

Sensortechnologie voor *real time control* van gemengde rioolstelsels

Astrid Mous en Peter van der Maas (WLN)

In Leeuwarden, Groningen en Assen is de toepasbaarheid van sensortechnologie voor het sturen van rioolwater op basis van waterkwaliteit onderzocht. Dit met het oog op optimalisering van de hydraulische capaciteit van gemengde rioolstelsels en de ontvangende RWZI's. De centrale vragen: (1) bieden eenvoudige waterkwaliteitssensoren voldoende informatie om (in hevige regenweersituaties) sterk verdund rioolwater gecontroleerd te lozen op oppervlaktewater en (2) onder welke condities biedt deze *Real Time Control* substantiële winst op de afvoercapaciteit van gemengde stelsels? Uit de resultaten blijkt dat het real-time sturen van rioolwater in gemengde stelsels op basis van waterkwaliteit kansen biedt in specifieke situaties.

Hoewel steeds meer regenwater apart wordt ingezameld via regenwaterriolen, wordt een groot deel van het regenwater in de bebouwde omgeving nog ingezameld via gemengde rioolstelsels. Bij hevige neerslag worden gemengde rioolstelsels hydraulisch zwaar belast, zodanig dat (1) lozingen van overtollig rioolwater op oppervlaktewater plaatsvinden via overstorten en (2) de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) zwaar worden belast, waardoor de zuiveringsprestaties vaak verminderen. Dit kan mogelijk worden verbeterd door op bepaalde locaties bewust verdund rioolwater over te storten op (ruim) oppervlaktewater, mits de waterkwaliteit dat toelaat. Een samenwerkingsverband tussen de gemeenten Assen, Groningen en Leeuwarden, de waterschappen Hunze en Aa's, Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân en de waterbedrijven WMD en Waterbedrijf Groningen heeft oriënterend onderzoek gedaan naar de potentie van online waterkwaliteitsmonitoring van rioolwater in gemengde stelsels. De online waterkwaliteitsmonitoring was gebaseerd op geleidbaarheid (elektrisch geleidingsvermogen, EGV) en troebelheid, als surrogaatparameters voor biologisch zuurstofverbruik (BZV), stikstof (N-Kjeldahl), fosfaat (P-totaal) en onopgeloste bestanddelen. De onderzoeksvragen waren:

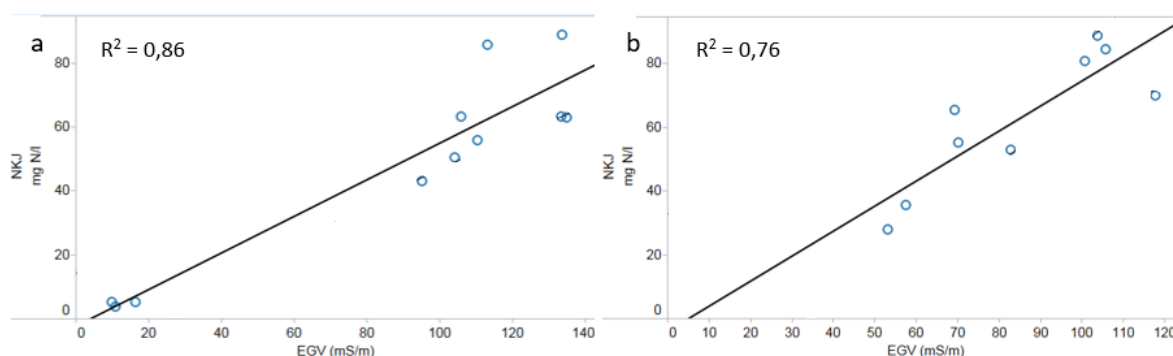
- Kan met relatief eenvoudige online meters (geleidbaarheid en troebelheid) een goed beeld worden verkregen van de kwaliteit van rioolwater en de mate van verdunning door regenwater?
- Wat is het effect van (a) neerslag op de samenstelling van rioolwater en (b) overstort op de kwaliteit van oppervlaktewater?
- Op welke locaties in Groningen, Leeuwarden en Assen en onder welke condities is het bewust overstorten van sterk verdund rioolwater toelaatbaar?
- Wat is de potentiële winst van bewust (gestuurd) overstorten van rioolwater op basis van waterkwaliteit, vooral met betrekking tot reductie van overstorten op kritische locaties (overlast) en het verbeteren van de zuiveringsprestaties van RWZI's?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden is in de periode augustus 2015 t/m september 2016 een meetcampagne uitgevoerd in de gemeenten Leeuwarden (woonwijk Bilgaard), Assen (woonwijk Pittelo-Zuid) en Groningen (eindgemaal Damsterdiep en bedrijventerrein Euvelgunne). De rioolstelsels die zijn gemonitord voldoen aan de basisinspanning. Bij elke locatie zijn sensoren (geleidbaarheid en troebelheid) geplaatst voor de overstort en/of bij het centrale inzamelpunt van een bemalingsgebied.

Tevens is de kwaliteit van het ontvangend oppervlaktewater en het effect van overstort gemonitord. Daarnaast is met behulp van berekeningen globaal geschat op welke locaties en in welke mate winst is te behalen met het bewust overstorten op basis van waterkwaliteit.

Troebelheid en geleidbaarheid als indicator

De toepasbaarheid van troebelheid en geleidbaarheid als indicatoren voor de rioolwaterkwaliteit is onderzocht aan de hand van de lineaire correlatie van deze parameters met de concentraties N-Kjeldahl, P-totaal, BZV en onopgeloste bestanddelen (total suspended solids, TSS). Afbeelding 1 presenteert als voorbeeld de correlatie tussen geleidbaarheid en N-Kjeldahl voor de locaties Leeuwarden en Assen.



Afbeelding 1. Correlatie tussen N-Kjeldahl en geleidbaarheid voor de locaties Leeuwarden (a) en Assen (b) op basis van circa 10 monsters per locatie, random monsternamen in de onderzoeksperiode

De correlatiecoëfficiënten tussen de verschillende parameters (allemaal laboratoriummetingen) zijn voor de verschillende locaties samengevat in tabel 1. Hieruit blijkt dat geleidbaarheid over het algemeen een goede relatie toont met N-Kjeldahl en P-totaal. Troebelheid toont daarentegen een sterke relatie met onopgeloste bestanddelen. Hoewel de resultaten in grote lijnen overeenkomen met de literatuur [1], [2], [3], maakt ons onderzoek duidelijk dat de mate van correlatie per locatie varieert. Opvallend zijn de relatief zwakke verbanden in Groningen. De sterkere verbanden in Leeuwarden en Assen dan bij Groningen Damsterdiep zijn mogelijk een gevolg van het feit dat het afvalwater in Assen en Leeuwarden afkomstig is van woonwijken, en dus een relatief homogene herkomst heeft (huishoudelijk afvalwater). Het rioolwater van het eindgemaal Damsterdiep in Groningen is afkomstig van een groot deel van de stad en zeer heterogeen van herkomst. Onduidelijk is in hoeverre de fysieke meetomstandigheden ter plekke (bijv. pompslag of veel bezinksel) de verbanden beïnvloeden. Er is meer onderzoek nodig om het verschil in correlatie tussen de locaties te kunnen duiden.

Tabel 1. Hoogst gevonden correlatiecoëfficiënten (R^2 , lineaire regressie) tussen enerzijds de natuurlijke logaritme van EGV c.q. troebelheid (TURB) en anderzijds de natuurlijke logaritme van de concentraties BZV, onopgeloste bestanddelen (TSS), N-Kjeldahl en P-totaal op de verschillende locaties. De relaties zijn gebaseerd op laboratoriummetingen, circa 10 monsters per locatie. Blauw: zeer sterk verband; groen: sterk verband; oranje: zwak verband

	Assen Pittelo-Zuid 1	Assen Pittelo- Zuid 2	Groningen Damsterdiep	Groningen Euvelgunne	Leeuwarden Bilgaard
BZV	EGV (0,76)	TURB (0,71)	EGV (0,57)	TURB (0,65)	EGV (0,95)
TSS	TURB (0,58)	TURB (0,72)	TURB (0,65)	TURB (0,51)	TURB (0,95)
N-Kj	EGV (0,97)	EGV (0,80)	EGV (0,70)	EGV (0,70)	EGV (0,97)
P-totaal	EGV (0,61)	EGV (0,78)	EGV (0,62)	(<0,50)	EGV (0,98)

Betrouwbaarheid sensoren

De betrouwbaarheid van de sensoren is onderzocht door de online gemeten geleidbaarheid en troebelheid te vergelijken met meetwaarden uit het laboratorium. De variantie van de correlatie tussen de online- en lab-metwaarden is samengevat in tabel 2. Hieruit blijkt dat vooral de troebelheidssensoren vaak geen goede meetwaarden tonen, terwijl de sensoren toch eens per twee weken werden schoongemaakt en gekalibreerd. Het is aannemelijk dat deze slechte meetprestaties een gevolg zijn van vervuiling die vooral optreedt op locaties met beperkte doorstroming en discontinu watercontact. Vooral bij de locaties in Assen, waar de sensoren geregeld droogvielen, trad ernstige vervuiling van met name de troebelheidssensoren op (afbeelding 2).

Voorlopig concluderen we dat de meetprestaties van de geleidbaarheids- en troebelheidssensoren alleen voldoende zijn onder voorwaarde dat het rioolwater ter plekke een goede doorstroming heeft en sensoren niet droogvallen. Met name voor troebelheid zijn continu watercontact en doorstroming essentieel, maar tegelijkertijd geen garantie voor een betrouwbare meting. De benodigde schoonmaakfrequentie (om betrouwbare meetresultaten garanderen) wordt sterk bepaald door de locatie van sensoren in het riool. In Leeuwarden Bilgaard, een locatie met turbulentie en continu watercontact, kon het interval tussen schoonmaakbeurten worden verlengd tot minimaal 1 maand, zonder dat dit ten koste ging van betrouwbare meetresultaten.

Tabel 2. Varianties van de correlatie (R^2) tussen laboratorium en online gemeten EGV en troebelheid ($N = 18$). Groen: sterk verband; geel: matig verband; rood: (zeer) zwak verband

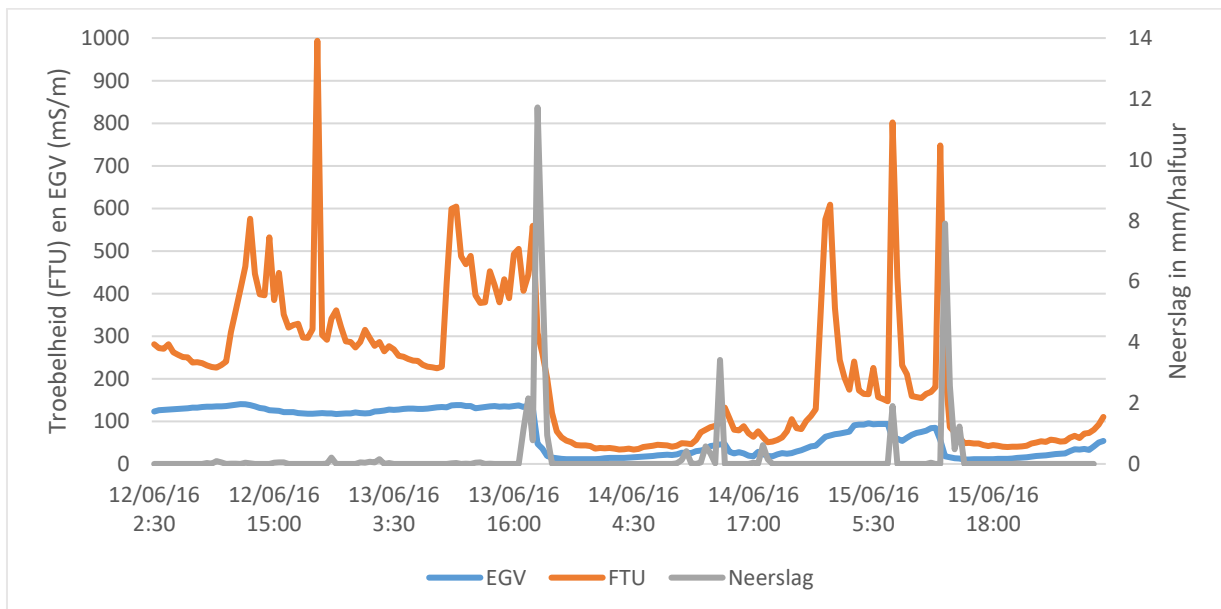
Locatie	EGV	Troebelheid
Assen Pittelo Zuid 2	0,47	0,15
Groningen Damsterdiep	0,67	0,00
Groningen Euvelgunne	0,62	0,08
Leeuwarden Bilgaard	0,69	0,56



Afbeelding 2. Vervuiling van sensoren, een week na schoonmaak

Effect van regen op de rioolwaterkwaliteit

Afbeelding 3 presenteert als voorbeeld het effect van neerslag op EGV en troebelheid voor de locatie Leeuwarden Bilgaard. Het rioolwater heeft bij droogweerafvoer (DWA) een EGV van 100-130 mS/m en een troebelheid van ordegrootte 100 FTU. Bij hevige neerslag (> 10 mm/u), dat wil zeggen een reële kans op overstort, treedt sterke (> 90%) verdunning van het rioolwater op, hetgeen blijkt uit sterk dalende EGV-waarden (< 20 mS/m), zoals bijvoorbeeld op 14 juni 2016 (afbeelding 3). In dergelijke situaties zijn de concentraties (P, N, BZV) qua ordegrootte vergelijkbaar met RWZI-effluent, zoals blijkt uit een aantal regenweermetingen (tabel 3). Afbeelding 3 laat zien dat de troebelheid bij regenweer aanvankelijk stijgt (tot > 500 FTU, vermoedelijk door opwerveling vuillaag), om vervolgens af te nemen (tot < 20 FTU).

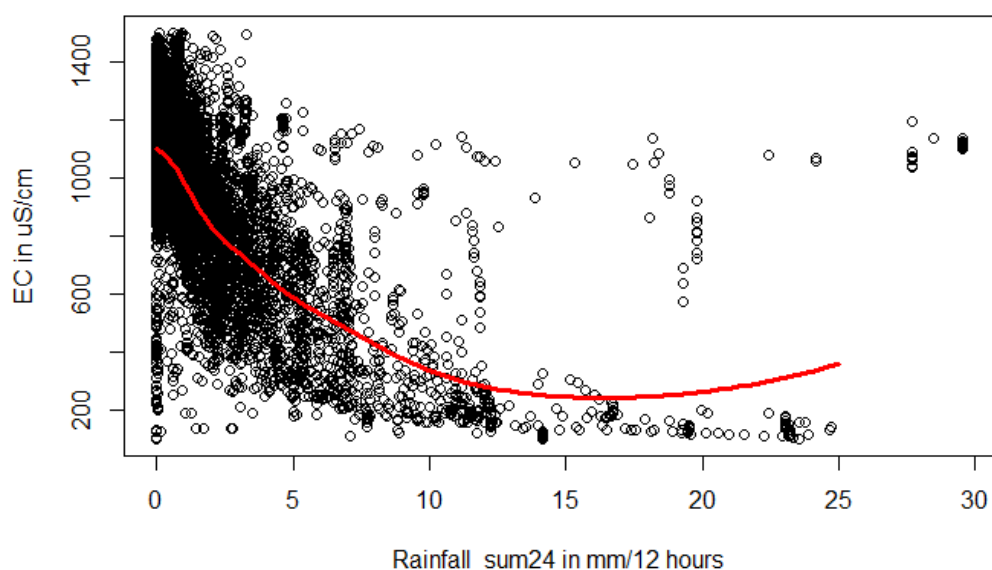


Afbeelding 3. Respons van EGV en troebelheid op neerslag, locatie Leeuwarden Bilgaard

Tabel 3. Samenstelling rioolwater tijdens regenweer, locatie Leeuwarden Bilgaard

Datum	Neerslag	EGV (mS/m)	Troebelheid (FTU)	TSS (mg/l)	N-Kj (mg N/l)	t-P (mg P/l)	BZV (mg O ₂ /l)
27-08-15	9 mm/uur	17	9,6	13	5,3	0,73	16
13-06-16	23 mm/2,5 uur	10	42,6	28,1	5,0	0,70	13,5
20-06-16	31 mm/12 uur	11	13,4	21,5	3,8	0,51	9,8

Met behulp van neerslag- en geleidbaarheid (EGV)-data van locatie Leeuwarden Bilgaard is de relatie tussen beide parameters empirisch vastgesteld. Het meest eenvoudige verband (model) werd gevonden tussen de EGV en de neerslagsom van de laatste 12 uur (afbeelding 4). De relatie tussen neerslag en EGV (d.w.z. de samenstelling van rioolwater) biedt in beginsel mogelijkheden om de rioolwaterkwaliteit te voorspellen op basis van de (verwachte) neerslaghoeveelheden.

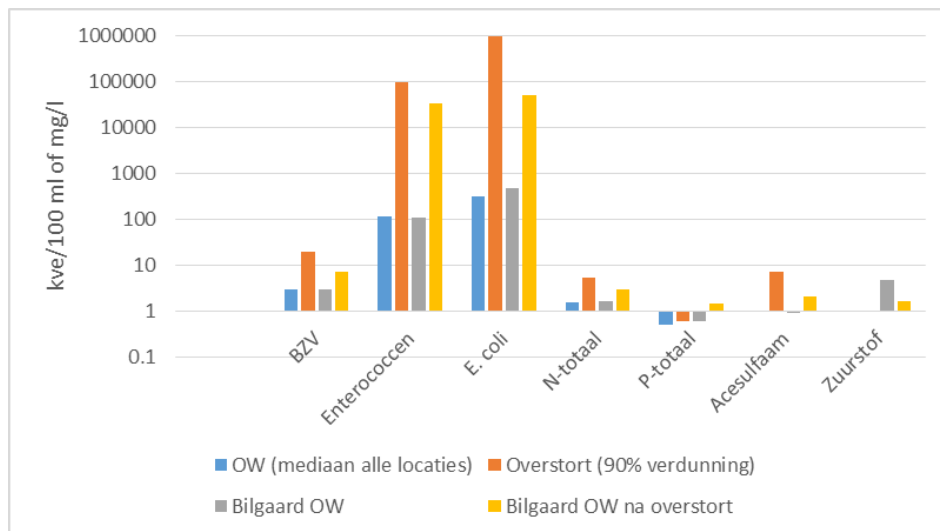


Afbeelding 4. Relatie tussen de neerslagsom van 12 uur (mm/12 uur) en de EGV ($\mu\text{S}/\text{cm}$) van rioolwater, locatie Leeuwarden Bilgaard

Effect van overstort op kwaliteit oppervlaktewater

De kwaliteit van het oppervlaktewater in Assen, Groningen en Leeuwarden is gevolgd voor de parameters N-Kjeldahl, P-totaal, BZV, *E. coli*, Enterokokken en de zoetstof acesulfaam, waarbij ook net na overstort is gemeten. Tijdens de onderzoeksperiode zijn er overstorten geweest in Leeuwarden (Bilgaard) en Assen (Pittelo-Zuid). Gebleken is dat overstort tot forse verhoging van de *E. coli*-concentratie kan leiden: van < 500 kve/100 ml (achtergrondwaarde) naar > 51.000 kve/100 ml na overstort (afbeelding 5). Eenzelfde mate van stijging geldt ook voor Enterokokken. Voor de overige parameters (acesulfaam, BZV, t-N, t-P) is het effect van overstort op de kwaliteit van oppervlaktewater minder groot. Overstort leidde in Leeuwarden tot daling van het zuurstofgehalte in het oppervlaktewater, maar dat was in Assen niet het geval. In afbeelding 5 is de achtergrondconcentratie in oppervlaktewater (mediaanwaarde van alle metingen in deze studie) vergeleken met de kwaliteit van overstortwater (d.w.z. huishoudelijk afvalwater 90% verdund met regenwater). Ook uit deze vergelijking kan worden afgeleid dat overstort uit gemende stelsels vrijwel altijd zal leiden tot een

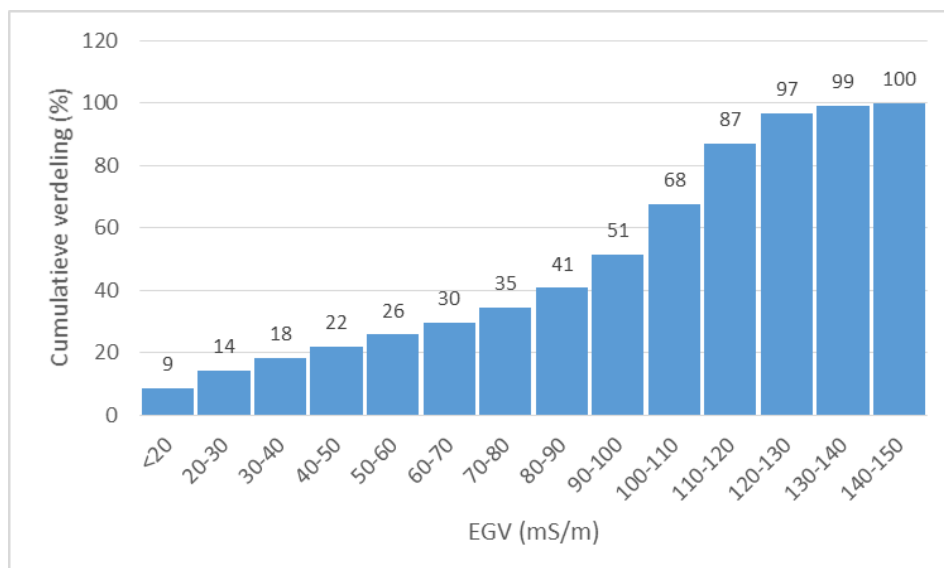
(tijdelijke) verhoging van concentraties in het ontvangende oppervlaktewater, het sterkst bij de hygiënische parameters *E. coli* en Enterokokken.



Afbeelding 5. De relatieve impact van overstort van stedelijk afvalwater dat 90% verdund is met regenwater op oppervlaktewater (OW). De concentraties zijn de mediaanwaarden van alle metingen uit deze studie, behalve Enterokokken en *E. coli* in afvalwater; deze zijn geschat op basis van typische concentraties op andere locaties. *E. coli* en Enterokokken in kve/100 ml, acesulfaam in $\mu\text{g/l}$, overige parameters in mg/l

Kansen en beperkingen

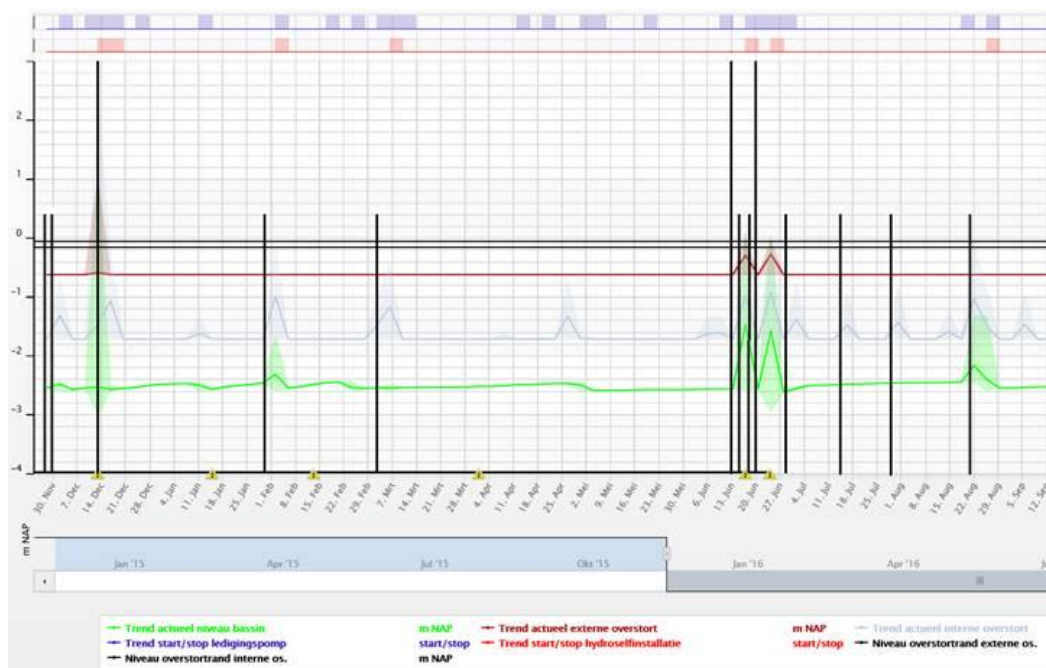
De potentie van het sturen van rioolwater op waterkwaliteit, oftewel *Real Time Control* (RTC), ligt in beginsel bij het gecontroleerd lozen van sterk verdund rioolwater uit bepaalde bemalingsgebieden op aanpandig (ruim) oppervlaktewater. In dat geval zit de potentiële winst in het verminderen van vuilemissie op kritieke locaties (bijv. woonwijken, stadsgrachten) en het hydraulisch ontlasten van RWZI's tijdens RWA-situaties. De vraag is echter hoe groot de winst van RTC is ten opzichte van de huidige situatie, ongecontroleerde overstort. Om die vraag te beantwoorden is een theoretische exercitie uitgevoerd voor de woonwijk Bilgaard in Leeuwarden, waarbij is aangenomen dat een geleidbaarheid $< 20 \text{ mS/m}$ ($> 83\%$ verdunning, de kwaliteit komt dan voor fosfaat en stikstof qua ordegrrootte overeen met RWZI-effluent) acceptabel is voor kortdurende overstort op (ruim) oppervlaktewater. Afbeelding 6 presenteert het aandeel rioolwater per EGV-klasse op basis van de verkregen online data tijdens de onderzoeksperiode. Hieruit kan worden afgeleid dat op jaarbasis circa 9% van het rioolwater een geleidbaarheid heeft van $< 20 \text{ mS/m}$. Deze waarde (EGV $< 20 \text{ mS/m}$) wordt gehaald gedurende 1,5% van de tijd.



Afbeelding 6. Cumulatieve verdeling rioolwater per EGV-klasse o.b.v. de online data van Leeuwarden Bilgaard

Uit berekeningen met buienreeksen kan worden afgeleid dat, bij gemengde stelsels die voldoen aan de basisinspanning (berging stelsel 7 mm + randvoorziening 2 mm, POC 0,7 mm/u), op jaarbasis gemiddeld circa 5% van het rioolwater via overstort wordt geloosd op oppervlaktewater [4]. Dit komt qua ordegrrootte overeen met de afleiding voor locatie Leeuwarden Bilgaard (afbeelding 6): 9% van het rioolwater voldoet aan het criterium geleidbaarheid < 20 mS/m. De vraag is nu of het water dat (ongecontroleerd) overstort inderdaad overeenkomt met het criterium geleidbaarheid < 20 mS/m. Deze vraag wordt voor Bilgaard bevestigd: de momenten waarop interne overstort plaatsvindt, als het bergbezinkbassin wordt gevuld, komen overeen met de momenten waarop het rioolwater voldoet aan het criterium geleidbaarheid < 20 mS/m (afbeelding 7). De metingen in Bilgaard geven een consistent beeld: geleidbaarheid < 20 mS/m ↔ overstort (afbeelding). Dit suggereert dat waterkwaliteit een sterker verband heeft met het niveau in het riool (komt het water over de overstortrand, dan is de geleidbaarheid < 20 mS/m) dan met de buiendynamiek.

Voor de woonwijk Bilgaard in Leeuwarden lijkt er weinig te verbeteren aan het 'schakelmoment' waarop nu (zonder RTC o.b.v. waterkwaliteit) wordt overgestort. Daarentegen lijkt het gecontroleerd sturen van rioolwater wel kansrijk bij het bedrijventerrein Euvelgunne in Groningen. Daar raakt het gemengde rioolstelsel tijdens perioden van hevige neerslag regelmatig hydraulisch overbelast. Dit leidt tot overlast in de vorm van water op straat. Er is daarom behoefte aan uitbreiding van de afvoercapaciteit van regenwater. Een mogelijk aantrekkelijke optie is om tijdens hevige neerslag het rioolwater van Euvelgunne niet af te voeren naar het eindemaal Damsterdiep, maar rechtstreeks te lozen op ruim oppervlaktewater naast het bedrijventerrein (Winschoterdiep), mits de waterkwaliteit dat toelaat. Op dit moment is een praktijkproef in voorbereiding.



Afbeelding 7. Momenten van (interne) overstort bij het bergbezinkbassin Bilgaard in Leeuwarden (lichtgrijze lijn) en momenten waarop de EGV van het rioolwater < 20 mS/m was (verticale staven). De drie lange verticale staven komen overeen met externe overstort (rode lijn)

Conclusie

Op basis van dit onderzoek kan worden geconcludeerd dat het real-time sturen van rioolwater in gemengde stelsels op basis van waterkwaliteit kansen biedt in specifieke situaties:

- Eenvoudige sensoren op basis van troebelheid en geleidbaarheid kunnen dienen als indicator voor de kwaliteit van rioolwater, onder voorwaarde dat deze zo geplaatst zijn dat er continu watercontact en er voldoende doorstroming is. Ook in dat geval moeten de sensoren regelmatig worden schoongemaakt en gecontroleerd. Mogelijk bieden softsensoren op basis van neerslag- en/of niveaumeters aantrekkelijke alternatieven.
- Overstorten leiden altijd tot een tijdelijke verslechtering van de oppervlaktewaterkwaliteit, ook wanneer het rioolwater sterk (> 90%) is verdund met regenwater. De mate waarin concentraties worden verhoogd, evenals de periode van verhoging, varieert per parameter en is afhankelijk van lokale condities, zoals het volume en de doorstroming van het ontvangende oppervlaktewater. Of op een bepaalde locatie voldoende ruimte is voor gecontroleerde overstort, dat wil zeggen het ontvangen van met regenwater verdund rioolwater zonder waterkwaliteitsproblemen, is dus afhankelijk van lokale omstandigheden.
- De meerwaarde van sturing van rioolwater op kwaliteit is afhankelijk van de lokale situatie. Bij goed gedimensioneerde en ontworpen stelsels (basisinspanning) lijkt de winst van gecontroleerde overstort (bijv. via sturing van gemalen) op basis van waterkwaliteit beperkt. Echter, op locaties waar verhoging van de afvoercapaciteit tijdens regenweersituaties gewenst is en waar ruim oppervlaktewater aanwezig is, kan RTC een aantrekkelijke oplossing zijn.

Dankbetuiging

Dit artikel is tot stand gekomen dankzij de inbreng van Dries Jansma (Gemeente Groningen), Hans de Vries, Kees van de Ven en John Laninga (waterschap Noorderzijlvest), Vincent van der Neut, Jelle Merkus en Adriana Groen (Gemeente Leeuwarden), Bonnie Bult, Roelof Veeningen en Harry Kiewiet (Wetterskip Fryslân), Eric Lanooy, Olaf Jansen en Rob Lindeboom (Gemeente Assen) en Jan Egberts Eleveld (waterschap Hunze en Aa's). Eveneens dank aan Masja Bronts, studente technische wiskunde aan de Rijksuniversiteit Groningen, voor de data-analyse en modellering in het kader van haar afstudeerstage.

Referenties

1. Moens, M., Grum, M., Alderink, M. (1999). Inzet van troebelheidsmeters ter bepaling CZV en drogestof in gemengde rioolstelsels. *H2O* 8, 22-24.
2. 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.
3. Lombard, V. et al. (2010). *Design and operation of pollutant loads monitoring stations for an integrated approach of sewer systems*. Novatech 2010.
4. Commissie Integraal Waterbeheer (2001). *Riooloverstorten*. Deel 2: Eenduidige basisinspanning - nadere uitwerking van de definitie van de basisinspanning.