measurements over time. Because of this we expect that the relation between historic rainfall data and EC data will be non-linear. So, we need a different type of models to analyse the EC data. A good type of models that can be used, are Generalized Additive Models (GAMs). GAMs are introduced by Hastie and Tibshirani in [8].

We will not work with the linear predictor of the form

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon, \quad (1)$$

where  $\beta_1, \dots, \beta_n$  are the parameters, and the predictor variables  $X_1, \dots, X_n$  give a linear estimation of the dependent variable  $Y$ . We also have an error term  $\epsilon$ . Instead we will work with Generalized Additive Models. A GAM can be formulated as

$$g(E[Y|X_1, \dots, X_n]) = \beta_0 + s_1(X_1) + \dots + s_n(X_n) + \epsilon. \quad (2)$$

Here  $Y$  is the dependent variable,  $E[Y|X_1, \dots, X_n]$  is the conditional expectation of  $Y$ , and  $g$  is a known function that links the mean of the distribution of  $Y$  with the predictor variables  $X_1, \dots, X_n$  in a linear way (the  $s_j$ 's do not have to be linear). One could for example let  $g$  be an inverse function ( $g(x) = 1/x$ ) or a log-function ( $g(x) = \ln(x)$ ). In this report we will use the identity function,  $g(x) = x$ , because we have no reason to change this link. Furthermore,  $\beta_0$  is a constant parameter and the functions  $s_1, \dots, s_n$  are unknown non-parametric smooth functions of the predictor variables  $X_1, \dots, X_n$ . Each of these functions  $s_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ , depends on the data and shows what the contribution is of that specific predictor variable  $X_j$  in the model. The  $s_j$ 's are defined as

$$s_j(x) = \sum_{k=1}^{N_j} \beta_{jk} b_{jk}(x), \quad (3)$$

where the  $\beta_{jk}$ 's are the parameters to be estimated and the  $b_k(x)$ 's are known functions  $b_1(x) = 1$ ,  $b_2(x) = x$ ,  $b_3(x) = x^2$ ,  $\dots$ ,  $b_{N_j}(x) = x^{N_j-1}$  that form a basis for each  $s_j$ .

Thus every  $s_j$  is a linear combination of these functions.

The functions  $s_j$  are estimated by a non-parametric ‘scatter plot smoother’. If nothing is known about the distributions of the variables and the number of parameters that has to be estimated, we use non-parametric estimation methods. There are different ways to estimate the functions  $s_j$ . The running mean is a simple example of a scatter plot smoother. Another way to estimate the  $s_j$ ’s is via the minimization of a penalized least squares score given by

$$\sum_{i=1}^m ((Y_i - \sum_{j=1}^n s_j(x_{ij}))^2) + \sum_{j=1}^n \lambda_j \int_a^b (s_j''(t))^2 dt. \quad (4)$$

Here  $\lambda_j \geq 0$  are smoothing parameters,  $m$  is the number of measurements with  $a \leq x_1 \leq \dots \leq x_m \leq b$  ordered,  $Y_i$  is the  $i$ -th measurement of the dependent variable  $Y$ ,  $x_{ij}$  is the  $i$ -th measurement of the  $j$ -th predictor variable and  $s_j''$  is the second derivative of the function  $s_j(x)$ . The first term in equation (4) makes sure that  $s_j$  fits the data well enough and the second term imposes a penalty if  $s_j$  is too rough.  $\lambda_j$  is a smoothing parameter which determines the level of smoothness by penalizing the curvature of  $s_j$ . If  $\lambda_j$  is large, the curve is smoother and if  $\lambda_j$  is smaller, the curve is more wiggly. So, we want equation (4) to fit the data, but we do not want it to be too rough.

The  $s_j$  that minimizes equation (4) is found via a backfitting algorithm. Given an estimate  $\sum_{k \neq j} \hat{s}_k(X_k)$  (for example the mean of  $Y$ ), we find an estimate of  $s_j(X_j)$  by smoothing the residual  $[Y - \sum_{k \neq j} \hat{s}_k(X_k) \mid X_j]$ . In this way we can find estimates of all  $s_j$ ’s. With these estimates we can improve the estimate of  $\sum_{k \neq j} \hat{s}_k(X_k)$ . This cyclic process can be repeated until the smooths of the residuals converge to  $\hat{s}_j(X_j)$ , for each  $j = 1, \dots, n$ . The convergence is checked by equation (4).

The  $s_j$  that minimizes equation (4) is called a cubic smoothing spline, which is one way of estimating the  $s_j$ ’s. A smoothing spline is a function that piecewise connects two points (knots) by a polynomial function. A cubic smoothing spline means that we have a cubic polynomial function. In the knots there is a high degree of smoothness. We want to keep the number of knots as low as possible, but still capture important patterns. If the number of knots is too high, there is a risk for oversmoothing. Oversmoothing is a problem, because this means that the model is trying to fit the outliers and the noise instead of reflecting the overall data. It can happen that the R-squared value is misleading. If we would have a different sample set of the data, we want our model to fit that sample too.

## 2.2 Programming language R

When trying to solve this problem we will make use of the programming language R. This is an open-source computer language for statistical computing, developed by Ross

Ihaka and Robert Gentleman in 1990. ‘R Studio’ is a program in which one can work with R. [10] gives a good introduction to working with R. R is a language for beginners in statistics and in this report it is used for analyzing the data.

R has many packages for different types of functions. Before one can use these functions one has to install the right packages by typing `install.packages("packagename")` and then call them via `library(packagename)`. If one needs help with a package or function one can type `?name`.

### 2.2.1 Modelling GAMs in R

A GAM is a type of model that predicts the response variable by using a sum of smooth functions as in equation (2). For working with GAMs in R one needs the packages `mgcv`, `itsadug`, `ggplot2` and `visreg` and the functions `gam` or `bam`. These functions fit a GAM to the data. When the data set is large it is best to use `bam`. If we want to predict  $\mathbf{Y}$  non linearly from, say, two variables  $\mathbf{X1}$  and  $\mathbf{X2}$ , we write

```
> mod ← gam(Y ~ s(X1) + s(X2), family = ..., data = name,
+ method = "REML")
```

where the ‘+’ on the second line in the script means that this line is still part of the previous line. With the functions `gam` and `bam` one chooses a method for smoothing the parameter estimation and one also chooses a family which specifies the distribution and the link function (default is Gaussian with an identity link, so from now on it is left out). The method we will use is “REML”, which stands for restricted maximum likelihood. The likelihood function is defined as

$$\mathcal{L}(\theta|X) = P(X|\theta),$$

where  $\theta$  is a set of parameter values and  $X$  is the outcome. With the method “REML” the likelihood function is calculated from a transformed set of data in such a way that nuisance parameters do not have any effect. Nuisance parameters are not meaningful for the goal of the analysis, but have to be accounted for in the model.

Within each function `s()` in `gam` we can specify the number of knots we want to use by `k`. This `k` equals the basis dimension  $N_j$  in equation (3).

```
> mod ← gam(Y ~ s(X1, k=4) + s(X2, k=7), data = name,
+ method = "REML")
```

Furthermore we can specify which scatter plot smoother we want to use for the estimation of each `s()`. Typing `?smooth.terms` gives a list of all smoothers. An example



of a scatter plot smoother is a cyclic cubic spline, which estimates  $s(\mathbf{X1})$  correct if  $\mathbf{X1}$  shows a cyclic effect in  $Y$ . If  $\mathbf{X2}$  is for example a categorical variable that contains categories (day, month...) we can use a smoother that gives an estimation via a random effect (per day, month...). Adding a variable as a random effect to the model means that it will be part of the error term of the model and therefore it is not necessary to specify the basis dimension  $\mathbf{k}$ .

```
> mod ← gam(Y ~ s(X1, bs = "cc", k=4) + s(X2, bs = "re"),
+ data = name, method = "REML")
```

If one wants to fit the model only for a subset of the data, one can write the following, where the **subset** command must be a logical expression.

```
> mod ← gam(Y ~ s(X1) + s(X2), data = name, method= "REML",
+ subset = Y>0 & Y<100)
```

When the model has autocorrelation in the residuals it means that the residuals are correlated with each other. Residuals are the differences between the observed and predicted responses. Autocorrelation is a value that lies between -1 and 1 and is zero if the residuals are completely random. We want the residuals to be random, or at most only correlated with neighboring residuals. To do something about autocorrelation in the model we can write the following:

```
> mod ← bam(Y ~ s(X1) + s(X2), data = name, method= "REML")
> AC ← start_value_rho(mod, plot = T)
> modAC ← bam(Y ~ s(X1) + s(X2), data = name,
+ method = "REML", rho = AC, AR.start = AR)
```

Here **AC** is the value of the autocorrelation starting after the first lag. If this value is high, it means that the residual of the measurement is highly correlated with the residual of two measurements further. In this case we account for autocorrelation in the model 'modAC'. We set rho equal to the value **AC**. In the model 'modAC' **AR** is a variable which is set TRUE if we want to check for autocorrelation and FALSE if not. In this way one can specify a time step for which one wants to account for autocorrelation. This only works with the function **bam**.

## 2.2.2 GAM diagnostics and summary

If we want to know how well the GAM fits the data, we look at the GAM diagnostics and the summary via **summary(model)** and **diagnostics(model)**. The summary tells us

the significance of each variable and gives the R-squared value. From the diagnostics we obtain several plots that give information about the following things.

- A general trend in the residuals. The idea is that the residuals are randomly spread in the plot. If one can get information from this plot (a decrease or an increase of the residuals) it means that there is a predictor variable missing in the model that should capture this information. One should not be able to predict the error term.
- The residuals for every predictor variable which can be used to see if the model captures the trend of the residuals for each predictor.
- The distribution of the residuals plotted against the residuals of a normal distribution for comparison. When the residuals look normally distributed the model fits the data better and the results will be more reliable. The residuals should lie close to the line  $y = x$ .
- Autocorrelation in the residuals (ACF).
- Averages of random effect smooths (if added).
- Distributions of predictor variables that are numeric.

## 3 Statistical analysis

When trying to find a relation between historical rainfall and the sewage quality we have to find a statistical model that gives as output a good estimation of the EC data with historic rainfall data as input. We have to keep in mind that we can only give an approximation of the EC data. We will try to find a model that fits the data best and captures important information. We will do this via a black box approach, which means that the computer tries to find relations between EC data and rainfall data using pre-programmed models. With GAMs in R we have the ability to add more predictor variables that might influence the EC data.

First we prepare the data, so that we can work with it. As explained later on, we extend the data set with some new predictor variables that we might need when modelling GAMs. Second we do some exploratory analysis. We compute the mean, standard deviation and median of some of the variables and we look at several plots of the EC and rainfall data.

### 3.1 Data preparation

During this internship we have only looked at the data measured in Leeuwarden, Bilgaard. From now on, if we talk about the data, we mean the data measured in Leeuwarden, Bilgaard.

When looking at the data, we notice that there is a certain delay between the rainfall data and the EC data. When it rains, the value of the EC sensor does not immediately decrease (or does not decrease at all, because it's not raining hard or long enough). This can be explained by the fact that the rain water is not immediately present at the location of the sensor. It has to travel through the sewer system before being measured by the sensor. If after a dry period it starts to rain, the sensor first measures the pollution that was stored in the sewer system during dry periods, called the first flush, before decreasing. This also influences the delay in the EC data.

There are a few things we notice from the data:

- The EC sensor has measurements from 22-9-2015 13:30 to 2-9-2016 12:30. The rainfall data is collected from a local weather station during the same period (see Figure 1).
- The EC measurements before 18-11-2015 00:00 cannot be used, because the sensor was placed too high in the sewer system which lead to the sensor running dry.
- The EC sensor once measured  $0 \mu\text{S}/\text{cm}$ , which probably was due to something covering the sensor. This measurement was deleted from the data set.

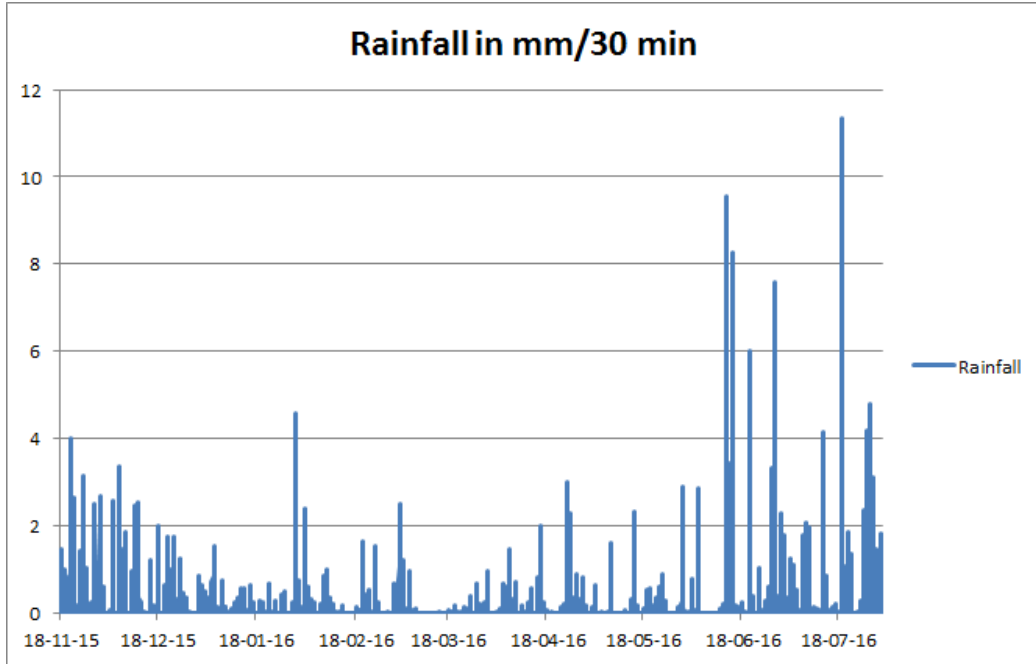


Figure 1: Rainfall in mm/30 min for Leeuwarden, Bilgaard

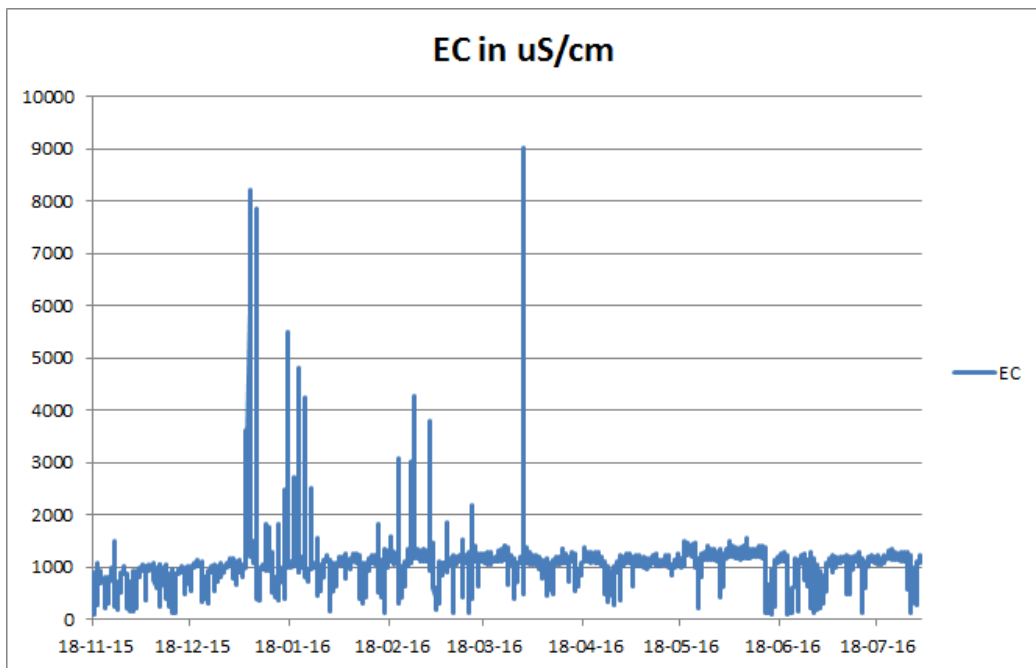


Figure 2: EC in  $\mu\text{S}/\text{cm}$  for Leeuwarden, Bilgaard

- There are very high peaks in the EC data around 5-1-2016, 17-1-2016 until 20-1-2016 and 20-2-2016 until 1-3-2016. See Figure 2. These peaks are due to the prevention of slippery roads by spreading salt. The high peak on 30-3-2016 is probably a wrong measurement.
- The rainfall data after 1-8-2016 is not correct, because of wrong measurement of the local weather station. So, we have left this data out of the analysis.
- In total we have 12329 EC and rainfall measurements over the period 18-11-2015 00:00 until 31-7-2016 23:30 which can be used for the analysis.

Next to the original EC data and the collected rainfall data we have constructed some additional variables that can be of interest when working with GAMs. For example, we added temperature, because this might link low temperatures (below zero) to high peaks in the EC measurements (prevention of slippery roads). Furthermore we added some time variables to check whether there is a cyclic effect per day or it might be the case that each day or month has a specific effect. To capture historic rainfall of the last 12 hours we added another variable as given below. We added all of them to the data set.

- We have collected temperature data in degrees Celsius per 30 minutes from the KNMI website [3]. The variable is called **Temp**. We made this variable smooth and called it **avg.temp**, because it is a running average of the temperature.
- We have constructed a variable **hours\_nm** that represents a cyclic effect within a day. The variable is a vector in which the subvector (1, 2, ..., 48) is repeated for every day. Since the data is measured for every 30 minutes, this subvector runs from 1 up to 48 in one day.
- We have constructed a variable **days\_factor** in which we count every day in the data set. This is a categorical variable of the form (1, ..., 1, 2, ..., 2, ..., 257, ..., 257), where 257 is the total number of days in the data set. This variable contains 257 categories.
- In the same way as the variable **days\_factor** we have constructed **month\_factor**. This categorical variable is of the form (1, ..., 1, 2, ..., 2, ..., 9, ..., 9) and contains 9 categories.
- We have constructed the variable **tm** which counts from 1 till the number of measurements (12329) to see what happens over time.
- We have constructed the variable **Rainfall\_sum24** in which each element is equal to the sum of the previous 24 elements (12 hours) plus itself. We put zeros on the first 24 elements of this vector. This is a variable that captures historic rainfall.

### 3.2 Exploring the data

Before going to the model analysis, we do some exploratory data analysis. We can compute the mean, standard deviation and median of some of the variables in the data set (see Table 1).

| Variable                          | Min   | Max   | Mean  | Std. dev. | Median |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-----------|--------|
| EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )    | 101.4 | 9006  | 946.5 | 250.5     | 1035.2 |
| Rainfall (mm/30 min)              | 0     | 11.35 | 0.053 | 0.305     | 0      |
| Temp ( $^{\circ}\text{Celsius}$ ) | -4.5  | 31.5  | 9.3   | 6.1       | 8.7    |
| Rainfall_sum24 (mm/30 min)        | 0     | 29.54 | 1.315 | 2.924     | 0.15   |

Table 1: Minimum, maximum, mean, standard deviation and median of some variables

Furthermore, we see in the histograms in Figure 3 that the data is highly skewed, which means that we have heavy tailed data. The EC data without salt peaks has a heavy tail on the left and the rainfall data has a heavy tail on the right. The percentage of the rainfall measurements that are less than 1 mm/30 minutes is 99%. In Figure 4 we left out the rainfall measurements that are less than 1 mm/30 minutes to zoom in. In Appendix B the histograms of EC per month and Rainfall per month are given in the Figures 10 and 11. From the skewness of the data we conclude that our data is not normally distributed.

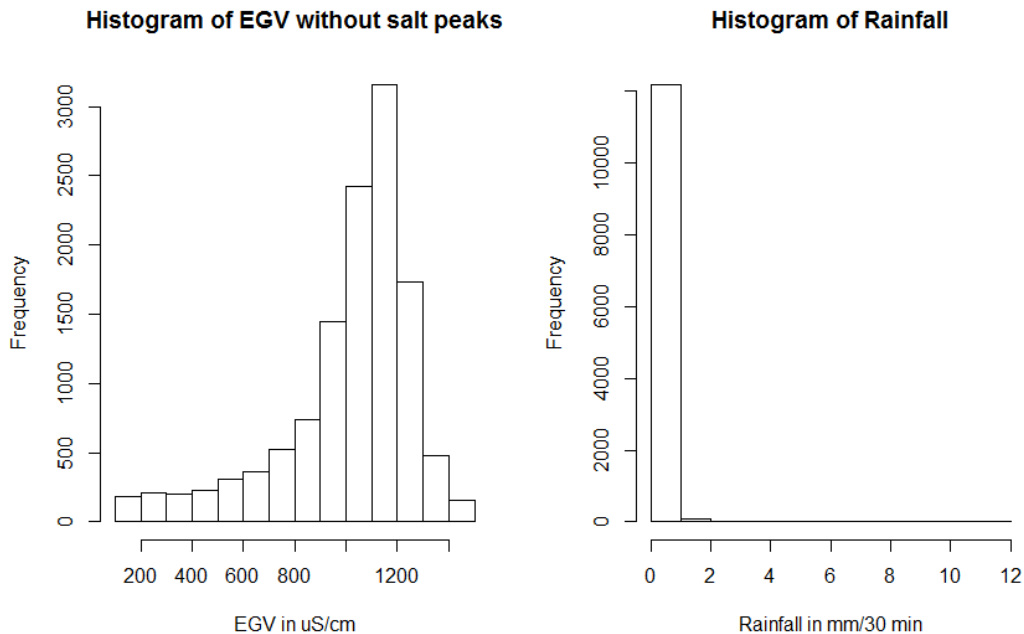


Figure 3: Left: histogram of  $\text{EC} < 1500$ . Right: histogram of Rainfall

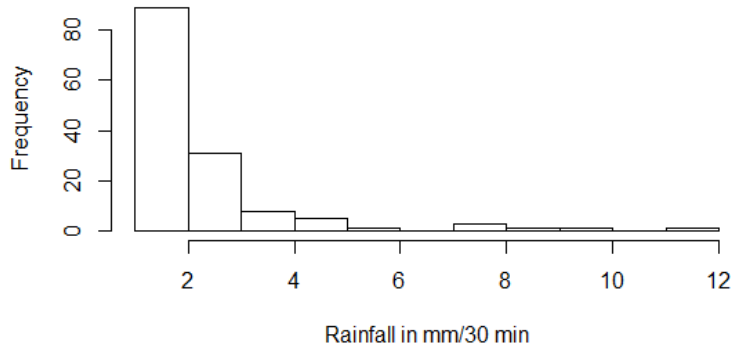


Figure 4: Histogram of rainfall measurements  $\geq 1$  mm/30 minutes

In Figure 5 we see the Q-Q plots (quantile-quantile plots) of both **EC** and **Rainfall**. In a Q-Q plot the distribution of the data is plotted against a normal distribution. If the data was normally distributed, it had to be the case that all points were on the line  $y = x$ , which is also plotted. This is certainly not the case for our data (both EC and rainfall). In this way we can also see that our data is not normally distributed.

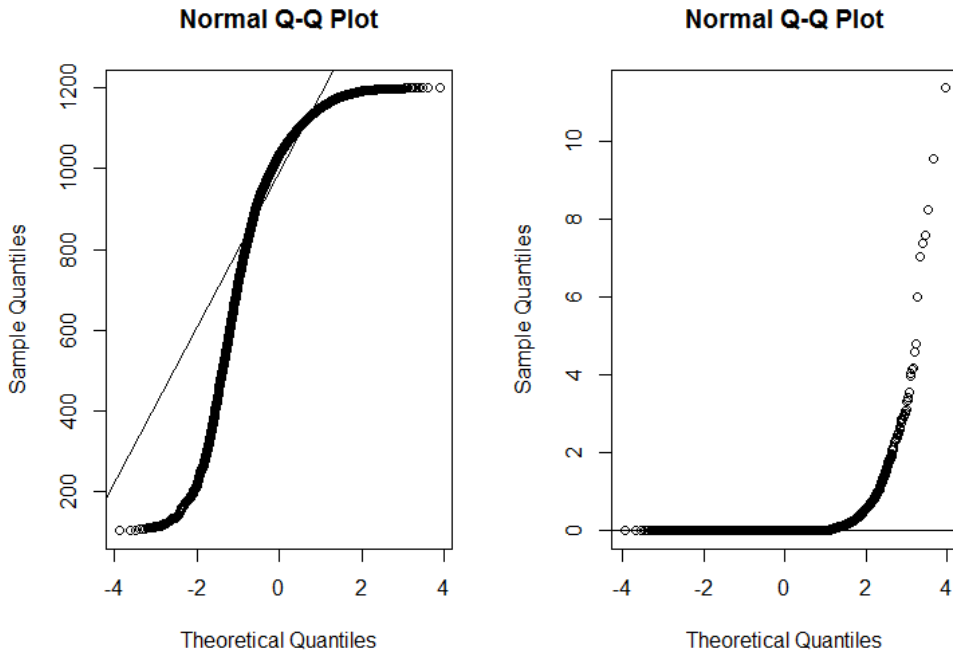


Figure 5: Left: Q-Q plot of EC. Right: Q-Q plot of Rainfall

## 4 Results

To find a model that fits the data best, we work with GAMs. In this section we state multiple models to see which model gives the best approximation of the EC data. We discuss whether several variables that we stated in Section 3 should or should not be part of the final model.

### mod1

If we look at the results of the following model, we get an R-squared value of 0.11 which is better than the 0.01 we had with a linear regression model. The difference is that this is a non-linear approach to find a relation between EC and rainfall.

```
> mod1 ← bam(EC ~ s(Rainfall, bs = "cr", k=10),  
+ data= dataleeuwarden, method = "REML", subset = EC<1500)
```

In this model we only look at **Rainfall** as a predictor variable for **EC**. For this the cubic regression (smoothing) spline is used with a basis dimension of **k=10**. This means that a cubic polynomial is used to estimate a smooth function through the knots. We work with the function **bam** instead of the regular function **gam**, because we have a large data set. We only look at the subset of EC measurements less than 1500. The method we use is “REML” with the default family Gaussian.

The diagnostics of ‘mod1’ show high autocorrelation in the residuals (close to 1), as can be seen in Figure 6. We have tried to solve this problem of autocorrelation in the way we saw in Section 2.2.1 for an hourly time step, but this gave a much lower R-squared value of 0.03.

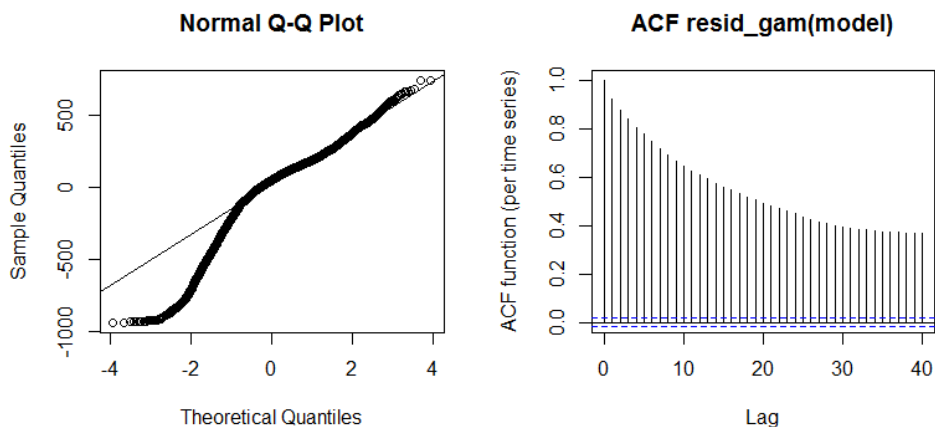


Figure 6: Left: normal Q-Q plot of mod1. Right: ACF of residuals mod1



We also see in Figure 6 a normal Q-Q plot where the distribution of the residuals of the data is plotted against those of a normal distribution. We see that there is a heavy tail, but most of the residuals lie on the line  $y = x$ .

## mod2

When looking at the data we noticed a delay between rainfall and EC. We tried to capture this delay with the variable **Rainfall\_sum24**. By making the variable in which each element is the sum of the previous 24 elements plus itself, we included historic rainfall in the next model. If, for example, the value of an element of **Rainfall\_sum24** is low, it means that there has been a dry period before the current rainfall measurement. The opposite holds for a long period of rain. We have also looked at other variables where we captured for example 6 or 24 hours of historic rainfall, but it appeared that the variable **Rainfall\_sum24** was the best predictor variable. The model below is a good basis to start with and gives an R-squared value of 0.59.

```
> mod2 <- bam(sqrt(EC) ~ s(Rainfall_sum24, k=10),
+ data= dataleeuwarden, method = "REML", subset = EC<1500,
+ rho = AC, AR.start = AR)
```

Here we have **Rainfall\_sum24** as a predictor variable (estimated via the default spline with a basis dimension of  $k=10$ ) and we transformed the EC data by taking the square root. Transforming data means that one performs the same mathematical operation on every data element. A transformation is meant to change the shape of the distribution and therefore must be non-linear. By taking the square root of the EC data the correlation between **EC** and **Rainfall\_sum24** increases and we get better results in the diagnostics. We accounted for autocorrelation in this model with an hourly time step. The vector **AR** looks as follows: (TRUE, FALSE, ..., TRUE, FALSE).

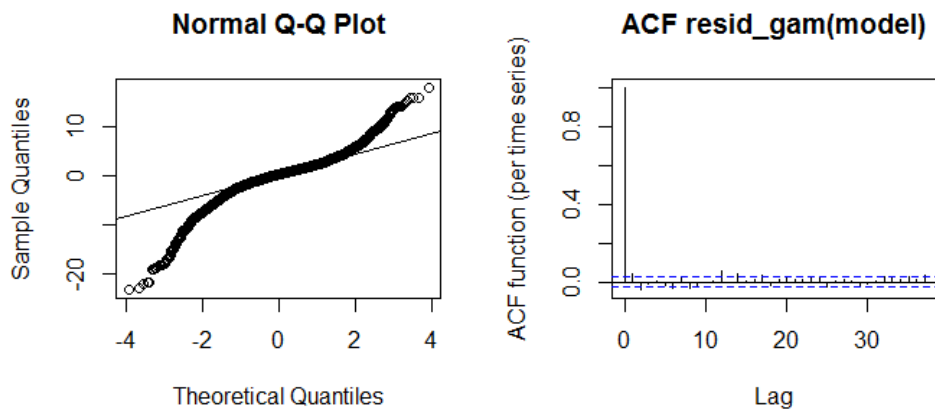


Figure 7: Left: normal Q-Q plot of mod2. Right: ACF of residuals mod2

The diagnostics of ‘mod2’ look good. As one can see in Figure 7 we solved the problem of autocorrelation in the residuals. The correlation stays most of the time between the blue dotted lines. We have tails in the normal Q-Q plot of the residuals, so it is not as good as the previous model, but still acceptable.

### mod3

Another variable we can think of as being important is **Temp**, but adding it to the model does not help a lot. R-squared goes to 0.6 and the diagnostics remain similar. Adding the variable **avg.temp** and performing a different transformation on the EC (namely taking the natural logarithm) gives an R-squared values of 0.61 which is an improvement of 0.02 of ‘mod2’. The model is given as ‘mod3’.

```
> mod3 ← bam(log(EC) ~ s(Rainfall_sum24, k=10) +  
+ s(avg.temp, k=10), data= dataleeuwarden, method = "REML",  
+ subset = EC<1500, rho = AC, AR.start = AR)
```

The influence of temperature can be due to the fact that with higher temperatures the water starts evaporating, which implies that the concentration of the salt in the sewage increases. This might lead to a higher value of the EC sensor. The influence of temperature is not very big, and therefore one can choose to leave it out if better predictor variables are found.

### mod4

If we add the variable **days\_factor** to the model as a random effect we see a big increase in the R-squared value: 0.8. Adding this as a random effect, means that every day has an individual effect in the residuals. Think of the days as different people doing the same experiment, but having their own random effect. We do not know why this leads to such a high R-squared value, because there is no logical explanation why adding this variable should help. Since this variable is estimated as a random effect, it is part of the error term in the model. This means that we can predict **EC** partly from the residuals which means that our model is not correct. Therefore, there is probably a variable missing in the model which should capture this information. The model as discussed is given below as ‘mod4’.

```
> mod4 ← bam(sqrt(EC) ~ s(Rainfall_sum24, k=10) +  
+ s(days_factor, bs="re"), data= dataleeuwarden,  
+ method = "REML", subset = EC<1500, rho = AC,  
+ AR.start = AR)
```

### mod5

If we leave out the variable **days\_factor** and add the time variable **tm** instead we get an R-squared value of 0.69. This is an increase of 0,11 in comparison to ‘mod2’. It means that **tm** also captures some important information, but time itself is not a logic variable to add to a model. It is not an explanation for what is happening in the model. The model is given as ‘mod5’.

```
> mod5 ← bam(sqrt(EC) ~ s(Rainfall_sum24, k=10) +  
+ s(tm, k=50), data= dataleeuwarden, method = "REML",  
+ subset = EC<1500, rho = AC, AR.start = AR)
```

For this model we can predict the EC variable over time (**tm**) for a constant value of **Rainfall\_sum24**. If **Rainfall\_sum24** becomes constant, it means that we are not looking at a sum of historic rainfall anymore, but just at a constant vector of rainfall in mm/30 minutes. We take the variable **Rainfall\_sum24** equal to a constant variable of 1 mm/ 30 minutes, i.e. the variable  $(1, \dots, 1)$ . In Figure 8 we plotted the estimation of the EC for this model against the number of measurements for a constant value of **Rainfall\_sum24**. Here we see something that looks like a two-weekly cycle. This might have something to do with the fact that the EC sensor is being cleaned every two weeks, but it is not something we can say with certainty. One can check this by looking at the moments when there was maintenance and compare them to Figure 8. When this does not lead to anything, it can be the noise in the EC data and in that case it means that we are oversmoothing. Adding this variable **tm** is not a good idea, but it can be used to find out what is happening in the background. It is hard to capture this information with another variable and we did not manage to do so.

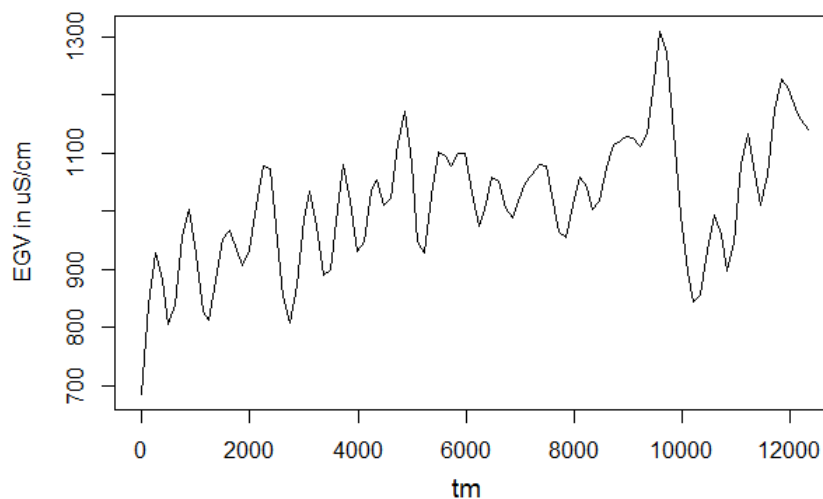


Figure 8: **EC** over time for a constant value of rainfall of 1 mm/30 min

To conclude this section, the “best” model we have seen so far is ‘mod4’ with an R-squared value of 0.8, but we were not able to find a logical explanation why adding the variable **days\_factor** should help. This probably means that this model is not correct and that there is another variable missing.

A correct model that fits the data best is ‘mod3’ with an R-squared value of 0.61. This is a big improvement of the R-squared value of 0.01 we had in the beginning of this project. The formula that belongs to this model is of the form

$$\log(\text{EC}) = \beta_0 + f(\text{Rainfall\_sum24}) + g(\text{avg.temp}) + \text{error}.$$

So, the logarithm of the EC is a constant  $\beta_0$ , plus a function of historic rainfall, plus a function of temperature, plus an error term in which we accounted for autocorrelation in the residuals.

In Figure 9 we see a scatter plot of **EC** against **Rainfall\_sum24** together with the estimation of **EC** for this model for a constant temperature of 10 degrees Celsius. For other temperatures the plot looks similar which is due to the fact that temperature does not have a big impact on the value of **EC**. We see that the relation between **EC** and **Rainfall\_sum24** is non-linear as expected. In the figure we see that after 18 mm/12 hours of rainfall the value of **EC** starts to increase, which is probably because of the fact that we do not have a lot of measurements with a high amount of rainfall. It can also be due to the fact that if a shower stopped 11 hours before the current EC measurement, the EC has stabilized but the variable **Rainfall\_sum24** still uses these rainfall measurements to form the sum of the previous 24 measurements.

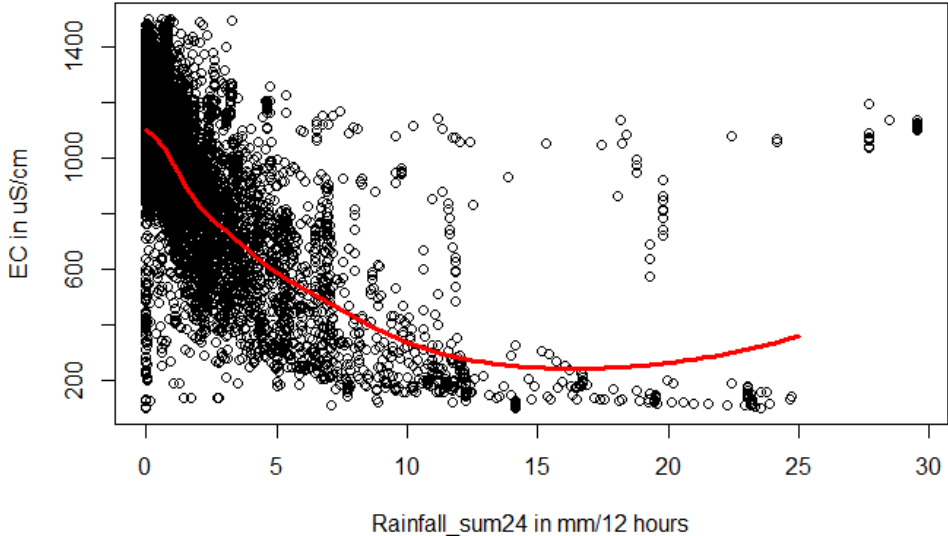


Figure 9: Scatterplot of **EC** against **Rainfall\_sum24** and the red line is the estimation of **EC** based on ‘mod3’ for a constant temperature of 10 degrees.

## 5 Discussion

In the beginning of this project there did not seem to be a relation between historic rainfall and the sewage quality. This was based on a linear regression model which gave an R-squared value of 0.01. We ended this project with a Generalized Additive Model that gave an R-squared value of 0.61, which is a big improvement of the linear regression model. It is important to notice that this model is not optimal, so one should not use this model right away. There are still some things that might improve the model.

One thing is that the variable **Rainfall\_sum24** does not take into account that every shower is different. It can be the case that it is raining the whole day and that we measure the same amount of rainfall in 12 hours as we would have measured when there was a very heavy shower for only one hour. Both type of showers have a different impact on the sewage quality, while the model does not see this difference. It might be possible to solve this by looking at the ratio of the amount of rainfall during a shower and the length of the shower, but this is not very easy to add as a predictor variable to the model.

Furthermore, we could have taken the water level in the sewer system as a predictor variable in the model, but these measurements were not in the right format to add them to the data set. This might have helped improving the model, because there is a relation expected between rainfall and the water level in the sewer system. Then the model might have found a relation between the water level in the sewer system and the sewage quality.

## 6 Conclusion

### 6.1 Summary

In this report we have tried to find a relation between historic rainfall and sewage quality for the location Leeuwarden, Bilgaard. We have used the data measured by an EC sensor which was placed in the sewer system. The EC sensor measured conductivity in the sewage according to the amount of salt in the water. In periods of long term rain the sewage is diluted by the rain water and therefore contains less salt which leads to a decrease in the EC measurements. It was expected that there is a relation between historic rainfall and the sewage quality. In this report we have tried to find such a relation using Generalized Additive Models (GAMs) in R. This is a non-linear statistical black box approach in which we have tried to find a model that gives the best approximation of the EC measurements.

We have started the project with some data preparation in which we have analysed the data and have added some new variables that might be helpful for finding a relation between historic rainfall and sewage quality. For example, we have added the variable **Rainfall\_sum24** that included historic rainfall in the model. With this variable we have captured some of the delay between rainfall and EC. This variable appeared to be very significant and gave us an R-squared value of 0.59. We also added temperature to the model and took the log of the EC measurements. This gave us an R-squared value of 0.61. This is the model ('mod3') that gave the best approximation of the EC.

We have also tried adding a random effect per day via the variable **days\_factor** and this gave an R-squared value of 0.8. We do not know why this model gave such a high R-squared value, because there is no theoretical explanation. This means that the EC can be predicted partly from the residuals and that means that this model was not correct. We were not able to find another variable that might have captured this information that is hidden in the residuals.

In the discussion in Section 5 we have said that 'mod3' was not optimal. It is not a model that can be used directly in practice. It does not take into account that each shower is different. Furthermore, it can be the case that there is another variable missing that captures some of the delay in the data.

The research question was 'is there a relation between historic rainfall and sewage quality for the location Leeuwarden, Bilgaard?' We can answer this question with 'yes there is a relation of 61%, but there is room for optimization in the model we found.' Since every shower has its own characteristics, one can expect that every response on the EC sensor is different.

## 6.2 Advice

For future data analysis, it would be important to collect more data. The more measurements one has, the more accurate the variable **EC** can be predicted. For this project we had 9 months of useful measurements, but if we would have had at least two years of data we could have tried to compare seasons or months with each other. This might have helped in finding a better relation between historic rainfall and the sewage quality.

Furthermore, it would be a good idea to collect water level data of the sewer system and get it in a good format to work with. It is expected that historic rainfall and the water level in the sewer system are closely related. If this relation can be shown to be one-to-one via a good model, then one can try to find a model that shows a relation between the water level in the sewer system and the sewage quality, instead of a relation between historic rainfall and the sewage quality.

The water level in the sewer system could also be added as a predictor variable to the model 'mod3'. It is expected that there is a relation between historic rainfall and the water level in the sewer system, so this might explain some information that is not captured by rainfall.

Another question that can be explored in the future is whether there is a relation between the turbidity sensor and the quality of the sewage. This might give a higher R-squared value then with the EC sensor.

Finally, it is expected that the relation between historic rainfall and the sewage quality is location dependent. That is, for each sewer system we probably get a different relation. It would be a good test to measure with an EC sensor at several locations and apply 'mod3' to the data obtained. If it appears to be the case that the R-squared value remains high for these other locations, one can conclude that we have found a good model, that can be applied on other locations besides Leeuwarden, Bilgaard.

## References

- [1] Overfitting. <http://blog.minitab.com/blog/adventures-in-statistics/the-danger-of-overfitting-regression-models>. Accessed: 13-10-2016.
- [2] Residuals. <http://blog.minitab.com/blog/adventures-in-statistics/why-you-need-to-check-your-residual-plots-for-regression-analysis>. Accessed: 26-10-2016.
- [3] Temperature data Leeuwarden (KNMI). <http://knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens>. Accessed: 30-09-2016.
- [4] P. Breheny and W. Burchett. *visreg: Visualization of Regression Models*, 2016. R package version 2.3-0.
- [5] G.E.P. Box & D.R. Cox. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*, 26:211–252, 1964.
- [6] C. Gu. *Smoothing Spline ANOVA Models*. Springer-Verlag, 2002.
- [7] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013.
- [8] T.J. Hastie & R.J. Tibshirani. *Generalized Additive Models*. Chapman and Hall, 1990.
- [9] J. van Rij, M. Wieling, R. H. Baayen, and H. van Rijn. *itsadug: Interpreting time series and autocorrelated data using gamms*, 2016. R package version 2.2.
- [10] J. Verzani. *Using R for Introductory Statistics*. Chapman & Hall/CRC Press, 2005.
- [11] H. Wickham. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2009.
- [12] S. N. Wood. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society (B)*, 73(1):3–36, 2011.



# Appendices

## A Script with overview of models

```
#Install these packages first and then run them each time
  you work in R
library(mgcv);library(itsadug);library(MASS);library(stats)
;library(visreg)

#----- Model 1 -----#

mod1 ← bam(EC ~ s(Rainfall, bs = "cr", k=10),
            data = dataleeuwarden, method = "REML",
            subset = EC<1500)

# Summary of model
summary(mod1)
# Check if basis dimensions (k) are good
gam.check(mod1)
# Model diagnostics
diagnostics(mod1)
# Model plot for each variable
plot(mod1,shade = T)
# Save the model
save(mod1,file = "mod1.rda")

#----- Model 2 -----#

mod2a ← bam(sqrt(EC) ~ s(Rainfall_sum24, bs = "cr", k=10),
            data = dataleeuwarden, method = "REML",
            subset = EGV<1500)

# First value of autocorrelation
AC ← start_value_rho(mod2a,plot = T)

# The same model as mod2a, but with autocorrelation added
mod2b ← bam(sqrt(EC) ~ s(Rainfall_sum24, k=10),
            data = dataleeuwarden, method = "REML",
            subset = EGV<1500, rho=AC,
            AR.start =dataleeuwarden$AR)

summary(mod2b)
gam.check(mod2b)
```

```

diagnostics(mod2b)
plot(mod2b,shade = T)
save(mod2b,file = "mod2.rda")

#----- Model 3 -----#

mod3a ← bam(log(EC) ~ s(Rainfall_sum24, k=10)
            + s(avg.temp, k=10),
            data = dataleeuwarden, method = "REML",
            subset = EC<1500)

AC1 ← start_value_rho(mod3a,plot = T)

mod3b ← bam(log(EC) ~ s(Rainfall_sum24, k=10)
            + s(avg.temp, k=10),
            data = dataleeuwarden, method = "REML",
            subset = EGV<1500, rho=AC1,
            AR.start =dataleeuwarden$AR)

summary(mod3b)
gam.check(mod3b)
diagnostics(mod3b)
plot(mod3b,shade = T)
save(mod3b,file = "mod3.rda")

#----- Model 4 -----#

mod4a ← bam(sqrt(EC) ~ s(Rainfall_sum24, k=10)
            + s(days_factor, bs = "re"),
            data = dataleeuwarden, method = "REML",
            subset = EC<1500)

AC2 ← start_value_rho(mod4a,plot = T)

mod4b ← bam(log(EC) ~ s(Rainfall_sum24, k=10)
            + s(days_factor, bs = "re"),
            data = dataleeuwarden, method = "REML",
            subset = EGV<1500, rho=AC2,
            AR.start =dataleeuwarden$AR)

summary(mod4b)
gam.check(mod4b)
diagnostics(mod4b)

```

```

plot(mod4b,shade = T)
save(mod4b,file = "mod4.rda")

#----- Model 5 -----#

mod5a ← bam(sqrt(EC) ~ s(Rainfall_sum24, k=10)
             + s(tm, k=50),
             data = dataleeuwarden, method = "REML",
             subset = EC<1500)

AC3 ← start_value_rho(mod5a,plot = T)

mod5b ← bam(log(EC) ~ s(Rainfall_sum24, k=10)
             + s(tm, k=50),
             data= dataleeuwarden, method = "REML",
             subset = EGV<1500, rho=AC3,
             AR.start =dataleeuwarden$AR)

summary(mod5b)
gam.check(mod5b)
diagnostics(mod5b)
plot(mod5b,shade = T)
save(mod5b,file = "mod5.rda")

#----- Model 6 -----#
# Extra model where we added several Rainfall_sums. The
# R-squared value is high, but interpretation becomes vague

mod6a ← bam(log(EC)~ s(avg.temp, k=10)
             + s(Rainfall_sum24, k=10)
             + s(Rainfall_sum12, k=10)
             + s(Rainfall_sum48, k=10)
             + s(Rainfall_sum36, k=10)
             + s(Rainfall_sum96, k=10)
             + s(Rainfall_sum144, k=10)
             + s(Rainfall_sum192, k=10)
             + s(Rainfall_sum240, k=10)
             + s(Rainfall_sum288, k=10)
             + s(Rainfall_sum336, k=10),
             data = dataleeuwarden, method = "REML",
             subset = (EGV<1500))

AC4 ← start_value_rho(mod6a,plot = T)

```

```
mod6b ← bam(log(EC) ~ s(avg.temp, k=10)
             + s(Rainfall_sum24, k=10)
             + s(Rainfall_sum12, k=10)
             + s(Rainfall_sum48, k=10)
             + s(Rainfall_sum36, k=10)
             + s(Rainfall_sum96, k=10)
             + s(Rainfall_sum144, k=10)
             + s(Rainfall_sum192, k=10)
             + s(Rainfall_sum240, k=10)
             + s(Rainfall_sum288, k=10)
             + s(Rainfall_sum336, k=10),
             data = dataleeuwarden, method = "REML",
             subset = (EGV<1500), rho=AC4,
             AR.start = dataleeuwarden$AR)

summary(mod6b)
gam.check(mod6b)
diagnostics(mod6b)
plot(mod6b, shade=T)
save(mod6b, file = "mod6.rda")
```

models.R

## B Histograms of EC and Rainfall

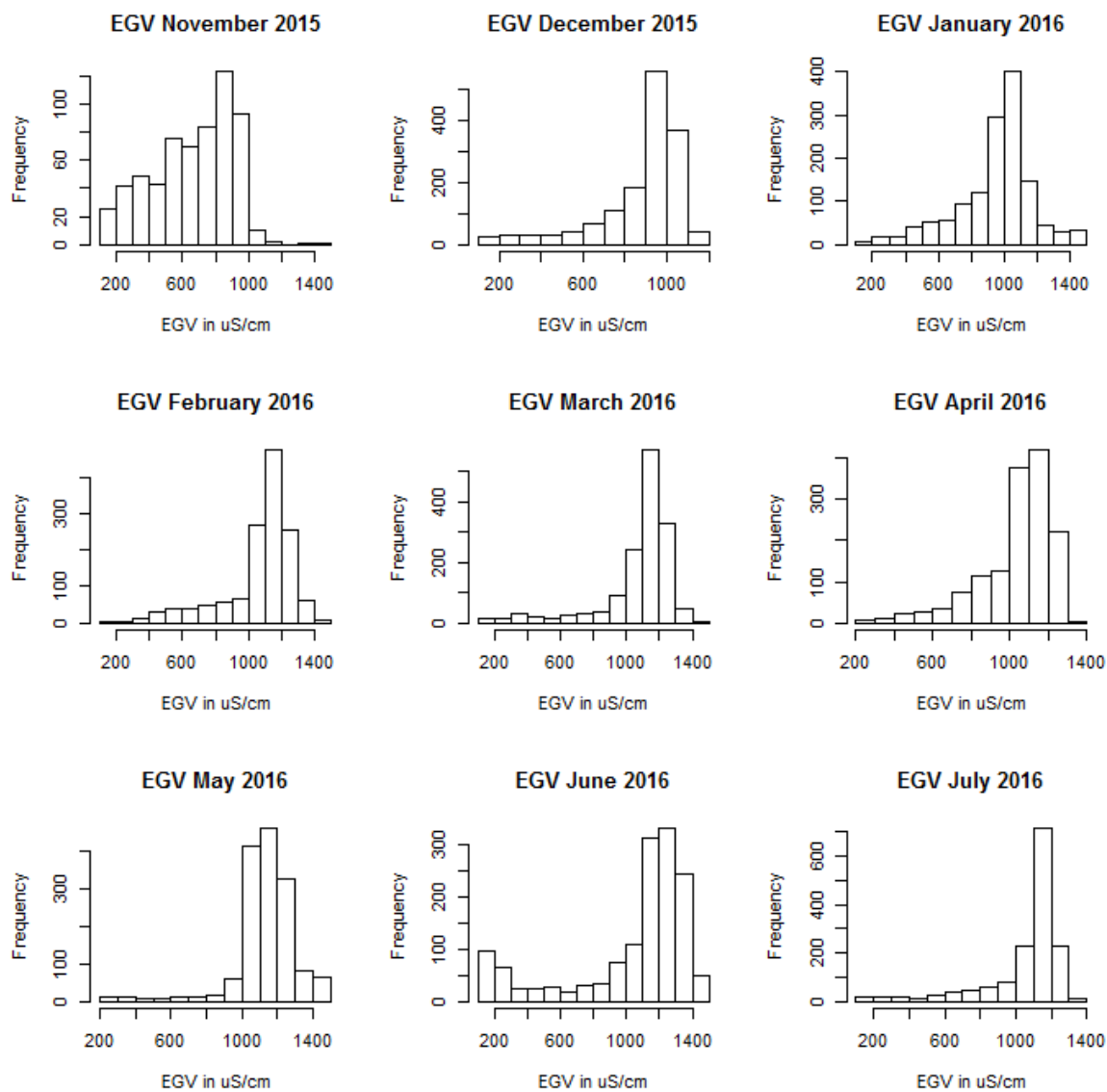


Figure 10: Histograms of EC per month

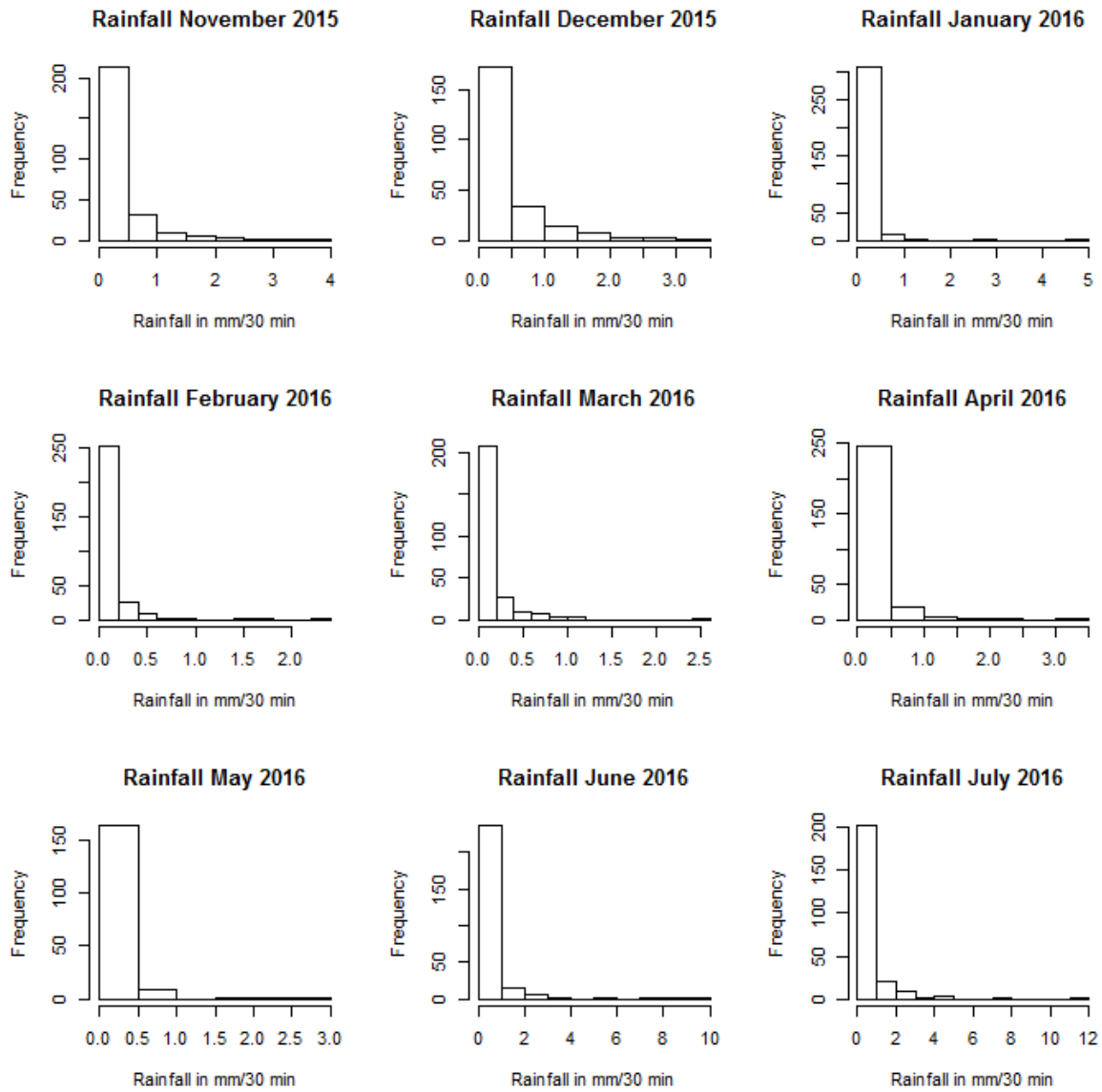


Figure 11: Histograms of Rainfall per month