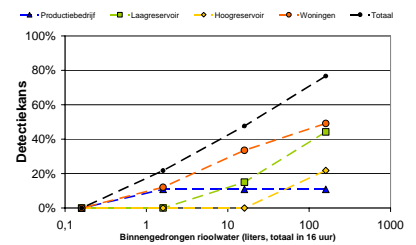
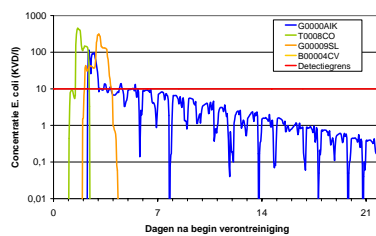
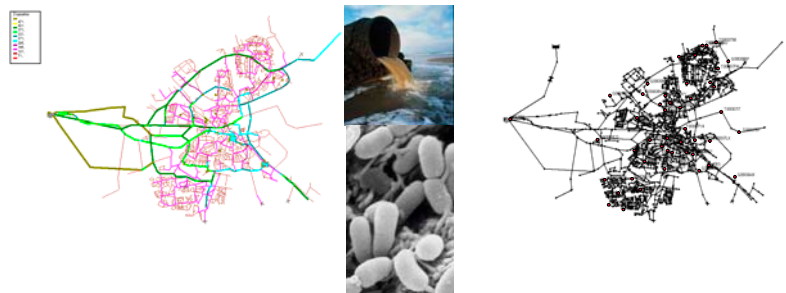


Detectiekans van fecale verontreinigingen in drinkwaterdistributiesystemen

Een oriënterende evaluatie



BTO 2004.063
November 2004

Detectiekans van fecale verontreinigingen in drinkwaterdistributiesystemen

Een oriënterende evaluatie

© 2004 Kiwa N.V.
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een
geautomatiseerd
gegevensbestand, of
openbaar gemaakt, in enige
vorm of op enige wijze,
hetzij elektronisch,
mechanisch, door
fotokopieën, opnamen, of
enig andere manier, zonder
voorafgaande schriftelijke
toestemming van de
uitgever.

Opdrachtgever
Bedrijfstakonderzoek Waterbedrijven

Projectnummer
11.1443.100

Kiwa N.V.
Water Research
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511
Fax 030 60 61 165
Internet www.kiwa.nl

Colofon

Titel

Detectiekans van fecale verontreinigingen in
drinkwaterdistributiesystemen.
Een oriënterende evaluatie.

Projectnummer

11.1443.100

Projectmanager

W.J.M.K. Senden

Kwaliteitsborger

G.J. Medema

Auteurs

J.H.M. van Lieverloo¹, G.A.M. Mesman¹,
P.K. Baggelaar¹, A. Hamed³ en G.L. Bakker²

¹ Kiwa Water Research

² Vitens Waternet

³ Vitens Overijssel

Voorwoord

In dit onderzoek is de situatie in het voorzieningsgebied van drinkwaterproductiebedrijf Wierden van Vitens Overijssel (Almelo en omstreken) geëvalueerd. Dit gebied is gekozen omdat van dit voorzieningsgebied van Vitens Overijssel een gedetailleerd leidingnetmodel beschikbaar was.

Kiwa bedankt Geo Bakker en Anas Hamed van Vitens namens de andere waterbedrijven voor het ter beschikking stellen van de basisgegevens en voor verdere ondersteuning tijdens het onderzoek.

Samenvatting

Belang

De microbiologische veiligheid van het drinkwater wordt gewaarborgd door een effectieve behandeling van de grondstof en de preventie van fecale verontreiniging van het drinkwater bij opslag, transport en distributie door:

- handhaving van een overdruk in het distributiesysteem;
- voorkómen van wanverbindingen en lekkages;
- hygiëne tijdens werkzaamheden .

In Nederland wordt het drinkwater zonder of met een zeer laag gehalte aan desinfectiemiddel gedistribueerd. Een effectieve preventie van microbiologische verontreinigingen van het distributiesysteem is daarom van groot belang. Het wettelijk voorgeschreven programma voor de beoordeling van de microbiologische kwaliteit van het drinkwater dient als verificatie van de effectiviteit van de preventieve maatregelen. De meetfrequentie en het aantal meetlocaties worden voorgeschreven in het Waterleidingbesluit. De effectiviteit van het wettelijke meetprogramma voor het aantonen van een fecale verontreiniging in het distributiesysteem is echter niet bekend.

Doel, werkwijze en resultaten

Het doel van dit project was het vaststellen van de kans dat een fecale verontreiniging, bijvoorbeeld met rioolwater, in het voorzieningsgebied van een drinkwaterproductiebedrijf wordt gedetecteerd met het wettelijke meetprogramma voor *Escherichia coli*. Hiertoe is een verontreiniging in het drinkwaterdistributienet gesimuleerd en is de verspreiding van deze verontreiniging bepaald met behulp van het programma ALEID. De kans op detectie van de verontreiniging met het wettelijk meetprogramma is berekend met simulaties van monsterprogramma's in Excel.

In deze evaluatie zijn, als voorbeeld, verontreinigingen gesimuleerd met 16 liter rioolwater (met daarin 1,6 miljard *E. coli*-bacteriën). De detectiekans van een dergelijke verontreiniging is vrij groot (50-60%) indien deze plaatsvindt in het uitgaande water, in een transportleiding of in een distributiereservoir. De hoge trefkans in de reservoirs (het betreft suppletiereservoirs die dagelijks maar gedeeltelijk worden verversd) is het gevolg van de hoge concentratie en de langzame verdunning van de verontreiniging. In simulaties van een dergelijke verontreiniging op 9 locaties in een distributieleiding bleek de detectiekans te variëren van 0 (op 3 locaties), $0,3 \pm 3\%$ (op 1 locatie), $5,5\% \pm 19\%$ (op 4 locaties) tot $12\% \pm 28\%$ (op 1 locatie). Dit komt gemiddeld neer op ongeveer 4%. Bij een 10x hogere concentratie van *E. coli* (equivalent met 160 liter rioolwater) bleek de detectiekans gemiddeld ca. 5,3%.

De detectiekans per locatie is afhankelijk van het stromingspatroon in het distributiesysteem en de ligging ten opzichte van de meetlocaties. De belangrijkste oorzaak van de lage detectiekans in distributieleidingen is de relatief snelle verversing, waarbij de duur van de verontreiniging een grote invloed heeft. In een suppletiereservoir, is een verontreiniging relatief lang te detecteren als gevolg van de langzame verversing van het water. De kans op

detectie van een verontreiniging op een geselecteerde locatie is bijvoorbeeld 0 als die verontreiniging geen van de meetlocaties bereikt.

Conclusies en aanbevelingen

Deze studie heeft een methode opgeleverd voor het berekenen van de kans dat een fecale verontreiniging in het distributiesysteem wordt gedetecteerd met een meetprogramma. Naar voren komt dat een substantiële fecale verontreiniging van drinkwater in distributieleidingen met het wettelijk meetprogramma voor onderzoek naar de aanwezigheid van E. coli met een kans van slechts enkele procenten wordt gedetecteerd. In suppletiereservoirs, waarin het water langzaam wordt ververst, is de kans op detectie van een verontreiniging groter. Verontreinigingen in het productiebedrijf en in transportleidingen hebben de grootste kans om gedetecteerd te worden (50-60%).

De verkregen gegevens onderstrepen het belang van een goede preventie. Het is aan te bevelen om de preventieve maatregelen kritisch te beoordelen op effectiviteit. Mede op basis van evaluaties van in de praktijk waargenomen verontreinigingen dienen prioriteiten te worden gesteld bij een eventuele optimalisatie van de maatregelen. Het gaat dan met name om de lekdichtheid van de infrastructuur, de deugdelijkheid van de terugstroombeveiligingen, de preventie van wanverbindingen, het correcte gebruik van brandkranen, het instandhouden van overdruk en hygiëne tijdens werkzaamheden.

De resultaten van dit onderzoek zetten ook de waarnemingen verkregen met het huidige meetprogramma in een ander perspectief. Het aantal monsters waarin in de bedrijfsmeetprogramma's E. coli in het net wordt aangetroffen is laag (0,1%), maar de detectiekans van een verontreiniging is ook laag. Op elke (mogelijke) fecale verontreiniging die wordt gedetecteerd, moet dus snel en adequaat gereageerd worden. Ook op de kwaliteitsklachten van de consument, met name indien sprake is van ziekteverschijnselen, dient alert te worden gereageerd.

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Voorwoord | 1 |
| | Samenvatting | 3 |
| | Inhoud | 5 |
| 1 | Inleiding | 7 |
| 1.1 | Aanleiding | 7 |
| 1.2 | Doelen van het onderzoek | 8 |
| 2 | Microbiologische risico's van fecale verontreinigingen | 9 |
| 2.1 | Ziekteverwekkende organismen van fecale oorsprong | 9 |
| 2.2 | Ziekteverwekkende organismen van niet-fecale oorsprong | 9 |
| 2.3 | Betekenis van gebruikte indicatoren voor fecale verontreiniging | 9 |
| 3 | Methoden en modelsysteem | 11 |
| 3.1 | Evaluatiestrategie | 11 |
| 3.2 | Methoden in de literatuur | 11 |
| 3.3 | Simulatie van verontreinigingen en detectie met behulp van ALEID | 12 |
| 3.4 | Modelsysteem | 12 |
| 3.4.1 | Voorzieningsgebied Almelo en omgeving | 12 |
| 3.4.2 | Productiebedrijf Wierden | 14 |
| 3.4.3 | Distributiereservoir Bornsestraat | 14 |
| 3.4.4 | Watertoren Almelo | 14 |
| 3.5 | Bepalingen van <i>E. coli</i> door Vitens in 2002 | 14 |
| 3.6 | Testsimulaties | 15 |
| 3.6.1 | Conclusies | 18 |
| 3.7 | ALEID-simulaties van verontreinigingen voor statistische evaluatie | 19 |
| 3.8 | Excel-evaluaties van de berekende <i>E. coli</i> -concentraties per detectielocatie per geselecteerde verontreinigingslocatie | 20 |
| 4 | Resultaten | 21 |
| 4.1 | <i>E. coli</i> concentraties na gesimuleerde verontreinigingen | 21 |
| 4.1.1 | Verontreiniging in drinkwaterproductiebedrijf Wierden | 21 |
| 4.1.2 | Verontreiniging in laagreservoir Bornsestraat | 23 |
| 4.1.3 | Verontreiniging in de ø 350 mm transportleiding. | 23 |
| 4.1.4 | Verontreinigingen in distributieleidingen | 24 |
| 4.2 | Detectiekansen | 29 |
| 4.2.1 | Verontreiniging van de uitgaande leiding van het productiebedrijf | 29 |
| 4.2.2 | Verontreiniging van een transportleiding | 34 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.2.3 | Verontreiniging van laagreservoir Bornestraat | 35 |
| 4.2.4 | Verontreiniging van distributieleidingen | 37 |
| 4.2.5 | Totale detectiekansen per gesimuleerde verontreiniging | 39 |
| 4.3 | Representativiteit van de berekende detectiekansen | 40 |
| 5 | Conclusies | 41 |
| 5.1 | Methode voor evaluatie van detectiekansen | 41 |
| 5.2 | Indruk van de detectiekansen van verontreinigingen | 41 |
| 6 | Discussie en aanbevelingen | 43 |
| 6.1 | Methode voor optimalisatie van meetprogramma's | 43 |
| 6.2 | Reservoirs bemonsteren | 43 |
| 6.3 | Ander perspectief resultaten meetprogramma | 43 |
| 6.4 | Traceren en corrigeren van verontreinigingen | 43 |
| 6.5 | Vaststellen gezondheidskundige betekenis van fecale verontreinigingen | 44 |
| 6.6 | Zoeken naar gevoeliger indicatoren | 44 |
| 6.7 | Preventie van verontreinigingen | 44 |
| 7 | Literatuur | 45 |
| I | Monsterlocaties en -data voor <i>E. coli</i> in Almelo en omgeving in 2002 | 47 |
| II | Verloop <i>E. coli</i>-concentraties op detectielocaties per verontreiniging | 49 |

1 Inleiding

De microbiologische veiligheid van drinkwater wordt gewaarborgd door de preventie van fecale verontreinigingen, met name door i) een goede behandeling van oppervlaktewater en mogelijk fecaal verontreinigd grondwater, ii) preventie van wanverbindingen en lekkages van bron tot tap en iii) hygiëne tijdens werkzaamheden van bron tot tap.

1.1 Aanleiding

Het wettelijk voorgeschreven programma voor beoordeling van de microbiologische kwaliteit van drinkwater dient als verificatie van de effectiviteit van deze preventie. Omdat drinkwater zonder of met een zeer laag gehalte aan desinfectiemiddelen wordt gedistribueerd, is de kans op detectie van indicatoren voor fecale verontreinigingen hoger dan in andere landen. Dit ontbreken van een restgehalte aan desinfectiemiddelen maakt de preventie van verontreinigingen in het distributienet voor de Nederlandse drinkwatersector wel van extra groot belang. Het wettelijk voorgeschreven programma voor beoordeling van de microbiologische kwaliteit van drinkwater dient als verificatie van de effectiviteit van deze preventie. De meetfrequentie en het aantal meetlocaties wordt voorgeschreven in het Waterleidingbesluit, maar de effectiviteit van het wettelijk meetprogramma is echter niet bekend.

Volgens een in 2003 verschenen evaluatie [10] bevat 0,1% van de drinkwatermonsters *E. coli*, de belangrijkste indicator voor fecale verontreiniging. Tevens bleek dat in Nederland jaarlijks ongeveer 4 à 5 fecale verontreinigingsincidenten door waterbedrijven worden geregistreerd. Een fecale verontreiniging werd daarbij gedefinieerd als het bij herhaling aantreffen van een indicator voor fecale verontreiniging. Ook bleek dat de historische documentatie van dergelijke incidenten nog niet optimaal is.

De periodieke beoordeling van de microbiologische kwaliteit van het uitgaande drinkwater van drinkwaterproductiebedrijven en het gedistribueerde drinkwater heeft een aantal beperkingen:

1. Gedistribueerd water wordt bemonsterd in woningen en andere (openbare) gebouwen. Eventueel verontreinigd water is dus al geconsumeerd op het moment dat het monster genomen is.
2. Met de routinematig gebruikte monster-, transport- en analysetechnieken duurt het tenminste een dag voordat een eventuele fecale verontreiniging van het drinkwater wordt opgemerkt.
3. Het is niet uitgesloten dat ziekteverwekkende organismen in te hoge concentraties in drinkwater aanwezig zijn terwijl in de routinematig onderzochte drinkwatervolumes geen indicatoren voor fecale verontreiniging worden aangetroffen.
4. De frequentie van monsterneming en het aantal monsterlocaties zijn onvoldoende om alle verontreinigingen te detecteren. Dit hangt nauw samen met de eerste drie oorzaken. Het is echter niet duidelijk hoe groot die detectiekans is.

Een goede evaluatie van oorzaken en correcties van verontreinigingsincidenten kan wel gebruikt worden voor optimalisatie en prioritering van preventieve maatregelen.

Omdat onbekend is welk deel van de werkelijk optredende verontreinigingen wordt gedetecteerd, is er geen kwantitatieve verificatie mogelijk van de effectiviteit van de preventie van verontreinigingen. Daarom is ter oriëntatie op een kwantitatieve evaluatie van de periodieke beoordeling van drinkwater op fecale verontreinigingen het wettelijke meetprogramma voor *E. coli* in het voorzieningsgebied van een van de drinkwaterproductiebedrijven geëvalueerd.

1.2 Doelen van het onderzoek

Het oriënterende onderzoek had de volgende doelen:

- Het ontwikkelen en testen van methoden en hulpmiddelen om de detectiekans van (fecale) verontreinigingen te berekenen.
- Een indruk te krijgen van de detectiekansen in een min of meer willekeurig gekozen drinkwaterproductiebedrijf en haar voorzieningsgebied.

2 Microbiologische risico's van fecale verontreinigingen

2.1 Ziekteverwekkende organismen van fecale oorsprong

Er is een groot aantal ziekteverwekkende organismen dat via drinkwater kan worden overgedragen. Van oudsher wordt hierbij met name gelet op de organismen in de grondstof. Oppervlaktewater en onvoldoende beschermd¹ gewonnen grondwater kunnen ziekteverwekkende organismen bevatten die afkomstig zijn van fecaal materiaal van mensen (rioolwaterzuiveringen, riooloverstorten, lekkende riolen, septic tanks), landbouwhuisdieren (agrarische gebieden en slachterijen) en van wild en huisdieren (steden en natuurgebieden).

2.2 Ziekteverwekkende organismen van niet-fecale oorsprong

Ook materiaal van niet-fecale oorsprong kan ziekteverwekkers bevatten of de vermeerdering ervan bevorderen. Het meest bekend en naast fecaal materiaal waarschijnlijk ook kwantitatief het meest van belang voor verontreiniging van drinkwater zijn (rottend) vlees van kadavers of slachtafval.

2.3 Betekenis van gebruikte indicatoren voor fecale verontreiniging

De wettelijk voorgeschreven indicatororganismen, *E. coli*, enterococci en *Clostridium perfringens* komen in grote aantallen voor in de darmen van mensen en warmbloedige dieren. *E. coli* is al sinds begin van de twintigste eeuw gebruikt als indicator voor de aanwezigheid van fecaal materiaal en de mogelijke aanwezigheid van ziekteverwekkers. Het is verreweg de meest bepaalde parameter in het distributiesysteem. De verhouding van de aantallen indicatororganismen en ziekteverwekkers in fecaal materiaal en in water is echter zeer variabel en *E. coli* is alleen indicatief voor relatief recente fecale verontreinigingen. Dit heeft de volgende oorzaken:

- Indicatororganismen komen vrijwel altijd voor in de darmen en in de uitwerpselen, de aantallen ziekteverwekkers zijn echter erg afhankelijk van de mate waarin de mens of het dier ziek zijn.
- Indicatororganismen en ziekteverwekkers overleven niet even lang buiten het lichaam en de overleving is per organisme sterk afhankelijk van de omstandigheden. In Nederland overleeft *E. coli* langer dan in andere landen door het ontbreken van een restgehalte aan desinfectiemiddelen. De gevoeligheid van indicatororganismen en ziekteverwekkers voor desinfectie- en verwijderingsprocessen kan sterk verschillen en tijdens bodempassage wordt *E. coli* mogelijk beter tegengehouden dan virussen, hetgeen een rol speelt bij bijvoorbeeld lekkende riolen.

¹ Diep gewonnen grondwater en met name grondwater onder afdichtende lagen in de bodem is meestal goed beschermd tegen verontreinigingen vanaf het maaiveld

3 Methoden en modelsysteem

De kans op detectie van een (fecale) verontreiniging wordt bepaald door de periode waarin de concentratie van de verontreiniging hoger is dan de detectiegrens en de kans dat er in deze periode een monster genomen wordt. Deze kans wordt hoger naarmate:

- De interval tussen de monsternemingen kleiner is (hoge frequentie).
- Het aantal monsterlocaties hoger is (hoge dichtheid).
- De detectiegrens van de bepaling lager is (groot volume in het geval van de microbiologische analyse).

Deze uitgangspunten zijn gebruikt bij de opzet van het onderzoek.

3.1 Evaluatiestrategie

Na een literatuurrecherche (paragraaf 3.2) is gekozen voor een evaluatie van de kans op detectie van een verontreiniging door simulaties met ALEID van een verspreiding van een verontreiniging (paragraaf 3.3) in een gedetailleerd leidingnetmodel van Almelo (paragraaf 3.4). Als model voor het detectiesysteem is het werkelijke meetprogramma (data en locaties) van dit leidingnet van 2002 gebruikt (paragraaf 3.5). Tijdens enkele testsimulaties is een indruk gekregen van de hoeveelheid tijd die nodig is voor de ALEID-simulaties en de Excel-evaluatie van de resultaten (paragraaf 3.5). Omdat met name de gegevensoverdracht tussen ALEID en Excel tijdrovend handwerk bleek², is maar een verontreinigingstype gekozen en is dit type verontreiniging op maar negen locaties in het leidingnet gesimuleerd (paragraaf 3.7). Per simulatie zijn de resulterende concentratieverlopen van elk van de 47 detectielocaties in Excel als referentiekader gebruikt voor bepaling van de detectiekans van een verontreiniging. Deze detectiekans is per simulatie (geautomatiseerd) voor alle 365 dagen in 2002 bepaald, waarbij de verontreiniging steeds om 00.00 uur startte (paragraaf 3.8). De resultaten zijn weergegeven in hoofdstuk 4.

3.2 Methoden in de literatuur

Een statistische evaluatie van de detectiekans van gesimuleerde verontreinigingen in bestaande (of ontworpen) meetprogramma's met behulp van hydraulische verspreidingsmodellen is niet aangetroffen in de literatuur. In de literatuur zijn wel ervaringen beschreven van optimalisaties van programma's voor waterkwaliteitsbeoordeling in distributiesystemen, met name door aselechte locatiekeuze na stratificatie op basis van distributietechnische variabelen (materiaal, diameter, transportafstand) en waterkwaliteitsmodellen (afwezigheid van een restgehalte desinfectiemiddel) [2,4,6,7,8,9]. Ook optimalisaties met behulp van evaluaties van stromingspatronen zijn beschreven [1, 3]. Een evaluatie van de literatuur over optimalisatie van meetprogramma's is voorzien voor het vervolgonderzoek.

² Inmiddels is deze uitvoer van gegevens uit ALEID geautomatiseerd

3.3 Simulatie van verontreinigingen en detectie met behulp van ALEID

ALEID is een programma dat drukken, volumestromen en hiervan afgeleide grootheden berekent in een model van een leidingnet, op basis van de meest actuele verbruiksgegevens per distributieleiding. Binnen ALEID is een waterkwaliteitsmodule aanwezig waarmee onder andere de concentratie van een conservatieve of niet conservatieve verontreiniging in het model kan worden berekend. Van deze mogelijkheid wordt gebruik gemaakt bij de simulatie van verontreinigingen en de detectie hiervan.

Op een bepaalde locatie wordt gedurende een bepaalde tijdsduur het binnendringen van een vastgestelde hoeveelheid *E. coli* aan het leidingnet gesimuleerd. Vervolgens is op elke knoop in het leidingnetmodel te bepalen wat de concentratie van de *E. coli* is op een bepaald tijdstip. De concentratie van *E. coli* hangt af van de plaats van verontreiniging, de stromingscondities in het netwerk (afhankelijk van de voeding, het verbruik en het leidingnet) en de plaats van de beschouwde knoop. Een verontreiniging die afkomstig is van het pompstation zal overal teruggevonden worden, een lokale verontreiniging zal alleen lokaal of zelfs alleen maar op de verontreinigingsknoop worden teruggevonden. Dit laatste kan voorkomen als het verbruik op de knoop gelijk is aan de aanvoer.

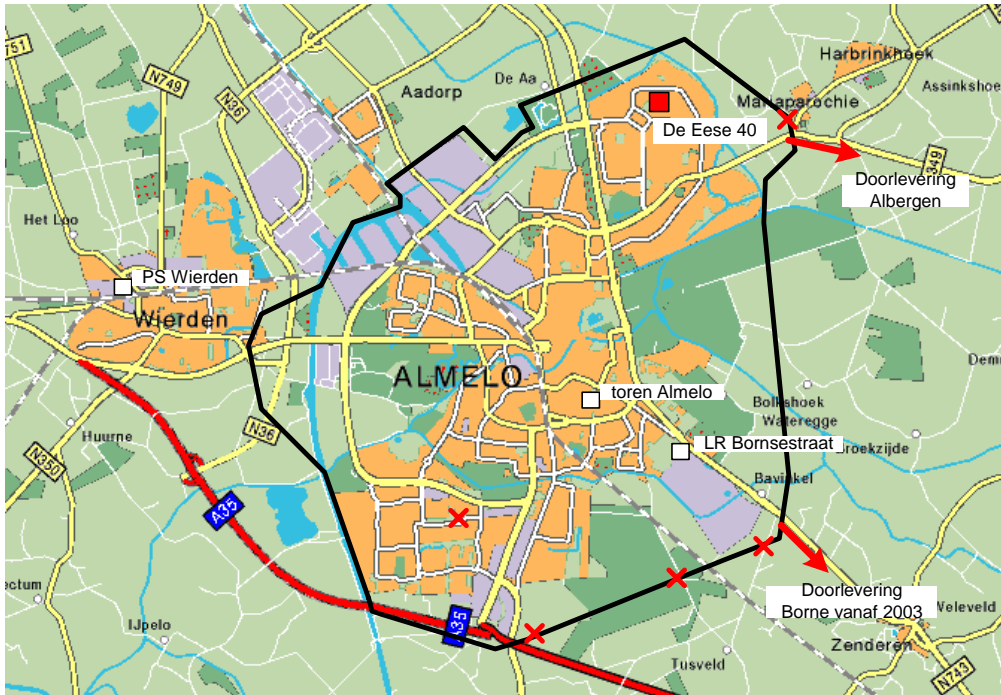
Een berekening wordt uitgevoerd over een bepaalde periode. Deze periode moet lang genoeg zijn om de verontreiniging volledig uit het leidingnet te laten verdwijnen. Indien geen afbraak optreedt, betekent dit dat de verontreiniging volledig moet worden verbruikt. De verontreiniging kan echter ook worden afgebroken worden en op deze wijze uit het netwerk verdwijnen. Uit de uitgevoerde berekeningen blijkt over welke periode *E. coli* gevolgd moet worden. Onder normale omstandigheden is een rekenperiode van 4 - 5 dagen (96 - 120 uur) voldoende. Als een verontreiniging echter een reservoir bereikt, loopt de te berekenen periode op tot enkele weken. Het maximum aantal uit te voeren berekeningen wordt beperkt door de benodigde tijd voor het opstellen van de invoer en het analyseren van het resultaat. In principe kan elke knoop (± 3300 stuks) dienen als verontreinigingslocatie. De monsterpunten (47 stuks) liggen vast zoals in Figuur 3 en bijlage I. Dit levert een mogelijke inspanning op van 3300 berekeningen waarbij de waterkwaliteit op 47 plaatsen geanalyseerd moet worden. In dit oriënterend onderzoek konden slechts verontreinigingen op 12 locaties voor alle 47 monsterlocaties worden geëvalueerd (zie paragraaf 3.7).

3.4 Modelsysteem

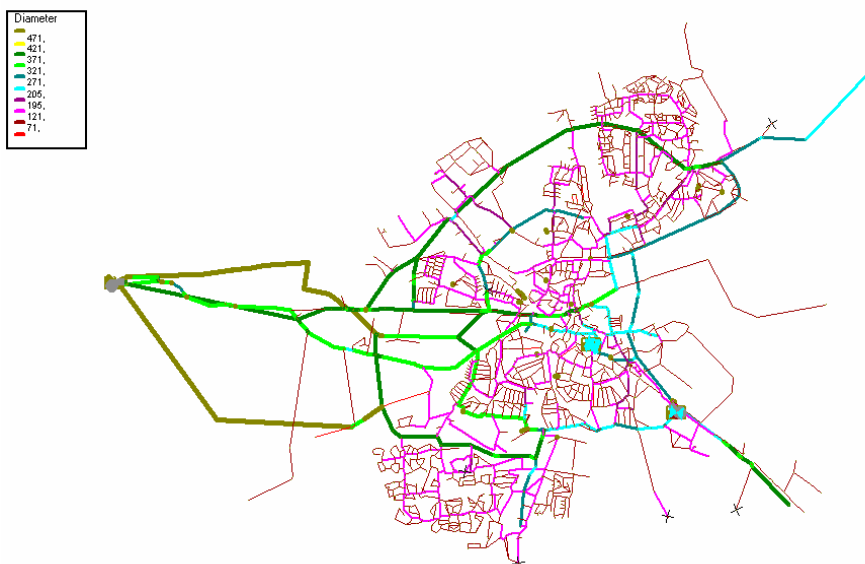
3.4.1 Voorzieningsgebied Almelo en omgeving

Almelo is willekeurig (maar niet formeel aselekt) gekozen uit de beschikbare gedetailleerd leidingnetmodellen. Het voorzieningsgebied Almelo en omgeving maakt deel uit van gebied Stedenband Twente. Gezien de beperkte hydraulische verbindingen tussen Almelo en de rest van het voorzieningsgebied is het model beperkt tot Almelo, klein deel van de kern Wierden en de beperkte doorlevering richting Albergen (opjager Mariaparochie) en Borne. Het gebied wordt voorzien vanuit één

drinkwaterproductiebedrijf (Wierden), de watertoren Almelo en het laagreservoir Bornestraat. Het voorzieningsgebied is sterk verstedelijkt, in Figuur 1 is het voorzieningsgebied aangegeven. Van het voorzieningsgebied is door Vitens Overijssel een leidingnetmodel opgesteld. In Figuur 2 is dit model opgenomen. De leidingdiameters zijn in kleur en lijndikte onderscheiden.



Figuur 1 Voorzieningsgebied Almelo en omgeving



Figuur 2 ALEID leidingnetmodel van voorzieningsgebied Almelo en omgeving

3.4.2 Productiebedrijf Wierden

Productiebedrijf Wierden leverde in 2003 ongeveer $5,5 \cdot 10^6$ m³/jaar, ingezet voor het voorzieningsgebied Almelo (gemeente Almelo en een deel van gemeente Wierden) en de doorleveringen aan Albergen en Borne.

Het voorzieningsgebied wordt voorzien volgens een Q-H karakteristiek die de leidingnetkarakteristiek volgt tot 1200 m³/h. Boven de 1200 m³/h blijft de geleverde druk vlak op 361 kPa. Met deze karakteristiek blijft de watertoren Almelo onder normale omstandigheden functioneren binnen de reservoirhoogte. Als de uitgaande volumestroom op het productiepompstation boven een bepaalde grens komt wordt het laagreservoir Bornestraat ingezet om de pieken in de uitgaande volumestroom op het productiebedrijf Wierden af te toppen. Het productiebedrijf is via een viertal transportleidingen met de kern Almelo verbonden. De piekfactor is 1,45%.

3.4.3 Distributiereservoir Bornestraat

Het reservoir Bornestraat (inhoud 2500 m³) wordt gevuld gedurende de nachturen en suppleert aan het net gedurende een aantal daguren als de uitgaande volumestroom van het productie bedrijf Wierden boven een bepaalde waarde uitgaat. In het model is dit regime vertaald naar een vul- en suppletier regime op tijdbasis (ca. 25% van het water wordt dagelijks ververst). ALEID rekent met een instantane volledige verdunning van een verontreiniging in het distributiereservoir op het moment dat deze verontreiniging binnenkomt. Waarschijnlijk is de verdunning van de concentratie in de eerste dag of dagen na de verontreiniging groter.

3.4.4 Watertoren Almelo

Het reservoir van de watertoren (inhoud 600 m³, minimum hoogte 32,2 m + NAP, maximum hoogte 40,9 m + NAP) staat in vrije verbinding met het leidingnet. Ook in dit reservoir wordt instantane volledige menging veronderstelt in de berekeningen.

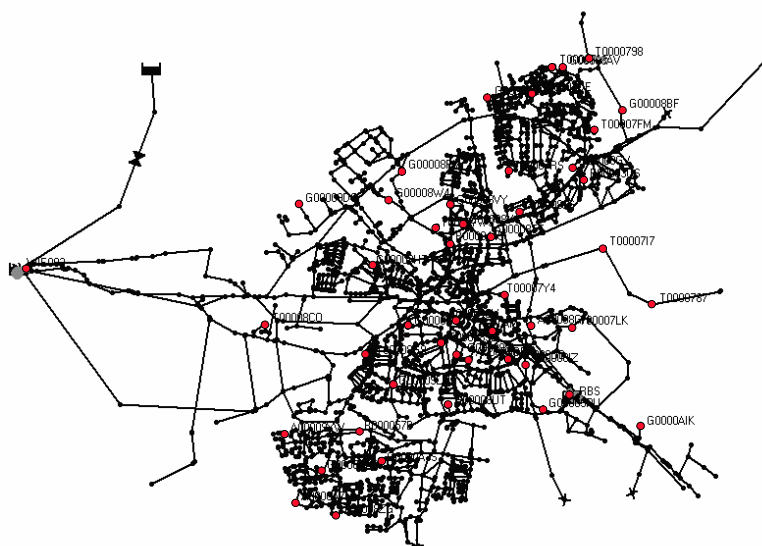
3.5 Bepalingen van *E. coli* door Vitens in 2002

Conform het Waterleidingbesluit van 2001 [11] ziet het bewakingsprogramma voor *E. coli* in drinkwater van productiebedrijf Wierden (ca. 15.100 m³ per dag) en het voorzieningsgebied Almelo er als volgt uit:

- Uitgaand water productiebedrijf:
 - Tabel Ia: minimaal 52 monsters per jaar
 - Tabel II: $4 + 16 \cdot 3 = 52$ monsters per jaar
- Tappunten in het voorzieningsgebied:
 - Tabel Ia: minimaal 26 x per jaar 8 monsters = 208 monsters
 - Tabel II: $4 + 16 \cdot 3 = 52$ monsters per jaar

In Tabel Ia van het Waterleidingbesluit zijn de minimumfrequenties opgenomen voor *E. coli* die hoger kunnen zijn dan gesteld in Tabel II. In verband met de doorlevering naar Albergen en Borne is het aantal monsters in Almelo en omgeving 198 in plaats van 208.

Voor Almelo is voor 2002 het monsterprogramma gebruikt zoals in bijlage I is opgenomen, met de bijbehorende modelknoopnamen. De modelknoopen zijn op basis van een stadskartaan de monsterlocaties gekoppeld. Omdat in het model alleen de leidingen van \varnothing 100 mm en groter opgenomen zijn komen niet alle monsterlocaties exact overeen met de modelknoopen. Monsterlocaties op leidingen die in diameter kleiner zijn dan 100 mm zijn verschoven naar de dichtstbijzijnde knoop. In Figuur 3 (en groter in bijlage I) zijn de monsterlocatie weergegeven in het ALEID model.



Figuur 3 Monsterlocaties in het ALEID model (rode stippen met nummers)

In 2002 is in geen van de 251 monsters *E. coli* aangetroffen (Tabel 1). Ook in de herhalingsmonsters die af en toe zijn genomen omdat bacteriën van de coligroep (*coli37*) werden aangetroffen, is geen *E. coli* aangetroffen.

Tabel 1 Monsterlocaties, monsterfrequentie en aantreffen van *E.coli* in 2002

| Monsterlocatie | Frequentie (aantal) | Monsters met <i>E. coli</i> * |
|--------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Productiebedrijf Wierden | 1/week (53) | 0 |
| Reservoir Bornestraat | Ca. 1/maand (10) | 0 |
| Watertoren Almelo | 1/maand (12) | 0 |
| Huismonsters (44 stuks) | 1/kwartaal (176) | 0 |

* Geanalyseerd volume = 100 ml, dus de detectiegrens is 10 KVD/l.

3.6 Testsimulaties

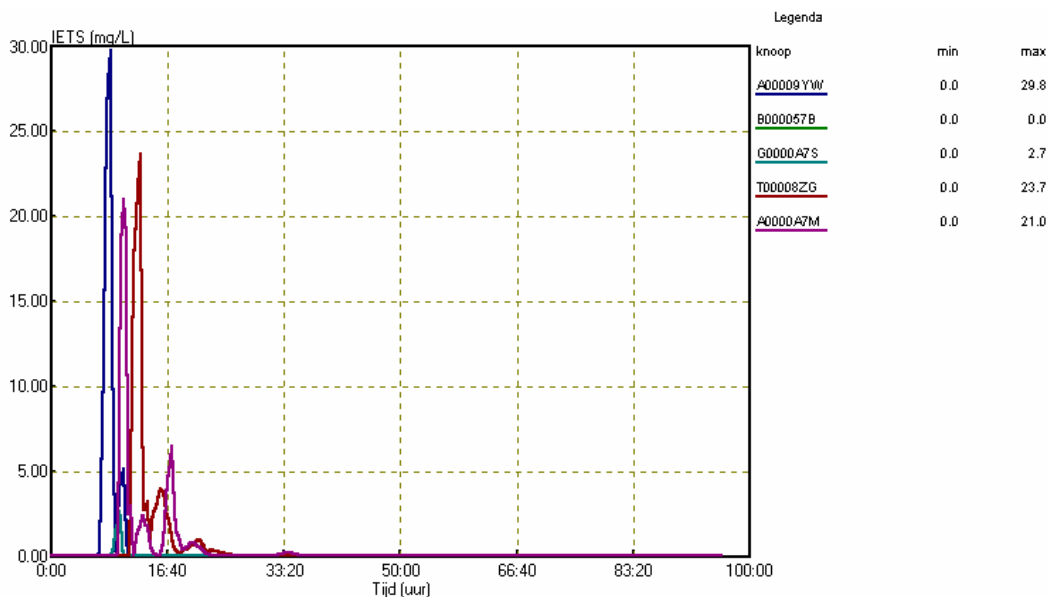
Om een indruk te krijgen van de noodzakelijke simulatie-inspanningen en de mogelijke resultaten is een aantal testsimulaties uitgevoerd. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Leidingnetmodel Almelo zoals deze door Vitens Overijssel geleverd is;
 - het productiebedrijf levert ononderbroken drinkwater;
 - het laagreservoir wordt in de late avond 's nachts gevuld;
 - het verbruik kent een normale verdeling over een gemiddelde dag met een kleine fluctuatie over drie dagen.
- Wijzigingen op het leidingnetmodel ten behoeve van het onderzoek: Verontreinigingsknopep waarmee exact de gevraagde verontreiniging met een bepaalde concentratie *E. coli* aan het leidingnet toegevoegd kan worden (een verontreinigingsknoep per simulatie).

De volgende variabelen zijn gekozen:

- Verontreinigingslocaties
 - een punt op een toevoerleiding in de Vogelwijk
 - in het reservoir Bornestraat;
- Verontreinigingsduur
 - gedurende 2 uur
 - gedurende 20 uur
- Concentratie *E. coli* in de verontreiniging
 - continue concentratie van 1000 *E. coli*/l

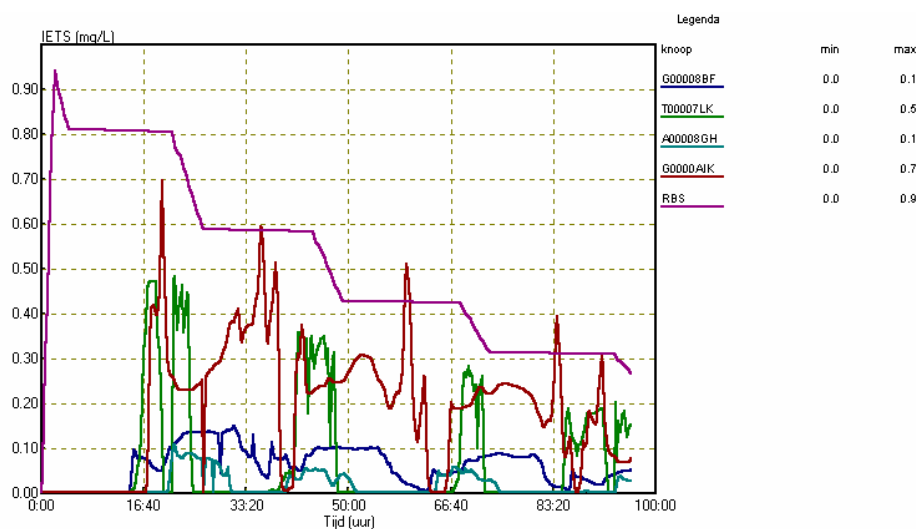
De berekeningen zijn uitgevoerd over een rekenperiode van 96 uur. De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in grafieken waarin de concentraties van *E. coli*³ over de rekenperiode is uitgezet voor een aantal relevante monsterpunten.



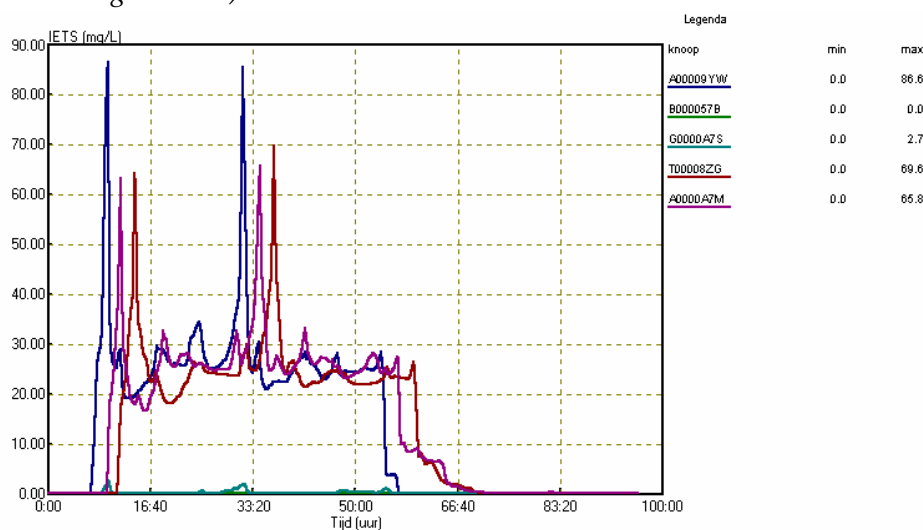
Figuur 4 Concentraties op vijf monsterpunten in de Vogelwijk (verontreiniging van 2 uur op de voedingsleiding van de Vogelwijk)

³ ALEID rapporteerde in deze grafieken met de grootte 'iets' en de eenheid mg/l in plaats van *E. coli* in KVD/l

In Figuur 4 zijn de berekende concentraties op 5 monsterpunten weergegeven na een verontreiniging van 1000 KVD/l gedurende 2 uur met een volumestroom van 1 l/hr (0,001 m³/hr) op een voedende leiding in de Vogelwijk. Na 48 uur rekentijd is *E. coli* niet meer in het leidingnet aanwezig. In Figuur 5 zijn de berekende concentraties op 5 monsterpunten weergegeven na een verontreiniging van 1000 KVD/l gedurende 2 uur met een volumestroom van 1 l/hr (0,001 m³/hr) op het laagreservoir (houdt rekening met de verschillende Y-as-schalen (bereik 30 resp. 1 KVD/l) in Figuur 4 en Figuur 5). De concentratie bereikt zijn piek aan het eind van de verontreinigingsperiode in het reservoir (2500 m³ inhoud). Na 96 uur rekentijd is *E. coli* nog op alle monsterlocaties aanwezig. De trapsgewijze afname (ca. 25% per dag) wordt veroorzaakt door de bedrijfsvoering van het reservoir. Gedurende de nacht wordt het reservoir gevuld en neemt de concentratie af, overdag blijft de concentratie constant.



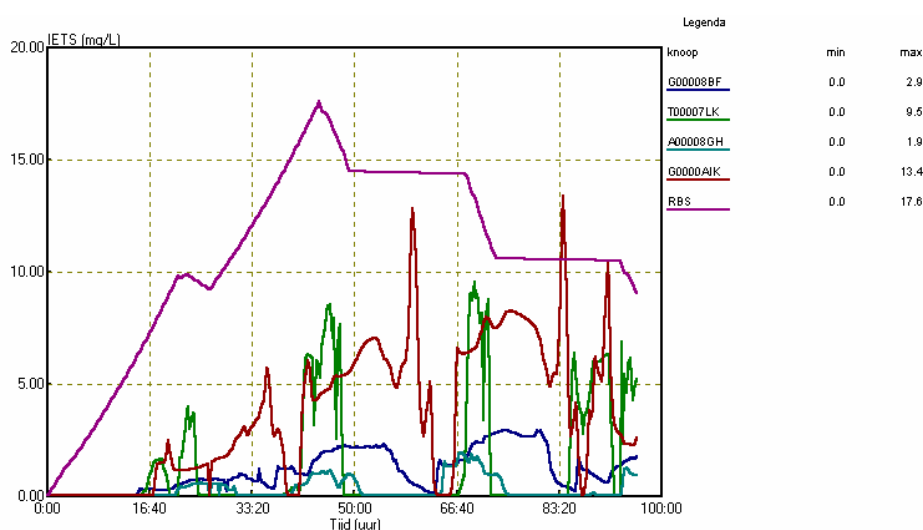
Figuur 5 Concentraties op vijf monsterpunten (verontreiniging 2 uur in het laagreservoir)



Figuur 6 Concentratieverloop op vijf monsterpunten (verontreiniging 20 uur op de voedingsleiding van de Vogelwijk)

In figuur 6 zijn de concentraties op 5 monsterpunten weergegeven na een verontreiniging van 1000 KVD/1 gedurende 20 uur met een volumestroom van 1 l/hr (0,001 m³/hr) op een voedingsleiding van de Vogelwijk. De scherpe pieken in de concentraties ontstaan in de nachturen als de verdunning van *E. coli* lager is vanwege de beperkte volumestroom in de leidingen. Na een rekenperiode van ongeveer 65 uur zijn nog slechts lage concentraties *E. coli* op de monsterpunten aantoonbaar, minder dan 1 KVD/1.

In figuur 7 zijn de berekende concentraties op 5 monsterpunten weergegeven na een verontreiniging van 1000 KVD/1 gedurende 2 dagen met een volumestroom van 1 l/hr (0,001 m³/hr) op het laagreservoir. De concentratie bereikt zijn piek aan het eind van de verontreinigingsperiode in het reservoir (2500 m³ inhoud). Na 96 uur rekentijd *E. coli* nog ruimschoots op alle monsterlocaties aanwezig.



Figuur 7 Concentratieverloop op vijf monsterpunten bij verontreiniging in het reservoir

3.6.1 Conclusies

Locatie van de verontreiniging

Het is duidelijk (en logisch) dat de periode gedurende welke een detectie van *E. coli* mogelijk met name afhangt van de plaats waar de verontreiniging optreedt. De rol van de beperkte dagelijkse verversing van het laagreservoir is groot, omdat een verontreiniging daar lang detecteerbaar blijft en (omdat het een suppletiereservoir betreft) vanuit dit reservoir ook monsterlocaties in het leidingnet gedurende lange tijd detecteerbaar verontreinigd blijven. Dit heeft consequenties voor de berekeningsduur.

Duur van de verontreiniging

De duur van de verontreiniging heeft minder invloed, afgezien van de totale hoeveelheid *E. coli* die binnendringt (en daarmee bepalend is voor de detectiegrens, met name indien de verontreiniging het reservoir bereikt).

Indien kortdurende verontreinigingen worden geëvalueerd, is het van belang om de verontreinigings- en meetintervallen klein te maken omdat anders belangrijke pieken niet meer gedetecteerd worden.

Concentratie

De concentratie van de verontreiniging bepaalt in belangrijke mate de detectiekans door de duur van de periode waarin de concentraties in het leidingnet boven de 10 KVD/l liggen (de detectiegrens in de praktijk). Omdat er in het model een lineair verband is tussen de verontreinigingsconcentratie en de detectieconcentratie, kan daarom het best een hoge verontreinigingsconcentratie worden gekozen, waarbij lagere concentraties tijdens de statistische evaluatie kunnen worden gesimuleerd door hogere detectiegrenzen te kiezen.

3.7 ALEID-simulaties van verontreinigingen voor statistische evaluatie

Voor de simulaties is gebruik gemaakt van een verontreiniging met continu 100.000.000 KVD *E. coli* per liter, equivalent met rioolwater⁴, die gedurende 16 uur in het leidingnet binnengedrongen is met een volumestroom van 1 l/hr (0,001 m³/hr), gestart om 00.00 uur (12.00 uur 's nachts). Er is gekozen voor het beëindigen van de berekeningen in het model na 22 dagen (in een aantal gevallen bleken de verontreinigingen na deze periode nog niet uit het modelleidingnet te zijn verdwenen). De berekeningen zijn op intervallen van 1 uur uitgevoerd, zodat per verontreiniging de concentratieverlopen van 528 uurmetingen op 47 monsterlocaties (productiebedrijf, reservoirs en 44 woningen) berekend zijn.

De verontreinigingen zijn op de volgende plaatsen gesimuleerd:

1. Productiebedrijf Wierden, in de uitgaande leiding
2. Laagreservoir Bornestraat, direct in het reservoir.
3. Hoogreservoir Almelo, direct in het reservoir.
4. Op 9 distributieleidingen, op de knopen met de code
 - a. T00007PL
 - b. T00008TH
 - c. T00007BD
 - d. T00007UM
 - e. T00007NP
 - f. T000082D
 - g. T00008OY
 - h. T00008ZY
 - i. T00008Y1

⁴ Deze concentratie van 1.10⁸ KVD/l *E. coli* is gekozen omdat dit overeenkomt met de gemiddelde concentratie in het onbehandelde verzamelde rioolwater van twee grote rioolwaterzuiveringsinstallaties in Amsterdam en Rotterdam in 13 vierwekelijkse metingen in 1997-1998 [5].

3.8 Excel-evaluaties van de berekende *E. coli*-concentraties per detectielocatie per geselecteerde verontreinigingslocatie

Per verontreinigingssimulatie zijn de resulterende concentratieverlopen van elk van de 47 detectielocaties in Excel als referentiekader gebruikt voor bepaling van de detectiekans van een verontreiniging.

Per verontreinigingsdatum

Van elke datum in 2002 kan per monsterlocatie worden uitgerekend hoeveel dagen het nog duurde voordat een monster genomen werd. Voor elke monsterlocatie kan dan de bijbehorende concentratie van *E. coli* in de berekende concentratieverlopen worden opgezocht. Vervolgens kan per dag of dagdeel worden bepaald hoe vaak de concentratie van *E. coli* op of boven de detectiegrens van 10 KVD/1 kwam, hetgeen de detectiekans per monsterlocatie voor de gekozen verontreinigingsdag oplevert. De combinatie van monsterlocatie en monsterdag met de hoogste detectiekans bepaalt de maximale detectiekans voor de desbetreffende verontreinigingsdag.

Voor alle 365 verontreinigingsdata in 2002

Omdat vooraf niet per verontreinigingsdag kan worden vastgesteld welke monsterlocatie de hoogste detectiekans oplevert, moeten deze berekeningen voor elke dag en alle monsterlocaties in 2002 worden uitgevoerd. De verontreiniging start om 00.00 uur om het aantal berekeningen te beperken.

Voor meerdere verontreinigingsconcentraties

De gecombineerde detectiekansen met alle monsterlocaties zijn ook voor andere hoeveelheden rioolwater (met 1.10^8 KVD/1 *E. coli*) gesimuleerd door de detectiegrenzen in de berekeningen aan te passen:

1. Detectiegrens van 1 KVD/1 ~160 liter rioolwater
2. Detectiegrens van 10 KVD/1 ~16 liter rioolwater
3. Detectiegrens van 100 KVD/1 ~1,6 liter rioolwater
4. Detectiegrens van 1000 KVD/1 ~0,16 liter rioolwater

De detectiekansen voor een individuele monsterlocatie zijn eenvoudiger te berekenen: de totale periode dat de concentratie op of boven de detectiegrens ligt gedeeld door de gemiddelde monsterneminginterval.

Detectiekansen per dagdeel

Om vast te stellen of het gebruikelijke moment van monsterneming (overdag) tot een systematisch lagere detectiekans leidt, zijn de detectiekansen niet alleen voor de hele dag (24 uurberekeningen), maar ook voor drie dagdelen berekend: op uren 00.00 t/m 07.00, 08.00 t/m 15.00 en 16.00 t/m 23.00.

4 Resultaten

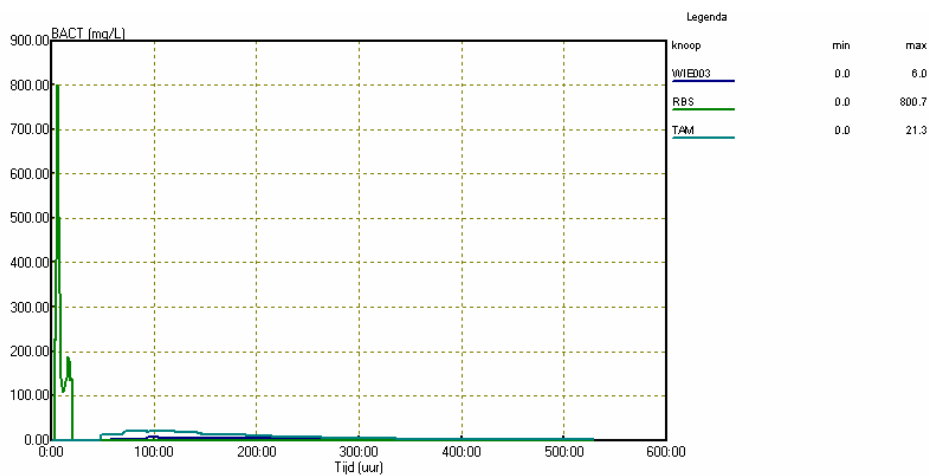
4.1 *E. coli* concentraties na gesimuleerde verontreinigingen

4.1.1 Verontreiniging in drinkwaterproductiebedrijf Wierden



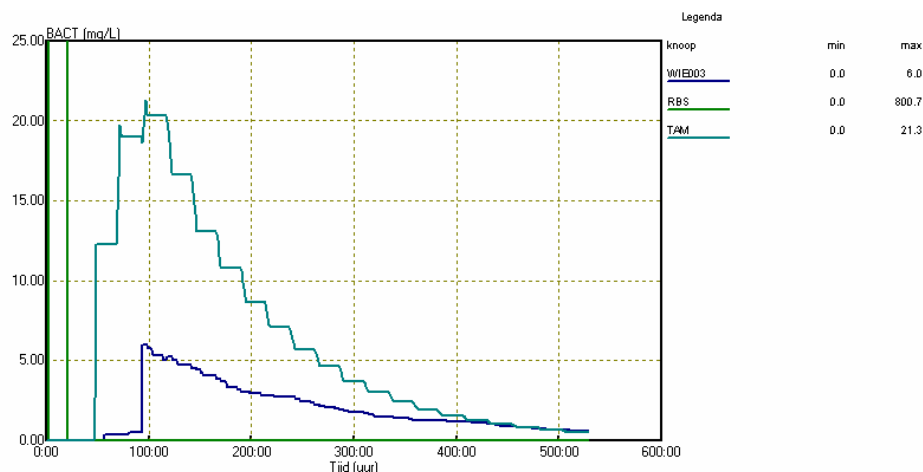
Figuur 8 Verontreinigde modelknopen (zwart) na verontreiniging van het uitgaande water van het productiebedrijf (monsterlocaties: fig. 3)

De verontreiniging wordt gesimuleerd direct na de reinwaterpompen. Het volledige net wordt verontreinigd (Figuur 8) en op alle monsterpunten is de verontreiniging terecht gekomen. Van de gekenmerkte knopen in bovenstaande figuur is de berekende concentratie in figuren weergegeven.



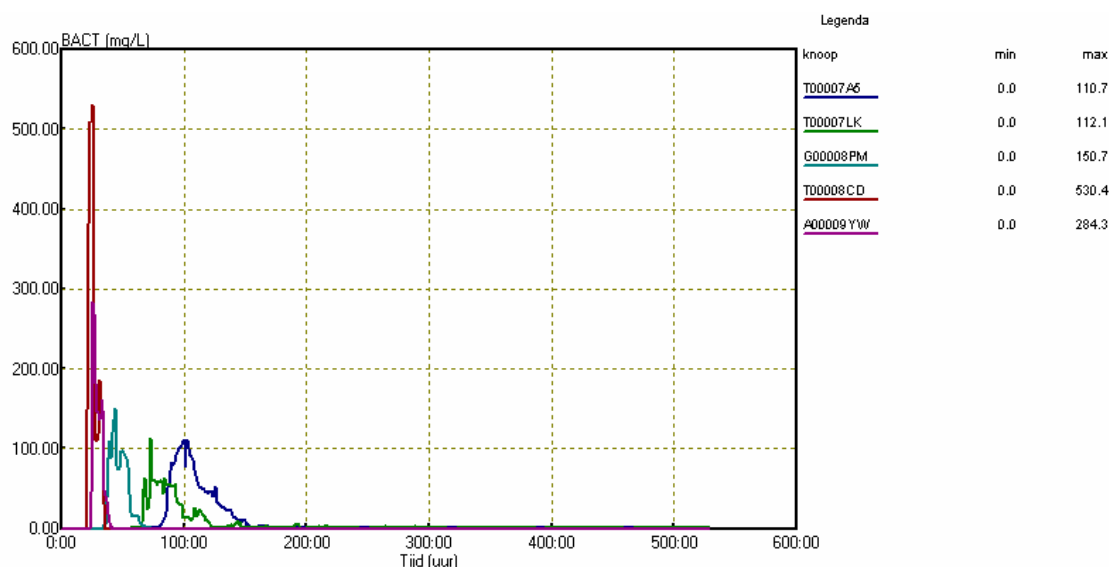
Figuur 9 Berekende concentraties in verontreinigingslocatie (uitgaand water productiebedrijf), hoogreservoir en laagreservoir

In Figuur 9 is te zien hoe op het verontreinigingspunt de concentratie pieken tot 800 KVD/l bereikt. In het hoogreservoir bedraagt de maximum concentratie 6 KVD/l en in het laagreservoir wordt een concentratie berekend tot 21 KVD/l. Om aan te geven hoe de concentratie in de reservoirs verloopt is in Figuur 10 het onderste deel van de grafiek uitvergroot. De nalevering vanuit het reservoir is hier duidelijk te zien.

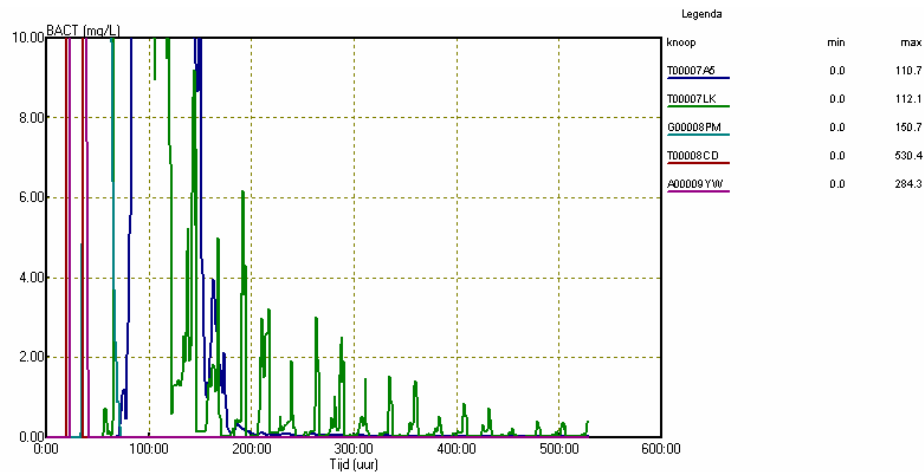


Figuur 10 Berekende concentraties in de reservoirs

Op de in figuur gekenmerkte monsterpunten is in Figuur 11 het concentratieverloop afgebeeld. Het is duidelijk zichtbaar hoe de piekhoogte afneemt en breedte toeneemt. Het laagreservoir blijft nog lang een concentratie *E. coli* naleveren. In Figuur 12 is dit door uitvergroting van de laagste regionen van de grafiek duidelijk te zien.



Figuur 11 Concentraties op vijf verschillende monsterpunten in het voorzieningsgebied



Figuur 12 Concentraties op de vijf monsterpunten uit Figuur 11 (lage schaal)

4.1.2 Verontreiniging in laagreservoir Bornestraat

In Figuur 13 zijn alle monsterlocaties (rode en groene punten met de code erbij) weergegeven in het voorzieningsgebied Almelo. De verontreiniging is gesimuleerd in laagreservoir Bornestraat. Op de locaties in het rood is de verontreiniging terecht gekomen.



Figuur 13 Verontreinigde (zwart) en niet-verontreinigde modelknoten (grijs) bij verontreiniging van laagreservoir Bornestraat

4.1.3 Verontreiniging in de \varnothing 350 mm transportleiding.

In Figuur 14 zijn de resultaten weergegeven voor de verontreiniging van één van de vier transportleidingen tussen productiebedrijf Wierden en de kern Almelo. De betreffende transportleiding heeft laagste capaciteit van de vier.

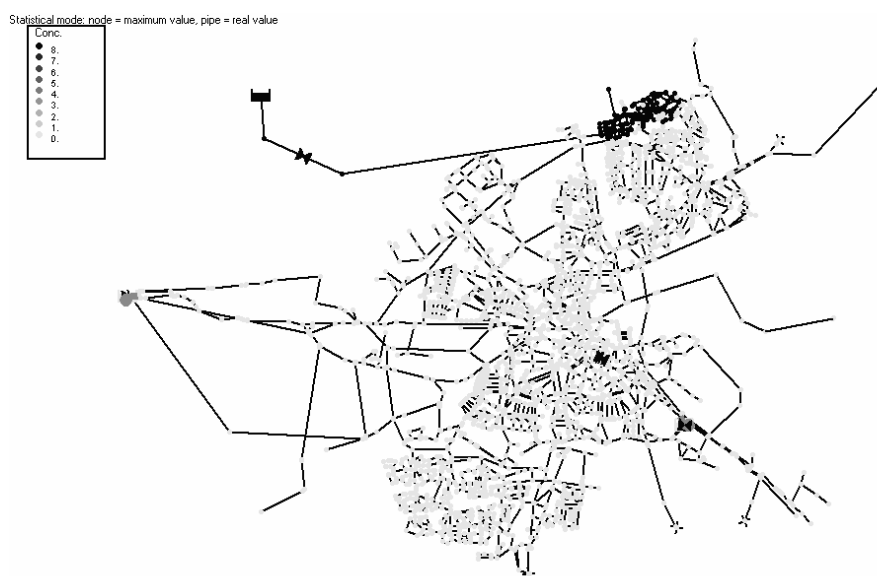
Vooral het deel van voorzieningsgebied in het zuidwesten van Almelo en een deel de kern worden niet verontreinigd.



Figuur 14 Verontreinigde (zwart) en niet-verontreinigde modelknopen (grijs) bij verontreiniging van de \varnothing 350 mm transportleiding

4.1.4 Verontreinigingen in distributieleidingen

In Figuur 15 zijn de resultaten weergegeven voor de verontreiniging van knoop T00007PL in het noordoosten van Almelo. De verontreiniging blijft in die wijk en verspreid zich niet verder.



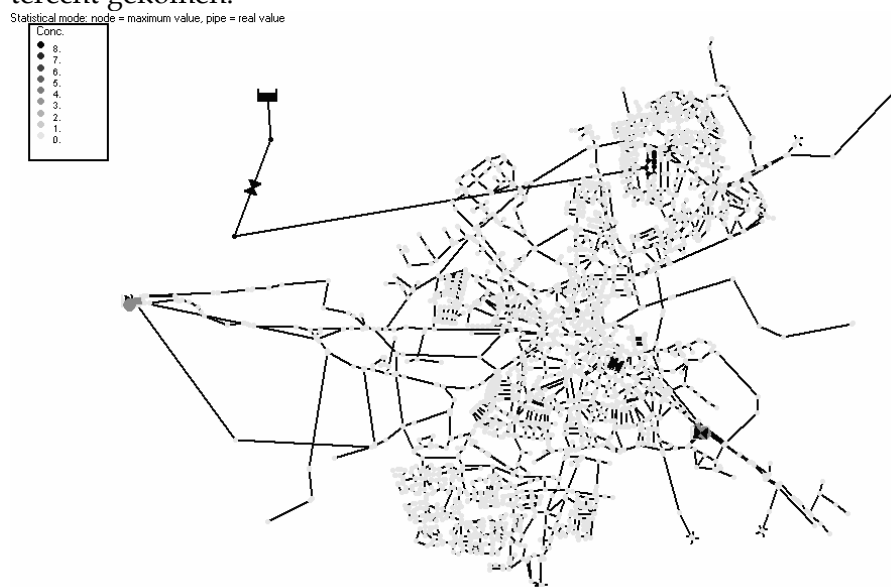
Figuur 15 Verontreinigde (zwart) en niet-verontreinigde modelknopen (grijs) bij verontreiniging van knoop T00007PL

In Figuur 16 zijn de resultaten weergegeven voor de verontreiniging van knoop T00008TH in het zuidwesten van Almelo. De verontreiniging trekt naar het centrum maar komt niet in de reservoirs terecht.



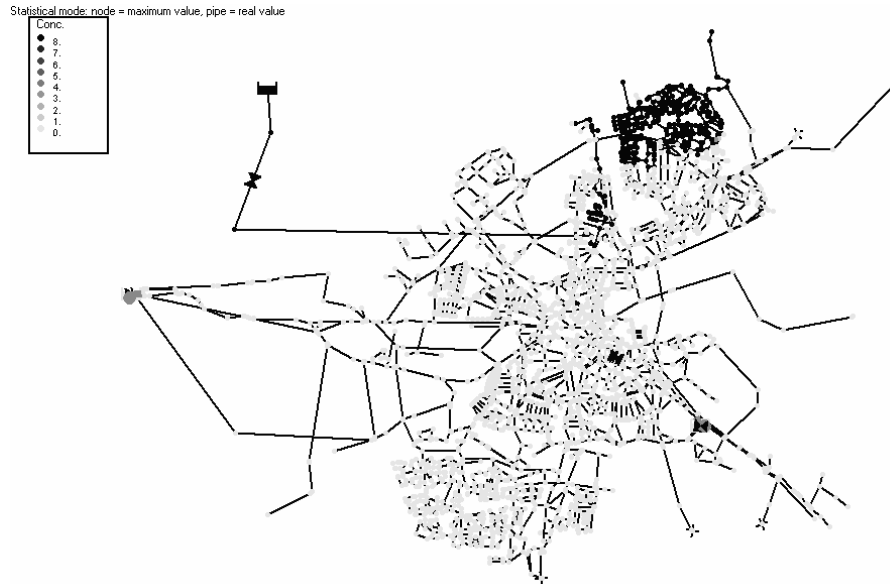
Figuur 16 Verontreinigde (zwart) en niet-verontreinigde modelknopen (grijs) bij verontreiniging van knoop T00008TH

In Figuur 17 zijn de resultaten weergegeven voor de verontreiniging van knoop T00007BD in het noordoosten van Almelo op een lokale distributieleiding. Deze verontreiniging is op geen enkele monsterlocatie terecht gekomen.



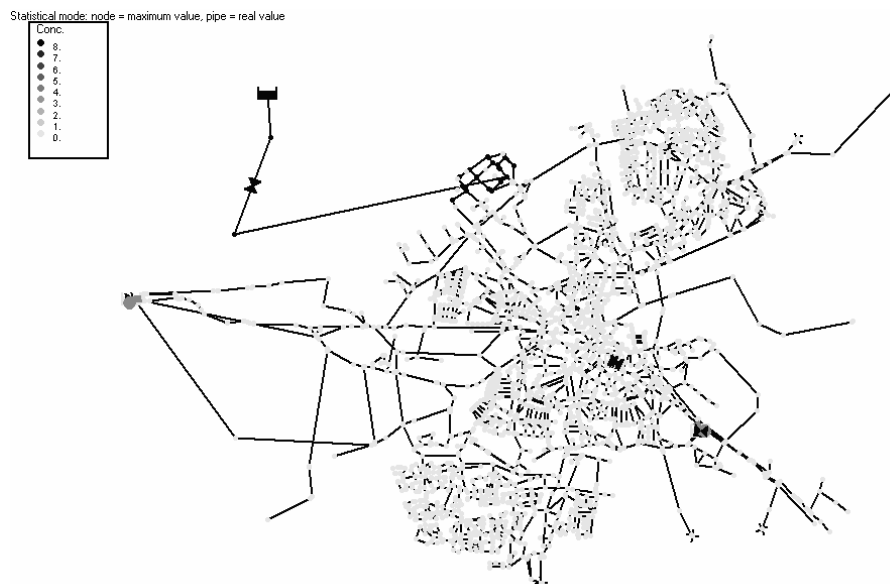
Figuur 17 Verontreinigde (zwart) en niet-verontreinigde modelknopen (grijs) bij verontreiniging van knoop T00007BD

In Figuur 18 zijn de resultaten weergegeven voor de verontreiniging van knoop T00007UM in het noordoosten van Almelo op een distributieleiding. De verontreiniging is in een andere wijk ten noordoosten van het verontreinigingspunt terecht gekomen, op een beperkt aantal monsterlocaties.



Figuur 18 Verontreinigde (zwart) en niet-verontreinigde modelknopen (grijs) bij verontreiniging van knoop T00007UM

In Figuur 19 zijn de resultaten weergegeven voor de verontreiniging van knoop T00007NP in het noorden van Almelo op een distributieleiding. Deze verontreiniging is op geen enkele monsterlocatie terecht gekomen.



Figuur 19 Verontreinigde (zwart) en niet-verontreinigde modelknopen (grijs) bij verontreiniging van knoop T00007NP

In Figuur 20 zijn de resultaten weergegeven voor de verontreiniging van knoop T000082D in het centrum van Almelo op een distributieleiding. De verontreiniging is in het noordoosten van Almelo terecht gekomen.



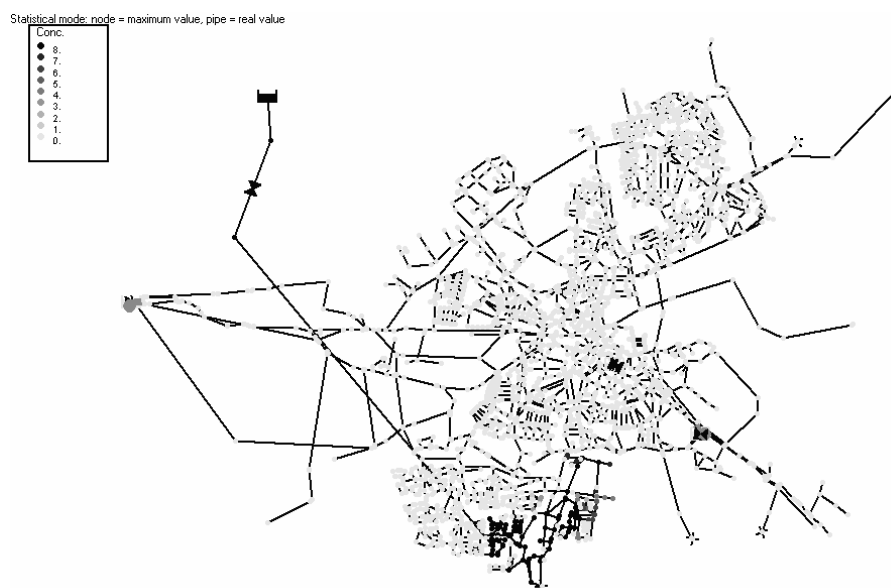
Figuur 20 Verontreinigde (zwart) en niet-verontreinigde modelknopen (grijs) bij verontreiniging van knoop T000082D

In Figuur 21 zijn de resultaten weergegeven voor de verontreiniging van knoop T000080Y in het centrum van Almelo op een distributieleiding. De verontreiniging is op een monsterlocatie en (in een lage concentratie) in het laagreservoir terecht gekomen.



Figuur 21 Verontreinigde (zwart) en niet-verontreinigde modelknopen (grijs) bij verontreiniging van knoop T000080Y

In Figuur 22 zijn de resultaten weergegeven voor de verontreiniging van knoop T00008ZY in het zuidwesten van Almelo op een distributieleiding. Deze verontreiniging is op geen enkele monsterlocatie terecht gekomen.



Figuur 22 Verontreinigde (zwart) en niet-verontreinigde modelknoten (grijs) bij verontreiniging van knoop T00008ZY

In Figuur 23 zijn de resultaten weergegeven voor de verontreiniging van knoop T00008Y1 in het zuidwesten van Almelo op een distributieleiding nabij knoop T00008ZY. De verontreiniging is terecht gekomen in het centrum van Almelo en in het laagreservoir.

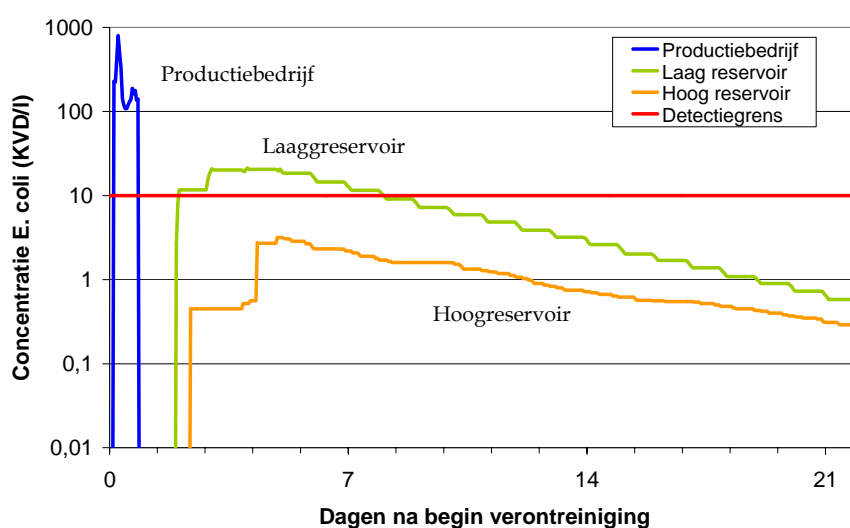


Figuur 23 Verontreinigde (zwart) en niet-verontreinigde modelknoten (grijs) bij verontreiniging van knoop T00008Y1

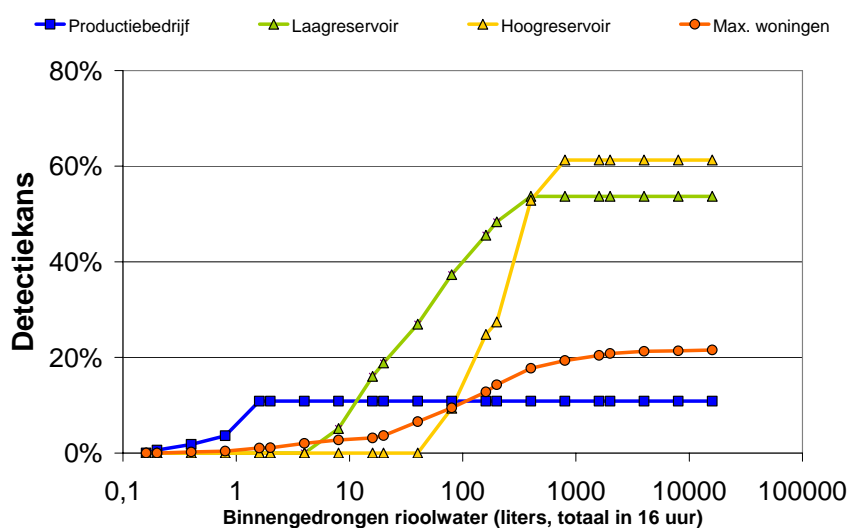
4.2 Detectiekansen

4.2.1 Verontreiniging van de uitgaande leiding van het productiebedrijf

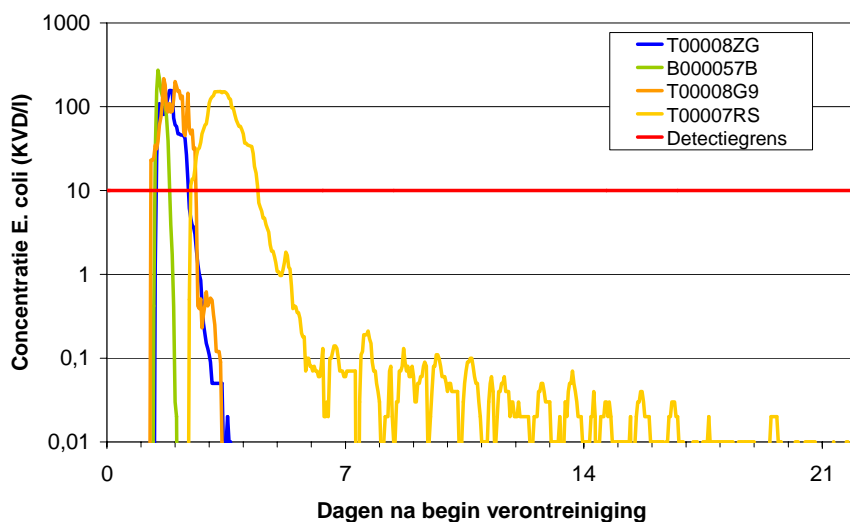
De verontreiniging van 16 liter rioolwater in het uitgaande water van het productiebedrijf is slechts kort detecteerbaar in deze leiding zelf. In de distributiereservoirs treedt slechts langzaam verversing op en is de verontreiniging nog lang boven de rapportagegrens van ALEID (0,01 KVD/l) (figuur 24). De berekeningen zijn tot 22 dagen uitgevoerd, waardoor de detectiekansen bij grotere verontreinigingen (= lagere detectiegrenzen, zie paragraaf 3.8) niet meer toeneemt (figuur 25).



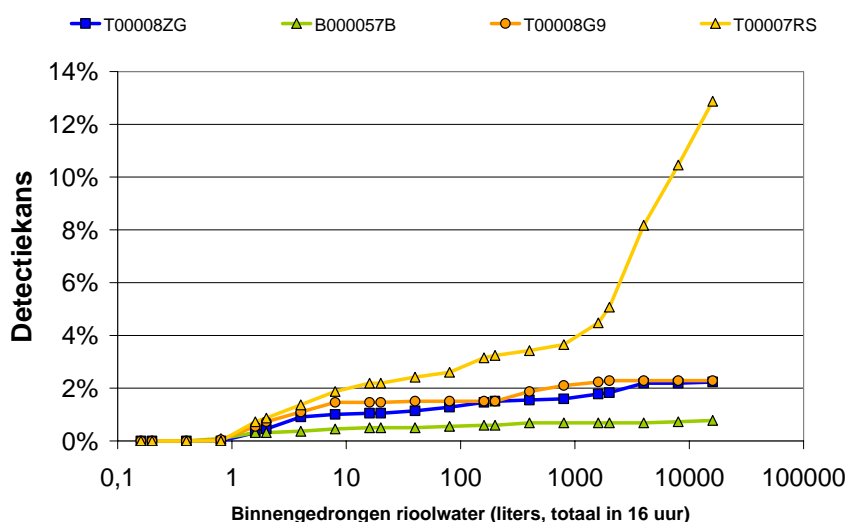
Figuur 24 [E. coli] in uitgaand water en in distributiereservoirs na verontreiniging (16 liter rioolwater = $1,6 \cdot 10^9$ E. coli) van het productiebedrijf



Figuur 25 Kans op detectie van E. coli in uitgaand water en in distributiereservoirs na verontreiniging van het uitgaande water van het productiebedrijf



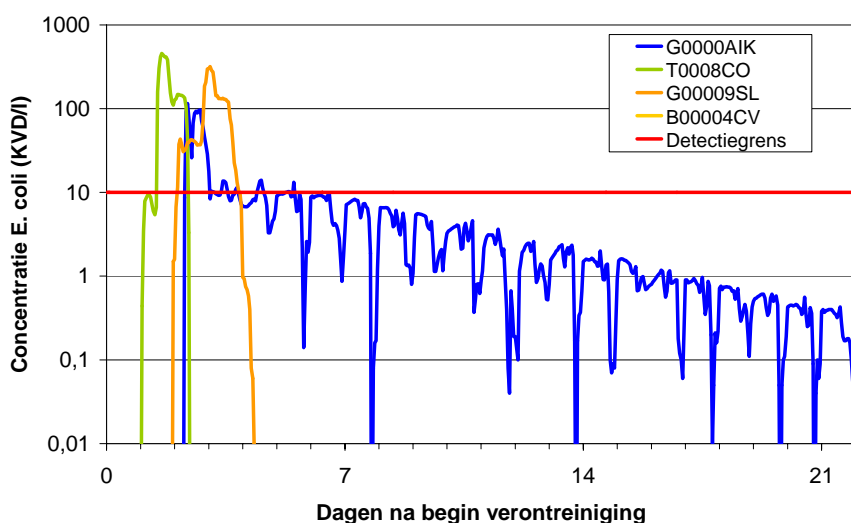
Figuur 26 [E. coli] op 4 monsterlocaties (distributiesysteem) na verontreiniging (16 liter rioolwater = $1,6 \cdot 10^9$ E. coli) van het productiebedrijf



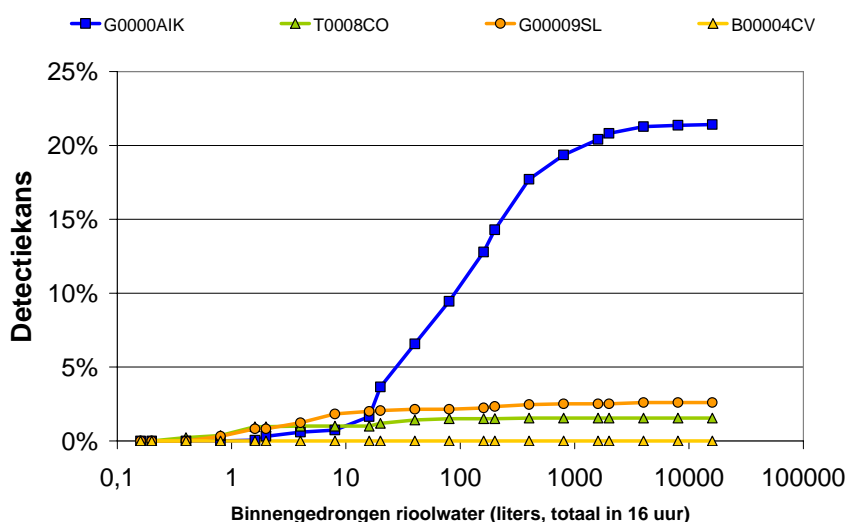
Figuur 27 Kans op detectie van E. coli op 4 monsterlocaties (figuur 26) in het distributiesysteem na verontreiniging van het productiebedrijf

Uit figuur 26 blijkt dat de verontreinigingen op monsterlocaties die niet gesuppleerd worden door een reservoir (b.v. T00008ZG), relatief snel verdwenen zijn. Indien water uit een reservoir op de monsterlocatie kan komen, dan blijven de concentraties langer hoog (b.v. T00007RS). De scherpe dalen ontstaan op momenten dat het water voornamelijk uit de inmiddels schone transportleidingen komt. De detectiekansen per locatie (figuur 27) nemen natuurlijk toe naarmate de hoeveelheid binnengedrongen rioolwater⁵ toeneemt, maar niet lineair. De vorm van de concentratiecurve blijft herkenbaar in de curve van de detectiekans, maar zonder de pieken.

⁵ Hydraulisch is telkens 16 liter binnengedrongen, maar door lagere detectiegrenzen te kiezen zijn grotere verontreinigingen met E. coli gesimuleerd (zie paragraaf 3.8)



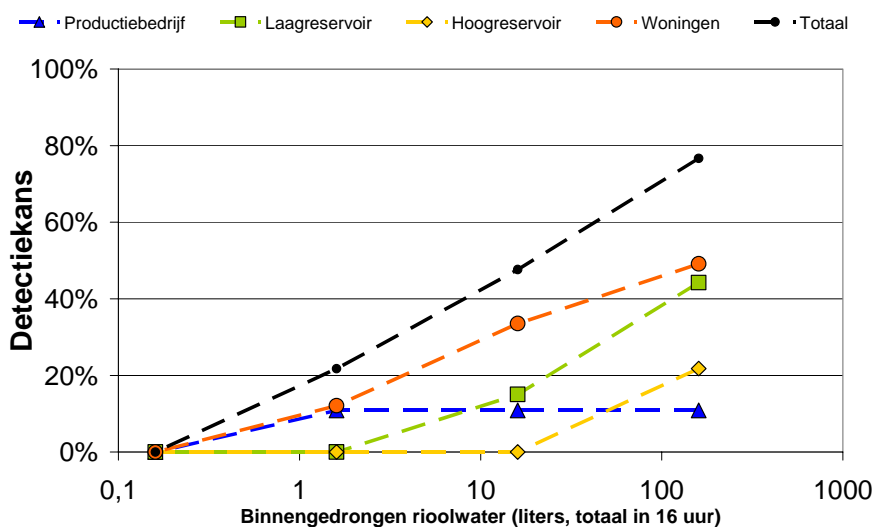
Figuur 28 [E. coli] op 4 monsterlocaties (distributiesysteem) na verontreiniging (16 liter rioolwater = $1,6 \cdot 10^9$ E. coli) van het productiebedrijf



Figuur 29 Kans op detectie van E. coli op 4 monsterlocaties (figuur 28) in het distributiesysteem na verontreiniging van het productiebedrijf

In figuren 28 en 29 zijn vergelijkbare curven weergegeven. De detectiekanscurve op monsterlocatie G0000AIK (figuur 29) neemt scherp toe naarmate de verontreiniging groter dan 16 liter wordt. Deze curve topt ineens sterk af omdat slechts 22 dagen berekend zijn (in werkelijkheid zal de kans waarschijnlijk lineair blijven toenemen). Monsterlocatie G0000AIK wordt blijkbaar in sterke mate voorzien door het suppletiereservoir (in dit geval het laagreservoir). Op monsterlocatie B00004CV is de concentratie en de detectiekans altijd 0. Het verbruik op deze monsterlocatie⁶ is blijkbaar 0 (dode leiding).

⁶ De voor deze monsterlocatie gekozen knoop in het leidingnetmodel



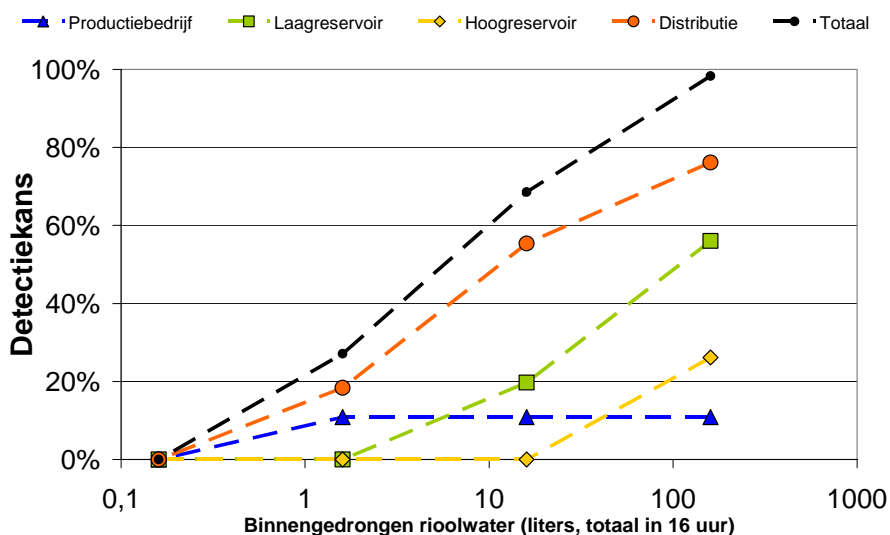
Figuur 30 Kans op detectie van *E. coli* in de uitgaande leiding van het productiebedrijf, de distributiereservoirs en maximale kansen van het totale monsterprogramma (met en zonder productiebedrijf en reservoirs) na verontreiniging van het productiebedrijf

De kansen van het gecombineerde monsterprogramma in 2002 zijn berekend bij verontreinigingen met *E. coli*-aantallen die overeenkomen met 0,16 tot 160 liter rioolwater. De gecombineerde kans is noch het maximum, noch de som van de kansen op de individuele monsterlocaties, omdat de monsters op verschillende dagen genomen zijn. De maximale detectiekansen (van alle monsterlocaties) per dag van het jaar zijn gemiddeld. Dit leverde de gemiddelde gecombineerde detectiekans van het monsterprogramma op.

De gecombineerde monsterlocaties in woningen hebben blijkbaar bij kleinere verontreinigingen een grotere invloed op de detectiekans dan de monsterlocatie op het laagreservoir. Dit komt omdat kleine verontreinigingen door verdunning in 2500 m³ niet gedetecteerd worden. De ongeveer wekelijks bemonsterde groepen van monsterlocaties (gemiddeld 3,4 locaties per groep) hebben een theoretische kans van ongeveer 16/168 (uren verontreiniging/uren per week) = ca. 10% om de verontreiniging van 16 uur te detecteren als 1,6 liter binnendringt. De berekende kans is 12%, iets hoger omdat de werkelijke monsterdata iets meer verspreid zijn dan strikt wekelijks. Naarmate de verontreiniging groter wordt, wordt de invloed van de distributiereservoirs op de gecombineerde detectiekans groter. De detectiekans van de gecombineerde monsterlocaties in woningen gaat minder stijl lopen doordat de concentraties maar voor 22 dagen berekend zijn.

Omdat de invloed van de 44 monsterlocaties erg groot is, is er een kans dat een meer homogene verdeling van de monsters over het jaar tot een verhoging van de detectiekans leidt. Om dit te toetsen zijn de monsternemingen homogeen verdeeld over het jaar, dus geen groepjes van

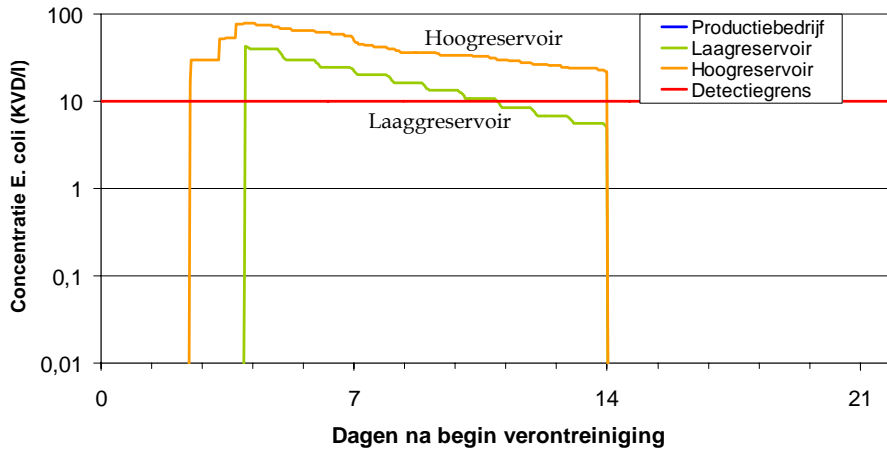
gemiddeld 3,4 locaties die ongeveer wekelijks worden genomen, maar monsternemingen met intervallen van 2,07 dagen (afgerond op 2 en in enkele gevallen 3 dagen). Omdat het een toetsing van een hypothese betreft, is geen rekening gehouden met de organisatorische aspecten (monsterneming in het weekend). De groepjes locaties die normaal op 1 dag werden bemonsterd, zijn wel zoveel mogelijk bij elkaar gehouden in de tijd. Tevens is elke 3^e van de maand een monster genomen op het laagreservoir (in werkelijkheid 10x in 2002) en elke 18^e van de maand op het hoogreservoir, om de invloed van de reservoirs zoveel mogelijk te verdelen. Tevens is de variatie in de monsterinterval van het uitgaande water beperkt tot exact 1x per week. Bij een verontreiniging met 16 liter rioolwater neemt de detectiekans door deze optimalisatie met 50% toe (van 50% naar 75%), hetgeen de hypothese ondersteunt dat gelijkmatige verdeling van monsternemingen in de tijd tot een hogere detectiekans leidt.



Figuur 31 Voor een homogeen verdeeld monsterprogramma uitgereken kans op detectie van *E. coli* in de uitgaande leiding van het productiebedrijf, de distributiereservoirs en maximale kansen van het totale monsterprogramma (met en zonder productiebedrijf en reservoirs) na verontreiniging van het productiebedrijf

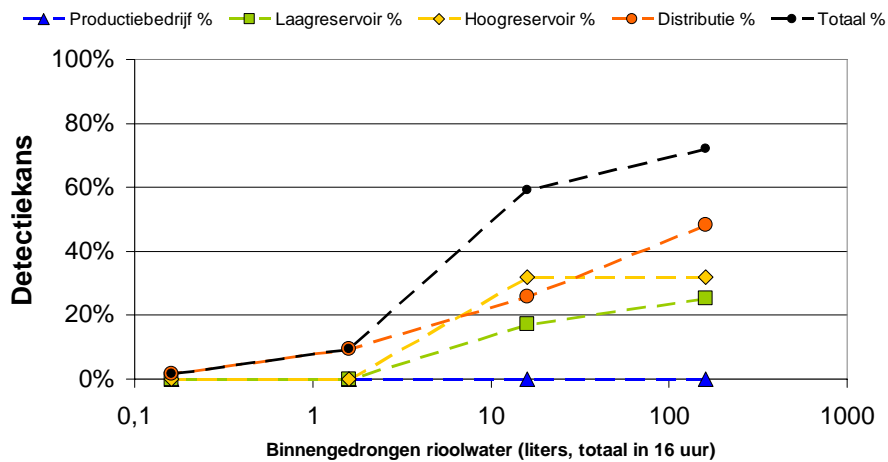
Er is ook berekend of de detectiekansen afhankelijk zijn van monsternemingen 's nachts, overdag of 's avonds. Indien alle monsters altijd in hetzelfde dagdeel genomen worden, dan zijn er kleine verschillen waar te nemen (maximaal 7% als fractie van de totale kans). Indien de concentraties op individuele monsterlocaties bekeken worden (zie bijlage II), dan blijkt dat de pieken in de *E. coli* -concentraties altijd op hetzelfde moment verdwijnen en verschijnen (in het geval van suppletie door een reservoir). Deze pieken liggen niet op alle monsterlocaties op hetzelfde moment. Op dergelijke locaties is het moment van monsterneming dus cruciaal. Een sterke verhoging van de detectiekans zou haalbaar kunnen zijn indien hiermee rekening gehouden kan worden.

4.2.2 Verontreiniging van een transportleiding



Figuur 32 *[E. coli]* in uitgaand water en in distributiereservoirs na verontreiniging (16 liter rioolwater = $1,6 \cdot 10^9$ *E. coli*) van een transportleiding 350 mm

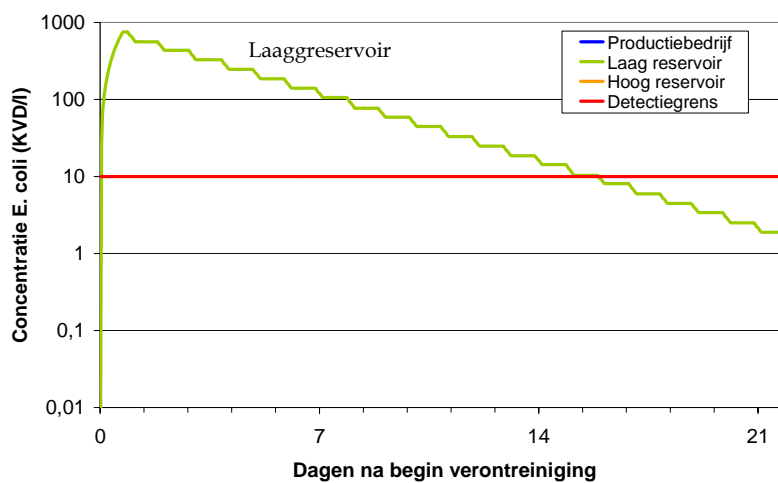
De verontreiniging van de transportleiding van 350 mm van productiebedrijf Wierden naar het voorzieningsgebied is berekend voor een periode van maar 14 dagen (figuur 32), hetgeen een sterk vertekend beeld van de detectiekansen geeft (figuur 33). De werkelijke detectiekansen zijn onbekend. De kansen kunnen hoger zijn dan de kansen bij verontreiniging van het uitgaande water, gelet op de hoger startconcentraties in de reservoirs, met name het hoogreservoir. Omdat de verontreiniging 8 van de monsterlocaties (in plaats van 2) nooit bereikt, kunnen de kansen ook lager zijn.



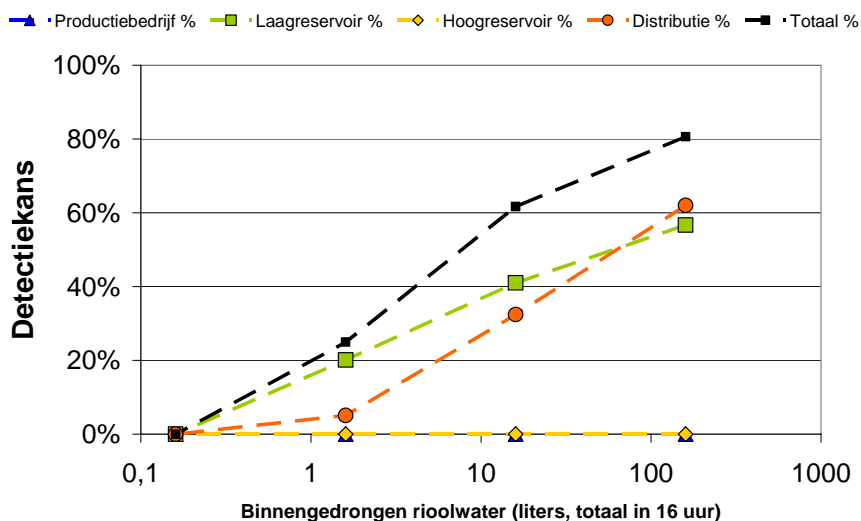
Figuur 33 *Kans op detectie van E. coli* in de uitgaande leiding van het productiebedrijf, de distributiereservoirs en maximale kansen van het totale monsterprogramma (met en zonder productiebedrijf en reservoirs) na verontreiniging van het productiebedrijf

4.2.3 Verontreiniging van laagreservoir Bornestraat

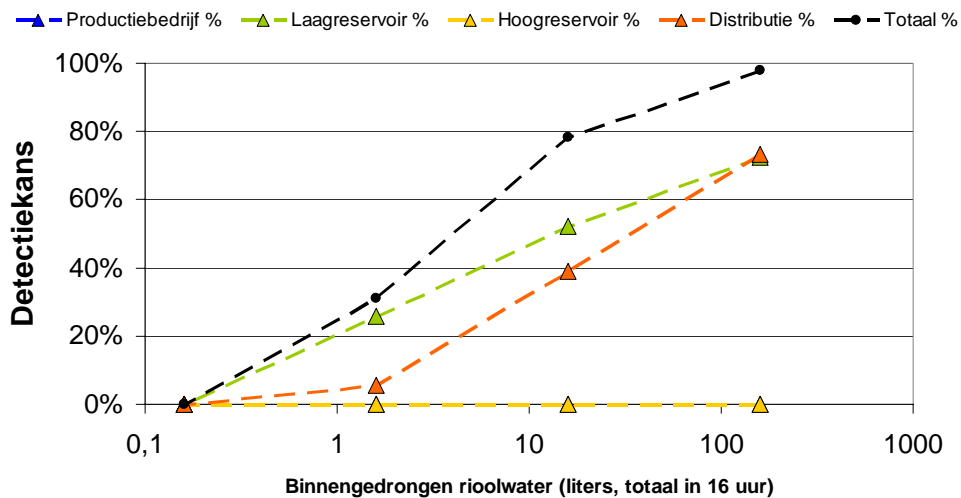
Indien het laagreservoir Bornestraat wordt verontreinigd, bereikt deze verontreiniging het hoogreservoir Almelo niet (figuur 34). Het verloop van de concentratie in het reservoir is vergelijkbaar met het verloop in het reservoir na de verontreiniging van het productiebedrijf, maar alle *E. coli* bereikt nu het reservoir, waardoor de detectiekans in het reservoir meer dan verdubbelt (figuren 30 en 35). Het effect van de beperking van de berekening tot 22 dagen (figuur 34) is nu ook licht merkbaar bij de verontreiniging met 160 liter rioolwaterequivalenten *E. coli* (figuur 35). De detectiekans op de monsterlocaties in woningen neemt nauwelijks toe, maar dit kan deels het gevolg zijn van de beperking van de berekening tot 22 dagen.



Figuur 34 [*E. coli*] in de distributiereservoirs na verontreiniging (16 liter rioolwater = $1,6 \cdot 10^9$ *E. coli*) van het laagreservoir

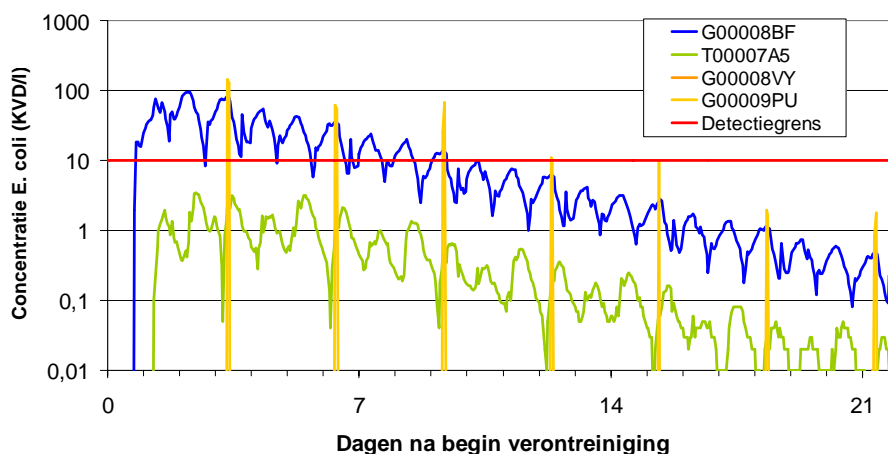


Figuur 35 Kans op detectie van *E. coli* in de uitgaande leiding van het productiebedrijf, de distributiereservoirs en maximale kansen van het totale monsterprogramma (met en zonder productiebedrijf en reservoirs) na verontreiniging van het laagreservoir



Figuur 36 Voor een homogeen verdeeld monsterprogramma uitgereken kans op detectie van *E. coli* in de uitgaande leiding van het productiebedrijf, de distributiereservoirs en maximale kansen van het totale monsterprogramma (met en zonder productiebedrijf en reservoirs) na verontreiniging van het laagreservoir

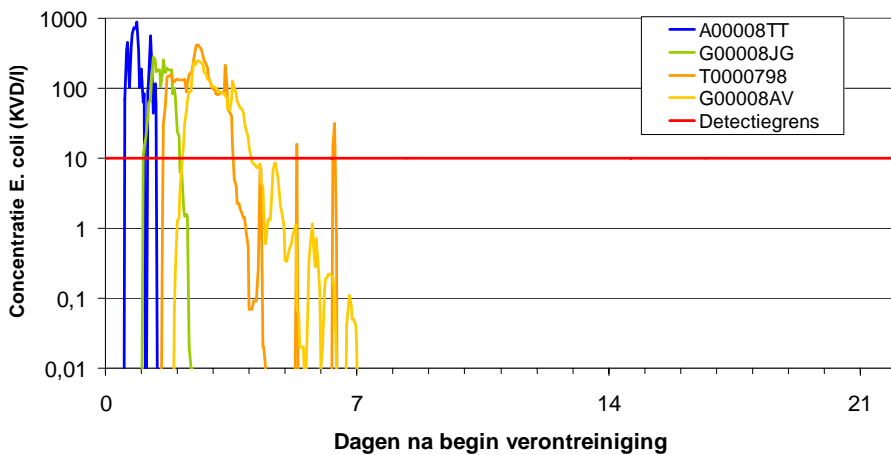
Een homogene verdeling van de monsterdata over het jaar levert in de berekeningen een verhoging van ca. 60% naar ca. 80% van de totale detectiekans van een verontreiniging van 16 liter rioolwaterequivalenten (figuur 36). Dit effect is dus minder groot dan in het geval van de verontreiniging van het uitgaande water van het productiebedrijf. Figuur 37 maakt wederom duidelijk dat door de langzame verdunning van het laagreservoir, de verontreiniging langer detecteerbaar is in de woningen. De scherpe pieken op knoop G00009PU (elke drie dagen om 8 en 9 uur 's morgens) maken duidelijk hoe belangrijk de monstertijd op de dag kan zijn.



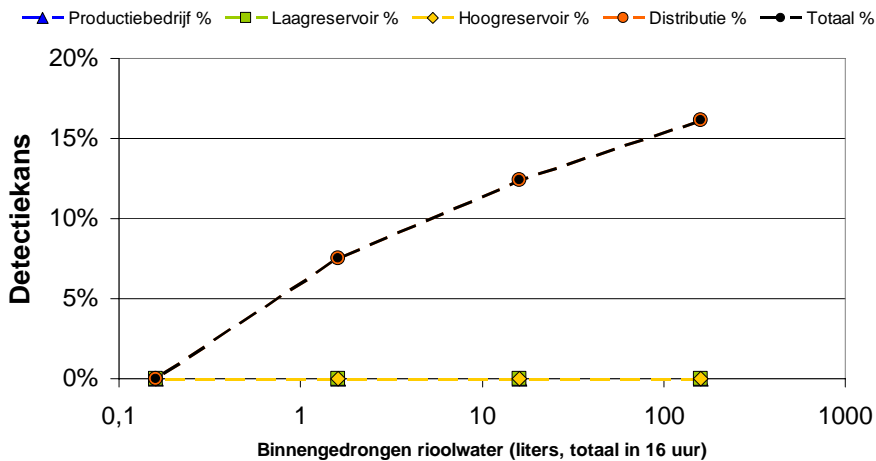
Figuur 37 [*E. coli*] op enkele monsterlocaties in woningen na verontreiniging (16 liter rioolwater = $1,6 \cdot 10^9$ *E. coli*) van het laagreservoir

4.2.4 Verontreiniging van distributieleidingen

De verontreinigingen van distributieleidingen kunnen worden onderscheiden in twee groepen: de verontreinigingen waarbij geen van de distributiereservoirs wordt bereikt en de verontreinigingen waarin dat wel het geval is. In figuur 38 is een voorbeeld gegeven met de concentraties van *E. coli* op een aantal monsterlocaties na verontreiniging van een knoop van waaruit de verontreiniging 11 monsterlocaties bereikt, maar niet een van de reservoirs (is dat zo?? War komen die pieken op G00008AV en T0000798 vandaan?). De detectiekans (figuur 39) wordt volledig bepaald door de gecombineerde detectiekans op de monsterlocaties in de woningen.

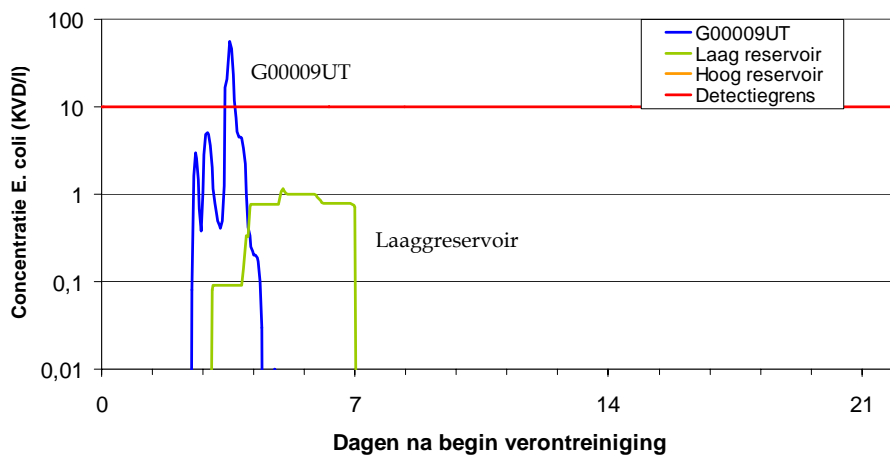


Figuur 38 [*E. coli*] op enkele monsterlocaties na verontreiniging (16 liter rioolwater = $1,6 \cdot 10^9$ *E. coli*) van knoop T000082D

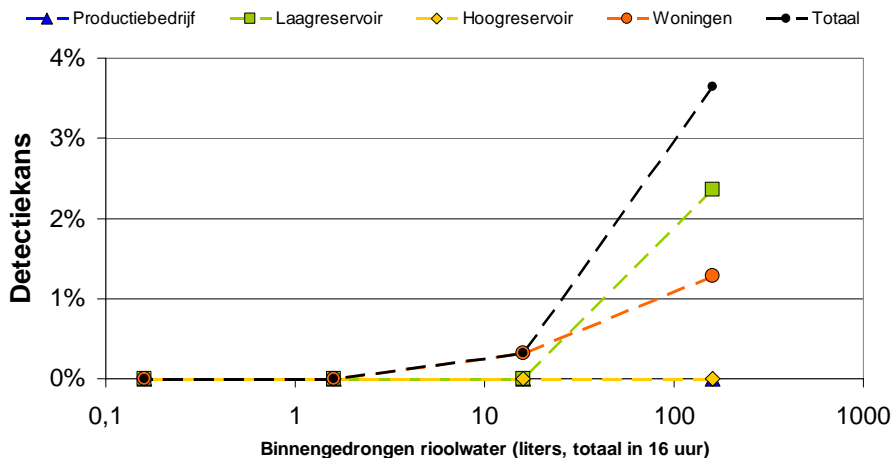


Figuur 39 Kans op detectie van *E. coli* in de distributiereservoirs en de maximale kansen van het totale monsterprogramma (met en zonder reservoirs) na verontreiniging van knoop T000082D

In figuur 40 zijn de concentraties van *E. coli* weergegeven op de enige monsterlocatie die na verontreiniging van knoop T00008OY wordt bereikt en de concentratie in het laagreservoir dat vervolgens ook bereikt wordt. Omdat de berekeningen slechts voor een periode van 7 dagen zijn uitgevoerd, zijn de detectiekansen (figuur 41) van grotere verontreinigingen (~lagere detectiegrenzen) nogal onderschat. Omdat niet verwacht was dat het laagreservoir zou worden verontreinigd, zijn de concentratieverlopen van locaties die vanuit dit reservoir worden gesuppleerd, niet uit ALEID gehaald. Ook dit leidt tot een onderschatting van de detectiekans, met name van grotere verontreinigingen.



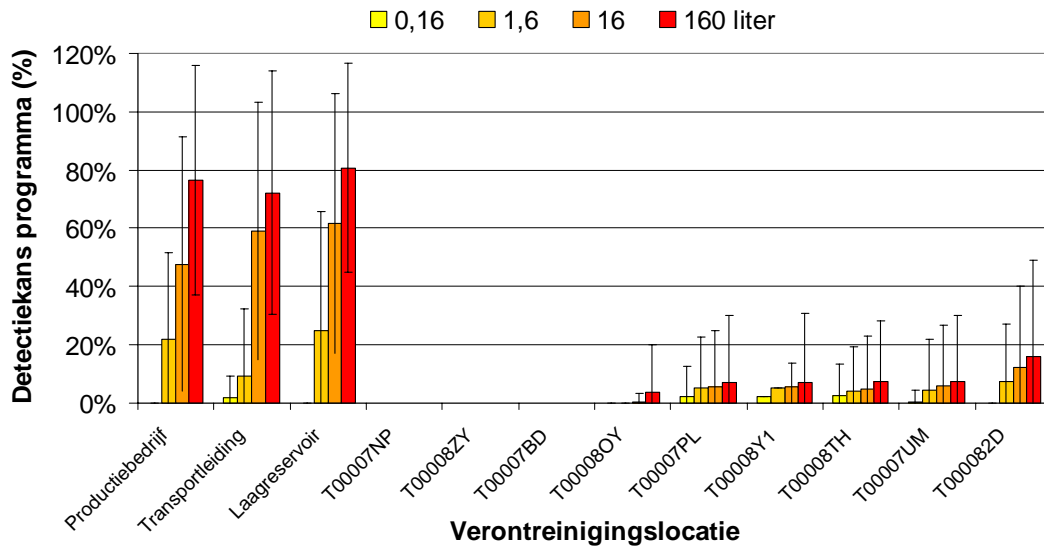
Figuur 40 [*E. coli*] op monsterlocaties na verontreiniging (16 liter rioolwater = $1,6 \cdot 10^9$ *E. coli*) van knoop T00008OY



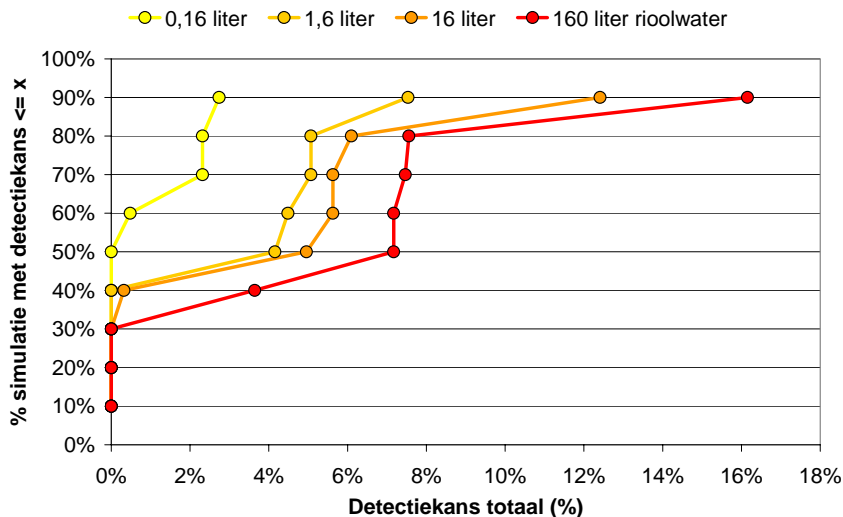
Figuur 41 Kans op detectie van *E. coli* in de distributiereservoirs en de maximale kansen van het totale monsterprogramma (met en zonder reservoirs) na verontreiniging van knoop T00008OY

4.2.5 Totale detectiekansen per gesimuleerde verontreiniging

In figuur 42 zijn de gemiddelde detectiekansen per gesimuleerde verontreiniging bij verschillende hoeveelheden rioolwaterequivalenten *E. coli* weergegeven. De berekende detectiekansen bij verontreinigingen in het distributiesysteem zijn erg laag.



Figuur 42 Gemiddelde kansen om met het bestaande monsterprogramma gesimuleerde verontreinigingen op de 12 gekozen locaties te detecteren (spreiding = standaarddeviatie (n-1))



Figuur 43 Cumulatieve frequentieverdelingen (populatiepercentielen: n+1) van de gemiddelde detectiekansen van de op 9 locaties gesimuleerde verontreinigingen in distributieleidingen, met het bestaande monsterprogramma

4.3 Representativiteit van de berekende detectiekansen

De conclusies zijn gebaseerd op slechts 12 verontreinigingssimulaties, in één leidingnetmodel en met het bestaande monsterprogramma aldaar. Tevens zijn de simulaties slechts voor één type verontreiniging (namelijk 16 uur lang een vaste concentratie) en onder slechts één aanname over de afsterving van *E. coli* tijdens distributie (namelijk geen afsterving) uitgevoerd. Dit betekent dat de kwantitatieve informatie over de detectiekansen beperkt is. Daarnaast zijn de berekeningen in een aantal gevallen niet voor voldoende lange perioden uitgevoerd, waardoor de detectiekansen van grote verontreinigingen worden onderschat. Met name indien een distributiereservoir wordt bereikt, zijn verontreinigingen nog lang waarneembaar, zeker als het grote verontreinigen betreft (of grotere watervolumes worden onderzocht). Ook de in enkele gevallen onvolledige uitvoer van concentratieverlopen op monsterlocaties uit ALEID draagt bij aan een onderschatting van de werkelijke detectiekansen, maar deze onderschatting is waarschijnlijk niet aanzienlijk.

Ondanks deze beperkingen in de evaluatie, wordt duidelijk dat de detectiekansen van verontreinigingen, ontstaan in distributieleidingen, zelfs van relatief grote verontreinigingen, klein zijn. Uiteraard is een selectie van 9 knopen (tussen distributieleidingen) waarin verontreinigingen zijn ingebracht relatief klein in verhouding tot de ca. 3300 knopen in het leidingnetmodel, maar ook hier is niet de verwachting dat het beeld veel anders wordt als meer of andere knopen zouden zijn onderzocht. De gemiddelde detectiekansen van de 9 verontreinigingen zijn 5,3% (bij 160 liter), 3,9% (bij 16 liter), 2,9% (bij 1,6 liter) en 1,2% (bij 0,16 liter). De variatiecoëfficiënt⁷ van het gemiddelde van de 9 gemiddelde detectiekansen is beperkt en varieert van 98% (bij 160 liter) tot 138% (bij 0,16 liter). De detectiekans van een verontreiniging is erg afhankelijk van het monsterniveau, hetgeen een relatief grote standaarddeviatie van de gemiddelde detectiekans van een individuele verontreiniging oplevert. Indien de verontreiniging slechts gedurende 1 dag of minder op een of meerdere monsterlocaties in woningen boven de detectiegrens uitkomt (en niet in de reservoirs), dan is de variatiecoëfficiënt (standaarddeviatie gedeeld door gemiddelde) 951% (dit is de maximale waarde in de simulatie, uitgaande van detectiekansen per dag of dagdeel).

⁷ Standaarddeviatie / gemiddelde

5 Conclusies

5.1 Methode voor evaluatie van detectiekansen

De verspreiding van fecale verontreinigingen is met behulp van een bestaande module in ALEID gesimuleerd in het leidingnetmodel van Almelo, op 12 locaties, waarvan 9 distributieleidingen. De resulterende concentratieverlopen van *E. coli* op de 47 monsterlocaties zijn in Excel geëvalueerd om de detectiekansen van het werkelijke monsterprogramma in Almelo in 2002 te berekenen. Deze methode is inzetbaar voor elk leidingnetmodel, hoewel zowel in ALEID als in Excel nog enige automatisering vereist is om dergelijke evaluaties efficiënt voor meerdere verontreinigingssimulaties uit te kunnen voeren.

Het onderzoek heeft waardevolle richtlijnen opgeleverd voor de verdere ontwikkeling van de methode voor evaluatie van bestaande detectieprogramma's en het ontwerp van nieuwe detectieprogramma's. Met behulp van deze methoden kunnen:

- bestaande risico's beter worden berekend;
- calamiteitenplannen voor correctie van gedetecteerde verontreinigingen worden geoptimaliseerd;
- de detectiekansen, ook bij gelijkblijvende meetinspanning, worden verhoogd.

5.2 Indruk van de detectiekansen van verontreinigingen

De oriënterende evaluatie is voor een beperkt aantal verontreinigingen uitgevoerd en de berekeningsperioden zijn niet altijd lang genoeg geweest. Toch wordt duidelijk dat de detectiekansen van verontreinigingen, ontstaan in distributieleidingen, zelfs van relatief grote verontreinigingen, klein zijn. Zelfs bij een aanzienlijke verontreiniging, waarbij $1,6 \cdot 10^9$ *E. coli* (het equivalent van ca. 16 liter rioolwater) over een periode van 16 uur in een distributieleiding stroomt, varieert de kans in 9 simulaties van 0 (op drie verontreinigingslocaties) via ca. $5,5\% \pm 19\%$ (op 4 locaties) tot $12\% \pm 28\%$ (op 1 locatie).

De gemiddelde detectiekansen van de 9 verontreinigingen zijn 5,3% (bij een verontreiniging equivalent met 160 liter rioolwater), 3,9% (bij 16 liter), 2,9% (bij 1,6 liter) en 1,2% (bij 0,16 liter). De belangrijkste reden voor de lage detectiekans in distributieleidingen is de relatief snelle verversing in leidingen. De concentraties kunnen per locatie meer dan een factor 1000 variëren, waarbij de concentraties bijvoorbeeld 's nachts toenemen door levering uit een suppletiereservoir. 's Morgens kunnen deze verontreinigingen door het eerste verbruik, waarbij het water voornamelijk uit (schone of schoongespoelde) transportleidingen komt, waardoor de *E. coli*-concentratie onder de detectiegrens komt.

De grote bijdrage van de langzame verversing van suppletiereservoirs aan de detectiekans van verontreinigingen is duidelijk geworden. Dit blijkt

bijvoorbeeld uit de gesimuleerde verontreinigingen van het productiebedrijf, een transportleiding of een distributiereservoir, waarbij de gemiddelde detectiekansen 50% à 60% zijn bij verontreiniging met 16 liter rioolwater.

6 Discussie en aanbevelingen

6.1 Methode voor optimalisatie van meetprogramma's

Er is een goede methode ontwikkeld voor de evaluatie van de detectiekansen van verontreinigingen met bestaande monsterprogramma's. Het is aan te bevelen om:

- op basis van algoritmes bekend in de literatuur [1] ALEID aan te passen zodat het programma voor elk leidingnetmodel de beste monsterlocaties kan aanwijzen. Hierbij kan eventueel ook gestratificeerd worden op basis van aanwezigheid van reservoirs of kwetsbare gebieden in het leidingnet.
- met behulp van leidingnetberekeningen vast te stellen op welk moment van de dag de concentratie van een eventuele (fecale) verontreiniging het hoogst is, zodat het monstertijdstip hierop kan worden afgestemd.
- Deze informatie te combineren tot een optimaal meetprogramma.

6.2 Reservoirs bemonsteren

Vanwege de relatief hoge detectiekans in suppletiereservoirs, is het aan te bevelen om reservoirs frequent te bemonsteren en een groot monstervolume te analyseren. Indien een leidingnet meerdere reservoirs heeft, is het van belang om de bemonstering af te wisselen en homogeen te verdelen over het jaar (bijvoorbeeld bij tweewekelijkse bemonstering de ene week het ene reservoir en de week erop het andere reservoir).

6.3 Ander perspectief resultaten meetprogramma

De lage detectiekans van fecale verontreinigingen in het distributienet zet de bevindingen van het huidige meetprogramma in een ander perspectief. In eerder BTO-onderzoek (BTO 2002-130c) bleek dat ca. 0,1% van alle monsters uit het bedrijfsmeetprogramma van het distributienet *E.coli* bevatte. Hoewel labfouten niet uit te sluiten zijn, geeft de combinatie van beide onderzoeken aan dat fecale verontreiniging van het net optreedt en mogelijk vaker dan het meetprogramma aangeeft.

6.4 Traceren en corrigeren van verontreinigingen

Het is van belang om na detectie van een (fecale) verontreiniging terdege rekening te houden met de nalevering door een verontreinigd suppletiereservoir. Samen met het productiebedrijf (meestal met een reservoir) hebben reinwaterkelders en watertorens (laag- resp. hoogreservoirs) de hoogste prioriteit bij het traceren en corrigeren van verontreinigingen. Het is voor het traceren van verontreinigingen aan te bevelen om grote volumes te onderzoeken, teneinde de detectiegrens te verlagen.

6.5 Vaststellen gezondheidkundige betekenis van fecale verontreinigingen

Het is van groot belang dat er meer informatie over de betekenis van dergelijke fecale verontreinigingen voor de infectierisico's van afnemers wordt verzameld. De aanwezigheid van ziekteverwekkers in rioolwater en andere materialen (dierfaeces, grond) die het net kunnen binnendringen kan sterk fluctueren. Voor rioolwater is er in Nederland informatie voorhanden over het voorkomen van ziekteverwekkende micro-organismen, zodat met de in deze studie ontwikkelde werkwijze ook het infectierisico kan worden berekend.

6.6 Zoeken naar gevoeliger indicatoren

Tevens is het van belang om recente ontwikkelingen op het gebied van gevoeliger biochemische indicatoren en (moleculair-biologische) identificatie van te beoordelen en te testen teneinde de inzetbaarheid voor de verificatie van de microbiologische veiligheid van drinkwater te kunnen optimaliseren.

6.7 Preventie van verontreinigingen

Ten slotte de belangrijkste aanbeveling. Geen enkel betaalbaar detectieprogramma is goed genoeg om alle verontreinigingen te detecteren. En als verontreinigingen gedetecteerd worden in woningen, is het kwaad al geschied omdat het water al geconsumeerd kan zijn. Het is daarom niet zinvol om de inspanning voor het monsterprogramma flink te vergroten. Het is zinvoller om de juiste aandacht te geven aan de kwaliteit van de grondstof, behandeling en andere infrastructuur, en de handelingen die verontreinigingen voorkómen. In het door de WHO uitgewerkte managementsysteem voor preventie van risico's voor de kwaliteit van procesvoering, infrastructuur, hulpmiddelen, werkzaamheden en water, Waterveiligheidsplannen genaamd, wordt de periodieke beoordeling van de kwaliteit van drinkwater beschouwd als een verificatie van de effectiviteit van deze risico- en kwaliteitsbeheersing.

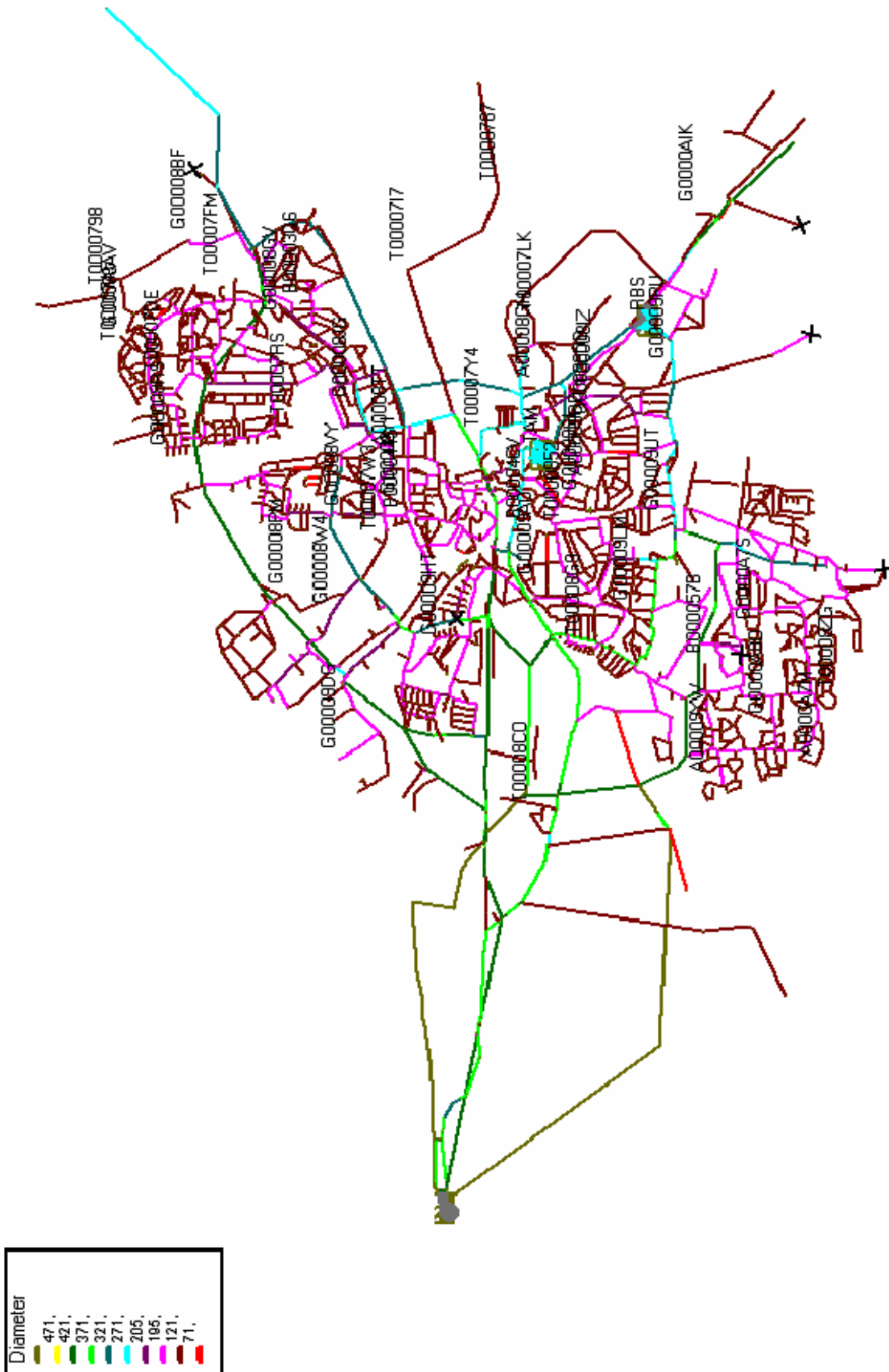
7 Literatuur

1. Hamant, P., Nace, A., Klene, L. et Fotoohi, F. (1999) 'Auto-contrôle optimisé dans les réseaux de distribution d'eau potable'. *L'eau, l'industrie, les nuisances* 225: 49-52.
2. ISO 5667-1 (1980). 'Water quality - Sampling - Part 1: Guidance on the design of sampling programmes'. ISO, Geneve, Switzerland, 13 p.
3. Lee, B.H. and Deininger, R.A. (1992) 'Optimal locations of monitoring stations in water distribution system'. *Journal of Environmental Engineering*, 118:1:4-16.
4. Leroy, P., Bousquet, G., Martin, J. et Ouvrard, J. (1995) 'Strategie d'échantillonnage des analyses bactériologiques sur des réseaux de distribution d'eau étendus. Mise en place du contrôle sanitaire en région parisienne'. *TSM* 90:3:184-187.
5. Medema, G.J., Ketelaars, H.A.M. en Hoogenboezem, W. (red.) (2001) '*Cryptosporidium* en *Giardia*: voorkomen in rioolwater, mest en oppervlaktewater met zwem- en drinkwaterfunctie'. RIWA, Amsterdam, 171 p.
6. Narasimhan, R. and Brereton, J. (2004) 'Developing a Bacterial Sampling Plan. Guidance Manual'. AWWA Research Foundation, Denver, USA, 68 p.
7. Narasimhan, R., Brereton, J., Abbaszadegan, M., Alu, A. and Ghatpande, P. (2004) 'Sample Collection Procedures and Locations for Bacterial Compliance Monitoring. AWWA Research Foundation, Denver, USA, 140 p.
8. Saout, C. et Davezac, H. (1995) 'Modalités pratiques de réalisation du contrôle sanitaire de l'eau destinée à la consommation humaine: Echantillonnage des analyses sur des réseaux de distribution d'eau'. *TSM* 90:3:188-192.
9. Speight, V.L., Kalsbeek, W.D. and DiGiano, F.A. (2004) 'Randomized Stratified Sampling Methodology for Water Quality in Distribution Systems'. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 130:7/8: 330-338.
10. Van Lieverloo, J.H.M., Esveld-Amanatidou, A., Hijnen, W.A.M. en Groennou, J.Th. (2003) 'Microbiologische verontreiniging van gedistribueerd drinkwater tijdens opslag, transport en distributie. Evaluatie en beheersing van risico's van incidentele afwijkingen en verontreinigingen. BTO 2002.130c. Kiwa Water Research, Nieuwegein, 193 p.
11. Waterleidingbesluit (2001). Staatsblad 31: 1-53.

I Monsterlocaties en -data voor *E. coli* in Almelo en omgeving in 2002

| Locatie Naam | Knoop ALEID | Interval (dagen) | | Monsterdata* | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|------------------|------|---------------------------|--------|--------|----------|-----------|--------|--------|--------|-------|
| | | Gem. | Max. | | | | | | | | | |
| Productiebedrijf Wierden | WIE003 | 6,9 | 12 | 3-jan | 9-jan | 14-jan | 21-jan | 28-jan | | | | |
| | | | | 4-feb | 11-feb | 18-feb | 26-feb | 4-mrt | | | | |
| | | | | 11-mrt | 18-mrt | 27-mrt | 2-apr | 8-apr | | | | |
| | | | | 15-apr | 22-apr | 29-apr | 6-mei | 13-mei | | | | |
| | | | | 23-mei | 27-mei | 5-jun | 17-jun | 20-jun | | | | |
| | | | | 24-jun | 1-jul | 8-jul | 15-jul | 25-jul | | | | |
| | | | | 29-jul | 6-aug | 15-aug | 19-aug | 29-aug | | | | |
| | | | | 6-sep | 9-sep | 16-sep | 24-sep | 1-okt | | | | |
| | | | | 9-okt | 17-okt | 25-okt | 31-okt | 8-nov | | | | |
| | | | | 11-nov | 18-nov | 26-nov | 3-dec | 11-dec | | | | |
| | | | | 18-dec | 23-dec | 30-dec | 6-jan-03 | | | | | |
| | | | | Laagreservoir Bornestraat | RBS | 37,4 | 63 | 3-jan | 4-feb | 19-mrt | 8-apr | 7-jun |
| | | | | | | | | 10-jul | 11-sep | 9-okt | 12-nov | 2-dec |
| Hoogreservoir Almelo | TAM | 32,1 | 59 | 3-jan | 25-jan | 25-feb | 5-apr | 3-jun | | | | |
| | | | | 7-jun | 1-jul | 16-aug | 24-sep | 17-okt | | | | |
| | | | | 30-okt | 23-dec | 23-jan | | | | | | |
| Grensweg | T00008ZG | 91,3 | 139 | 3-jan | 5-apr | 22-aug | 25-sep | 3-jan-03 | | | | |
| Zeearend | B000057B | 91,3 | 95 | 3-jan | 5-apr | 1-jul | 4-okt | 3-jan-03 | | | | |
| Rombout Verhulstlaan | T00008G9 | 91,3 | 98 | 3-jan | 5-apr | 1-jul | 27-sep | 3-jan-03 | | | | |
| Ter Hooge | T00007RS | 91,3 | 134 | 3-jan | 8-apr | 20-aug | 26-sep | 3-jan-03 | | | | |
| Swaneburg | T00007FM | 91,3 | 141 | 3-jan | 8-apr | 27-aug | 26-sep | 3-jan-03 | | | | |
| Laan van Kortrijk | A00008GH | 91,3 | 137 | 3-jan | 5-apr | 20-aug | 26-sep | 3-jan-03 | | | | |
| Lelyweg | G00009DG | 91,3 | 128 | 10-jan | 16-apr | 22-aug | 18-okt | 10-jan-03 | | | | |
| Kloosterweg | G00008PM | 91,3 | 133 | 10-jan | 16-apr | 27-aug | 18-okt | 10-jan-03 | | | | |
| Doniastate | G00008RS | 91,3 | 133 | 10-jan | 16-apr | 27-aug | 14-okt | 10-jan-03 | | | | |
| Boomshoekdwarsweg | G00009OD | 91,3 | 137 | 17-jan | 3-jun | 16-aug | 22-okt | 17-jan-03 | | | | |
| Borg Rusthoven | G00008AV | 91,3 | 133 | 15-jan | 16-apr | 27-aug | 30-okt | 15-jan-03 | | | | |
| Boershuisweg | T00007I7 | 91,3 | 137 | 17-jan | 3-jun | 18-aug | 22-okt | 17-jan-03 | | | | |
| Bavinksweg | G0000A1K | 91,3 | 128 | 17-jan | 16-apr | 22-aug | 22-okt | 17-jan-03 | | | | |
| Steenweg | T0008CO | 91,3 | 142 | 25-jan | 23-apr | 12-sep | 21-nov | 25-jan-03 | | | | |
| Dahliastraat | G00009SL | 91,3 | 141 | 25-jan | 23-apr | 11-sep | 30-okt | 25-jan-03 | | | | |
| Alidastraat | B00004CV | 91,3 | 150 | 25-jan | 23-apr | 20-sep | 21-nov | 25-jan-03 | | | | |
| Spechtstrat | G00009AO | 91,3 | 140 | 25-jan | 26-apr | 13-sep | 11-nov | 25-jan-03 | | | | |
| De Kolibrie | G0000A8O | 91,3 | 142 | 5-feb | 1-mei | 20-sep | 21-nov | 5-feb-03 | | | | |
| De Vink | G000A7S | 91,3 | 142 | 5-feb | 1-mei | 20-sep | 21-nov | 5-feb-03 | | | | |
| Prinsenkampweg | T0000852 | 91,3 | 122 | 1-feb | 3-jun | 13-sep | 11-nov | 1-feb-03 | | | | |
| Rengelingstraat | B0000445 | 91,3 | 117 | 6-feb | 3-jun | 13-sep | 18-nov | 6-feb-03 | | | | |
| Sniederhof | G00008GV | 91,3 | 117 | 6-feb | 3-jun | 20-aug | 12-nov | 6-feb-03 | | | | |
| Hofstraat | T00007Y4 | 91,3 | 115 | 8-feb | 3-jun | 20-aug | 12-nov | 8-feb-03 | | | | |
| Jura | T0007LK | 91,3 | 115 | 8-feb | 3-jun | 13-sep | 21-nov | 8-feb-03 | | | | |
| Dr Sillevistaan | G00008Y1 | 91,3 | 117 | 6-feb | 3-jun | 13-sep | 18-nov | 6-feb-03 | | | | |
| Weitemansweg | T0000798 | 91,3 | 119 | 8-feb | 7-jun | 19-sep | 18-nov | 8-feb-03 | | | | |
| De Hare | T00007DE | 91,3 | 125 | 19-feb | 7-jun | 27-aug | 30-dec | 19-feb-03 | | | | |
| Zweersstraat | G00009HT | 91,3 | 109 | 19-feb | 3-jun | 20-sep | 17-dec | 19-feb-03 | | | | |
| Henk Hoftenstraat | B00003Q6 | 91,3 | 112 | 19-feb | 3-jun | 27-aug | 17-dec | 19-feb-03 | | | | |
| Haagbeuk | T00008IZ | 91,3 | 96 | 5-mrt | 7-jun | 11-sep | 2-dec | 5-mrt-03 | | | | |
| Knoefsweg | T0000787 | 91,3 | 112 | 5-mrt | 7-jun | 27-sep | 23-dec | 5-mrt-03 | | | | |
| Plesmanweg | G00008W4 | 91,3 | 98 | 5-mrt | 7-jun | 13-sep | 12-dec | 5-mrt-03 | | | | |
| Hillenraadt | A00008TT | 91,3 | 101 | 11-mrt | 14-jun | 23-sep | 3-dec | 11-mrt-03 | | | | |
| Piet Heinstraat | G00008JG | 91,3 | 103 | 11-mrt | 14-jun | 25-sep | 17-dec | 11-mrt-03 | | | | |
| De Condor | A00009YW | 91,3 | 99 | 11-mrt | 18-jun | 20-sep | 17-dec | 11-mrt-03 | | | | |
| Adriaan van Ostadestraat | G00009LM | 91,3 | 99 | 11-mrt | 18-jun | 24-sep | 17-dec | 11-mrt-03 | | | | |
| Primulastraat | A00009OD | 91,3 | 113 | 11-mrt | 2-jul | 27-sep | 23-dec | 11-mrt-03 | | | | |
| Jaques Perkstraat | G00009UT | 91,3 | 99 | 11-mrt | 18-jun | 24-sep | 17-dec | 11-mrt-03 | | | | |
| De Jager | A0000A7M | 91,3 | 99 | 26-mrt | 27-jun | 23-sep | 17-dec | 26-mrt-03 | | | | |
| Vissedijk | T00007W3 | 91,3 | 105 | 19-mrt | 2-jul | 25-sep | 17-dec | 19-mrt-03 | | | | |
| Demmersweg | G00008BF | 91,3 | 105 | 19-mrt | 2-jul | 23-sep | 23-dec | 19-mrt-03 | | | | |
| Rensumaborg | T00007A5 | 91,3 | 144 | 14-jan | 5-apr | 27-aug | 26-sep | 14-jan-03 | | | | |
| Bosrand | G00008VY | 91,3 | 143 | 23-jan | 23-apr | 13-sep | 7-nov | 23-jan-03 | | | | |
| Plantshofsweg | G00009PU | 91,3 | 103 | 11-mrt | 14-jun | 11-sep | 23-dec | 11-mrt-03 | | | | |

* De laatste datum (in 2003) is ingeschat op basis van eerdere om de laatste interval te kunnen berekenen



II Verloop *E. coli*-concentraties op detectielocaties per verontreiniging

Alle figuren zijn terug te vinden in Excel-files op het WatNet, in het discussiekanaal 'Fecale verontreinigingen'. U kunt dit discussiekanaal als volgt bereiken:

WatNet > Kennis; Waterkwaliteit & Gezondheid > Microbiologische waterkwaliteit & gezondheid > Discussiekanaal Fecale verontreinigingen.

WatNet is het extranet van de waterbedrijven en alleen toegankelijk voor aangesloten bedrijven.