AFSTUDEERRAPPORT

Ammonium als probleem en oplossing

Een onderzoek naar de mogelijkheden van de ammoniummethode voor het opsporen van foutaansluitingen.

H.M. Kolkman en A.A. Kramer

Gemeente Utrecht
Hogeschool van Hall Larenstein

05 juni 2013

COLOFON

Ammonium als probleem en oplossing

Een onderzoek naar de mogelijkheden van de ammoniummethode voor het opsporen van foutaansluitingen.

Namens Gemeente Utrecht:
Ir. J.S Sloot (Judith)

Namens Royal HaskoningDHV:
Ing. F. van Geelen (Freek)

Namens hogeschool Van Hall Larenstein:
Ir. A. Bot (Ad)

Auteurs:
Dhr. H.M. Kolkman
Dhr. A.A. Kramer

Betreft:
Het rapport voor het afstudeeronderzoek in het kader van de opleiding Land- en Watermanagement aan Hogeschool van Hall Larenstein te Velp (Gld).

Datum van uitgave:
5 juni 2013

VOORWOORD

Voor u ligt het afstudeerrapport van Huub Kolkman en Arend Kramer, studenten Land- en Watermanagement aan Hogeschool Van Hall Larenstein te Velp. Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Gemeente Utrecht dienst Stadswerken. Het afstudeeronderzoek betreft een onderzoek naar de ammoniummethode om foutaansluitingen op te sporen op de hemelwaterafvoer (HWA).

Vanuit de gemeente Utrecht is er vraag naar duidelijkheid met betrekking tot de betrouwbaarheid en toepasbaarheid van de ammoniummethode in de praktijk, om foutaansluitingen op te sporen.
Veel opsporingsmethoden die tot op toestelniveau kunnen controleren op foutaansluitingen zijn arbeidsintensief en/of te duur. Het kan dus veel tijd en/of geld schelen wanneer er een methode is die vervolgonderzoek in bepaalde delen van een wijk kan aanbevelen of uitsluiten. Deze methode wordt een QuickScan genoemd. De gemeente ziet potentie in de ammoniummethode als QuickScan.

De ammoniummethode is al eerder toegepast door de gemeente Utrecht in de wijk Rijnsweerd-Zuid (DHV B.V., 2012). Uit dit onderzoek kwamen geen eenduidige resultaten naar voren. De gemeente wil daarom de ammoniummethode opnieuw toepassen in Rijnsweerd-Zuid en tevens onderzoeken of de ammoniummethode toepasbaar is als QuickScan.

De combinatie van theorie en praktijk tijdens dit afstudeeronderzoek maakte het werk afwisselend en uitdagend. Naast veel inhoudelijke verdieping hebben wij ook veel geleerd van de organisatorische zaken die komen kijken bij een project. Het contact leggen met verschillende partijen, overleggen en besluiten nemen is een leuke en leerzame ervaring geweest.

Tijdens de afstudeerperiode hebben veel mensen ons geholpen met goede adviezen. Vanuit de gemeente Utrecht zijn wij mevr. J.S. Sloot zeer dankbaar voor haar betrokkenheid bij dit project en haar eerlijke positieve feedback die wij meermaals hebben mogen ontvangen. Ook haar inzet voor het beschikbaar stellen van apparatuur en werkruimte wordt zeer gewaardeerd.
Vanuit Royal HaskoningDHV hebben wij tijdens het afstudeeronderzoek inhoudelijke begeleiding ontvangen van dhr. F. van Geelen. Wij willen hem bedanken voor zijn doeltreffende inbreng die wij vaak ontvingen op de momenten dat dit het meest gewenst was. Verder willen wij dhr. A. Bot van Hogeschool Van Hall Larenstein bedanken voor zijn feedback en voor de verschillende keren dat hij ons door een andere bril naar het project liet kijken.

Huub Kolkman en Arend Kramer

Utrecht, juni 2013

SAMENVATTING

In gescheiden rioolstelsels kunnen foutaansluitingen voorkomen. Foutaansluitingen kunnen negatieve gevolgen hebben op het functioneren van het stelsel of op het milieu, wat het noodzakelijk maakt deze op te sporen. Hiervoor zijn verschillende opsporingsmethoden ontwikkeld waarvan de ammoniummethode er één is.
Er is nog relatief weinig bekend wat de ammoniummethode precies kan betekenen bij het opsporen van foutaansluitingen in de praktijk. Ook is de ammoniummethode in potentie geschikt als QuickScan. De methode zou dan bepaalde delen van een wijk/stroomgebied moeten aanbevelen voor, of uitsluiten van, een nader onderzoek naar foutaansluitingen tot op toestelniveau.
Het hoofddoel van dit onderzoek is om te onderzoeken op welke wijze de ammoniummethode ingezet kan worden als QuickScan om foutaansluitingen op het HWA-stelsel op te sporen. Dit is gedaan door praktijkonderzoek uit te voeren in de wijk Rijnsweerd-Zuid te Utrecht met daarnaast een ondersteunend literatuuronderzoek.

Ammonium komt vrij bij de omzetting van ureum wat aanwezig is in menselijke urine. Dit komt in die hoeveelheid vrij dat, bij een foutief aangesloten toilet, een verhoogde waarde te detecteren is in het HWA-stelsel. Er zijn ook andere factoren die bijdragen aan de ammoniumconcentratie in het stelsel, zoals neerslag en oppervlaktewater.

In het onderzoeksgebied is door het consortium Twente Milieu, DHV en Moons B.V. al eerder onderzoek uitgevoerd naar foutaansluiting met de ammoniummethode. Uit dit onderzoek zijn geen eenduidige resultaten naar voren gekomen. Daarom is besloten de gehele wijk te onderzoeken met de methode Riosonic. Uit dit onderzoek is gebleken dat er drie foutaansluitingen in Rijnsweerd-Zuid aanwezig zijn die ook meetbaar zijn met de ammoniummethode.

In dit afstudeeronderzoek zijn alle inspectieputten in Rijnsweerd-Zuid tijdens drie meetronden bemonsterd en geanalyseerd op de ammoniumconcentraties. De resultaten zijn vergeleken met de bekende foutaansluitingen vanuit eerder uitgevoerd onderzoek met Rionsonic. De resultaten van de ammoniummethode wijzen naar één (bekende) foutaansluiting. Bij nader onderzoek tijdens de herstelwerkzaamheden van de foutaansluitingen is gebleken dat twee foutaansluitingen, gevonden tijdens het Riosonic onderzoek, niet fout zijn aangesloten.
Extra onderzoek is uitgevoerd naar de ammoniumconcentraties in het stelsel rondom de gedetecteerde foutaansluiting. Dit is gedaan voor en na het herstel van deze foutaansluiting. In de deze vertakte streng zijn duidelijk verhoogde ammoniumconcentraties aanwezig die te herleiden zijn naar de foutaansluiting. Deze concentraties zijn stabiel in de tijd en nemen enkel meetbaar af na neerslag.

Naast het ammonium zijn ook de parameters pH, EGV en temperatuur gemeten. Doel is om te onderzoeken hoe de parameters zich verhouden tot de bekende foutaansluiting en tot de verhoogde ammoniumconcentraties. Er is geconcludeerd dat de overige gemeten parameters niet wijzen naar een foutaansluiting. Ook is geen duidelijk verband gevonden met de verhoogde ammoniumconcentraties.

Uit dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat de ammoniummethode ingezet kan worden als QuickScan bij het opsporen van foutaansluitingen op een gevuld HWA-stelsel. De gemeten waarden zijn betrouwbaar en verhoogde waarden zijn duidelijk te meten. De detectiegrenzen vanaf het lozingspunt zijn ver genoeg om niet alle putten te bemonsteren en klein genoeg om delen van een wijk uit te sluiten voor nader onderzoek.

INHOUDSOPGAVE **blz.**

VOORWOORD **III**

SAMENVATTING **IV**

1. INLEIDING **1**
1.1. Aanleiding onderzoek 1
1.2. Doelstelling 1
1.3. Onderzoeksvragen 1
1.4. Werkwijze 2
1.5. Leeswijzer 2

2. FOUTAANSLUITINGEN **3**
2.1. Foutaansluitingen in gescheiden stelsels 3
2.2. Opsporingsmethoden 4
2.3. Rendabiliteit van het opsporen van foutaansluitingen 5

3. AMMONIUMMETHODE **7**
3.1. Waarom de ammoniummethode? 7
3.2. Werken met de ammoniummethode 8
3.3. Invloeden op de ammoniumconcentratie 9

4. ONDERZOEKEN IN RIJNSWEERD-ZUID **11**
4.1. Stelselbeschrijving onderzoeksgebied 11
4.2. Eerder uitgevoerd onderzoek in Rijnsweerd-Zuid 11
4.3. Onderzoeken voor beantwoording onderzoeksvraag 12

5. AMMONIUMETHODE IN RIJNSWEERD-ZUID **14**
5.1. Vergelijking van de meetronden 14
5.2. Vergelijking bekende foutaansluitingen 18
5.3. Verdiepend onderzoek bekende foutaansluitingen 20

6. OVERIGE PARAMETERS **25**
6.1. Overige parameters in relatie tot bekende foutaansluitingen 25
6.2. Overige parameters in relatie tot de ammoniumconcentratie 27

7. VERLOOP AMMONIUMCONCENTRATIE IN DE TIJD **36**
7.1. Onderzoek 2 Opslag in monsterpotje 36
7.2. Onderzoek 3 Monsterneming 39
7.3. Onderzoek 4 Detectiegrenzen ammoniummethode 40

8. VERSPREIDING AMMONIUM IN EEN GEHEEL GEVULDE BUIS **45**
8.1. Uitkomsten proef zonder stroming 45
8.2. Uitkomsten proef met stroming 49

9. BETROUWBAARHEID AMMONIUMMETHODE **52**
9.1. Factoren die de betrouwbaarheid bepalen 52
9.2. Vergelijking eerder onderzoek consortium 54
9.3. Conclusie betrouwbaarheid 55

10. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN **56**
10.1. Conclusies 56
10.2. Aanbevelingen 58

11. DISCUSSIE **60**
11.1. Methodiek 60
11.2. Resultaat 60

12. LITERATUURLIJST **62**

VOOR BIJLAGEN ZIE 'APPENDICES'

1. INLEIDING

Dit rapport bevat de resultaten van het afstudeeronderzoek dat is uitgevoerd in het kader van de opleiding Land- en Watermanagement aan Hogeschool van Hall Larenstein te Velp. Het rapport biedt inzicht in de werking van de ammoniummethode om foutaansluitingen op het hemelwaterriool op te sporen.

1.1. Aanleiding onderzoek

In gescheiden rioolstelsels wordt het hemelwaterwater en het vuilwater in twee verschillende verzamelbuizen opgevangen. In dit stelsel kan het voorkomen dat een (huis) aansluiting op het verkeerde riool (verzamelbuis) is aangesloten. Dit wordt in het vakgebied van de rioleringstechniek een foutaansluiting genoemd. Foutaansluitingen kunnen negatieve gevolgen hebben op het functioneren van het stelsel of op het milieu, wat het noodzakelijk maakt deze op te sporen. Hiervoor zijn verschillende methoden ontwikkeld waarvan de ammoniummethode er één is. Er is nog relatief weinig bekend wat de ammoniummethode precies kan betekenen bij het opsporen van foutaansluitingen. Ook is meer kennis gewenst over de (praktische) toepasbaarheid van de methode.

De gemeente Utrecht heeft in de wijk Rijnsweerd-Zuid in 2011/2012 onderzoek uitgevoerd naar foutaansluitingen, met behulp van de ammoniummethode (DHV B.V., 2012). Uit dit onderzoek kwamen geen eenduidige resultaten naar voren. Daarom is besloten de wijk opnieuw te onderzoeken met een andere methode, Riosonic (zie bijlage E voor uitleg over deze methode). Hieruit kwam naar voren dat de resultaten van de ammoniummethode niet de foutaansluitingen konden detecteren die in de wijk aanwezig zijn volgens Riosonic (DHV B.V., 2012) (bijlage J Resultaten consortium). De gemeente is benieuwd waarom deze foutaansluitingen tijdens het eerdere ammoniumonderzoek niet zijn ontdekt.

Daarnaast is de gemeente geïnteresseerd in de toepassing van de ammoniummethode als QuickScan. De methode zou dan bepaalde delen van een wijk/stroomgebied moeten aanbevelen voor of uitsluiten van een nader onderzoek naar foutaansluitingen.

Om deze twee redenen heeft de gemeente Utrecht opdracht gegeven om nader onderzoek te doen naar de ammoniummethode in de wijk Rijnsweerd-Zuid. Inhoudelijk advies met betrekking tot de uitvoer van dit onderzoek komt van zowel vanuit de gemeente Utrecht als van Royal HaskoningDHV.

1.2. Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om te bepalen of en hoe de ammoniummethode ingezet kan worden als QuickScan voor het opsporen van foutaansluitingen.

Hoofddoel:
Het hoofddoel is het onderzoeken op welke wijze de ammoniummethode ingezet kan worden als QuickScan om foutaansluitingen op het HWA-stelsel op te sporen.

Subdoel één:
Het doel is om te onderzoeken in hoeverre de ammoniummethode betrouwbaar is.

Subdoel twee:
Het doel is om uitspraken te kunnen doen of de ammoniummethode geschikt is als QuickScan en tot op welke afstand foutaansluitingen detecteerbaar zijn.

1.3. Onderzoeksvragen

De probleemstelling is weergegeven in de volgende onderzoeksvraag:

"Hoe kan de ammoniummethode ingezet worden als QuickScan om foutaansluitingen op het HWA-stelsel op te sporen?"

- Hoe werkt de ammoniummethode?
- Hoe moet de methode uitgevoerd worden in dit onderzoeksgebied?

- Hoe verhouden de meetresultaten van de ammoniummethode zich ten opzichte van de bekende foutaansluitingen in het onderzoeksgebied?

- Hoe verhouden de meetresultaten van de overige gemeten parameters* zich ten opzichte van de bekende foutaansluitingen in het onderzoeksgebied?
- Is er een verband tussen de gemeten ammoniumconcentraties en overige gemeten parameters*?

- Tot hoever vanaf een lozingspunt is een verhoogde ammoniumconcentratie te meten; wat zijn de detectiegrenzen?
- Wat is de verspreiding van ammonium in een geheel gevulde rioolbuis in horizontale en verticale richting?
- Wat is de toepasbaarheid van de ammoniummethode, rekening houdend met de specifieke kenmerken van het onderzoeksgebied?
- In hoeverre is de ammoniummethode betrouwbaar?

1.4. Werkwijze

Om tot een gefundeerd antwoord te komen op de hoofdvraag is een literatuuronderzoek verricht in combinatie met een praktijkonderzoek naar de ammoniummethode. Het praktijkonderzoek is uitgevoerd in de wijk Rijnsweerd-Zuid te Utrecht. In deze wijk ligt een gescheiden rioolstelsel, waarvan het HWA-stelsel verdronken is. Bij dit onderzoek wordt enkel gekeken naar foutaansluitingen op het HWA-stelsel.
In de wijk is door de gemeente Utrecht al eerder onderzoek verricht naar foutaansluitingen. Door opnieuw de ammoniummethode uit te voeren en de resultaten te vergelijken met de resultaten van Riosonic, wordt gezocht naar de mogelijkheden van de ammoniummethode bij het opsporen van foutaansluitingen. De conclusies en antwoorden die tijdens dit onderzoek gevonden worden zijn alleen van toepassing op situaties die gelijk zijn aan de condities zoals in het onderzoeksgebied Rijnsweerd-Zuid. In het Projectplan in bijlage A en in het Meetplan Rijnsweerd-Zuid in bijlage B is een uitgebreide omschrijving gegeven van de toe te passen werkwijze en onderzoeksmethode.

1.5. Leeswijzer

Het rapport begint met een algemeen deel. In hoofdstuk 2 is beschreven wat foutaansluitingen zijn en waarom het noodzakelijk is deze op te sporen. Hoofdstuk 3 geeft een inleidende beschrijving van de werking en het ontstaan van de ammoniummethode. Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van het onderzoeksgebied met een uitleg van de uitgevoerde onderzoeken die zijn gedaan om een antwoord te vormen op de hoofdvraag. Hierna wordt de stap gemaakt naar de resultaten en de analyse van het uitgevoerde onderzoek. Hoofdstuk 5 beschrijft de uitgevoerde ammoniummethode in Rijnsweerd-Zuid met een vergelijking van de meetronden onderling en een vergelijking van de ammoniumwaarden met de bekende foutaansluitingen. In hoofdstuk 6 is de relatie tussen de bekende foutaansluitingen en de overige gemeten parameters beschreven. In hoofdstuk 7 is de uitkomst gegeven van de onderzoeken naar ammonium in de tijd in een monsterpotje en in het stelsel. Hoofdstuk 8 beschrijft de gedragingen van ammonium in een geheel gevulde buis in een situatie met en zonder stroming in de proefopstelling van de gemeente Breda. In hoofdstuk 9 is beschreven in hoeverre de ammoniummethode betrouwbaar is. Daarna wordt in hoofdstuk 10 de hoofdvraag beantwoord met de daarbij behorende aanbevelingen. Hoofdstuk 11 bevat een korte discussie waarin kritisch gekeken naar bepaalde punten in dit onderzoek.

Dit afstudeerrapport is bedoeld voor de gemeente Utrecht en daarnaast voor de overige betrokkenen en belangstellenden. Enige voorkennis met betrekking tot rioleringen en foutaansluitingen is vereist om dit rapport goed te kunnen begrijpen. Het doel van dit rapport is om meer inzicht te geven over de werking en de toepasbaarheid van de ammoniummethode bij het opsporen van foutaansluitingen.

---

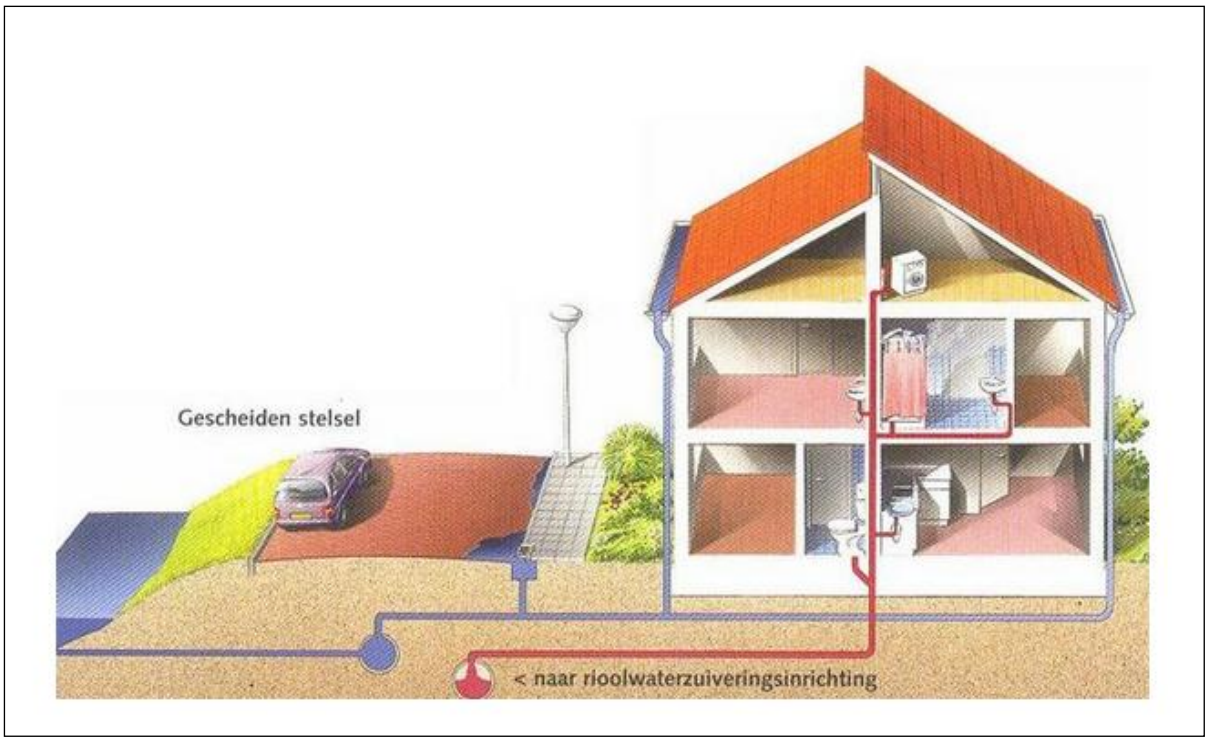
* *Overig gemeten parameters zijn EGV, pH en temperatuur. Zie Meetplan voor verdere informatie.*

2. FOUTAANSLUITINGEN

Foutaansluitingen die voorkomen in een gescheiden stelsel vormen vaak een probleem voor het milieu of voor het stelsel zelf. In dit hoofdstuk is verder uitgelicht wat foutaansluitingen precies zijn, welke vormen voorkomen en wat de oorzaken en gevolgen hiervan kunnen zijn. Ook zijn er enkele opsporingsmethoden van foutaansluitingen behandeld.

2.1. Foutaansluitingen in gescheiden stelsels

Gescheiden rioolstelsels zijn in Nederland veel toegepast (Hoes & Nelen, 2010). Bij dit type rioolstelsel is hemelwaterafvoer (HWA) gescheiden van droogweerafvoer (DWA). Het hemelwater wordt via het stelsel naar het oppervlaktewater gebracht, terwijl het vuilwater; afkomstig van toilet, douche en andere sanitaire toestellen, naar een afvalwaterzuiveringsinstallatie wordt getransporteerd.



Figuur 2.1: Voorbeeld van een gescheiden stelsel (D-Plus Civil consultants, 2013).

2.1.1. Vormen van foutaansluitingen

Het probleem dat bij gescheiden stelsels regelmatig optreedt, is dat bij de aanleg van het stelsel of bij een verbouwing de afvoerleiding van het water op het verkeerde rioolstelsel wordt aangesloten. Hier spreekt men van een foutaansluiting. Foutaansluitingen kunnen negatieve gevolgen hebben voor het milieu of het functioneren van het stelsel (zie voor meer informatie §2.1.2) (Vaststellen en opsporen van foutaansluitingen, 2010).

In de praktijk kunnen verschillende vormen van foutaansluitingen optreden. De volgende varianten doen zich voor (Vaststellen en opsporen van foutaansluitingen, 2010):

- De hemelwaterafvoer is aangesloten op het vuilwaterriool of drukriolering;
- De vuilwaterafvoer is aangesloten op het hemelwaterriool;
- Hemelwaterafvoer en vuilwaterafvoer zijn omgewisseld;
- Inpandig foutief aangesloten toestel;
- Verkeerde koppeling tussen (hoofd) riolen.

Deze vormen van foutaansluitingen kunnen verschillende oorzaken hebben. Foutaansluitingen kunnen onder andere ontstaan bij de bouw van nieuwe woningen. Door onvoldoende toezicht en/of onoplettendheid van de aannemer is een leiding snel verkeerd aangesloten. Ook een niet uniforme kleurcode voor rioleringen bij verschillende gemeenten speelt een rol bij het creëren van een

foutaansluiting. Bij gemeenten die de codering openbaar hebben gemaakt, gebruikt ongeveer 2/3 de kleurcodering bruin/rood voor vuilwater en grijs voor hemelwater. Het overige deel gebruikt dezelfde codering maar dan precies andersom (Hoes & Nelen, 2010). Dit kan verwarring geven.
Daarnaast worden veel foutaansluitingen gecreëerd bij interne verbouwingen. Een voorbeeld hiervan is het plaatsen van een bijkeuken met wasmachine. Hierbij is het vaak gemakkelijk om de dichtstbijzijnde aansluiting te pakken, zonder te kijken of dit een vuil- of hemelwaterriool is (Hoes & Nelen, 2010).

2.1.2. Gevolg foutaansluiting

Er zijn grofweg twee vormen van foutaansluitingen te onderscheiden. Een HWA aansluiting is foutief aangesloten op het DWA of vice versa.

Foutaansluitingen van het hemelwaterriool op het vuilwaterriool kunnen zorgen voor overbelasting van het DWA stelsel. Onder andere hevige regenbuien kunnen voor problemen zorgen in het DWA stelsel. Dit kan de volgende gevolgen hebben (Vaststellen en opsporen van foutaansluitingen, 2010):

- Aantasting van het milieu door overstorten;
- Putdeksels komen omhoog en vuilwater komt op straat;
- Stankoverlast;
- Woningen en bedrijven kunnen niet meer goed afvoeren door een vol riool of een in storing tredend drukrioolgemaal;
- Verdund water wordt verpompt naar de zuivering. Vooral in dorpskernen waar het water trapsgewijs naar de zuivering wordt verpompt kan dit problemen geven. Niet alleen qua hoeveelheid, ook de kosten kunnen erg hoog worden door hoog energie verbruik (Geelen, 2013).

Foutaansluitingen van het vuilwaterriool op het hemelwaterriool kunnen zorgen voor oppervlaktewatervervuiling. Het hemelwaterriool loost immers op het oppervlaktewater. Een foutief aangesloten percentage van één à twee procent huishoudens op het regenwaterriool zorgt voor een jaarlijkse vuilvracht die gelijk is aan de jaarlijkse emissie vanuit riooloverstorten uit een gemengd stelsel (Moens, 2010) (zie § 2.3 voor de randvoorwaarden van deze vergelijking). Bij deze emissies kunnen de volgende gevolgen optreden:

- Stankoverlast;
- Vervuiling van het oppervlaktewater met alle gevolgen van dien, bijvoorbeeld vissterfte en/of eutrofiëring. Eutrofiëring is de vermesting van het milieu. Door een te grote toename van voedingsstoffen, onder andere door de omzetting van ammonium in nitraat, neemt de algengroei toe die het water troebel maken waardoor waterplanten en wieren verdwijnen. Als de algen afsterven, kan het water zelfs tijdelijk zuurstofloos worden, waardoor waterdieren sterven (Ecomare, 2013);
- Verstoppingen doordat het HWA-stelsel niet is ontworpen op de afvoer van het vaste vuil van een DWA aansluiting;
- Gezondheidsrisico's: Mensen en dieren kunnen in aanraking komen met schadelijke stoffen die vrijkomen vanuit een foutaansluiting.

Er zijn geen exacte cijfers bekend over het percentage foutaansluitingen in gescheiden stelsels in Nederland. Op basis van de uitkomsten van verschillende onderzoeken naar foutaansluitingen in wijken en bedrijventerreinen, op zowel foutaansluitingen van vuil- en hemelwater, is een percentage van tussen de 5 en 10% een indicatie van de problematiek. Hier dient wel opgemerkt te worden dat de onderzoeken veelal zijn uitgevoerd in wijken en bedrijventerreinen waar een sterke aanwijzing was voor foutaansluitingen. Hierdoor kunnen de percentages in werkelijkheid wat lager liggen (Vaststellen en opsporen van foutaansluitingen, 2010).
Doordat foutaansluitingen relatief vaak voorkomen en ernstige gevolgen kunnen hebben, zijn er verschillende opsporingsmethoden ontwikkeld. Deze worden in §2.2 verder behandeld.

2.2. Opsporingsmethoden

Omdat het rioolstelsel onder de grond ligt, dus niet zichtbaar, is het niet eenvoudig om foutaansluitingen op te sporen. Daarom zijn verschillende methoden ontwikkeld die foutaansluitingen kunnen opsporen (Vaststellen en opsporen van foutaansluitingen, 2010). Enkele voorbeelden:

- Roken (rook toevoegen om te zien waar de leiding uitkomt);
- Kleurstof (kleurstof toevoegen en kleurverandering waarnemen);
- Temperatuurmeting, rechtstreeks vanuit een put of met DTS techniek (Meten met behulp van een glasvezelkabel);
- Riotrack (met behulp van zender en ontvanger);
- Riosonic (door middel van geluid);
- Videocamera inspectie;
- Monsterneming;
- Visuele inspectie;
- Geluidsmeting (MeMo).

Deze methoden zijn uitgebreid beschreven in bijlage E. Al deze methoden zijn bruikbaar bij het opsporen van foutaansluitingen, echter zijn sommige enkel geschikt voor het detecteren van foutaansluitingen van het DWA op het HWA en vice versa.
Daarnaast heeft elke methode zijn eigen voor- en nadelen. Welke methode wordt ingezet is onder meer afhankelijk van de volgende factoren:

- Vullingsgraad van het stelsel;
- Omvang onderzoeksgebied;
- Toegang tot woningen;
- Bereikbaarheid inspectieputten;
- Urgentie (veel klachten en/of overlast);
- Type foutaansluitingen dat opgespoord dient te worden;
- Mate van nauwkeurigheid waarin resultaten gewenst zijn;
- Beschikbare financiële middelen en personele capaciteit;
- Toegankelijkheid tot huizen en/of percelen.

2.3. Rendabiliteit van het opsporen van foutaansluitingen

Dat foutaansluitingen een negatief effect kunnen hebben op het milieu of het functioneren van het stelsel is hiervoor beschreven. Wanneer het functioneren van het stelsel een probleem wordt door foutief aangesloten hemelwaterafvoeren is het vaak duidelijk genoeg waarom het noodzakelijk is om dit op te lossen. Maar wanneer er sprake is van een foutaansluiting van vuilwater wordt dit anders. Immers, wat is het probleem van één foutaansluiting van vuilwater? Bij alle dierlijke behoeften in het oppervlakte water valt een foutaansluiting van het vuilwater toch in het niet? Weegt de verbetering wel op tegen de kosten?
Om deze vragen inzichtelijk te maken volgen hier enkele rekenvoorbeelden die de omvang van deze problematiek duidelijk maken.

- Van de gescheiden stelsels in Nederland ligt ongeveer 21.000 kilometer aan regenwaterriolering. Ervan uitgaande dat per kilometer 100 huishoudens zijn aangesloten en van 1 à 2 procent foutief aangesloten riolering komt dit neer op 31.500 foutief aangesloten huishoudens op het regenwaterriool. Dit is de omvang van een middelgrote stad die rechtstreeks loost op het oppervlakte water (Hoes & Nelen, 2010).
- Daarnaast liggen overstorten van gemengde stelsels vaak aan grote oppervlaktewateren die het effluent wat vrij komt kunnen verwerken, of er zijn bergbezinkbasins (BBB) geplaatst die het vuil bergen voor latere afvoer naar de zuivering. HWA-stelsel monden vaak uit op relatief kleinere oppervlaktewateren die veel gevoeliger zijn voor vervuiling (Hoes & Nelen, 2010).
- Vanuit milieuoverwegingen is voor ruwweg 15 miljard euro aan gescheiden stelsels aangelegd in Nederland. Bij 21.000 kilometer aan gescheiden stelsels komt dit neer op ongeveer € 700, - per strekkende meter gescheiden stelsel (Moens, 2010). Het inzetten van een opsporingsmethode kost gemiddeld € 10 per strekkende meter onderzochte leiding (Aarle & Maandag, 2012). Rekening houdend met het feit dat een foutief percentage van één à twee procent de milieuverbetering van een gescheiden stelsel teniet doet, maakt de financiële drempel om foutaansluitingen op te sporen al een stuk lager.

Er is in de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) bij de wet gesteld dat gemeenten en waterschappen de taak hebben om te zorgen voor schoon oppervlaktewater (Europees parlement en de raad, 2000). In Rioned reeks 17 (Moens, 2010) staat geschreven: ‘D*e negatieve invloed op jaarbasis van één à*

twee procent foutief aangesloten huishoudens op de kwaliteit van het oppervlaktewater gelijk is aan de invloed van jaarlijkse emissies vanuit riooloverstorten. De reden hiervoor is dat deze vervuiling minimaal dagelijks in het milieu komt, zonder dat daar (zoals bij overstorten) neerslag voor nodig is'. Deze uitspraak is gebaseerd op basis van het door Arcadis ontwikkelde STOWA-model EMOS (Emissie Model Stofstromen).

Voorkomen is altijd beter dan genezen. Voorlichting bij bewoners en bedrijven is een belangrijke stap. Daarnaast zou goed en regelmatig toezicht tijdens de aanleg en gedurende de jaren die volgen een bijdrage kunnen leveren aan het voorkomen van foutaansluitingen.

Mocht er toch behoefte zijn aan (gedetailleerd) onderzoek naar foutaansluitingen, dan kan dat worden uitgevoerd met verschillende methoden (zie bijlage E). De keuze voor een opsporingsmethode is van veel punten afhankelijk. Elke methode heeft haar eigen voor- en nadelen en randvoorwaarden. Een overeenkomst die alle methoden die tot op toestelniveau kunnen controleren op foutaansluitingen hebben, is dat het veel tijd en/of geld kan schelen wanneer bepaalde delen van een wijk worden uitgesloten van onderzoek. Een methode waarmee dit relatief snel en goedkoop kan worden bepaald wordt een QuickScan genoemd.
Ook al kost het uitvoeren van een QuickScan geld, toch kan dit rendabel zijn omdat het veel tijd en geld kan opleveren. Of een QuickScan daadwerkelijk wordt uitgevoerd en rendabel is, is onder meer afhankelijk van:

- De grootte van het onderzoeksgebied;
- Randvoorwaarden methode toegepaste QuickScan;
- Randvoorwaarden toegepaste gedetailleerde opsporingsmethode (een opsporingsmethode die tot op toestelniveau controleert);
- Beschikbare tijd;
- Beschikbare financiën.

In dit onderzoek is gekeken of de ammoniummethode geschikt is als QuickScan.

3. AMMONIUMMETHODE

Dit hoofdstuk is een introductie over het ontstaan en de werking van de ammoniummethode. Ook geeft het de randvoorwaarden voor het gebruik van deze methode. Daarnaast beschrijft dit hoofdstuk door welke invloedsfactoren en processen de ammoniumconcentratie beïnvloed kan worden. Dit hoofdstuk beantwoordt de vraag: '*Hoe werkt de ammoniummethode?*'. Deze informatie is verkregen door middel van literatuuronderzoek en gesprekken met betrokken partijen.

3.1. Waarom de ammoniummethode?

De ammoniummethode, synoniem voor de ammonium cuvet methode, is een relatief nieuwe opsporingsmethode om foutaansluitingen te ontdekken. In deze paragraaf wordt een korte introductie gegeven over het ontstaan en de werking van deze methode. Ook wordt kort besproken wat ammonium is.

3.1.1. Het ion ammonium

Ammonium wordt vaak verward met ammoniak (gas) of ammonia (oplossing). Daarom volgt hieronder een korte uitleg over de stof ammonium en haar verschijningsvormen.

Ammonium is een ion met de scheikundige formule NH_4^+ en kan voorkomen in water. Ammonium wordt soms benoemd als ammoniak, dit is de gasvormige variant met de scheikundige formule NH_3. Dit gas heeft een kenmerkende geur en komt niet voor als vloeistof, behalve onder zeer specifieke omstandigheden, zoals een lage temperatuur (kookpunt van -33° C). Wanneer ammoniak oplost in water ontstaat ammonia, dit heeft de scheikundige formule $NH_{3(aq)}$. Soms wordt dit ook aangegeven met NH_4OH (ammoniumhydroxide). Echter, deze laatste stof wordt bijna niet aangetroffen, omdat deze niet stabiel genoeg is. In water komt daarom vaak het ion ammonium voor plus ammoniumhydroxide ($NH_4^+ + OH^-$) (P.A.Cox, 2004). Omdat het ion ammonium vaker voorkomt in water dan de opgeloste variant van ammoniak (zie ook bijlage F voor de evenwichtsreactie ammonium en ammoniak), is ammonium de te detecteren stof.

3.1.2. Ontstaan methode

De ammoniummethode is ontwikkeld door Waternet uit Amsterdam. Waternet is een waterbedrijf dat de gehele waterketen in Amsterdam beheert.
In Amsterdam is circa 75% van het rioolstelsel gescheiden. Het beleid van Waternet is om daar waar klachten optreden door vermoedelijke foutaansluitingen, denk hierbij aan stankoverlast en oppervlaktewatervervuiling, onderzoek uit te voeren. Door het grote gebied met gescheiden riolering is het duur om het hele stelsel/stroomgebied te controleren. Daarom is Waternet zelf een onderzoek begonnen naar een toepasbare methode voor het stelsel in Amsterdam om een stroomgebied te verkleinen. Uit deze studie is de ammoniummethode naar voren gekomen om foutaansluitingen op het HWA-stelsel op te sporen op een snelle, goedkope en gemakkelijke manier (Nijman, 2012).

De resultaten in de praktijk zijn voor Waternet overwegend positief. Waternet kan een foutaansluiting tot op strengniveau opsporen met deze methode (een verdachte locatie omvat drie inspectieputten). Met deze gegevens kan een andere opsporingmethode tot op huis- en/of toestelniveau de foutaansluiting opsporen. Welke methode gebruikt wordt, is afhankelijk van de omstandigheden (Nijman, 2012). Waternet hanteert twee randvoorwaarden bij het werken met de ammoniummethode, namelijk:

- Drie dagen droog weer alvorens metingen te verrichten (Aarle & Maandag, 2012);
- Metingen boven de 3 mg/l zijn verdacht. Metingen boven de 5 mg/l worden beschouwd als een indicator voor een foutaansluiting (Nijman, 2012).

Doordat Waternet deze methode alleen heeft toegepast in Amsterdam en onder lokale omstandigheden, blijven er onduidelijkheden met betrekking tot de toepasbaarheid van de ammoniummethode onder andere condities. In welke situaties is deze methode toepasbaar en wat kan deze methode precies betekenen bij het opsporen van foutaansluitingen?

3.1.3. Werking methode

De ammoniummethode kan ingezet worden om foutaansluitingen van het DWA stelsel op het HWA stelsel aan te tonen. Het principe van de methode is dat een foutaansluiting van DWA op het HWA kan zorgen voor een verhoogde ammoniumwaarde in het stelsel.

Ammonium komt, in het geval dat er geen foutaansluitingen aanwezig zijn, in lage concentraties voor in het hemelwaterstelsel. Ammonium komt vrij bij de omzetting van ureum (aanwezig in urine) naar ammonium (zie bijlage F proces hydrolyse). Via urine uit een menselijk lichaam wordt per dag gemiddeld 4131 mg ammonium uitgestoten (Voorthuizen, 2008).
De waarde die ontstaat als gevolg van een foutaansluiting ligt in theorie hoger dan de al aanwezige ammoniumconcentratie in het stelsel, waardoor het mogelijk wordt een verdachte locatie aan te wijzen (zie ook §3.2.2). Daarom is ammonium een goede parameter om te meten in het stelsel (Nijman, 2012). Met de ammoniummethode is het enkel mogelijk een foutief aangesloten toilet op te sporen. Ervan uitgaande dat dit de plaats is waar men normaal toiletteert.

De methode bestaat uit het bemonsteren van een inspectieput van het hemelwaterriool tijdens droog weer. Dit monster wordt geanalyseerd op ammonium. Op deze manier kan redelijk snel (binnen 10 tot 30 minuten, afhankelijk van het meetapparaat, als er op locatie wordt geanalyseerd) worden aangegeven of er een foutaansluiting aanwezig is in de buurt van de inspectieput. Deze methode is al toegepast in Amsterdam waarbij een gebied van 6000 meter riool is verkleind tot enkele deelgebieden van in totaal 300 meter in twee dagen tijd (Nijman, 2012).

Afbeelding 3.1: De ammoniummethode in de praktijk.

Er zijn verschillende apparaten die de ammoniumconcentratie kunnen bepalen. In bijlage 2 van het Meetplan Rijnsweerd-Zuid (te vinden in bijlage B van de appendices) zijn twee meetapparaten behandeld die gangbaar zijn bij de werking met de ammoniummethode.

3.2. Werken met de ammoniummethode

Voor het werken met de ammoniummethode zijn een aantal randvoorwaarden belangrijk. Deze randvoorwaarden zijn opgenomen in hoofdstuk 4 van het Meetplan Rijnsweerd-Zuid (bijlage B).

3.2.1. Vals positieve en vals negatieve waarden

Een te hoge ammoniumconcentratie wordt geassocieerd met een foutaansluiting. Maar dit hoeft niet altijd het geval te zijn. Een hoge ammoniumconcentratie kan ook ontstaan door andere factoren. Denk hierbij aan urine en feces van dieren (honden, eenden e.d.), meststoffen, waterorganismen en organisch materiaal (Sawyer & Helmers, Iowa State University, 2008). Voor meer invloedsfactoren zie §3.3. Dit zijn enkele factoren die een vals positieve waarde kunnen veroorzaken. Dit is een waarde die wel een verhoogde ammoniumconcentratie geeft, maar wat niet het gevolg is van een foutaansluiting.
Het kan ook voorkomen dat er geen verhoogde concentratie wordt aangetroffen, terwijl er wel een foutaansluiting is. Deze waarden worden vals negatieve waarden genoemd. Dit kan voorkomen doordat op het moment van meten de foutaansluiting niet in gebruik is. Mogelijke oorzaken kunnen zijn: bewoners zijn op vakantie, er is een verstopping in de buis waardoor het ammonium zich hierin ophoopt en niet verspreidt of de concentratie is weggespoeld in het hemelwaterriool. Deze factoren spelen ook een belangrijke rol en kunnen deels ondervangen worden door als randvoorwaarde te stellen dat het drie dagen droog weer moet zijn alvorens te gaan meten. Op deze manier krijgt de ammoniumconcentratie kans zich op te bouwen zonder dat deze concentratie als gevolg van neerslag wegspoelt of wordt verdund. De gemeten ammoniumconcentratie blijft een momentopname en zal dus kritisch bekeken moeten worden. Dit geldt voor zowel een analyse van negatieve als positieve waarden.

3.2.2. Achtergrondwaarde

Het doel van de ammoniummethode is om foutaansluitingen op te sporen aan de hand van verhoogde ammoniumconcentraties. Daarvoor dient eerst bepaald te worden wat een verhoogde concentratie is. Hierbij kan het bepalen van een achtergrondwaarde helpen. De achtergrondwaarde is de ammoniumconcentratie die aanwezig is in het stelsel indien er geen foutaansluitingen zijn.

In het geval van een gescheiden stelsel vangt het HWA-stelsel het regenwater van het verhard oppervlak op en transporteert dit naar het oppervlaktewater. Een gescheiden stelsel staat dus in verbinding met het oppervlaktewater. Het kan voorkomen dat het HWA-stelsel zich ook vult met het oppervlaktewater waardoor het stelsel volledig is gevuld. Dit wordt ook wel een verdronken stelsel genoemd. Als er sprake is van een verdronken gescheiden stelsel zijn er twee belangrijke componenten die grote invloed hebben op achtergrondwaarde; het regenwater en het oppervlaktewater. Daarnaast zijn er nog enkele andere elementen die voor een verhoging van de ammoniumconcentratie kunnen zorgen, deze worden behandeld in §3.3.

Er kan een (theoretische) achtergrondwaarde bepaald worden door te kijken naar de ammoniumconcentraties van regen- en oppervlaktewater. Regenwater bevat gemiddeld tussen 0,32 en 3,6 mg/l ammonium (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2011). De samenstelling van het oppervlaktewater kan lokaal erg verschillen (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, 2010). Ook kan de aanwezigheid van foutaansluitingen invloed hebben op de achtergrondwaarde, de achtergrondconcentratie neemt toe doordat de lozingen zich kunnen verspreiden door het stelsel.

Er bestaat geen precieze methode voor de bepaling van de achtergrondwaarde. Daarom dient per uitgevoerd onderzoek met de ammoniummethode een achtergrondwaarde bepaald te worden door middel van het analyseren van de resultaten en rekening houdend met de voorkomende concentraties in regen- en oppervlaktewater. De achtergrondwaarde kan bepaald worden door een knikpunt te zoeken in een oplopende grafiek van de resultaten. Van alle waarden onder dit knikpunt wordt niet verwacht dat ze afkomstig zijn van een foutaansluiting, maar behoren bij de achtergrondconcentratie in het stelsel.

De achtergrondwaarde is geen indicatie voor een foutaansluiting. Daarom dient er ook een grenswaarde vastgesteld te worden. Alle waarden, hoger dan de grenswaarde, maken een locatie verdacht en kunnen duiden op een foutaansluiting. Nader onderzoek is in dat geval noodzakelijk. Net als bij de bepaling van de achtergrondwaarde, is voor de bepaling van de grenswaarde nog niet veel praktijkervaring. In §5.2.1 is een beschrijving gegeven van de bepaling van de grenswaarde.

3.3. Invloeden op de ammoniumconcentratie

Ammonium komt in het stelsel terecht door regen- en oppervlaktewater en eventuele foutaansluitingen. Daarnaast zijn er nog enkele invloedsfactoren en processen die de concentratie beïnvloeden en deze kunnen verhogen of verlagen. Deze invloedsfactoren en processen worden in deze paragraaf kort benoemd met het (vermoedelijke) effect op de ammoniumconcentratie. De werking hiervan wordt gedetailleerd uitgelegd in bijlage F.

3.3.1. Invloedsfactoren

In tabel 3.1 zijn de invloedsfactoren gegeven die de ammoniumconcentratie ($[NH_4^+]$) kunnen verhogen of verlagen. In deze tabel is de werking van de invloedsfactor gegeven met het mogelijke effect op de ammoniumconcentratie. In bijlage F wordt dieper op deze invloedsfactoren in gegaan.

Tabel 3.1 Invloedsfactoren op [NH4+] in het HWA-stelsel.

Invloedsfactor	Werking	Effect op NH_4^+ concentratie
Neerslag	Neerslag kan de [NH_4^+] verspreiden, verdunnen en zorgen voor opwoeling van het slib (zie ook mineralisatie §3.3.2.).	[NH_4^+] omlaag brengen bij verdunning/verspreiding. Omhoog bij opwoeling.
Omgevingsfactoren	Verschillende omgevingsfactoren hebben invloed op de concentratie. Bijvoorbeeld landbouw, hondenuitlaat, toename van basen in het stelsel enzovoorts.	[NH_4^+] verhogen of verlagen afhankelijk van omgevingsfactor.
Oppervlaktewater	Bevat van nature [NH_4^+] en beïnvloed op die manier de concentratie in het stelsel.	[NH_4^+] verhogen of verlagen afhankelijk van de concentratie van het oppervlaktewater.
Vullingsgraad stelsel	In het stelsel kunnen verschillende vullinggraden voorkomen, wat de concentratie in mg/l kan beïnvloeden.	[NH_4^+] verhogen of verlagen afhankelijk van de mate van vulling in het stelsel.
Stroming stelsel	Stroming in het stelsel kan ervoor zorgen dat de [NH_4^+] zich verplaatst en/of verdunt.	[NH_4^+] wordt verlaagd en op andere plaatsen verhoogd.
Verspreiding ammonium in volledig gevulde buis	Ammonium verspreidt zich als 'wolk' in het water.	Lichte verspreiding dus lichte afname, langzame verplaatsing.
Grootte ammoniumlozing	De te meten [NH_4^+] is afhankelijk van de grootte van de lozing.	[NH_4^+] is afhankelijk van de grootte van de lozing.

3.3.2. Processen van invloed op de ammoniumconcentratie

Naast de invloedsfactoren zijn er verschillende processen die in het water kunnen plaatsvinden die ook van invloed zijn op de ammoniumconcentratie. In tabel 3.2 zijn deze processen benoemd met korte beschrijving van de werking en mogelijke invloed op de ammoniumconcentratie. In bijlage F wordt hier een uitgebreide beschrijving van gegeven.

Tabel 3.2 Processen van invloed op [$NH4^+$] in het HWA-stelsel.

Processen	Werking	Effect op NH_4^+ concentratie
Evenwichtsreactie ammonium ↔ ammoniak	Er bestaat een evenwicht tussen ammonium en ammoniak. Afhankelijk van de pH en/of de temperatuur in het stelsel loopt deze reactie meer naar ammonium of ammoniak.	[NH_4^+] omlaag brengen bij verdunning/verspreiding. Omhoog bij opwoeling.
Omzetting ureum naar ammonium (hydrolyse)	Bij hydrolyse worden complexe onopgeloste organische verbindingen omgezet in opgeloste organische stoffen. Ureum naar ammonium.	[NH_4^+] verhogen.
Nitrificatie en denitrificatie	Nitrificatie kan ammonium omzetten in nitriet. Dit is een zuurstofverbruikend proces. Het denitrificatieproces zet nitriet om in stikstof.	Nitrificatie kan [NH_4^+] verlagen mits er voldoende zuurstof aanwezig is.
Mineralisatie van slib	Het mineralisatieproces kan slib omzetten in ammonium en stikstof. In afwezigheid van zuurstof wordt alleen ammonium geproduceerd.	Het mineralisatieproces kan de [NH_4^+] verhogen, maar in welke mate dit in het HWA-stelsel optreedt, is niet bekend.

4. ONDERZOEKEN IN RIJNSWEERD-ZUID

Dit hoofdstuk begint met een beschrijving van de situatie van het rioolstelsel in de wijk Rijnsweerd-Zuid. Daarnaast wordt beschreven welke eerdere onderzoeken naar foutaansluitingen zijn uitgevoerd in de wijk in opdracht van de gemeente Utrecht. Om antwoord te geven op de onderzoeksvraag zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd. Er is beschreven welke onderzoeken dat zijn en op welke deelvragen de onderzoeken antwoord geven.

4.1. Stelselbeschrijving onderzoeksgebied

Het gebied waar de ammoniummethode is uitgevoerd, is de wijk Rijnsweerd-Zuid te Utrecht. Een tekening van de betreffende wijk is opgenomen in bijlage II van het Projectplan (in bijlage A). Het rioolsysteem in deze wijk is een gescheiden stelsel. Hierbij wordt het vuilwater naar de afvalwaterzuiveringsinstallatie verpompt en staat het hemelwaterstelsel onder vrijverval in open verbinding met het oppervlaktewater, de Rijnsweerdsewetering genaamd. Het stelsel mondt via drie uitstroomopeningen uit op dit water.
De meeste strengen van het HWA-stelsel hebben een diameter van 300, 400 en een enkele streng heeft een diameter van 500 mm. Bijzonder aan deze wijk is dat de huisaansluitingen niet op de rioolbuis zijn gemonteerd, maar rechtstreeks op de put.

De Rijnsweerdsewetering is een relatief groot oppervlaktewater met een redelijk goede doorstroming. Vandaar dat negatieve milieueffecten door eventuele foutaansluitingen een minder of geen direct effect hebben (zie ook §2.1.2). De open verbinding met het oppervlaktewater zorgt ervoor dat het hemelwaterstelsel niet alleen neerslag bevat. Het oppervlaktewater kan vrij het stelsel instromen. Hierdoor is het stelsel bijna overal (geheel) gevuld met water. Dit wordt ook wel een verdronken stelsel genoemd.

De interactie tussen het oppervlaktewater en het neerslagwater in het stelsel heeft een verandering van de ammoniumconcentratie tot gevolg, omdat het oppervlaktewater lagere ammoniumconcentraties bevat dan neerslag. Het oppervlaktewater in Rijnsweerd-Zuid, dat in verbinding staat met de Kromme Rijn, heeft een ammoniumconcentratie van 0,29 mg/l gemiddeld per jaar (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, 2010). Deze concentratie komt overeen met de gevonden concentraties gemeten tijdens de verschillende meetronden, deze liggen tussen de 0,033 mg/l (meetronde 3) en de 0,351 mg/l (meetronde 2). Het regenwater in De Bilt bevat een ammoniumconcentratie tussen de 18 en 200 µmol/l wat neerkomt op een ammoniumconcentratie tussen de 0,32 en 3,6 mg/l (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2011).

Aan de hand van de hoogteligging en de plaats van de uitstroomopeningen wordt verwacht dat het HWA-stelsel in noordwestelijke richting afstroomt naar het oppervlaktewater. Voor sommige strengen betekent dit dat het water maar een kant op kan, maar in het vermaasde gedeelte van het stelsel zal het water meerdere wegen af kunnen leggen. Op die plaatsen kan op basis van de gegevens op de tekening niet bepaald worden in welke richtingen het water zich verplaatst. De stroming in een vermaasd stelsel is complex en van vele factoren afhankelijk, onder meer van: aanvoer neerslag, vaste delen in het stelsel (bladeren e.d.) en de vullingsgraad in stelsel.

4.2. Eerder uitgevoerd onderzoek in Rijnsweerd-Zuid

Zoals eerder beschreven in §1.1 is er in 2011/2012 een onderzoek uitgevoerd naar foutaansluitingen in Rijnsweerd-Zuid. Deze onderzoeken zijn uitgevoerd door het consortium Twente Milieu, Moons B.V. en DHV B.V. In de paragraaf volgt een korte samenvatting van het eerder uitgevoerde onderzoek met de betreffende resultaten.

4.2.1. Ammoniummethode door Twente Milieu

In de wijk Rijnsweerd-Zuid zijn twee meetronden uitgevoerd met de ammoniummethode. Tijdens deze twee meetronden zijn alle inspectieputten in de wijk bemonsterd en geanalyseerd op de ammoniumconcentratie. De analyses zijn verricht met een VIS-spectrofotometer DR3900 (zie bijlage II Meetplan Rijnsweerd-Zuid in bijlage B appendices).

De twee meetronden vertonen veel verschillen. Tijdens meetronde 1 zijn enkele verdachte putten opgemerkt. Terwijl deze tijdens meetronde 2 lang niet allemaal als verdacht zijn opgemerkt. Alleen

aan de Horatiuslaan zijn enkele locaties die in beide meetronden verdacht zijn. De resultaten geven geen duidelijk beeld van nader te onderzoeken locaties. De gemeente Utrecht heeft in overleg met het consortium besloten alle woningen in Rijnsweerd-Zuid te onderzoeken met Riosonic.

4.2.2. Riosonic onderzoek door Moons B.V.

Riosonic is een opsporingsmethode die door het detecteren van geluid tot op toestelniveau kan bepalen op welk rioolstelsel een toestel is aangesloten (zie bijlage E werking opsporingsmethoden). In totaal zijn in Rijnsweerd-Zuid 206 woningen onderzocht met deze methode. Bij zes huishoudens is een foutaansluiting ontdekt. In tabel 4.1 zijn de toestellen per huishouden weergegeven die foutief zijn aangesloten. In bijlage J is te zien waar de foutaansluitingen zich bevinden.

Tabel 4.1 Gevonden foutaansluitingen Riosonic in Rijnsweerd-Zuid (DHV B.V., 2012).

Adres	Beganegrond	1ste verdieping
Horatiuslaan 8	WC, keuken, fontein, bijkeuken	WC, fontein, douche
Sophocleslaan 1*	Schrobputje (buiten), wasmachine	
Cicerolaan 4	Keuken	
Cicerolaan 6	WC, fontein, keuken	Fontein, bad
Ovidiuslaan 6	WC (2 maal), fontein, keuken, wasmachine, putje (zwembad)	WC, fontein, douche (ieder 2 maal) en bad
Vergiliuslaan 9	Wasbak in garage (niet in gebruik)	

*Bij constatering direct herstelt door een aannemer.

Uit de resultaten is te concluderen dat de ammoniummethode niet de foutaansluitingen heeft gedetecteerd die er volgens Riosonic wel zijn. De gemeente Utrecht is benieuwd waarom de ammoniummethode dit niet heeft gedetecteerd. Daarom is er opdracht gegeven om de ammoniummethode opnieuw uit te voeren om te zien of deze geschikt is als opsporingsmethode.

4.3. Onderzoeken voor beantwoording onderzoeksvraag

Om antwoord te geven op de onderzoeksvraag zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd. Welke onderzoeken uitgevoerd zijn en hoe dit is gedaan, staat beschreven in het Meetplan (zie bijlage B). In deze paragraaf is per onderzoek aangegeven aan welke deelvraag het betreffende onderzoek een bijdrage levert.

- *Onderzoek 1 Uitvoering ammoniummethode*

Het doel van onderzoek 1 is het opsporen van foutaansluitingen met de ammoniummethode in de wijk Rijnsweerd-Zuid. Er zijn 3 meetronden uitgevoerd. Tijdens elke meetronde wordt iedere put in de wijk bemonsterd. Bij eerder onderzoek door het consortium met behulp van Riosonic (DHV B.V., 2012) is de gehele wijk onderzocht op foutaansluitingen, waardoor deze bekend zijn. Ammoniumconcentraties die tijdens dit onderzoek verzameld zijn, worden vergeleken met resultaten uit het onderzoek door het consortium. Op die manier is onderzocht of de ammoniummethode dezelfde uitkomsten geeft als Riosonic.
Dit deel van het onderzoek geeft dus een antwoord op de onderzoeksvragen *'Hoe verhouden de meetresultaten van de ammoniummethode zich ten opzichte van de bekende foutaansluitingen in het onderzoeksgebied?'*.

Naast het meten van de ammoniumconcentratie zijn tijdens dit onderzoek ook andere parameters meegenomen. Namelijk de zuurgraad (pH), het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) en de temperatuur van het monster. De overige parameters zijn vergeleken met de ammoniumconcentraties en de bekende foutaansluitingen. Op die manier is een antwoord gegeven op de volgende deelvragen: '*Is er een verband tussen de gemeten ammoniumconcentraties en de overige gemeten parameters?*' en '*Hoe verhouden de meetresultaten van de overige gemeten parameters zich ten opzichte van de bekende foutaansluitingen in het onderzoeksgebied?'.*

- *Onderzoek 2 Opslag in monsterpotje*

Bij dit onderzoek is onderzocht of de ammoniumconcentratie van het monster verandert over de tijd. Met dit onderzoek is een praktische vraag bij de uitvoering van onderzoek 1 opgelost. Moeten de monsters direct dezelfde dag geanalyseerd worden, of kan hier ook enige tijd tussen zitten? Ook

geeft dit onderzoek deels antwoord op de deelvraag: '*Hoe moet de methode uitgevoerd worden in dit onderzoeksgebied?*'.

- *Onderzoek 3 Monsterneming*

Met onderzoek 3 is onderzocht op welke wijze het monster voor analyse op ammonium het beste verkregen kan worden. Dit is noodzakelijk voor de juiste uitvoering van onderzoek 1. Daarnaast draagt dit bij aan het antwoord op de deelvraag: '*Hoe moet de methode uitgevoerd worden in dit onderzoeksgebied?*'.

- *Onderzoek 4 Detectiegrenzen ammoniummethode*

Met dit onderzoek is het verband tussen de neerslag en de ammoniumconcentraties onderzocht. Daarnaast is met dit onderzoek onderzocht tot op welke afstand van een lozingspunt de foutaansluiting nog detecteerbaar is. Dit onderzoek geeft een antwoord op de deelvraag: '*Tot hoever vanaf een lozingspunt is een verhoogde ammoniumconcentratie te meten; wat zijn de detectiegrenzen?*'.

- *Onderzoek 5 Verspreiding ammonium*

In de proefopstelling te Breda is onderzocht wat de verspreiding van ammonium in een geheel gevulde buis is. Door een bekende hoeveelheid ammonium te lozen in geconditioneerde omstandigheden is de verspreiding van ammonium in zowel horizontaal als in verticaal opzicht getracht in kaart te brengen. Dit onderzoek geeft antwoord op de deelvraag: '*Wat is de verspreiding van ammonium in een geheel gevulde rioolbuis in horizontale en verticale richting?*'.

De deelvraag: *'Wat is de toepasbaarheid van de ammoniummethode, rekening houdend met de specifieke kenmerken van het onderzoeksgebied?'* wordt in onderzoeken 1 en 4 onderzocht. Het antwoord op deze vraag wordt gegeven in een protocol over de uitvoering van het onderzoek in Rijnsweerd-Zuid.

De vijf onderzoeken vormen de basis voor het antwoord op de deelvraag: '*In hoeverre is de ammoniummethode betrouwbaar?*'. De deelvragen samen vormen een antwoord op de hoofdvraag: *'Hoe kan de ammoniummethode ingezet worden als QuickScan om foutaansluitingen op het HWA-stelsel op te sporen?'*.

In Tabel 4.2 Koppeling onderzoek en deelvragen zijn per onderzoek de bijbehorende deelvragen weergegeven.

Tabel 4.2 Koppeling onderzoek en deelvragen.

Onderzoek	Betreffende deelvraag
1	▪ *Hoe verhouden de meetresultaten van de ammoniummethode zich ten opzichte van de bekende foutaansluitingen in het onderzoeksgebied?* ▪ *Hoe verhouden de meetresultaten van de overige gemeten parameters zich ten opzichte van de bekende foutaansluitingen in het onderzoeksgebied?* ▪ *Is er een verband tussen de gemeten ammoniumconcentraties en de overige gemeten parameters?*
2	▪ *Hoe moet de methode uitgevoerd worden in dit onderzoeksgebied?*
3	▪ *Hoe moet de methode uitgevoerd worden in dit onderzoeksgebied?*
4	▪ *Tot hoever vanaf lozingspunt is een verhoogde ammoniumconcentratie te meten; wat zijn de detectiegrenzen?'*
5	▪ *Wat is de verspreiding van ammonium in een geheel gevulde rioolbuis in horizontale en verticale richting?*
Overkoepelende vragen:	▪ *In hoeverre is de ammoniummethode betrouwbaar?* ▪ *Wat is de toepasbaarheid van de ammoniummethode, rekening houdend met de specifieke kenmerken van het onderzoeksgebied?*

5. AMMONIUMETHODE IN RIJNSWEERD-ZUID

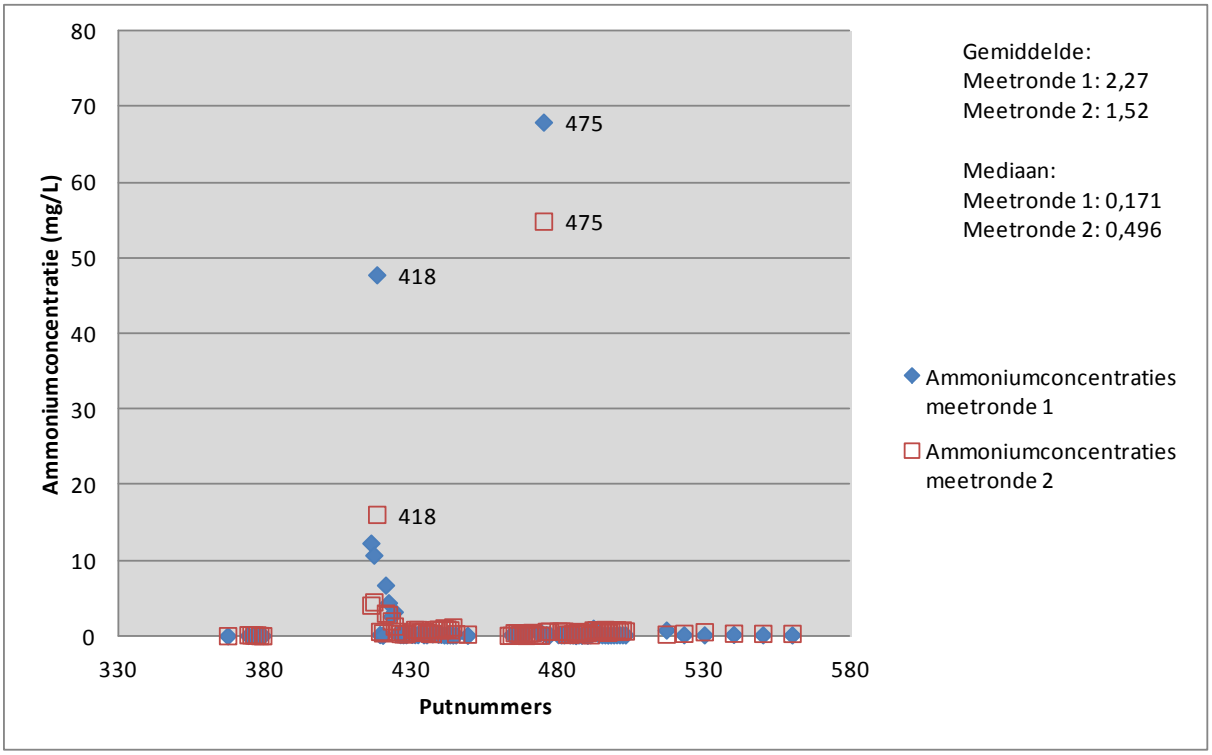
Dit hoofdstuk geeft de analyse van de meetresultaten van onderzoek 1 weer en geeft antwoord op de volgende deelvraag: *'Hoe verhouden de meetresultaten van de ammoniummethode zich ten opzichte van de bekende foutaansluitingen in het onderzoeksgebied?'.*

5.1. Vergelijking van de meetronden

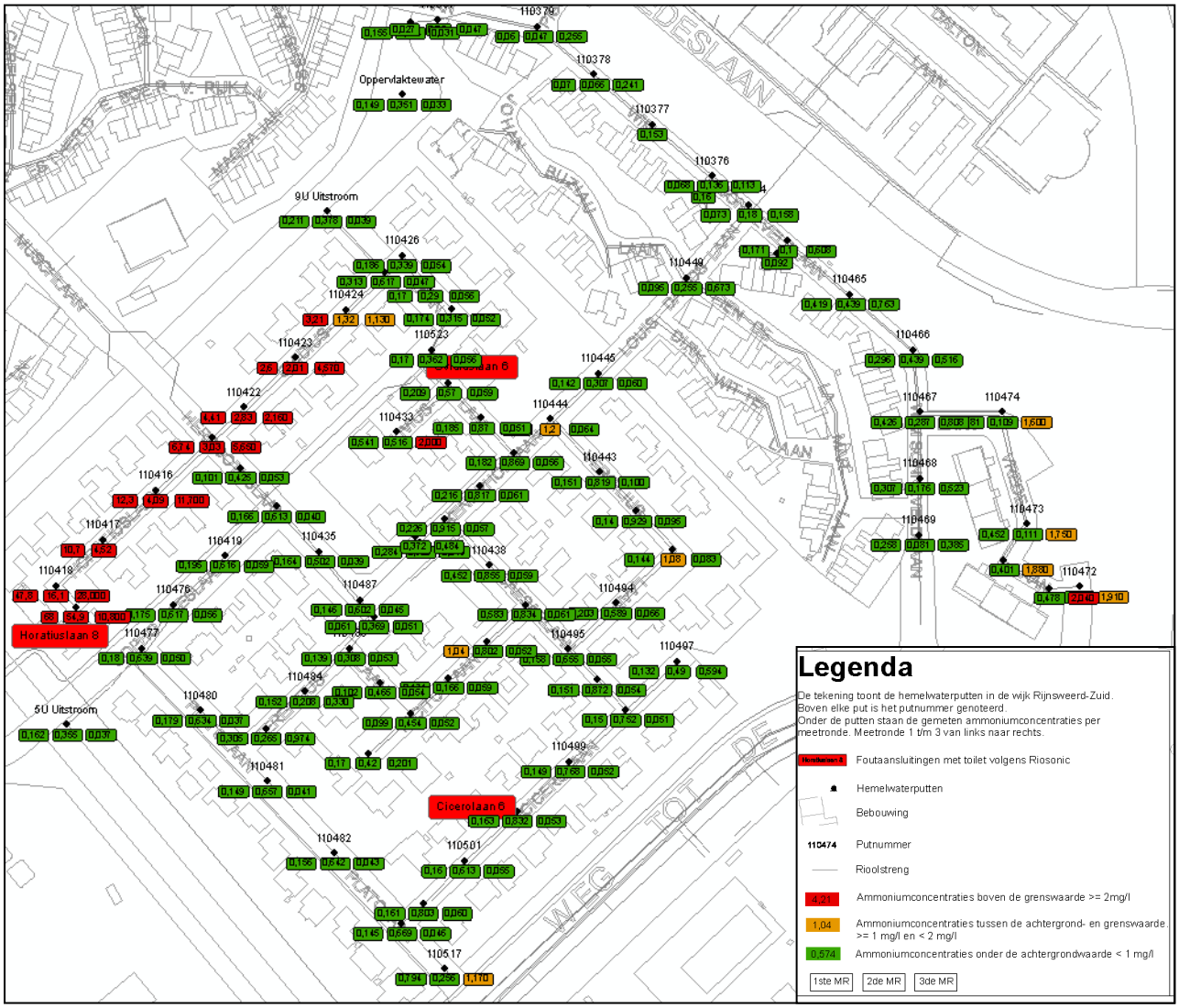
Deze paragraaf beschrijft de analyse van de meetresultaten uit onderzoek 1 met betrekking tot de ammoniumconcentraties. Eerst zijn de meetronden 1 en 2, die voor het herstel van de foutaansluitingen zijn uitgevoerd, met elkaar vergeleken. Vervolgens is meetronde 3 geanalyseerd, welke na het herstel is uitgevoerd. De meetronden voor en na het herstel zijn met elkaar vergeleken om te zien of er een afname van de ammoniumconcentratie is.

5.1.1. Vergelijking van de ammoniumconcentraties in meetronden 1 en 2

Bij het meten van de ammoniumconcentraties < 1 mg/l valt op dat deze in meetronde 2 over het algemeen hoger zijn dan in meetronde 1 (zie figuur 5.2 en grote kaart in bijlage I). Bij ammoniumconcentraties > 1 mg/l, zijn de concentraties bij meetronde 2 juist lager. Dit verklaart ook de hogere gemiddelde waarde bij meetronde 1 (2,27 mg/l) dan de waarde van meetronde 2 (1,52 mg/l) en de lagere mediaan bij meetronde 1 (0,171 mg/l) dan bij meetronde 2 (0,496 mg/l). De uitschieters hebben veel invloed op de gemiddelde waarde en niet zozeer op de mediaan. Figuur 5.1 toont het overzicht van alle gemeten ammoniumconcentraties met in de rechterbovenhoek een overzicht van de mediaan en de gemiddelde ammoniumconcentratie tijdens meetronden 1 en 2.



Figuur 5.1 Ammoniumconcentraties tijdens meetronden 1 en 2.
De putnummers op de x-as corresponderen met de putnummers zoals weergegeven op de tekening in bijlage I. Alleen de uitstroomopeningen en het oppervlaktewater hebben een andere nummering: 11005U = 530, 11009U = 540, 11011U = 550 en Oppervlaktewater = 560.



Figuur 5.2 Resultaten van de ammoniumwaarden tijdens meetronden 1, 2 en 3 (grote kaart in bijlage I).

In meetronde 1 zijn 75 putten bemonsterd en in meetronde 2 in totaal 82 putten, waardoor er 75 putten met elkaar vergeleken kunnen worden. De volgende conclusies kunnen getrokken worden bij de vergelijking van meetronde 2 ten opzichte van meetronde 1:

- Bij 21 van de 75 putten (van meetronde 2) is de ammoniumconcentratie afgenomen.
- Bij 54 van de 75 putten (van meetronde 2) is de ammoniumconcentratie toegenomen.
- Van de 21 putten waarbij de ammoniumconcentratie is afgenomen hebben 8 putten een waarde hoger dan 1 mg/l. Dit zijn alle putten met een ammoniumconcentratie hoger dan 1 mg/l.
- Hieruit volgt dat van de putten met een lagere waarde dan 1 mg/l ammonium 13 putten een afname van de ammoniumconcentratie laten zien en 54 putten een toename.

Invloed van neerslag op de ammoniumconcentratie

De neerslagintensiteit voor en tijdens de meetronden is niet constant. De geregistreerde neerslag is weergegeven in bijlage G (HydroNET, 2013).

Uit de figuren 5.1 en 5.2 is op te merken dat er verschillen aanwezig zijn tussen meetronden 1 en 2. Een verklaring voor deze waarneming wordt gezocht in de invloed van neerslag (zie tabel 5.1).

Tabel 5.1 Invloed neerslag op ammoniumconcentratie.

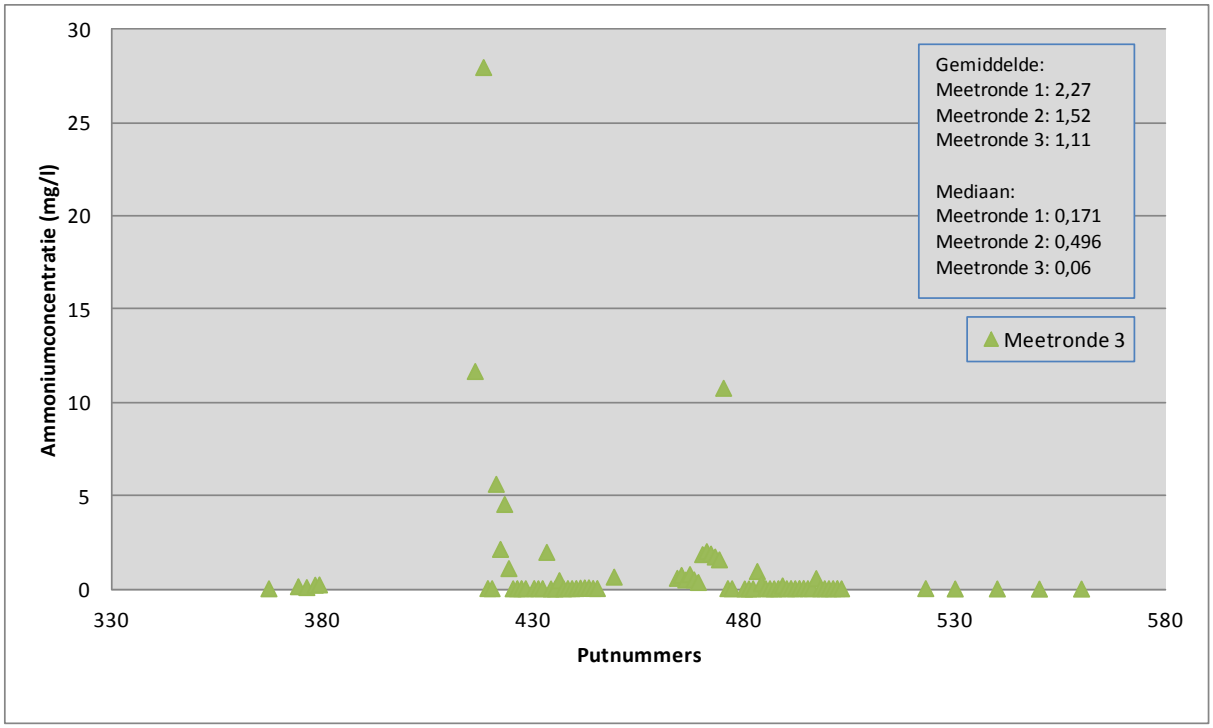
Invloedsfactor	Mogelijk effect op ammoniumconcentratie
Verdunning	Regen die het stelsel in spoelt heeft een verdunnend effect. De ammoniumconcentratie wordt hierdoor lager.
Verspreiding	Inkomend regenwater zorgt voor een stroming in het stelsel. Het is mogelijk dat door stroming ammonium wordt getransporteerd en/of verspreid. Ammoniumconcentraties kunnen op andere plaatsen worden gemeten en waarden nemen af door de verspreiding.
Opwoeling	Inkomend water uit kolken kan het slib op de bodem van het stelsel opwoelen. Doormiddel van bacteriën en zuurstof kan het slib in ammonium worden omgezet. Dit zou een verhoging van de ammoniumconcentratie tot gevolg kunnen hebben.

In welke mate deze invloedsfactoren optreden is door dit onderzoek niet te verifiëren. Echter, er zijn in dit onderzoek wel sterke aanwijzingen dat deze processen optreden. Dit zijn de volgende punten:

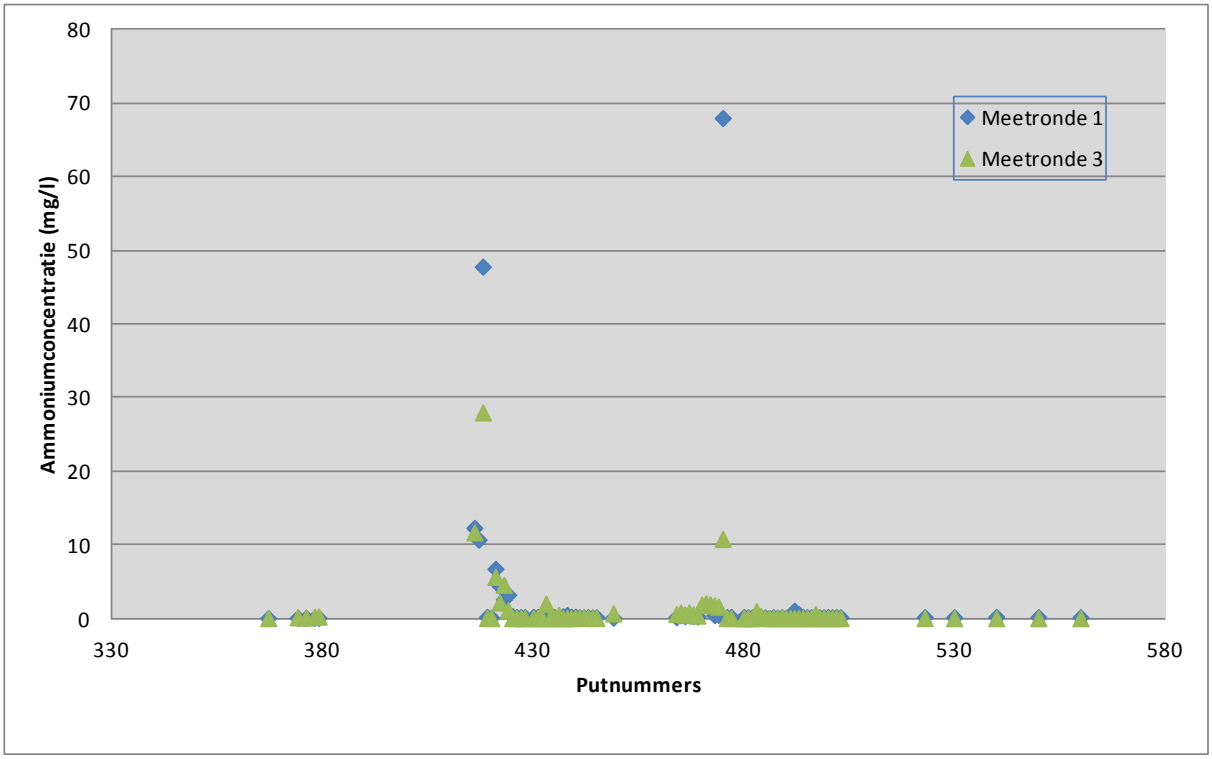
- Ammoniumwaarden > 1 mg/l tijdens meetronde 1 zijn bij meetronde 2 allemaal afgenomen. De neerslag voor meetronde 2 kan de oorzaak zijn van een verdunning en een verspreiding van het aanwezige ammonium in het stelsel.
- Ammoniumwaarden < 1 mg/l tijdens meetronde 1 zijn bij meetronde 2 bijna allemaal toegenomen. Het is mogelijk dat de neerslag het slib in het stelsel dusdanig heeft opgewoeld dat mineralisatie op heeft kunnen treden. Hierdoor kan de achtergrondconcentratie in het stelsel zijn toegenomen. Dit is echter een vermoeden en is niet verder onderzocht.

5.1.2. Vergelijking meetronde 3

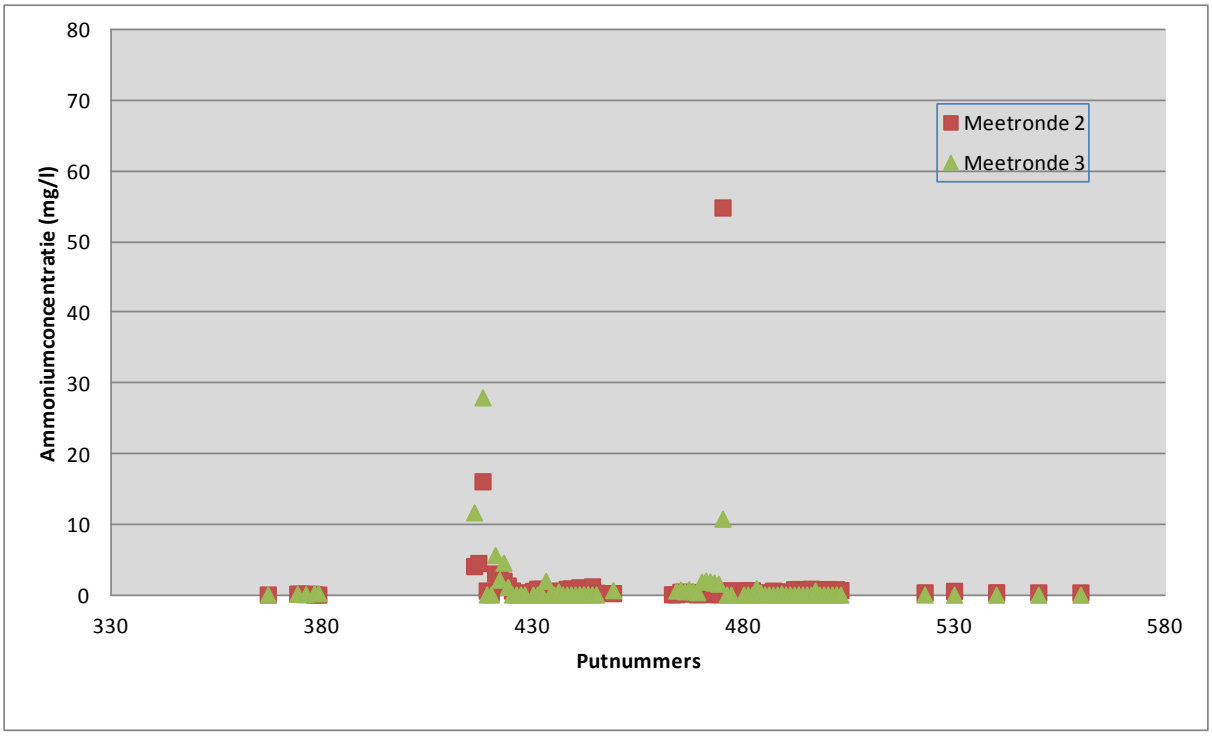
Figuur 5.3 toont de gemeten ammoniumconcentraties tijdens meetronde 3. De resultaten van deze meetronde zijn in figuur 5.4 en 5.5 samen met meetronde 1 en 2 gepresenteerd.



Figuur 5.3 Ammoniumconcentraties tijdens meetronde 3 (alle gemeten concentraties).



Figuur 5.4 Ammoniumconcentraties tijdens meetronde 1 en 3.



Figuur 5.5 Ammoniumconcentraties tijdens meetronde 2 en 3.

De gemeten waarden zijn ook gevisualiseerd in de tekening in bijlage I. Uit deze tekening en de figuren 5.2 t/m 5.5 is het volgende te herleiden:

- Circa 75% van de ammoniumwaarden uit meetronde 3 zijn lager dan de waarden uit meetronden 1 en 2.
- Een aantal putten laat in vergelijking met meetronden 1 en 2 een duidelijke verhoging van de ammoniumconcentratie zien. Dit zijn de putten 433, 470, 471, 472, 473 en 474. Waren de ammoniumconcentraties bij deze putten in meetronden 1 en 2 lager dan 1 mg/l bij meetronde 3 zijn de ammoniumconcentraties bij deze putten rond de 2 mg/l. Dit betekent een verdubbeling van de ammoniumconcentraties op die plaatsen.

- De hoogste ammoniumconcentratie (put 475) is tijdens meetronde 3 aannemelijk lager, namelijk van een concentratie van 54,9 mg/l in meetronde 1 naar 10,8 mg/l. Dit is mogelijk het gevolg van het herstel van de foutaansluiting (meer hierover in 5.3).
- Tijdens meetronde 3 zijn de overige putten in de Horatiuslaan waar tijdens meetronden 1 en 2 hoge ammoniumconcentraties zijn aangetroffen, niet duidelijk verlaagd. Sommige van deze putten laten zelfs nog een verhoging van de ammoniumconcentratie zien ten opzichte van de eerste twee metingen. Meer hierover in hoofdstuk 7.

Mogelijke verklaring lage waarden:
Circa 75% van de ammoniumconcentraties uit meetronde 3 zijn lager dan de waarden uit meetronden 1 en 2. In de eerdere vergelijking tussen meetronden 1 en 2 is opgemerkt dat de invloed van neerslag een verhogend effect kan hebben op de ammoniumconcentratie (zie 5.1.1). Voor meetronde 3 is het voor een periode van 7 dagen droog geweest. Deze situatie is te vergelijken met meetronde 1 waar ook 7 dagen geen neerslag viel (HydroNET, 2013). Toch zijn de waarden bij meetronde 3 beduidend lager dan bij meetronde 1. Mogelijk is de wisselende temperatuur tijdens de uitvoering van de metingen de oorzaak van de verschillen in waarden bij de verschillende meetronden. Tijdens meetronde 3 was de buitentemperatuur 17°C hoger dan tijdens meetronde 2. Omdat er geen vergelijking is met andere meetronden onder dezelfde omstandigheden, kunnen hier geen verdere uitspraken over worden gedaan. Ook kan stroming in het stelsel, vermenging met het oppervlaktewater, andere invloedsfactoren of een combinatie van deze factoren een verklaring geven voor de lagere waarden. Voor dit onderzoek voert het te ver om hier dieper op in te gaan.

5.2. Vergelijking bekende foutaansluitingen

Deze paragraaf beschrijft welke locaties in de wijk Rijnsweerd-Zuid aan de hand van de ammoniummethode aangemerkt zijn als verdachte locaties, dus waar een mogelijke foutaansluiting aanwezig is. Hiervoor is eerst een grenswaarde bepaald. Op basis van deze grenswaarde zijn putten als verdachte en niet-verdachte locaties aangemerkt. Uiteindelijk is de vergelijking gemaakt tussen deze verdachte locaties en de bekende foutaansluitingen die opgespoord zijn met Riosonic door het consortium (DHV B.V., 2012).

5.2.1. Bepaling achtergrond- en grenswaarde

Een methode om de achtergrond- en grenswaarde te bepalen is er niet, omdat het stelsel een dynamisch verloop heeft in ammoniumconcentraties wat het gevolg is van neerslag en interactie met het oppervlaktewater.

De achtergrondwaarde is bepaald door de meetdata in een grafiek te plaatsen. Bij een ammoniumconcentratie van 1 mg/l vertoont de meetdata een plotselinge stijging van de grafiek (zie ook figuur H.1 en H.2 in bijlage H). Dit punt wordt het knikpunt genoemd. Van alle waarden onder dit knikpunt wordt niet verwacht dat ze afkomstig zijn van een foutaansluiting en behoren bij de achtergrondconcentratie in het stelsel. De achtergrondwaarde is gesteld op 1 mg/l.

De grenswaarde wordt in dit onderzoek bepaald aan de hand van de 90% waarde van de ammoniumconcentraties. Dit op basis van literatuuronderzoek (Vaststellen en opsporen van foutaansluitingen, 2010) blijkt dat er niet meer dan 5 à 10% foutief aangesloten huishoudens per woonwijk worden verwacht.
Dit gegeven is toepast op de meetgegevens uit de onderzoeken. Hieruit komt een grenswaarde van 2 mg/l ammonium voort. Ammoniumconcentraties > 2 mg/l worden als verdacht beschouwd en worden mogelijk veroorzaakt door een foutaansluiting (zie ook bijlage H).

5.2.2. Vergelijking resultaten ammoniummethode met de bekende foutaansluitingen

Eerder uitgevoerd Riosonic onderzoek door het consortium (DHV B.V., 2012) in de wijk Rijnsweerd-Zuid heeft zes foutaansluitingen in kaart gebracht. Omdat met de ammoniummethode enkel verkeerd aangesloten toiletten opgespoord kunnen worden, zijn alleen de adressen waar een toilet verkeerd is aangesloten interessant om te vergelijken. In tabel 5.2 zijn de foutaansluitingen op een rij gezet die opgespoord kunnen worden met de ammoniummethode. Daarachter staat een beschrijving gegeven van de toestellen die verkeerd zijn aangesloten.

Tabel 5.2 Bekende toilet foutaansluitingen Rijnsweerd-Zuid.

Adres	Beganegrond	1ste verdieping
Horatiuslaan 8	WC, keuken, fontein, bijkeuken	WC, fontein, douche
Cicerolaan 6	WC, fontein, keuken	Fontein, bad
Ovidiuslaan 6	WC (2 maal), fontein, keuken, (zwembad)	WC , fontein, douche, fontein (ieder 2 maal) en putje.

- *Meetronde 1*

De gevonden ammoniumconcentraties zijn gevisualiseerd zie bijlage I. Uit deze figuur blijkt dat er bij meetronde 1, op basis van de gestelde grenswaarde van 2 mg/l, acht verdachte putten zijn gevonden.

- De ammoniumconcentraties van de putten aan de Horatiuslaan bevatten vanaf huisnummer 8 in de richting van de uitstroom 9U duidelijk verhoogde waarden. Deze acht putten zijn de enige putten uit meetronde 1 die op basis van de grenswaarde verdacht zijn. Vlak voor de uitstroomopening (put 425) verdwijnt de verhoogde concentratie plotseling.
- De ammoniumconcentraties van de putten bij Cicerolaan nr. 6 en Ovidiuslaan nr. 6 bevatten geen waarden boven 2 mg/l. Ook zijn deze waarden niet hoger dan de achtergrondconcentratie van het stelsel.

Op basis van deze gegevens kan voorlopig geconcludeerd worden dat tijdens meetronde 1 alleen de foutaansluiting aan de Horatiuslaan gedetecteerd is.

- *Meetronde 2*

De gevonden ammoniumconcentraties zijn gevisualiseerd in bijlage I. Uit deze figuur blijkt dat er tijdens meetronde 2 zeven verdachte putten zijn gevonden.

- De ammoniumconcentraties van de putten aan de Horatiuslaan bevatten vanaf huisnummer 8 in de richting van de uitstroom 9U duidelijk verhoogde waarden. Deze zeven putten zijn de enige putten uit meetronde 2 die op basis van de grenswaarde verdacht zijn. Vlak voor de uitstroomopening (put 424) verdwijnt de verhoogde concentratie plotseling.
- De putten in Cicerolaan nr. 6 en Ovidiuslaan nr. 6 bevatten geen waarden boven de gestelde grenswaarde van 2 mg/l.

- *Meetronde 3*

In bijlage I zijn de gemeten ammoniumconcentraties gevisualiseerd. Uit deze figuur blijkt dat bij meetronde 3 meerdere putten als verdacht worden aangemerkt.
De verhoogde waarden in de Horatiuslaan zijn verklaarbaar aan de hand van de herstelde foutaansluiting. Het is aannemelijk dat het enige tijd duurt voordat de ammoniumconcentratie volledig uit het stelsel verdwenen is. Hoe de ammoniumconcentratie zich na herstel in de Horatiuslaan gedraagt, is nader omschreven in hoofdstuk 7.
Opmerkelijk echter zijn de verhoogde waarden bij de Ovidiuslaan ter hoogte van put 433 (2 mg/l) en bij de Enny Vredelaan ter hoogte van de putten 474 (1,6 mg/l), 473 (1,75 mg/l), 470 (1,88 mg/l), 471 (2,04 mg/l) en 472 (1,91 mg/l). Op basis van de grenswaarde van 2 mg/l zijn de putten 433 en 471 verdachte locaties. Dit spreekt de uitkomsten vanuit het Riosonic onderzoek tegen, aangezien in deze straten geen foutaansluitingen zijn geconstateerd. Mogelijk zijn de verhoogde waarden een toevallige meting, maar om dit uit te sluiten zullen meerdere metingen verricht moeten worden en zal eventueel vervolgonderzoek plaats moeten vinden.

Op basis van deze informatie kan geconcludeerd worden dat van de drie foutaansluitingen die gevonden zijn met Riosonic, maar één foutaansluiting met de ammoniummethode is gedetecteerd.

Het is noodzakelijk om te achterhalen waarom met de ammoniummethode de twee overige verkeerd aangesloten toiletten niet opgespoord zijn. Omdat de bekende foutaansluitingen na meetronden 1 en 2 hersteld zouden worden, is nader onderzoek gedaan naar de toiletaansluitingen tijdens de herstelwerkzaamheden.

5.3. Verdiepend onderzoek bekende foutaansluitingen

Daar waar het toilet foutief is aangesloten volgens het Riosonic onderzoek, hebben herstelwerkzaamheden plaatsgevonden. Tijdens deze herstelwerkzaamheden is er verdiepend onderzoek naar deze foutaansluitingen uitgevoerd. In deze paragraaf worden de resultaten van dit verdiepend onderzoek gegeven. Aan de Ovidiuslaan nr. 6 en Cicerolaan nr. 6 heeft verdiepend onderzoek plaatsgevonden naar de foutaansluitingen, omdat deze foutaansluitingen niet zijn gedetecteerd met de ammoniummethode maar wel volgens het Riosonic onderzoek.
Aan de Horatiuslaan nr. 8 bevindt zich volgens het Riosonic onderzoek een foutaansluiting, welke ook gedetecteerd is met de ammoniummethode. Hier is, mede door de constatering van feces in de dichtstbijzijnde put (475), geen nader onderzoek gedaan naar de foutaansluiting. Wel zijn de herstelwerkzaamheden behandeld.

5.3.1. Herstelwerkzaamheden Horatiuslaan nr. 8

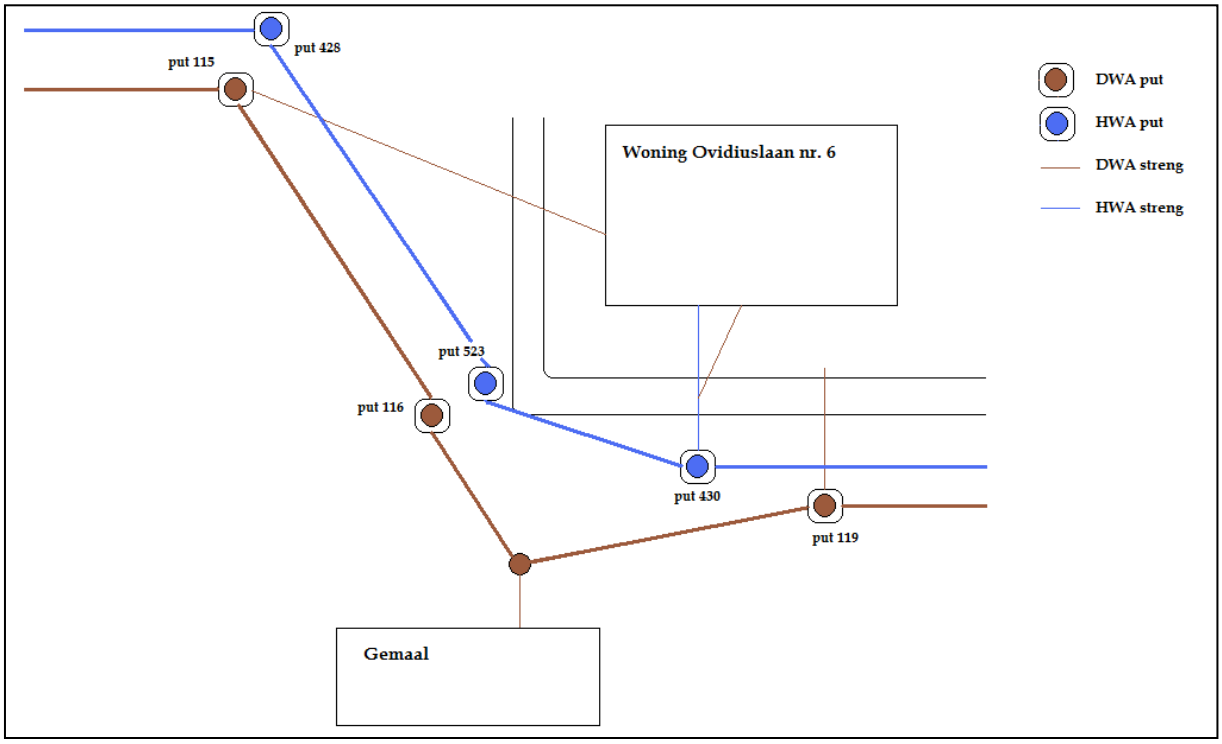
Bij de herstelwerkzaamheden aan de Horatiuslaan nummer 8 zijn de HWA aansluiting en de DWA aansluiting omgewisseld (zie afbeelding 5.1). Hierdoor zou in theorie het hemelwater en droogweerafvoer weer op het juiste stelsel zijn aangesloten. Echter is in de herstelde hemelwaterbuis een grijze afzetting aangetroffen (zie afbeelding 5.1). Vermoedelijk is deze afzetting het overblijfsel van een wasmachine, schrobputje of iets dergelijks. Deze buis mondt nu uit in het hemelwaterstelsel. Het vermoeden bestaat dat er nog steeds een foutaansluiting aanwezig is. Dit vermoeden wordt bevestigd door een verhoogde EGV tijdens meetronde 3 en nader onderzoek in de Horatiuslaan na het herstel. De foutaansluiting zal inpandig hersteld moeten worden.

Afbeelding 5.1 Foto's herstelwerkzaamheden en put 475.

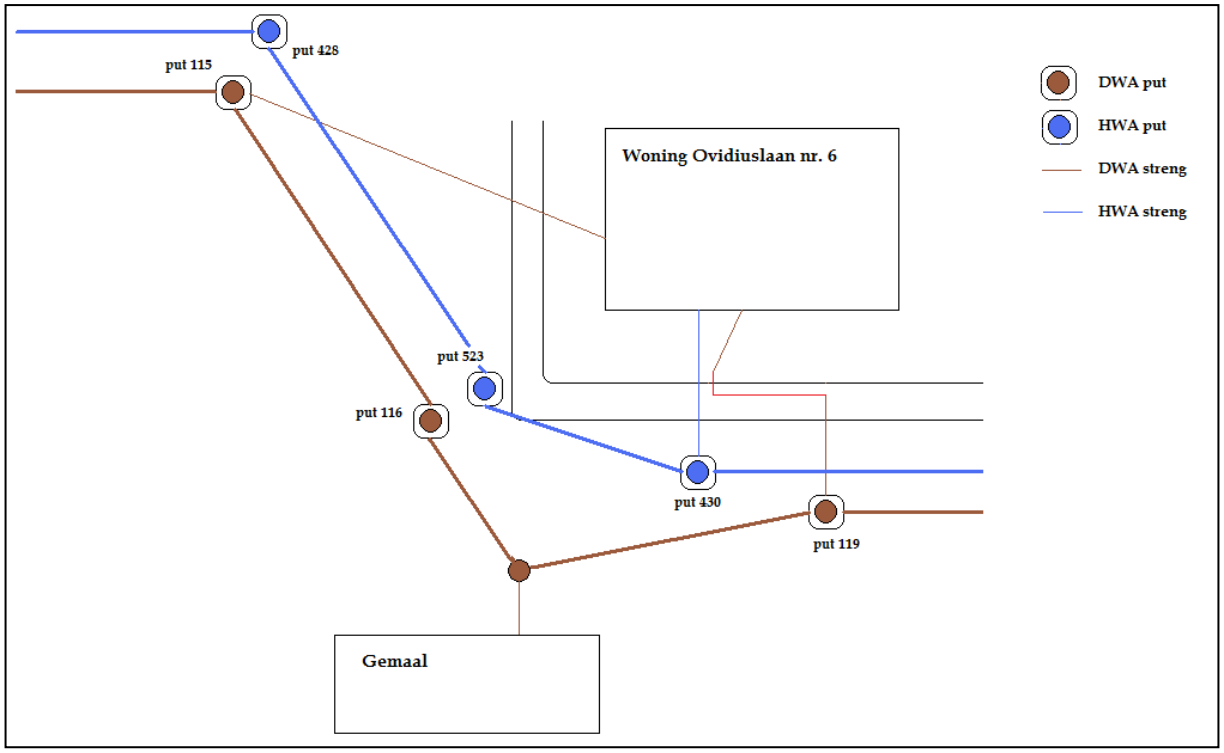
5.3.2. Verdiepend onderzoek Ovidiuslaan nr. 6

- Tijdens het herstel van de foutaansluiting aan de Ovidiuslaan nr. 6, blijkt dat er aan de zijkant van het huis één leiding naar de HWA put loopt (put 430). Deze leiding blijkt circa 4 meter vanaf de put te splitsen doormiddel van een Y-stuk. Eén van deze splitsingen bevat duidelijk meer vuil en er zijn vetafzetting zichtbaar. Op basis hiervan is geconcludeerd dat dit de DWA afvoer is (zie figuur 5.6).
- Bij de DWA put (put 119), blijkt dat de inkomende buis een niet aangesloten uitlegger is (zie figuur 5.6).
- Vervolgens is de situatie hersteld door bij de Y-splitsing één buis op de HWA put en de andere buis op de DWA put aan te brengen (zie figuur 5.7).

Controle herstelwerkzaamheden
Bij controle, door het toilet meerdere keren door te spoelen, blijkt dat er geen water uit de DWA afvoer in put 119 komt. Bij nader inzien wordt duidelijk dat huisnummer 6 ook aan de voorkant van het huis is afgekoppeld op DWA put 115. Bij controle is zichtbaar dat bij een toiletspoeling het water in deze put uitkomt zie afbeelding 5.2.
De conclusie is dat de toiletten aan de Ovidiuslaan nr. 6 wel goed zijn aangesloten. Terecht wordt hier geen verhoogde ammoniumconcentratie gedetecteerd.



Figuur 5.6 Situatie Ovidiuslaan nr. 6 voor het herstel.



Figuur 5.7 Situatie Ovidiuslaan nr. 6 na het herstel.

Nu volgt de vraag hoe het komt dat het Riosonic onderzoek heeft vastgesteld dat alle vuilwater apparaten op het HWA zijn aangesloten.

Afbeelding 5.2 Instromend toiletwater in DWA put 115 bij controle Ovidiuslaan nr. 6.

Met de normale werkwijze van Riosonic worden er twee geluidsbronnen geplaatst in het rioolstelsel; één in het HWA-stelsel en één in het DWA-stelsel. De bronnen produceren ieder een andere frequentie zodat de stelsels van elkaar te onderscheiden zijn. In de woning wordt de frequentie opgevangen en wordt bepaald op welk stelsel het toestel is aangesloten. Deze methode kan alleen toegepast worden als in het stelsel voldoende lucht aanwezig is. Indien het stelsel vol water staat, of om een andere reden verstopt is, dan kan geluid niet getransporteerd worden en wordt het niet gedetecteerd. Het HWA-stelsel in Rijnsweerd-Zuid is een verdronken stelsel. Hierdoor was het niet mogelijk om, zonder speciale maatregelen te nemen, een geluidsbron in het HWA-stelsel te plaatsen. Het geluid wordt door de hoge vullingsgraad in het stelsel niet goed doorgegeven. Tijdens dit onderzoek zijn er geen speciale maatregelen genomen, waardoor het enkel mogelijk was met één geluidsbron te werken in het DWA-stelsel (Bijnen, 2013). Dit betekent dat wanneer er geen signaal bij een vuilwatertoestel wordt ontvangen, deze dus verkeerd is aangesloten.

Aangezien de DWA put aan de zijkant van de Ovidiuslaan nr. 6 een niet aangesloten uitlegger is, is het verklaarbaar dat bij plaatsing van de geluidsbron in deze put er bij geen enkel apparaat in het

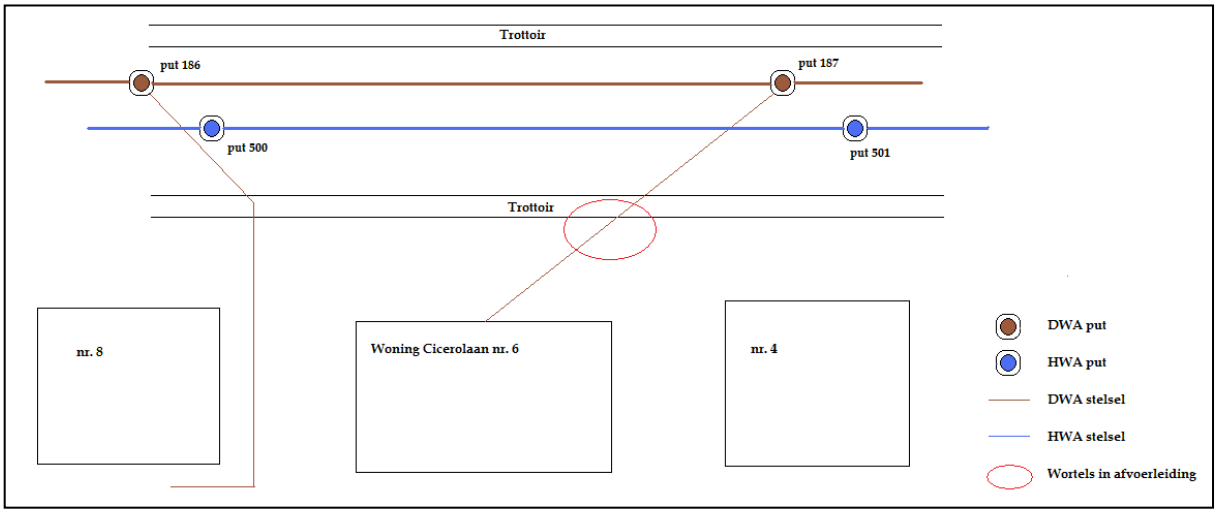
betreffende huis een signaal is ontvangen. Op basis daarvan is geconcludeerd dat mogelijk alles verkeerd is aangesloten.
Onduidelijk is of er ook een geluidsbron is geplaatst in put 115. Wanneer dit wel is gebeurt, blijft het onduidelijk waarom er geen signaal bij de toiletten is ontvangen. Bij testen op 15 mei van dit jaar is gebleken dat wanneer er een geluidsbron in put 119 wordt geplaatst dit geluid te ontvangen is in put 115 en vice versa (zie figuur 5.7). Om die reden zou verwacht worden dat het geluid ook in Ovidiuslaan nr. 6 te ontvangen is.

5.3.3. Verdiepend onderzoek Cicerolaan nr. 6

Tijdens de voorbereidingen voor het herstel is geconstateerd dat de droogweerafvoer van Cicerolaan nr. 6 wel goed is aangesloten op put 187 (zie figuur 5.8). Dit is gecontroleerd door:

- Het toilet meerdere keren door te spoelen. Hierbij is geen inkomend water gesignaleerd bij de HWA putten, maar wel bij de DWA put 187.
- De DWA leiding vanuit huisnummer 6 is met een duwcamera met tracer gelokaliseerd. Deze leiding ligt heel duidelijk in de richting van put 187. Halverwege stagneert de camera door wortels. Daarom is ook vanuit de put de camera richting het huis geduwd. Hieruit werd duidelijk dat de betreffende leiding goed is aangesloten, maar dat over een afstand van een paar meter de leiding is gevuld met wortels.
- Met behulp van een spuitwagen is geprobeerd door de wortels heen te komen, dit is niet gelukt. Wel is geconstateerd dat indien er water vanuit de put de leiding ingebracht wordt met behulp van de spuitwagen, dat dit duidelijk hoorbaar is in het huis.

Op basis van de bovenstaande gegevens is geconcludeerd dat de DWA afvoer van Cicerolaan huisnummer 6 goed is aangesloten. Dit in tegenstelling tot wat door het Rionsonic onderzoek is geconstateerd.



Figuur 5.8 Situatie Cicerolaan nr. 6.

Een mogelijke verklaring voor de conclusie van het Riosonic onderzoek is dat de aanwezige wortels in het DWA riool het geluidssignaal hebben tegengehouden, waardoor bij de toestellen in de woning geen signaal is gemeten. Op basis daarvan is mogelijk onterecht geconstateerd dat het gehele huis foutief is aangesloten. Daarnaast is het ook mogelijk dat de geluidsbron die gebruikt is bij het Riosonic onderzoek, in put 186 is geplaatst en niet in put 187 (zie figuur 5.8). Tijdens het Riosonic onderzoek is de geluidsbron telkens in één van de dichtstbijzijnde DWA-put van een woning geplaatst (Bijnen, 2013). Een van de inkomende leidingen in DWA put 186 lijkt duidelijk vanuit Cicerolaan nummer 6 te komen (zie afbeelding 5.4 voor betreffende leiding). Bij controle met duwcamera en tracerkop is geconstateerd dat deze leiding afkomstig is van het huis aan de Cicerolaan nummer 8. Zie afbeelding 5.5 voor de ligging van deze leiding. Waarschijnlijk is hier onterecht geconstateerd dat deze leiding afkomstig is van Cicerolaan nummer 6.

Enkele foto's betreffende het onderzoek naar foutaansluitingen aan de Ovidiuslaan en de Cicerolaan.

Afbeelding 5.3 Foto's duwcamera in werking.

Afbeelding 5.4 DWA put 186 met inkomende leidingen.

Afbeelding 5.5 Controle ligging leiding m.b.v. tracer.

Conclusie ammoniummethode in Rijnsweerd-Zuid
Uit deze gegevens volgt dat bij vergelijking van de ammoniummethode met het Riosonic onderzoek, één van de drie foutaansluitingen met de ammoniummethode is gedetecteerd. Op basis van vervolg onderzoek kan worden geconcludeerd dat de overige twee foutaansluitingen onterecht als foutaansluiting zijn aangewezen wat betreft de aansluiting van de toiletten.
Hieruit blijkt dat alle verkeerd aangesloten toiletten in de wijk Rijnsweerd-Zuid met de ammoniummethode zijn gedetecteerd. Dit geeft een antwoord op de deelvraag 'Hoe *verhouden de meetresultaten van de ammoniummethode zich ten opzichte van de bekende foutaansluitingen in het onderzoeksgebied?'.*

6. OVERIGE PARAMETERS

Tijdens de drie meetronden is naast de ammoniumconcentratie ook het elektrisch geleidingsvermogen (EGV), de zuurgraad (pH) en de temperatuur van het monster bepaald. Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van deze parameters. Hierbij wordt onderzocht of er een verband is tussen de gemeten parameters en de bekende foutaansluitingen en of er een verband is tussen de gemeten parameters en de ammoniumconcentratie. Hierbij wordt een antwoord gevormd op de vragen: '*Hoe verhouden de meetresultaten van de overige gemeten parameters zich t.o.v. de bekende foutaansluitingen in het onderzoeksgebied?*' en '*Is er een verband tussen de gemeten ammoniumconcentraties en de overige gemeten parameters?*'.

6.1. Overige parameters in relatie tot bekende foutaansluitingen

In deze paragraaf worden de overige parameters vergeleken met de bekende foutaansluitingen in het onderzoeksgebied. In het onderzoeksgebied zijn verschillende foutaansluitingen die mogelijk te meten zijn (zie tabel 4.1). De foutaansluitingen die te detecteren zijn bevinden zich in de Horatiuslaan ter hoogte van nummer 8 (geheel foutief) en in de Cicerolaan ter hoogte van nummer 4 (keuken). Overige foutaansluitingen zijn niet te detecteren (zie §5.3 nader onderzoek herstelwerkzaamheden).

6.1.1. Het EGV in relatie tot de bekende foutaansluitingen

In bijlage I is een afbeelding weergegeven van de tekening met daarop de gemeten EGV tijdens de drie meetronden. Per meetronde is onderscheid gemaakt tussen een lage, gemiddelde en hoge EGV. Omdat de EGV van veel invloedsfactoren afhankelijk is, is het moeilijk om zonder een uitgebreid onderzoek de achtergrondwaarde van het stelsel te bepalen. Het doel van de klassenindeling is om uitschieters zichtbaar te maken. Om die reden is de middenklasse zo gekozen dat zowel het gemiddelde als de mediaan van de meetronden in die klasse vallen. De overige waarden komen dan automatisch in de lage of hoge klasse.

De volgende klassenindeling is gemaakt:
EGV Laag = < 400 µS/cm
EGV Midden = $400 \leq$ EGV < 700 µS/cm
EGV Hoog = ≥ 700 µS/cm

Bij niet alle soorten lozingen wordt een verhoging van de EGV verwacht. Een verhoogde EGV wordt gemeten als de geleidbaarheid van het water toeneemt. Deze verhoging wordt verwacht bij foutaansluitingen van vaatwassers, wasmachines en toiletten. Een foutief aangesloten bad of douche geeft waarschijnlijk geen sterke verhoging van de EGV omdat dit voornamelijk leidingwater is, wat in het HWA-stelsel terechtkomt.

Analyse van de waarden

- Op basis van de bekende foutaansluiting aan de Horatiuslaan ter hoogte van huisnummer 8 is in put 475 een verhoogde EGV waarneembaar. In de rest van de straat is een lage EGV gemeten. Aan de Cicerolaan ter hoogte van huisnummer 4 is geen afwijkende waarde gemeten.
- De waarden aan de Wim Sonneveldlaan zijn tijdens meetronde 1 sterk verhoogd. Tijdens die meetronde zijn ook bubbels in de putten aangetroffen. Dit in tegenstelling tot de andere twee meetronden en extra metingen die bij deze putten zijn uitgevoerd, waarbij geen bubbels en geen verhoogde EGV zijn aangetroffen (zie bijlage O).
- Tijdens meetronde 1 zijn op meerdere locaties, verspreid door de wijk, verhoogde EGV's aangetroffen, terwijl op verschillende van die locaties geen foutaansluitingen zijn aangetroffen met eerder uitgevoerd onderzoek.
- In de putten waar tijdens meetronde 1 een verhoogde EGV is aangetroffen, zijn tijdens meetronden 2 en 3 geen verhoogde EGV's waargenomen. Dit geldt voor alle putten behalve put 475 aan de Horatiuslaan.

Conclusie EGV in relatie tot bekende foutaansluitingen

- Bij de fout aangesloten keuken aan de Cicerolaan nummer 4 wordt geen afwijkende EGV waarde gevonden.
- In put 475 bij de foutaansluiting op de Horatiuslaan is een verhoogde EGV te meten. In de opvolgende putten is, met uitzondering van één meting (put 418), geen verhoogde EGV waargenomen. Mogelijk verlaagt neerslag de EGV. Neerslag kan invloed hebben in een vertakt deel van het stelsel.

6.1.2. De pH in relatie tot de bekende foutaansluitingen

In bijlage I is de overzichtstekening weergegeven met daarop de gemeten pH tijdens de drie meetronden. Omdat de pH van veel invloedsfactoren afhankelijk is, is het moeilijk om zonder een uitgebreid onderzoek de achtergrondwaarde van het stelsel te bepalen. Het doel van de klassenindeling is om uitschieters zichtbaar te maken. Om die reden is de middenklasse zo gekozen dat zowel het gemiddelde als de mediaan van de meetronden in die klasse vallen. De overige waarden komen dan automatisch in de lage of hoge klasse.

De volgende klassenindeling is gemaakt:
pH Laag = $< 7{,}0$
pH Midden = $7{,}0 \leq pH < 8{,}0$
pH Hoog = $\geq 8{,}0$

Niet elk type foutaansluiting zal eenzelfde verandering van pH geven. Zo kan de pH van urine variëren van 4,8 (zuur) tot 8,0 (basisch) (Serkozy, 2012). Bij een lozing van een wasmachine of vaatwasser, waarbij veel zepen vrijkomen, wordt een meer basische pH verwacht. Dit geldt ook voor lozingen van douche en bad. Een lozing vanuit de keuken zal in zuurgraad sterk variëren, dit komt doordat dit afhankelijk is van wat er wordt weggespoeld.

Analyse van de waarden

- Op basis van de gestelde klassenindeling vallen bijna alle gemeten pH waarden in de middenklasse tussen de 7,0 en de 8,0.
- Twee straten wijken hier van af, namelijk de Horatiuslaan en de Enny Vredelaan. In deze straten is bij bijna alle putten de pH lager dan 7,0.
- Twee keer komt een pH hoger dan 8,0 voor. Put 475 in de Horatiuslaan ter hoogte van de bekende foutaansluiting en het oppervlaktewater tijdens meetronde 3.
- De verhoogde pH in put 475 is duidelijk herleidbaar naar de foutaansluiting die op deze put uitkomt.

Conclusie pH in relatie tot bekende foutaansluitingen

- Een put wijst duidelijk naar de bekende foutaansluiting (Horatiuslaan 8). Opvallend zijn de lage waarden van de pH in de rest van Horatiuslaan en een deel van de Ovidiuslaan. Een verband met de bekende foutaansluiting kan niet zondermeer uitgesloten worden, al kan deze lage pH ook door andere oorzaken ontstaan bijvoorbeeld regen.
- Bij de fout aangesloten keuken aan de Cicerolaan nummer 4 wordt geen afwijkende pH waarde gevonden.

6.1.3. De temperatuur in relatie tot de bekende foutaansluitingen

In bijlage I de overzichtstekening gegeven met daarop de gemeten temperatuur tijdens de drie meetronden.

Niet elk type foutaansluiting zal een verhoging van de temperatuur tot gevolg hebben. Zo is er ten eerste het verschil in temperatuur tussen het rioolwater en het lozingswater. Een bad, douche, vaatwasser en wasmachine zullen relatief warm water lozen. Een toilet, keuken en fonteintje zullen echter minder warm water lozen. Al is dit ook afhankelijk van de temperatuurverschillen binnen en buiten. Welke temperatuur in de put wordt gemeten is sterk afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden.

De temperatuur van het monster is ook sterk afhankelijk van de buitentemperatuur. Verschillen in temperatuur van de monsters die ’s morgens en ’s middags zijn gemeten zijn merkbaar. De volgende gemiddelde buitentemperaturen zijn geregistreerd (KNMI, 2013):

Tabel 6.1 Gemiddelde buitentemperatuur tijdens de meetronden.

Datum	Gemiddelde temperatuur °C
5 maart 2013	8,6
6 maart 2013	11,2
12 maart 2013	-2,5
13 maart 2013	-0,9
7 mei 2013	16,4

Door deze grote verschillen is het niet mogelijk de meetronden met elkaar te vergelijken.
De reden waarom de temperatuur tijdens de meetronden is geregistreerd:

- De temperatuur heeft veel invloed op de evenwichtsreactie die plaatsvindt tussen ammonium en ammoniak. Hoe lager de temperatuur, des meer zal de reactie richting ammonium verlopen. Om mogelijk afwijkende ammoniumwaarden te kunnen verklaren is de temperatuur geregistreerd.
- Verkeerd aangesloten wasmachines en douches geven een tijdelijke verhoging van de temperatuur van het rioolwater. Dit is echter sterk afhankelijk van het moment waarop gemeten wordt.

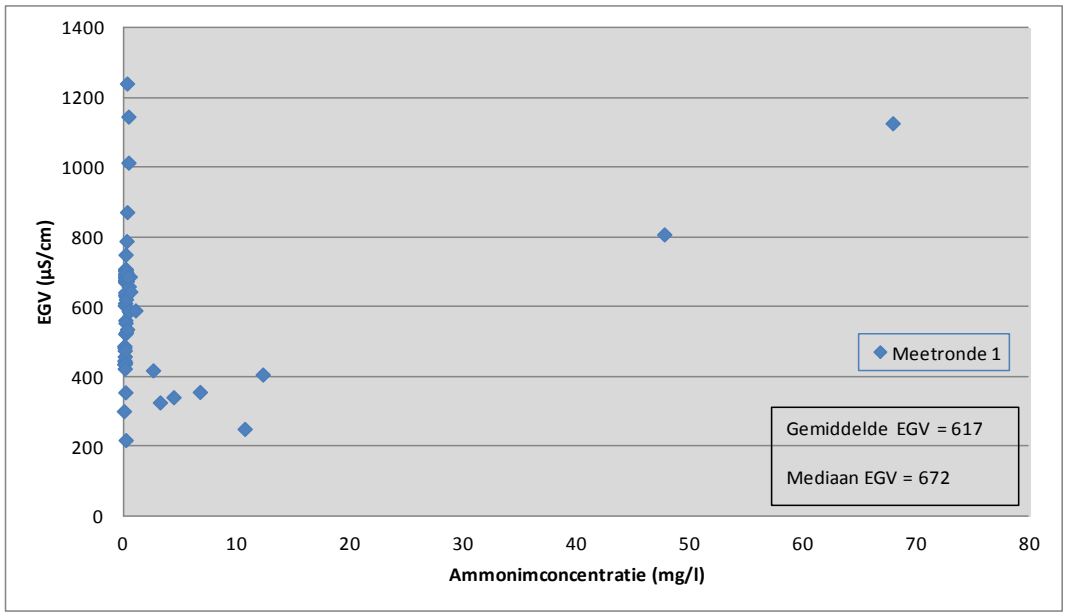
De temperatuur is dus geen praktisch toepasbare parameter zoals toegepast in dit onderzoek, maar dient meer ter ondersteuning en onderbouwing van de overige gevonden waarden.

6.2. Overige parameters in relatie tot de ammoniumconcentratie

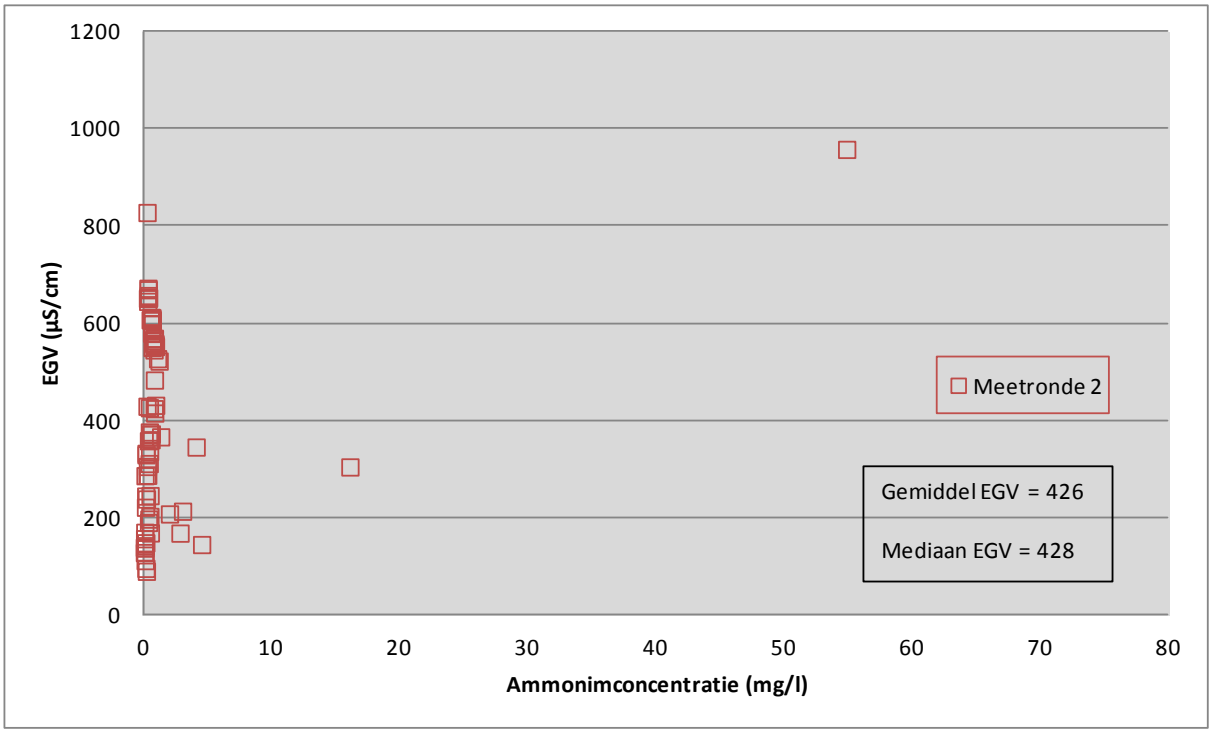
De overige gemeten parameters zijn vergeleken met de gemeten ammoniumconcentraties tijdens de verschillende meetronden. Dit is gedaan om te achterhalen of er een verband is met de hoge ammoniumconcentraties die kunnen duiden op een foutaansluiting.

6.2.1. Het elektrisch geleidingsvermogen in relatie tot de ammoniumconcentratie

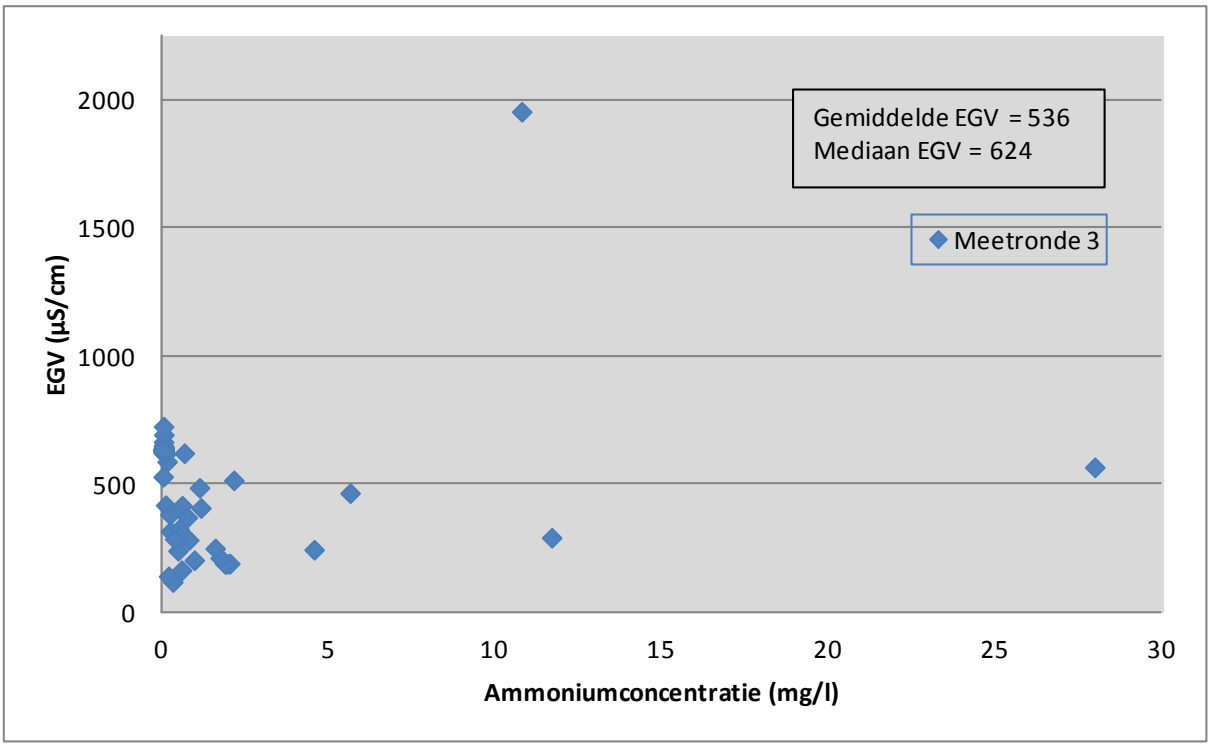
De EGV geeft informatie over het geleidingsvermogen van vloeistoffen. Regen- afval- en oppervlaktewater zijn in geleidbaarheid van elkaar te onderscheiden. Indien er meer zouten in het water aanwezig zijn, neemt de geleidbaarheid toe (Boogaard, 2010). Door de EGV te vergelijken met de gevonden ammoniumconcentratie kan een mogelijk verband worden gevonden. In de figuren 6.1 t/m 6.3 is per meetronde de EGV tegen de ammoniumconcentratie uitgezet.



Figuur 6.1 EGV tijdens meetronde 1.



Figuur 6.2 EGV tijdens meetronde 2.



Figuur 6.3 EGV tijdens meetronde 3.

Analyse van de figuren 6.1 t/m 6.3

- In figuur 6.1 en figuur 6.2 zijn de EGV's behorend bij een ammoniumconcentratie > 30 mg/l duidelijk hoger dan gemiddeld.
- Ammoniumconcentraties tussen de 3 en 20 mg/l, die duidelijk verhoogd zijn ten opzichte van de overige ammoniumconcentraties, hebben een EGV lager dan de gemiddelde EGV.
- Drie ammoniumconcentraties lager dan 1 mg/l hebben een EGV van hoger dan 1000 µS/cm (figuur 6.1).
- Figuur 6.3 geeft bij een ammoniumconcentratie van ca. 11 mg/l een duidelijk verhoogde EGV van ruim 1900 µS/cm.
- Een verhoogde EGV kan zowel voorkomen bij lage als bij hoge ammoniumconcentraties.
- Uit de figuren 6.1 t/m 6.3 is geen direct verband af te leiden tussen de ammoniumconcentratie en de EGV.

Toets op correlatie

De EGV en ammoniumconcentratie uit dit onderzoek zijn getoetst met de Spearman Rank toets (zie voor verdere uitleg over toets bijlage K).
De verwachting is dat een hoge ammoniumconcentratie correspondeert met een hoge EGV. Indien de ρ positief is, is er sprake van een correlatie tussen hoge ammoniumconcentraties en een hoge EGV. De gevonden correlatie kan ook negatief zijn, dan geldt dat de ρ valt binnen de negatieve grenswaarde uit de significantietabel en de -1,0. Een negatieve ρ geeft aan dat een hoge ammoniumconcentratie correspondeert met een lage EGV. De resultaten van deze toets zijn weergegeven in tabel 6.2.

6.2 Toets op correlatie, EGV in relatie tot de ammoniumconcentratie.

Spearman	Gevonden ρ	Steekproefomvang	Significantietabel	Correlatie
Meetronde 1	0,215	75	$\rho \geq 0{,}277$	Nee
Meetronde 2	0,301	81	$\rho \geq 0{,}219$	Ja, licht verband met hoge EGV
Meetronde 3	-0,640	78	$\rho \leq -0{,}223$	Ja, sterk verband met lage EGV

Op basis van deze toets volgt dat er bij één meetronde een positief verband is tussen de ammoniumconcentraties en de EGV. Bij één meetronde ontbreekt dit verband en bij één meetronde is een sterk negatief verband.

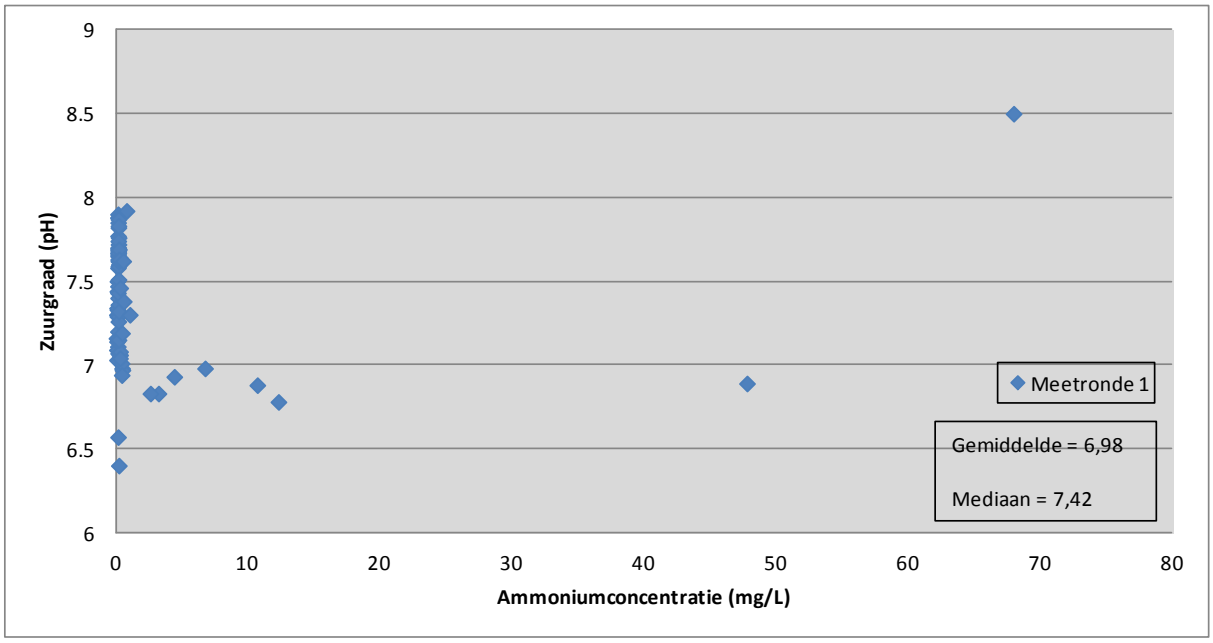
Hieruit volgt de vraag, wat is de relatie tussen ammonium en de EGV in werkelijkheid? Om dit te toetsen is een onderzoek uitgevoerd waarbij van bekende ammoniumconcentraties de EGV is gemeten. De bekende ammoniumconcentraties zijn gemaakt in demiwater zodat overige stoffen nagenoeg geen invloed op de EGV kunnen hebben. De concentraties die zijn aangemaakt variëren van 0,1 tot 40 mg/l. In bijlage L is de uitwerking van dit onderzoek weergegeven.
De EGV en ammoniumconcentratie uit dit onderzoek zijn getoetst met de Spearman Rank toets. De correlatiecoëfficiënt (ρ) die hieruit volgt is 1,0. In dit geval is er een zeer sterk verband tussen de ammoniumconcentratie en de EGV. Hoe hoger de ammoniumconcentratie des te hoger is de EGV.

Conclusie EGV in relatie tot de ammoniumconcentratie

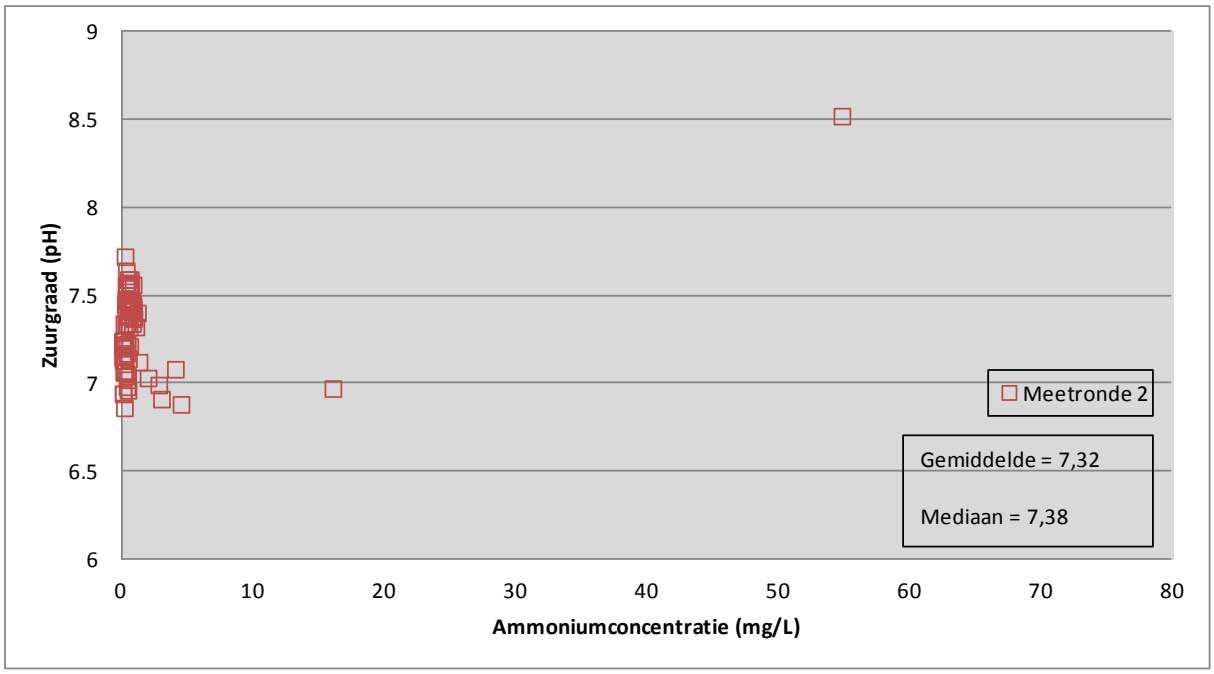
Bij de toepassing van deze toets op de drie meetronden is dit verband niet gevonden. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk dat de EGV in het HWA-stelsel van veel meer invloedsfactoren afhankelijk is, dan enkel van ammonium.
In theorie is er dus een duidelijk verband tussen de ammoniumconcentratie en de EGV, maar als gevolg van allerlei andere invloedsfactoren op de EGV is dit in de praktijk niet van toepassing. Dit verklaart mogelijk ook de wisselende relatie tussen de ammoniumconcentratie en de EGV in de figuren 6.1 t/m 6.3.

6.2.2. De zuurgraad in relatie tot de ammoniumconcentratie

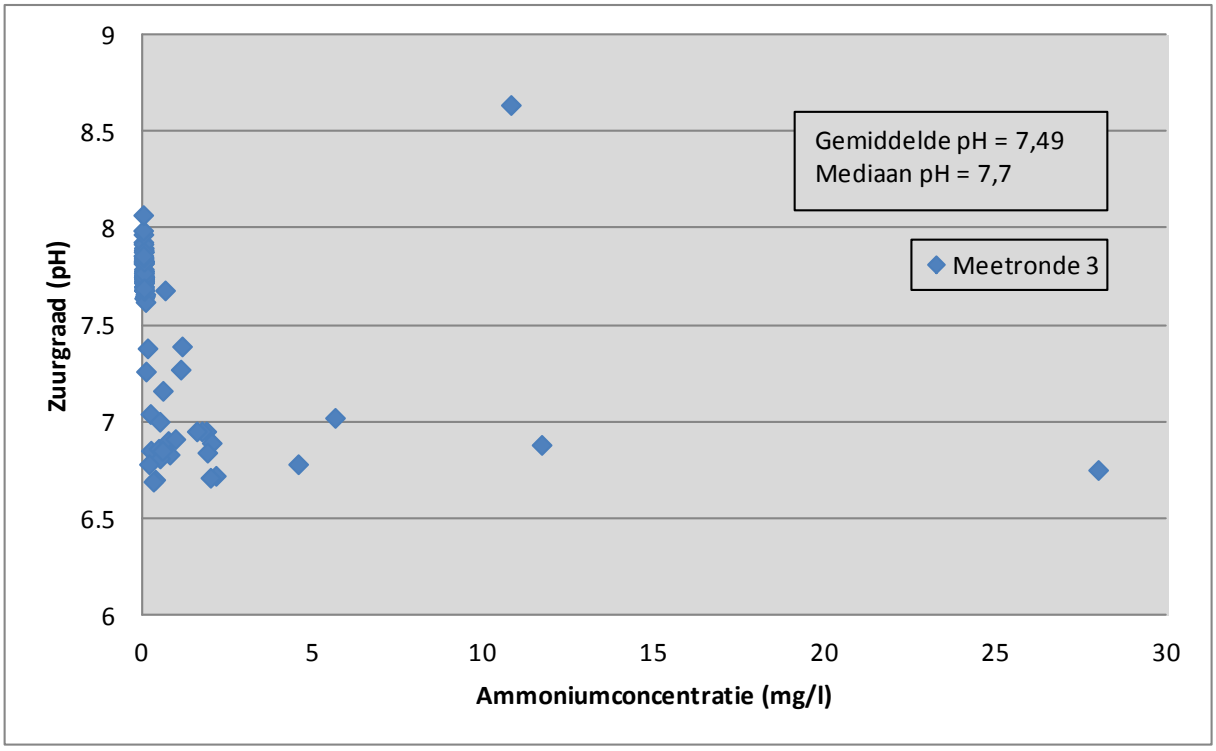
In de figuren 6.4 t/m 6.6 zijn per meetronde de pH waarden tegen de ammoniumconcentratie uitgezet.



Figuur 6.4 pH waarden tijdens meetronde 1.



Figuur 6.5 pH waarden tijdens meetronde 2.



Figuur 6.6 pH waarden tijdens meetronde 3.

Analyse van de figuren 6.4 t/m 6.6

- Verhoogde ammoniumconcentraties (>3 mg/l) geven meestal een pH < 7,0. Op de hoogste waarde na, in deze put (475) is de pH steeds > 8,0.
- Lage ammoniumconcentraties (< 1 mg/l) geven een pH van 6,5 tot en met 8.
- Figuur 6.6 geeft bij een ammoniumconcentratie van 10,8 een pH van > 8,5 en bij een ammoniumconcentratie van 11,7 een pH < 7. Hier is duidelijk geen verband aanwezig. (opgemerkt: de hoge pH waarde is afkomstig uit put 475, waar de bekende foutaansluiting zit).
- Ammoniumconcentraties groter dan 47 mg/l geven enkel een pH hoger dan 8,5 (dit is een enkele waarneming).
- Uit de metingen blijkt dat een verhoogde pH niet altijd samengaat met een verhoogde ammoniumconcentratie.

Toets op correlatie

De verwachting is dat een hoge ammoniumconcentratie correspondeert met een lage pH. Indien de ρ positief is, is er sprake van een correlatie tussen hoge ammoniumconcentraties en een lage pH. Het gevonden verband kan ook negatief zijn, een negatieve ρ geeft aan dat een hoge ammoniumconcentratie correspondeert met een hoge pH. De resultaten van de Spearman Rank toets zijn weergegeven in tabel 6.3.

6.3 Toets op correlatie, de pH in relatie tot de ammoniumconcentratie.

Spearman	Gevonden ρ	Steekproefomvang	Significantietabel	Correlatie
Meetronde 1	0,229	75	0,227	Ja, zeer licht verband met een lage pH.
Meetronde 2	-0,16	81	0,219	Nee
Meetronde 3	0,828	78	0,223	Ja, zeer sterk verband met een lage pH.

Op basis van deze toets volgt dat er bij twee meetronden een positief verband is tussen de ammoniumconcentraties en de pH. Bij één meetronde is geen verband aanwezig.

Hieruit lijkt de verwachting dat er een verband bestaat tussen ammoniumconcentratie en de pH te kloppen. Om dit te toetsen is een onderzoek uitgevoerd waarbij van bekende ammoniumconcentraties de pH is gemeten. De bekende ammoniumconcentraties zijn gemaakt in demiwater zodat overige stoffen nagenoeg geen invloed op de pH kunnen hebben. De concentraties die zijn aangemaakt variëren van 0,1 tot 40 mg/l. In bijlage L is de uitwerking van dit onderzoek weergegeven.
De pH en ammoniumconcentratie uit dit onderzoek zijn getoetst met de Spearman Rank toets. De correlatiecoëfficiënt (ρ) die hieruit volgt is 0,65. Voor een verband moet de correlatiecoëfficiënt vallen binnen de 0,7 en de 1,0. Dit betekend dus dat er bij dit onderzoek geen verband bestaat tussen de ammoniumconcentratie en de pH. Dit in tegenstelling tot wat de meetronden lijken te suggereren.
Bij nadere analyse van de uitkomsten bij het onderzoek naar de pH en de bekende ammoniumconcentraties blijkt dat er duidelijk twee uitschieters in de pH voorkomen. Dit is bij een ammoniumconcentratie van 1,25 en 10 mg/l. Door deze uitschieters wordt er geen verband gevonden. Als deze uitschieters worden weggelaten is er wel degelijk een sterk verband tussen de ammoniumconcentraties en de pH.

De pH waarden in de Horatiuslaan en de Enny Vredelaan zijn in vergelijking met de overige gemeten waarden in de wijk erg laag (<7,0). Twee mogelijke oorzaken zijn:

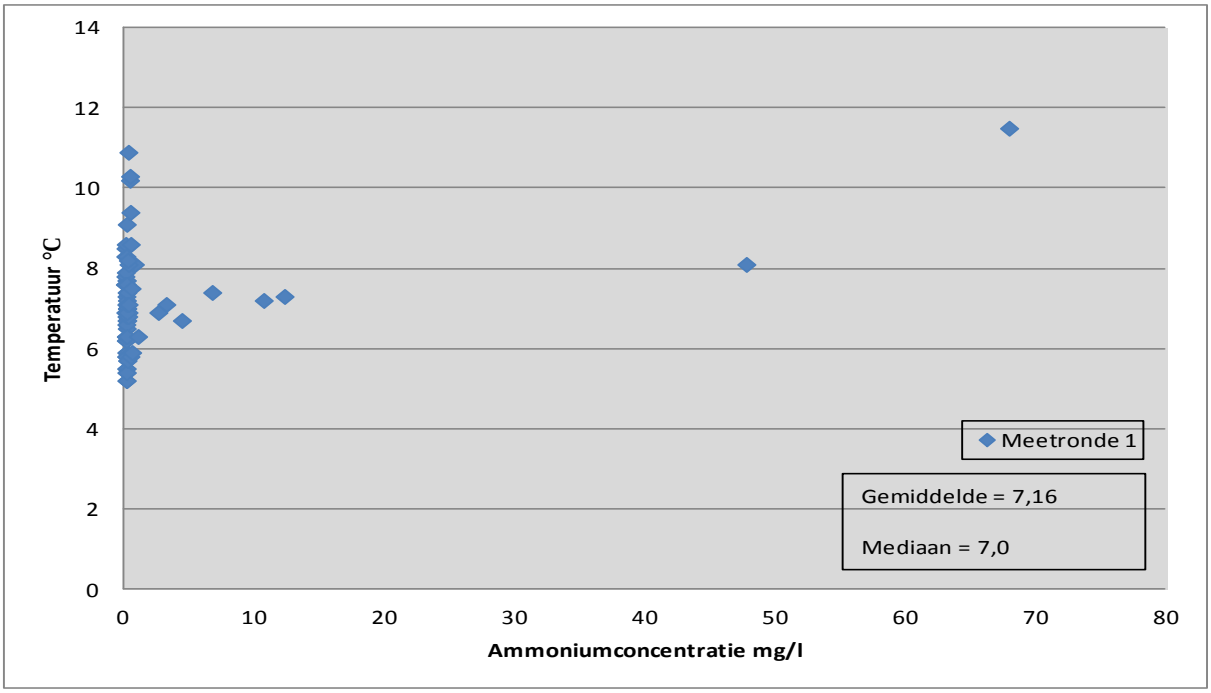
1. Verhoogde ammoniumconcentraties.
   In de Horatiuslaan zijn tijdens alle drie de meetronden verhoogde concentraties (> 2 mg/l) gemeten. In de Enny Vredelaan zijn tijdens meetronde 3 licht verhoogde concentraties (>1,5 mg/l) gemeten.

2. Beide strengen in deze straten vallen onder het vertakte deel van het stelsel. De invloed van neerslag is in dit deel van het stelsel groter, doordat er geen of minder interactie met ander water uit andere delen van het stelsel plaatsvindt.
   Dit verband lijkt ook bevestigd te worden in de toets op correlatie waarbij tijdens meetronden 1 en 3 een verband gevonden wordt tussen de pH en de ammoniumconcentratie. Echter wordt dit niet bevestigd bij toetsing van de bekende ammoniumconcentraties. Een vervolgonderzoek naar de relatie tussen de pH en de ammoniumconcentratie wordt zeker aanbevolen. In dat geval zal de steekproefomvang echter veel groter moeten zijn, zodat eventuele (onoverkomelijke) uitschieters minder invloed hebben.

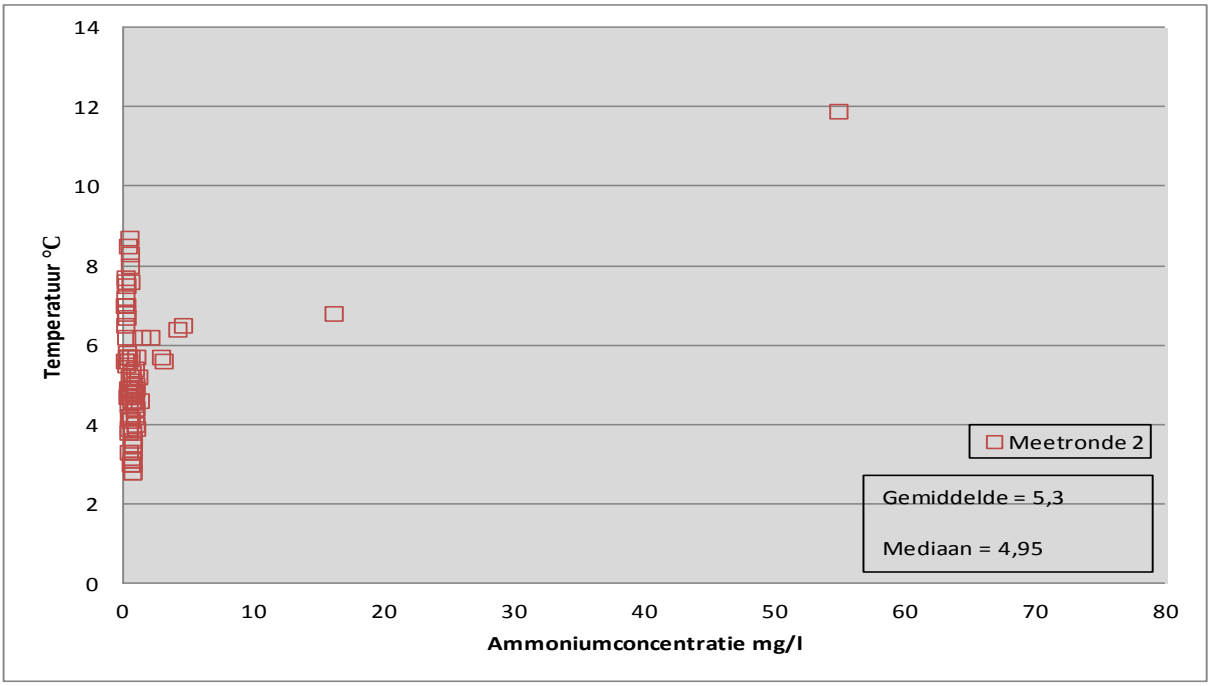
Conclusie pH in relatie tot de ammoniumconcentratie
De conclusie is dat er een verband lijkt te bestaan tussen de ammoniumconcentratie en de pH. Echter wordt dit niet bevestigd bij toetsing van de bekende ammoniumconcentraties. Een vervolgonderzoek naar de relatie tussen de pH en de ammoniumconcentratie wordt zeker aanbevolen. In dat geval zal de steekproefomvang echter veel groter moeten zijn, zodat eventuele (onoverkomelijke) uitschieters minder invloed hebben.

6.2.3. De temperatuur in relatie tot de ammoniumconcentratie

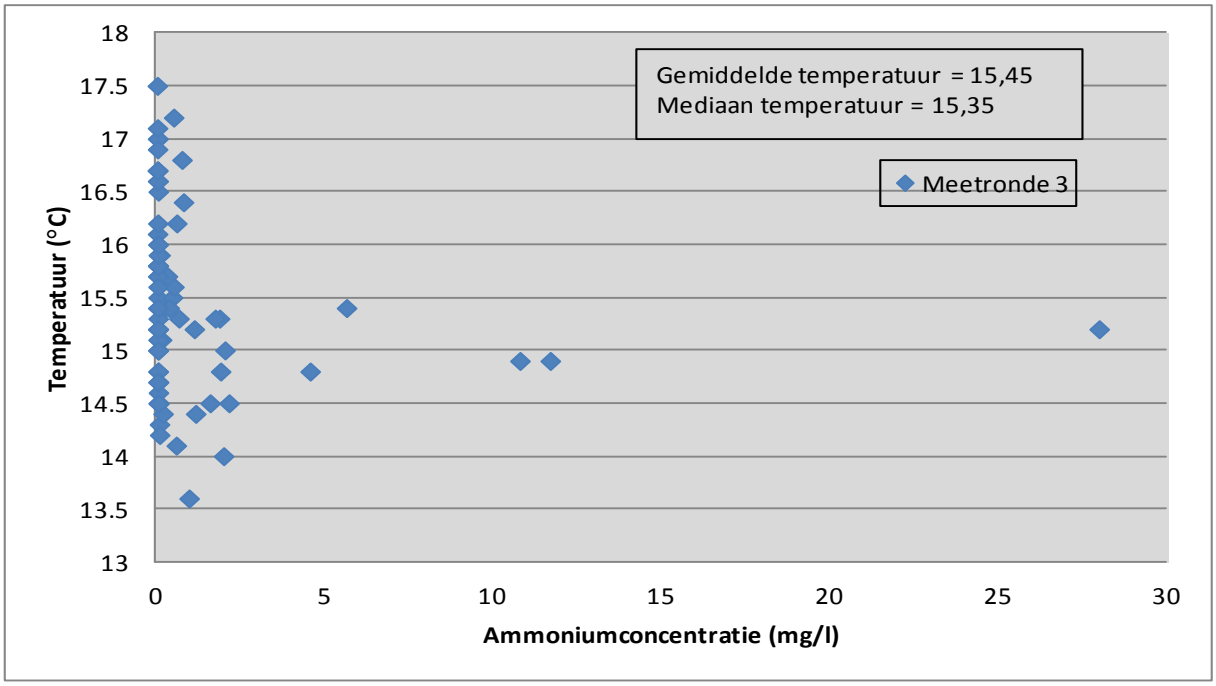
In de figuren 6.7 t/m 6.9 is per meetronde de temperatuur tegen de ammoniumconcentratie uitgezet.



Figuur 6.7 Temperatuur tijdens meetronde 1.



Figuur 6.8 Temperatuur tijdens meetronde 2.



Figuur 6.9 Temperatuur tijdens meetronde 3.

Analyse van de figuren 6.7 t/m 6.9

- Een verhoogde ammoniumconcentratie (> 5 mg/l) kan samengaan met een verhoogde temperatuur (> 7.16°C meetronde 1), maar dit is niet altijd het geval.
- Ammoniumconcentraties > 5 mg/l en < 50 mg/l die te herleiden zijn naar een foutaansluiting hebben een temperatuur rond het gemiddelde.
- Er zijn een aantal putten met een ammoniumconcentratie < 1 mg/l waar de temperatuur ver boven de gemiddelde temperatuur uitkomt.

Conclusie temperatuur in relatie tot de ammoniumconcentratie

- Een verhoogde ammoniumconcentratie kan samengaan met een verhoogde temperatuur. Dit hoeft niet het geval te zijn, doordat een 'warme' lozing mengt met het aanwezige 'koudere' water in het stelsel waardoor de temperatuur snel afneemt. Er wordt dan geen verhoogde temperatuur waargenomen.
- De temperatuur neemt af in de tijd en de ammoniumconcentratie zal waarschijnlijk gelijk blijven (aanname). Een verhoogde ammoniumconcentratie zal dus niet altijd samengaan met een verhoogde temperatuur.
- Een verhoogde temperatuur kan een verhoogde ammoniumconcentratie bevestigen, maar het is geen vanzelfsprekendheid dat een verhoogde ammoniumconcentratie altijd een verhoogde temperatuur heeft.

Doordat de temperatuur in het stelsel te veel fluctueert in de tijd, in combinatie met de manier van meten tijdens dit onderzoek, is de parameter niet geschikt om te gebruiken voor toetsing op een verband met de ammoniumconcentratie.

Conclusie overige parameters
In dit hoofdstuk is een antwoord geformuleerd op de vragen '*Hoe verhouden de meetresultaten van de overige gemeten parameters zich t.o.v. de bekende foutaansluitingen in het onderzoeksgebied?*' en '*Is er een verband tussen de gemeten ammoniumconcentraties en de overige gemeten parameters?*' .

EGV: Op basis van dit onderzoek is geen relatie gevonden tussen de bekende foutaansluitingen en de EGV.
De toets op correlatie tussen de EGV en ammoniumconcentraties geeft geen eenduidig antwoord. Dat er in theorie een relatie tussen deze twee is, is bevestigt met het onderzoek waarbij de EGV is geanalyseerd van bekende ammoniumconcentraties. Aangemaakte ammoniumconcentraties laten wel een sterk verband zien tussen de ammoniumconcentratie en de EGV. Conclusie is dat de EGV waarschijnlijk door meerdere factoren wordt beïnvloed zodat er geen verband is met de ammoniumconcentraties. Ook een relatie tot de bekende foutaansluiting is hierdoor niet duidelijk te zien.

pH: Op basis van dit onderzoek is geen relatie gevonden tussen bekende foutaansluiting en de pH.

De conclusie is dat er een verband lijkt te bestaan tussen de ammoniumconcentratie en de pH. Echter wordt dit niet bevestigd bij toetsing van de bekende ammoniumconcentraties. Een vervolgonderzoek naar de relatie tussen de pH en de ammoniumconcentratie wordt zeker aanbevolen. In dat geval zal de steekproefomvang echter veel groter moeten zijn, zodat eventuele (onoverkomelijke) uitschieters minder invloed hebben.

Temperatuur: Doordat de temperatuur in het stelsel te veel fluctueert in de tijd, in combinatie met de manier van meten tijdens dit onderzoek, is de parameter niet geschikt om te gebruiken voor toetsing op een verband met de ammoniumconcentratie.

In sommige gevallen zijn de parameters wel bruikbaar om de ammoniumconcentraties te staven. Een verhoogde ammoniumconcentratie met een sterk verhoogde EGV is een duidelijke aanwijzingen dat er iets niet goed zit in het stelsel. Op die manier kan een verhoogde EGV een verhoogde ammoniumconcentratie bevestigen.

7. VERLOOP AMMONIUMCONCENTRATIE IN DE TIJD

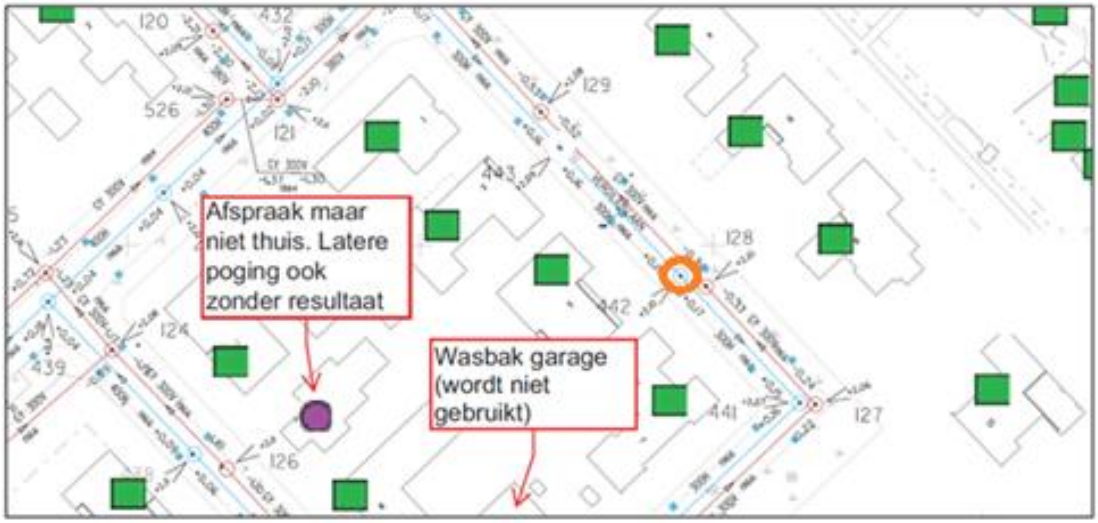
Dit hoofdstuk levert een bijdrage aan het antwoord op de vragen: '*Hoe moet de ammoniummethode uitgevoerd worden in dit onderzoeksgebied?'* en *'Tot hoever vanaf een lozingspunt is een verhoogde ammoniumconcentratie te meten; wat zijn de detectiegrenzen?'.*

7.1. Onderzoek 2 Opslag in monsterpotje

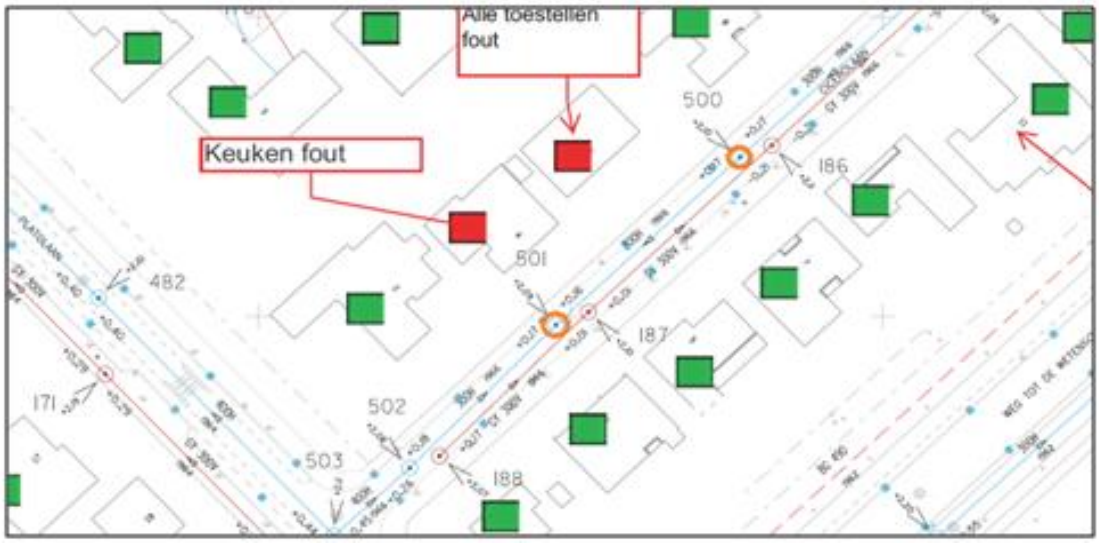
Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen hoe de ammoniumconcentratie zich in de tijd verhoudt indien het monster opgeslagen wordt in een monsterpotje. Treedt er in de tijd een verandering op in de ammoniumconcentratie?

Ammoniumconcentraties < 2 mg/l

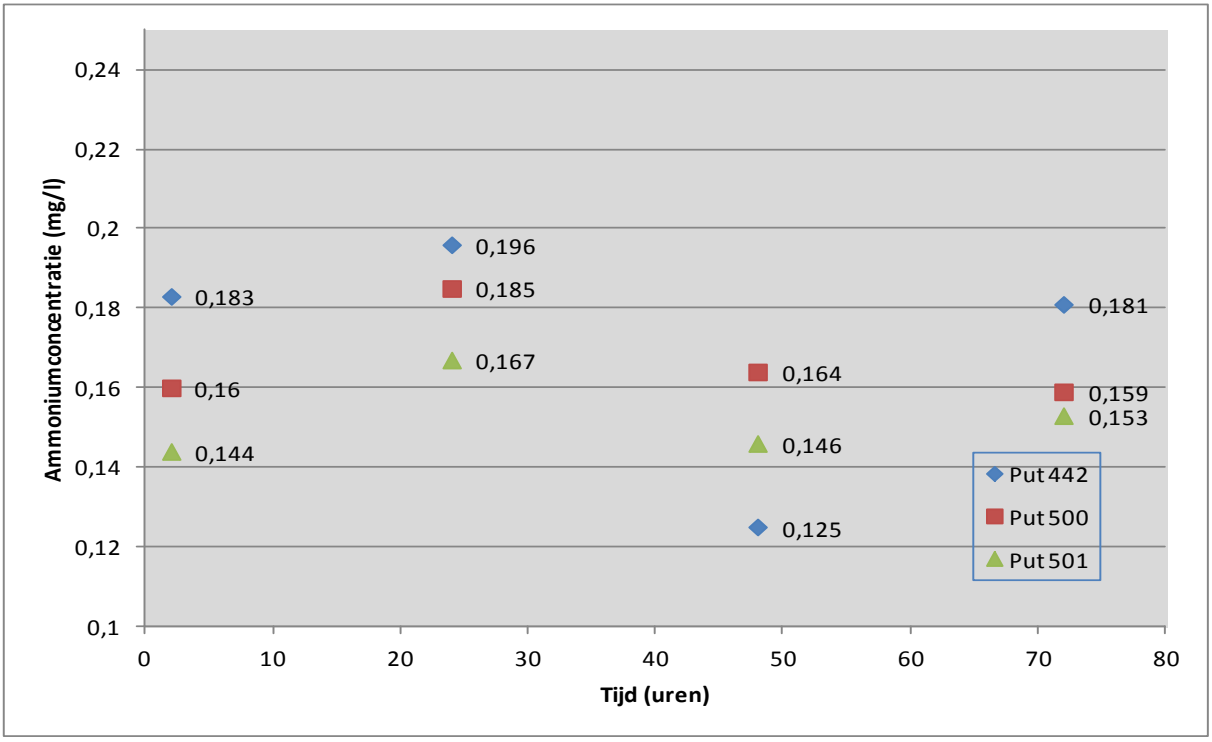
Voor dit onderzoek zijn drie putten bemonsterd (zie figuren 7.1 en 7.2), waarvan de ammoniumconcentratie in de tijd is gemeten. Deze monsters zijn gefilterd wat noodzakelijk is voor de analyse op ammonium (zie Meetplan Rijnsweerd-Zuid). De opslag van de genomen monsters heeft plaatsgevonden in koele en donkere omstandigheden in een afgesloten monsterpotje. Figuur 7.3 geeft de gemeten ammoniumconcentraties weer.



Figuur 7.1 Put 442, Vergiliuslaan ter hoogte van huisnummer 7.



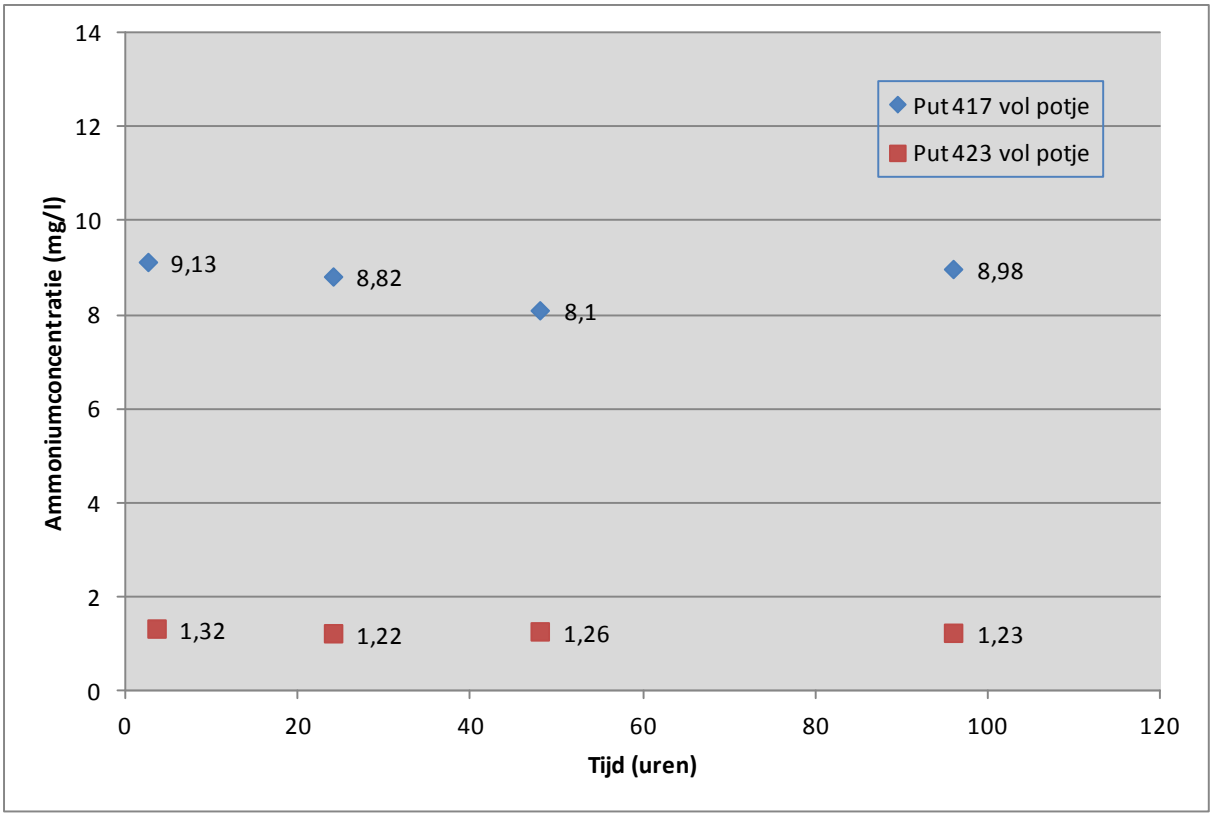
Figuur 7.2 Put 500 en 501, Cicerolaan ter hoogte van huisnummer 4 en 6.



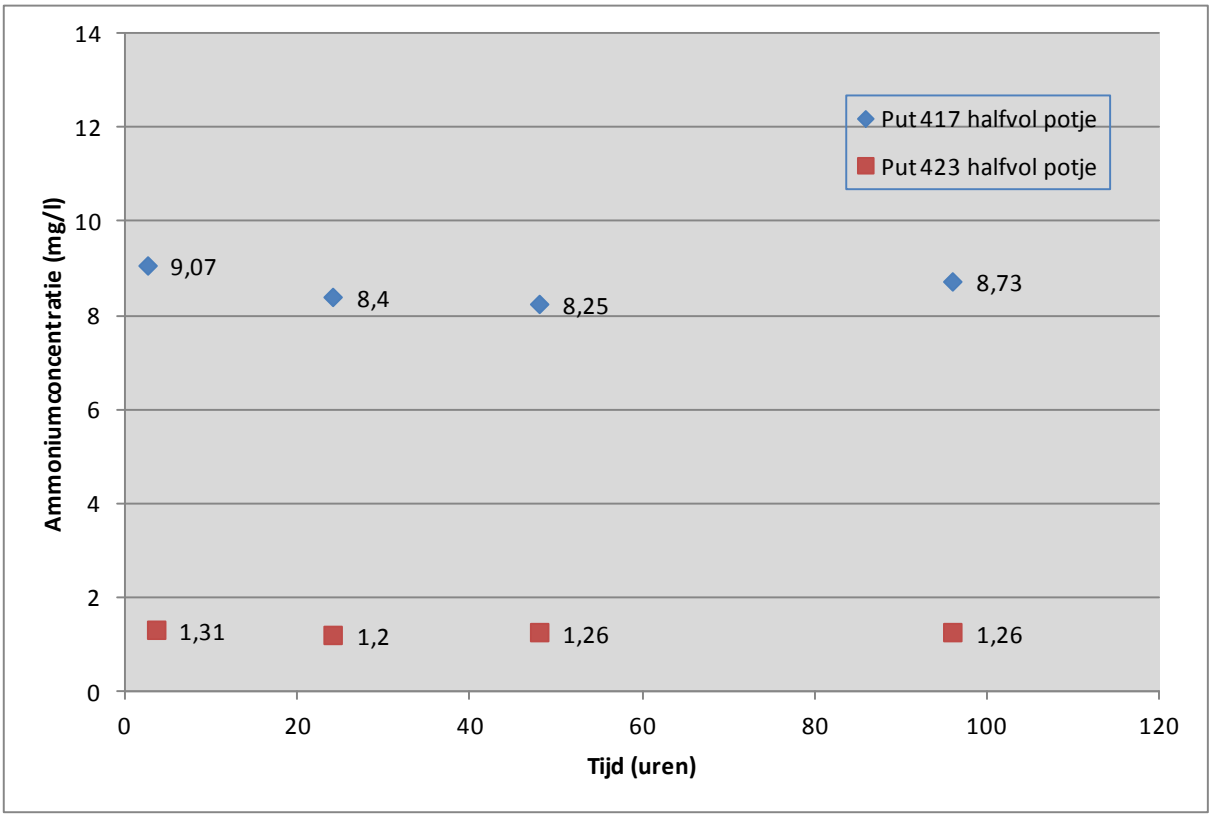
Figuur 7.3 Ammoniumconcentratie in de tijd; put 442, put 500 en put 501 (gefilterde monsters).

Conclusies ammoniumconcentraties < 2 mg/l
Uit de metingen volgt dat de ammoniumconcentraties bij opslag nauwelijks veranderen. Wel is opmerkelijk dat er 24 uur een toename te zien is in de ammoniumconcentratie bij alle drie metingen en na nog eens 24 uur (tijdstip 48 uur) een afname van de ammoniumconcentratie. Mogelijk dat de verschillende temperaturen tijdens het analyseren hier invloed op hebben (zie bijlage P voor de temperatuur tijdens het meten). De verschillen tussen de gemeten concentraties vallen allemaal binnen de onnauwkeurigheidsmarge van de DR3900 VIS spectrofotometer. Bij de gebruikte rang van 0 – 2 mg/l bedraagt deze onnauwkeurigheid maximaal 0,1 mg/l.
Aan de hand van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de ammoniumconcentratie nagenoeg hetzelfde blijft onder de gehanteerde condities. Wel zou de temperatuur tijdens het analyseren en het gebruik van gefilterde monsters invloed gehad kunnen hebben op de gemeten waarden.

Ammoniumconcentraties > 2 mg/l
De bovengenoemde proef is half maart nog een keer uitgevoerd, echter nu bij de putten 417 en 423 met ammoniumconcentraties > 2 mg/l (Zie bijlage VIII van het Meetplan Rijnsweerd-Zuid). Bij deze putten is tijdens onderzoek 1 twee maal een hoge ammoniumconcentratie gedetecteerd. Tevens zijn er proeven gedaan met een geheel gevuld en half gevuld monsterpotje. Omdat het filteren op sommige momenten een half gevuld monsterpotje opleverde in plaats van een geheel gevuld potje, is onderzocht wat het effect hiervan is op de ammoniumconcentratie.
De opslag van de monsters heeft onder dezelfde koele en donkere omstandigheden plaatsgevonden als voorheen. De analyseresultaten zijn weergegeven in figuur 7.4 en 7.5.



Figuur 7.4 Ammoniumconcentratie in de tijd; put 417 en 423 volledig gevuld potje.



Figuur 7.5 Ammoniumconcentratie in de tijd; put 417 en 423 half gevuld potje.

Dit tweede onderzoek bevestigt de conclusies uit het eerste onderzoek in de tijd. De ammoniumconcentraties variëren per dag maar de afwijking valt binnen de onnauwkeurigheidsmarges van de DR3900. De afwijkingen die hierdoor ontstaan hebben geen negatieve invloed op analyse van de meetdata uit onderzoek 1.

Conclusie ammoniumconcentraties > 2 mg/l
In dit onderzoek komt naar voren dat het niet uit maakt of er gebruik gemaakt wordt van een geheel of een half gevuld monsterpotje. Indien het potje gesloten is en het monster donker en koel bewaard wordt, dan zal de ammoniumconcentratie tot 96 uur na het verzamelen van het monster nagenoeg hetzelfde blijven.

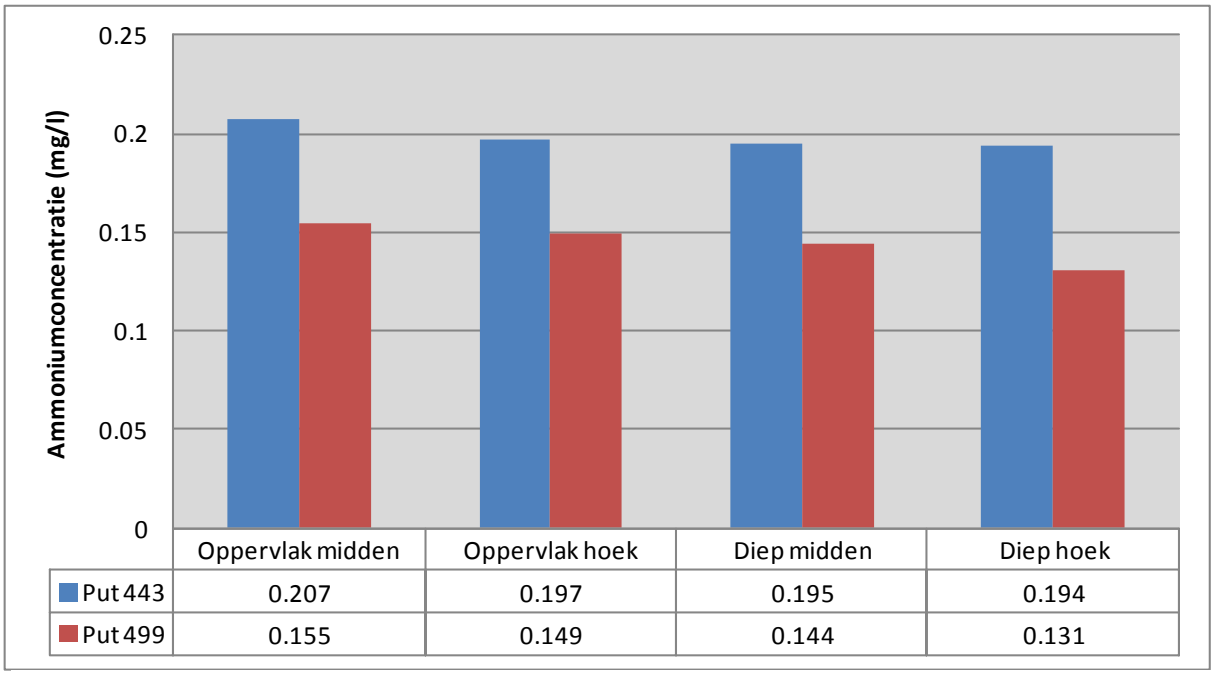
7.2. Onderzoek 3 Monsterneming

Het doel van dit onderzoek is om te bepalen welke locatie in de put het meest geschikt is voor het nemen van een monster, zodat de hoogst mogelijk ammoniumconcentratie gedetecteerd wordt. Hierbij zijn de volgende vier locaties onderzocht (zie tabel 7.1).

Tabel 7.1 De vier onderzochte locaties. Deze locaties zijn bij beide putten bemonsterd.

Oppervlak midden	Net onder het oppervlak (0,05 m onder waterspiegel), in het midden van de put.
Oppervlak hoek	Net onder het oppervlak (0,05 m onder waterspiegel), in een hoek van de put.
Diep midden	Minimaal 0,30 m onder het oppervlak, in het midden van de put.
Diep hoek	Minimaal 0,30 m onder het oppervlak, in een hoek van de put.

Voor dit onderzoek zijn de putten 499 en 443 onderzocht (zie bijlage VI van het Meetplan Rijnsweerd-Zuid). De resultaten uit dit onderzoek zijn gevisualiseerd in figuur 7.6.



Figuur 7.6 Ammoniumconcentratie per locatie.

Analyse figuur 7.6

- Figuur 7.6 laat een heel lichte afname zien van de ammoniumconcentraties aan het oppervlak ten opzichte van de ammoniumconcentraties dieper in de put. Dit geldt zowel voor de waarden van put 443 als van put 449.

- De verschillen tussen de ammoniumconcentraties bij put 443 en put 449 vallen allemaal binnen de onnauwkeurigheidsmarge van de DR3900 VIS Spectrofotometer (0,1 mg/l). De grootste onderlinge afwijking is 0,024 mg/l.
- Belangrijk punt bij het uitvoeren van deze proef is het feit dat bij het nemen van het monster gebruik is gemaakt van een stok met een open 'maatbeker' (bijlage O). Hierdoor is het niet mogelijk enkel een monster van een bepaalde diepte te nemen, er zal altijd een hoeveelheid van het water aan het oppervlak in de maatbeker spoelen.

Conclusie monsterneming
Op grond van de kleine verschillen in ammoniumconcentraties van de verschillende locaties in de put kan geconcludeerd worden dat de locatie van monstername bijna geen invloed heeft op de te meten ammoniumconcentratie. Monsters vanuit het oppervlak geven iets hogere waarden dan monsters dieper in de put. Echter zijn de verschillen zo klein dat ze binnen de nauwkeurigheidsgrenzen van de meetapparatuur vallen. Om die reden is er voor gekozen om een monster uit het midden van de put te scheppen. Opgemerkt dient te worden dat de verspreiding van hogere ammoniumconcentraties anders kunnen zijn, dit is niet nader onderzocht. Verwacht wordt dat de concentratie in het midden het meest representatief is.

7.3. Onderzoek 4 Detectiegrenzen ammoniummethode

Doel van dit onderzoek is om te zien hoe de ammoniumconcentratie in het stelsel verandert in de tijd, al dan niet als gevolg van neerslag. Daarnaast wordt hiermee bepaald tot op welke afstand een lozingspunt met behulp van de ammoniummethode nog meetbaar is.

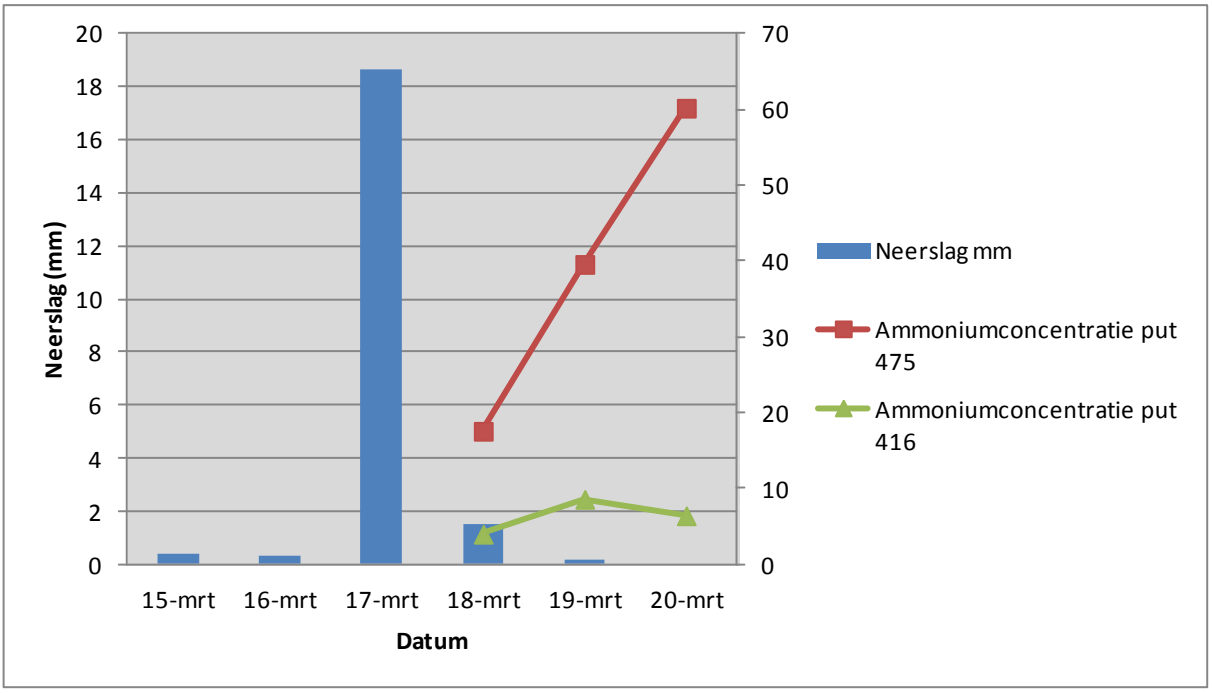
7.3.1. Verloop van de ammoniumconcentratie bij een foutaansluiting

In dit onderzoek is over drie dagen van de putten 475 t/m 424 (zie bijlage I) in de Horatiuslaan de ammoniumconcentratie gemeten. Deze putten bevinden zich in één streng. De afstand van deze streng bedraagt 241 meter. In tabel 7.2 is per put de gemeten ammoniumconcentratie weergegeven. De gemeten ammoniumconcentraties zijn ook uitgezet tegen de hoeveelheid neerslag, dit is te zien in figuur 7.6.

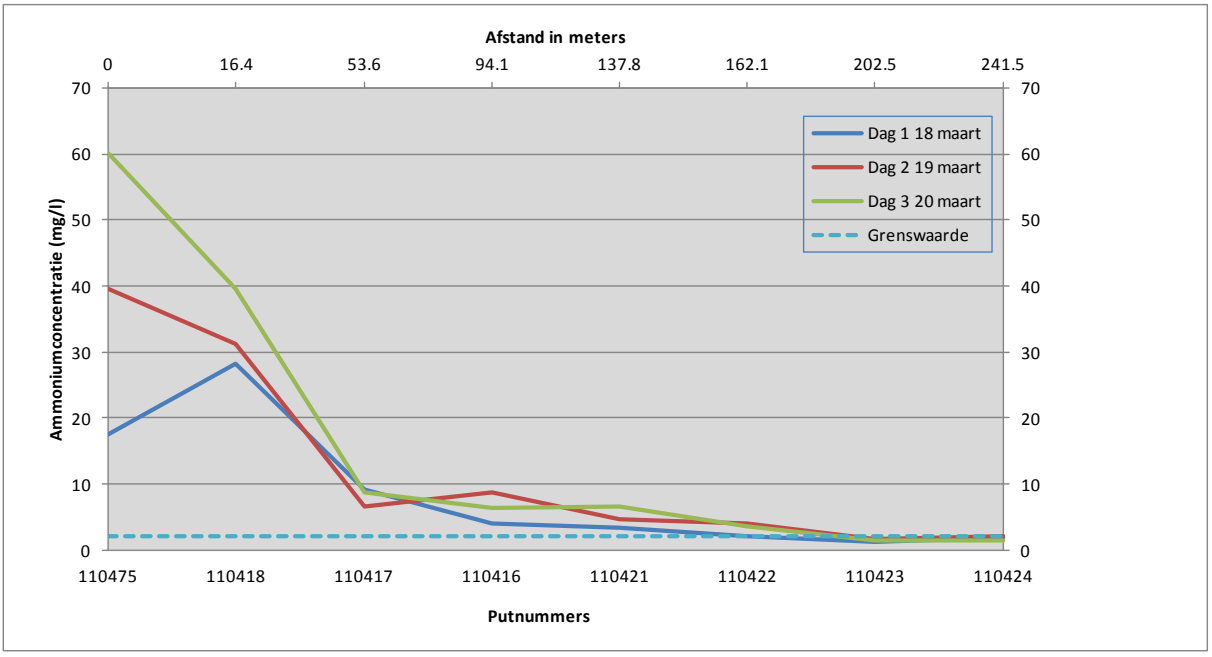
Tabel 7.2 Ammoniumconcentratie per put.

Putnummers	18-mrt	19-mrt	20-mrt
110502	0,152	0,206	0,107
110501	0,14	0,191	0,099
110500	0,151	0,178	0,091
110499	0,172	0,176	0,096
110498	0,219	0,172	0,095
110497	0,553	0,937	0,544
110475	17,6	39,6	60,2
110418	28,3	31,3	39,5
110417	9,13	6,65	8,76
110416	4,02	8,62	6,45
110421	3,45	4,62	6,52
110422	2,01	3,92	3,66
110423	1,32	1,71	1,34
110424	1,81	2,18	1,5

In figuur 7.7 is de ammoniumconcentratie van de putten 475 en 416 in relatie tot de neerslag weergegeven.



Figuur 7.7 Ammoniumconcentratie in relatie tot de neerslag in put 475 en put 416.



Figuur 7.8 Ammoniumconcentratie per put.

De verhouding tussen de hoeveelheid neerslag en de gemeten ammoniumconcentratie:

- Uit de gegevens (figuren 7.7, 7.8 en tabel 7.2) is te herleiden dat vooral na veel regenval op 17 maart, de ammoniumconcentratie in het stelsel de dag erna laag is. Vervolgens is te zien dat een lagere neerslag op 18 maart de ammoniumconcentratie in het stelsel toe laat nemen. Dit is bij 12 van de 14 bemonsterde putten het geval.
- Dit verband is van 19 op 20 maart alleen te zien bij de putten met de hoogste ammoniumconcentraties (putnummers 475, 418, 417, 421). De overige putten laten daar juist weer een daling van het ammoniumgehalte zien.

De figuren 7.7 en 7.8 geven de indruk dat de neerslag invloed heeft op de ammoniumconcentratie. Uit deze figuren is dit verband niet direct af te leiden. Wel kan hier nader onderzoek naar gedaan worden.

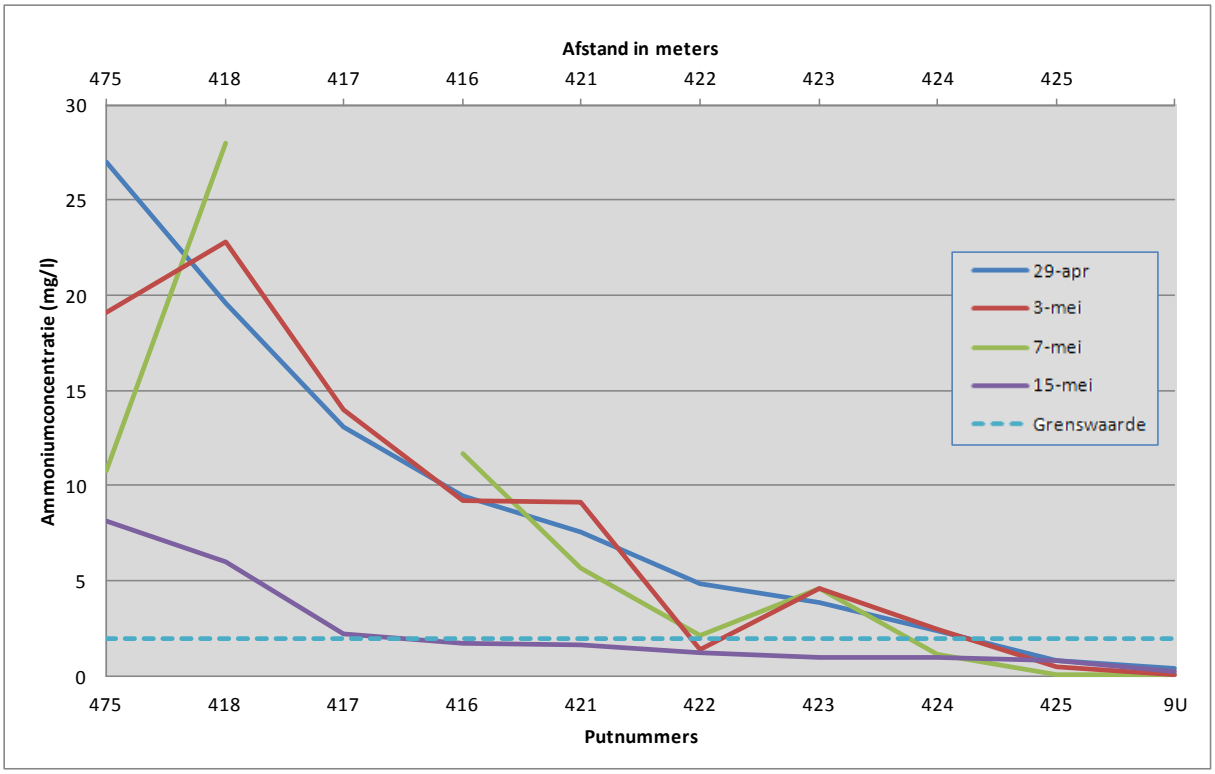
Een foutaansluiting is over het algemeen geen constante lozing, maar vindt eens in de zoveel tijd plaats. Bij een foutief aangesloten toilet is dit afhankelijk van de aanwezigheid van en de hoeveelheid personen. Periodiek komt er een vuilwaterlozing in het HWA-stelsel. De vraag is of deze lozing zich geheel vermengt of als 'wolk' richting de uitstroomopening van het stelsel verplaatst. Als de lozing zich als 'wolk' richting de uitstroomopening begeeft is de kans om een eventuele verhoging aan ammonium te meten tijdens het bemonsteren een stuk kleiner. Het is mogelijk om tussen de verschillende 'wolken' in te prikken, dan wordt er geen hoge ammoniumwaarde gevonden. Of de waarden, die bij dit onderzoek gemeten zijn, representatief zijn voor de hoogste ammoniumwaarde in het stelsel is dus de vraag.

7.3.2. Verloop van de ammoniumconcentratie na het herstel van de foutaansluiting

Op 24 april 2013 is de bekende foutaansluiting aan de Horatiuslaan hersteld. Meer hierover is beschreven in hoofdstuk 5. Na het herstel werd een afname van de ammoniumconcentratie verwacht, omdat de bron van het ammonium is weggenomen. Om deze verwachting te bevestigen is een aantal dagen onderzoek verricht naar de ammoniumconcentraties in de Horatiuslaan. De gevonden waarden zijn weergegeven in tabel 7.3 en figuur 7.8.

Tabel 7.3 Ammoniumconcentratie per put.

Putnummer	29-apr	3-mei	7-mei	15-mei
110475	27	19,1	10,8	8,16
110418	19,6	22,8	28	5,99
110417	13,1	14	Auto op put	2,22
110416	9,5	9,23	11,7	1,72
110421	7,6	9,15	5,65	1,65
110422	4,83	1,36	2,16	1,24
110423	3,89	4,63	4,57	0,953
110424	2,34	2,45	1,13	0,941
110425	0,793	0,491	0,047	0,827
9U	0,366	0,039	0,039	0,199



Figuur 7.9 Ammoniumconcentraties Horatiuslaan na herstel.

Vijf dagen na herstel van de foutaansluiting zijn alle putten van de Horatiuslaan tot aan de uitstroom 9U bemonsterd en geanalyseerd op ammonium. Achtereenvolgens is dit ook gedaan op 3, 7 en 15 mei. De eerste drie meetronden na het herstel laten nog geen duidelijke afname van de ammoniumconcentratie zien. Dit in tegenstelling tot de laatste meting op 15 mei 2013. Hier is plotseling een duidelijke afname van de ammoniumconcentratie waarneembaar.

Een verklaring wordt gezocht in de neerslag die tijdens de periode na het herstel is gevallen. In tabel 7.4 is per datum aangegeven hoeveel mm neerslag er is gevallen tussen het herstel en de datum van meting.

Tabel 7.4 Neerslag op verschillende data tussen herstel en meting.

	29-apr	3-mei	7-mei	15-mei
Neerslag (mm)	8,13	8,97	8,97	36,49
Aantal dagen na het herstel	5	10	14	22

Tussen 29 april en 7 mei is er in figuur 7.9 geen afname van de ammoniumconcentraties te zien. Uit tabel 7.2 wordt duidelijk dat er in die periode ook niet meer dan 8,97 – 8,13 = 0,84 mm neerslag is gevallen. Dit betekent een zeer geringe vulling van het stelsel, waardoor er waarschijnlijk weinig water richting de uitstroom is gestroomd. In de periode tussen 7 mei en 15 mei is 36,49 – 8,97 = 27,52 mm neerslag gevallen. Dit heeft geleid tot een grote hoeveelheid water in het stelsel, waardoor transport naar de uitstroom heeft plaatsgevonden. Waarschijnlijk is hierbij de ammoniumconcentratie dusdanig vermengd en verplaatst, waardoor de concentratie sterk is afgenomen.

Uit dit gegeven kan geconcludeerd worden dat na het herstel van een foutaansluiting de ammoniumconcentratie als gevolg van neerslag af zal nemen. De snelheid waarmee deze afname plaatsvindt, is sterk afhankelijk van de hoeveelheid neerslag die valt. Dit zal per situatie verschillen omdat ook de inhoud van het stelsel en de mate waarin een stelsel vermaasd is, van invloed is op de verspreiding van ammonium.

Conclusie detectiegrenzen ammoniummethode
Voor het toepassen van de ammoniummethode is het gewenst om te weten tot op welke afstand een foutaansluiting opgespoord kan worden. Dit zal per wijk verschillen in verband met de achtergrondconcentratie, de afmetingen van het stelsel, stroming in het stelsel, de hoeveelheid neerslag en de hoeveelheid huisaansluitingen op een stelsel. Voor de wijk Rijnsweerd-Zuid is de detectiegrens van de ammoniummethode bepaald tot op 241 meter van het lozingspunt. Deze afstand is bepaald vanaf het lozingspunt tot de laatste put waar een verhoogde ammoniumconcentratie is aangetroffen. In de betreffende put (put 424 in de Ovidiuslaan) is een verhoogde ammoniumconcentratie van 3,21 mg/l gevonden. Deze waarde is in vergelijking met de overige ammoniumconcentraties verhoogd (zie bijlage I) en is duidelijk te herleiden naar de foutaansluiting aan de Horatiuslaan nummer 8. Dit blijkt uit de resultaten na het herstel. De ammoniumconcentraties na het herstel nemen duidelijk af, wat waarschijnlijk het gevolg is van het wegnemen van de bron.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de verhoogde ammoniumconcentratie ten gevolge van een foutaansluiting niet op een plek blijft hangen, maar zich verspreidt door het stelsel. Dit gegeven maakt de ammoniummethode interessant om toe te passen als QuickScan. Het idee achter een QuickScan is dat de methode snel en kostenbesparend is. Doordat het ammonium zich door het stelsel verspreidt en verhoogde waarden op meerdere locaties detecteerbaar zijn, is het mogelijk om zonder alle putten te bemonsteren toch alle foutaansluitingen op te sporen. Door de putten om en om te bemonsteren wordt inzichtelijk waar de verhoogde ammoniumconcentraties gevonden kunnen worden. Op die plek zouden eventueel ook de niet bemonsterde putten geanalyseerd kunnen worden.
Het gevaar van de verspreiding van ammonium is dat de verhoging over een grote afstand meetbaar is. Het inzoomen op een specifieke plek kan hierdoor bemoeilijkt worden. Dit kan averechts werken op het principe van een QuickScan om een onderzoeksgebied te verkleinen. Echter, de verwachting is dat in de verhoogde ammoniumconcentraties een piek op zal treden ter plaatse van de huisaansluiting zoals te zien in figuur 7.8 bij put 475. Dit maakt het mogelijk om alsnog het onderzoeksgebied te verkleinen tot enkele putten.

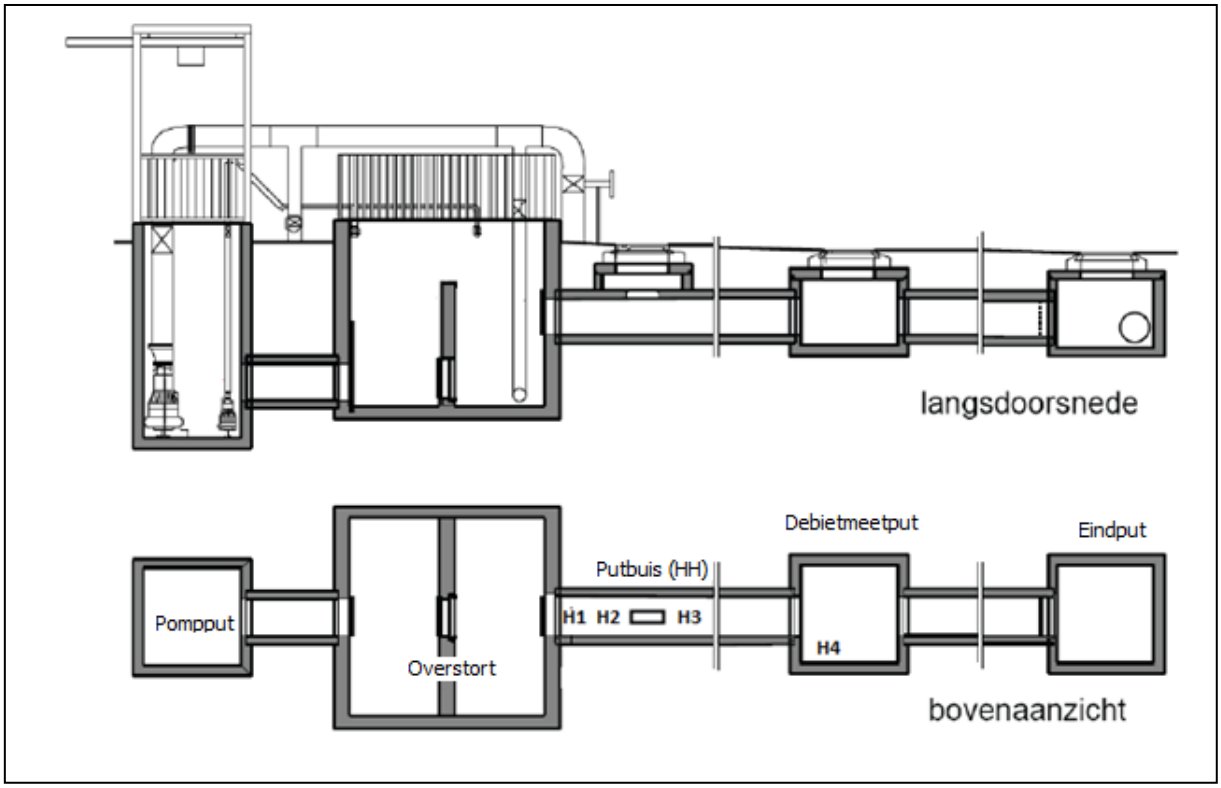
Opgemerkt moet worden dat de bekende foutaansluiting aan de Horatiuslaan aan het einde van een streng ligt. Hier vindt weinig tot geen stroming plaats, anders dan door neerslag of onttrekking van water. Of een piek in de ammoniumconcentratie en verspreiding van ammonium waarneembaar zijn indien het een vermaasd stelsel betreft of wanneer de foutaansluiting zich in het midden van een streng bevindt, is met dit onderzoek niet aan te tonen. Nader onderzoek wordt hiervoor aanbevolen.

8. VERSPREIDING AMMONIUM IN EEN GEHEEL GEVULDE BUIS

Dit hoofdstuk beschrijft de uitkomsten van het onderzoek naar de verspreiding van ammonium in een geheel gevulde rioolbuis. Doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen hoe ammonium verspreidt in een geheel gevulde rioolbuis al dan niet onder invloed van stroming. Hiervoor zijn twee proeven uitgevoerd, één proef met stroming en één proef zonder stroming. Hoe deze proeven zijn uitgevoerd is beschreven in het Meetplan Breda (bijlage C). Dit hoofdstuk geeft antwoord op deelvraag: '*Wat is de verspreiding van ammonium in een gevulde rioolbuis in horizontale en verticale richting?*'

8.1. Uitkomsten proef zonder stroming

Tijdens deze proef is er per half uur een lozing van 25 liter water met een ammoniumconcentratie van ongeveer 130 mg/l toegediend op huisaansluiting 2 (figuur 8.1). Vervolgens is direct na de lozing een monster genomen van het water uit de omliggende meetpunten. De verschillende huisaansluitingen en putbuis zijn geschikt voor het nemen van monsters. In figuur 8.2 t/m 8.7 zijn de gevonden meetwaarden gevisualiseerd in een schets van het proefriool. Het doel van deze proef is om een indicatie te krijgen van de verspreiding van ammonium in horizontale en verticale richting in een geheel gevulde buis in een situatie zonder stroming. De hypothesen 1 en 3 (zie Meetplan Breda) worden met deze proef behandeld.

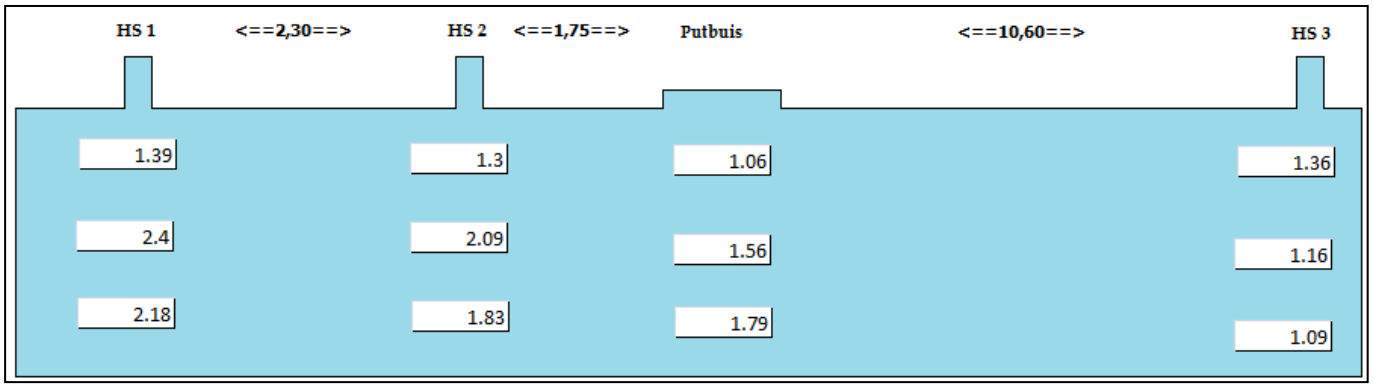


Figuur 8.1 Overzicht proefopstelling.

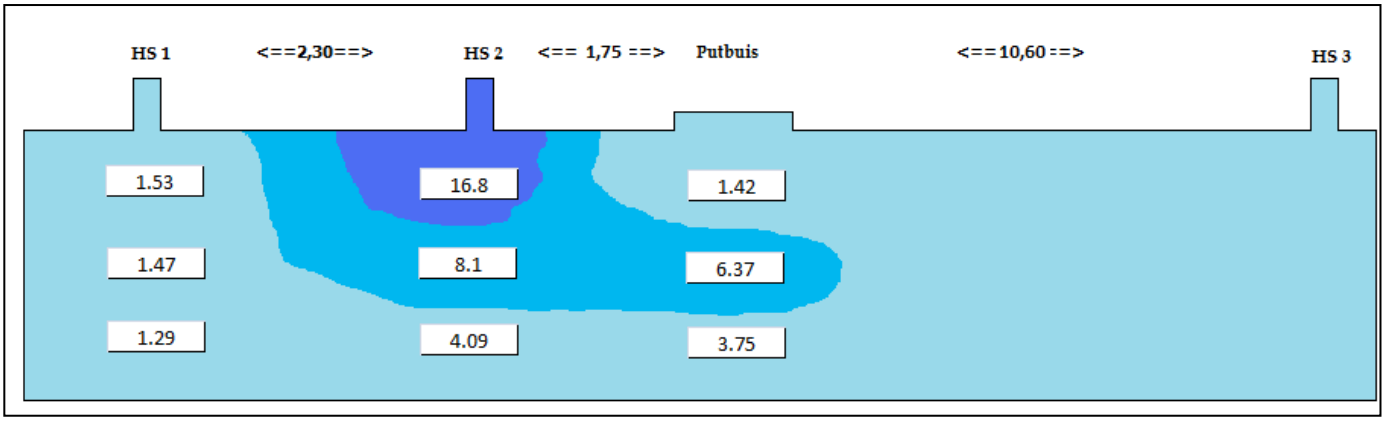
Resultaten
In figuur 8.2 t/m 8.8 zijn de resultaten van de proef zonder stroming weergegeven. Figuur 8.2 geeft de nulmeting van de ammoniumconcentraties in de rioolbuis weer. De eerste lozing heeft plaatsgevonden op tijdstip 0:00. Vervolgens is om het half uur een lozing gesimuleerd en direct daarna is de ammoniumconcentratie gemeten. De temperatuur van de lozingen fluctueerden. In tabel 8.1 is een overzicht gegeven van de lozingen met bijbehorende temperatuur.

Tabel 8.1 Temperatuur lozingen op verschillende tijdstippen.

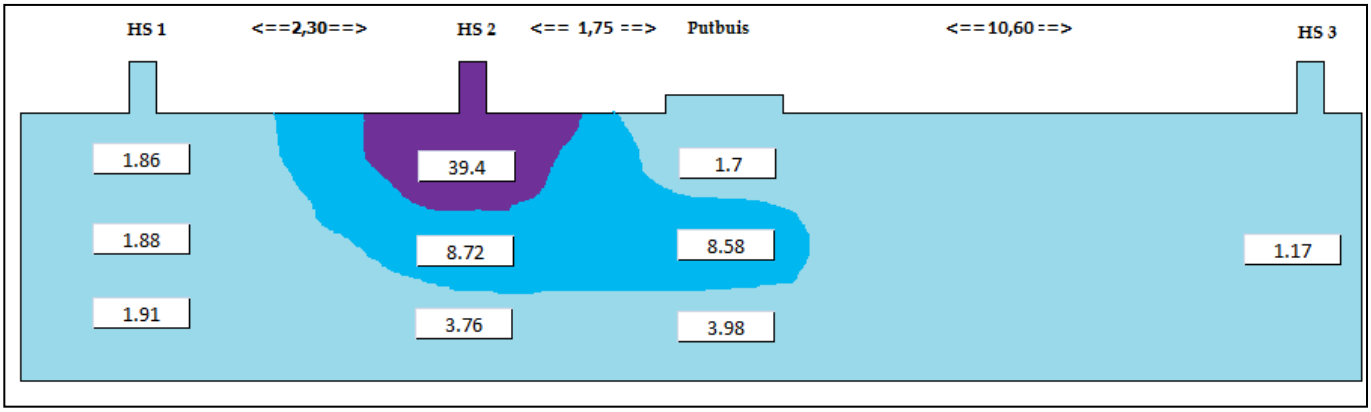
Lozing	Tijdstip (minuten)	Lozingstemperatuur °C
1	0:00	18,23
2	0:30	19,22
3	1:00	20,26
4	1:30	21,6
5	2:00	23,37
6	2:30	25,71



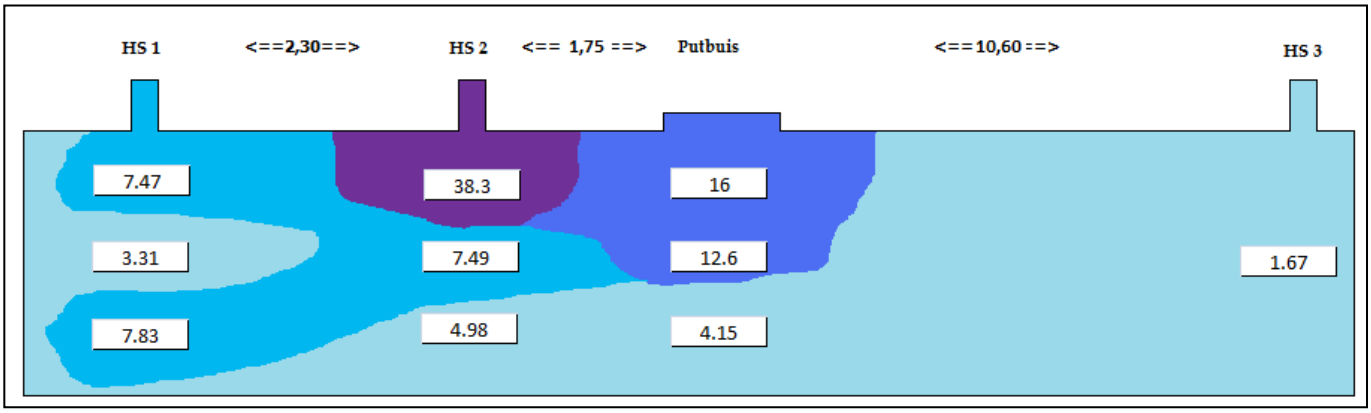
Figuur 8.2 Dwarsdoorsnede rioolbuis met ammoniumconcentraties tijdens de nulmeting.



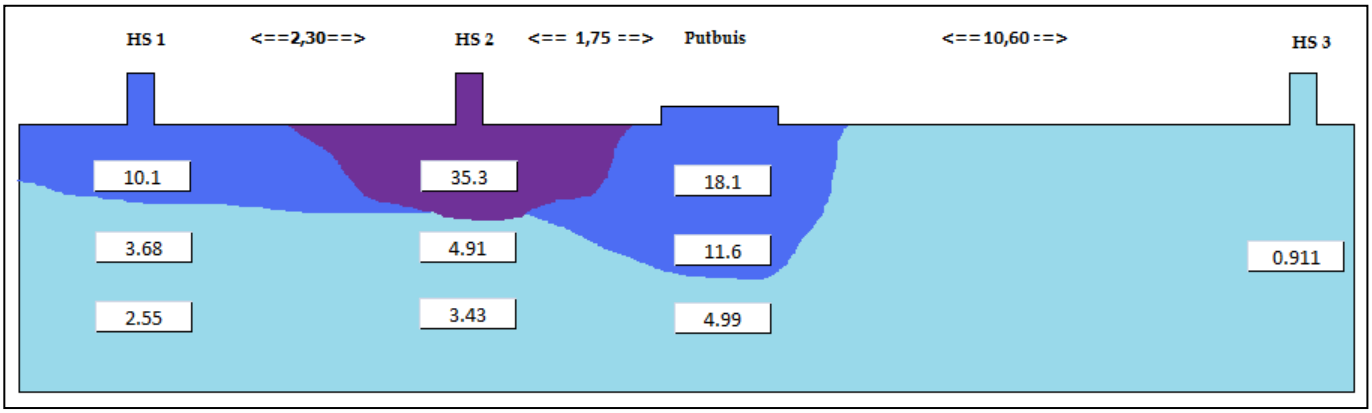
Figuur 8.3 Dwarsdoorsnede rioolbuis met ammoniumconcentraties na lozing 1.



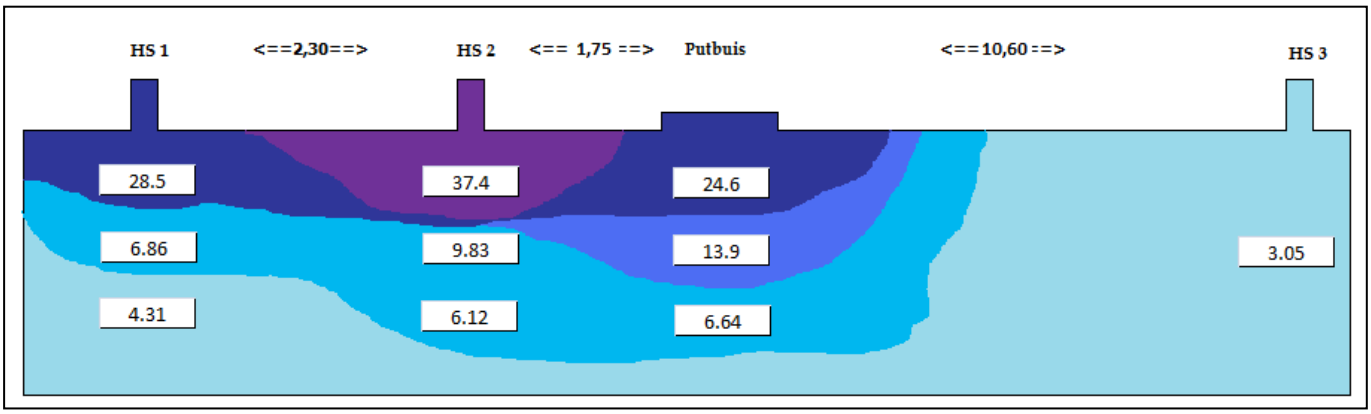
Figuur 8.4 Dwarsdoorsnede rioolbuis met ammoniumconcentraties na lozing 2.



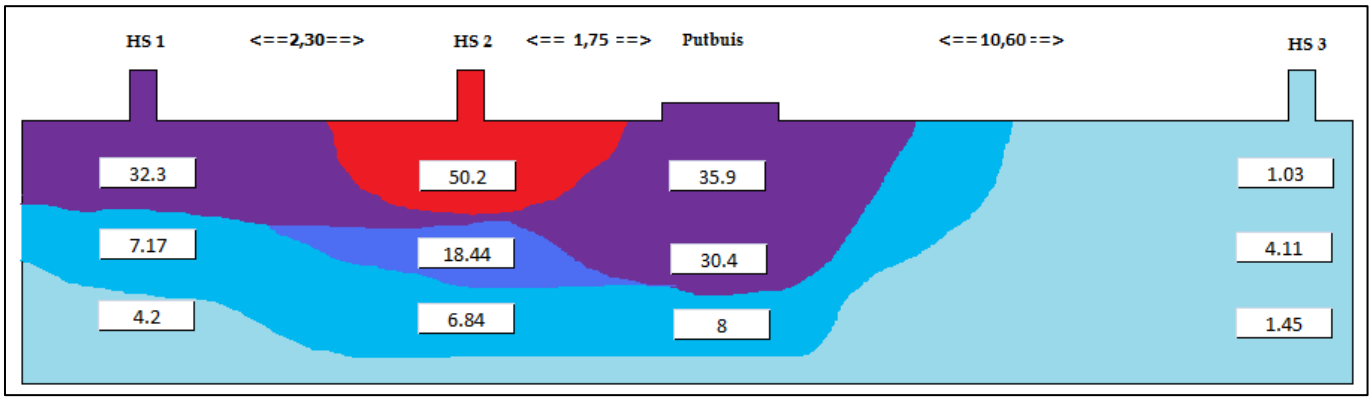
Figuur 8.5 Dwarsdoorsnede rioolbuis met ammoniumconcentraties na lozing 3.



Figuur 8.6 Dwarsdoorsnede rioolbuis met ammoniumconcentraties na lozing 4.



Figuur 8.7 Dwarsdoorsnede rioolbuis met ammoniumconcentraties na lozing 5.



Figuur 8.8 Dwarsdoorsnede rioolbuis met ammoniumconcentraties na lozing 6.

8.1.1. Vergelijking met hypothese

In het Meetplan Breda (zie bijlage C) zijn verschillende hypothesen opgesteld met betrekking tot de verspreiding van ammonium. Hypothese 1 en 3 hebben betrekking op deze proef. Hypothese 1 doet uitspraak over de verwachte verspreiding in horizontale en verticale richting in het geval zonder stroming. Hypothese 3 doet uitspraken over de verwachte verspreiding van de ammoniumconcentratie in het geval van temperatuurverschillen tussen het water van de lozing en het water in de rioolbuis.

Hypothese 1: De verspreiding van ammonium vanuit een huisaansluiting in een rioolbuis.
Bij één lozing ammonium zal de ammoniumconcentratie zich als een 'wolk' in het stelsel verspreiden (Figuur 1 in Meetplan Breda). De ammoniumconcentratie zal zich onder invloed van meerdere lozingen licht verspreiden in horizontaal en verticaal opzicht, maar voornamelijk ophopen. De foutlozingen die gesimuleerd worden betreffen foutaansluitingen, waarbij alleen het toilet verkeerd aangesloten is. Het water in deze lozingen heeft een ammoniumconcentratie van ongeveer 130 mg/l.

Analyse hypothese 1
Een voorwaarde bij deze hypothese is dat er geen of kleine temperatuurverschillen zijn tussen het lozingswater en het water in de rioolbuis. Tijdens deze proef zijn echter wel grotere temperatuurverschillen gemeten (zie tabel 8.1). De verdere invloed van de temperatuurverschillen wordt behandeld bij de vergelijking van hypothese 3. De volgende punten zijn te herleiden uit deze proef:

- De ammoniumconcentratie in de rioolbuis neemt ter hoogte van lozingsplaats (HS2) snel toe. Naarmate er meer lozingen plaatsvinden, verspreidt de concentratie zich in horizontale richting naar andere delen van de buis.
- Over de horizontale afstand verplaatst de ammoniumconcentratie zich redelijk gelijkmatig. In één uur wordt over een afstand van circa twee meter een verhoging gemeten van 8 mg/l. Na drie uur is zelfs in HS3, op een afstand van 12,35 m van het lozingspunt een verhoogde concentratie meetbaar van 4,11 mg/l.
- De verhoging van de ammoniumconcentratie is vooral bovenin en in het midden van de buis meetbaar. Onderin de buis is een zeer lichte toename meetbaar. Dit komt mogelijk door de temperatuurverschillen tussen het lozingswater en het water in de rioolbuis (zie hypothese 3).

Conclusie hypothese 1
De hypothese dat ammonium zich als een 'wolk' in water gedraagt, kan deels worden bevestigd met deze proef. Door temperatuurverschillen in de buis en het water en de korte tijd van meten is enkel een indicatie gekregen van de verspreiding van ammonium. Dit gaat redelijk gelijkmatig en de wolk blijft bij elkaar waardoor de kans klein is om een verhoogde ammoniumwaarde niet te detecteren.
Of de verspreiding werkelijk representatief is voor een periode van drie dagen is de vraag. Door diffusiewerking en 'uitzakking' kan de concentratie zich wellicht verder verspreiden. Nader onderzoek zou dit moet uitwijzen.

Hypothese 3: Verspreiding in verticaal en horizontaal opzicht bij temperatuurverschillen in het water.
Een verhoogde temperatuur en een grotere hoeveelheid van de lozingen zal de ammoniumconcentratie verder doen verspreiden in het stelsel. Afhankelijk van het verschil in temperatuur van het water in de rioolbuis zal de ammoniumconcentratie zich bovenin bevinden of meer in het midden van het stelsel. De verwachting is dat wanneer de temperatuur van de lozing hoger is dan het water in de buis de ammoniumconcentratie zich meer aan het oppervlak bevindt samen met het warmere water.

Analyse hypothese 3
Uit metingen met de DTS techniek (Sande, 2013) blijkt dat er redelijke temperatuurverschillen in de buis aanwezig zijn, die afhankelijk zijn het weer. Dit is te verklaren doordat het proefriool relatief laag onder het maaiveld ligt (circa 1 m –mv). Daardoor kan het water in de buis snel opwarmen. Gedurende de dag liep de buitentemperatuur op van 9,8°C tot 22°C (KNMI, 2013). Deze verandering van buitentemperatuur heeft ook invloed gehad op de temperatuur in de rioolbuis.

Doordat de monsters niet direct zijn geanalyseerd na monsterneming, zijn deze verwarmd door de buitentemperatuur. Hierdoor zijn geen representatieve temperatuurwaarden verkregen. In de buis bevindt zich bij huisaansluiting 1 een permanente temperatuurmeter op de bodem. Deze geeft gedurende de hele proef een temperatuur van rond de 10,7^{o}C aan. Terwijl de metingen van de HQ40D uitwijzen dat hier een temperatuur van 16,3^{o}C tot 24,8^{o}C is. De temperatuur van de monsters gemeten met de HQ40D zijn daarom niet representatief voor de temperatuur in de buis.

De temperatuur van de lozingen liep ook steeds met 1 graad op beginnend bij 18,23^{o}C en eindigend bij een temperatuur van 25,71^{o}C (zie tabel 8.1).

De volgende punten zijn te herleiden bij proef 1 voor hypothese 3:
- Verhoogde ammoniumconcentraties ten gevolge van de lozingen bevinden zich voornamelijk in het midden en bovenin de rioolbuis.
- Tijdens de eerste twee à drie lozingen verspreidt de ammoniumconcentratie zich over 1,75 meter in horizontale richting en bevindt het zich meer in het midden van de buis.
- Na de laatste twee lozingen is bij HS3 een licht verhoogde ammoniumconcentratie te meten in het midden van de buis.

Conclusies hypothese 3
De hoge concentraties bevinden zich duidelijk meer bovenin en in het midden van de buis. Mogelijk dat temperatuurverschillen hierbij een rol spelen. Tijdens de proef is een vrij constant verschil gemeten van 2°C tussen de watertemperatuur onder en bovenin de rioolbuis (deze waarden zijn gevonden met DTS-kabels). Het wordt aanbevolen om dit onderzoek te herhalen in een nulsituatie met geen of zo min mogelijk temperatuurverschillen.
Bij HS3 is over een afstand van 12,35 m vanaf het lozingspunt een licht verhoogde concentratie te meten in het midden van de buis. Mogelijk dat de temperatuur uitdempt waardoor grote temperatuurverschillen verdwijnen en de ammoniumconcentratie zich wat meer in het midden van de buis bevindt.

8.2. Uitkomsten proef met stroming

Tijdens deze proef is elk half uur een lozing van 25 liter water, met een ammoniumconcentratie van ongeveer 130 mg/l, toegediend op de debietmeetput (zie figuur 8.1), wat via huisaansluiting 4 (HS4) kan. Na elke lozing werd de ammoniumconcentratie op verschillende punten gemeten. Dit gebeurt achtereenvolgens op de debietmeetput, HS3, Putbuis, HS2. In bijlage P zijn de gevonden meetwaarden weergegeven. Het doel van deze proef is om een indicatie te krijgen van de verspreiding van ammonium in een geheel gevulde buis in horizontale en verticale richting indien er stroming in de buis plaatsvindt. De hypothesen 2 en 3 (zie Meetplan Breda) worden met deze proef getoetst.

8.2.1. Opmerkelijke waarnemingen en niet correct gemeten concentraties

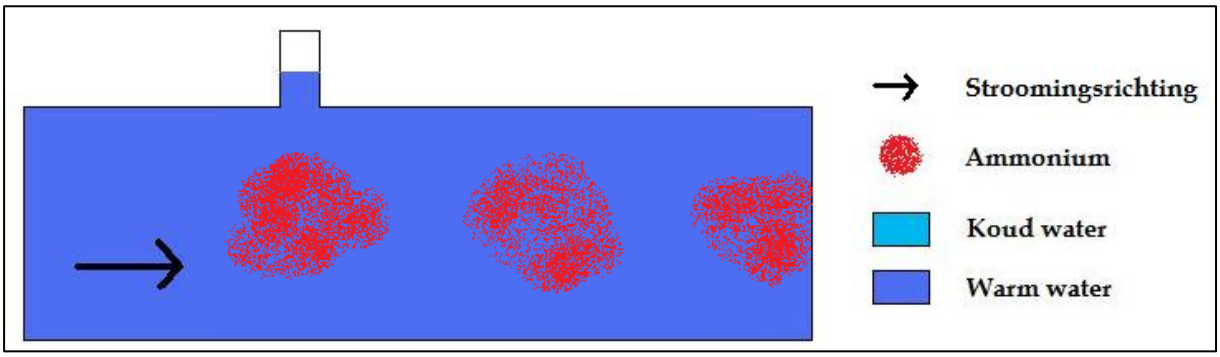
- *Waarden lager dan nulmeting*

De nulmeting van de ammoniumconcentratie geeft in de punten HS2, putbuis, HS3 en DBM een ammoniumconcentratie tussen de 2-3 mg/l. In HS1 is een concentratie van rond de 3,4 mg/l

gemeten. Deze concentraties zijn gemeten in het proefriool tijdens stroming zonder toevoegde ammonium. De ammoniumconcentraties die zijn gemeten zijn dus waarden die al in het stelsel voorkomen. Na start van de lozingen blijkt dat de ammoniumconcentraties die gemeten worden duidelijk lager zijn dan de nulmeting. Waarden tussen de 0,4 mg/l en de 1 mg/l zijn waargenomen op verschillende punten. Dat de waarden zoveel lager zijn dan de nulmeting is niet te verklaren. De verwachting is juist dat de waarden oplopen naarmate er lozingen plaatsvinden. Zelfs al zou er geen extra ammonium worden toegevoegd dan nog is het niet te verwachten dat de gemeten waarden lager zijn dan de waarden gevonden bij de nulmeting.

- *Kans op missen van de verhoogde ammoniumconcentratie door stroming*

Het is mogelijk dat een 'ammoniumwolk' die gevormd wordt na een lozing, door stroming wordt getransporteerd door het stelsel. Tussen de eerste en tweede lozing kan dan een afstand ontstaan waar de waarde aan ammonium niet of minder verhoogd is (zie figuur 8.9). Bij bemonsteren zou in theorie precies tussen twee van deze wolken ingeprikt kunnen worden. Er wordt dan geen verhoogde ammoniumconcentratie gevonden terwijl deze wel in de buis aanwezig is. Er wordt dan een vals negatieve waarde gevonden.



Figuur 8.9 Visualisatie mogelijk gedrag van ammonium als gevolg van stroming.

- *Deel monster later geanalyseerd, tegenstrijdige waarden*

Door de grote hoeveelheid verkregen monsters is het niet mogelijk geweest alle monsters op dezelfde dag te analyseren. De volgende dag zijn de overige monsters in het laboratorium geanalyseerd. De waarden die de tweede dag gemeten zijn, zijn duidelijk hoger dan de waarden van de dag ervoor. Bij controle met de VIS-spectrofotometer (DR3900) en analyse van monsters van de dag ervoor is duidelijk geworden dat de metingen die de dag na de proeven zijn gedaan structureel voor de helft of dubbel zo hoog zijn als de waarden die de dag ervoor zijn gemeten.
De mogelijke oorzaak van de verschillende waarden over de twee dagen wordt gezocht in de kalibratie van de HQ40D. Bij controle met de DR3900 blijkt dat de gemeten verhogingen bij de tweede dag niet juist zijn. Terwijl de HQ40D structureel een verhoogde waarde weergaf. Mogelijk is er een fout gemaakt bij de kalibratie van de HQ40D. Andere oorzaken van deze afwijkende waarden zijn niet voorhanden.

- *Stroming waarschijnlijk meer dan aangegeven*

De stroming in het stelsel was volgens de debietmeter rond de 7 m/uur. Bij het verzamelen van de monsters is een plastic peilbuis op diepte ingebracht. Doordat de peilbuis vanbinnen hol is heeft de buis de neiging om te drijven. Indien de peilbuis verticaal in het water werd gehouden was duidelijk waarneembaar dat de buis wegdreef. Dit was echter alleen het geval als de buis diep genoeg onder water werd gestoken (dieper dan 0,30 m). Onderin de buis was de stroming dus sterker dan bovenin de buis. Aan het oppervlak was geen stroming zichtbaar. De snelheid waarmee de buis wegdreef was groter dan 7 m/uur. Mogelijk dat deze stroming de oorzaak is van de niet gemeten verhoogde ammoniumwaarden. Onduidelijk blijft hoe de verspreiding van ammonium dan is. Want bij de proef zonder stroming is duidelijk geworden dat de lozingen de ammoniumconcentratie in de rioolbuis toe laten nemen.

Een mogelijk verklaring zou kunnen zijn dat de lozingen met de bekende ammoniumconcentraties niet goed in de rioolbuis terecht zijn gekomen. De lozing moest een afstand van ruim 32 meter

overbruggen door een leiding die vrijwel waterpas ligt. Het zou kunnen dat er nog water in deze leiding stond. Een lozing van 25 liter per half uur is erg weinig en zou dan eerst het water zonder verhoogde ammoniumconcentratie lozen. Uiteindelijk zou de bekende ammoniumconcentratie pas na meerdere lozingen in de rioolbuis terecht komen. Dit is gecontroleerd door een monster te nemen van het lozingswater uit HS4. Dit water had een hogere ammoniumconcentratie van 128 mg/l. Dit is dus ruim verhoogd.

- *Lozingen met een hogere temperatuur*

Bij het toedienen van de lozingen is een fout gemaakt met het op temperatuur brengen van het lozingswater. Daardoor is de temperatuur van het lozingswater sterk toegenomen. De temperaturen behorend bij de lozing zijn opgenomen in tabel 8.2.

Tabel 8.2 Temperatuur lozingen.

Lozing	Tijdstip (minuten)	Lozingstemperatuur °C
1	0:00	15,61
2	0:30	16,37
3	1:00	29,84
4	1:30	43,89
5	2:00	43,12
6	2:30	42,09

8.2.2. Overige analyse van de waarden

Ondanks de voorgaande punten zijn de waarden geanalyseerd. Deze analyse is hieronder gegeven.

Analyse resultaten

- De concentraties in het lozingspunt lopen langzaam op. Dit komt waarschijnlijk door de grote bak met water waar het ammonium in valt. De put heeft een afmeting van 1,5 x 1,5 x 0,8 m wat neerkomt op een volume van 1,8 m^3.
  Een verhoogde concentratie is alleen bovenin de debietmeetput duidelijk meetbaar. Dit komt ook door hoge lozingstemperaturen die twee keer hoger zijn dan 43°C.
- Ammoniumwaarden in overige delen van de buis zijn over het algemeen in het midden hoger dan bovenin en onderin de buis.

Conclusies uitkomsten proef met stroming

Waarden bovenin de debietmeetput lopen slechts langzaam op. De grote hoeveelheid water in deze put, verhoogde temperatuur van de lozing en de aanwezige stroming die de concentratie wegspoelt.
De ammoniumconcentraties zijn licht verhoogd in het midden van de buis ten opzichte van bovenin en onderin.
Het mis prikken tussen twee wolken ammoniumconcentraties is hier niet aangetoond omdat er geen verhoogde concentraties over de afstand zijn gemeten. Dit hoeft niet te betekenen dat dit niet voorkomt.

9. BETROUWBAARHEID AMMONIUMMETHODE

Tijdens dit onderzoek is gebleken dat de ammoniummethode onder bepaalde omstandigheden goed werkt. Nu rest de vraag in hoeverre dit resultaat betrouwbaar is. Verschillende factoren kunnen van invloed zijn op de betrouwbaarheid van de ammoniummethode. Deze factoren zijn veelal onderzocht in de uitgevoerde onderzoeken die behandeld zijn in de voorgaande hoofdstukken.
Dit hoofdstuk vormt een samenvoeging van de bevindingen uit andere hoofdstukken en onderzoeken om de volgende deelvraag te beantwoorden: *'In hoeverre is de ammoniummethode betrouwbaar?'*.

9.1. Factoren die de betrouwbaarheid bepalen

In deze paragraaf worden de factoren behandeld die de betrouwbaarheid van de ammoniummethode kunnen beïnvloeden. Deze factoren zijn bij andere onderzoeken naar voren gekomen of onderzocht.

- *Meetapparatuur*

In hoeverre de gemeten ammoniumconcentraties representatief en betrouwbaar zijn, hangt onder andere af van de nauwkeurigheid van de meetapparatuur. Er zijn verschillende meetapparaten beschikbaar waarmee de ammoniumconcentratie in water bepaald kan worden. Voor dit onderzoek zijn twee meetapparaten gebruikt. Dit zijn de DR3900 VIS Spectrofotometer en de HQ40D met Ion Selectieve Elektrode (ISE). De onderbouwing voor de keuze voor deze meetapparatuur is beschreven in bijlage II van het Meetplan Rijnsweerd-Zuid.
De nauwkeurigheid van de ammoniumconcentratie die gemeten wordt verschilt per meetapparaat. Enkele punten die invloed hebben op de nauwkeurigheid van de meting:

- Meetrange;
- Meetafwijking/nauwkeurigheid;
- Kalibratie;
- Extra handelingen.

Tijdens dit onderzoek is naar voren gekomen dat de HQ40D bij waarden lager dan 0,5 mg/l minder nauwkeurig is. Ook moet de kalibratie van dit apparaat dagelijks handmatig uitgevoerd worden, wat de kans op het veroorzaken van verschillen in meetwaarden groter maakt. De DR3900 hoeft daarentegen niet dagelijks gekalibreerd te worden. De kalibratie dient echter wel regelmatig getest te worden. Hiervoor zijn cuvetten met bekende concentraties beschikbaar.

Betrouwbaarheid ammoniummethode in relatie tot de meetapparatuur
Het doel van de ammoniummethode is om een overzicht te krijgen van de (verhoogde) ammoniumwaarden in de wijk en op basis daarvan bepaalde delen van de wijk aanbevelen voor nader onderzoek. De betrouwbaarheid van de ammoniummethode met betrekking tot de meetapparatuur is tijdens dit onderzoek gegarandeerd.

- *Invloedsfactoren*

In dit rapport is al eerder beschreven hoe de ammoniumconcentratie in het stelsel van meerdere invloedsfactoren afhankelijk is (zie hoofdstuk 3 en bijlage F). De invloedsfactoren kunnen zorgen voor vals positieve en vals negatieve waarden, waardoor de betrouwbaarheid van de ammoniummethode wordt verlaagd.

Tijdens de uitvoering van de ammoniummethode wordt bij de bekende foutaansluiting een verhoging van de ammoniumconcentratie in meerdere putten gemeten. Eén enkele verhoogde ammoniumconcentratie wijst dus niet per definitie naar een foutaansluiting. In dit geval is bemonstering van omliggende putten aan te bevelen. De put opnieuw bemonsteren na een aantal dagen kan helpen om een incidentele lozing uit te sluiten.

Betrouwbaarheid ammoniummethode in relatie tot de invloedsfactoren
In theorie zouden invloedsfactoren de concentratie kunnen beïnvloeden en vals positieve en/of vals negatieve waarden kunnen veroorzaken. In dit onderzoek zijn geen aanwijzingen gevonden dat invloedsfactoren (grote) invloed hebben op de ammoniumconcentratie en het creëren van vals positieve en negatieve waarden. Meer praktijkonderzoek met de ammoniummethode zou hier

inzicht in moeten geven. Vooralsnog kan gesteld worden dat de invloedsfactoren de betrouwbaarheid van de ammoniummethode niet in gevaar brengen. Het meten over meerdere dagen en op meerdere locaties kan helpen hier uitsluitsel over te geven.

- *Processen van invloed op de ammoniumconcentratie*

In bijlage F zijn een aantal processen behandeld die invloed kunnen hebben op de ammoniumconcentratie in het stelsel. Deze processen kunnen de ammoniumconcentratie verhogen of verlagen. Deze processen kunnen zorgen voor vals positieve en vals negatieve waarden, wat de betrouwbaarheid van de ammoniummethode niet ten goede komt.

Betrouwbaarheid ammoniummethode in relatie tot de processen

In bijlage F is geconcludeerd dat geen van deze processen in die mate op zullen treden dat er negatieve effecten op de ammoniumconcentratie zijn te verwachten. Ook zijn er tijdens de verschillende onderzoeken (zie hoofdstuk 7 in de tijd) geen aanwijzingen gevonden voor het optreden van deze processen. De betrouwbaarheid van de ammoniummethode in een gevuld stelsel is in dit geval gegarandeerd.

- *Grenswaarde*

Voor de bepaling van de grenswaarde is geen bestaande methode beschikbaar. De bepaling van de grenswaarde vindt plaats op basis van de gemeten ammoniumconcentraties en een aanname van het percentage foutaansluitingen (zie bijlage H). De aanname betreft een percentage van tussen de 5 à 10%. In het meest ongunstige geval kan een zeer groot deel van de wijk verkeerd zijn aangesloten. Dan worden onterecht hoge ammoniumconcentraties gemeten en bestaat de kans dat de grenswaarde te hoog wordt gelegd. De kans dat dit in de praktijk voorkomt is erg klein. Anderzijds kan ook de grenswaarde te laag bepaald worden wanneer er niets fout aangesloten is. Dan is de bepaling van een achtergrondwaarde belangrijk. Hiermee wordt de grenswaarde vergeleken. Liggen deze waarden te dicht bij elkaar dan is het geen betrouwbare grenswaarde, omdat er dan geen duidelijk onderscheidt is tussen een algemene waarde in het stelsel en een verhoogde waarde.

Betrouwbaarheid ammoniummethode in relatie tot de grenswaarde

De handmatige bepaling van de grenswaarde heeft invloed op de betrouwbaarheid van de ammoniummethode. Een kritische blik naar de resultaten blijft noodzakelijk om tot een betrouwbare grenswaarde te komen. De bepaling van een achtergrondwaarde kan helpen de betrouwbaarheid te verhogen. In dit onderzoek is het verschil tussen verhoogde waarden en de achtergrondwaarde duidelijk meetbaar.

- *Overige parameters*

Ammonium vormt met ammoniak een evenwichtsreactie in het water. Als de temperatuur en de pH boven bepaalde waarden uitkomen (zie bijlage F), zal de reactie richting ammoniak verlopen. Het ammoniumgehalte zal in dat geval afnemen. Vreemde waarden bij de ammoniumconcentratie kunnen mogelijk verklaard worden aan de hand van de gemeten parameters.

Er is geen verband tussen de ammoniumconcentraties en overige parameters in dit onderzoek (zie hoofdstuk 6). De overige parameters wijzen op zichzelf ook niet eenduidig naar een foutaansluiting.

Betrouwbaarheid ammoniummethode in relatie tot de overige parameters

Bij een verhoogde pH of temperatuur kunnen verlaagde ammoniumconcentraties plaatsvinden door de evenwichtsreactie. Door het meten van deze parameters kan dit inzichtelijk worden gemaakt.
In theorie kunnen de overige parameters helpen om ammoniumconcentraties te staven. Echter is dit in dit onderzoek niet naar voren gekomen.

- *Ammonium in de tijd*

Tijdens dit onderzoek is aangetoond dat ammonium zich door het stelsel verspreidt. Wel blijkt dat vooral de hoge ammoniumconcentraties vrij constant en meetbaar zijn. Zelfs na het herstel van de foutaansluiting blijven de hoge waarden nog voor een lange tijd meetbaar. Pas na een grote hoeveelheid neerslag is een duidelijke afname van de ammoniumconcentratie zichtbaar.

Betrouwbaarheid ammoniummethode in relatie tot het ammonium in de tijd
In het HWA-stelsel blijkt ammonium een vrij constante parameter, waar niet snel verandering in zal optreden anders dan door neerslag. Wel zullen de waarden licht fluctueren, maar grote veranderingen zijn niet gesignaleerd. Deze constatering verhoogt de betrouwbaarheid van de ammoniummethode. Immers hoe stabieler de parameter waarop gemeten wordt des meer zijn de uitspraken te funderen.

- *Opslag van ammonium*

Bij opslag in koele en donkere omstandigheden blijkt dat het ammonium in het monster nagenoeg gelijk blijft. Met het onderzoek 'opslag in monsterpotje' wat beschreven staat in hoofdstuk 7 is dit duidelijk aangetoond. Dit is positief voor de betrouwbaarheid, omdat een snelle meting niet noodzakelijk is. Een monster kan ook na een dag nog geanalyseerd worden, mits het een gefilterd monster betreft.

- *Detectiegrenzen en verspreiding in een geheel gevulde buis*

De verhoogde ammoniumconcentraties als gevolg van de foutaansluiting zijn tot op 240 meter vanaf het lozingspunt detecteerbaar. Hieruit is te concluderen dat ammonium zich door de buis verspreidt. Deze constatering wordt deels bevestigd bij de proef in Breda en de metingen na het herstel. Wanneer de bron is weggenomen neemt de concentratie duidelijk af.

Betrouwbaarheid ammoniummethode in relatie tot de detectiegrenzen
De detectiegrenzen lijken groot genoeg om een verdacht gebied aan te wijzen en klein genoeg om andere delen van de wijk uit te sluiten. Dit met de kanttekening dat de detectiegrenzen in dit onderzoek gebaseerd zijn op één foutaansluiting aan het begin van de streng. Een foutaansluiting in vermaasde delen van een stelsel of in het midden van een streng zou andere resultaten kunnen opleveren. De detectiegrenzen zijn van die omvang dat het de betrouwbaarheid van de ammoniummethode ten goede komt.

9.2. Vergelijking eerder onderzoek consortium

Bij eerder onderzoek met de ammoniummethode, uitgevoerd door Twente Milieu, zijn geen foutaansluitingen in de wijk Rijnsweerd-Zuid gedetecteerd. Dit is tegenstrijdig met wat op basis van het Riosonic onderzoek werd gevonden en met de resultaten van dit onderzoek. De niet eenduidige resultaten van Twente Milieu zouden de volgende oorzaken kunnen hebben:

- *Verschillende waarden?*

Bij de uitvoering van de ammoniummethode is de onderzoekswijk twee keer bemonsterd. De onderzoeken leverden verschillende locaties op in de wijk met relatief verhoogde waarden. De hoogst gemeten ammoniumwaarde betrof 3,25 mg/l.
Bij onderzoek 1 'uitvoering ammoniummethode' zijn ammoniumwaarden > 47 mg/l gevonden. Mogelijk dat deze waarden niet juist zijn door het gebruik van de verkeerde cuvetten.

- *Is de gebruikte range van de cuvetten in strijd met de gevonden waarden?*

Voor de analyse van ammonium met de DR3900 (spectrofotometer) zijn LCK304 cuvetten van HachLange gebruikt. In de handleiding van deze cuvetten staat vermeldt dat de range van 0,015 tot 2 mg/l loopt. In het rapport van Twente Milieu wordt beweerd dat er waarden boven de 2 mg/l zijn gevonden. Indien waarden > 2 mg/l geanalyseerd moeten worden, dient gebruik gemaakt te worden van de LCK303. Deze cuvetten hebben een meetrange van 2 – 47 mg/l.
De DR3900 zal, als er gebruikt wordt gemaakt van de verkeerde cuvetten range, wel een voorspelling van de waarde doen, maar dit hoeft zeker niet de exacte waarde te zijn. Mogelijk dat door het gebruik van veerkeer cuvetten onjuiste waarden zijn aangetroffen.

- *Onjuiste werkwijze?*

Het rapport bevat een foto waarop het gebruikte analyseapparaat is weergegeven. In dit geval de DR3900. Op de foto is te zien dat bij de meting onstabiele lichtomstandigheden aanwezig zijn. Mogelijk is de lichtstraal van de spectrofotometer niet meer in orde. Een andere verklaring kan zijn dat de monsters niet gefilterd zijn op vaste delen van > 45µ. In dit geval zou er troebelheid in de

cuvetten ontstaan, wat onstabiele lichtomstandigheden kan geven. In het rapport van het consortium wordt hier niets over vermeld.

Voor de betrouwbaarheid van de ammoniummethode is het belangrijk om de juiste cuvetten range te selecteren. Daarnaast zullen de monsters op juiste wijze verzameld en behandeld moeten worden voor een goede analyse op ammonium.

- *Bekende foutaansluitingen Riosonic*

Eerder onderzoek met Riosonic, welke uitgevoerd is door Moons B.V., heeft drie huishoudens aangewezen waarbij een of meerdere toiletten verkeerd zijn aangesloten. Met dit ammoniumonderzoek is echter maar één huishouden aangetroffen waarbij het toilet foutief is aangesloten. Bij nader onderzoek is gebleken dat er bij het Riosonic onderzoek verkeerde conclusies zijn getrokken, waardoor bepaalde huishoudens onterecht als foutaansluiting zijn aangemerkt.
Dit is een sterke aanwijzing dat de ammoniummethode goed toepasbaar en betrouwbaar is.

9.3. Conclusie betrouwbaarheid

Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat de ammoniummethode betrouwbaar is. In tegenstelling tot het onderzoek van het consortium zijn bij dit onderzoek wel verhoogde ammoniumconcentraties gemeten die duidelijk te herleiden zijn naar een foutaansluiting.
Ammonium blijkt bij verhoogde waarden een stabiele parameter in de tijd te zijn in het stelsel. Deze neemt alleen af onder invloed van neerslag. De betrouwbaarheid van de ammoniummethode wordt groter wanneer wordt gemeten na een aantal dagen droog weer.
Een verhoogde ammoniumconcentratie als gevolg van een foutaansluiting lijkt zich gelijkmatig door de streng te verspreiden. Hierdoor is het resultaat minder afhankelijk van de tijd en locatie van monsterneming.

10. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk wordt het antwoord op de onderzoeksvraag gegeven met onderbouwing vanuit de deelvragen. Ook worden er aanbevelingen gedaan voor het toepassen van de ammoniummethode in de praktijk en voor eventueel vervolgonderzoek. Deze conclusies zijn gebaseerd op het praktijkonderzoek naar foutaansluitingen met de ammoniummethode in de wijk Rijnsweerd-Zuid. De aanleiding voor dit onderzoek staat vermeld in § 1.1.

10.1. Conclusies

De conclusies zijn gebaseerd op de resultaten het uitgevoerde onderzoek zoals gepresenteerd in dit rapport.

10.1.1. Conclusie hoofdvraag

"Hoe kan de ammoniummethode ingezet worden als QuickScan om foutaansluitingen op het HWA-stelsel op te sporen?"

De ammoniummethode kan ingezet worden als QuickScan bij het opsporen van foutaansluitingen. De gevonden ammoniumconcentraties zijn te herleiden naar een foutaansluiting. In dit onderzoek is aangetoond dat de ammoniummethode betrouwbaar is.
In een vertakt deel van het stelsel is een verhoogde ammoniumconcentratie als gevolg van een foutaansluiting tot op circa 240 meter detecteerbaar. Deze verspreiding biedt de mogelijkheid om zonder alle putten te bemonsteren toch alle foutaansluitingen op te sporen. Daarnaast is de verspreiding niet te groot, waardoor bepaalde delen van de wijk uitgesloten kunnen worden van nader onderzoek naar foutaansluitingen. Hoe de ammoniummethode toegepast kan worden is uitgewerkt in het protocol zoals weergegeven in bijlage D.

10.1.2. Conclusies deelvragen

De twee algemene deelvragen '*Hoe werkt de ammoniummethode?*' en '*Hoe moet de methode uitgevoerd worden in dit onderzoeksgebied?*' worden behandeld in respectievelijk hoofdstuk 3 en in het Meetplan Rijnsweerd-Zuid. De overige deelvragen zijn hieronder behandeld.

- *Hoe verhouden de meetresultaten van de ammoniummethode zich ten opzichte van de bekende foutaansluitingen in het onderzoeksgebied?*

De resultaten van de ammoniummethode zijn te herleiden naar één foutaansluiting aan de Horatiuslaan nummer 8. In het gebied bevinden zich volgens eerder uitgevoerd Riosonic onderzoek drie foutaansluitingen die met de ammoniummethode detecteerbaar zouden moeten zijn. Uit nader onderzoek tijdens de herstelwerkzaamheden is gebleken dat twee vermeende foutaansluitingen niet fout aangesloten waren. Met de ammoniummethode zijn alle te detecteren foutaansluitingen opgespoord.

- *Hoe verhouden de meetresultaten van de overige gemeten parameters[*] zich ten opzichte van de bekende foutaansluitingen in het onderzoeksgebied?*

In put 475 is een verhoogde EGV en pH aangetroffen. Deze verhoogde waarden lijken afkomstig van de foutaansluiting van Horatiuslaan nummer 8. Dit is de enige put waar de parameters wijzen naar een foutaansluiting. De foutaansluiting aan Cicerolaan nummer 4 geeft geen afwijkende waarden van deze parameters.

- *Is er een verband tussen de gemeten ammoniumconcentraties en de overige gemeten parameters[*]?*

Doordat de temperatuur in het stelsel te veel fluctueert in de tijd, in combinatie met de manier van meten tijdens dit onderzoek, is de parameter niet geschikt om te gebruiken voor toetsing op een verband met de ammoniumconcentratie.

In dit onderzoek is geen verband gevonden tussen de EGV en de ammoniumconcentraties. Terwijl dit verband wel is aangetoond met zuivere ammoniummonsters (bijlage L). Hieruit is geconcludeerd dat

[*] *Overig gemeten parameters zijn EGV, pH en temperatuur. Zie Meetplan voor verdere informatie.*

de EGV in het stelsel door meerdere factoren wordt beïnvloed waardoor er geen verband gevonden wordt tussen de EGV en gevonden ammoniumconcentraties.

Op basis van dit onderzoek kan niet geconcludeerd worden of er een verband bestaat tussen de pH en de ammoniumconcentraties. Toetsingen op een verband spreken elkaar tegen, bij sommige meetronden is er wel een verband bij andere meetronden niet. Nader onderzoek moet uitwijzen of er een verband bestaat tussen de ammoniumconcentraties en de pH.

- *Tot hoever vanaf een lozingspunt is een verhoogde ammoniumconcentratie te meten; wat zijn de detectiegrenzen?*

Ammonium dat in het stelsel terechtkomt ten gevolge van een foutaansluiting verspreidt zich door de streng. Bij dit onderzoek is, op basis van de ammoniumconcentratie, een foutaansluiting tot op 240 meter detecteerbaar. Deze constatering is gedaan bij een foutaansluiting die is aangesloten op het begin van een streng in een vertakt deel van het stelsel.
Met dit onderzoek is aangetoond dat verhoogde ammoniumconcentraties stabiel zijn in de tijd. De factor die de ammoniumconcentratie relatief snel kan beïnvloeden is neerslag. Na veel neerslag nemen de verhoogde ammoniumconcentraties meetbaar af (§ 7.3.2).

De verspreiding van de verhoogde ammoniumconcentraties door de streng heeft voor de toepassing als QuickScan twee kanten. Doordat ammonium zich door de streng verspreidt en verhoogde waarden op meerdere locaties detecteerbaar zijn, is het mogelijk om zonder alle putten te bemonsteren toch alle foutaansluitingen op te sporen. Daarnaast dient een QuickScan om het onderzoeksgebied te verkleinen. Door de verspreiding van de verhoogde ammoniumconcentraties over grote afstand (tot 240 m) wordt het lastig om het zoekgebied kleiner te maken. In dit onderzoek blijkt echter dat ter plaatse van de foutaansluiting de hoge ammoniumconcentraties een duidelijke piek vertonen. Dit geeft de mogelijkheid het onderzoeksgebied te verkleinen.

- *Wat is de verspreiding van ammonium in een geheel gevulde rioolbuis in horizontale en verticale richting?*

Deze vraag is beantwoord door een proef uit te voeren in de proefopstelling te Breda. Hierbij zijn toiletlozingen met een aangemaakte ammoniumconcentratie gesimuleerd. Deze lozingen zijn uitgevoerd op een rond 600 mm rioolbuis. Op meerdere locaties in de buis zijn monsters verzameld om een beeld te krijgen van de verspreiding van de ammoniumconcentratie (zie ook Meetplan Breda bijlage C).
Na de eerste lozing is tot op een afstand van circa 2 meter een verhoogde waarde te meten. Na drie uur en zes lozingen is een verhoogde ammoniumconcentratie meetbaar tot op circa 12 meter vanaf het lozingspunt. De ammoniumconcentratie verspreidt zich als een steeds groter wordende ‘wolk’ door het stelsel. De ammoniumconcentratie verspreidt in verticaal opzicht meer in het midden en bovenin de buis dan onderin. Mogelijk komt dit door temperatuurverschillen in het water, het lozingswater is warmer dan het water in de buis, waardoor het een lagere dichtheid heeft. Daardoor blijft het lozingswater met ammoniumconcentraties meer bovenin de buis hangen.
Of de gevonden verspreiding van ammonium representatief is voor de situatie in Rijnsweerd-Zuid is op basis van één proef niet te concluderen. Daarbij komt dat de proefopstelling een enkele buis betreft, in de praktijk is er vaak sprake van een vermaasd stelsel.
De mogelijkheid om ‘mis te prikken’ tussen twee wolken ammoniumconcentraties, is zowel in Breda als in Rijnsweerd-Zuid niet waargenomen.

- *Wat is de toepasbaarheid van de ammoniummethode, rekening houdend met de specifieke kenmerken van het onderzoeksgebied?*

Deze vraag is beantwoord door het schrijven van een protocol. Dit protocol bevat een advies hoe de ammoniummethode in de toekomst in Rijnsweerd-Zuid het beste uitgevoerd kan worden. Het protocol is opgenomen in bijlage D.

- *In hoeverre is de ammoniummethode betrouwbaar?*

Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat de ammoniummethode betrouwbaar is. In tegenstelling tot het onderzoek van het consortium[1] zijn bij dit onderzoek wel verhoogde ammoniumconcentraties gemeten die duidelijk te herleiden zijn naar een foutaansluiting.
Ammonium blijkt bij verhoogde waarden een stabiele parameter in de tijd in het stelsel. Deze concentratie neemt alleen af onder invloed van neerslag. De betrouwbaarheid van de ammoniummethode wordt groter wanneer na een aantal dagen droog weer wordt gemeten.
Een verhoogde ammoniumconcentratie als gevolg van een foutaansluiting lijkt zich gelijkmatig door de streng te verspreiden. Hierdoor is het resultaat minder afhankelijk van de tijd en de locatie van monsterneming.

10.2. Aanbevelingen

Dit onderzoek heeft aangetoond dat de ammoniummethode geschikt is om toe te passen als QuickScan in de wijk Rijnsweerd-Zuid. Om de methode beter toepasbaar te maken en breder in te kunnen zetten in de toekomst, volgen een aantal aanbevelingen.

10.2.1. Vervolgonderzoek ten behoeve van de ammoniummethode

- *Opslag ongefilterde monsters*

Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van twee meetapparaten waarmee de ammoniumconcentratie van een watermonster geanalyseerd kan worden. Dit zijn de DR3900 VIS Spectrofotometer en de HQ40D ISE (voor meer specificaties zie bijlage N van de appendices en bijlage II van het Meetplan). Voor de DR3900 is het noodzakelijk om monsters te filteren op grove delen (> 45µ) omdat deze delen het licht tegen kunnen houden. De monsters die zijn gebruikt in onderzoek 2 'opslag monsterpotje' zijn gefilterde monsters. Wanneer monsters met de HQ40D worden geanalyseerd zijn ongefilterde monsters nodig. Wat het effect is op de ammoniumconcentratie indien een ongefilterd monster wordt opgeslagen is niet bekend. Het is belangrijk om te weten wat er met de ammoniumconcentratie in het monster gebeurt als de monsters een paar dagen staan voordat ze geanalyseerd worden. Als de ammoniumconcentratie gelijk blijft, biedt dit de mogelijkheid om op één dag alle monsters te verzamelen en deze in de dagen erna te analyseren.

- *Verspreiding ammonium in een vermaasd deel van een HWA-stelsel*

Bij dit onderzoek is er enkel een foutaansluiting gevonden in het begin van een streng in een vertakt deel van het stelsel. In dit gedeelte wordt geen stroming verwacht, behalve ten gevolge van neerslag, stroming door lozingen van foutaansluitingen of wateronttrekking bij lager gelegen delen in het stelsel. Of de ammoniummethode werkt indien een foutaansluiting midden op een streng of in een vermaasd gedeelte van een stelsel zit, is met dit onderzoek niet aangetoond. Daarom is het noodzakelijk om vervolgonderzoek te doen hoe ammonium zich verspreidt indien wordt geloosd zoals in één van deze situaties.

- *Invloed van mineralisatie; verhoging van de ammoniumconcentratie?*

Er bestaat een vermoeden dat mineralisatie een verhogende invloed heeft op de hoeveelheid ammonium die voorkomt in een stelsel (K. Zwart, Alterra, 2013). Tijdens dit onderzoek is geen antwoord gevonden op de toename van de hoeveelheid ammonium als gevolg van mineralisatie. De invloed ervan is onbekend en daarom is het interessant om hier nader onderzoek naar te doen.

- *Ammoniummethode uitvoeren in andere condities*

Bij dit onderzoek is de ammoniummethode toegepast in een wijk met specifieke kenmerken. Deze kenmerken kunnen verschillen per onderzoeksgebied, waardoor de werking van de ammoniummethode anders kan worden. Om de ammoniummethode breed in te kunnen zetten zal onderzocht moeten worden hoe deze methode toepasbaar is in andere condities. Een aantal voorbeelden:

- Een wijk met half gevulde stelsels.
- Een wijk waar de huisaansluitingen op de rioolbuizen uitkomen.
- Een wijk waar stroming in het HWA-stelsel staat.

[1] Het consortium bestaande uit Twente Milieu, DHV en Moons B.V.

10.2.2. Breda proefopstelling

- *Verspreiding ammonium met stroming in proefopstelling*

Bij de proefopstelling waarbij de verspreiding van ammonium in een volledig gevulde buis met stroming is onderzocht zijn geen duidelijke resultaten gevonden. Omdat in veel HWA-stelsels een lichte stroming wordt verwacht is het belangrijk om te onderzoeken wat het effect is van stroming op de verspreiding van ammonium.

- *Verspreiding ammonium met zo min mogelijk temperatuurverschil*

Tijdens het onderzoek naar de verspreiding van ammonium in een volledig gevulde buis zonder stroming, is de temperatuur van de lozing steeds met 1°C toegenomen. De gevonden verspreiding van ammonium in de buis is door deze temperatuursverandering waarschijnlijk beïnvloed (warm water 'drijft' op kouder water). Om te weten hoe het ammonium zich verspreidt indien er geen temperatuursveranderingen optreden, zal deze proef opnieuw uitgevoerd moeten worden. Echter dan met lozingen van dezelfde temperatuur als het water in de buis.

10.2.3. Rijnsweerd-Zuid

- *Inpandig herstel Horatiuslaan nummer 8*

Bij de herstelwerkzaamheden aan de Horatiuslaan 8 zijn de HWA aansluiting en de DWA aansluiting omgewisseld. Hierdoor zou in theorie het hemelwater en droogweerafvoer weer op het juiste stelsel zijn aangesloten. Echter is in de herstelde hemelwaterbuis een grijze afzetting aangetroffen (zie § 5.3.1). Vermoedelijk is deze afzetting het overblijfsel van een wasmachine, schrobputje of iets dergelijks. Deze buis mondt nu uit in het hemelwaterstelsel. Het vermoeden bestaat dat er nog steeds een foutaansluiting aanwezig is. Dit vermoeden wordt bevestigd doordat bij visuele inspectie van de betreffende put (put 475) het water een lichtgrijze kleur heeft. Ook blijkt uit de gegevens van het Riosonic onderzoek dat er één toilet op het HWA is aangesloten en één toilet op het DWA. Bij het omwisselen van beide afvoeren is mogelijk een andere foutaansluiting gecreëerd. Het wordt aanbevolen om dit nader te onderzoeken en inpandig op te lossen.

- *Studentenflats Enny Vredelaan*

Bij de putten aan de Enny Vredelaan zijn tijdens meetronde 3 ammoniumconcentraties tot 2,25 mg/l gemeten. Dit is in vergelijking met de rest van de wijk vrij hoog. Ook tijdens het onderzoek met de ammoniummethode door het consortium zijn hier verhoogde waarden aangetroffen. Aanbevolen wordt om de aansluitingen op de putten in de Enny Vredelaan aan een nader onderzoek te onderwerpen. Op die manier kan bepaald worden of de verhoogde ammoniumconcentraties vals positief zijn of dat er daadwerkelijk een foutaansluiting aanwezig is.

11. DISCUSSIE

Dit hoofdstuk bevat de discussie van de hiervoor gepresenteerde resultaten en conclusies. Hierbij worden een aantal punten behandeld die veel invloed hebben op het resultaat van dit onderzoek. Er is onderscheid gemaakt tussen de discussie van de gehanteerde methodiek en de resultaten van dit onderzoek.

11.1. Methodiek

- *De hoeveelheid meetronden*

In het Meetplan is opgenomen dat in dit onderzoek vier meetronden in de wijk Rijnsweerd-Zuid uitgevoerd zouden worden voor het bepalen van de ammoniumconcentraties. Planningtechnisch is het aantal meetronden beperkt tot drie. Echter hoe meer meetronden uitgevoerd worden, des te meer data er beschikbaar is voor interpretatie en analyse, des te betrouwbaarder de resultaten en conclusies zijn. Om de uitspraken over de werking van de ammoniummethode nog beter te kunnen staven, zou het goed zijn om meer meetronden uit te voeren. Meer data zou de mogelijkheid geven om het gedrag van ammonium in water beter in kaart te brengen. Nu zijn alle uitspraken gebaseerd op drie meetronden, om harde gefundeerde uitspraken te kunnen doen is dit eigenlijk te weinig.

- *Uitvoering proeven Breda*

De proeven in Breda zijn in een zeer kort tijdsbestek uitgevoerd. Door gedeelde belangen was er niet meer tijd beschikbaar om één van de proeven te herhalen. De uitspraken die gedaan worden zijn gebaseerd op een enkele proef. Hierdoor is niet duidelijk of de gevonden resultaten toevallige waarnemingen zijn of de werkelijkheid vertegenwoordigen.

- *Bepaling achtergrondwaarde en grenswaarde*

Om de ammoniummethode als QuickScan toe te passen is het noodzakelijk om bepaalde delen van een wijk uit te sluiten van nader onderzoek. Dit is gedaan op basis van de achtergrond- en grenswaarde. Voor de bepaling van deze waarden is geen methode beschikbaar.
In dit onderzoek zijn de waarden bepaald aan de hand van de gemeten ammoniumconcentraties en op basis van statistische getallen uit literatuuronderzoek. Hierbij zijn dus aannamen gedaan met betrekking tot de mate waarin deze getallen representatief zijn voor de werkelijkheid en in hoeverre de analyse op ammoniumconcentraties juist is uitgevoerd.

- *Temperatuurmeting ongekalibreerd*

De temperatuur van de monsters is tijdens elke meetronde meegenomen. Echter ontbrak de mogelijkheid om de temperatuurmeter te kalibreren. De temperatuurmeting van de pH en EGV elektroden geven onderling al een verschil van ongeveer 0,5^{o}C. Er is aangenomen dat de gevonden waarden een indicatie geven van de temperatuurverschillen, maar dat de werkelijke temperaturen iets af kunnen wijken.

11.2. Resultaat

- *Eén bekende foutaansluiting*

Alle resultaten zijn gebaseerd op één bekende foutaansluiting. Op basis van het Riosonic onderzoek was de verwachting dat er meerdere foutaansluitingen aanwezig zouden zijn. Dit was echter niet het geval. Het is moeilijk om op basis van één foutaansluiting goede conclusies te trekken. Er is namelijk geen vergelijkingsmateriaal. Om die reden zijn alle uitspraken in de conclusies enkel van toepassing indien aan de randvoorwaarden wordt voldaan zoals beschreven in het protocol in bijlage D. Daarnaast bevindt de bekende foutaansluiting zich in een vertakt deel van het stelsel op de eerste put van een streng. Of de resultaten en conclusies van dit onderzoek hetzelfde zouden zijn indien de foutaansluiting gevestigd was in het midden van een streng of in een vermaasd deel van het stelsel met stroming kan op basis van dit onderzoek niet geconcludeerd worden. De hypothese is dat de foutaansluiting ook dan nog detecteerbaar is. Dit zal echter onderzocht moeten worden.

- *Betrouwbaarheid Riosonic*

Bij dit onderzoek is ervan uitgegaan dat met het Riosonic onderzoek door het consortium alle foutaansluitingen in de wijk zijn opgespoord. Tijdens dit onderzoek is echter gebleken dat sommige van deze vermeende foutaansluitingen niet verkeerd zijn aangesloten. Door deze constatering

kunnen de resultaten van het Riosonic onderzoek in twijfel worden getrokken. Er kan niet met zekerheid gezegd worden dat alle foutaansluitingen, met of zonder foutief aangesloten toilet, in de wijk zijn opgespoord.
Mochten er wel meer foutaansluitingen in de wijk zijn, dan kan dit consequenties hebben voor de conclusies in dit rapport.

12. LITERATUURLIJST

Boeken

- Buijs, d. A. (1993). *Statistiek om mee te werken.* Leiden: Stenfert Kroese.
- Howitt, D. (2005). *Statistiek in de sociale wetenschappen.* Amsterdam: Pearson Education Benelux bv.

Interviews

- Bijnen, M. v. (2013, 05 30). Uitvoering Riosonic onderzoek. (H. Kolkman, & A. Kramer, Interviewers)
- Geelen, F. v. (2013, 05 16). (H. Kolkman, & A. Kramer, Interviewers)
- Maessen, M. (2013, Maart 7). (H. Kolkman, & A. Kramer, Interviewers)
- Sande, T. v. (2013, 05 30). Temperatuur in proefopstelling Breda. (H. Kolkman, & A. Kramer, Interviewers)

Rapporten en artikelen

- Aarle, R., & Maandag, M. (2012). *Opsporen foutieve aansluitingen, Vergelijking DTS met ammonium cuvet.* Nijmegen.
- Boogaard. (2010). Kosteneffectief foutaansluitingen opsporen 'kwaliteit regenwater en sensortechniek'. *Vakblad Riolering*.
- DHV B.V. (2012). *Onderzoek foutaansluitingen gescheiden rioolstelsel.* Utrecht: DHV
- Europees parlement en de raad. (2000). *Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de raad tot vasstelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid.* EU.
- Greftenhuis, J. (2012). Vergelijkend onderzoek ionselectieve meters. *Neerslag*, 19-23.
- Hoes, et all. (2010). Vaststellen en opsporen van foutaansluitingen. *RIONEDreeks 15*, 8-18.
- Hoes, O., & Nelen, F. (2010). Foutieve aansluitingen op regenwaterstelsel: serieus probleem. *Vakblad Riolering*, 50,51.
- Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden. (2010). *Jaarverslag oppervlaktewater 2010, waterkwaliteit, chemie en ecologie.* Houten: Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden.
- J.Stolk. (2012). *Meetplan, foutieve foutaansluitingen opsporen met glasvezelkabels.* Breda: Gemeente Breda.
- Moens, M. (2010, 12). Sorry, verkeerd verbonden. *Vakbald Riolering*, 15-16. Opgeroepen op 2 11, 2013, van http://www.vakbladriolering.nl/archief.php
- Nijman, M. (2012). Foutaansluitingen - hoe vind je die?! *Neerslag*, 3.
- P.A.Cox. (2004). *Inorganic Chemistry second edition .* Oxford, UK: Garland Science/BIOS Scientific Publishers.
- Stichting Rioned. (2009). *Handleiding uitvoering debietmetingen op proefopstelling in Breda.* Breda: Stowa.
- STOWA. (1992). *Handboek stikstofverwijdering.* Utrecht: STOWA.
- STOWA. (2011). *Handboek slibgisting.* Amersfoort: Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.
- Voorthuizen, E. v. (2008). *Biological black water treatment combined with membrane separation.* Water Research.
- Wortmann, E. (2010). *Nieuwe sanitatie Westland.* Amersfoort: Stowa.
- Zwart, K. (2004). *Mineralisatie van Veengronden.* Wageningen: Alterra 965.

Internetbronnen

- Ecomare. (2013, april 17). *www.ecomare.nl*. Opgeroepen op 2 6, 2013, van http://www.ecomare.nl/index.php?id=3153
- D-Plus Civil consultants. (2013, april 16). *D-Plus Civil consultants*. Opgehaald van www.d-plus.nl/werkzaamheden.html
- Haan, P. D. (2013, april 16). Opgehaald van WikiStatistiek: http://os1.amc.nl/mediawiki/index.php?title=Correlatie
- HydroNET. (2013, april 11). *www.HydroNET.nl*. Opgehaald van www.hydronet.nl
- KNMI. (2013, april 16). *www.weerstatistieken.nl.* Opgehaald van Weerstatistieken 2013: www.weerstatistieken.nl/2013/maart
- Melspring. (2013, februari 19). *Info over vaktermen, woordenboek*. Opgehaald van http://www.watermelspring.com/?woord=35#woord35
- Melspring. (2013, februari 19). *Koolstofbronproducten bij nageschakelde denitrificatie.* Opgehaald van http://www.waterforum.net/images/stories/bedrijfspreentatie/melspring-international-b-v-/c_bronnen_internet.pdf
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (2011). *www.lml.rivm.nl*. Opgeroepen op 2 2013, van ministerie van volksgezondheid, welzijn en sport: http://www.lml.rivm.nl/data/gevalideerd/
- riool.net. (2013). *www.riool.net*. Opgehaald van http://www.riool.net/riool/shopping/product/show.do?instanceid=130&itemid=6134&style=default
- Riosonic. (2013, april 26). *Riosonic*. Opgehaald van www.riosonic.nl
- Sawyer, J. (2008, april 21). *Iowa State University*. Opgeroepen op 2 8, 2013, van http://www.extension.iastate.edu/CropNews/2008/0421JohnSawyer.htm
- Sawyer, J. (2008, april 21). *Iowa State University.* Opgeroepen op 2 8, 2013, van http://www.extension.iastate.edu/CropNews/2008/0421JohnSawyer.htm
- Sawyer, J., & Helmers, M. (2008, mei 21). *Iowa State University.* Opgeroepen op 2 8, 2013, van http://www.extension.iastate.edu/CropNews/2008/0521JohnSawyerMattHelmers.htm
- Serkozy. (2012, juni 21). *mens-en-gezondheid*. Opgehaald van http://mense-en-gezondheid.infonu.nl/leven: http://mense-en-gezondheid.infonu.nl/leven/52312-wat-is-de-ph-waarde.html
- Stichting RIONED. (2006, september 9). *www.riool.net*. Opgeroepen op 2 7, 2013, van http://www.riool.net/riool/binary/retrieveFile?itemid=2141
- wetenschap.info. (2008, maart 12). *wetenschap.infonu*. Opgeroepen op 18 4, 2013, van www.wetenschap.infonu.nl/onderzoek