

Het grondwater als ecosysteem

Inleiding

Tot voor kort werd het grondwater gezien als een milieu, waarin door het ontbreken van de primaire produktie van organische materiaal door planten, geen leven mogelijk was. Recent is aangetoond dat er bacteriën in het Nederlandse grondwater aanwezig zijn [Van Beelen & Fleuren-Kemilä, 1989]. Deze bacteriën blijken in staat natuurlijke organische verbindingen en organische microverontreinigingen in het grondwater onder bepaalde omstandigheden af te breken.



J. NOTENBOOM
Rijksinstituut voor
Volksgezondheid en
milieuhygiëne



P. VAN BEELEN
Rijksinstituut voor
Volksgezondheid en
milieuhygiëne

Onder anaërobe omstandigheden kan denitrificatie optreden zodat er weinig of geen nitraat in het grondwater aanwezig is. Het blijkt dat freatische winningen, waar door denitrificatie geen nitraat meer aanwezig is, minder kwetsbaar zijn voor vervuiling door gechloroerde organische verbindingen [Van Beelen & Peijnenburg, 1989]. Uit buitenlandse literatuur was reeds lang bekend dat er ook protozoën en hogere organismen in het grondwater kunnen voorkomen. Zeer bekend is bijvoorbeeld de blinde grotten-olm uit de Joegoslavische Karst. Dit artikel belicht het voorkomen van meercellige organismen in het Nederlandse grondwater in relatie tot de ecologische randvoorwaarden.

Factoren bepalend voor de groei en het voorkomen van grondwater-organismen

Voedsel

Het leven in de ondergrond is net als de meeste andere ecosystemen afhankelijk van energie afkomstig van het zonlicht dat door planten wordt vastgelegd. Plantaardig materiaal wordt op en in de bodem afgebroken door micro-organismen, schimmels en dieren. Tijdens dit afbraakproces ontstaan kleine deeltjes en oplosbare verbindingen die kunnen uitspoelen naar het grondwater. Deze uitspoeling van stoffen en de toevoer van zuurstof uit de lucht zijn twee belangrijke processen die het voorkomen van organismen in de ondergrond bepalen.

Samenvatting

Het grondwater wordt beschouwd als een ecosysteem waarin naast bacteriën en protozoën ook meercellige organismen voorkomen. Kenmerkend voor dit systeem is de beperkte hoeveelheid voedsel en zuurstof; grondwaterorganismen zijn aan deze condities aangepast. De biologisch meest actieve laag is het bovenste grondwater. Hierin is de input van nutriënten en organisch materiaal, en de activiteit van de bacteriën het grootst. Vrijwel alle meercellige organismen en veel bacteriën zijn naast de input van organisch materiaal ook afhankelijk van een geringe concentratie zuurstof. Een slecht functioneren van de bovengrond kan leiden tot verhoogde uitspoeling van organisch materiaal waardoor alle aanwezige zuurstof in het bovenste grondwater verbruikt wordt. Het bovenste grondwater, waarin biologische afbraak van organische verbindingen plaatsvindt, kan dienen als tweede bescherming voor het diepere grondwater. Verondersteld wordt dat onder de zuurstofarme omstandigheden in het grondwater het effect van toxische stoffen op de organismen groter is dan onder aërobe omstandigheden. Het ontwikkelen van toxiciteitstoetsen met grondwaterorganismen onder lage zuurstof omstandigheden is wenselijk om de risico's van belasting met milieu-vreemde stoffen voor het grondwaterecosysteem in te kunnen schatten.

De biologisch meest actieve laag in het intergranulaire grondwater is het bovenste deel van het freatische of eerste watervoerend pakket. Dit is het deel van het grondwater waarin de grootste input van organische stoffen, nutriënten en zuurstof plaatsvindt.

De aanvoer van organische stof vindt plaats door percolerend regenwater vanuit de bodem, door infiltrerend oppervlaktewater vanuit de waterbodem, of vanuit de aangrenzende aquifers. Het organische stof kan als natuurlijk afbraak produkt voorhanden zijn maar ook als milieu-vreemde organische microverbinding. Organische stof kan ook tijdens het sedimentatieproces als resident organisch materiaal in de ondergrond zijn vastgelegd, bijvoorbeeld veenlagen. In een normale aquifer komen bacteriën in aantallen van rond de 10^7 per gram sediment voor. Dit komt overeen met ongeveer 0,028 mg bacterie koolstof per kg sediment. Deze hoeveelheid bacteriën heeft een hoeveelheid DOC (opgeloste organische verbindingen) van 2,8 mg C per kg sediment per jaar nodig om te kunnen overleven. Het is duidelijk dat een constante input van DOC nodig is willen grondwaterbacteriën kunnen overleven en groeien. Aan deze condities zal in het bovenste grondwater en in geval de onverzadigde zone van geringe dikte is, worden voldaan. In het diepere grondwater en in situaties waarbij de aquifer wordt afgeschermd door afdekkende lagen (gemiddelde verblijftijd 50 jaar, [Meinardi, 1986]) zal de hoeveelheid DOC alleen onvoldoende zijn om de bacteriebiomassa in stand te houden. Het vaste organische materiaal dat in aquifers aanwezig is speelt daarnaast een wezenlijke rol als energie- en koolstof-

bron. Dit moeilijk afbreekbare materiaal kan een leeftijd hebben van duizend jaren, hetgeen betekent dat slechts een zeer kleine fractie per jaar door micro-organismen wordt geoxydeerd. Een hoeveelheid resident koolstof van bijvoorbeeld 0,1% (1 g C/kg) is in principe al voldoende om de microflora voor honderden jaren te voeden. Hoge bacterie-aantallen zijn te verwachten nabij het freatisch vlak of in situaties waarbij plaatselijk veel resident organisch materiaal aanwezig is. De bacteriën vormen op hun beurt weer de voornaamste voedselbron voor protozoën en meercellige organismen.

Zuurstof

De geschiktheid van een aquifer als habitat voor meercellige organismen is naast voldoende bacteriebiomassa afhankelijk van de beschikbaarheid van zuurstof. Veel grondwaterdieren kunnen met zeer lage zuurstofgehalten volstaan. Verondersteld wordt dat de zuurstoftolerantie-ondergrens voor veel grondwater geadapteerde dieren onder de 1 mg/l of zelfs onder de 0,5 mg/l ligt. Kleine dieren hebben in verband met hun grotere oppervlakte-inhoud verhouding in het algemeen een hogere zuurstoftolerantie. De vergelijking van de hoeveelheid zuurstof nodig voor respiratie tussen oppervlaktewater en grondwaterkreeftachtigen toont dat dit in de laatste groep 56-80% lager is dan in de eerste [Kulhavy, 1987]. Danielopol [1976] stelt dat een laag zuurstofgehalte op zichzelf geen beperkende factor is voor de grondwaterfauna maar dat anaërobe omstandigheden een complete fauna kunnen elimineren. Decompositie van organisch materiaal en de activiteit van bacteriën doet in sedimenten de redoxpotentiaal dalen.

Het vrijkomende H₂S is giftig voor hogere organismen.

Volgens Van Duijvenbouden [pers. meded.] komt zuurstofhoudend freatisch grondwater algemeen voor in het oosten en zuiden van Nederland. Zuurstofmetingen aan ruwwater van enkele WMN-pompstations toont dat opgeloste zuurstof (DO) in grondwater nog op grote diepte kan voorkomen. Enkele waarden zijn: p.s. Soestduinen 1,2-2,8 mg/l in diverse putten 55-100 m diep, Veenendaal 0,2-mg/l in putten 96-180 m diep, en Kooten 0,3 mg/l in putten 90-128 m diep. Krajenbrink [1988a] geeft zuurstofprofielen in de bovenste 1-1,5 m van het grondwater onder een bosgebied in het waterwingebied Putten, noordwestelijke Veluwe. De afname van het DO gaat in het bovenste grondwater gepaard met een afname van het DOC. Een zuurstofafnamesprong in het bovenste grondwater wordt verklaard door decompositie van ingespoeld organisch materiaal [Danielopol & Niederreiter, 1987; Husmann, 1974/75].

Porositeit

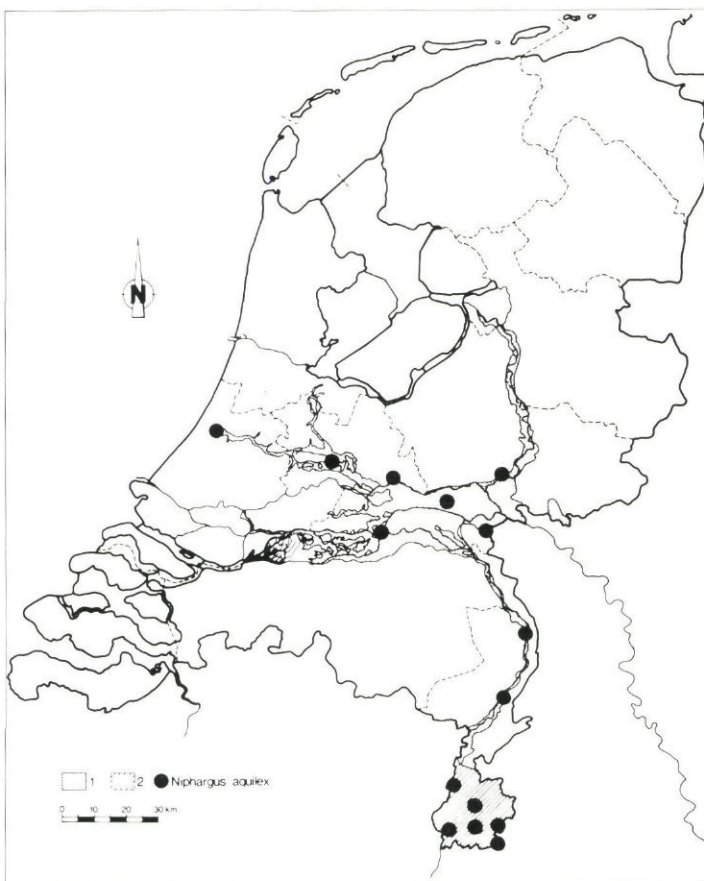
Voor meercellige organismen geldt dat de porie-grootte de beschikbare ruimte voor het organisme in een aquifer beperkt. Daarom worden deze organismen voor- namelijk in zand- en grindpakketten gevonden. De porositeit is daarnaast een factor van invloed op de stroomsnelheid van het grondwater, die effect heeft op de aanvoer van organische stoffen, nutriënten en opgeloste zuurstof. Door de heterogeniteit van de ondergrond kan de effectieve porositeit op korte afstand grote verschillen vertonen, wat van invloed is op de ruimtelijke verdeling van abiotische factoren in een aquifer.

In het algemeen kan gesteld worden dat het grondwatermilieu voor organismen een omgeving is die wordt gekarakteriseerd door een relatief lage, constante temperatuur, grote voedselarme, geringe hoeveelheid zuurstof, en weinig of geen seizoensfluctuaties. De biologische processen in het grondwater verlopen traag maar zijn door de grote verblijftijden en het grote volume uiteindelijk bepalend voor de kwaliteit van het grondwater.

Meercellige organismen

Afhankelijk van de relatie met het grondwatermilieu worden de meercellige organismen die in het grondwater worden aangetroffen onderscheiden in een aantal ecologische groepen. De echte grondwaterdieren (stygo-bionten) komen uitsluitend in grondwater voor en zijn daaraan in verregaande mate aangepast. Daarnaast wordt onderscheiden een

Afb. 1 - De vindplaatsen van de grondwater-vlokreeft *Niphargus aquilex* (gebaseerd op deels ongepubliceerde gegevens) geprojecteerd op het voorkomen van grove Pleistocene sedimenten in de ondergrond van het rivierengebied (1). In Zuid-Limburg (2) is de verspreiding minder duidelijk aan riviersedimenten gebonden.



groep, met vaak minder verregaande aanpassingen, die zowel in grondwater als in oppervlaktewater voorkomt (stygo-fielen). Vervolgens kunnen dieren in het bovenste grondwater worden aangetroffen die daarin min of meer per toeval vanuit de diepe bodem of het oppervlaktewater terecht zijn gekomen.

een relatief lange levensduur. Bij het ontstaan van adaptaties aan het grondwatermilieu speelt de stabiliteit in de tijd en de geringe predatiedruk een grote rol. Morfologisch zijn de stygo-bionten vaak te herkennen aan de slanke lichaamsvorm, en het ontbreken van ogen en pigment; met name geldt dit voor de geleedpotige dieren. Bij dieren met van oorsprong een wormvormig lichaam en ontbrekende ogen zoals draadwormen en borstelwormen zijn stygo-bionten minder duidelijk herkenbaar.

Voor zover bekend komen in het Nederlandse grondwater de volgende groepen van meercellige organismen voor: raderdier-tjes (*Rotifera*), draadwormen (*Nematoda*), borstelwormen (*Oligochaeta* met name *Enchytraeidae*), mijten (*Acari*), *Syncarida*, roeipootkreeftjes (*Copepoda*), mosselkreeftjes (*Ostracoda*), vlokreeftjes (*Amphipoda*), waterpissebedden (*Isopoda*), en slakken (*Gastropoda*) [gebaseerd op ongepubliceerde gegevens en ver-

schillende verspreide referenties, een overzicht is op aanvraag beschikbaar]. Sommige soorten behorende tot bovenstaande groepen zijn slechts bekend van incidentele vondsten, andere blijken algemeen te zijn. Verreweg de meeste Nederlandse stygo-bionten en stygo-fiele grondwaterdieren behoren tot verschillende groepen van kreeftachtigen. Ruwweg kan de grondwaterfauna van macroporeuze (grind en spleten) water-voerende pakketten onderscheiden worden van die van de zandpakketten. In de eerste categorie zijn de poriën en de stroomsnelheid relatief groot. Een karakteristiek organisme voor dergelijke watervoerende pakketten is de vlokreeft *Niphargus* (3-15 mm) die algemeen voorkomt in Zuid-Limburg. Daarnaast is *Niphargus* aangetroffen in het rivierengebied. Dit houdt waarschijnlijk verband met de aanwezigheid van grove Pleistocene sedimenten in de ondergrond (afb. 1).

Uit een recent verkennende studie is gebleken dat meercellige organismen in het grondwater van zandgebieden (Utrechtse Heuvelrug, Veluwe, Achterhoek) algemeen voorkomen. Meest karakteristiek element blijkt het roeipootkreeftje *Parastenocaris* (0,4 mm) te zijn. Daarnaast worden in het bovenste grond-

water van zandgebieden onder andere raderdierpjes, draadwormen, borstelwormen, mijten en andere soorten van roeipootkreeftjes gevonden. Voor de eerste maal zijn ook *Syncarida* (afb. 2) in Nederland gevonden, een groep van grondwaterkreeftachtigen die beschouwd worden als levende fossielen.

Stygofiele grondwaterdieren, bijvoorbeeld *Paracyclops* (afb. 3), dringen vanuit oppervlakte water aquifers binnen, maar kunnen zich ook door de aquifers zelf verspreiden. De stygofielen zijn in minder vergaande wijze aan de ecologische omstandigheden van het grondwater aangepast en stellen naar alle waarschijnlijkheid hogere eisen aan de hoeveelheid beschikbaar bacteriebiomassa en zuurstof. Een verhoudingsgewijs groter aantal stygofielen in een aquifer kan duiden op een hogere organische belasting van de aquifer.

Het belang van meercellige organismen voor de micro-organismen is waarschijnlijk tweeledig. Enerzijds beïnvloeden bacterivoren direct of indirect de groei-ratio en de metabolische activiteit van de bacteriën. Voorts kunnen door de locomotie van meercelligen, bacteriën door het sediment verplaatst worden en in contact komen met nieuw substraat. Het is nog onduidelijk in hoeverre de activiteit van meercelligen een kwantificeerbaar stimulerend effect heeft op door micro-organismen gekatalyseerde omzettingen.

Grondwater biomonitoring

Natuurlijke eigenschappen en antropogene invloeden hebben een grote invloed op de organische-stoftoevoer en dus ook op de zuurstofhuishouding in het grondwater. Een relatief dikke onverzadigde zone, zoals op de hogere zandgronden, dient als aërobe zone waarin decompositie plaatsvindt. De verblijftijd van het water in de onverzadigde zone kan in deze zandgronden oplopen van 1 tot 60 jaar [Van Duijvenbooden & Breeuwsma, 1987]. Hierdoor is er voldoende tijd aanwezig voor de afbraak van de meeste organische verbindingen in deze zone. Het gevolg is dat weinig organisch materiaal tot het grondwater doordringt en dat de aldaar beschikbare zuurstof niet volledig wordt verbruikt. Het dient te worden opgemerkt dat door de aanwezigheid van voorkeursstroombanen in de onverzadigde zone het stoftransport van bodem naar grondwater sneller kan verlopen dan men op grond van de dikte van de onverzadigde zone zou verwachten [Krajenbrink, 1988b]. Wanneer de natuurlijke balans tussen de inspoeling



Afb. 2 - De *Syncarida*, *Antrobathynella stammeri*, uit freatische grondwater van oost Nederland.

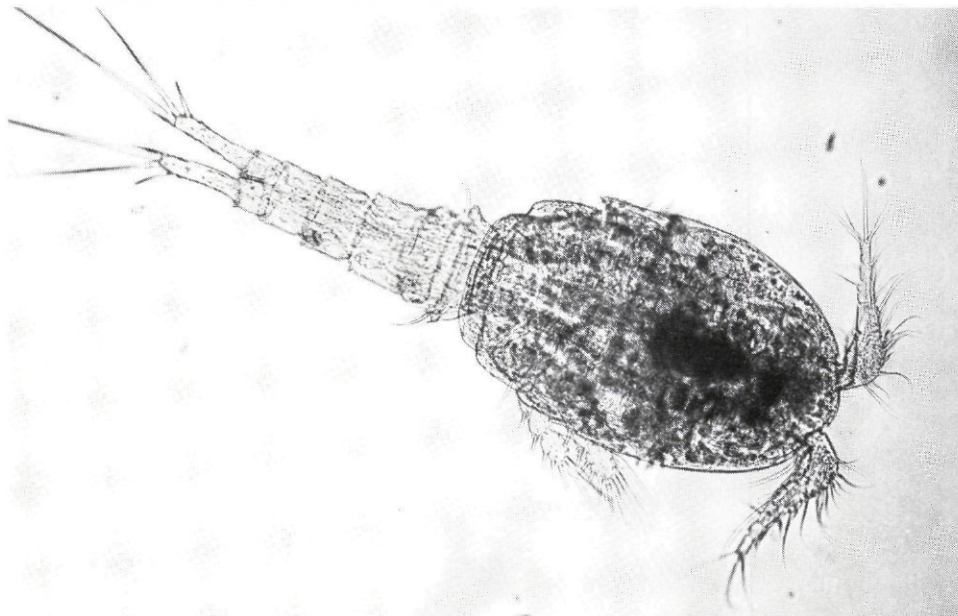
van organisch materiaal en de toevoer van zuurstof al kan leiden tot een lage zuurstofspanning in het grondwater, dan kan een extra antropogene emissie van organisch materiaal uit bijvoorbeeld mest leiden tot anaërobie en dus tot het verdwijnen van de grondwaterfauna ter plaatse.

De ecologische condities in het bovenste grondwater vormen in belangrijke mate een afspiegeling van het functioneren van de bovenliggende compartimenten (onverzadigde zone en de bodem). In tegenstelling tot in de bodem vinden in het grondwater geen grote schomme-

lingen plaats in temperatuur en vochtgehalte, en treden geen verschillen op ten gevolge van vegetaties.

De abiotische factoren in het grondwater zijn constant of onderhevig aan zeer geleidelijke veranderingen. Daarnaast zorgt de grondwaterstroming voor een sterk verbindend element tussen de grondwaterhabitats. In een functionerend bodemsysteem vindt onder andere sorptie, (bio)degradatie, en mineralisatie van stoffen plaats. Milieubeïnvloeding kan leiden tot een desfunctioneren van de bodem met gevolg een verhoogde toevoer van stoffen naar de grondwaterspiegel, die vervolgens door het grondwater kunnen

Afb. 3 - Het roeipootkreeftje *Paracyclops fimbriatus* dat vanaf de oppervlakte regelmatig het bovenste grondwater binnendringt, met name wanneer dit belast is met organisch materiaal.



worden getransporteerd. Overbemesting met organische mest in gebieden met een afdekkende laag van geringe dikte en buffercapaciteit leidt snel tot zuurstofloosheid en toenemende reducerende omstandigheden in het bovenste grondwater. Ook de invloed van zware metalen of andere toxische stoffen (bijvoorbeeld bestrijdingsmiddelen) kan als gevolg hebben dat de mineralisatie van organisch materiaal in de bodem niet meer voldoende verloopt. Het is dan mogelijk dat, met name bij koud en nat weer, een verhoogde uitspoeling van organisch materiaal naar het grondwater plaats vindt. De lage temperatuur en het snelle wegzakken van het regenwater in de ondergrond laat de microflora dan onvoldoende tijd om alle stoffen af te breken. Dit kan dan leiden tot een tijdelijke anaërobie in van nature aëroob grondwater waardoor de lokale grondwaterfauna verdwijnt. Door de lage groeisnelheid en de geringe rekolonisatiemogelijkheden van de grondwaterfauna zal dit effect lange tijd zichtbaar blijven. De verzuring van de bodem kan zowel indirecte effecten hebben op het grondwaterecosysteem door een verhoogde uitspoeling van organisch materiaal als ook direct tot verzuring van het grondwater leiden. Hierdoor is het verdwijnen van grondwaterfauna en een minder goed functioneren van de bacteriën te verwachten.

De meeste grondwaterwaarnemingsputten zijn zodanig ingericht dat een verontreiniging pas wordt gesignaleerd wanneer grote delen van het grondwater al beïnvloed zijn [Krajenbrink et al, 1989]. Biologische methoden lijken aantrekkelijk om als aanvulling op chemisch/fysische methoden een belasting met stoffen van het bovenste grondwater te herkennen. Enerzijds geeft dit informatie over de kwaliteit van het bodemfunctioneren, anderzijds helpt dit grondwaterverontreiniging in een vroegtijdig stadium te signaleren.

Ecotoxicologisch onderzoek aan grondwaterdieren

Behalve door eutrofiëring wordt het grondwaterecosysteem ook bedreigd door vergiftiging met toxische stoffen [Loch e.a., 1989]. De invloed van toxische stoffen op *Daphnia* zou in principe model kunnen staan voor de invloed van toxische stoffen op grondwaterdieren (met name kreeftachtigen). Door de grote verschillen in omstandigheden waaraan oppervlaktewaterdieren en grondwaterdieren bloot staan is deze vergelijking niet zonder meer mogelijk. Veel organische apolaire

toxische stoffen grijpen aan op de celmembraan van levende organismen. Hierdoor kan de 'proton motive force' over de membraan verstoord worden, waardoor de koppeling tussen de ademhaling en de ATP-synthese verbroken wordt. Het organisme zal sneller gaan ademen om dit te compenseren. In de bodem en het grondwater is meestal onvoldoende zuurstof aanwezig om een versnelde ademhaling mogelijk te maken.

Daarnaast is het voor deze dieren moeilijk om in korte tijd naar aërobe zones te migreren. Dit maakt dat toxiciteitstoetsen onder zuurstofarme condities voor bodem- en grondwatersystemen van groot ecologisch belang zijn. Stygobionte grondwaterdieren lenen zich goed voor dergelijke toetsen vanwege hun specifieke gebondenheid aan het grondwatermilieu en het feit dat dergelijke toetsen in water kunnen worden uitgevoerd.

Nawoord

Het grondwaterecologisch en -ecotoxicologisch onderzoek op het RIVM wordt uitgevoerd met steun en onder auspiciën van het Speerpuntprogramma Bodem-onderzoek.

Literatuur

- Beelen, P. van and Fleuren-Kemilä, A. K. (1989). *Enumeration of anaerobic and oligotrophic bacteria in subsoils and sediments*. J. Contamin. Hydrol., 4, 275-284.
- Beelen, P. van en Peijnenburg, W. J. G. M. (1989). *Afbraak van organische stoffen in het grondwater*. Rapport 718604002, RIVM, Bilthoven (mei 1989).
- Danielopol, D. L. (1976). *The distribution of the fauna in the interstitial habitats of riverine sediments of the Danube and the Piestic (Austria)*. Int. J. Speleol., 8, 23-51.
- Danielopol, D. L. and Niederreiter, R. (1987). *A sampling device for groundwater organisms and oxygen measurement in multi-level monitoring wells*. Stygologia, 3, 252-263.
- Duijvenbooden, W. van en Breeuwsma, A. (red.) (1987). *Kwetsbaarheid van het grondwater*. Rapport 840387003, RIVM, Bilthoven. Rapport Bodembescherming 65, VROM, Leidschendam (maart 1987).
- Husmann, S. (1974/75). *Versuche zur Erfassung der vertikalen Verteilung von Organismen und chemischen Substanzen in Grundwasser von Talauen und Terrassen; Methoden und erste Befunde*. Int. J. Speleol., 6, 271-302.
- Krajenbrink, G. J. W. (1988a). *Uitspoeling en grondwaterbelasting onder een bosgebied*. Rapport 728472009, RIVM, Bilthoven (november 1988a).
- Krajenbrink, G. J. W. (1988b). *Water- en stoftransport in een dikke onverzadigde zone en een modellering daarvan*. Rapport 728472008, RIVM, Bilthoven (november 1988b).
- Krajenbrink, G. J. W., Duijvenbooden, W. van en Wever, D. (1989). *Toepassing van een multi-layer sampler bij onderzoek van gedetailleerde chemische profielen in grondwater*. H₂O, 22, 1989, 172-175.
- Kulhavy, V. (1987). *Respiration der Unterirdischen und Oberirdischen Krustentiere*. Rocznik Muzeum Okregowego w Czestochowie, 3, 33-35.
- Loch, J. P. G., Dijk-Looyard, A. van and Zoeteman, B. C. J. (1989). *Organics in groundwater*.

In: D. Wheeler, M. L. Richardson and J. Bridges (eds). *Watershed 89. The future for water quality in Europe*. Volume 1, 39-55 (Pergamon Press, Oxford etc.).

Meinardi, C. R. (1986). *De ouderdom van het grondwater in Nederland*. H₂O 19, 1986, 286-289.

Wettelijke eisen gaan ook gelden voor semi openbare zwembaden

De zogenaamde 'semi openbare zwembaden' zullen met ingang van 1 februari 1990 onder de Wet hygiëne en veiligheid zwembaden vallen. Een besluit hiertoe van minister Alders (milieubeheer) wordt binnenkort in het Staatsblad afgekondigd. Onder de semi openbare zwembaden worden hotel- en campingbaden verstaan en baden bij verenigingen, bedrijven, sportscholen en dergelijke.

Op grond van de wet worden eisen gesteld aan de waterkwaliteit (zuurgraad en chloorgehalte), waterbehandeling (zoals het reinigen van filters) en het onderzoek van het zwemwater. Wat het laatste betreft moet de zwembadbeheerder zelf dagelijks een aantal zaken, onder andere het chloorgehalte, onderzoeken en een logboek bijhouden. Daarnaast moet een laboratorium maandelijks een onderzoek doen naar mogelijke bacteriologische verontreinigingen.

Het oprichten en wijzigen van een zwembad zal vanaf 1 februari tijdig bij de provincie moeten worden gemeld. Ook de bestaande baden zullen aangemeld moeten worden bij de provincie.

Bestaande baden hoeven niet onmiddellijk aan alle eisen gesteld in de wet te voldoen. Afhankelijk van de aanpassingen die verricht moeten worden geldt een overgangstermijn die kan variëren tussen drie maanden en tien jaar.

(Persbericht Min. v. VROM)