

Vaststellen en opsporen van foutaansluitingen

Bestaande en nieuwe technieken



Stichting RIONED

Vaststellen en opsporen van foutaansluitingen

Bestaande en nieuwe technieken

© september 2010
Stichting RIONED, Ede

Stichting RIONED is zich volledig bewust van haar taak een zo betrouwbaar mogelijke uitgave te verzorgen. Niettemin kunnen Stichting RIONED en de auteurs geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor eventueel in deze uitgave voorkomende onjuistheden.

Auteurs: dr. ir. Olivier Hoes (TU Delft/ Nelen & Schuurmans), Jeroen Kluck (Tauw bv), ir. Marco de Kraker (DHV), ir. Joop Moons (Moons advies), ir. Harry van Luijtelaar (Stichting RIONED)

Tekstadvies: LijnTekst, Utrecht

Omslag foto: Woolder Es, Hengelo

Vormgeving: Grafisch Atelier Wageningen

Druk: Modern, Bennekom

ISBN: 97 890 73645

Voorwoord

Foutaansluitingen belemmeren de goede werking van een rioolstelsel. Het herstellen van foutaansluitingen van afvalwater op regenwaterstelsels is van belang omdat een klein percentage foutaansluitingen een groot effect kan hebben op het milieu.

Bijvoorbeeld: de extra vuiluitworp van één foutaansluiting per hectare afvoerend oppervlak is meer dan de emissiedoelstelling volgens de basisinspanning.

Voor het grofweg vaststellen van de aanwezigheid van foutaansluitingen tot het daadwerkelijk opsporen van specifieke foutaansluitingen of daarop aangesloten lozingstoestellen is een groot aantal methoden beschikbaar. Elke methode heeft bepaalde mogelijkheden en beperkingen. Deze uitgave in de RIONEDreeks beschrijft in het kort de huidige en nieuwe onderzoeksmethoden. Drie recent ontwikkelde methoden zijn verder onderzocht en uitgewerkt namelijk: temperatuurmeting vanuit putten, temperatuurmeting in leidingen (DTS methode) en geluidsmetingen via aansluitingen (Riosonic).

| 3

Hugo Gastkemper,
Directeur Stichting RIONED

September 2010

Inhoud

1	Inleiding	8
1.1	Effect foutaansluitingen	8
1.2	Omvang problematiek	8
1.3	Doel en opzet rapport	9
1.4	Opstellers en begeleidingscommissie	10
1.5	Leeswijzer	10
2	Overzicht onderzoeksmethoden foutaansluitingen	11
2.1	Foutaansluiting afvalwater op hemelwaterriool	11
2.1.1	Indicatieve onderzoeksmethoden	11
2.1.2	Exacte onderzoeksmethoden	12
2.2	Foutaansluiting hemelwater op vuilwaterriool/drukriolering	14
2.2.1	Indicatieve onderzoeksmethoden	14
2.2.2	Exacte onderzoeksmethoden	15
2.3	Ontwikkelingen	16
2.4	Communicatie met bewoners	17
3	Temperatuurmeting met diver in een put	19
3.1	Methode en materialen	19
3.1.1	Techniek	19
3.1.2	Materiaal	19
3.1.3	Installatie in riool	20
3.1.4	Meetresultaten	20
3.1.5	Productie en kosten	22
3.2	Casestudies	22
3.2.1	Egmond aan Zee	22
3.2.2	Schagen	30
3.3	Conclusies en aanbevelingen	31
3.3.1	Conclusies	31
3.3.2	Aanbevelingen	32

4	Temperatuurmeting met glasvezelkabel (DTS) in een leiding	33
4.1	Methode en materialen	33
4.1.1	Techniek	33
4.1.2	Principe	34
4.1.3	Materiaal	35
4.1.4	Installatie kabel	37
4.1.5	Meetresultaten	38
4.1.6	Productie en kosten	39
4.2	Casestudies	40
4.2.1	Purmerend	40
4.2.2	Almere	42
4.2.3	Eindhoven	44
4.2.4	Korendijk	47
4.2.5	Groningen	50
4.3	Conclusies en aanbevelingen	54
4.3.1	Conclusies	54
4.3.2	Aanbevelingen	54
4.4	Literatuur	55
5	Geluidsmeting met Riosonic	56
5.1	Methode en materialen	56
5.1.1	Techniek	56
5.1.2	Voortplanting geluid	57
5.1.3	Materiaal	59
5.1.4	Plaatsing geluidsbron	61
5.1.5	Meetresultaten	61
5.1.6	Productie en kosten	63
5.2	Casestudies	63
5.2.1	Mook en Middelaar	63
5.2.2	Eindhoven	65
5.2.3	Oegstgeest	67
5.2.4	Hengelo	67
5.2.5	Den Haag	71
5.3	Conclusies en aanbevelingen	73
5.3.1	Conclusies	73
5.3.2	Aanbevelingen	74

Samenvatting

Foutaansluitingen belemmeren de goede werking van een rioolstelsel. De capaciteit van vuilwaterstelsels is vaak niet berekend op het verwerken van neerslag. Afvalwater op het hemelwaterriool zorgt voor ongezuiverde lozingen op oppervlaktewater. Hierdoor kan een gescheiden stelsel uiteindelijk meer vuil in het oppervlaktewater brengen dan een gemengd stelsel. Vanuit het oogpunt van milieu en het hydraulische functioneren is het belangrijk foutaansluitingen op te sporen en te herstellen.

De diverse methoden om foutaansluitingen op te sporen, verschillen in toepassingsmogelijkheid en nauwkeurigheid. Sommige stellen alleen vast dat er vermoedelijk foutaansluitingen zijn (indicatief), andere geven aan welk huis of zelfs welke wasbak foutief is aangesloten. Nieuwe opsporingstechnieken voor foutaansluitingen zijn in ontwikkeling. RIONEDrecks 15 beschrijft in het kort de huidige en nieuwe onderzoeksmethoden. Drie recent ontwikkelde methoden om aansluitingen van afvalwater op regenwaterstelsels op te sporen zijn verder uitgewerkt en onderzocht:

1) Temperatuurmeting vanuit putten

Met een diver in een peilbuis in een inspectieput wordt het verloop van de temperatuur van het rioolwater gemeten over een periode van minimaal 14 dagen. Korte pieken in het verloop van de temperatuur duiden op de lozing van afvalwater. Deze methode geeft u een indicatie over de aanwezigheid van foutieve aansluitingen op het stelsel bovenstrooms van de put waar de meting plaatsvindt. Deze techniek werkt vooral in gedeeltelijk gevulde leidingen die onder afschot liggen. Het doel van deze methode is om de grootte van het gebied voor nader onderzoek in te kaderen.

2) Temperatuurmeting in leidingen (DTS methode)

Met een glasvezelkabel in een traject van rioolleidingen en een forse computer wordt het verloop van de temperatuur van het afvalwater gemeten per strekkende meter buis. Korte pieken in het verloop van de temperatuur duiden op de lozing van afvalwater op specifieke punten in de leiding. Deze methode geeft u informatie over de adressen van mogelijke foutaansluitingen. Deze techniek werkt in gedeeltelijk gevulde leidingen beter dan in permanent gevulde leidingen. De meetduur kan relatief kort zijn waardoor het tijdelijk leegzetten van een (deel van het) stelsel een optie is.

3) Geluidsmetingen via aansluitingen (Riosonic)

Met 2 verschillende geluidsbronnen in het afvalwater- en regenwaterstelsel en geluidsmetingen aan lozingstoestellen kunnen foutaansluitingen per toestel worden

opgespoord. Het geluid kan zich ook voortplanten via het medium tussen de buizen (zoals grondwater, muren en beugels). Hiermee moet bij de beoordeling van het meetresultaat rekening worden gehouden. Bij deze methode is het noodzakelijk dat de rioolleidingen niet vol water staan. De meetduur is kort, waardoor het tijdelijk leegzetten van leidingen vaak eenvoudig mogelijk is. Bij deze methode vindt het onderzoek direct plaats in de woningen. Een goede planning en communicatie met bewoners is daarom belangrijk.

Praktijk

Uit de eerste onderzoeken blijkt dat het aantal foutaansluitingen van afvalwater op regenwaterstelsels (ca.2%) kleiner is dan van regenwater op afvalwaterstelsels (ca.5%). Het herstellen van een laag percentage foutaansluitingen van afvalwater op regenwaterstelsels kan echter leiden tot een relatief grote milieuwinst.

1 Inleiding

Als een leiding op het verkeerde riool is aangesloten, is sprake van een foutaansluiting. In principe zijn drie soorten foutaansluitingen mogelijk:

- 1 De afvalwaterafvoer is aangesloten op het hemelwaterriool.
- 2 De hemelwaterafvoer is aangesloten op het vuilwaterriool of op drukriolering.
- 3 De afvalwater- en hemelwaterafvoer zijn omgedraaid en aangesloten op respectievelijk het hemelwater- en vuilwaterriool.

1.1 Effect foutaansluitingen

Foutaansluitingen belemmeren de goede werking van het rioolstelsel. De capaciteit van vuilwaterstelsels is vaak niet berekend op het verwerken van neerslag. Dit kan leiden tot:

- problemen met afvoer vanuit woningen en bedrijven (riool zit vol of drukriool-gemalen treden in storting);
- stankoverlast;
- gevaar voor de verkeersveiligheid, bijvoorbeeld omdat putdeksels omhoogkomen en (verdund afval)water vanuit putten de straat op stroomt.

Afvalwater op het hemelwaterriool zorgt voor ongezuiverde lozingen op oppervlakte-water. Hierdoor kan een gescheiden stelsel uiteindelijk meer vuil in het oppervlakte-water brengen dan een gemengd stelsel. De extra vuiluitworp van één foutaansluiting per ha afvoerend oppervlak is meer dan de emissiedoelstelling volgens de basisinspanning.

1.2 Omvang problematiek

Exacte gegevens zijn niet bekend, maar uit onderzoek naar foutaansluitingen blijkt dat (in totaal) tussen de 5 en 10% foutaansluitingen op een gescheiden stelsel aanwezig zijn. Of dit representatieve gegevens voor heel Nederland zijn, is de vraag. Er is namelijk vooral onderzoek gedaan in wijken of op bedrijventerreinen waar sterke vermoedens van foutaansluitingen waren.

Foutaansluitingen hemelwater

Gemiddeld gaat het in 2 à 3% van de foutaansluitingen om een verkeerde aansluiting op het vuilwaterriool, de rest betreft foutieve hemelwateraansluitingen.

Foutaansluitingen van hemelwater komen dus vaker voor dan verkeerde afvalwateraansluitingen. Oorzaken hiervoor zijn onder meer:

- Bij een aan- of bijbouw realiseren bewoners (en aannemers) zich vaak niet dat er een gescheiden rioolstelsel ligt. Hierdoor sluiten zij een nieuwe dakafvoer samen met eventuele afvalwaterafvoeren aan op het afvalwaterriool.

- De afgelopen decennia hebben verharde terrassen steeds vaker een afvoerputje. Licht de afvalwaterleiding ‘toevallig’ in de buurt van het putje, dan wordt daarop aangesloten.
- Zeker in de jaren ‘70 en ‘80 zijn bij woningbouw gemengde huisafvoerleidingen aangelegd, terwijl in de straat een gescheiden riolering lag. Deze gemengde leidingen zijn destijds (gelukkig) vaak aangesloten op het afvalwaterriool.

Foutaansluitingen afvalwater

Ook foutaansluitingen van afvalwater ontstaan door onwetendheid en doe-het-zelfverbouwactiviteiten. Zeker bij inpandige regenpijpen is aansluiting van het schrobputje en fonteintje in de garage op de regenpijp het eenvoudigst. Dat geldt ook voor de afvoer van een wasmachine die bijvoorbeeld naar zolder verhuist.

| 9

Verwisselen

Ten slotte worden tijdens de bouw soms aansluitingen verwisseld, waardoor hemelwater naar het afvalwaterriool afvoert en afvalwater naar het hemelwaterriool. Dit komt onder meer doordat de kleuren van afvoerleidingen van (buur)gemeente tot gemeente verschillen. Ook zijn soms de tekeningen van de bouwvergunning niet juist.

1.3 Doel en opzet rapport

Vanuit het oogpunt van milieu en het hydraulische functioneren is het belangrijk foutaansluitingen op te sporen en te herstellen. Voor het opsporen zijn al enkele methoden beschikbaar. Zo kan een rookproef verkeerd aangesloten hemelwaterafvoeren op het vuilwaterriool zichtbaar maken. Maar voor het opsporen van foutaansluitingen op een hemelwaterriool bestaat eigenlijk geen werkbare methode. Een camera-inspectie kan wel inzichtelijk maken waar de uitleggers op het riool zijn aangesloten, maar niet wát er precies op is aangesloten.

Drie recent ontwikkelde technieken

Nieuwe opsporingstechnieken voor foutaansluitingen zijn wel in ontwikkeling. Deze uitgave beschrijft in het kort de huidige en nieuwe onderzoeksmethoden. Drie recent ontwikkelde methoden zijn verder uitgewerkt en onderzocht en uitgewerkt in hoofdstuk 3 tot en met 5.

Naast een beschrijving van de techniek en materialen vindt u voor elk van de drie uitgewerkte methoden de opzet, resultaten, conclusies en aanbevelingen van een aantal casestudies. De centrale vragen bij deze praktijkonderzoeken waren:

- Werkt de methode?
- Is de methode werkbaar en betaalbaar?
- Onder welke omstandigheden is de methode bruikbaar?

Inzicht in mogelijkheden

In deze uitgave vindt u geen advies om een specifieke onderzoeksmethode toe te passen. De meest geschikte methode voor uw situatie hangt af van vele factoren, zoals:

- de omvang van het gebied;
- de beschikbare apparatuur, financiële middelen en personele capaciteit;
- urgentie (doorlooptijd);
- de gewenste mate van nauwkeurigheid;
- welk type foutaansluitingen u wilt opsporen.

Wel krijgt u inzicht in de beschikbare onderzoeksmethoden, hoe deze werken en welke resultaten u daarbij kunt verwachten.

1.4 Opstellers en begeleidingscommissie

De auteurs van deze uitgave zijn:

Marco de Kraker	DHV (hoofdstuk 1 en 2)
Jeroen Kluck	Tauw bv (hoofdstuk 3)
Olivier Hoes	TU Delft - Nelen & Schuurmans (hoofdstuk 4)
Joop Moons	Moons advies (hoofdstuk 5)
Harry van Luijtelaar	Stichting RIONED (samenstelling/afstemming)

De begeleidingscommissie bestond uit:

Egbert Baars	Waternet, voorzitter
Robin Bos	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Arjo Hof	Gemeente Almere
Martin Nederlof	Leitec-InfraScan
Harry van Luijtelaar	Stichting RIONED

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van methoden om foutaansluitingen vast te stellen en op te sporen.

Hoofdstuk 3 behandelt het vaststellen van foutaansluitingen met temperatuurmetingen met divers in putten.

Hoofdstuk 4 gaat in op het opsporen van foutaansluitingen met temperatuurmetingen met een glasvezelkabel in een leiding.

Hoofdstuk 5 behandelt het opsporen van foutaansluitingen met geluidsmetingen.

2 Overzicht onderzoeksmethoden foutaansluitingen

De diverse methoden om foutaansluitingen op te sporen, verschillen in toepassingsmogelijkheid en nauwkeurigheid. Sommige stellen alleen vast dat er vermoedelijk foutaansluitingen zijn (indicatief), andere geven aan welk huis of zelfs welke wasbak foutief is aangesloten.

Dit hoofdstuk geeft een actueel overzicht van beschikbare onderzoeksmethoden. In paragraaf 2.2 vindt u de methoden voor het vaststellen of opsporen van foutaansluitingen van hemelwater op het vuilwaterriool of drukriolering. Paragraaf 2.1 behandelt de onderzoeksmethoden voor foutaansluitingen van afvalwater op het hemelwaterriool. In beide paragrafen komen eerst de indicatieve methoden aan bod en daarna de meer exacte onderzoeksmethoden.

| 11

2.1 Foutaansluiting afvalwater op hemelwaterriool

2.1.1 Indicatieve onderzoeksmethoden

Visuele inspectie

Werking: Op enkele locaties worden tijdens droog weer de putten geopend en vindt via visuele inspectie controle op foutaansluitingen plaats. Foutaansluitingen zijn meestal te ruiken. Bovendien blijven vaak resten achter in de putten, bijvoorbeeld van toiletpapier of fecaliën.

Kenmerken: Een eenvoudige en snelle methode om indicatief vast te stellen óf er afvalwataansluitingen zijn. Nadeel is dat u alleen weet dat er foutaansluitingen zijn en niet op welke plek. Bovendien is het niet-waarnemen van verontreinigingen geen garantie dat er géén foutaansluitingen zijn.

Monstername

Werking: Op enkele locaties worden monsters van het water in het hemelwaterriool genomen. Deze monsters worden in een laboratorium onderzocht op de aanwezigheid van bijvoorbeeld cafeïne, hormonen (menselijke hormonen of veelvoorkomende hormonen in medicijnen), BZV of menselijke fecaliën. De aanwezigheid van deze stoffen duidt op afvalwaterlozingen op het hemelwaterriool.

Kenmerken: Een methode om indicatief vast te stellen of foutaansluitingen aanwezig zijn. Nadeel is dat de afwezigheid van foutaansluitingen niet aantoonbaar is.

Daarnaast gaat het hier om een momentopname en zal een flinke bui het meeste 'bewijsmateriaal' wegspoelen. Bedenk daarom goed wanneer monstername het meest

geschikt is. Bovendien wordt alleen onderzocht op één of enkele stoffen die niet in elke foutaansluiting voorkomen. Dit beperkt de nauwkeurigheid van het onderzoek. Ten slotte kunnen sommige stoffen langdurig aanwezig blijven, ook nadat de foutaansluiting al is hersteld.

Temperatuurmeting in/vanuit putten

Werking: Een eenvoudige en robuuste temperatuurlogger registreert enige tijd in enkele putten van een rioolstelsel de temperatuur. Het verloop van de temperatuur geeft aan of in de bovenstroomse leiding(en) sprake is van lozing van water met een afwijkende temperatuur. Zo ontstaat inzicht in welke gebieden of strengen foutaansluitingen hebben.

12 |

Kenmerken: Een relatief nieuwe, indicatieve methode om de aanwezigheid van foutaansluitingen aan te tonen. Nadeel is dat de afwezigheid van foutaansluitingen niet aantoonbaar is. Dit komt doordat het temperatuurverschil al kan zijn afgenomen voordat het water de put bereikt. In hoofdstuk 3 vindt u meer informatie over deze methode.

2.1.2 Exacte(re) onderzoeksmethoden

Camera-inspectie

Werking: Deze methode is vergelijkbaar met de 'normale' kwaliteitsinspectie van riolen. Tijdens droog weer rijdt een camera door het riool. De inspecteur let daarbij specifiek op de inlaten. Komt er water uit de inlaat, dan is er mogelijk sprake van een foutaansluiting. Maar dit is niet de enige aanwijzing voor foutaansluitingen. Vaak treft de inspecteur resten in het riool aan, zoals vuilophoping, sop, fecaliën, toiletpapier en vetten, en verkleuring of aantasting van de buis. Deze aspecten zijn minder tijdsafhankelijk, waardoor de locatie van de foutief aangesloten inlaat is vast te stellen.

Kenmerken: Uitvoering bij voorkeur in perioden met lage grondwaterstanden. 'Bewijsmateriaal' is minder makkelijk waarneembaar in (leeggepompte) verdrongen stelsels. Na een grondige reiniging van het stelsel zijn de sporen van foutaansluitingen vaak verdwenen. Laat dus bij voorkeur inspecteren in ongereinigde of onder lage druk gereinigde stelsels. Is het riool ongereinigd niet toegankelijk voor de camera? Laat het stelsel dan minimaal een week na reiniging inspecteren. Nadeel is dat deze methode kolken met illegale lozingen van bijvoorbeeld vetten of verfresten onterecht als verdacht kan aanduiden. Met deze methode zijn foutief aangesloten inlaten op te sporen. Het is niet altijd direct bekend welke woning op deze inlaat is aangesloten en wát er in de woning fout zit. Daarvoor is vervolgonderzoek in de woning noodzakelijk.



Figuur 2.1 Kleurstofonderzoek

Kleurstofonderzoek

Werking: In elk lozingstoestel in een woning wordt een kleurstof gegooid. Bij het gemeentelijke riool óf het overnameputje wordt gecontroleerd in welk riool het water terechtkomt. Door meerdere kleuren te gebruiken, is onderscheid mogelijk in (bijvoorbeeld) lozingstoestellen op verschillende verdiepingen.

Kenmerken: Het is een intensief en (dus) kostbaar onderzoek. Daarnaast moeten de bewoners thuis zijn en toestemming geven voor het onderzoek (zie paragraaf 2.4). Deze methode is geschikt voor kleinschalige onderzoeken (een woonstraat) en als controleonderzoek bij verdachte aansluitingen, bijvoorbeeld volgend uit de camera-inspectie.

Temperatuur meting in leidingen (DTS-methode)

Werking: Sinds 2008 zijn foutaansluitingen met een glasvezelkabel in het riool te lokaliseren. De methode heet Distributed Temperature Sensing (DTS). DTS gebruikt het principe dat een klein deel van het laserlicht dat door een kabel gaat, wordt gereflecteerd. Door de amplitude van de reflectie te meten, is de temperatuur af te leiden. De glasvezelkabel wordt aangesloten op een speciale computer die de signalen opslaat. Grafische weergave van de meetdata laat duidelijk zien wanneer en waar (afstand tot het begin van de kabel) lozingen van water met een afwijkende temperatuur hebben plaatsgevonden.

Kenmerken: Met een glasvezelkabel zijn zeer nauwkeurige temperatuurmetingen mogelijk. Zelfs kleine temperatuurafwijkingen zijn op te sporen. De metingen zijn gedurende een langere periode uit te voeren, waardoor meerdere neerslaggebeurte-

nissen zijn te registreren (en te analyseren). Hierdoor is de kans groot dat de fout-aansluiting tijdens het onderzoek wordt gebruikt en is de scoringskans dus groot. Dit onderzoek vindt alleen in het hoofdriool plaats, dus bewoners hoeven niet thuis te zijn. Met deze methode zijn de foutief aangesloten inlaten op te sporen. Op basis van de temperatuur of het 'patroon' van het geloosde water is in principe te bepalen wát foutief is aangesloten, maar dat is niet altijd het geval. Is dit niet zo, dan is vervolgonderzoek in de woning noodzakelijk. Hierbij is de kabel die al in het riool ligt te gebruiken. In hoofdstuk 4 vindt u meer informatie over deze methode.

Geluidsmeting (methode Riosonic)

Werking: In zowel het hemelwaterriool als het vuilwaterriool van een gescheiden stelsel wordt een geluidsbron geplaatst, met elk een eigen frequentie. De geluidsgolven planten zich in het riool voort en bereiken zo (sterk afgezwakt) de lozingstoestellen in de woning. Hier wordt een sensor tegen het lozingstoestel gehouden. Door het ontvangen signaal te versterken en te analyseren, is te bepalen op welk stelsel het toestel is aangesloten.

Kenmerken: Een voordeel is dat direct duidelijk is wát in de woning foutief is aangesloten. Daardoor is vervolgonderzoek vaak niet nodig en zijn de herstelwerkzaamheden relatief eenvoudig. Zorg wel voor een goede communicatie met de bewoners, want hun medewerking is essentieel. Zij moeten immers thuis zijn én toestemming geven om het onderzoek (in de woning) te kunnen uitvoeren. In hoofdstuk 5 vindt u meer informatie over deze methode.

2.2 Foutaansluiting hemelwater op vuilwaterriool/drukriolering

2.2.1 Indicatieve onderzoeksmethoden

Visuele inspectie

Werking: Op enkele locaties worden de putten geopend en foto's genomen van de (afval)waterstroom tijdens droog weer, zodat alleen dwa door het riool stroomt. Tijdens neerslag worden dezelfde putten geopend. Op basis van foto's wordt visueel vastgesteld of de stroom toeneemt of gelijk blijft. Een aanmerkelijke toename van het debiet/de waterstand duidt op hemelwateraansluitingen op het vuilwaterriool.

Kenmerken: Een eenvoudige en snelle methode om indicatief vast te stellen of hemelwateraansluitingen aanwezig zijn. Nadeel is dat u alleen weet dat er foutaansluitingen zijn en niet op welke plek.

Gegevensanalyse (riool)gemaal

Werking: De pompgegevens (draaiuren en capaciteit) van de rioolgemalen en/of het hoofdgemaal worden naast de neerslaggegevens gelegd. Hieruit is indicatief te bepalen of en hoeveel verhard oppervlak op het vuilwaterstelsel is aangesloten.

Kenmerken: Bureau studie waarbij vrij eenvoudig is te constateren of nader (gedetailleerd) onderzoek noodzakelijk is. Voor de neerslag zijn de etmaalgegevens van een van de 326 KNMI-stations te gebruiken.

Debietmeting

Werking: Vergelijkbaar met gegevensanalyse (riool)gemaal, maar hier worden tijdelijke debietmeters in putten geplaatst. Hierdoor kunt u metingen laten doen in een (vrij te kiezen) deelsysteem.

| 15

Kenmerken: Veldinventarisatie en analyse van de meetdata. Hieruit volgt een grove indicatie van de hoeveelheid aangesloten oppervlak op het vuilwaterstelsel. Dit is een goede methode om het onderzoeksgebied in te perken, voordat u gedetailleerder vervolgonderzoek laat uitvoeren.

Temperatuurmeting in/vanuit putten

Deze methode is dezelfde als beschreven in paragraaf 2.1.1.

2.2.2 Exacte(re) onderzoeksmethoden

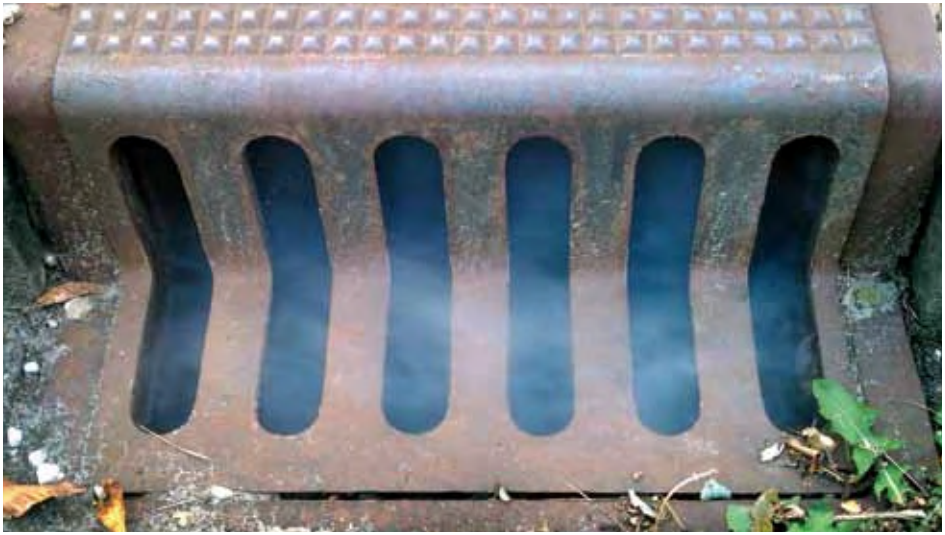
Gegevensanalyse drukrioolgemalen

Werking: De draaiuren van drukrioolgemalen worden geregistreerd en geanalyseerd. Neemt het aantal draaiuren tijdens neerslag(perioden) toe, dan verpompt het stelsel waarschijnlijk hemelwater. Het perceel of de percelen die op het drukrioolgemaal zijn aangesloten, zijn bekend en kunt u aanschrijven.

Kenmerken: Bureau studie of veldinventarisatie (afhankelijk van aanwezigheid van telemetriesysteem), waarbij op basis van draaiuren eenvoudig is te constateren welk perceel of welke groep percelen hemelwater op de drukriolering loost.

Neveldetectie (of rookgasonderzoek)

Werking: In het stelsel wordt (achter het gemaal) onschadelijke disconevel geblazen. Komt de 'rook' uit regenpijpen of kolken tevoorschijn, dan zijn deze op het vuilwaterriool aangesloten.



Figuur 2.2 Nevel uit een kolk

Kenmerken: Een snelle en relatief goedkope methode. Afhankelijk van de diameter van de riolering en de woningdichtheid zijn per dag circa 200 woningen te controleren. Bovendien weet u exact welke aansluitingen foutief zijn. Nadeel is dat een waterslot/sifon de rook tegenhoudt.

Temperatuur meting in leidingen (DTS-methode)

Deze methode is dezelfde als beschreven in paragraaf 2.1.2

Geluidsmeting (methode Riosonic)

Deze methode is dezelfde als beschreven in paragraaf 2.1.2.

2.3 Ontwikkelingen

Riotrack (track & trace)

Met Riotrack zijn waterstromen in de riolering te volgen en foutaansluitingen op te sporen. Hierbij worden drijvende tracers (chips, zo groot als een fiche) bijvoorbeeld door een toilet gespoeld of in een regenpijp gegooit. De tracer stroomt met het afvalwater of hemelwater naar het riool. Mobiele antennes detecteren waar de tracer zich bevindt, waardoor duidelijk wordt op welk rioolstelsel het lozingstoestel is aangesloten.

Ammonium cuvet test

Waternet past de Ammonium cuvet-test toe bij het opsporen van foutieve aansluitingen op het hemelwaterriool. In Amsterdam bevat het oppervlaktewater gemiddeld 0,75 mg/l ammonium, het hemelwater bevat ca. 1,2 mg/l ammonium (landelijk meetnet). Hogere concentraties duiden op de foutieve aansluiting van een toilet op een hemelwaterriool.



Figuur 2.3 Cuvet test ammonium

Door het water in het hemelwaterriool per put te bemonsteren (tijdens droog weer) en de monsters via een cuvet-test op ammonium te analyseren kan binnen 30 minuten aangegeven worden of in de buurt van die put afvalwater geloosd wordt. Op deze manier is zeven kilometer hemelwaterriool onderzocht en is het gebied voor nader onderzoek verkleind naar totaal 300 meter hemelwaterriool.

2.4 Communicatie met bewoners

Een belangrijk en niet te onderschatten onderdeel van enkele meer exacte opsporingsmethoden is de communicatie met bewoners. Bij neveldetectie, kleurstofonderzoek en geluidsmetingen zijn werkzaamheden in woningen nodig. Om bewoners hierover te informeren, kunt u het best ruim van tevoren een brief sturen met daarin het hoe en waarom van het meetproject. Benadruk daarbij niet alleen het algemene milieubelang, maar vooral ook het lokale belang, zoals fecaliën in de vijver en onderlopende kelders.

Zodra de meetdatum bekend is, stuurt u een tweede brief. Hierin laat u de bewoners weten op welke dag de meting plaatsvindt. Bovendien kunt u ze de gelegenheid geven in een antwoordbrief aan te geven welk deel van de dag ze aanwezig zijn. En bijvoorbeeld ook of ze een uur van tevoren per sms een herinnering willen ontvangen.

3 Temperatuurmeting met diver in/vanuit een put

Het steekproefsgewijs via putinspecties opsporen van foutaansluitingen is een tijdrovend en kostbaar proces. Een eenvoudiger methode was tot voor kort niet voorhanden. Tauw kwam op het idee om eenvoudige, continue temperatuurmetingen te gaan gebruiken. Met de registratie en analyse van de temperatuurwisselingen zijn foutaansluitingen vast te stellen. In dit onderzoek gaat het om foutieve vuilwateraansluitingen op een hemelwaterriool.

Dit hoofdstuk behandelt eerst de methode en materialen (paragraaf 3.1). Vervolgens komen twee pilots aan bod: in Egmond aan Zee en Schagen (paragraaf 3.2).

3.1 Methode en materialen

| 19

3.1.1 Techniek

Een eenvoudige en robuuste temperatuurlogger registreert in circa tien putten in een hemelwaterstelsel enige tijd de temperatuur. Het verloop van de temperatuur geeft vaak zeer duidelijk aan of in de bovenstroomse leiding(en) warm water wordt geloosd. Huishoudelijk afvalwater is meestal warmer dan de temperatuur in het riool en daardoor als piek in de temperatuur zichtbaar. Deze metingen geven daarmee inzicht in welke gebieden of strengen foutaansluitingen hebben.

3.1.2 Materiaal

Voor de metingen in Egmond aan Zee en Schagen zijn divers van Van Essen Instruments (tegenwoordig onderdeel van Schlumberger Water Systems) gebruikt. In tabel 3.1 vindt u de specificaties.



Tabel 3.1 Specificaties Van Essen micro-diver DI600-serie

Afmetingen	Ø18 mm x 90 mm
Geheugen	48.000 metingen
Meetfrequentie	0,5 sec tot 99 uur
Behuizing	RVS 316L
Druk sensor materiaal	Keramisch (Al ₂ O ₃)
Temperatuur meetbereik	-20 °C tot 80 °C
Precisie	±0,1 °C
Resolutie	0,01 °C
Gecompenseerd bereik	0 °C tot 40 °C
Batterij duur	10 jaar (afhankelijk van gebruik)
Gewicht	60 gram

Figuur 3.1 Diver

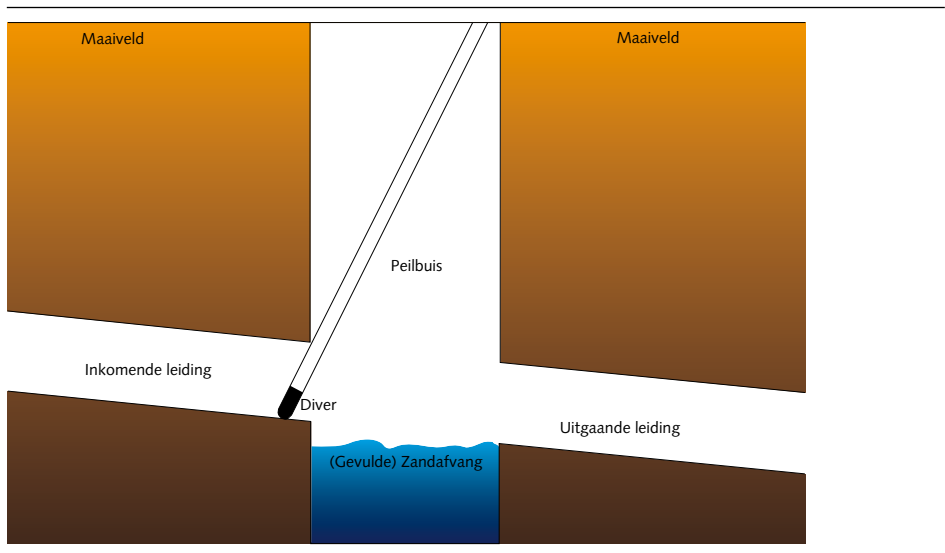
Behalve de temperatuur registreren deze divers ook de drukhoogten (waterstanden). Drukhoogten geven extra inzicht en kunnen helpen vreemde temperatuurveranderingen te verklaren of de resultaten ondersteunen.

Naast temperatuur- en drukhoogtemetingen zijn neerslagmeters wenselijk om de meetgegevens goed te kunnen interpreteren.

3.1.3 Installatie in riool

De methode gaat ervan uit dat het riool niet geheel gevuld is, onder verhang ligt en het water naar de putten toe stroomt. De divers worden met peilbuizen op de bodem van rioolputten of net in de naar de putten afstromende leidingen geplaatst (zie figuur 3.2). Afhankelijk van de grootte van het riool en de diepte van de put staat de peilbuis los in het riool of is deze boven in de put vastgeklemd. Aan de diver zit een koord om deze eenvoudig onder in de buis te hangen en weer naar boven te halen. Hiervoor is een waslijn (een staaldraad met een plastic omhulsel) zeer geschikt.

Als meerdere leidingen naar eenzelfde put aflopen, is het belangrijk in de leiding (en niet in de put) te meten. Dan is duidelijk in welk water (uit welke streng) de metingen plaatsvinden. Ook als de putbodem lager ligt dan de bob van de inkomende streng, moet de diver in de inkomende streng hangen. Zo meet die de temperatuur vóórdat het water zich kan mengen met eventueel kouder water in de put.



Figuur 3.2 Plaatsing diver in rioolleiding

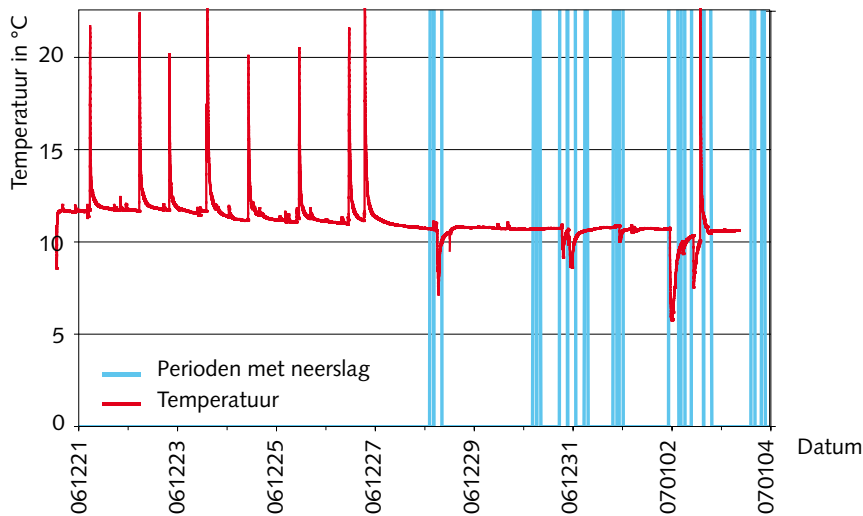
Om de gemeten drukhoogten te kunnen omrekenen tot waterstanden, moet per meetgebied één diver boven water (boven in een put) hangen om de luchtdruk te compenseren. In de praktijk blijkt dat de luchtdruk over een leeg stelsel voldoende gelijkmatig is verdeeld, dus volstaat één barometer.

3.1.4 Meetresultaten

Omdat de dataopslagcapaciteit beperkt is, moeten de divers na afloop van de meetperiode (of elke twee weken, uitgaand van een 30-secondenmeetinterval) worden uitgelezen. Hierna zijn de divers opnieuw te gebruiken of in te zetten op een nieuwe meetlocatie. De uitleesapparatuur is op de usb-poort van een computer (bijvoorbeeld een laptop) aan te sluiten.

De meetgegevens worden in Excel verwerkt tot grafieken, die de eventueel aanwezige temperatuurpieken zichtbaar maken. In deze grafieken worden ook de lokale neerslaggegevens verwerkt, zodat temperatuurveranderingen door neerslag niet voor foutaansluitingen worden aangezien.

| 21



Figuur 3.3 Voorbeeld van temperatuur- en neerslagdata in een Excelgrafiek

In figuur 3.3 zijn de dagelijkse temperatuurpieken (rode lijn) duidelijk zichtbaar. Deze duiden op foutaansluitingen. Ook de temperatuurdalingen tijdens neerslag zijn duidelijk. Deze metingen vonden plaats in december. In warme perioden kan neerslag ook voor een temperatuurstijging zorgen.

Als de temperatuurpieken niet zo duidelijk zijn, is in Excel een nadere analyse mogelijk. Een weergave van de temperatuurstijgingen van verschillende dagen op een schaal van 24 uur geeft inzicht in een mogelijk dagpatroon. Regelmatig voorkomende temperatuurpieken (in het bijzonder in de ochtend- en avonduren) duiden waarschijnlijk op foutaansluitingen, bijvoorbeeld van douches of wasmachines.

Een methodiek voor een automatische analyse van de aanwezigheid van foutaansluitingen vindt u in het afstudeerwerk *Opsporen foutaansluitingen op rwa door middel van temperatuurmetingen*, ing. J. de Jong, Tauw 2007.

3.1.5 Productie en kosten

Per meetlocatie neemt het installeren van de meetapparatuur door een geoefend team van twee personen ongeveer 15 minuten in beslag. De divers kosten circa € 800 per stuk en ze gaan lang mee. Divers die ook de geleidbaarheid meten, zijn circa twee keer zo duur. De kosten voor het plaatsen, uitlezen en weer ophalen van tien divers en de analyse van de resultaten bedragen ongeveer € 3.000.

3.2 Casestudies

Als eerste vonden temperatuurmetingen in Egmond aan Zee plaats, daarna in Schagen. Het stelsel in Egmond aan Zee is bij droog weer leeg. In Schagen ligt een verdrongen stelsel. Dat wil zeggen: een stelsel dat onder alle omstandigheden is gevuld met water, dus ook als het niet regent. Door deze twee systeemtypen in het onderzoek mee te nemen, is de bruikbaarheid van de methode onder verschillende omstandigheden te vergelijken.

3.2.1 Egmond aan Zee

Egmond aan Zee heeft een gescheiden rioolstelsel. In het centrum liggen hemelwaterriolen, waar voor dit onderzoek de metingen plaatsvonden (zie figuur 3.4). Het hemelwaterstelsel loopt leeg via vele infiltratieputten (zakputten) en een centrale infiltratievoorziening. Als het stelsel de hoeveelheid neerslag niet aankan, stort het water over naar het strand.

Door vervuiling van de infiltratievoorzieningen verwachtte de gemeente foutaansluitingen in het stelsel. Het opsporen daarvan is belangrijk om verontreiniging van de bodem en het strand te voorkomen.

Meetperiode

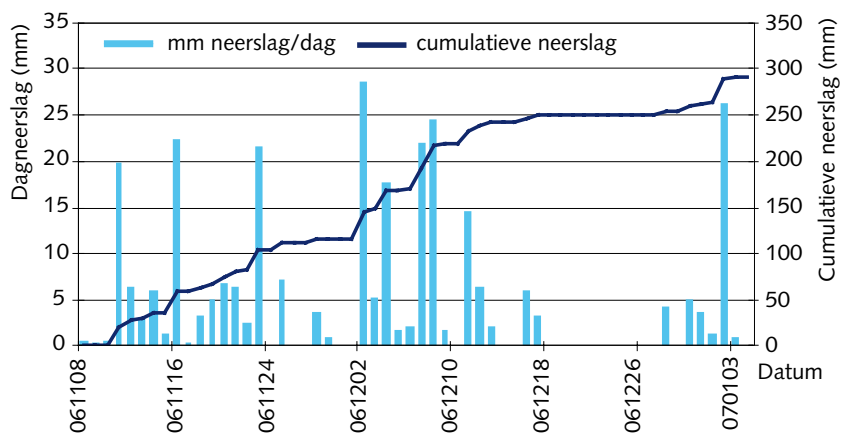
De meetperiode bedroeg acht weken: van 8 november 2006 tot en met 3 januari 2007. Zodra voldoende informatie was verzameld (dat wil zeggen: na voldoende droge dagen), werden de divers verplaatst. Per locatie is minimaal twee weken gemeten. Tijdens de meetperiode viel veel neerslag (zie figuur 3.5). Toch heeft de methode gewerkt. Bovendien geeft de neerslag door de temperatuurdalingen een indicatie dat

de sensoren goed functioneren. De neerslag is per vijf minuten gemeten en in de grafieken met temperatuurmetingen verwerkt.

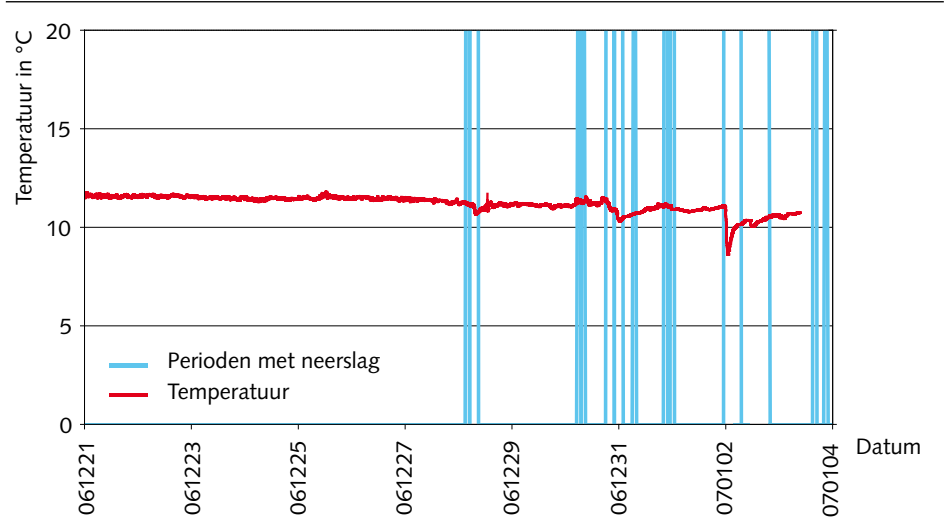


| 23

Figuur 3.4 Meetlocaties (temperatuur en waterkwaliteit) in Egmond aan Zee

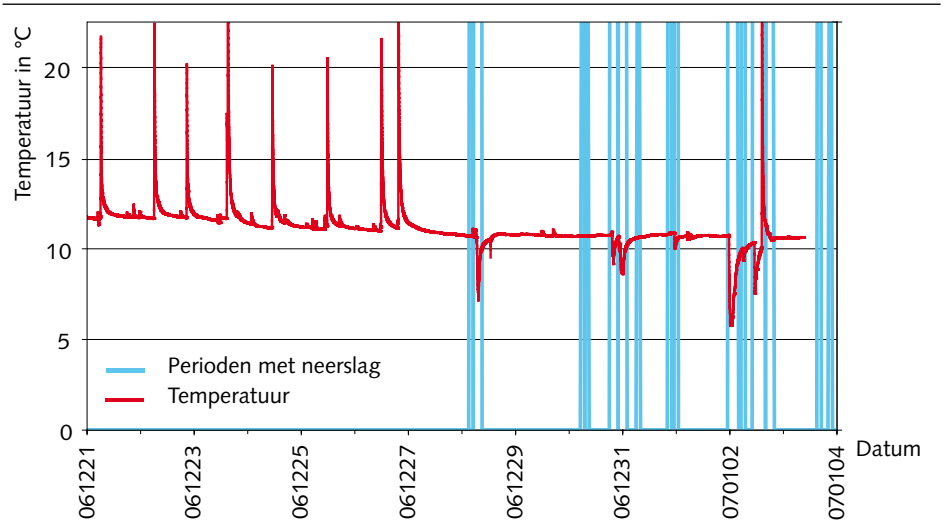


Figuur 3.5 Neerslag tijdens meetperiode in Egmond aan Zee.



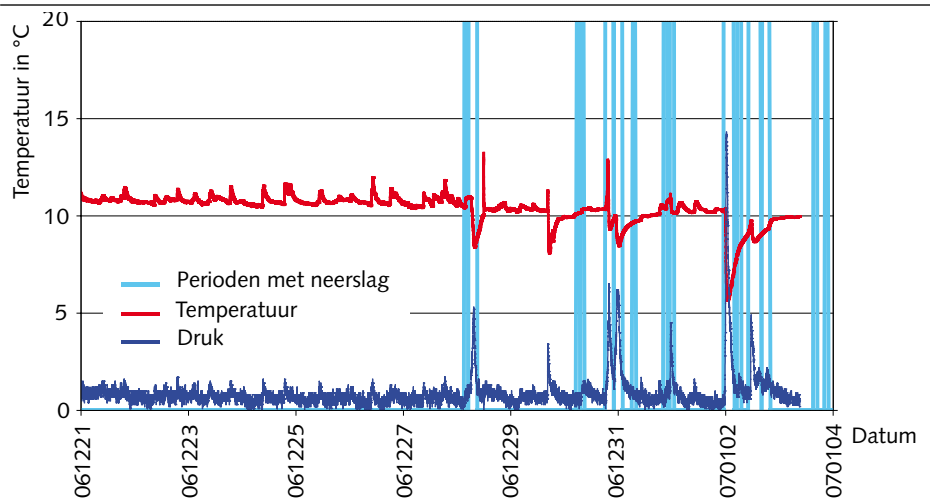
Figuur 3.6 Meetlocatie in Egmond aan Zee zonder foutaansluitingen

In figuur 3.6 staat een voorbeeldgrafiek van een meetlocatie. Hier ziet u geen pieken in temperatuur, alleen temperatuurdalingen bij neerslag. Op deze locatie zijn dus geen foutaansluitingen aangetoond. Dit is geverifieerd met een visuele inspectie.



Figuur 3.7 Meetlocatie in Egmond aan Zee met duidelijke foutaansluitingen

Figuur 3.7 is een voorbeeld van een locatie waar zeer waarschijnlijk sprake is van foutaansluitingen. Duidelijk is te zien dat op regelmatige tijdstippen de temperatuur (rode lijn) omhoogschiet. Mogelijk komt dit door dagelijkse douches. Opvallend is ook dat tussen 27 december en 2 januari geen lozingen te zien zijn. Mogelijk was er in de vakantieperiode niemand thuis. De sensoren lijken die dagen goed gefunctioneerd te hebben, want daarna starten de regelmatige lozingen weer. Het is dus belangrijk om lang genoeg te meten en zeker niet alleen tijdens een vakantieperiode.



Figuur 3.8 Meetlocatie in Egmond aan Zee met minder duidelijke foutaansluitingen

Validatie

Behalve temperatuurmetingen vonden in Egmond aan Zee ook rioolinspecties met een camerawagen plaats. Deze dienden om de bevindingen met de temperatuurmetingen te controleren en de exacte locaties van foutaansluitingen te vinden. Voorafgaand aan de camera-inspectie is het riool alleen leeggepompt, niet gereinigd.

Opmerkelijk was dat bij de visuele inspectie bij een bepaalde put geen bovenstroomse foutaansluitingen zichtbaar waren, terwijl de bovenstroomse meetpunten wel temperatuurpieken registreerden. Dit komt door de aanwezigheid van een zonk (putbodemp onder de buisbodemp) tussen de strengen (zie figuur 3.2). Het water in de put verdunt de lozing. Als het een zakput (infiltratieput) betreft, komt het water misschien niet eens uit de put. Dit betekent dat op locaties met diepere putten of zakputten een temperatuurmeting mogelijk alleen inzicht geeft over de direct aangesloten leiding. Maar dit is niet altijd het geval. In de verschillende metingen in Egmond aan Zee zijn er ook die wél duidelijk laten zien dat een bovenstroomse lozing van warm water

verder benedenstrooms te zien is. De test met emmers warm water is daar een goed voorbeeld van (zie verderop onder het kopje "Test lozing warm water").

In figuur 3.9 ziet u een overzicht van vier locaties waar met zowel temperatuurmetingen als camera-inspecties naar foutaansluitingen is gezocht:

- 1 In de noordelijke streng heeft de camera een foutaansluiting opgespoord die de temperatuurmetingen niet hadden aangetoond. Vermoedelijk hing de diver niet goed. In de twee benedenstrooms liggende strengen hiervan hebben temperatuurmetingen wél aanwijzingen voor foutaansluitingen gevonden, maar de camera-inspectie juist niet. Waarschijnlijk heeft de foutaansluiting in de noordelijke streng (die de camera had gevonden) deze temperatuurpieken veroorzaakt.
- 2 In beide strengen hebben temperatuurmetingen én de camera-inspectie foutaansluitingen aangetoond.
- 3 Temperatuurmetingen hebben in de strengen op het Agnesplein foutaansluitingen aangetoond. Uit de camera-inspectie volgt een foutaansluiting in de noordoostelijke streng. Deze foutaansluiting heeft vermoedelijk ook de temperatuurpieken in de twee benedenstroomse strengen veroorzaakt. Dit is logisch, omdat de bodem van de inspectieputten hier gelijk ligt met de bodems van de aangesloten rioolbuizen. Het water stroomt dus goed door.

26 |



Figuur 3.9 Overzicht foutaansluitingen uit temperatuurmetingen en camera-inspecties

4 In dit gebied hebben temperatuurmetingen en camera-inspecties foutaansluitingen aangetoond. Uit de camera-inspectie volgen twee foutaansluitingen: gezien vanaf de put linksboven (binnen “cirkel 4” in figuur 3.10) naar de rechterput op 18,8 m en op 44,6 m. De streng waar alleen de temperatuurmetingen iets hebben gevonden, ligt stroomafwaarts van deze plekken. Hier is de temperatuurstijging dus over meerdere leidingen waar te nemen.

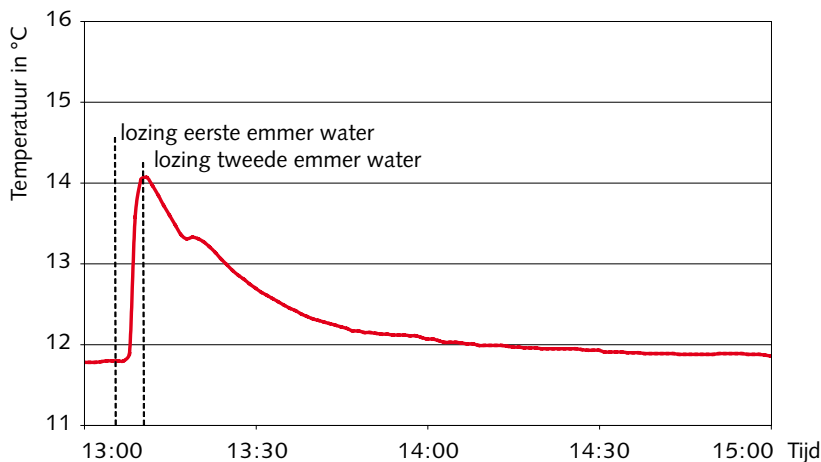
Test lozing warm water

De snelheid waarmee de temperatuur na een kortstondige stijging daalt, is nader onderzocht door:

- 1 een sensor kort in een emmer met warm water te dompelen;
- 2 enige emmers warm water bovenstrooms van een sensor in het riool te gooien;
- 3 de temperatuurdalingen bij een gemeten warmwaterlozing nader te bekijken.

| 27

1 Een sensor is in een emmer warm water gedompeld en er vervolgens weer uitgehaald. Zoals verwacht is de vorm van de temperatuurlijn een logaritmische functie. De temperatuurverandering is immers een functie van het temperatuurverschil tussen sensor en omgeving. Dit verschil wordt steeds kleiner, zodat de sensor steeds langzamer afkoelt. Na een half uur is de temperatuur van de sensor praktisch weer terug op de beginwaarde (het verschil is dan kleiner dan 5% van het verschil tussen de temperatuurpiek en de begintemperatuur). Zoals verwacht is de temperatuurdaling een stuk langzamer dan de stijging. Het warme water warmt de sensor immers snel op, terwijl de sensor geen extra hulp heeft bij het afkoelen.



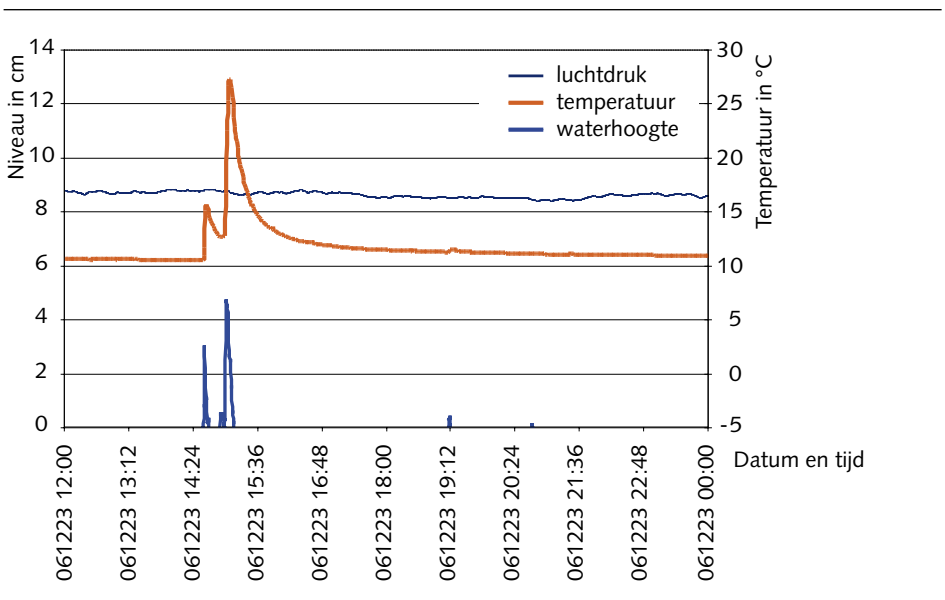
Figuur 3.10 Test lozing warm water in Egmond aan Zee

2 Een soortgelijke test als bij punt 1 vond plaats bij een sensor in het riool. Uiteraard zijn de condities hier wel minder duidelijk gedefinieerd dan bij de emmertest. De sensor zit in de peilbuis vlak bij of op de bodem van de rioolbuis. Vervolgens is 10 liter warm (30-35°C) kraanwater in de bovenstroomse put gegoten (afstand circa 25 meter). Na 7 minuten is in een put verder bovenstrooms ook 10 liter warm water geloosd. In figuur 3.10 ziet u het temperatuurverloop.

De langsdoorsnede en het bovenaanzicht tonen de ligging van de riolering. De sensor hing in put 1. De eerste lozing was in put 2, de tweede in put 3.

Na de temperatuurpiek door de emmer warm water begint de temperatuur te dalen. Na iets meer dan 10 minuten is weer een kleine stijging te zien door de tweede emmer warm water hoger in het stelsel. Het feit dat deze tweede piek zichtbaar is, is hoopgevend voor deze methode. Een lozing van 10 liter warm water is in deze situatie circa 80 meter stroomafwaarts zichtbaar. Het riool stond droog en de sensor hing droog in de inkomende buis.

28 |



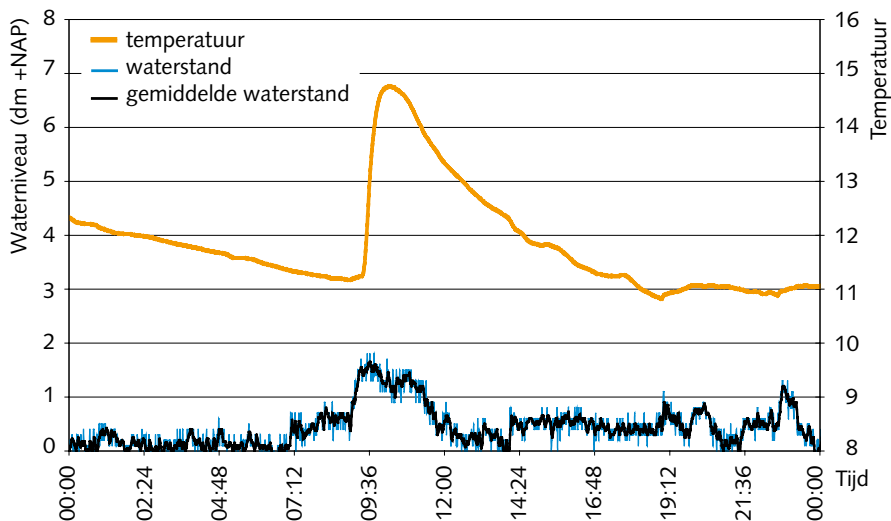
Figuur 3.11 Snelheid afkoeling sensor in leeg riool. Meetlocatie Egmond aan Zee.

De temperatuur neemt langzamer af dan bij de emmertest. De afnamecoëfficiënt is $-0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$ per minuut, terwijl die bij de emmertest $-0,1$ was. Het duurt nu circa een uur voordat de temperatuur tot op 5% van de beginwaarde is gedaald. Dit is logisch, omdat in de peilbuis rondom de sensor water zit dat de sensor enigszins isoleert.

3 Bij een andere meetlocatie in Egmond aan Zee is de snelheid waarmee de temperatuur afneemt ook nader bekeken (zie figuur 3.11). Duidelijk te zien is dat de waterstand (blauwe lijn) twee keer even stijgt, maar dat er geen water bij de sensor blijft staan. Ook zijn kort (20 minuten) na elkaar twee temperatuurpieken zichtbaar. Na anderhalf uur is de temperatuur weer bijna gelijk aan de begintemperatuur. Dat komt aardig overeen met de twee andere testen.

Ook zijn situaties gemeten waar de temperatuurdaling veel trager is (zie figuur 3.12). In figuur 3.12 is duidelijk te zien dat de waterstand (zwarte lijn) niet direct weer zakt. Opmerkelijk is dat de waterstand een half uur eerder stijgt dan de temperatuur. Dit komt doordat tussen 9 en 10 uur $1,2\text{ mm}$ neerslag is gevallen. De temperatuur zakt langzaam; het duurt ongeveer 6 uur voordat die weer terug is op de oude waarde. Dit komt waarschijnlijk doordat rond de sensor een laagje water blijft staan, dat de warmte vasthoudt.

| 29



Figuur 3.12 Opmerkelijk trage afkoeling sensor. Temperatuur en waterstanden 10 december 2006

3.2.2 Schagen

In Schagen vonden de metingen plaats in een nieuw, constant gevuld hemelwaterstelsel. In figuur 3.13 ziet u een overzicht van de meetpunten.



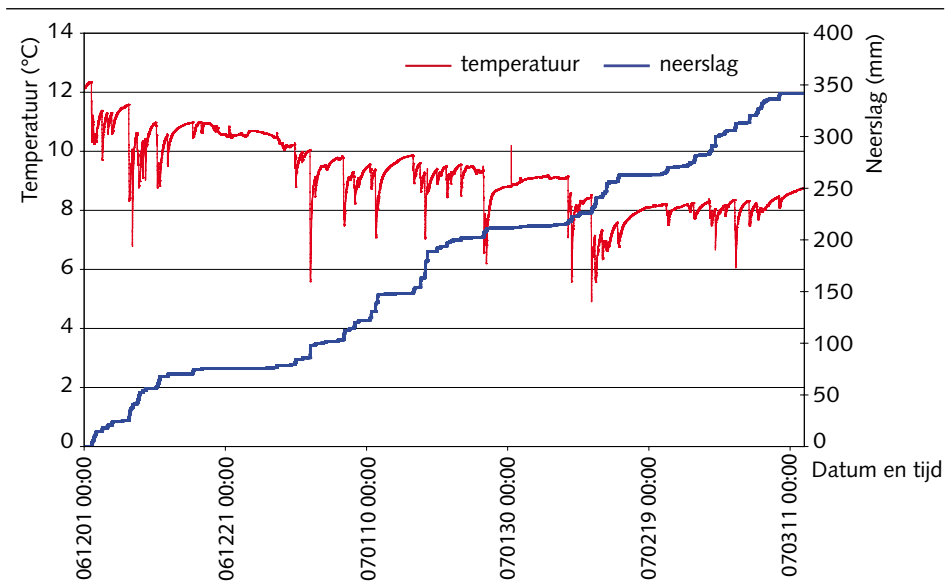
Figuur 3.13 Meetlocaties in Schagen

Meetperiode

De meetperiode liep van 30 november 2006 tot 14 maart 2007. In deze drieënhalve maand was het zeer nat: er viel ruim 340 mm neerslag. Normaal gesproken valt in deze periode van het jaar ongeveer 230 mm.

De grafieken van de temperatuurmetingen tonen geen foutaansluitingen aan. In geen enkele meting is iets gevonden. Hierdoor is niet te zeggen of dit ligt aan het gevulde stelsel of dat er geen foutaansluitingen zijn. In figuur 3.14 ziet u de resultaten van een van de meetlocaties in Schagen. De grote hoeveelheid (winter)neerslag zorgt eigenlijk alleen voor temperatuurdalingen.

Aannemelijk is dat het verdrongen stelsel een groot obstakel is voor het vinden van foutaansluitingen met deze methode. Als het water bij droog weer stilstaat, stroomt de warmte niet langs de sensor. Als het water langzaam stroomt, wordt een mogelijke warmtepiek al gedempt door menging en diffusie. Daarbij gaat het natuurlijk ook om de omvang van en het temperatuurverschil tussen de lozing en het rioolwater. Omdat de temperatuurmeting bij voorkeur dient plaats te vinden over een wat langere periode is het tijdelijk leeg pompen/houden van een leiding vaak geen oplossing.



Figuur 3.14 Meetlocatie de Slenk 11 – de Vaart in Schagen

3.3 Conclusies en aanbevelingen

3.3.1 Conclusies

Werkt de methode?

Voor het aantonen van foutieve vuilwateraansluitingen op een hemelwaterriool zijn continue metingen nodig. Het meten met divers is een eenvoudige methode die relatief weinig inspanning vergt. Het temperatuurverloop over enige weken geeft inzicht in de aanwezigheid van foutaansluitingen.

Deze methode geeft geen inzicht in de exacte locatie van een foutaansluiting. U komt hooguit te weten tussen welke putten een foutaansluiting zit. Daarom is deze methode vooral geschikt om te onderzoeken of er foutaansluitingen zijn en zo ja, in welke strengen of delen van het stelsel deze zitten. Met temperatuurmetingen in een put kunt u een stelsel ook goed monitoren.

Controlemetingen via camera-inspectie lieten zien dat de temperatuurmetingen alle foutaansluitingen die de camera tegenkwam, ook kunnen vaststellen. Voorwaarde is wel dat de diver goed op de bodem ligt. Maar de validatie toont niet aan dat temperatuurmetingen alle foutaansluitingen hebben gevonden.

Is de methode werkbaar en betaalbaar?

Een meetperiode van twee weken is praktisch goed uitvoerbaar. Het is aannemelijk dat in die periode mogelijke foutaansluitingen zichtbaar worden.

De kosten van de benodigde apparatuur zijn zeer beperkt.

Onder welke omstandigheden is de methode bruikbaar?

Voor het goed functioneren van deze methode gelden de volgende voorwaarden:

- Het hemelwaterstelsel moet leeg of praktisch leeg zijn. In gevulde stelsels is deze methode niet bruikbaar. Het water staat dan bij droog weer grotendeels stil, zodat de warmte niet langs de sensor komt of de warmte te veel wordt verdund. Als u het hemelwaterstelsel voor een meetperiode van twee weken kunt leegzetten, zijn temperatuurmetingen weer wel geschikt.
- De hemelwaterriolen moeten onder afschot liggen naar de putten. In een volledig horizontaal liggend hemelwaterstelsel is het niet zeker of een warmwaterlozing langs de sensor komt. Heeft uw gemeente een stelsel met alle huisaansluitingen op de putten (spinnepop)? Dan kunt u wel in de putten laten meten.
- De methode is het meest effectief in hemelwaterstelsels waarbij de putten geen water bergen of infiltreren. Dat is omdat een enkele meting dan voor een groter bovenstroomsgelegen gebied informatie geeft. Als de bodem van de putten lager is dan die van de leidingen, zijn foutaansluitingen al snel niet meer voorbij de put te zien en moet u per streng laten meten.

Voor het opsporen van foutieve hemelwateraansluitingen op dwa-stelsels zijn de temperatuurloggers ook geschikt. Dan wijst zowel de temperatuurverandering als de stijging van de waterstand bij neerslag op een foutaansluiting.

3.3.2 Aanbevelingen

Gebruik deze methode in hellende en lege stelsels om te onderzoeken of er foutaansluitingen zijn en zo ja, in welke strengen of delen van het stelsel ze zitten.

Deze methode kunt u ook gebruiken om de temperatuur te meten bij opleveringsinspecties van nieuwe rioolstelsels of bij aanpassingen aan rioolstelsels. Juist dan komen fouten nogal eens voor. Als u die snel opspoort, kunt u de herstellkosten makkelijker verhalen.

Voer nader onderzoek uit om de exacte locatie van foutaansluitingen te bepalen. Dankzij de temperatuurmetingen kunt u dit onderzoek gericht doen, dus alleen in de verdachte delen van het stelsel.

4 Temperatuurmeting met glasvezelkabel (DTS) in een leiding

Dit hoofdstuk verkent de praktische mogelijkheden van temperatuurmetingen met een glasvezelkabel in rioolstelsels om foutaansluitingen op te sporen. Eerst komen de techniek en de methode zelf aan bod (paragraaf 4.1), vervolgens vier pilots: in Purmerend, Almere, Eindhoven en Korendijk (paragraaf 4.2).

4.1 Methode en materialen

4.1.1 Techniek

Een glasvezelkabel bestaat uit een lange vezel helder glas, waarmee signalen over een lange afstand zijn te transporteren. De afgelopen jaren is het gebruik van glasvezelkabels toegenomen. In steeds meer woonwijken zorgen glasvezelkabels bijvoorbeeld voor een snelle doorgeve van signalen, zoals van internet en telefonie.

| 33

Nog relatief onbekend is dat met een glasvezelkabel de temperatuur over de lengte van de kabel is te meten. Hierbij stuurt een laser hoogfrequente pulsen de kabel in en wordt het in de kabel weerkaatste lasersignaal gemeten. Het tijdstip van deze reflectie en de mate waarin het signaal is vervormd, zijn een maat voor de locatie en de temperatuur op die locatie. Hiermee is dus een temperatuurbeeld over de lengte van de kabel en het verloop ervan in de tijd te bepalen.

Met het meten van de temperatuur langs een kabel vinden gelijktijdig op ‘elke locatie’ van de glasvezelkabel en nagenoeg continu metingen plaats. Dit is een groot voordeel ten opzichte van het meten met een thermometer, die maar op één meetpunt de temperatuur vaststelt.

Praktijkervaringen

Internationaal is de techniek bekend als ‘Distributed Temperature Sensing’ (DTS). De petrochemische industrie in de Verenigde Staten past deze techniek veelvuldig toe. In Duitsland en Zweden bestaat al enige tijd ervaring met het gebruik van glasvezelkabels voor het detecteren van brand in tunnels en lekkage van stuwdammen (Johansson et al.; 1999/2000). Hiervoor zijn glasvezelkabels in een bepaald patroon aan de teen van de dam of in het dak van de tunnel ingebed.

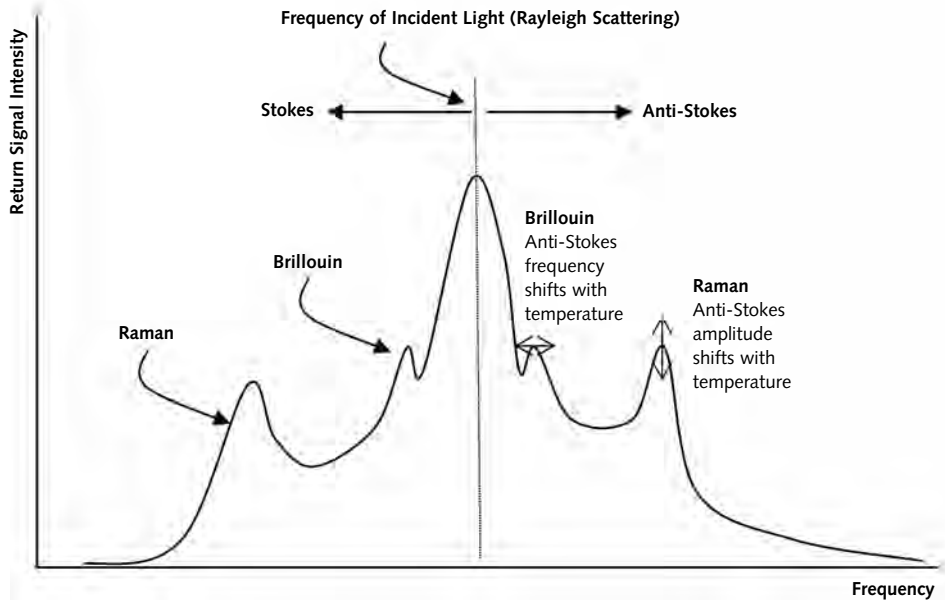
In Nederland zijn de experimenten met glasvezelkabels nog beperkt. De sectie Waterhuishouding van de TU Delft heeft experimenten uitgevoerd om wellen op te sporen met temperatuurmetingen op de bodem van sloten in droogmakerijen (Luxemburg et al.; 2008).

4.1.2 Principe

De DTS-methode gebruikt het principe dat een klein deel van het laserlicht dat door een kabel gaat, wordt gereflecteerd. Dit is de zogenaamde 'Ramanreflectie'. Bij bekende snelheid van het laserlicht door de kabel is te bepalen van welke locatie langs de kabel op een bepaald moment de reflectie wordt waargenomen ($x = u \cdot \Delta t / 2$, waarin 'u' de lichtsnelheid is en ' Δt ' de benodigde tijd).

Van het gereflecteerde signaal zit de meeste energie in het signaal met een frequentie gelijk aan de uitgezonden frequentie. Maar een deel van de energie wordt geabsorbeerd en gereflecteerd met kortere en langere golflengten. Deze qua frequentie verschoven reflectie heet de 'Ramanbackscatter' (zie ook figuur 4.1).

34 |



Figuur 4.1 De Stokes- en Anti-Stokesbackscatter

De reflectie met de langere golflengte heet de 'Stokesbackscatter' en heeft een amplitude die temperatuuronafhankelijk is. De reflectie met de kortere golflengte is wel temperatuurgevoelig. De amplitude van deze 'Anti-Stokesbackscatter' is lineair afhankelijk van de temperatuur. Door de verhouding Stokes/Anti-Stokes te meten, is over de gehele lengte van de kabel de temperatuur te bepalen.

4.1.3 Materiaal

Meetapparatuur

Voor de experimenten is meetapparatuur van Sensornet gebruikt: de Sentinel DTS-LR (zie figuur 4.2) en de HALO-DTS. De specificaties vindt u in tabel 4.1. Voor de opgegeven precisie is een meetinterval van tien minuten nodig. Om de veranderingen van temperatuur in de tijd goed te kunnen waarnemen, is bij de in het riool uitgevoerde experimenten een meetinterval van 30 seconden gebruikt. Daarbij is de behaalde precisie grover (de precisie is dus afhankelijk van het meetinterval!).

	Resolutie	Precisie	Lengte	Vermogen	Gewicht	Kosten
Sentinel DTS-LR	1 m	< 0,01°C	0 - 10 km	120 W	21 kg	€ 45.000
HALO-DTS	2 m	< 0,1 °C	0 - 4 km	40 - 50 W	9 kg	€ 25.000

Tabel 4.1 Verschillen Sentinel DTS-LR en HALO-DTS

Naast Sensornet (zie www.sensornet.co.uk) verkopen diverse andere fabrikanten soortgelijke apparatuur. Bijvoorbeeld Sensortran, EP-sensing, Agilent en Sensa. Het gebruik van Sensornetapparatuur is hier willekeurig. De specificaties van de apparatuur van de diverse andere fabrikanten zijn ongeveer gelijkwaardig. De keuze voor een bepaald DTS-systeem is een afweging tussen de verschillen in apparatuur-specificaties en de gekozen toepassing.



Figuur 4.2 De Sentinel DTS-LR

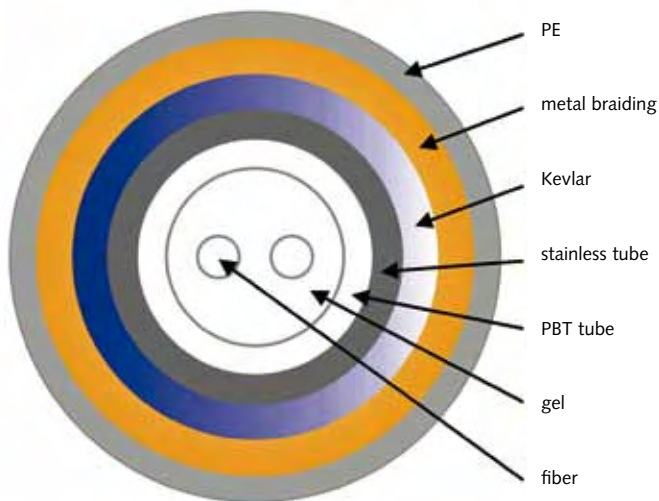
Typen kabels

Voor de pilots zijn twee typen kabels gebruikt:

- een vieraderige polyethyleen grondkabel van de Fockertglasvezeltechniek, Multimode 50/125 μm ;
- een speciaal voor dit type metingen vervaardigde tweeadelige Multimode 50/125 μm , met metaalgewapende polyethyleen kabel van Kaiphone Technology (Taiwan).

De ader van de kabel waarin de feitelijke metingen plaatsvinden, bestaat uit een standaard 250 μm diameter glasvezel. Deze dunne vezel is te kwetsbaar voor gebruik in het veld en wordt daarom door enkele mantels beschermd. De opbouw en specificatie van de Kaiphonekabel ziet u in figuur 4.3. De mantels creëren een voldoende sterk en werkbaar product. Om te voorkomen dat trekspanning op de glasvezelader de temperatuurmetingen beïnvloedt, zit om de aders een laag gel.

Hoewel de mantels bij elkaar een enkele mm dikke bescherm laag vormen, neemt de glasvezelkabel al snel de temperatuur van de omgeving aan. Uit de publicatie van Selker (2006) blijkt dat de reactietijd van een gewapende kabel op temperatuur acceptabel is. Binnen 15 seconden meet de kabel 95% van de werkelijke temperatuur.



Figuur 4.3 Opbouw Kaiphonekabel

4.1.4 Installatie kabel

In de casestudies zijn de glasvezelkabels in het hemelwaterriool getrokken door eerst een touw van put naar put te trekken (zie figuur 4.4) en vervolgens hiermee de glasvezelkabel binnen te halen. Belangrijk is te voorkomen dat er te veel spanning op de glasvezel komt en dat de kabel zelfs wordt stukgetrokken. Daarom is een kabel nodig met door gel omgeven glasvezels en gewapend met metaal en/of kevlar. Dan is het (bijna) onmogelijk om de kabel handmatig kapot te trekken.



Figuur 4.4 Kabel van put naar put trekken

Een doorspuitwagen heeft het touw door de leiding getrokken. Afhankelijk van de afstand tussen twee putten en de lengte van de slang van de doorspuitwagen stond de wagen een of twee putten verder dan het uiteinde van het touw. Door de slang eerst een of twee putten terug te voeren en vervolgens het touw aan de spuitkop vast te maken, is het touw bij het binnenhalen van de slang door het riool getrokken. Het kost circa drieënhalve uur om 1.300 meter kabel door te trekken. Als per slag grotere afstanden zijn te overbruggen, kan het sneller. Met een langer touw en enkele katrollen voor het in- en uitleiden van de kabel is bijvoorbeeld de wrijving te verkleinen.

De kabel kan beter niet in heel scherpe bochten, knikken of lussen in het riool liggen. Op die punten weerkaatst het lasersignaal niet goed. Hoewel de kabelfabrikanten een minimale straal van 2,5 cm opgeven, is het beter als vuistregel een minimale straal van circa 10 cm aan te houden.

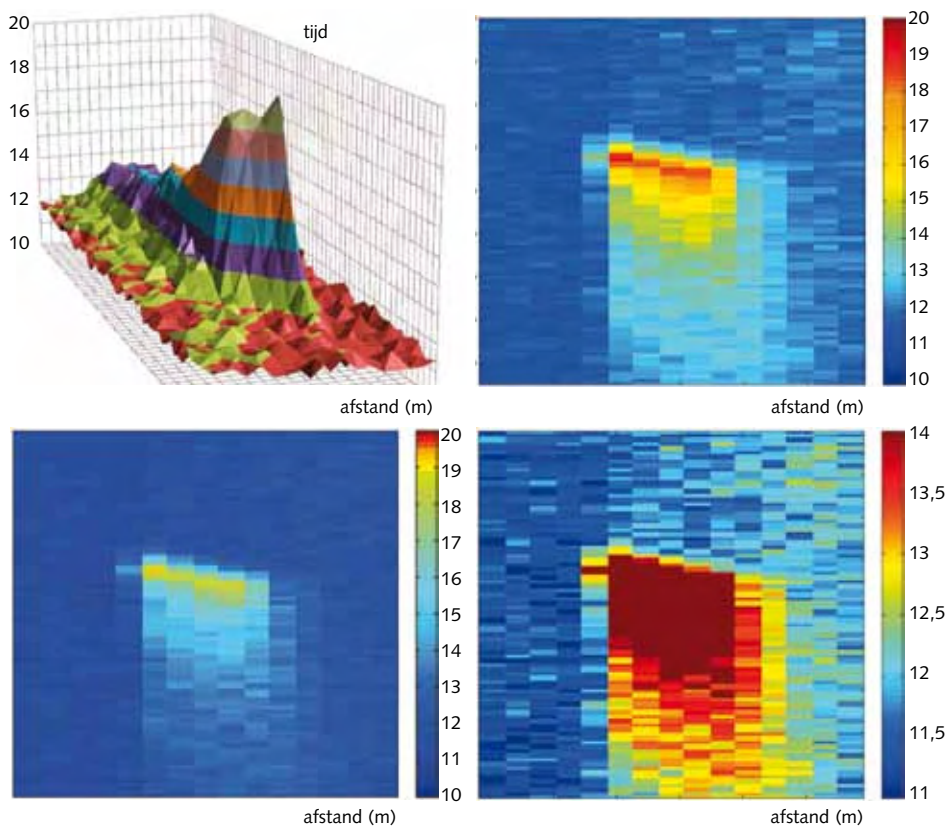
4.1.5 Meetresultaten

Zowel de Sentinel DTS-LR als de HALO-DTS leveren na aansluiting van de glasvezel-kabel vrijwel direct temperatuurgegevens. Beide slaan deze gegevens per tijdsstap op in een gegevensbestand. Als een Sentinel DTS-LR met een meetinterval van 30 seconden gedurende een week in een stelsel metingen doet, slaat het apparaat 20.160 gegevensbestanden op. Is de kabel 1.000 meter lang, dan bevat de gegevensset meer dan twintig miljoen afzonderlijke temperatuurwaarnemingen. Deze aantallen zijn redelijkerwijs niet met afzonderlijke thermometers of temperatuurloggers te meten.

Om de gegevens te visualiseren, moeten de afzonderlijke gegevensbestanden in een database worden ingelezen (zie tabel 4.2 en figuur 4.5).

Tabel 4.2 Voorbeeld samengevoegde temperatuurgegevens (afstand, tijd) in °C. Korendijk 4 april 2008

	Tijd:									
	4:22:00	4:22:30	4:23:00	4:23:30	4:24:00	4:24:30	4:25:00	4:25:30	4:26:00	4:26:30
Afstand:										
1160 m	11,64	11,14	11,39	11,37	11,15	11,28	11,29	11,88	11,69	11,41
1162 m	11,56	11,44	11,37	11,64	11,19	11,23	11,72	11,53	11,35	11,67
1164 m	11,71	11,50	11,58	11,36	11,44	11,49	11,16	11,53	11,02	11,03
1166 m	11,39	10,93	11,35	11,40	11,62	11,04	11,53	10,83	11,43	11,12
1168 m	11,20	11,15	11,63	10,94	11,76	10,81	11,28	11,41	11,34	11,41
1170 m	12,31	11,55	11,95	12,19	12,07	12,42	12,72	12,97	13,95	13,97
1172 m	14,29	14,23	14,79	15,58	15,24	15,93	16,71	18,19	19,33	18,74
1174 m	15,36	15,61	15,73	16,12	16,57	16,90	17,56	18,41	18,04	16,41
1176 m	15,94	16,60	16,74	17,40	17,56	18,36	18,73	17,56	16,13	14,74
1178 m	16,76	17,14	17,58	17,80	18,26	18,42	18,16	16,02	14,96	13,33
1180 m	15,82	16,25	15,86	16,16	16,74	16,42	15,92	14,12	13,90	12,22
1182 m	13,91	13,00	13,60	12,88	13,19	13,25	12,81	12,72	12,33	12,07
1184 m	12,78	12,79	12,53	13,07	12,71	12,37	12,86	12,46	12,13	11,93
1186 m	12,33	12,40	11,59	11,98	11,61	11,97	12,55	12,19	12,00	11,89
1188 m	12,16	12,35	11,84	12,18	11,97	11,78	11,84	12,13	11,70	11,94
1190 m	12,02	11,79	12,03	11,83	11,84	12,14	11,49	12,24	12,01	11,87



Figuur 4.5 Temperatuurgegevens (°C) in Excel (linksboven) en Matlab, Korendijk 4 april 2008

Let op de verschillende temperatuurlegenda's. Deze zijn in Matlab naar behoefte zodanig bij te stellen, dat de verschillen in tijd en ruimte goed zichtbaar zijn. Voor grotere gegevenssets is Excel met maximaal 256 kolommen te beperkt.

4.1.6 Productie en kosten

Na enkele keren oefenen duurt het trekken van een 1.300 meter lange kabel circa 3,5 uur. Het verwijderen uit het riool en het oprollen van de kabel duren samen circa 2 uur. Meet altijd meerdere dagen achter elkaar, bijvoorbeeld op twee werkdagen en in een weekend. Tijdens de metingen hoeft niemand bij de apparatuur te blijven. Afhankelijk van de resultaten en het vervolgonderzoek kost het verwerken van de metingen een dag. Bij geconstateerde foutaansluitingen kunt u de kabel het best laten liggen. Dan kunt u na aanpassing van de aansluitingen een controlemeting laten doen.

De kosten zijn afhankelijk van meerdere factoren, zoals:

- de lengte van de kabel;
- de duur van het experiment;
- de locatie van de meting;
- de wijze van het inbrengen van de kabel.

4.2 Casestudies

Om de mogelijkheden van de techniek in de praktijk te ervaren, zijn vier gemeenten benaderd om mee te werken aan de pilots: Purmerend, Almere, Eindhoven en Korendijk. In elke gemeente vond een veldexperiment plaats: in Almere en Purmerend in een verdrongen stelsel, in Eindhoven en Korendijk in een leeg stelsel. Vervolgens is in Groningen in samenwerking met Leitec-InfraScan een aanvullend experiment uitgevoerd. Hierbij vonden in hetzelfde stelsel gedurende een week metingen plaats in verdrongen toestand en een week in lege toestand. Deze paragraaf beschrijft de resultaten en ervaringen van de vijf casestudies.

De casestudies verschillen in apparatuur, kabels en stelsels (zie tabel 4.3).

Tabel 4.3 Overzicht en kenmerken casestudies

Par.	Locatie	Lengte	DTS-apparatuur	Type kabel	Kenmerken stelsel
4.2.1	Purmerend	300 m	Sentinel DTS-LR	Kaiphone	Verdrongen stelsel/woonwijk
4.2.2	Almere	270 m	Sentinel DTS-LR	Kaiphone	Verdrongen stelsel/woonwijk
4.2.3	Eindhoven	1.313 m	HALO-DTS	Kaiphone	Leeg stelsel/woonwijk
4.2.4	Korendijk	1.264 m	HALO-DTS	Kaiphone	Leeg stelsel/woonwijk
4.2.5	Groningen	1.160 m	HALO-DTS	Fockert	Verdrongen en leeg stelsel/kantoren

4.2.1 Purmerend

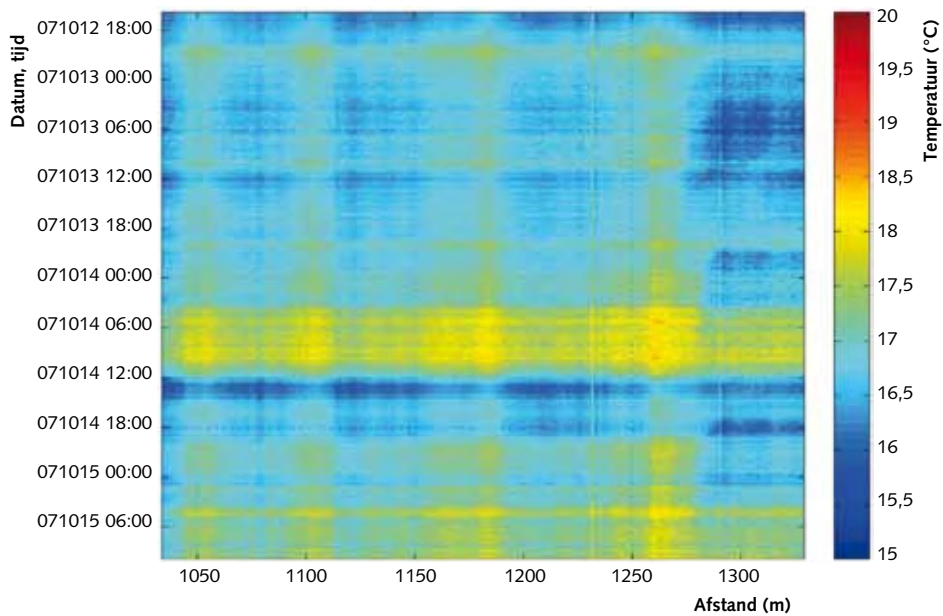
In Purmerend bestond al een vermoeden van foutaansluitingen van afvalwater op het hemelwaterriool. De metingen vonden plaats van vrijdag 12 oktober 2007 tot maandag 15 oktober 2007 in het gescheiden stelsel van de Boterbloem in Purmerend. In totaal is circa 300 meter kabel in het riool gebracht, overeenkomstig de gele lijn in figuur 4.6. Op de locatie bij 1.030 m stond de computer bij een bewoner in de garage.

De metingen in Purmerend vonden plaats in een verdrongen hemelwaterriool. Dit is een stelsel dat onder alle omstandigheden is gevuld met water, dus ook als het niet regent. Tijdens het trekken van de glasvezeldraad zijn in het riool geen restanten van fecaliën of vuil aangetroffen. Wel zat in één put van het hemelwaterriool een dikke laag gasolie/diesel.

Het resultaat van de metingen ziet u in figuur 4.7. Op de verticale as staat de datum, op de horizontale as de afstand vanaf 1.030 m naar 1.330 m. De kleurenlegenda heeft een temperatuurbereik van 15°C tot 20°C.



Figuur 4.6 Meetlocatie in Purmerend



Figuur 4.7 Resultaten temperatuurmeting in Purmerend

In tabel 4.4 staan de maximum- en minimumtemperatuur, de relatieve zonneshijnduur en de neerslag op het KNMI-station Schiphol.

Tabel 4.4 Weer op KNMI-station Schiphol tijdens meetperiode in Purmerend

Datum	T. max. (°C)	T. min. (°C)	Rel. zonneshijnduur (%)	Neerslag (mm)
Vr 12 okt 2007	18,0	9,3	44	0,0
Za 13 okt 2007	17,4	7,3	73	0,0
Zo 14 okt 2007	17,2	6,8	91	0,0
Ma 15 okt 2007	17,5	6,4	36	0,0

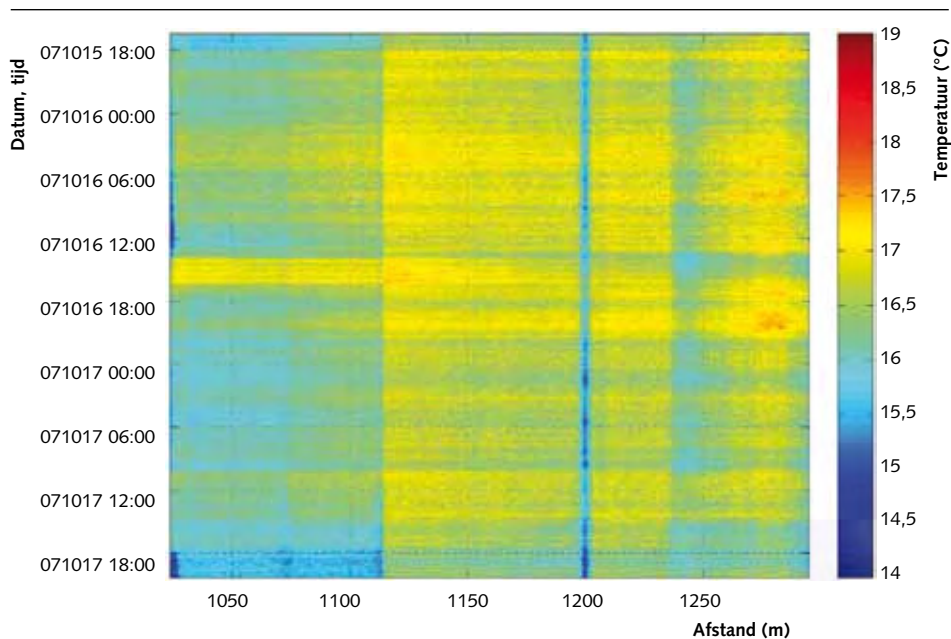
In de meetresultaten (zie figuur 4.7) is het dag- en nachtritme vertraagd te zien. Ook de grote relatieve zonneshijnduur van zondag 14 oktober is zichtbaar. De watertemperatuur tussen de putten is kouder dan bij de putten zelf. Met dit meetresultaat is niet te stellen dat er foutaansluitingen zijn.

4.2.2 Almere

In Almere bestond ook al een vermoeden van foutaansluitingen van afvalwater op het hemelwaterriool. De metingen vonden plaats van maandag 15 oktober 2007 tot woensdag 17 oktober 2007 in het gescheiden stelsel van Zandwierde in Almere-Haven.



Figuur 4.8 Meetlocatie in Almere



Figuur 4.9 Resultaten temperatuurmeting in Almere

In totaal is 270 meter kabel in het verdronken hemelwaterriool gebracht, overeenkomstig de gele lijn in figuur 4.8.

Op 1.025 m zat de instroombak naar het oppervlaktewater. Tijdens het aanbrengen van de glasvezelkabel viel op dat het stelsel veel water afvoerde. Terwijl het in de dagen vóór de meting en op de meetdag zelf droog was. Bij de putten op 1.115 m en 1.200 m kwam het water van verschillende strengen samen (ook van strengen waarin geen metingen plaatsvonden).

Het resultaat van de metingen ziet u in figuur 4.9. Op de verticale as staat de datum, op de horizontale as de afstand vanaf 1.025 m naar 1.295 m. De kleurenlegenda heeft een temperatuurbereik van 14°C tot 19°C.

De verticale blauwe streep op 1.200 m is het gevolg van het feit dat de kabel niet in het water maar over enkele meters in een lus boven het water in de put hangt. Dit is bewust gedaan om een referentiemeetpunt in het stelsel te hebben, waarvan de locatie met de metingen is bepaald.

In tabel 4.5 staan de maximum- en minimumtemperatuur, de relatieve zonneshijnduur en de neerslag op het KNMI-station Schiphol.

Tabel 4.5 Weer op KNMI-station Schiphol tijdens meetperiode in Almere

Datum	T. max. (°C)	T. min. (°C)	Rel. zonneshijnduur (%)	Neerslag (mm)
Ma 15 okt 2007	17,5	6,4	36	0,0
Di 16 okt 2007	17,6	11,0	77	0,0
Wo 17 okt 2007	14,4	8,3	24	6,6

In de metingen is de sprong in luchttemperatuur van circa drie graden van dinsdag 16 oktober op woensdag 17 oktober te zien. Op 1.115 m is een sprong in de rioolwater-temperatuur zichtbaar. Dit komt doordat in de desbetreffende put strengen van meerdere richtingen samenkomen en ook de drainage op het hemelwaterriool is aangesloten. Rond de 1.240 m (koudere wolk) is drainage op het riool aangesloten. Met dit meetresultaat is niet te stellen dat er foutaansluitingen zijn.

4.2.3 Eindhoven

In Eindhoven was al bekend dat er foutaansluitingen van afvalwater op het hemelwaterriool waren, maar nog niet van welke percelen. De metingen vonden plaats van vrijdag 15 februari 2008 tot dinsdag 26 februari 2008 in de Amerikaanse buurt van de wijk Blixembosch.

Tabel 4.6 Weer op KNMI-station Eindhoven gedurende deel meetperiode in Eindhoven

Datum	T. max. (°C)	T. min. (°C)	Rel. zonneshijnduur (%)	Neerslag (mm)
Vr 22 feb 2008	11,0	8,1	0	0,0
Za 23 feb 2008	12,5	6,7	30	0,0
Zo 24 feb 2008	13,2	7,2	31	0,8
Ma 25 feb 2008	11,5	4,8	85	1,6

In totaal is 1.313 meter kabel in het hemelwaterriool van het verbeterd gescheiden stelsel gebracht, overeenkomstig de gele lijn in figuur 4.10. De computer stond naast het rioolgemaal in de Scot Joplinlaan. In tegenstelling tot de metingen in Purmerend en Almere vonden de metingen plaats in een stelsel dat droogstaat als het niet regent. Het diepste punt (12,55 m +NAP) van het hemelwaterriool in de wijk Blixembosch ligt bij het gemaal in de Scott Joplinlaan (0 m). Het hoogste punt (14,65 m +NAP) is gelijk aan het eind van de kabel in de Buddy Boldenlaan (1.313 m). Halverwege de Buddy Boldenlaan ligt een streng die put 20 (1.086 m) met put 10 (550 m) verbindt. Bij een hoge waterstand in het riool kan het water ook via deze kortere route naar het gemaal stromen.



Figuur 4.10 Meetlocatie in Eindhoven

Het resultaat van de metingen ziet u in figuur 4.11. Op de verticale as staat de datum, op de horizontale as de afstand vanaf 0 m naar 1.313 m. De kleurenlegenda heeft een temperatuurbereik van 10°C tot 25°C.

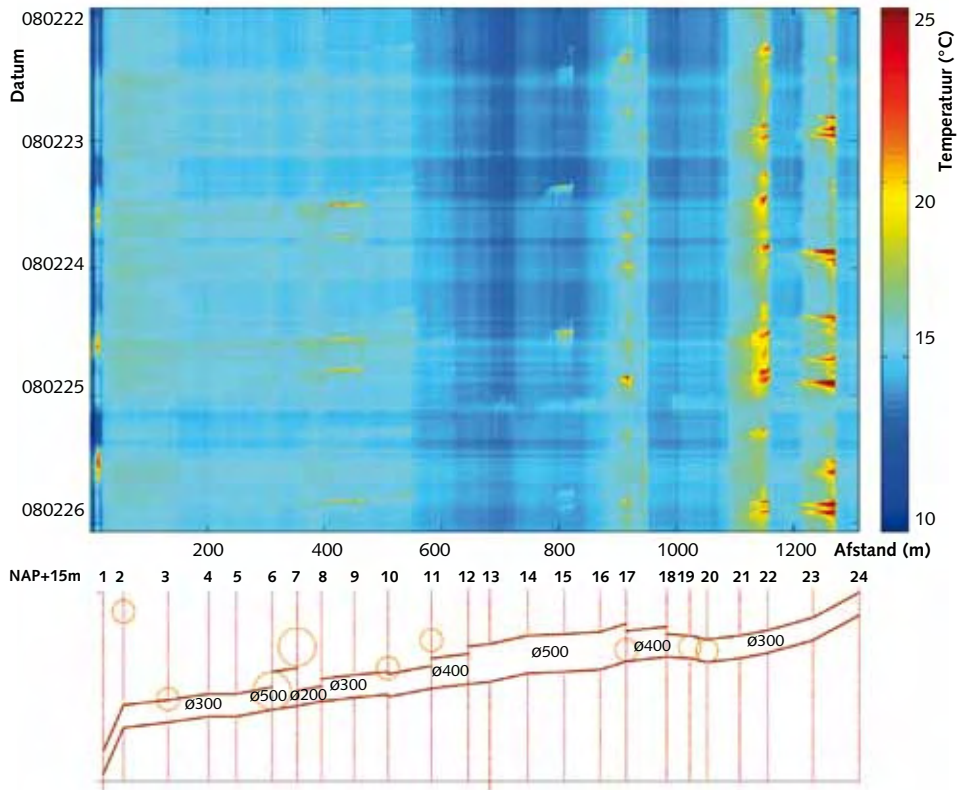
De gele en rode vlekken duiden op een sprong in de temperatuur, veroorzaakt door foutaansluitingen. Vooral na 1.100 m zijn verschillende locaties te zien waar het rioolwater incidenteel meer dan 20°C is. Met name van de locatie op 1.270 m is goed te zien dat elke avond rond elf uur de temperatuur flink oploopt. De oorzaak is mogelijk een vaatwasmachine of een dergelijk apparaat dat loost op het hemelwaterriool.

Als het niet regent, neemt het debiet in benedenstroomse richting (naar links in de figuur) toe door aangesloten drainage en water van foutaansluitingen. Hierdoor zijn de incidentele sprongen in watertemperatuur wel waarneembaar, maar minder groot. Dit komt doordat een deel van de warmere lozing zich mengt met het meer dominant aanwezige koudere water.

Zichtbare locaties

Van bovenstrooms richting het gemaal benedenstrooms zijn de volgende locaties zichtbaar (op verzoek van de gemeente zijn de huisnummers weggelaten):

- 1.270 m op de kabel. Dit is exact op de erfgrans tussen de twee adressen aan de even



Figuur 4.11 Resultaten temperatuurmeting in Eindhoven. De figuur onderaan geeft de hoogteligging van het riool weer. De nummers 1 tot en met 24 corresponderen met inspectieputten.

zijde van de Buddy Boldenlaan en twee adressen aan de oneven zijde. De huizen staan hier recht tegenover elkaar, waardoor geen uitspraak is te doen welk van deze vier huizen verkeerd is aangesloten.

- 1.159 m op de kabel. Deze locatie is recht voor de voordeur van een perceel.
- 1.153 m op de kabel. Deze locatie is recht voor de voordeur van een perceel.
- 949 m op de kabel. In deze put komt de streng van het hemelwaterriool van voor de huizen Buddy Boldenlaan 33 tot 49 bij de streng met de kabel samen. Vermoedelijk is een van deze huizen verkeerd aangesloten.
- 920 m op de kabel. Deze locatie is recht voor de voordeuren van twee percelen aan de Buddy Boldenlaan. Deze huizen staan recht tegenover elkaar, waardoor geen uitspraak is te doen welk van deze twee huizen verkeerd is aangesloten.
- 821 m op de kabel. Dit is recht voor de voordeur van een perceel aan de Count Basiegracht.
- 551 m op de kabel. Dit is de put op de kruising Louis Armstronglaan en de Ella

Fitzgeraldlaan. In deze put komt het water uit twee andere strengen samen bij het tracé van de kabel. Vermoedelijk zijn op een van deze twee strengen een of meerdere huizen verkeerd aangesloten.

- 472 m op de kabel. Dit is ter hoogte van een perceel aan de Ella Fitzgeraldlaan. Bij het verwijderen van de glasvezeldraad zaten hier enkele lussen in de draad en veel rotzooi, zoals maandverband en babydoekjes. Hierdoor is niet met zekerheid vast te stellen dat dit perceel daadwerkelijk foutief is aangesloten.

Rookproef

In de Buddy Boldenlaan heeft de gemeente Eindhoven ook een rookproef op het vuilwaterriool uitgevoerd. Van de 56 panden kwam bij tien panden rook uit de dakgoot. Van deze tien panden zijn er twee verkeerd op het hemelwaterriool aangesloten. Kennelijk is de verdeling op de Buddy Boldenlaan als volgt:

- acht panden met de hemelwater- en vuilwaterafvoer op het vuilwaterriool;
- drie panden met de hemelwater- en vuilwaterafvoer op het hemelwaterriool;
- twee panden met de hemelwaterafvoer op het vuilwaterriool en de vuilwaterafvoer op het hemelwaterriool.

4.2.4 Korendijk

In Korendijk was ook al bekend dat er foutaansluitingen van afvalwater op het hemelwaterriool waren, maar nog niet van welke percelen. De metingen vonden plaats van vrijdag 28 maart 2008 tot woensdag 16 april 2008 in het verdronken stelsel van de wijk Goudswaard-Oost. In totaal is 1.264 meter kabel in het hemelwaterriool gebracht, overeenkomstig de gele lijn in figuur 4.12. De computer stond naast het rioolgemeal op de hoek Korenmaaijer/Polderboom.

Tabel 4.7 Weer op KNMI-station Rotterdam op vrijdag 4 april 2008

Datum	T. max. (°C)	T. min. (°C)	Rel. zonneschijnduur (%)	Neerslag (mm)
Vr 4 apr 2008	11,6	5,0	0	0,4

De gemeente heeft de riolering ooit als verbeterd gescheiden stelsel aangelegd. Hiervoor heeft zij destijds twee koppelputten aangelegd, waarmee een deel van het water uit het hemelwaterstelsel via het diepergelegen vuilwaterstelsel afvoert naar de zuivering. Na klachten uit de buurt heeft de gemeente onlangs een gemeal aangelegd, dat afvoert naar de zuivering en stilvalt tijdens hevige neerslag. Daarnaast heeft zij de koppelputten dichtgezet.

Net als in Eindhoven vonden de metingen plaats in een leeg stelsel. Hiervoor zijn de twee koppelputten tijdelijk opengezet, waardoor het hemelwaterstelsel altijd in open verbinding staat met het vuilwaterriool.



Figuur 4.12 Meetlocatie in Korendijk

Het resultaat van de metingen op vrijdag 4 april 2008 ziet u in figuur 4.13. Op de verticale as staat de datum, op de horizontale as de afstand vanaf 0 m naar 1.264 m. De kleurenlegenda heeft een temperatuurbereik van 4°C tot 18°C.

Figuur 4.13 geeft onderaan de ligging van het riool weer. De nummers 1 tot en met 26 corresponderen met de putten, geteld vanaf het gemaal. Bij de koppelingen heeft het hemelwaterstelsel een verbinding met het vuilwaterstelsel.

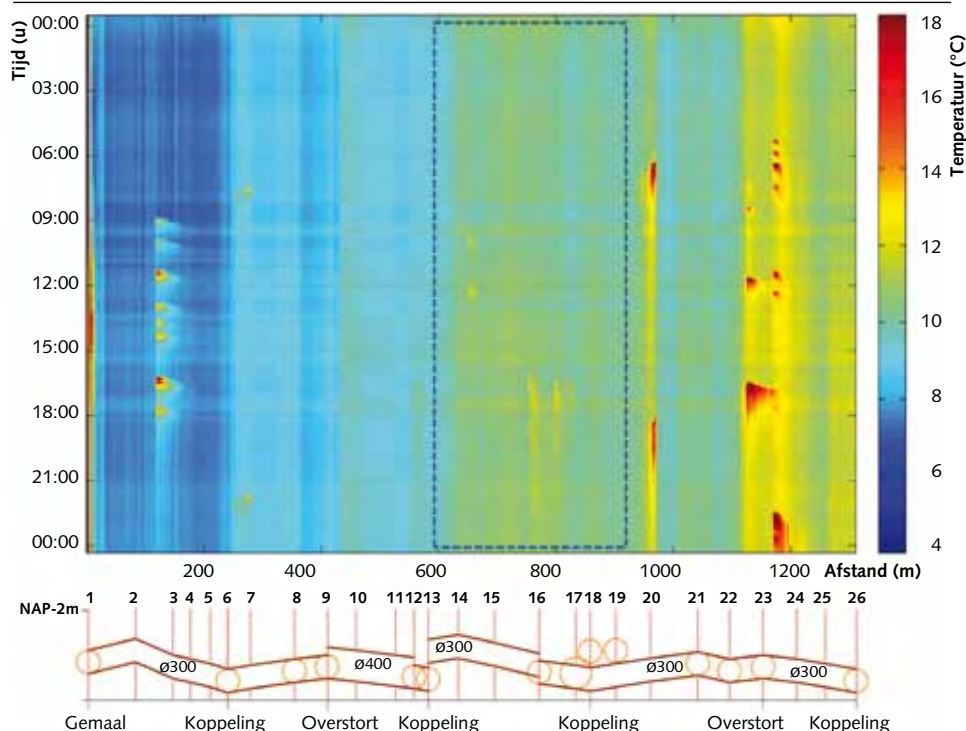
Overlappingsen

De wijk is met de kabel in vier lussen verdeeld. Op een enkel stukje na (bij 753 m) is zo de hele wijk bemeten. Enkele locaties komen in de metingen twee keer voor:

- De overstort naar het oppervlaktewater bij put 9 is gelijk aan de overstort bij put 23.
- Koppelput 13 tussen het hemelwater- en vuilwaterstelsel is gelijk aan koppelput 18.
- Koppelput 6 is gelijk aan koppelput 26.

Verkeerde aansluitingen

Overdag en 's avonds kwam op verschillende locaties warm water in het hemelwaterstelsel. Op 1.171 m, 1.128 m, 970 m, en 120 m komen regelmatig warme lozingen voor. Met deze resultaten is bij de huizen aangebeld waarvan de locatie



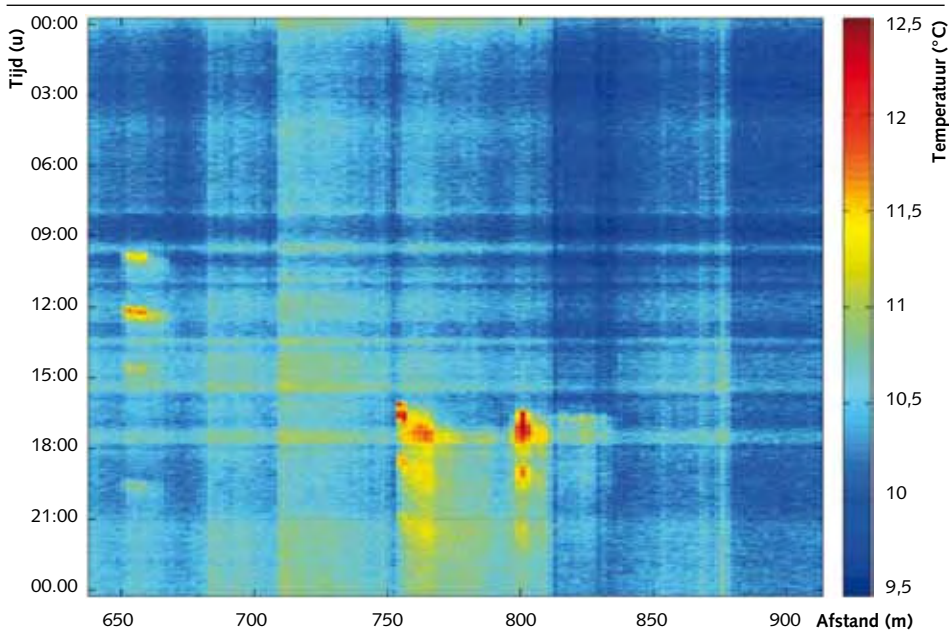
Figuur 4.13 Resultaten temperatuurmeting in Korendijk, vrijdag 4 april 2008

correspondeert met de afstand op de kabel. Al deze huizen blijken ook daadwerkelijk verkeerd te zijn aangesloten. Dit is gecheckt door:

- De wc door te trekken, terwijl in de straat de deksels van de putten van het vuilwater- en hemelwaterriool eraf waren. Enkele seconden later was in het hemelwaterstelsel duidelijk het vallen van water te horen.
- De warmwaterkraan te openen, terwijl de computer metingen verricht. Een à twee minuten later was op de monitor lokaal een temperatuurstijging van enkele graden te zien.
- De bewoners herkenden het patroon: “mijn zoon heeft gisteravond op dat tijdstip onder de douche gestaan” en “ik heb rond dat tijdstip de wasmachine aan gehad”.

Daarnaast is op 280 m twee keer kortstondig een lichte temperatuurstijging te zien. De oorzaak is nog niet bekend. Tussen de 600 m en 800 m zijn vaag enkele gele vegen te zien. Figuur 4.14 zoomt in op dit gebied; de kleurenlegenda heeft hier een temperatuurbereik van 9,5°C tot 12,5°C.

Bij dit bereik zijn kleinere temperatuurverschillen zichtbaar: op 652 m, 754 m en 800 m is incidenteel de temperatuur circa 1°C à 1,5°C warmer.



Figuur 4.14 Resultaten temperatuurmeting in Korendijk, vrijdag 4 april 2008 tussen 650 m en 900 m

4.2.5 Groningen

In het hemelwaterriool van de Rozenburglaan/Eemsgolaan in Groningen vonden gedurende een week metingen plaats in verdrongen toestand en een week in lege toestand. Het doel hiervan was om te bepalen of het waargenomen warme water in het lege stelsel ook in verdrongen toestand waarneembaar is. De metingen in verdrongen toestand waren van donderdag 19 juni 2008 tot vrijdag 26 juni 2008, in lege toestand van vrijdag 26 juni 2008 tot vrijdag 4 juli 2008. In totaal is 1.160 meter kabel in het hemelwaterriool gebracht, overeenkomstig de gele lijn in figuur 4.15. Deze metingen vonden in samenwerking met Leitec-InfraScan plaats.

Op donderdag 3 juli heeft het flink geregend; in de middag en avond viel van vier tot twaalf uur bijna 12 mm neerslag (zie tabel 4.8).

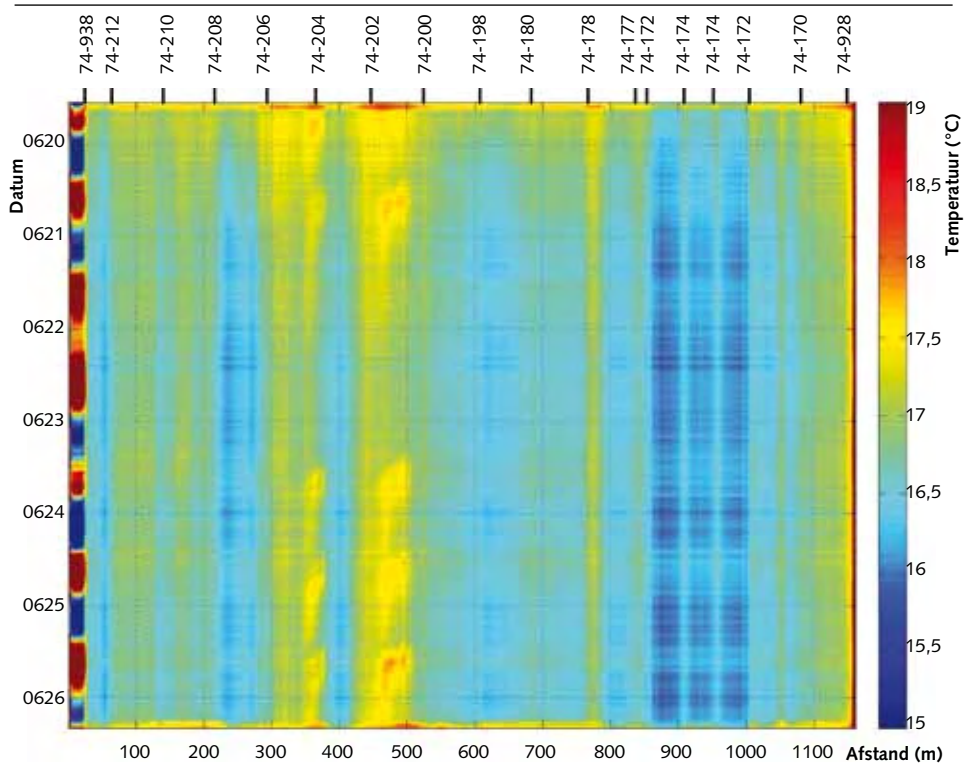
Tabel 4.8 Weer op KNMI-station Groningen (Eelde) tijdens meetperiode in Groningen

Datum	T. max. (°C)	T. min. (°C)	Rel. zonneschijnduur (%)	Neerslag (mm)
Do 19 jun 2008	19,7	11,6	29	3,2
Vr 20 jun 2008	21,3	11,1	58	0,0
Za 21 jun 2008	23,0	11,9	26	0,0
Zo 22 jun 2008	27,4	14,2	37	0,0
Ma 23 jun 2008	18,8	5,8	34	0,0
Di 24 jun 2008	20,4	4,0	77	0,0
Wo 25 jun 2008	25,8	10,6	53	0,0
Do 26 jun 2008	22,9	12,9	70	0,0
Vr 27 jun 2008	20,4	12,4	38	2,1
Za 28 jun 2008	21,8	13,1	15	6,4
Zo 29 jun 2008	21,9	12,4	44	0,0
Ma 30 jun 2008	22,5	10,3	87	0,0
Di 1 jul 2008	27,8	11,5	81	0,0
Wo 2 jul 2008	34,3	15,0	71	2,3
Do 3 jul 2008	25,4	14,6	14	11,6

| 51



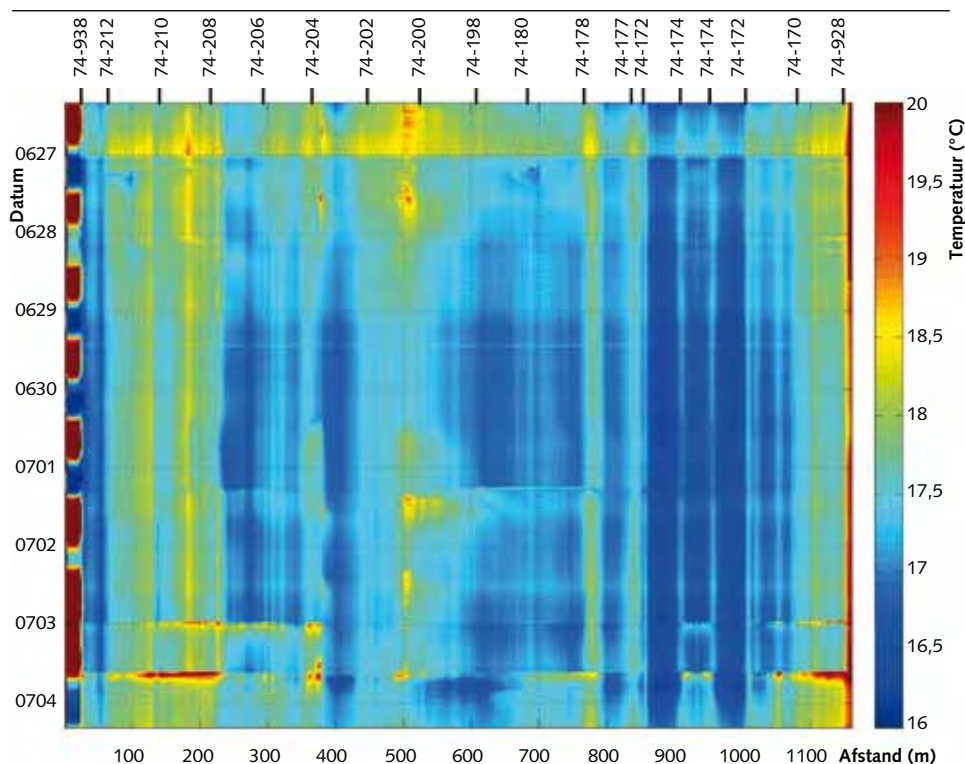
Figuur 4.15 Meetlocatie in Groningen



Figuur 4.16 Resultaten temperatuurmeting in Groningen in (vol) verdronken stelsel

Het resultaat van de metingen ziet u in de figuren 4.16 en 4.17. Op de verticale as staat de datum, op de horizontale as de afstand vanaf 0 m naar 1.160 m. In beide metingen komen horizontale en verticale patronen voor. Deze zijn in het lege stelsel (figuur 4.17) duidelijker te zien dan in het volle verdronken stelsel (figuur 4.16). Horizontale banen zijn het gevolg van het dag-nachtritme van het rioolwater. Kennelijk kan de watertemperatuur in een bijna leeg stelsel de buitentemperatuur makkelijker volgen. Verticale banen kunnen het gevolg zijn van putten, aansluitingen van uitleggers of scherpe knikken in de kabel op de betreffende locaties.

In zowel verdronken als lege toestand komen op werkdagen op 379 m en 505 m warmere lozingen voor (21,5°C), maar in het weekend niet (op 21, 22, 28 en 29 juni). Toch is het aan te bevelen metingen in een (nagenoeg) leeg stelsel uit te voeren. De temperatuurverschillen zijn dan groter, waardoor de kans kleiner is dat u een foutaansluiting over het hoofd ziet.



Figuur 4.17 Resultaten temperatuurmeting in Groningen in leeggepompt stelsel

De locatie op 379 m is exact 11 m na put 74.204 en 70 m vóór put 74.202. De locatie op 505 m is 56 m na put 74.202 en 22 m vóór put 74.200. Op deze locaties heeft de gemeente de uitleggers opgegraven. Deze bleken inderdaad op het verkeerde riool te lozen. De afstanden in de figuren 4.16 en 4.17 zijn bepaald door win twee putten een emmer warm water te legen en zo de plaats van de putten in de grafiek te bepalen.

Overige opmerkingen

- De eerste 27 meter van de kabel ligt niet in het riool. De grote verschillen zijn dan ook het gevolg van het dag- en nachtritme van de buitenluchttemperatuur.
- In de figuren 4.16 en 4.17 is goed zichtbaar dat het deel dat in een lus ligt van put 74.172 richting put 74.174, circa $0,6^{\circ}\text{C}$ à $0,8^{\circ}\text{C}$ kouder is (in de lus zijn de metingen symmetrisch). Waarom is niet duidelijk.
- Goed te zien is dat de neerslag op 3 juli om 16.00 uur de watertemperatuur 2 à 3°C warmer maakt. Maar dit is niet homogeen verdeeld over het riool.
- Vanaf 1.155 m hangt de glasvezelkabel circa enkele meters boven het water.

4.3 Conclusies en aanbevelingen

4.3.1 Conclusies

Werkt de methode?

De casestudies hebben laten zien dat de DTS-methode werkt. Het meten van veranderingen in rioolwatertemperatuur met een glasvezelkabel is een goede indicator voor locaties van foutaansluitingen. De DTS-techniek laat een nagenoeg continu temperatuurbeeld in ruimte en tijd zien. Relatief kleine lozingen met kleine temperatuureffecten zijn op te sporen. Ook de plaats waar de lozing plaatsvindt, is nauwkeurig te bepalen.

54 |

Is de methode werkbaar en betaalbaar?

Het is praktisch mogelijk en betaalbaar om verkeerde aansluitingen op een rioolleiding op te sporen via temperatuurmetingen met een glasvezelkabel.

De kosten zijn afhankelijk van meerdere factoren, zoals:

- de lengte van de kabel;
- de duur van het experiment;
- de locatie van de meting;
- de wijze van het inbrengen van de kabel.

Onder welke omstandigheden is de methode bruikbaar?

De eerste twee casestudies vonden plaats in een verdrongen riool in Purmerend en Almere. In deze stelsels zijn geen foutaansluitingen gevonden. In Almere was in de temperatuurmetingen wel instroom van drainagewater zichtbaar.

In Eindhoven en Korendijk vonden metingen plaats in een leeg stelsel. Hier zijn wel foutaansluitingen gevonden. Met de gebruikte meetresolutie van 2 m in ruimte en 30 seconden in tijd zijn de lozingen tot op huisniveau te traceren.

In Groningen vonden in hetzelfde stelsel gedurende een week metingen plaats in verdrongen toestand en een week in lege toestand. In beide metingen waren foutaansluitingen zichtbaar.

4.3.2 Aanbevelingen

De techniek is geschikt voor toepassing in de praktijk, maar hiervoor zijn wel specifieke expertise en (uitlees)apparatuur nodig. De metingen in deze studie heeft de TU Delft gedaan, die ook over de apparatuur beschikt (van circa € 50.000). Mogelijk gaat een marktpartij (een reinigings- en inspectiebedrijf) de metingen aan gemeenten aanbieden.

De kabel kan beter niet in heel scherpe bochten, knikken of lussen in het riool liggen. Op die punten weerkaatst het lasersignaal niet goed. Hoewel de kabelfabrikanten een minimale straal van 2,5 cm opgeven, is het beter als vuistregel een minimale straal van circa 10 cm aan te houden.

Meet altijd meerdere dagen achter elkaar, bijvoorbeeld op twee werkdagen en in een weekend. Bij geconstateerde foutaansluitingen kunt u de kabel het best laten liggen. Dan kunt u na aanpassing van de aansluitingen een controlemeting laten doen.

In essentie is de methode onder alle omstandigheden (winter/zomer/regen) bruikbaar, zolang er temperatuurverschillen zijn. Toch kunt u de metingen het best op een (nagenoeg) leeg stelsel laten uitvoeren. Dan zijn de temperatuurverschillen groter, waardoor de kans kleiner is dat u een foutaansluiting over het hoofd ziet.

| 55

4.4 Literatuur

Johansson, S. and Farhadiroushan, M.: Fibre-Optic system for temperature measurements at the Lovon dam, Elforsk Rapport 99:36, Stockholm, 25 p., 1999.

Johansson, S., Farhadiroushan, M., and Parker, T.: Application of fibre-optic systems in embankment dams for temperature, strain and pressure measurements – some comparisons and experiences, ICOLD Congress, Beijing, 2000.

Selker, J.S., Thévenaz, L., Huwald, H., Mallet, A., Luxemburg, W.M.J., Giesen, N. van de, Stejskal, M., Zeman, J., Westhoff, M.C., and Parlange, M.B.: Distributed fiber-optic temperature sensing for hydrologic systems, Water Resources Research, Vol. 42, W12202, doi: 10.1029/2006WR00536, 2006.

Luxemburg, W.M.J., Hoes, O.A.C, Westhoff, M.C., Giesen, N. van de, and Selker, J.S.: Identifying seepage in ditches and canals in polders in The Netherlands by distributed temperature sensing 2008.

5 Geluidsmeting met Riosonic

Iedereen die vaker bij een geopende inspectieput heeft gestaan, heeft weleens het water van een aansluiting horen vallen in het riool. Dit fenomeen is te gebruiken om te controleren of een woning op het riool is aangesloten. Vanuit die wetenschap ontstond de gedachte om geluid als detectiemethode te gebruiken om foutaansluitingen op het riool op te sporen.

Om te onderzoeken of geluidsmetingen inderdaad werken, vond eerst een test plaats in de gemeente Uden. Daarbij is vooral gekeken naar de te gebruiken frequenties en geluidsdruk. Deze test was dermate hoopgevend, dat een eerste installatie is gebouwd. Vervolgens vonden in zes gemeenten geluidsmetingen plaats. Op basis van de opgedane ervaringen zijn apparatuur en meetmethode steeds aangepast.

56 |

Dit hoofdstuk behandelt eerst de techniek en de methode zelf (paragraaf 5.1). Vervolgens komen vijf pilots aan bod (paragraaf 5.2).

5.1 Methode en materialen

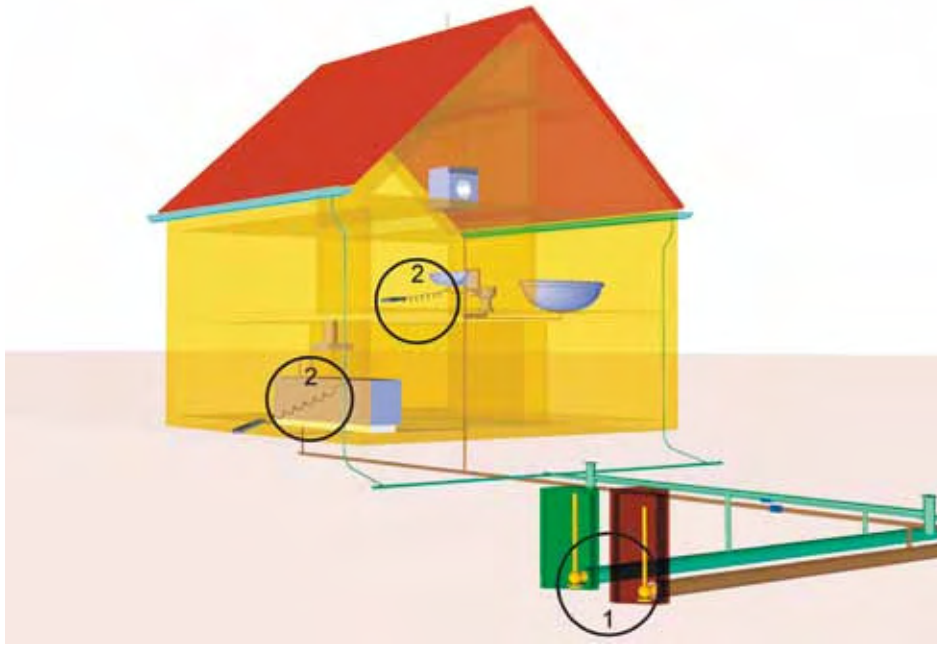
5.1.1 Techniek

De techniek gebruikt de veronderstelling dat er in principe een open luchtverbinding is tussen het lozingstoestel in de woning (of regenpijp) en het riool in de straat. In het riool wordt zowel in het hemelwater- als het vuilwaterriool een geluidsbron geplaatst, elk met een eigen frequentie. De geluidsgolven planten zich in het riool voort en bereiken zo (sterk afgezwakt) de lozingstoestellen in de woning.

In de woning wordt een sensor tegen het lozingstoestel gehouden. Door het ontvangen signaal te versterken en te analyseren, is te bepalen op welk riool het toestel is aangesloten. De ontwikkelde techniek is gepatenteerd onder de naam Riosonic®.

Bewustwording

Bij deze techniek moet elke woning worden bezocht. Maar in de praktijk blijkt dit eerder een voordeel dan een nadeel te zijn. Na het onderzoek weet iedereen in de wijk dat er een gescheiden riolering ligt en waarom deze er ligt. Bewoners weten wat ze er wel en niet op mogen lozen en zullen niet zo snel meer zelf een foutaansluiting maken.



Figuur 5.1 Situatieschema Riosonic

5.1.2 Voortplanting geluid

De voortplanting van geluid in riolen is afhankelijk van de diameter van de riolen en de frequentie van het geluid. De buis functioneert als een golfgeleider. Onder een bepaalde frequentie (de grensfrequentie) kan zich alleen maar een vlakke golf voordoen die zich met 340 m/s voortplant. Een vlakke golf is een golf die in alle richtingen haaks op de voortplantingsrichting, gelijke fysische eigenschappen heeft. De formule voor de grensfrequentie is $f = 340 / (1,7 * D)$. Een belangrijk kenmerk van de vlakke golf is dat deze vrijwel ongevoelig is voor vernauwingen in de leiding (lees: deelvulling met water door verzakkingen).

Een ander kenmerk van geluid is dat hogere frequenties moeite hebben “de hoek om te gaan”. Lage frequenties hebben daar minder last van. Maar lage frequenties komen in de buurt van het natuurlijke achtergrondgeluid in het riool en zijn daar slecht uit te filteren.

De eerste praktijktest in de gemeente Uden gaf als geschikte ondergrens de frequentie 800 Hz en als bovengrens 1500 Hz. Dit zijn de grensfrequenties voor buizen met een diameter van respectievelijk 250 mm en 150 mm. Dit betekent dat de proef-ondervindelijk gevonden frequenties overeenstemmen met de theorie.



Figuur 5.2 Meting trillingen met sensor

Geluidsdrukverlies

Geluidsdrukverlies treedt op bij onder meer:

- aftakking bij de inlaat op het hoofdriool;
- het ontstopningsstuk;
- vervuiling in de huisaansluitleiding (bijvoorbeeld ook wortelingroei);
- tussenputten in de aansluitleiding;
- vertakkingen in de afvoerleidingen (zoals T-stukken).

Met voldoende geluidsdruk zijn toch aanzienlijke afstanden te overbruggen (50 tot 100 m in het hoofdriool + aansluitleiding naar de woning + traject tot wasbakje op zolder).

Trilling

Het voortplanten van geluid doet de buiswand enigszins trillen. De buiswand fungeert dan weer als geluidsbron en dat kan de meting verstoren:

- Grondwater draagt het geluid over naar de andere leiding.
- Via de muur gaat het geluid over naar de andere buis.

Door een juiste filtering en interpretatie van het meetresultaat is dit probleem te ondervangen.

De meettrillende buiswand heeft overigens ook voordelen. Het geluid kan zo ook kleine watersloten passeren. Vooral bij bijvoorbeeld wasbakken en toiletten is dat erg belangrijk. Echte verstoppingen (bijvoorbeeld door verzakkingen) zijn niet te passeren.



Figuur 5.3 Hulpstukken voor plaatsing geluidsbron in rioolput



Figuur 5.4 De speciaal ontwikkelde recorder

Leegpompen

Volledig volle riolen (zoals veel hemelwaterriolen) vormen een obstakel voor het geluid, omdat dit er dan vrijwel niet doorheen kan. Maar als u een stuk riool afsluit en leegpompt, is dat deel in één dag te controleren. Hiervoor verwijdt u aan het eind van de dag de afsluiters en pompt u gedurende de nacht de dagproductie voor de volgende dag leeg.

5.1.3 Materiaal

Geluidsbron

Voor de productie van het geluid wordt een speciaal ontwikkelde installatie gebruikt. Deze wekt de gewenste frequentie op en versterkt die. De installatie zendt het geluid intermitterend (met tussenpozen) uit om het beter te kunnen uitfilteren. Afhankelijk van de plaats van de geluidsbron (in een inspectieput of ontstoppingsputje) is het volume aan te passen. De maximale geluidsdruk is 130 dB (op 1 meter). Zit de geluidsbron in een inspectieput, dan moet het deksel de put afsluiten om geluidsoverlast te voorkomen. Daarom heeft de geluidsbron een afstandsbediening. Veel aandacht is besteed aan hoe de geluidsbron het best in het riool is te plaatsen. In figuur 5.3 ziet u de twee ontwikkelde typen hulpstukken. Links ziet u type 1 voor plaatsing in inspectieputten en rechts type 2 voor plaatsing in huisaansluitputten (minimale diameter 200 mm). Type 2 is speciaal voor de Vlaamse markt ontwikkeld.

Sensor/Recorder

Bij het lozingstoestel in de woning registreert een sensor uiteindelijk de trillingen. Deze sensor wordt bijvoorbeeld tegen het toilet, de wasbak of de buiswand gehouden. Bij een kolk wordt die tegen het stankdekseltje gehouden en bij een schrobputje tegen het vuilvangbakje (of tegen de buiswand als het bakje eruit is). De meting zelf duurt slechts enkele seconden.

De gebruikte sensor heeft met 500 mV/g een zeer hoge gevoeligheid in een meetbereik van 0,0002 – 10 g. Het signaal wordt versterkt en geanalyseerd. Bij de eerste versie gebeurde dat visueel op het scherm van een pda. Later is hiervoor de Riosonic®-recorder ontwikkeld, kortweg: de recorder (zie figuur 5.4).

De huidige functionaliteit van de recorder omvat:

- Ingave type meting:
 - dwa;w
 - rwa.
- Uitvoeren meting.
- Analyseren meting en tonen testresultaat:
 - goed;
 - fout;
 - nader onderzoek.
- Vastleggen datum, tijdstip, meting en meetresultaat.
- Uitwisselen gegevens via usb.

De volgende functionaliteit is nog in ontwikkeling:

- GPRS:
 - downloaden te meten locaties;
 - uploaden meetgegevens.
- GPS:
 - automatische detectie meetlocatie uit lijst;
 - vastleggen meetlocatie (met sirf4 methode in de woning).

De softwaremogelijkheden voor de recorder zullen continu in ontwikkeling blijven. Bij de casestudies is overigens een pda gebruikt. De recorder is pas sinds 1 april 2010 operationeel.



Figuur 5.5 Plaatsing geluidsbron in put

5.1.4 Plaatsing geluidsbron

Het putdeksel wordt geopend met een puthevel om belasting van de rug te voorkomen. Met een uitschuifbare stok is de geluidsbron in riolen tot 5 meter diepte te plaatsen (zie figuur 5.5). De geluidsbron wordt scharnierend opgehangen, zodat deze altijd in de langsrichting van het riool wijst. Deze ophanging is verticaal te verschuiven, zodat de bron ook altijd in het hart van het riool te plaatsen is.

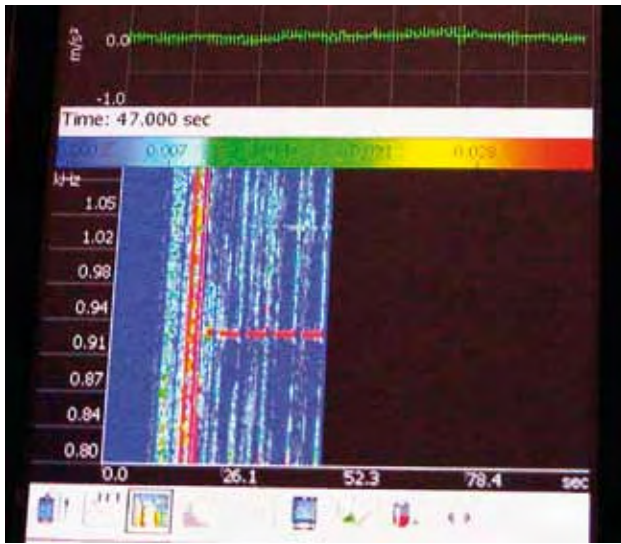
Uit de praktijktesten bleek dat nog enkele ontwikkelingen wenselijk zijn:

- Geluidsbron uitbreiden met detector voor gevaarlijke gassen;
- Makkelijker manier om schuifstok korter en langer te maken; nu is het een draaiknelkoppeling.

5.1.5 Meetresultaten

Omdat de recorder pas sinds 1 april 2010 operationeel is, vonden de casestudies plaats met de visuele beoordeling van het signaal op een pda. De pda heeft hiervoor extra hard- en software gekregen. De hardware is toegevoegd om het signaal van de sensor geschikt te maken voor nadere analyse.

De software voert een “snelle Fouriertransformatie” (FFT) uit. Deze zet een analoge geluidssignaal om in enkele discrete punten (frequenties). Het pda-display toont het resultaat van deze analyse in de vorm van rode stippellijnen (zie figuur 5.6). Zo is meteen te zien of het signaal aanwezig is. Bij een zwak signaal is het belangrijk dat het geluid intermitterend is.



Figuur 5.6 FFT-resultaat op pda-display

De FFT is zodanig in te stellen dat deze alleen plaatsvindt over de bandbreedte waarbinnen de geluidssignalen vallen. Dit vergroot de nauwkeurigheid van de analyse. Ook het display is daarop aan te passen, wat het aflezen vergemakkelijkt.

Naast de FFT toont het display het binnenkomende geluid (zie de groene lijn in het bovenste deel van het scherm in figuur 5.6). Een grote amplitude geeft aan dat er een duidelijk signaal is (rechts). Een lage amplitude geeft aan dat er signaal zwak is (links).

Registratie

De registratie vindt plaats met invulformulieren, die tijdens de pilots op basis van de opgedane ervaringen zijn aangepast. Op het formulier staan de meest voorkomende lozingstoestellen. Waar nodig, zijn andere punten toe te voegen. De nieuwe recorder slaat zelf allerlei data op, dus hiervoor komt nog een nieuw registratieformulier.

Rapportage

In de casestudies zijn de tekeningen soms als pdf-bestand en soms als AutoCad-bestand aangeleverd. Het resultaat van de metingen is hierop met kleuren aangegeven. In paragraaf 5.2 vindt u bij enkele casestudies voorbeelden van rapportages.

Bij de rapportage zitten ook de veldformulieren van locaties waar foutaansluitingen geconstateerd zijn. Bij gebruik van de nieuwe recorder worden de meetresultaten ook als digitaal meetbestand geleverd.

5.1.6 Productie en kosten

Hoeveel woningen per dag zijn te meten, hangt af van het type woningen. De ervaring in de casestudies leert dat op een dag zo'n 30 tot 40 woningen te meten zijn.

De kosten bedragen € 40 tot € 50 per woning. Dit is inclusief:

- opstellen algemene communicatiebrief voor bewoners;
- drukken en verzenden algemene communicatiebrief (doen gemeenten vaak zelf);
- opstellen planning en afspraken maken met bewoners;
- uitvoeren meting;
- rapportage meting.

5.2 Casestudies

De zes casestudies vonden allemaal plaats omdat de gemeenten gereede vermoedens van foutaansluitingen hadden. In tabel 5.1 staan de belangrijkste kenmerken van de studies.

| 63

Tabel 5.1 Belangrijkste kenmerken casestudies

Par.	Locatie	Aantal	Soort	Datum	Type stelsel
5.2.1	Mook en Middelaar	30 woningen	dwa op rwa	sep 2009	Gescheiden stelsel in buitengebied
5.2.2	Eindhoven	Bedrijventerrein	dwa op rwa	sep 2009	Gescheiden stelsel op industrieterrein
5.2.3	Oegstgeest	Steekproef 80/500	rwa op dwa	sep 2009	Gescheiden stelsel in woonwijk
5.2.4	Hengelo	3000+ woningen	rwa en dwa	jan-mei 2010	Gescheiden stelsel in woonwijk
5.2.5	Den Haag	70 woningen	rwa en dwa	nov 2009	Gescheiden stelsel in woonwijk

5.2.1 Mook en Middelaar

Aantal woningen: 30.

Meetdatum: 02-09-2009.

In de Zevenbergseweg (figuur 5.7, linker kader) en de Schildersweg (figuur 5.7, rechter kader) ligt een gescheiden rioolstelsel. Beide leidingen gaan onder de Rijksweg door en vervolgens richting Muldershofweg. Het hemelwater loost op watergang de Grote Siep, het afvalwater gaat via een pomp naar de zuivering.



Figuur 5.7 Meetlocatie Mook en Middelaar

Enige tijd geleden bleek uit controles dat het hemelwater van de Schildersweg verontreinigd was met afvalwater en niet meer op de Grote Siep kon lozen. Om dit te stoppen, heeft de gemeente ter hoogte van de Muldershofweg de hemelwaterleiding gekoppeld aan de vuilwaterleiding. Hierdoor gaat het hemelwater van de Schildersweg en Zevenbergseweg naar de rioolzuivering. Dit geeft bij neerslag een (onnodige) extra belasting op de rioolcapaciteit.

Met de geluidsmetingen zijn de foutaansluitingen opgespoord en inmiddels heeft de gemeente deze hersteld. Nu kan het hemelwater weer lozen op de Grote Siep.

Leerervaring

De geluidsmeting in Mook en Middelaar was de eerste testcase. Tijdens de meting is het erg verleidelijk om bij geconstateerde foutaansluitingen meteen oorzaak en oplossing te gaan uitzoeken, maar dat is niet verstandig. Het kost veel tijd, terwijl niet altijd alle informatie aanwezig is. Het is beter om eerst gewoon te meten en pas achteraf op zoek te gaan naar oorzaken en oplossingen.

Tabel 5.2 Samenvatting rapportage onderzoek riool huisaansluitingen Mook en Middelaar.

Straat	Nr.	rwa goed	rwa fout	dwa goed	dwa fout	Opmerking
Proefstraat	1	x		x		
Proefstraat	2	x		x		
Proefstraat	3		x	x		
Proefstraat	4		x	x		
Proefstraat	5		x	x		
Proefstraat	6		x	x		
Proefstraat	7		x	x		
Proefstraat	8	x		x		
Proefstraat	9		x		x	
Proefstraat	10	x		x		
Proefstraat	11	x		x		
Proefstraat	12	x		x		
Proefstraat	13	x		x		
Proefstraat	14	x		x		
Proefstraat	15	x		x		
Proefstraat	16	x		x		Niet geïnformeerd
Proefstraat	17	x		x		
Proefstraat	18		x	x		
Proefstraat	19	x		x		
Proefstraat	20	x		x		
Proefstraat	21		x	x		
Proefstraat	22		x		x	
Proefstraat	23	x		x		
Proefstraat	24	x		x		
Proefstraat	25	x		x		
Proefstraat	26	x		x		

5.2.2 Eindhoven

Bedrijventerrein.

Meetdatum: 02-09-2009.

Het bedrijventerrein is omgebouwd van een gemengd stelsel naar een verbeterd gescheiden stelsel. De gehele wegconstructie (asfalt) is gereconstrueerd. Gekozen is om per aansluiting twee uitleggers (RWA en gemengd/DWA) aan te leggen en het onderzoek en de definitieve aansluiting later te realiseren, na het onderzoek met de geluidsmetingen.



Figuur 5.8 Meetlocatie in Eindhoven

Dit project was voor de gemeente een testcase voor het toepassen van deze techniek op meer locaties in de gemeente (inmiddels wordt op meer locaties gemeten). Uit het onderzoek bleek een grote aansluiting keurig gescheiden te zijn, deze bestond uit uitsluitend hemelwater. Deze aansluiting kon nu veilig op het hemelwater riool worden aangesloten.

Leerervaringen

Op bedrijventerreinen blijkt dat er vaak geen goede tekeningen van de riolering op eigen terrein aanwezig zijn. Omdat bedrijven vaak aan 2 en soms 3 wegen staan, en omdat ze vaak meerdere aansluitingen hebben, kost het erg veel tijd om dan metingen te verrichten. Bij elke opstelling moeten alle toestellen in het gebouw gecontroleerd worden.

Op het eigen terrein van bedrijven wordt het afvalwater vaak via meerdere tussenputten afgevoerd. Deze putten werken als geluidsdempers. Om toch metingen te kunnen verrichten is verstandig om een put zo dicht mogelijk bij het gebouw te openen. Om het onderzoek goed uit te kunnen zijn tekeningen zeer gewenst en in bepaalde situatie zelfs noodzakelijk.

5.2.3 Oegstgeest

Aantal woningen: 80.

Meetdatum: 29-09-2009.

De gemeente twijfelde over de correctheid van de aansluitingen van hemelwater op het vuilwaterriool in de wijk Poelgeest. Hier staan enkele souterrainwoningen. Bij hevige regen zijn deze meerdere keren ondergelopen met water uit het dwa-riool. In het verleden heeft de gemeente al op verschillende andere manieren geïnspecteerd, zoals met dataloggers in de putten. Maar dit heeft geen bevredigend resultaat opgeleverd. De gemeente kende enkele verdachte locaties. Daarnaast vermoedde zij dat bij de aanleg systeemfouten waren gemaakt, dat hele blokken andersom waren aangesloten.

| 67

De gemeente had op een kaart aangegeven waar de geluidsmetingen moesten plaatsvinden; bij kolken en regenpijpen. De metingen hebben aangetoond dat verschillende kolken verkeerd zijn aangesloten. De verdachte locaties waren enkele grote noodgebouwen. Van twee van de vier noodgebouwen bleken de hemelwaterafvoeren op het dwa-riool aangesloten te zijn.

(Omdat alle aantekeningen op één afdruk staan en de gemeente deze in bezit heeft, is hiervan geen voorbeeld beschikbaar.)

Leerervaring

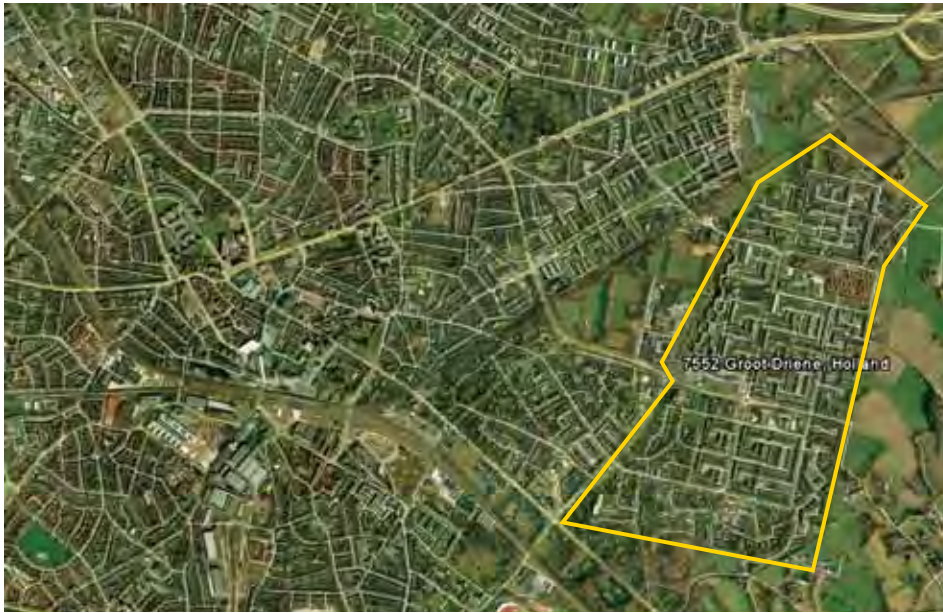
Bij sommige metingen was het signaal van het rwa-riool sterk aanwezig, maar was ook het signaal van het dwa-riool redelijk goed waarneembaar. Het leek alsof er dwarsverbindingen tussen beide stelsels waren. Daarom is van een verkeerd aangesloten kolk de aansluitleiding opgegraven. Er was geen dwarsverbinding. Wel bleken het rwa- en het dwa-riool in het grondwater te liggen. De geluidsbron laat de buiswand trillen en het grondwater droeg deze trilling over op het andere riool. In zo'n situatie registreert de sensor het ene signaal sterk en het andere (zeer) zwak. Bij echte dwarsverbindingen is het tweede signaal veel duidelijker. Dit betekent dat de inspecteur alleen een tweede signaal moet noteren als dit duidelijk waarneembaar is.

5.2.4 Hengelo

Aantal woningen: ruim 3000.

Meetperiode: januari 2010 tot mei 2010.

De gemeente overhandigde tekeningen van de woonwijk Groot Driene (zie ook de kaart in figuur 5.9). Zij vermoedde dat er in die wijk foutaansluitingen zitten, zowel van afvalwater op het hemelwaterriool als van hemelwater op het vuilwaterriool.



Figuur 5.9 Meetlocatie in Hengelo

Om een zo goed mogelijk beeld te krijgen, wilde de gemeente de afvoer van alle ruim 3000 woningen laten controleren. Daarbij lag de nadruk op de vuilwateraansluitingen op het hemelwaterriool. Controle van eventuele foutaansluitingen van kolken op het vuilwaterriool was niet nodig.

Tijdens het meetproject bleek dat de hemelwateraansluitingen vaak via verzamelleidingen achter de woningen ergens anders op het rwa-riool waren aangesloten. Van die verzamelleidingen waren geen revisies beschikbaar. Daarom was het vaak niet mogelijk de rwa in de woning te meten. Als in die gevallen de dwa op het dwa-riool wel goed was te meten, is de conclusie getrokken dat zowel de dwa als de rwa correct is aangesloten.

Communicatie

Omdat bij dit onderzoek veel bewoners zijn betrokken, zijn goede communicatie en planning erg belangrijk. In samenwerking met de gemeente zijn brieven en folders opgesteld om de bewoners te informeren. Ook kregen bewoners de mogelijkheid om op antwoordstrookjes aan te geven op welke dagen en dagdelen ze thuis konden zijn.

Meetresultaten

In tabel 5.3 ziet u de meetresultaten.

Tabel 5.3 Resultaten geluidsmeting in Hengelo

	rwa:				
	Alles goed	Alles fout	Deels fout	Deels niets gem.	Niets gemeten
dwa: Alles goed	1688	18	102	69	747
Alles fout	3		1		1
Alles dubbele meting		1			
Deels fout in woning	17				6
Deels niets gemeten	6	1	4		7
Niets gemeten	5		4		22

Als de dwa en de rwa goed zijn aangesloten, is de aansluiting aangegeven met 'goed' in donkergroen.

Als de dwa goed is aangesloten maar de rwa (deels) fout, is de aansluiting ook 'goed', maar dan in lichtgroen.

Als bij de dwa (deels) niets is gemeten maar de rwa wel, is de aansluiting 'goed' in lichtgroen.

Als de dwa (deels) fout is aangesloten, is de aansluiting 'fout' in rood.

Bij alle overige metingen is nader onderzoek nodig: geel.

Tabel 5.4 Overzicht resultaten dwa op rwa in aantallen en percentages

	Aantal	Procent
Aansluiting in orde	1688	62,5
Aansluiting deels in orde	947	35,0
Foutieve aansluiting	28	1,0
Nader onderzoek	39	1,4
Subtotaal	2702	
Nog niet onderzocht	329	
Totaal	3031	

Tabel 5.5 Foutaansluitingen rwa op dwa in aantal en percentage

	Aantal	Procent
(Deels) fout rwa op dwa	128	4,7

Er is dus maar 1% foutaansluitingen dwa op rwa en 4,7% foutaansluitingen van rwa op dwa. Hier zit geen overlap tussen. Opvallend is het lage percentage foutaansluitingen van dwa op rwa. Dit komt doordat de ontwerpen in de hele wijk veel op elkaar lijken en in korte tijd door twee of drie aannemers zijn aangelegd. Hierdoor was er weinig verwarring over het ontwerp en ontstond snel ervaring in de uitvoering.

Leerervaring

De planning van de eerste week ging uit van een optimistische productie. Alle vijf de werkdagen van de week waren volgepland. Dat bleek niet haalbaar. Voor de bewoners is dat erg vervelend, want zij blijven er speciaal voor thuis. Om teleurstelling en boze telefoontjes van bewoners te voorkomen, is de rest van het project een iets lagere productie aangehouden. Elke dag waren wel een of twee mensen niet thuis. Deze zijn weer meegenomen in de planning van de dagen erna.

70 |



Figuur 5.10 Resultaten op kleurteking

5.2.5 Den Haag

Aantal woningen: 70.

Meetdatum: 24-11-2009.

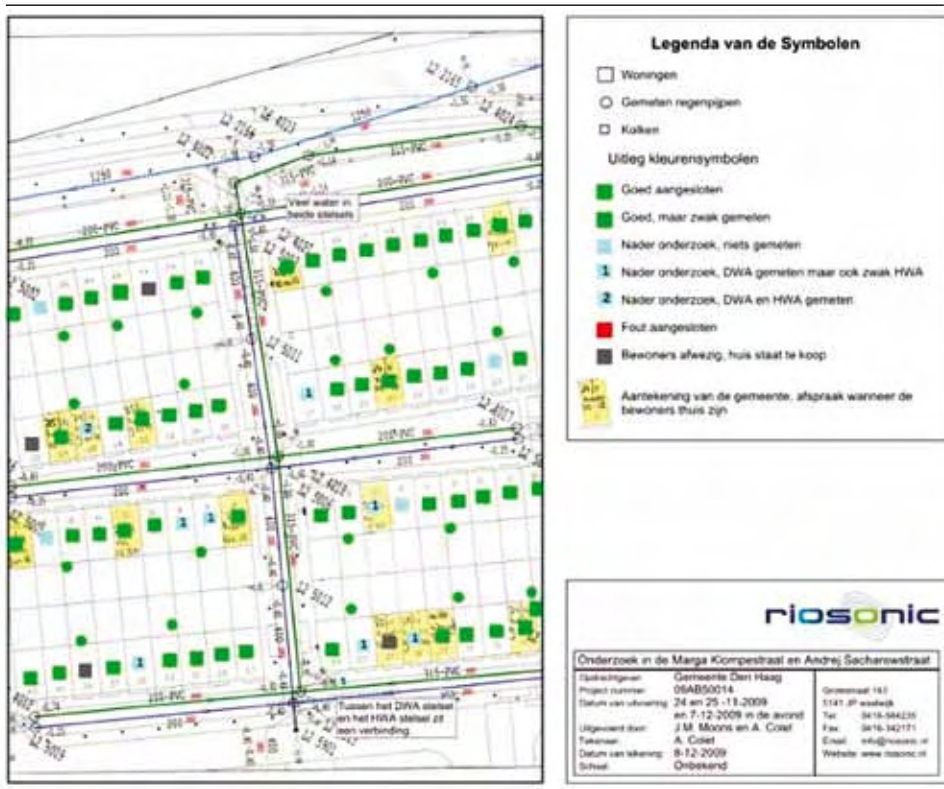
De gemeente wilde van enkele straten met een gescheiden rioolstelsel onderzoeken of er foutaansluitingen waren. Bij de aanleg is wellicht een vuilwaterafvoer aangesloten op het hemelwaterriool. Dit hemelwaterstelsel heeft een uitlaat op het open water langs de Marga Klompéstraat. Daar had de gemeente bij metingen lozingen van fecaliën geconstateerd. Daarop heeft zij de uitlaat dichtgezet.



Figuur 5.11 Meetlocatie in Den Haag

Het enige document dat de gemeente aangeleverd had, was een scan van een tekening, waarop met een markeerstift was aangegeven welke woningen op de brief hadden gereageerd: geel gekleurde woningen. Deze scan is gebruikt om de meetresultaten op te visualiseren (figuur 5.12):

- Leeg groen vakje: woning is goed aangesloten
- Groen vakje met een "1" erin: goed aangesloten, maar zwak signaal gemeten
- Leeg blauw vakje: nader onderzoek, geen signaal gemeten
- Blauw vakje met een "1" erin: DWA gemeten, maar ook een zwak HWA-signaal
- Blauw vakje met een "2" erin: DWA gemeten, en ook even sterk een HWA-signaal



Figuur 5.12 Resultaten geluidsmeting op kleurtekening

Leerervaringen

Op de eerste brief aan de bewoners kwamen weinig reacties: slechts 17 van 70. De gemeente besloot de meting toch te laten doorgaan. Bij het aanbellen bleken veel mensen thuis te zijn die toegang tot hun huis verleenden. De laatste metingen zijn tussen 17.00 en 21.00 uur uitgevoerd.

Bij de woning vlak bij de voormalige overstort uit het rwa-stelsel was duidelijk een dubbel signaal waarneembaar. Pas na flink doorvragen herinnerde de gemeente zich dat zij in het riool voor die woning een interne verbinding had gemaakt tussen de rwa en de dwa, omdat de overstort van het rwa-stelsel was afgesloten. Duidelijke dubbele signalen duiden dus op een echte verbinding tussen beide systemen. Hiervan is sprake als de sterkte van het zwakke signaal 5% of meer van het sterke signaal is.

5.3 Conclusies en aanbevelingen

5.3.1 Conclusies

Werkt de methode?

Met geluidsmetingen zijn zeer goed foutaansluitingen op te sporen van:

- hemelwater op afvalwater;
- afvalwater op hemelwater;
- verbindingen tussen vuil- en hemelwater.

Het is mogelijk foutaansluitingen op te sporen tot op toestelniveau, zoals:

- toilet, wasbak en bad;
- schroefputjes;
- regenpijpen;
- kolken.

| 73

Is de methode werkbaar en betaalbaar?

De metingen moeten in de woning plaatsvinden. Bij een juiste communicatie blijven mensen er speciaal voor thuis. Wel is een haalbare planning noodzakelijk om teleurstelling bij bewoners te voorkomen.

De meetkosten bestaan uit drie onderdelen:

- 1 De voorbereiding:
 - versturen eerste brief;
 - opstellen planning;
 - communicatie over de planning (brieven en telefoontjes).
- 2 De meting zelf:
 - uitvoeren meting;
 - registreren meetresultaten (veldwerkbrieftjes);
 - visualiseren meetresultaten op tekening (pdf/dwg).
- 3 Het advies:
 - onderzoeken oorzaak foutaansluitingen;
 - formuleren oplossingen.

De uitgevoerde casestudies betroffen alleen onderdelen 1 en 2. De gemeenten hebben de meetresultaten zelf opgenomen in uitvoeringsplannen. De kosten van de onderdelen 1 en 2 bedragen ongeveer € 50 per woning. Het is dus een kosteneffectieve meting.

De apparatuur kost ongeveer € 10.000,=.

Onder welke omstandigheden is de methode bruikbaar?

Alle woningen zijn tussen twee inspectieputten vanuit één meetopstelling te meten.

Bij complexere situaties (zoals industrieterreinen) moeten goede tekeningen van de bedrijfsriolering aanwezig zijn.

De geluidsbron moet zich zo dicht mogelijk bij het gebouw bevinden (vooral bij industrieterreinen).

Het geluid kan zich ook voortplanten via het medium tussen de buizen (zoals grondwater, muren en beugels). Hiermee moet bij de beoordeling van het meetresultaat rekening worden gehouden.

74 |

Een meting is niet altijd mogelijk bij:

- verstopping van het riool;
- te hoge waterstand in het rwa-riool (> 100%) ((in delen) leegpompen kan dan de oplossing zijn);
- verzakking in de huisaansluiting, waardoor er een verstopping is;
- te veel tussenputjes (> 2) in de aansluitleiding (vaak bij industrie).

Bewustwording

Een niet te onderschatten bij-effect is het feit dat de bewoners van een gecontroleerde wijk vanaf dat moment weten dat er een gescheiden riolering in de straat ligt en hoe dat samenhangt met het milieu.

5.3.2 Aanbevelingen

De meetapparatuur is zodanig doorontwikkeld dat deze zeer eenvoudig is toe te passen. Ook de bediening is zeer eenvoudig, hiervoor is geen speciaal geschoold personeel nodig.

In Hengelo hebben de inspecteurs wel een opleiding ontvangen, omdat daarbij nog gebruik gemaakt is van de wat lastig te bedienen PDA. Uitvoering door inspecteurs van inspectiebedrijven (zoals in Hengelo) is uitstekend bevallen.

De apparatuur is in bestaande stelsels te gebruiken, maar ook bij oplevering van de hoofdriolering en controle van de huisriolering bij een aansluitingsaanvraag. Voor de meetmethoden en -apparatuur is certificering nodig.

De meetmethode is nu nog niet controleerbaar. Om het werk van de inspecteur te kunnen controleren, zijn de volgende ontwikkelingen in gang gezet:

- 1 Te meten locaties worden vanaf een server via GPRS in de recorder geladen.
- 2 Meetlocatie wordt op basis van GPS automatisch vastgelegd in bestand.

- 3 Inspecteur moet vooraf ingeven aan wat voor toestel hij meet (dwa of rwa).
- 4 Recorder verricht meting, slaat de meetgegevens automatisch op en beoordeelt deze ook automatisch.
- 5 Gegevens zijn via een usb-aansluiting uit te lezen.
- 6 Gegevens worden via GPRS naar een server geladen.

De punten 3, 4 en 5 zijn inmiddels gerealiseerd.

Vaststellen en opsporen van foutaansluitingen

Foutaansluitingen kunnen de werking van de riolering verstoren en een groot effect op het milieu hebben, als ongezuiverd afvalwater direct wordt geloosd op oppervlaktewater. Het is daarom belangrijk foutaansluitingen op te sporen en te herstellen. Voor het opsporen van foutaansluitingen is een breed scala aan technieken beschikbaar elk met specifieke voor- en nadelen. Dit rapport geeft een overzicht van de beschikbare technieken. Drie recent ontwikkelde methoden zijn verder uitgewerkt en onderzocht.