

MICROBIOLOGIE EN DRINKWATERVOORZIENING: EEN EEUWIGE RELATIE

Door prof.dr.ir. D. van der Kooij



oktober 1998

MICROBIOLOGIE EN DRINKWATERVOORZIENING: EEN EEUWIGE RELATIE

*'Aangespoord door enige welgelukte voorbeelden,
heeft men de kunstwaterleidingen
vervolgens zeer vermenigvuldigd'*

Rapport aan den Koning (1868).

**Mijnheer de Rector Magnificus, geachte
toehoorders,**

Water vormt het grootste deel van ons lichaamsgewicht. Dagelijks zijn enkele liters water nodig voor aanvulling en de gemiddelde verblijftijd van het water in het lichaam kan op ongeveer een maand worden geschat. Het spreekt voor zich dat aan de kwaliteit van het drinkwater hoge eisen worden gesteld. We vinden het de gewoonste zaak ter wereld dat dergelijk water ons voortdurend ter beschikking staat. Wie realiseert zich dat de huidige samenleving zonder een dergelijke voorziening niet zou kunnen bestaan? Ik wil proberen in mijn voordracht duidelijk te maken dat betrouwbaar drinkwater geen vanzelfsprekende zaak is en dat met name op microbiologisch gebied voortdurende waakzaamheid geboden is.

Reeds voor het begin van onze jaartelling werden in ons land plaatselijk maatregelen genomen om de voorziening van goed drinkwater veilig te stellen. Hiervan getuigen onder meer de in het duingebied aangetroffen waterputten uit de Keltische periode. De Romeinen maakten een begin met de aanleg van (loden) waterleidingen, maar met hun vertrek omstreeks 400 na Christus verdween ook de waterleidingstechniek. De sterke bevol-

kingstoename in de steden in de 17e en 18e eeuw leidde tot steeds meer aandacht voor de voorziening van drinkwater. In 1853, meer dan 1400 jaar na het vertrek van de Romeinen, werd in Amsterdam de eerste drinkwaterleiding van ons land, aangelegd. Ruim 100 jaar later, vanaf omstreeks 1970, was meer dan 99% van de bevolking van Nederland aangesloten op een drinkwaterleiding. De consument heeft veel vertrouwen in de kwaliteit van het drinkwater. Uit publicaties van de Consumentenbond blijkt bovendien dat de consument de smaak van het drinkwater zeer waardeert. Deze drinkwatervoorziening, die ook voorziet in water voor lichaamshygiene en ander huishoudelijk gebruik, kost per gemiddeld gezin f 200,- à f 500,- per jaar. Deze kosten zijn laag in vergelijking met de overige kosten voor levensonderhoud, de aanschaf en onderhoud van een auto, of toepasselijker: een levensverzekering.

De goede kwaliteit van het drinkwater en de grote leveringszekerheid zijn met name het gevolg van een lange reeks ontwikkelingen op wetenschappelijk en technisch gebied. De microbiologie heeft hierbij een grote rol gespeeld. In deze voordracht zal ik de ontwikkeling van de drinkwatervoorziening in Nederland schetsen in relatie met de vorderingen die op microbiologisch gebied werden gemaakt. Tenslotte zal ik proberen aan te geven in welke richting het microbiologisch onderzoek voor de drinkwatervoorziening zich zal voortzetten. Om deze ontwikkelingen op een overzichtelijke wijze weer te geven heb ik de te beschouwen periode verdeeld in de volgende tijdvakken:

- de tijd voor 1900, met een accent op de ontwikkelingen na 1831;

- van 1900 tot omstreeks 1945;
- van 1945 tot 1975;
- van 1975 tot heden;
- en tenslotte: de komende 10 jaar.

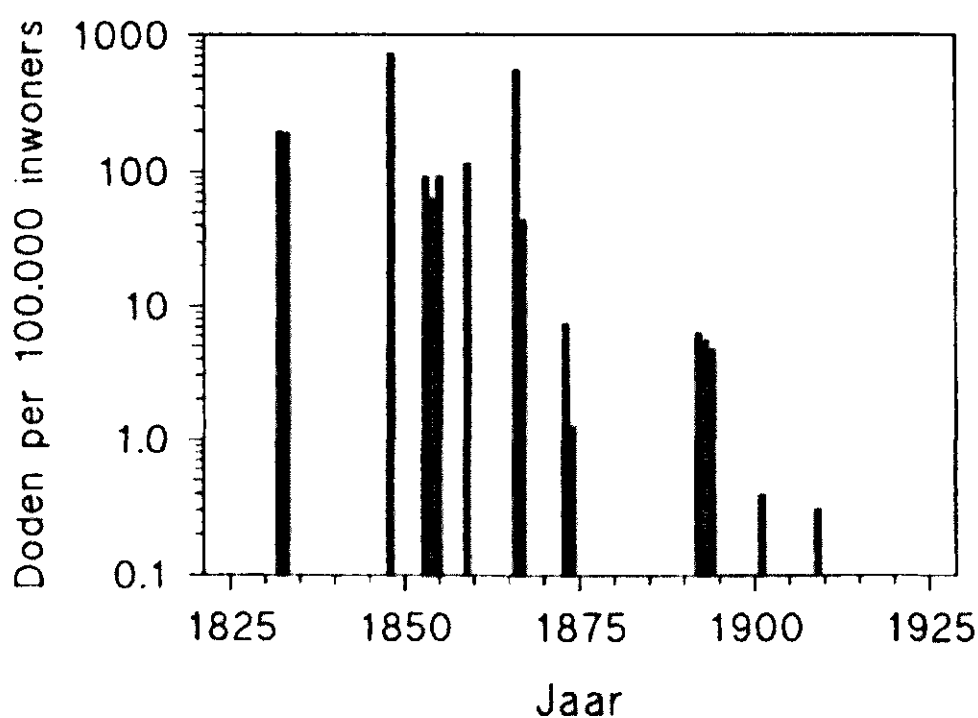
In de mij gegeven tijdsduur kan ik slechts een vereenvoudigde voorstelling geven van de ontwikkeling van de drinkwatervoorziening en de microbiologie. Ik hoop dat niemand die bij deze ontwikkelingen betrokken was of is zich te kort gedaan zal voelen.

De periode vóór 1900

Drinkwatervoorziening: eerst de steden

In de tijd dat er nog geen waterleidingen waren werd in de behoefte aan drinkwater voorzien met behulp van handpompen en regenwaterputten en het gebruik van oppervlaktewater uit kanalen, vaarten, rivieren en meren. Het aantal inwoners in Nederland nam in de 17e en 18e eeuw steeds meer toe en bereikte eind 18e eeuw een aantal van ruim 2 miljoen personen. Vooral in de steden groeide de behoefte aan voorzieningen voor goed drinkwater en de afvoer van afval. Bij een bezoek aan Amsterdam in 1811 droeg Napoleon het stadsbestuur op zorg te dragen voor een goede drinkwatervoorziening door middel van waterleidingen. Een commissie van deskundigen werd ingesteld en ging voortvarend te werk met het maken van plannen. In 1815 werd Napoleon bij Waterloo verslagen en de plannen van deze commissie werden niet uitgevoerd. In dezelfde periode begon de verspreiding van cholera vanuit de delta van de Ganges, het huidige Bangla Desh. De ziekte bereikte Rusland in

1830 en verspreidde zich vervolgens naar Europa in een wereldwijde epidemie (pandemie). Medio 1832 werden in Nederland de eerste gevallen waargenomen in Scheveningen. In de jaren 1832/33 stierven in Nederland op een bevolking van circa 3 miljoen personen meer dan 10.000 mensen aan de cholera. Een volgende epidemie maakte in 1848/49 zelfs meer dan 20.000 slachtoffers. In de jaren 1853, 1854, 1855, 1859 en 1866 brak telkens opnieuw cholera uit (Figuur 1). Wij kunnen ons in de huidige samenleving geen voorstelling maken van de maatschappelijke gevolgen van deze epidemieën. Voor een beschrijving van deze gevolgen kan ik verwijzen naar het boek 'Utrecht en de cholera', geschreven door P.D. 't Hart (1990).



Figuur 1. Frequentie van sterfte door cholera in de 19e eeuw in Nederland. (Bronnen: CBS; 't Hart, 1990).

Over de oorzaak van de cholera en andere ziekten zoals buiktyfus en tuberculose woedden in het midden van de vorige eeuw talloze discussies. Men geloofde dat ziekte door kwade dampen (miasmen) en contacten werd overgebracht. In 1849 ontdekte John Snow, een arts die werkzaam was in Londen, dat veel van de gebruikers van de waterpomp aan de Broadstreet in Londen overleden aan cholera. Afsluiten van de pomp leidde tot een sterke afname van het aantal ziektegevallen. Het zou nog lang duren voordat de conclusie dat verontreinigd water cholera overbracht algemeen werd aanvaard. Wel drong geleidelijk aan het besef door dat hygiëne belangrijk was.

In 1866 brak voor de zesde maal een cholera-epidemie uit en op 16 juli 1866 werd op Koninklijk Besluit een commissie 'Tot onderzoek van drinkwater' ingesteld. Deze commissie kreeg als opdracht het verband te onderzoeken tussen de kwaliteit van het drinkwater en het optreden van cholera. Tevens kreeg deze commissie de opdracht om aanbevelingen te doen over de rol van de overheid op het gebied van de drinkwatervoorziening. Het rapport liet aan duidelijkheid niets te wensen over. Op basis van vele gegevens werd geconcludeerd 'drinkwater verspreidt alleen cholera rechtstreeks wanneer het is vermengd met uitwerpselen van choleralijders'. In dit rapport werd zelfs het begrip 'cholera-kiem' gehanteerd, dus lang voordat duidelijk was dat een micro-organisme de ziekte veroorzaakte. De commissie constateerde tevens dat zorg moest worden gedragen voor drinkwatervoorzieningen door middel van kunstwaterleidingen, aan te leggen door particulieren of door gemeenten. Wettelijk toezicht op de kwaliteit van dit drinkwater achtte de commissie van groot belang tegen de verlei-

ding om water van mindere kwaliteit te distribueren. Binnen een tiental jaren werden waterleidingbedrijven opgericht in Den Haag (1874), Rotterdam (1874) en Leiden (1878). Daarna volgen vele andere steden waaronder Nijmegen (1879), Groningen (1881), Dordrecht (1882), Utrecht (1883), Gouda (1883), Arnhem (1885) etc. Door het ontbreken van voldoende zoet grondwater/schoon oppervlaktewater werden in het westen van het land relatief veel duinwaterleidingen ingericht. Omstreeks 1900 waren er in totaal ongeveer 60 waterleidingbedrijven met een totale drinkwaterproductie van 63 miljoen m³ en was circa 35 % van de bevolking hierop aangesloten. Voor het einde van de 19e eeuw bereikte de cholera Nederland nog enkele malen. Het aantal slachtoffers bleef beperkt tot enkele honderden.

In totaal eiste de cholera in Nederland in de 19e eeuw meer dan 65.000 slachtoffers. Het aantal gevallen van buiktyfus in deze periode wordt op enkele tienduizenden geschat. Cholera is nog steeds een zeer gevreesde ziekte. Een 7e pandemie bereikte in 1991 Zuid-Amerika. Tussen 1991 en 1995 waren er meer dan een miljoen gevallen van cholera in Zuid-Amerika, met ruim 10.000 doden. In Nederland wordt tegenwoordig nog slechts zeer incidenteel een geval van cholera waargenomen. In dergelijke gevallen betreft het personen die deze ziekte in het buitenland hebben opgedaan.

Microbiologie: een indrukwekkend begin

Zelfs in het buitenland wordt aangenomen dat Antoni van Leeuwenhoek de eerste was die (in 1676) micro-organismen, waaronder bacteriën, zag en beschreef. Pas in de 19e eeuw werden wezenlijke vorderingen op het

gebied van de microbiologie gemaakt. Bederf van voedsel, gistingsprocessen voor de bereiding van alcohol en besmettelijke ziekten vormden belangrijke redenen voor onderzoek. De microscoop, die sinds Van Leeuwenhoek aanzienlijk was verbeterd, speelde hierbij een belangrijke rol. In 1867 weerlegde Louis Pasteur met een overtuigend experiment de opvatting dat leven spontaan uit dode materie kan ontstaan. Tien jaar later (1877) leverde Robert Koch het bewijs dat micro-organismen ziekte kunnen veroorzaken. Isolatie van de veroorzakers van buiktyfus (Eberth, 1880) en cholera (Koch, 1884) volgden snel daarna. In 1881 ontwikkelde Koch een werkwijze om bacteriën te kweken door gebruik te maken van een vaste voedingsbodem. Deze eenvoudige, maar revolutionaire werkwijze werd vrijwel direct algemeen toegepast voor onderzoek van (drink)water en de drinkwatermicrobiologie was geboren. Een stormachtige ontwikkeling volgde. Al in 1883 verschenen in Duitsland publicaties over aantallen bacteriën die met de door Koch ontwikkelde werkwijze waren bepaald in allerlei watertypen. In Engeland werden de eerste metingen door Frankland verricht in 1885. Uit de dissertatie van Van der Sleen die onderzoek deed naar de aanwezigheid van bacteriën in het drinkwater van Amsterdam kan worden opgemaakt dat de methode van Koch in Nederland in ieder geval in 1890 en mogelijk enkele jaren eerder zijn intrede deed. Overigens blijkt uit een publicatie van Hugo de Vries dat in die tijd ook microscopisch onderzoek werd uitgevoerd als daartoe aanleiding bestond.

Toepassing van de vaste voedingsbodem leverde gegevens op over de invloed van vervuiling van het water op de aantallen bacteriën. Ook de invloed van de zuivering

(meestal een langzame filtratie door een zandlaag) werd aangetoond, evenals de effecten van doseringen van chemicaliën. Het isoleren en bestuderen van bacteriën werd eveneens gemakkelijker. In 1884 lukte het Koch om de veroorzaker van cholera te isoleren. Escherich beschreef in 1885 een bacterie die in grote aantallen voorkomt in de feces van gezonde mensen. Dit organisme, *Bacterium coli communis*, zou later onder de naam *Escherichia coli* een bijzondere plaats innemen bij de beoordeling van de drinkwaterkwaliteit.

In 1894 verscheen in Engeland het door de 'Franklands' geschreven boek 'Micro-organisms in water' met een indrukwekkende hoeveelheid informatie over de toenmalige stand van de kennis op het gebied van de drinkwatermicrobiologie. Belangrijke bevindingen waren:

- het aantal bacteriën in water is een maat voor de verontreinigingsgraad; in schoon water van zeeën, meren en in grondwater is het aantal bacteriën lager dan 100/ml;
- een goed functionerend langzaam zandfilter verlaagt het aantal bacteriën met meer dan 90% tot waarden beneden 100/ml;
- bacteriën zijn belangrijke verwekkers van ziekte, maar lang niet alle bacteriën kunnen ziekte veroorzaken;
- de veroorzaker van cholera overleeft kort in water; de veroorzaker van buiktyfus kan zich veel langer handhaven.

Duidelijk is dat de microbiologie van de drinkwatervoorziening zich met name in het buitenland (Duitsland, Frankrijk, Engeland) snel ontwikkelde. Binnen 20 jaar na de ontdekkingen van Koch en Pasteur was de basis

gelegd voor de microbiologische beoordeling van drinkwater. Tevens was er informatie over de effecten van diverse zuiveringsprocessen op het aantal bacteriën in water.

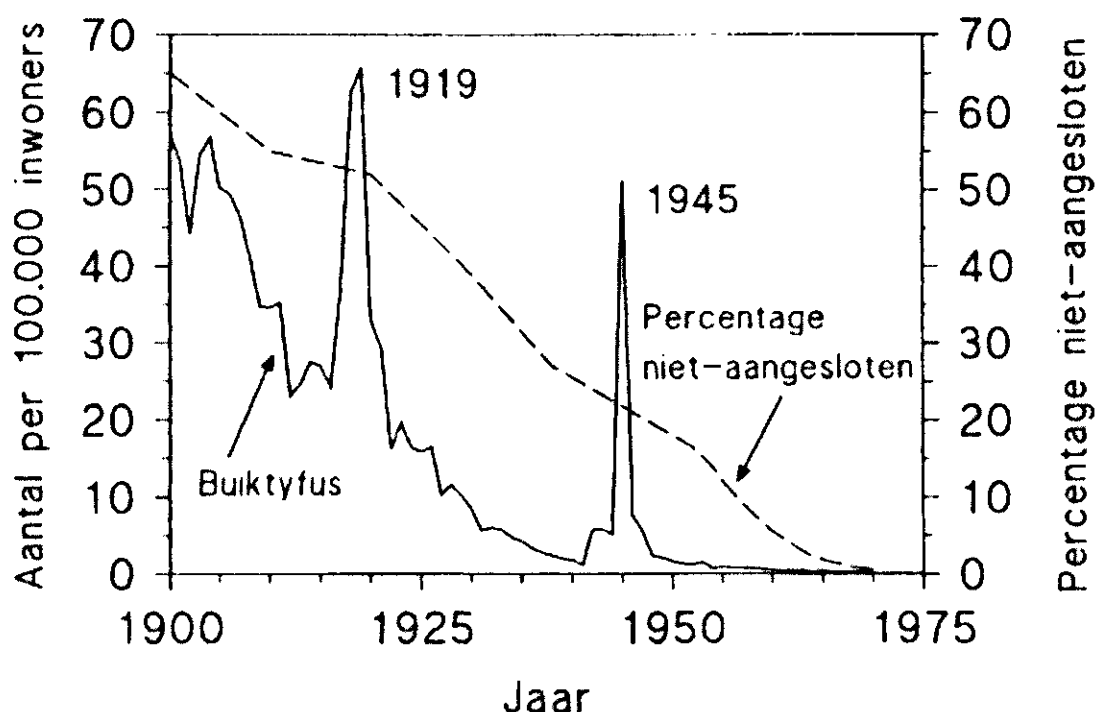
De periode van 1900 tot 1945

Drinkwatervoorziening: ook op het platteland

In de eerste helft van de 20e eeuw nam het aantal inwoners van Nederland toe van 5 tot bijna 10 miljoen. Een groot aantal waterleidingbedrijven werd opgericht.

Voorop het platteland. De hoeveelheid drinkwater die jaarlijks werd geproduceerd steeg naar ongeveer 300 miljoen m³. In 1945 waren er ongeveer 220 waterleidingbedrijven en was ongeveer 3/4 van de bevolking aangesloten op een drinkwaterleiding.

De invloed van deze ontwikkeling op de volksgezondheid blijkt duidelijk uit de afname van het aantal gevallen van buiktyfus. In het midden van de 19e eeuw bedroeg de frequentie van buiktyfus in ons land ongeveer 100 gevallen per 100.000 inwoners per jaar. In het begin van de 20e eeuw werd op tal van plaatsen nog buiktyfus waargenomen, maar de frequentie, die aanvankelijk 55 per 100.000 inwoners per jaar bedroeg, daalde sterk naarmate een groter deel van de bevolking van goed drinkwater werd voorzien (Figuur 2). De gevallen van buiktyfus die thans nog in Nederland worden waargenomen (ongeveer 70/jaar) zijn voornamelijk een gevolg van een verblijf in het buitenland.



Figuur 2. Frequentie van buiktyfus en het percentage inwoners niet aangesloten op een drinkwaterleiding in de periode 1900 tot 1970. (Bronnen: CBS; VEWIN).

De toenemende productie van drinkwater leidde op technisch vlak echter tot problemen. De winning van water uit het duin veroorzaakte een verlaging van het waterpeil. Diep duinwater werd gewonnen maar steeds duidelijker werd dat deze winning op den duur niet aan de stijgende vraag naar drinkwater zou kunnen voldoen. Voorstellen werden ontwikkeld om in het westen van het land meer gebruik te gaan maken van oppervlaktewater voor de drinkwaterbereiding.

De zuivering van oppervlaktewater berustte vrijwel geheel op de toepassing van een langzame filtratie door een zandbed. De beperkingen van deze techniek werden echter steeds duidelijker. Bacteriologisch onderzoek dat vanaf het begin van de 20 eeuw steeds meer werd toegepast toonde aan dat een dergelijke zuivering niet altijd het gewenste resultaat opleverde. Met name bij lage

watertemperaturen was de kwaliteit van het filtraat vaak onvoldoende. Eén van de oorzaken was de toenemende verontreiniging van het oppervlaktewater. Deze verontreiniging ging ook gepaard met de aanwezigheid van allerlei verbindingen, waaronder fenolen, die de smaak van het water beïnvloedden. Verstopping van het filter als gevolg van algengroei of door deeltjes maakte het moeilijk om de productie op te voeren. Als voorbehandeling werden steeds vaker bezinking en/of een snelle filtratie toegepast. Ook werd vanaf 1930 een nabehandeling met chloor gebruikelijk. Duidelijk werd dat de biologische zuivering niet langer in staat was om een goede kwaliteit drinkwater te produceren.

In 1938 ging de Leidsche Duinwaterleiding over tot overdekken van de langzame zandfilters. Deze maatregel bleek gunstig voor het verhogen van de capaciteit van de langzame zandfilters. Kennelijk woedden heftige discussies over deze maatregel want in 1942 verscheen een aantal publicaties over dit onderwerp. De meningen waren verdeeld. Leiden had gunstige ervaringen, Amsterdam was voor en Rotterdam tegen. De Wageningse hoogleraar Smit was evenmin voorstander. Hij hechtte veel belang aan de bacteriedodende invloed van het zonlicht. Inmiddels zijn in ons land alle nog bestaande langzame zandfilters overdekt. In Londen daarentegen zijn de langzame zandfilters 150 jaar na de introductie nog steeds 'open'.

In de tweede wereldoorlog kwamen de ontwikkelingen rond de drinkwatervoorziening vrijwel stil te liggen.

Microbiologie: opbouw van het routinematige onderzoek

Al in het begin van deze eeuw, in 1904, verscheen een opmerkelijke publicatie van Eijkman over de beoordeling van de microbiologische kwaliteit van het drinkwater. Eijkman had reeds baanbrekend werk verricht naar de rol van vitamine bij de ziekte berri-berri, waarvoor hij in 1928 de Nobelprijs kreeg. Zijn werkwijze voor het aantonen van fecale besmetting van drinkwater berustte op een incubatie van het water met medium bij 46°C. Deze werkwijze bleef met enige aanpassingen tot in onze tijd gehandhaafd.

Tot 1945 verschenen in totaal ongeveer 125 publicaties over de microbiologie van de drinkwatervoorziening in Nederland. Toonaangevende onderzoekers in deze periode waren met name J.A. Heymann, C.A.H. von Wolzogen Kühr en T. Folpmers, maar ook anderen waaronder J. Smit, W.C. de Graaff, L.H. Louwe Kooijmans, J. Kooijmans, en K.W.H. Leeftang publiceerden over microbiologische onderwerpen. De belangrijkste onderwerpen waarover werd gepubliceerd waren:

- de beoordeling van de microbiologische kwaliteit van het drinkwater, en
- de werking van biologische processen in filters.

Heymann, die sinds 1920 werkzaam was bij Gemeentewaterleidingen van Amsterdam, publiceerde in 1924 over de werking van de biologische zandfiltratie. In 1928 verscheen van zijn hand een publicatie over een werkwijze voor het bepalen van het gehalte aan groeibevorderende organische stof in (drink)water. In totaal schreef hij tot 1935 een zevental publicaties over de microbiologische aspecten van de drinkwatervoorziening.

Von Wolzogen Kühr, die van 1921-1928 werkzaam was bij Gemeentewaterleidingen Amsterdam en vervolgens tot 1951 bij het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland (PWN), toonde in 1923 aan dat sulfaat-reducerende bacteriën de corrosie van ijzer in afwezigheid van zuurstof versterken. Dit onderzoek leverde hem internationale bekendheid op. Hij beschreef uitvoerig de bacterie *Pseudomonas fermentans* die in grote aantallen bleek voor te komen in muggelarven in de langzame zandfilters te Leiduin. Deze bacteriën verstoorden de bepaling van de bacteriologische betrouwbaarheid van het drinkwater. Veel later bleek dat *Pseudomonas fermentans* identiek is aan *Aeromonas*. Kühr schreef in totaal een twintigtal publicaties op het gebied van de drinkwatervoorziening.

Folpmers gaf van 1927 tot 1951 als scheikundige-bacterioloog leiding aan het onderzoek bij de Drinkwaterleiding van de gemeente Rotterdam. Hij verbeterde de werkwijze voor de bepaling van het aantal colibacteriën in water. Tevens publiceerde hij over nitrificatie, de omzetting van fenolen in zandfilters en over de verwijdering van bacteriën bij zandfiltratie.

Genoemde personen waren opgeleid door Beijerinck die in 1895 tot hoogleraar in de microbiologie was benoemd aan de toenmalige Technische Hogeschool te Delft.

In de periode van 1900 tot 1945 verscheen tevens een tiental proefschriften over het gedrag in het milieu en over de biochemische eigenschappen van de bacteriën van de coligroep en van ziekteverwekkende bacteriën afkomstig uit het maagdarmkanaal. De publicatie van

Kluijver, de opvolger van Beijerinck, over de eenheid in de biochemische omzettingen is mede gebaseerd op deze onderzoeken.

1945-1975

Drinkwatervoorziening: uitbreiding van de productie

In de periode 1945-1975 nam de bevolking met bijna 4,5 miljoen personen toe tot 13,6 miljoen. De productie van drinkwater verdrievoudigde tot een miljard m³/jaar. Het aantal waterleidingbedrijven daalde met 50% als gevolg van fusies. Vanaf omstreeks 1970 is meer dan 99% van de bevolking aangesloten op een centrale drinkwatervoorziening. Het huishoudelijke verbruik bedroeg in 1970 ongeveer 120 liter drinkwater per hoofd per dag.

Na de Tweede Wereldoorlog moest veel schade worden hersteld. De sterke bevolkingsgroei leidde vervolgens tot een sterke toename van de vraag naar goed drinkwater. De productiecapaciteit moest worden uitgebreid, maar ook de problemen die zich voor de 2e Wereldoorlog al aandienden, namelijk uitputting van de watervoorraad in de duinen en de toenemende verontreiniging van het oppervlaktewater, moesten worden opgelost. In 1946 bracht een aantal deskundigen op het gebied van de drinkwatervoorziening een bezoek aan de Verenigde Staten om zich te oriënteren op de daar gehanteerde technieken. Dit bezoek maakte grote indruk. In de Verenigde Staten werd het drinkwater bereid door een combinatie van fysisch-chemische processen, waarbij desinfectie met chloor een belangrijke plaats innam. Met deze wijze van behandelen kon een grote hoeveelheid

water met een compacte zuivering worden bereid. Dit was van belang vanwege het in verhouding tot de situatie in Nederland zeer hoge hoofdelijke verbruik van drinkwater in de VS. Sommigen zagen in deze aanpak voordelen voor Nederland. Anderen zoals Biemond, de toenmalige directeur van Gemeentewaterleidingen Amsterdam, Krul in zijn inaugurele rede 'Onderzoek en Fantasie', en Smit in zijn toespraak ter gelegenheid van het 50-jarige bestaan van de VWN waarschuwden tegen het eenzijdig gebruik van chloor en pleitten voor een wezenlijke rol van biologische processen bij de zuivering. Deze pleidooien waren kennelijk overtuigend want de biologische processen nemen bij de drinkwaterbereiding in Nederland nog steeds een belangrijke plaats in. Onderzoek werd verricht naar de effecten van bodempassage en van opslag van rivierwater in spaarbekkens op de waterkwaliteit. Mede gebaseerd op deze onderzoeken werd de infiltratie van rivierwater in de duinen gerealiseerd, ondermeer te Scheveningen (in 1955) en te Leiduin (1957). Ook werden productiebedrijven ingericht met zuiveringen gebaseerd op opslag van water in een spaarbekken gevolgd door een combinatie van fysisch-chemische processen en toepassing van chloor. Voorbeelden hiervan zijn Berenplaat (1966), Andijk (1968) en Baanhoek (1968). In 1973 werden de spaarbekkens van de Brabantse Biesbosch in gebruik genomen. Nieuwe problemen dienden zich echter aan. De aanwezigheid van endosulfan in de Rijn in 1968 toonde aan dat ook ernstig rekening moest worden gehouden met de aanwezigheid van moeilijk te verwijderen giftige stoffen. Deze ervaring leidde tot discussies over nieuwe zuiveringsconcepten met toepassing van actieve kool en ozon. Ook groeide de behoefte aan analytisch-chemische

werkwijzen voor het opsporen van verontreinigingen in water. Introductie van dergelijke methoden leidde vervolgens in 1974 tot de ontdekking dat toepassing van chloor in de zuivering gepaard ging met de vorming van organochloorverbindingen.

Microbiologie: biologische processen en nieuwe problemen

In de periode 1945-1975 verschenen ongeveer 50 publicaties over de microbiologische aspecten van de drinkwatervoorziening. Deze publicaties handelden vooral over de biologische processen in spaarbekkens, bij bodempassage en in zandfilters. Ook werd onderzoek verricht aan biologische processen bij de behandeling van grondwater. In 1949 en 1950 verschenen enkele publicaties over droogfiltratie, een proces waarbij water over het filterbed wordt gespreid. Tevens werd gestudeerd op de verbetering van de nitrificatie. In 1956 maakte Kauffmann (IWGL) melding van een onverklaarbaar zuurstofverbruik in de filters van pompstation Spannenburg. Ongeveer 20 jaar later zou uit onderzoek van Van Ammers blijken dat dit zuurstofverbruik werd veroorzaakt door microbiologische omzetting van methaan in deze filters.

Naar aanleiding van een andere waarneming van Kauffmann in 1949 werd begonnen met een onderzoek naar de oorzaken van de aantasting van rubberen ringen in buiskoppelingen. Rook, toen nog assistent van professor Kluyver bij de TU Delft, toonde aan dat een bepaalde *Streptomyces* soort, een bacterietype dat veel in de bodem voorkomt, in staat was ge vulcaniseerde rubber af te breken. Tussen 1955 en 1960 verrichtte Lee flank een uitvoerig onderzoek naar de omvang van de aantasting

van rubberen ringen. De resultaten van dit onderzoek kregen veel internationale aandacht.

Problemen met borstelwormen en de groei van micro-organismen in het drinkwater hadden tot gevolg dat in 1964 de Biologische Studiecommissie werd geïnstalleerd. De behoefte aan microbiologisch onderzoek nam toe toen bleek dat toepassing van actieve koolfilters gepaard ging met een toename van het aantal micro-organismen. In 1970 toonde Snoek aan dat ozonisatie leidde tot een vermeerdering van bacteriën in het behandelde water. In 1971 vroeg de Biologische Studiecommissie een bedrag van f 100.000,- voor onderzoek gericht op de ontwikkeling van een werkwijze voor het bepalen van het gehalte aan groeibevorderende verbindingen in drinkwater. Deze situatie heeft geleid tot mijn aanstelling bij Kiwa en ik kan u verzekeren dat die f 100.000 ruimschoots is opgegaan. Op dit onderwerp kom ik later terug.

De toenemende verontreiniging van het oppervlaktewater leidde tot discussies over de betekenis van de aanwezigheid van virussen. Tevens rezen er problemen door de groei van cyanobacteriën (blauwwieren) die smaakstoffen en toxines kunnen produceren. In de zomer van 1970 werden in oppervlaktewater plaatselijk veel dode watervogels aangetroffen, met name in situaties waar sprake was van koelwaterlozingen. Sterfte van watervogels verspreidde zich ook naar plaatsen waar water werd gewonnen voor de drinkwatervoorziening. Uit onderzoek uitgevoerd door Haagsma bij het Centraal Diergeneeskundig Instituut bleek dat de opname van het botulinum toxine gevormd door de bacterie *Clostridium*

botulinum verantwoordelijk was voor deze sterfte. De vraag rees wat de betekenis was van deze micro-organismen voor de drinkwaterbereiding. De ontdekking van Rook in 1974 dat toepassing van chloor gepaard ging met de vorming van giftige organochloorverbindingen maakte een herbezinning op het gebruik van chloor in de zuivering noodzakelijk. Kortom, de microbiologische problemen dienden zich in hoog tempo aan.

De periode 1975-heden

Drinkwaterbereiding: uitbreiding van het zuiveringsproces

In de periode 1975-heden is de bevolking toegenomen met circa 2,5 miljoen personen tot ongeveer 16 miljoen. Na 1975 steeg de vraag naar drinkwater aanvankelijk langzaam en na een tijdelijk sterkere toename bedraagt de totale productie van drinkwater sinds 1989 circa 1200 miljoen m³/jaar ondanks de toename van de bevolking. Waterbesparende maatregelen en technieken hebben kennelijk effect.

De periode staat vooral in het teken van het verwijderen van persistente organische verbindingen. De strengere eisen voor de waterkwaliteit, zoals vastgelegd in het Herziene Waterleidingbesluit (1984) op basis van Europese regelgeving (1980), speelden hierbij een belangrijke rol. Ook werd minimalisering van het chloorgebruik nagestreefd om de vorming van organochloorverbindingen te beperken. Enkele waterleidingbedrijven, waaronder Gemeentewaterleidingen Amsterdam, beëindigen het doseren van chloor aan het drinkwater waar-

door de smaak van het water verbeterde. Filtratie door actieve kool al dan niet in combinatie met ozonisatie bleek bijzonder effectief voor de verwijdering van bestrijdingsmiddelen. Op veel plaatsen, waaronder Andijk (1976), Kralingen (1977) werden koolfilters in de zuivering opgenomen. Later volgen onder meer Berenplaat (1987), Weesperkarspel (1992) en Leiduin (1995). Ook ontharding werd steeds meer toegepast en het zuiveringsproces werd steeds ingewikkelder. Begin 90er jaren bleek dat ozonisatie kan leiden tot de vorming van bromaat, een kankerverwekkende verbinding. Deze ontdekking vormde een extra stimulans voor onderzoek naar de mogelijkheden om drinkwater te bereiden met behulp van membraanfiltratie. Productiebedrijf Heemskerk van PWN zal als eerste full-scale praktijkinstallatie met membraanfiltratie operationeel worden in 1999.

'Lekkerkerk' maakte in 1980 duidelijk dat ook de bodem in Nederland op een aantal plaatsen sterk was verontreinigd. Steeds vaker werden oplosmiddelen en bestrijdingsmiddelen aangetroffen in grondwater dat werd gebruikt voor de drinkwaterbereiding. Op enkele winplaatsen overschreed ook de concentratie van nitraat het maximum toelaatbare niveau. Maatregelen werden genomen om deze verbinding te verwijderen. Verzuring en verdroging vormden nieuwe problemen voor de bereiding van drinkwater uit grondwater en het gebruik van oppervlaktewater in plaats van grondwater werd gestimuleerd.

Microbiologie: nieuwe methoden en nieuwe problemen
De problemen op microbiologisch gebied vormden een

sterke stimulans voor onderzoek. Dit onderzoek werd uitgevoerd bij de waterleidingbedrijven, het toenmalige Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (RID) dat later opging in het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) en bij Kiwa. Werkwijzen kwamen beschikbaar voor het aantonen van virussen in water, voor het bepalen van bacteriofagen, het aantonen van mutagene verbindingen met behulp van bacteriën, de zogenaamde Ames-test, en voor het bepalen van het gehalte aan groeibevorderende verbindingen in drinkwater. Toepassing van deze methoden in de praktijk en in proefinstallaties droeg in belangrijke mate bij aan de optimalisatie van de waterbehandeling.

Er dienden zich echter ook nieuwe microbiologische problemen aan. In 1976 brak in Philadelphia (Verenigde Staten) een geheimzinnige ziekte uit onder deelnemers aan een congres voor veteranen. Deze ziekte, de zogenaamde veteranenziekte, bleek te worden veroorzaakt door een tot dan toe onbekende bacteriesoort die de naam *Legionella* kreeg. In 1980 werden in Engeland *Legionella*-bacteriën geïsoleerd uit systemen voor warmtapwater, nadat was gebleken dat gebruikers van dit water ziek werden. In Nederland zijn sindsdien honderden gevallen van de veteranenziekte waargenomen. In 1986 bracht de Gezondheidsraad een advies uit over het beperken van de groei van *Legionella*-bacteriën in warmtapwater door verhogen van de watertemperatuur tot boven 60 °C. Incidenteel worden nog steeds gevallen van legionellose met dodelijke afloop gemeld. Ook andere schadelijke bacteriën, waaronder *Mycobacterium* soorten, bleken in staat te groeien in waterleidingen in gebouwen. Een besmetting met dergelijke bacteriën kan

vooral voor personen met een verminderde weerstand, waaronder AIDS-patiënten, ernstige gevolgen hebben.

Mede naar aanleiding van berichten uit het buitenland ontstond in 1984 een discussie over de hygiënische betekenis van de aanwezigheid van *Aeromonas* bacteriën in het drinkwater. Uit een landelijk onderzoek kwam naar voren dat de hoogste aantallen van deze bacteriën werden aangetroffen in drinkwater bereid uit zuurstofloos grondwater. Verbetering van de verwijdering van methaan bleek de groei van *Aeromonas* bacteriën in de filters en in het leidingnet te beperken.

Ook uit klachten over de aanwezigheid van dierlijke organismen in distributiesystemen bleek dat drinkwater bereid uit grondwater in biologische opzicht niet altijd perfect is. Deze klachten leidden in 1988 zelfs tot vragen in de Tweede Kamer. Een Landelijk Onderzoek, uitgevoerd onder leiding van Hein van Lieverloo heeft inmiddels een duidelijk beeld opgeleverd van de aanwezigheid van deze organismen in de distributiesystemen en van de factoren die hiervoor verantwoordelijk zijn.

Eind jaren 80 kwamen er alarmerende berichten uit de Verenigde Staten en uit Engeland over uitbraken van ziekte veroorzaakt door een micro-organisme waarvan nog niet bekend was dat het via het drinkwater werd verspreid. Besmetting met dit organisme, een protozo met de naam *Cryptosporidium*, veroorzaakt diarree en is dodelijk voor AIDS-patiënten. In 1993 veroorzaakte de aanwezigheid van *Cryptosporidium* in het drinkwater in Milwaukee in de V.S. een epidemie van meer dan 400.000 personen. Enkele tientallen mensen overleden. *Cryptosporidium* bleek buitengewoon resistent tegen

chemische desinfectiemiddelen. In wat mindere mate is dit tevens het geval voor de protozo *Giardia*. Een geheel nieuwe aanpak voor de beoordeling van de hygiënische betrouwbaarheid van het drinkwater werd ontwikkeld. Ook in Nederland zijn *Cryptosporidium* en *Giardia* in het oppervlaktewater aangetoond. Het ziet er naar uit dat de vele barrières in de zuivering een afdoende verwijdering bewerkstelligen, maar over belasting en zuiveringscapaciteit is nog veel onduidelijk.

In de periode na 1975 is in Nederland veel onderzoek op microbiologisch gebied uitgevoerd. Vanaf 1975 tot heden zijn meer dan 150 publicaties verschenen, d.w.z. een ruim 4 x hogere frequentie dan in de voorafgaande periode. Onderwerpen waarover de meeste publicaties verschenen zijn:

- (het beperken van) de vermeerdering van micro-organismen in systemen voor transport en distributie en
- het aantonen van ziekteverwekkende micro-organismen, en het verwijderen van deze organismen in de zuivering.

Met deze publicaties komt het totale aantal over een periode van meer dan 100 jaar microbiologisch onderzoek voor de drinkwatervoorziening in Nederland op ongeveer 350. Hier wil ik het overzicht van de ontwikkelingen op het gebied van de drinkwatervoorziening in Nederland beëindigen en terug gaan naar de microbiologie. Ik zal er 2 hoofdthema's uitlichten, nl. de beoordeling van de microbiologische kwaliteit van het drinkwater en de betekenis van biologische processen bij de winning, bereiding en distributie van drinkwater. Mede

op basis van de ontwikkelingen tot nu toe zal de richting van het toekomstige onderzoek worden aangegeven.

Ontwikkelingen op microbiologisch gebied

De beoordeling van de microbiologische kwaliteit van het drinkwater

Zoals is gemeld werd reeds eind vorige eeuw in het buitenland de basis gelegd voor de beoordeling van de microbiologische kwaliteit van het drinkwater. Deze beoordeling berustte op het koloniegetal en op onderzoek naar bacteriën die indicatief zijn voor fecale verontreiniging van het water. De door Eijkman in 1904 ontwikkelde werkwijze werd toegepast maar tientallen jaren lang werd gediscussieerd over de betekenis van bacteriën van de coligroep waarvan de fecale herkomst lang niet altijd duidelijk is. Ook de standaardisatie van de werkwijzen en het definiëren van kwaliteitseisen vorderden langzaam. In 1934 beschreven Meerburg en Massink de methoden voor microbiologisch onderzoek van drinkwater. Landelijk geaccepteerde gestandaardiseerde werkwijzen werden voor het eerst gepubliceerd in 1942 en in herziene vorm in 1956. Deze normbladen bevatten ook beoordelingscriteria voor het drinkwater. In het Waterleidingbesluit van 1984 kregen dergelijke criteria een wettelijke basis. In de periode 1975-1985 zijn vrijwel alle werkwijzen verbeterd en genormaliseerd.

Nieuwe technieken worden steeds belangrijker voor de beoordeling van de microbiologische betrouwbaarheid van drinkwater. De bepaling van ziekteverwekkende virussen in water is tijdrovend. Daarom ontwikkelde dr.

Arie Havelaar in 1984 conform het begrip indicator-organisme een werkwijze voor het aantonen van een bepaalde groep bacterievirussen, de F-specifieke RNA fagen. Met deze werkwijze, die ook internationaal wordt toegepast, kan het effect van de zuivering op virussen worden bepaald. De uitbraken van cryptosporidiosis in de Verenigde Staten en in Engeland luidden een geheel nieuw tijdperk in voor de beoordeling van de hygiënische betrouwbaarheid van het drinkwater. Duidelijk werd dat de betrouwbaarheid van het drinkwater mede dient te berusten op de beoordeling van de zuivering m.b.t het vermogen om ziekteverwekkende micro-organismen te verwijderen. Op basis van een acceptabel besmettingsrisico van 1 per 10.000 personen per jaar en de relatie tussen de mate van blootstelling en de kans op infectie kan de maximaal toelaatbare concentratie van ziekteverwekkende micro-organismen in drinkwater worden berekend. Vervolgens kan de benodigde zuiveringscapaciteit worden vastgesteld. In Nederland zijn in de afgelopen 50 jaar geen uitbraken van besmettelijke ziekten via drinkwater waargenomen. De barrières die in de zuivering worden toegepast werken kennelijk goed. Om een goed beeld te krijgen van de betrouwbaarheid van de zuivering worden thans gegevens verzameld over de concentraties van ziekteverwekkende micro-organismen in het onbehandelde water en over de effecten van zuiveringsstappen. Helaas zijn de hierbij gehanteerde analysemethoden voor het bepalen van de protozoa nog uiterst gebrekkig. De opbrengst is laag en onduidelijk is of de aangetoonde micro-organismen levensvatbaar en ziekteverwekkend zijn.

Ik verwacht dat voortzetting van het onderzoek binnen enkele jaren tot goede detectiemethoden voor de proto-

zoa zal leiden. Toepassing van moleculair-biologische methoden zal van doorslaggevende betekenis zijn voor het verbeteren van deze detectietechnieken en voor de interpretatie van de resultaten. Binnen 10 jaar kan het beeld van de belasting van de zuivering met ziekteverwekkende micro-organismen en de mate van verwijdering van deze organismen onder praktijkomstandigheden zijn opgehelderd. Binnen dit tijdsbestek kan tevens een samenhangend en efficiënt systeem ter bewaking van het functioneren van de zuivering voor wat betreft de eliminatie van ongewenste micro-organismen worden ontwikkeld.

De microbiologische kwaliteit van het drinkwater tijdens distributie verdient eveneens aandacht. In Nederland wordt drinkwater vrijwel overal zonder restgehalte van een desinfectiemiddel gedistribueerd. Deze situatie wordt internationaal met argusogen bekeken. Het is noodzakelijk om op basis van nieuwe inzichten alle potentiële mogelijkheden van besmetting van het drinkwater in het leidingnet te analyseren en waar nodig aanvullende preventieve maatregelen te nemen. Binnen enkele jaren kan op dit gebied meer duidelijkheid worden verkregen. Een uitdaging is vervolgens om een gemoderniseerd efficiënt systeem voor de bewaking van de microbiologische kwaliteit van het drinkwater in het leidingnet op te zetten. Toepassing van snelle detectiemethoden dient hiervan deel uit te maken.

Ook als deze doelen worden bereikt blijft de vraag of de microbiologische betrouwbaarheid van het drinkwater altijd kan worden gegarandeerd. Het beschikken over verschillende watersystemen voor huishoudelijk gebruik

kan risico's met zich brengen. Verhinderd moet worden dat ongewenste bacteriën zich in dergelijke systemen vermeerderen. Toepassing van leidingmaterialen die de groei van micro-organismen niet versterken is een randvoorwaarde. Daarnaast doen zich in de strijd tegen ziekteverwekkende micro-organismen telkens onaangename verrassingen voor, zoals de ontdekking van nieuwe ziekteverwekkers, bijvoorbeeld *E. coli* serotype O156:H7 en de toenemende resistentie van allerlei micro-organismen tegen antibiotica. Er wordt vaker gebruik gemaakt van genetisch gemodificeerde micro-organismen. Voortdurende waakzaamheid is dus geboden.

(Micro)biologische processen

Biologische processen spelen een wezenlijke rol bij de bereiding van het drinkwater in Nederland. In bloemrijke taal gaven vrijwel alle microbiologen tussen 1900 en 1950 hun visie op de werking van het biologische zandfilter. Al meer dan 100 jaar is duidelijk dat langzame zandfiltratie een vergaande verwijdering van micro-organismen veroorzaakt. Het is echter geen absolute barrière en vooral in de winter kan de werking onvoldoende zijn. Een zuivering van oppervlaktewater waarbij kan worden volstaan met zandfiltratie behoort in ons land definitief tot het verleden.

Een wezenlijke functie van de biologische filtratie is het verwijderen van afbreekbare verbindingen. Tal van organische stoffen worden omgezet door micro-organismen die zich vermeerderen in het filterbed. Dit betreft zowel stoffen van industriële herkomst als ook natuurlijke verbindingen. Ook hier geldt echter dat deze processen bij een lage watertemperatuur soms onvoldoende goed func-

tioneren. Door het ontbreken van een geschikte werkwijze kon het effect van zuiveringsprocessen op het gehalte aan afbreekbare organische verbindingen in het drinkwater niet goed worden bepaald. De door Heymann in 1928 ontwikkelde bepalingmethode bleek niet te voldoen. De Biologische Studiecommissie drong daarom begin jaren 70 aan op nader onderzoek. Een nieuwe werkwijze, de AOC-bepaling, kwam eind 70-er jaren beschikbaar. Maar wat is nieuw? Pas zeer onlangs werd me duidelijk dat het principe van deze werkwijze al in 1891 door Beijerinck was beschreven. Toepassing van de AOC-bepaling en onderzoek naar eigenschappen van micro-organismen om te groeien bij lage concentraties aan afbreekbare verbindingen heeft veel informatie opgeleverd over de biologische processen in zandfilters. Bij de TU Delft is onder leiding van collega Van Dijk een model ontwikkeld dat de AOC-verwijdering bij filtratieprocessen beschrijft. Informatie over het AOC-gehalte is niet afdoende voor het voorspellen van de vermeerdering van *Aeromonas* bacteriën in drinkwater bereid uit grondwater. Daarom werd een werkwijze ontwikkeld waarmee de biofilmvormende eigenschappen van het drinkwater kunnen worden gemeten. In combinatie met de AOC-bepaling en de werkwijze voor het bepalen van de groeibevorderende eigenschappen van leidingmaterialen is nu een set gereedschappen beschikbaar voor het beoordelen van de biologische stabiliteit van drinkwater en van materialen in contact met drinkwater.

Met het beschrijven van de biologische processen en van de biologische stabiliteit zijn dus grote vorderingen gemaakt. Als gevolg van het sterk toepassingsgerichte

karakter van het uitgevoerde onderzoek is op microbiologisch gebied echter nog een aantal vragen onbeantwoord gebleven. Nog vrijwel onbekend is welke micro-organismen betrokken zijn bij de vorming van biofilms in waterleidingen en in filterbedden en welke eigenschappen hierbij vooral van belang zijn. Onderzoek dat zich op deze vragen richt wordt uitgevoerd bij het Laboratorium voor Microbiologie van de Landbouwwuniversiteit. Moleculair-biologische technieken spelen bij dit onderzoek een belangrijke rol. Vergroten van de kennis over biofilmvormingsprocessen is mede van belang in verband met de mogelijkheid dat ziekteverwekkende micro-organismen zoals *Mycobacterium* en *Legionella* soorten zich in biofilms in leidingen handhaven/vermeerderen.

Zoals reeds gemeld is veel bekend over de werking van biologische processen in filters. Een onderwerp dat echter nog steeds vragen oproept is de rol van microbiologische omzettingen in filters van actieve kool. De in deze filters optredende interacties tussen adsorptie en activiteit van micro-organismen zijn nog onvoldoende opgehelderd. Dimensionering van het proces wordt hierdoor bemoeilijkt.

De concepten en methoden die zijn ontwikkeld voor het bepalen van de groei van micro-organismen in (drink)water hebben inmiddels een groter toepassingsgebied gekregen. Het gebruik van membraantechnieken bij de waterbehandeling maakt op dit moment een stormachtige ontwikkeling door. Het optreden van vervuiling van deze membranen onder invloed van groei van micro-organismen (biofouling) is echter een lastig pro-

bleem. In samenwerking met de Vakgroep Milieutechnologie van de Landbouwniversiteit voert Kiwa onderzoek uit naar de oorzaken van deze biofouling. Dit onderzoek past uitstekend in activiteiten gericht op het sluiten van de waterkringloop, het gebruik van ander water en toepassing van technieken voor (her)gebruik van (ander) water.

Een geheel ander werkterrein vormen de biologische processen die optreden tijdens het verblijf van het water in de bodem. Tweederde deel van het drinkwater in Nederland wordt onttrokken aan de bodem, en het grootste deel van het water dat uit oppervlaktewater wordt bereid ondergaat een bodempassage. Het drinkwater van Wageningen verblijft zelfs ongeveer 1000 jaar in de bodem en kan met recht een godendrank worden genoemd. Biologische processen in de bodem hebben een grote invloed hebben op de samenstelling van het water. Voorbeelden hiervan zijn de nitrificatie, die tot verzuring leidt, de nitraatreductie, de sulfaatreductie en de omzetting van vele milieuvreemde verbindingen. Zonder de activiteit van een enorme diversiteit van micro-organismen in de bodem zouden de nadelige gevolgen van de verontreiniging van water en bodem met tal van milieuvreemde organische verbindingen een nog groter probleem zijn. Onvoldoende kennis is voorhanden om aan te geven waar de mogelijkheden en ook de grenzen van deze microbiologische activiteit liggen. Dergelijke kennis is nodig wanneer we toe willen naar een duurzaam gebruik van de bodem voor de drinkwatervoorziening. Ook hier bieden de moleculair-biologische technieken mogelijkheden voor onderzoek naar de aanwezigheid en de eigenschappen van micro-organismen in bodem en grondwater.

Samenvatting

Al meer dan een eeuw wordt in Nederland microbiologisch onderzoek uitgevoerd van en voor de drinkwatervoorziening. Er is dus sprake van een '*eeuwige*' relatie. Bestudering van de vele publicaties maakt duidelijk dat in ons land op dit gebied met grote bezieling werd en wordt gewerkt. Deze bezieling heeft er in belangrijke mate toe bijgedragen dat de strijd tegen cholera, buiktyfus en allerlei andere ziekten die via drinkwater kunnen worden overgedragen in ons land is gewonnen. De bevolkingstoename en de ontwikkeling van de samenleving gaan gepaard met een steeds intensiever gebruik van water. Dit vraagt om *voortdurende* waakzaamheid met betrekking tot het overbrengen van ziekteverwekkende micro-organismen. Het zal duidelijk zijn dat voortzetting van het microbiologisch onderzoek een voorwaarde is voor het blijvend veilig stellen van de kwaliteit van het drinkwater.

Onderzoek naar de grenzen en mogelijkheden van de betekenis van biologisch processen in water, filters en bodem blijft eveneens een wezenlijk werkterrein van de microbiologie voor de drinkwatervoorziening. Dergelijk onderzoek dient te leiden tot optimale benutting van biologische processen en tot de beschrijving van voorwaarden waaronder een *duurzame* relatie tot stand kan komen tussen drinkwatervoorziening en microbiologie.

Mijnheer de Rector, leden van het College van Bestuur
Het is voor mij een bijzondere gewaarwording om als afgestudeerde aan de Landbouwhogeschool als hoogleeraar terug te keren aan de Landbouwuniversiteit. In de tussenliggende periode is in 'Wageningen' veel veran-

derd en er zal in de nabije toekomst nog veel veranderen. Het doet me goed dat in de huidige missie van Wageningen Universiteit en Research Centrum nadrukkelijk ook het beheer van het water wordt genoemd. De kringloop van het water is van groot belang voor de drinkwatervoorziening en heeft in de groene ruimte tal van raakvlakken met de agrarische sector. Bovendien is drinkwater een levensmiddel. Kortom WUR is een natuurlijke partner voor de waterleidingbedrijven bij een duurzame inrichting van de waterkringlopen in ons land.

Hooggeleerde De Vos, beste Willem,

Ruim een jaar ben ik getuige van je grote inzet en creativiteit. Ik vertrouw erop dat er synergie zal zijn tussen het door nieuwsgierigheid gedreven onderzoek en het microbiologisch onderzoek voor de drinkwatervoorziening.

Hooggeleerde Rulkens, beste Wim,

Ik ben afgestudeerd in de Cultuurtechniek met specialisatie de Waterzuivering. De waterbehandeling met behulp van biologische processen heeft dan ook mijn bijzondere belangstelling. Er dienen zich op het gebied van de waterbehandeling nieuwe uitdagingen aan. Van grootschaligheid en onvolledige kringlopen naar waterbehandeling op kleinere schaal en kringloopsluiting. Op dit terrein ontmoeten eindelijk de interesses van de waterleidingbedrijven die van de 'afvalwaterzuiveraars'. Reeds nu blijkt dat in deze ontwikkeling de combinatie microbiologie en waterbehandeling tot een vruchtbare samenwerking met de vakgroep Milieutechnologie kan leiden.

Directie van Kiwa, beste Thijs, beste Frans,

Ik heb me bij Kiwa altijd als een vis in het water gevoeld. De aard van het werk sprak me zeer aan en het klimaat waarin kon worden gewerkt eveneens. Ik ben jullie zeer erkentelijk voor de vrijheid van handelen die mij steeds werd gegeven binnen de grenzen waarin Kiwa moet werken bij het uitvoeren van het onderzoek in opdracht van de bedrijfstak. In dit woord van dank wil ik graag ook betrekken de vroegere directeuren van Kiwa, de heren Wijnstra en Martijn en de heren De Lathouder en Van de Meent die de afdeling Onderzoek hebben geleid. Ik sta hier dank zij uw vertrouwen en steun.

Collega's bij Kiwa en bij de waterleidingbedrijven,

Meer dan 25 jaar werken we al samen op het zeer boeiende gebied van de drinkwatervoorziening. Er zijn nog veel uitdagingen die we met elkaar moeten aanpakken.

Collega's bij de vakgroepen Microbiologie en Milieutechnologie,

De grote verscheidenheid aan microbiologische processen op het grensvlak van water en vaste fase in bodem, zuivering en leidingnet bieden vele mogelijkheden voor fundamenteel en toegepast onderzoek. Met het benutten van deze mogelijkheden is een begin gemaakt.

Dames en heren studenten,

Aan u is de taak om wat is bereikt te handhaven en te verbeteren. Ik hoop dat het mij zal lukken om mijn enthousiasme voor 'de microbiologie en het drinkwater' aan u over te dragen.

Tenslotte wil ik hier de namen noemen van de personen die mij de beginselen van de microbiologie bijbrachten. Professor Mulder die mij boeide met zijn colleges en Van Veen die mij leerde hoe spannend het uitvoeren van experimenten met micro-organismen is.

Meneer de Rector, dames en heren, ik dank u voor uw aandacht.

Literatuur

Beijerinck, M.W. 1891. Qualitative und quantitative microbiologische Analyse. Centralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde X: 723-727.

Commissie tot onderzoek van drinkwater, 1868. Rapport aan den Koning. Van Weelden en Mingelen, 's-Gravenhage.

De Vries, H. 1890. Die Pflanzen und Thiere in den dunklen Raumen der Rotterdamer Wasserleitung. Gustav Fischer, Jena.

Eijkman, C. 1904. Die Gärungsprobe bei 46 °C als Hilfsmittel bei der Trinkwasseruntersuchung. Centralbl. f. Bakt. etc. I. Abt. Orig. Bd XXXVII (5):742-752.

Frankland, P. and P. Frankland, 1894. Micro-organisms in water; their significance, identification and removal. Longmans, Green and Co. London/New York.

Leeflang, K.W.H. 1974. Ons drinkwater in de stroom van de tijd. VEWIN Rijswijk.

't Hart, P.D. 1990. Utrecht en de cholera, 1823-1910. Stichtse Historische Reeks 15. De Walburg Pers.

Van der Sleen, N. 1894. Sur l'examen bacteriologique qualitatif de l'eau. Archives du Musée Teyler Ser.II, Vol. IV 3me Partie.