

BRONNEN IN ZUID-LIMBURG

W.P.A.M. HENDRIX, Gerichtstraat 42, Stein

Een bron is een plaats waar een geconcentreerde natuurlijke uitvloeijing van grondwater optreedt.

Bronnen worden ook wellen genoemd (Eng.: spring of well, Du.: Quelle, Fr.: source). Kwelplaatsen kunnen aan de hand van enkele criteria van bronnen worden onderscheiden. De Duitse benaming *Quellen* voor bronnen werkt hier enigszins verwarrend. In Nederland is het voorkomen van bronnen beperkt tot de provincies Drente, Overijssel, Gelderland en Limburg. Door de bijzondere geologische gesteldheid neemt Zuid-Limburg ten aanzien van het voorkomen van bronnen een uitzonderlijke positie in. De relatie tussen bronnen en beken is eenduidig: zonder bron geen beek. Van nature worden beken in droge perioden enkel gevoed door bronwater.

Bronnen vormen het overgangsmilieu van grondwater naar oppervlaktewater. De fysische en chemische hoedanigheid van het in bronnen uittredende grondwater vormt de basis voor een zeer karakteristiek milieu waaraan een specifieke levensgemeenschap verbonden is. Uit resultaten van onderzoek aan bronnen langs de Veluwerand, in Midden- en Zuid-Limburg, in het Rijk van Nijmegen en in Overijssel blijkt dat brongebieden een hoge biologische en landschappelijke waarde vertegenwoordigen. Deze en andere waarden van de Zuidlimburgse brongebieden zullen in dit artikel nader worden beschouwd.

Achtereenvolgens zal ingegaan worden op de hydrologische grondslag van bronnen, de fysische en chemische eigenschappen van bronwater, het bronmilieu, de bronlevensgemeenschap en de betekenis van bronnen voor de mens. Het artikel besluit met een beschrijving van de problematiek rond bronnen en aanbevelingen voor behoud en herstel van het bronecotoop.

HYDROGEOLOGISCHE GRONDSLAG

Een gedeelte van de neerslag dringt de bodem in (nuttige neerslag), de rest verdampt (evapotranspiratie) of wordt door oppervlakte-afvoer via rioolsystemen of direct naar waterlopen gevoerd.

Een deel van de nuttige aanslag voedt grondwaterlichamen. Het gemiddelde jaarlijkse neerslagoverschot, waardoor het grondwater hoofdzakelijk gevoed wordt, bedraagt ca. 250 mm voor grasland en ca. 360 mm voor bouwland. Deze getallen gelden voor de Zuidlimburgse lössgronden (HENDRIX, 1985). De t.a.v. bronnen belangrijkste grondwatervoerende pakketten in Zuid-Limburg, gaande van zuid naar noord, bestaan uit zanden en kalksteen uit het Krijt, oligocene zanden, miocene zanden en pleistocene zanden en grind (Maasafzettingen).

Door verschillende oorzaken bevinden zich op de flanken van de zich in het terrassenlandschap ingesneden beekdalen bronnen. Bronnen zijn ontstaan bv. doordat één of meerdere kleilagen zijn aangesneden die de verticale stroming van grondwater belemmeren en het water dwingt uit te treden. Voorbeelden van deze bronnen zijn te vinden aan de randen van het plateau tussen de Geul en de Geleenbeek: het Centraal Plateau. Ook zijn bronnen ontstaan ten gevolge van verschuivingen van aardlagen langs breuken. Indien een goed waterdoorlatende afzetting dan naast een slecht waterdoorlatende afzetting komt te liggen, zal de horizontale grondwaterstroming in eerstgenoemde afzetting blokkeren. Het grondwater stuwt bij wijze van spreken op en kan in de vorm van een bron dagzomen. Als voorbeeld van een dergelijke bron kan worden genoemd de voormalige bronnen de Ze-

vensprong nabij Voerendaal. Een dergelijke bronvorming kan ook het gevolg zijn van versmering van klei langs het breukvlak. Met name in zandsteen en kalksteen vormen spleten en scheuren preferente zones voor de grondwaterstroming. Daar waar deze preferente zones door dalen zijn aangesneden liggen soms bronnen. In Maasafzettingen van zand en grind kunnen min of meer strookvormige grindbanen dergelijke preferente zones vormen.

In het Duitstalig gebied heeft het hydrogeologisch onderzoek aan bronnen intensief plaatsgevonden. In het heuvelland en in gebergten zijn bronnen namelijk van groot belang voor de winning van drinkwater. Men spreekt daar zelfs van *Quellenkunde* (KEILHACK, 1935). STINY (1933) geeft een groot aantal brontypen op basis van hun hydrogeologisch karakter.

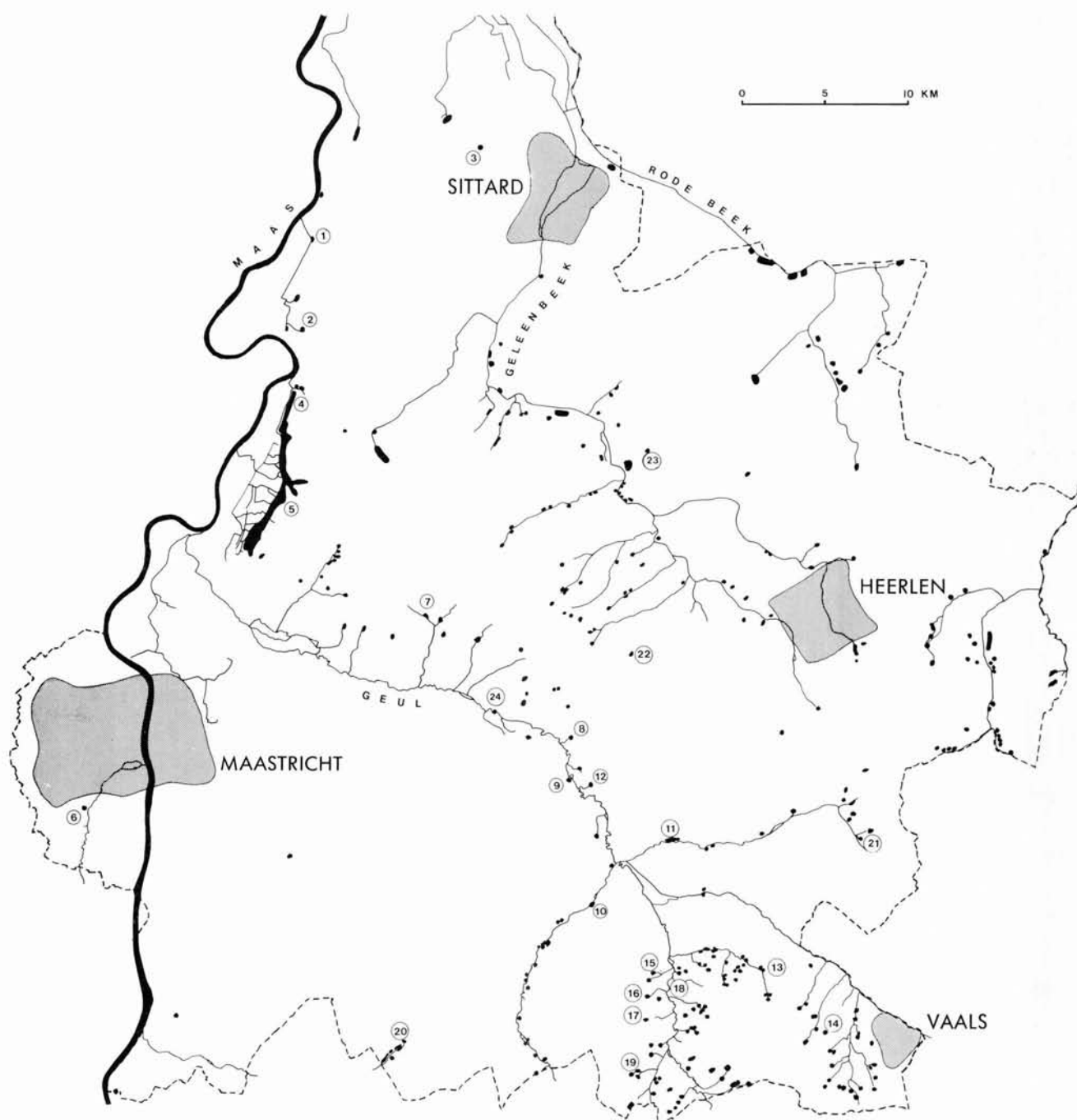
Voor Zuid-Limburg zijn de volgende typen bronnen op basis van hun hydrogeologische kenmerken te onderscheiden (zie fig. 2).

* **Dalbodembronnen:** een dal heeft de regionale grondwaterspiegel aangesneden. Voorbeelden: bronnen in het Geuldal tussen Gulpen en Valkenburg o.a. Truitbron, Schoonbron, Gronseleerput, St. Jansbronnen. Waarschijnlijk spelen karstverschijnselen bij deze bronnen een rol.

* **Dagzombronnen:** de verticale grondwaterstroming wordt door één of meerdere slecht doorlatende lagen belemmerd en stroomt hierover af. Waar deze slecht doorlatende lagen op of onder aan een helling dagzomen treedt het grondwater in de vorm van bronnen uit. Soms zijn meerdere bronniveaus of bronhorizonten te onderscheiden. Voorbeelden: bronnen aan de randen van het Centraal Plateau met bronniveaus op oligocene kleilagen.

* **Breukvlakbronnen:** grondwaterstroming stagneert tegen slecht doorlatende pakketten bij een breukvlak, stuwt op en treedt in de vorm van bronnen uit. Voorbeelden: het drooggevalle broncomplex de Zevensprong bij Voerendaal waar bij de Kunraderbreuk water uit het kalksteenpakket opstuwt tegen slecht doorlatende tertiaire pakketten ten noorden van de breuk.

* **Stuwbronnen:** grondwaterstroming stagneert tegen slecht doorlatende af-



Figuur 1. Verspreiding van brongebieden in Zuid-Limburg met de belangrijkste beken en enkele namen van bronnen.

1. Gringelingsput, 2. Zonput, 3. Juddepötte, 4. Terhager putje, 5. Welleput, 6. St. Servaasbron, 7. Putbergspuette, 8. Schoonbron, 9. Gronseleerput, 10. Godenbron, 11. Roodborn, 12. Truitbron, 13. Bermertijbron, 14. Belbron, 15. Landeus, 16. Nutbron, 17. Paulusbron, 18. Theunisbron, 19. Fröschebron, 20. St. Brigidabron, 21. Steenput, 22. Zevensprong, 23. Droepnaas, 24. St. Jansbronnen.

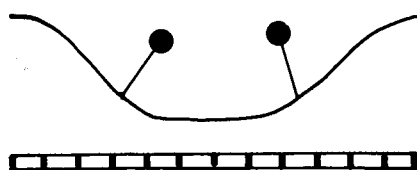
zetting bv. in een beekdal en stuwt op totdat het over deze slecht doorlatende afzettingen kan afstromen. Dit brontype komt mogelijk voor in Zuid-Limburgse beekdalen waarin pakketten leem zijn afgezet.

* **Artesische bronnen:** het grondwater onder een afsluitende laag heeft een hoge hydrostatische druk en op plaatsen waar de afsluitende laag ontbreekt of doorbroken is, stijgt het grondwater tot aan het maaiveld en vloeit uit. Voorbeelden: bronnen bij Eijsden in het

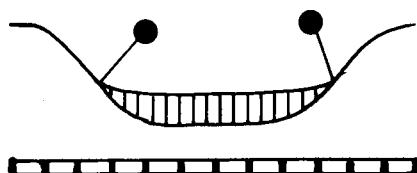
Maasdal.

De verklaring van de aanwezigheid van bronnen in het verticale vlak is veelal goed te geven. Dit in tegenstelling tot het geven van een oorzaak waarom bronnen slechts op bepaalde punten in het horizontale vlak zijn ontstaan. Op gelijke hoogte in een helling treft men tussen bronnen of broncomplexen geheel droge terreinen aan, in sommige gevallen liggen daar vrij diep ingesneden droogdalen. Voor bronnen gevoed door water uit kalksteenpak-

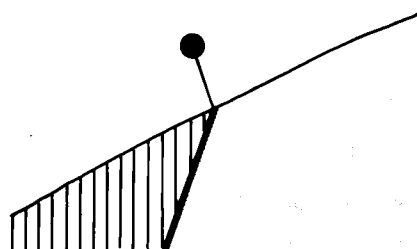
ketten zal hun aanwezigheid in het horizontale vlak veroorzaakt kunnen worden door het voorkomen van spleten en scheuren, deels wellicht veroorzaakt door tektonische bewegingen. Ook in het Vaalser Groenzand bevinden zich gescheurde zandige kalksteenbanken waarin preferente banen voor de grondwaterstroming aanwezig zijn. Bronnen gevoed door water uit tertiaire zanden en grinden kunnen in het horizontale vlak ontstaan door dalvormige verdiepingen in de ondoorla-



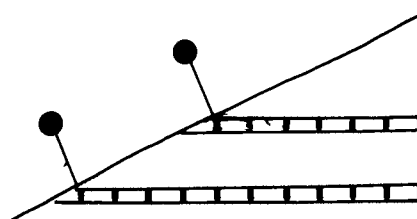
dalbodembron



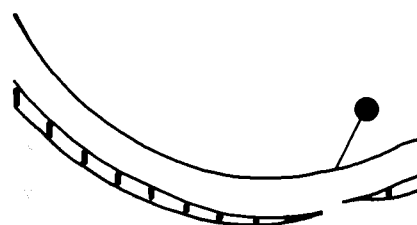
stuwbron



breukvlakbron



dagzoombron



artesische bron

tende kleilagen, baanvormige afzettingen van grover materiaal (preferente grondwaterstroming) en de ligging van breuken. Studie naar de oorzaken waarom op een bepaald punt wel en overigens geen bronnen in het horizontale vlak voorkomen is nog een braakliggend terrein.

Enkele geomorfologische aspecten moeten in dit kader nog worden aangestipt. Bronnen zijn veelal op of nabij hellingen gelegen. Door hellingprocessen zoals verbrokkeling en afschuiving (o.a. landslides) kunnen de pakketten, waaruit het grondwater voeding geeft aan bronnen afgedekt zijn met ander soort materiaal bv. grind of löss (colluvium). Zo kan het voorkomen dat bronnen ogenschijnlijk gevoed worden door water uit grindafzettingen terwijl in werkelijkheid afgedekte tertiaire zanden het grondwatervoerend pakket vormen.

Met het uitstromende grondwater spoelt los materiaal mee, met name leem en zand. In sommige gevallen ontstaan hierdoor ondergronds langgerekte holten. Dit verschijnsel wordt met de term piping aangeduid. Plaatselijk kunnen deze holten instorten waardoor aan het aardoppervlak depressies en zelfs steilwandige kuilen ontstaan. In de bronkop treedt door stromend water bronerosie op. De achterliggende helling wordt ondermijnd en er ontstaan bronnissen met aan de hellingzijde vrij steile wanden.

Ook menselijke ingrepen kunnen bronnen doen veroorzaken. Dit is in Zuid-Limburg voorgekomen bij het aanboren van spanningswater. Deze bronnen kunnen worden beschouwd als kunstmatige artesische bronnen.

KLEIN (1914) vermeldt dat bij boringen naar steenkool in de omgeving van Sittard artesische bronnen werden ontsloten. Nabij de molen van Munstergeleen vloeide nog steeds water uit een boring hoewel ze reeds in 1897 werd uitgevoerd.

Aardwetenschappelijk vormen bronnen belangrijke elementen in het landschap. De belangrijkste geologische, geomorfologische en bodemkundige objecten worden gea-objecten genoemd. Een inventarisatie van deze gea-objecten in Limburg (GONGGRUP, 1986) bevat een aantal bronnen en brongebieden o.a. de Brigidabron bij Noorbeek, broncomplex De Piepert (Roodborn) bij Wittem, de Schoonbron bij Schin op Geul en het Bunderbos tussen Elsloo en Geulle.

HYDROLOGISCHE ASPEKTEN VAN BRONNEN

Het hydrologisch karakter van bronnen is afhankelijk van de neerslaghoeveelheid en -verdeling en van de omvang, aard en ligging van het voedingsgebied, ook wel inziigings- of infiltratiegebied genoemd. Ook is dit afhankelijk van de omvang en aard van de grondwaterbergende pakketten (aquifers) waaruit de bronnen worden gevoed. Evenzo van de aard van de geologische afzettingen die de regendruppel op zijn weg naar de bron moet doorstromen. Het al dan niet tijdelijk droogvallen en de afvoerschommelingen (debietfluctuaties) vormen de ingang tot het opstellen van een hydrologische typologie van bronnen. STINY (1933) geeft hiervoor welklinkende namen zoals bv. Hungerbrunnen, Sommerquellen, Maibrunnen en zelfs Stundenquellen, al naar gelang de tijd van watergiften. Voor de Zuid-Limburgse situatie zijn de volgende bronnen op basis van het hydrologisch karakter van belang:

* **Permanente bronnen:** leveren het gehele jaar door water, tot dit type behoren de meeste Zuid-Limburgse bronnen.

* **Periodieke bronnen:** de hoeveelheid water die ze geven schommelt regelmatig.

* **Intermitterende bronnen:** geven slechts gedurende een gedeelte van het jaar water. Voorbeelden hiervan zijn enkele bronnen aan de Luiperbeek (Voerendaal).

De zgn. Meinzer's Classification of Spring Discharge geeft een klassering van bronnen op basis van de grootte van het debiet (afvoer). Uit de maximale, minimale en mediaanwaarde van de afvoer kan men het hydrologisch karakter van een bron uitdrukken in een percentage van variabiliteit (DAVIS & DE WIEST, 1966).

Ofschoon bronnen van levensbelang zijn voor onze waardevolle Zuidlimburgse beken, zijn slechts incidenteel bronafvoermetingen verricht en dan nog maar van een zeer beperkt aantal bronnen.

Op dit moment geven enkel incidentele waarnemingen indicaties voor de bepaling van het hydrologisch type bron. Tegen deze achtergrond is het momenteel niet mogelijk de Zuidlimburgse bronnen afzonderlijke hydrologisch te typeren. Wel is gebleken dat drooggevallen bronnen door opschoning weer permanent water zijn gaan voeren. Dit was het geval bij de bron langs

Figuur 2. Typen bronnen op basis van hydrogeologische kenmerken.

de Dorrenweg in het dal tussen Grons-
veld en Cadier en Keer en bij de Zon-
put te Stein. In dit kader kunnen enkele
krachtige bronnen worden vermeld die
alleen gevoed worden vanuit kalk-
steenpakketten. Het grote debiet van
deze bronnen wijst in de richting van
karstverschijnselen of de aanwezigheid
van storingsstelsels met open spleten.

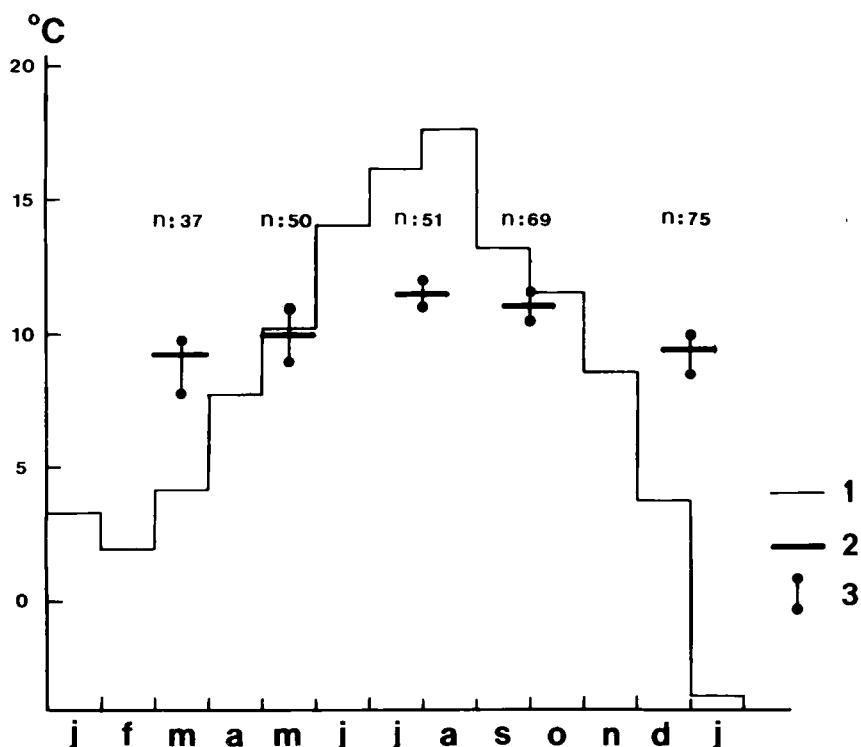
Landeus, 7,2 tot 31,9, 1/s, (JONG-
MANS *et al.*, 1941)
Nutbron, 8,9 tot 20,3, 1/s, (JONG-
MANS *et al.*, 1941)
Zevensprong, gem. 41,7, 1/s (JONG-
MANS *et al.*, 1941)
Roodborn, 64,2 tot 79,2, 1/s (JONG-
MANS *et al.*, 1941)
Brigidabron, gem. 40 tot 50, 1/s (WZL,
1985)
Schoonbron, tot 28, 1/s, (WZL, 1983).

De ligging van bovenstaande bronnen
is af te lezen van figuur 1.

Het hydrologisch regiem van bronnen
is onderhevig aan de wisselingen in de
hoeveelheid neerslag die voeding
geeft aan het grondwater (nuttige
neerslag). Droge perioden zullen met
name sterke invloed hebben op bron-
nen met een klein infiltratiegebied en
gevoed worden uit een klein grondwa-
terlichaam. De hoeveelheid nuttige
neerslag wordt beïnvloed door de wij-
ze van grondgebruik. Toename van het
verhard oppervlak door bv. wegen-
aanleg en woningbouw heeft tot ge-
volg dat het grondwater minder voe-
ding krijgt omdat de neerslag vrijwel
geheel via rioolsystemen naar de be-
ken wordt geleid. Een ander bekend
verschijnsel met betrekking tot verstor-
ing van de hydrologie van bronnen is
het oppompen van grondwater voor
industriële gebruik of de drinkwater-
verzorging. Hierdoor kunnen bronnen
zelfs geheel droog komen te liggen bv.
de bronnen van de Limbrichterbeek
o.a. het Juddepötje in Limbricht (VLEES-
HOUWERS, 1984).

Echter ook door nog niet vermelde na-
tuurlijke verschijnselen kunnen bronnen
verdrogen. Volgens het journaal van
Kloosterrade (Rolduc) vond in septem-
ber 1692 een zeer hevige aardbeving
plaats waardoor op verschillende
plaatsen burchten en huizen instorten,
bronnen uitdroogden en weilanden in
moerassen veranderd werden (VAN
RUMMELIN, 1943).

Een opmerkelijk verschijnsel is het ver-
dwijnen van bronbeken in de onder-
grond. Stroomafwaarts van een in een
helling aanwezige slecht of ondoorla-
tende laag, die het uittreden van
grondwater in bronnen veroorzaakt,



Figuur 3. Verloop van de luchttemperatuur (vliegveld Beek) en de watertemperatuur van de bronnen van het Centraal Plateau, over 1984 en begin 1985.

1. luchttemperatuur maandgemiddelden,
2. mediaanwaarden van de bronwatertemperaturen,
3. interkwartielafstand van de bronwatertemperaturen,
n= aantal bemeeten bronnen.

(gegevens KNMI, naar HENDRIX, 1985).

zijn in sommige gevallen weer goed
doorlatende pakketten, veelal kalksteen,
aanwezig. Het bronbeekwater zijt op
deze plaatsen weer in de ondergrond.
Voorbeelden van dit merkwaardig ver-
schijnsel treft men o.a. aan op de
Schaelsberg nabij Valkenburg, op de
Putberg bij Heerlen en in het dal tussen
Gronsvelt en Cadier en Keer.

FYSISCH EIGENSCHAPPEN VAN BRONWATER

Een zeer karakteristieke eigenschap
van bronwater is zijn vrijwel konstante
temperatuur. Het grondwater is name-
lijk door het bovenliggend pakket af-
zettingen geïsoleerd waardoor sterke
temperatuurschommelingen van de
lucht weinig invloed hebben op de wa-
tertemperatuur. De vrijwel konstante
temperatuur van het bronwater is ver-
gelijkbaar met de gemiddelde jaartem-
peratuur van de lucht en deze be-
draagt voor Zuid-Limburg 9-10°C. In-
dien het grondwater dagzoomt via col-
luvial materiaal kunnen grotere
schommelingen voorkomen omdat de
luchttemperatuur een grotere invloed
heeft op de watertemperatuur.

In fig. 3 is het verloop van de water-

temperatuur van bronnen aan de ran-
den van het Centraal Plateau weerge-
geven. Over 1984 varieerden de me-
diaanwaarden van de temperatuur van
het bronwater tussen 9,2°C ('s win-
ters) en 11,5°C ('s zomers).

Op basis van de waarden en het van
het verloop van de temperatuur van het
bronwater kan met vrijwel alle Zuid-
limburgse bronnen klassificeren als
koude stenotherme bronnen (THIENE-
MANN, 1922).

Hogere watertemperaturen dan boven
vermeld werden gemeten in de artesi-
sche bronnen bij Eijsden: 16°C bij een
luchttemperatuur van 25 à 30°C en
12°C bij een luchttemperatuur van
0°C (JONGMANS *et al.*, 1941). De re-
latief hoge watertemperatuur, de che-
mische samenstelling en het uittreden
van grondwater boven de regionale
grondwaterstand, die door het Maas-
peil wordt bepaald, duiden erop dat
het water uit deze bronnen van grote
diepte moet komen. In het gebied
waarin deze bronnen voorkomen rus-
ten de kwartaire Maasafzettingen (zan-
den en grinden) direct op afzettingen
uit het Onder-Karboon (anticline; Rijks
Geologische Dienst, 1984). Het bron-
water is dus afkomstig uit genoemde
afzettingen uit het karboon. De tempe-

ratuur van het bronwater is echter te laag voor de klassificatie thermaal water.

Van thermaal bronwater wordt immers gesproken indien de gemiddelde temperatuur van het water hoger is dan 20°C (BREHM & MEIJERING, 1982).

Voorbeelden van thermale bronnen zijn direct over de grens in Duitsland en België te vinden. De temperatuur van het water in de Kaiserquelle en de Landesbadquelle te Aken bedraagt 53,2° respectievelijk 68,1°C (FRICKE & MICHEL, 1969). In België te Chaudfontaine bedraagt de temperatuur van het bronwater van de captages "Prince de Liege" en "Fourmarier" 36°C, respectievelijk 32°C (GRAULICH, 1969).

De temperatuur bepaalt in hoge mate de snelheid waarmee chemische, biochemische en fysiologische processen verlopen. De relatief constante temperatuur van het bronwater is daarom waarschijnlijk een belangrijke factor die het voorkomen, de produktie en levenscyclus van hierin voorkomende planten en dieren bepaalt. Dit geldt niet alleen voor het aquatisch milieu maar ook voor het aangrenzende terrestrisch milieu en de bodemnabije luchtlaag. Ten aanzien van de temperatuur kan het bronmilieu ruimtelijk worden begrensd door het dagelijks en seizoenale verloop van de temperatuur in de bronbeek en de seizoenale isothermen van de bronnabije bodems (HENDRIKS & EIJSTEN, 1985; HENDRIX & HENDRIKS, in prep.). De temperatuur is waarschijnlijk de sleutelfactor voor de verklaring van de vrijwel uitsluitend in brongebieden voorkomende organismen.

Bronwater is relatief zuurstofrijk maar niet geheel verzadigd met zuurstof. Van een viertal vrij krachtige bronnen van de Kingbeek varieerde het zuurstofverzadigingspercentage tussen 66 en 91%. Door diffusie en zuurstofproducerende organismen is het water op enige afstand van de bron verzadigd of zelfs oververzadigd met zuurstof (HENDRIX, 1982). Het zuurstofdeficiet van bronwater kan verklaard worden door biochemisch en chemisch zuurstofverbruik met name in de bodem (BREHM & MEIJERING, 1982).

CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN VAN BRONWATER

Ten opzichte van andere typen oppervlaktewateren kenmerkt zich bronwater door een relatief constante chemische samenstelling. Op basis van de concentraties van kationen en anionen

heeft men een uitgebreide chemische typologie van bronwater opgesteld. Hierin geven één of meerdere stoffen aan tot welk type het bronwater behoort bv. chloride-water, bicarbonaat-water en calcium-nitrat-sulfaat-water. Van nature wordt de samenstelling van het grondwater, en dus ook van het bronwater, bepaald door de aarde van de doorstroomde afzettingen. Zo is water uit kalksteenpakketten rijk aan calcium en bicarbonaat. Dit komt niet alleen tot uiting door de vorming van ketelsteen bij het koken van het water, maar ook door de afzetting van zgn. brontuf in de bron of bronbeek. Deze kalkafzetting (CaCO_3) ontstaat in onze streken hoofdzakelijk door het ontwijken van koolzuurgras (CO_2) als het grondwater in bronnen dagzoomt. Genoemde kalkafzetting is opvallend en treft men aan op stenen, takjes of op ander beekbodem materiaal en zelfs op organismen bv. op de huisjes van kokerjuffers. Een andere vorm van kalkafzetting noemt men travertijn, die bestaat uit op elkaar afgezette kalkkorsten met vaak fraaie kleuren door hierin voorkomende ijzerverbindingen. Brontuf komt ook voor in de bronnen en bronbeken van het Centraal Plateau met name in het Bunderbos c.a., de bronnenrijke helling tussen Bunde en Elsloo. Deze afzetting wordt hier gevormd omdat het grondwater kalkrijke tertiaire afzettingen doorstroomt (HENDRIX, 1985).

Naast het kalkrijke type bron komen kalkarme bronnen voor. Met name het calciumgehalte is van belang voor het voorkomen of ontbreken van een aantal bronkarakteristieke planten- en diersoorten.

Niet alleen de doorstroomde afzettingen zijn van belang voor de chemische samenstelling van grondwater, en dus ook van bronwater, maar tevens het grondgebruik in het infiltratiegebied. Van de menselijke invloeden op de samenstelling van het grondwater kunnen met name worden genoemd: vuilstorten in voormalige groeven en intensieve bemesting van landbouwgronden. Verder kunnen nog worden genoemd gebruik van landbouwbestrijdingsmiddelen en gladheidsbestrijdingsmiddelen, lekkende rioleringen, de aanwezigheid van septictanks (gierkelders) en atmosferische depositie. Omdat water vervuut het belangrijkste transporterend agens is, zullen vele stoffen die de mens op verschillende wijzen op of in de bodem brengt uiteindelijk via het grondwater de bronnen bereiken. De werking van deze stoffen op de levensgemeenschap van bronnen en beken is

vaak negatief. Zo worden de bronnen bij groeve Kruisberg te Bunde sterk verontreinigd door vuilstort in deze groeve, hetgeen duidelijk visueel waarneembaar is in de vegetatie en door een omvangrijke rode laag van ijzerverbindingen (HENDRIX, 1985).

Een van de meest bekende stoffen die uitspoelen naar het grondwater is het gemakkelijk oplosbare nitraat. Stikstof- en fosforverbindingen vormen de belangrijkste nutriënten voor hogere planten en mikrofyt (bv. algen). Omdat de fosforverbinding in de vorm van fosfaat in de bodem worden gebonden, zijn de fosfaatconcentraties in bronwater bijzonder laag, in de orde van grootte van enkele tienden mg/l. Het gemakkelijk uitspoelbare nitraat, dat in hoofdzaak in het gebruik van meststoffen zijn herkomst heeft, vormt ook in Zuid-Limburg een belangrijke verontreinigingscomponent van het grondwater en bedreigt de winning van drinkwater. Van de 75 bemonsteringspunten van grondwater van het Centraal Plateau bleek op 60 punten (80%) de concentratie van nitraat in het bronwater de drinkwaternorm en de norm voor de basiskwaliteit van het oppervlaktewater (50 mg/l) te overschrijden (HENDRIX, 1985). Deze 75 bemonsteringspunten bestonden uit 6 putten en 69 vrij krachtig uitstromende bronnen. Ook in het bronwater van het boven-Geuldal, het Gulpdal (DENIER VAN DER GON & VAN DER HORST, 1985) en van de Zieversbeek bij Vaals zijn hoge nitraatgehalten gemeten. De nitraatverontreiniging is in deze gebieden (nog) niet zo ernstig als langs de rand van het Centraal Plateau.

Behalve nitraat zijn ook kalium en sulfaat in hoge concentraties in bronwater gemeten. Kalium heeft dezelfde oorsprong als nitraat nl. meststoffen. De relatief hoge sulfaatconcentraties kunnen in sommige gebieden nog niet voldoende worden verklaard. In gebieden met mijnsteendeponieën, o.a. in de Oostelijke Mijnstreek zijn de hoge sulfaatconcentraties in bronwater wel verklaarbaar nl. een gevolg van percolaatwater uit de mijnsteenstorten bv. bronnen langs de Strijthagerbeek, de Ruischerbeek en de Rode Beek. Hoge sulfaat- en ammoniumgehalten van bronwater in de Westelijke Mijnstreek, m.n. bronnen langs de Ur, zijn het gevolg van industriële activiteiten in het infiltratie- of voedingsgebied. De eutrofiëring van het oppervlaktewater, met name van beken, begint al bij de eutrofiëring van het grondwater. Bronwater blijkt ook plaatselijk verontreinigd te zijn met zware metalen zoals cadmium, zink, koper, lood en nikkel.

Zware metalen hebben een toxische werking op organismen. In bronwater van de westelijke en zuidwestelijke rand van het Centraal Plateau overschrijdt het cadmiumgehalte op ca. 40% van de bemonsteringspunten de norm voor de basiskwaliteit van oppervlaktewater. Naast kwik en lood is cadmium een van de meest toxische metalen. Op enkele uitzonderingen na blijven in bovengenoemde bronnen de gehalten aan zink, lood en nikkel beneden de betreffende normen (CORTEN, 1985).

Het eerderevermelde verontreinigde bronwater bij een groeve te Bunde heeft een opvallend hoge boriumconcentratie en een hoog ijzer- en mangaangehalte (HENDRIX, 1985).

Van de aard en concentratie van organische stoffen in bronwater is nagenoeg niets bekend. Bedoeld worden de zgn. organische microverontreinigingen als gevolg van het gebruik van bestrijdingsmiddelen, vuilstort in groeven en industriële activiteiten.

Naast uitspoeling van stoffen naar het grondwater speelt ook afspoeling van stoffen over het oppervlak een rol bij de beïnvloeding van de samenstelling van het bron- en bronbeekwater. Hierdoor worden gronden in brongebieden en langs oevers voedselrijker hetgeen o.a. tot uiting komt in de versterking van de oorspronkelijke vegetatie (VAN BRAKEL, 1982; EVERS, 1983; AGGENBACH & JANSSEN, 1989). Veel bronnen liggen langs of op de hellingen of vormen het punt waar het droogdal overgaat in een beekdal. Vooral de bronnen op de laatstgenoemde lokaties hebben veel te lijden van door afstromend water meegevoerd slibmateriaal en chemicaliën.

In haast alle gevallen is het bronwater in Zuid-Limburg helder en ogenschijnlijk niet verontreinigd. In 1911 schreef HELMANS over het Krijtland: "Maar zo voorzichtig zijn hier de lui nog niet, dat ze zelfs bronwater wantrouwen." Deze voorzichtigheid is gezien het voorgaande in onze tijd echter wel gebo-

den. De aard van de verontreiniging van bronwater is namelijk chemische en kan slechts in enkele uitzonderlijke gevallen organoleptisch worden vastgesteld dus vrijwel uitsluitend aan de hand van een chemische analyse.

Betreffende de chemische samenstelling zijn de bronnen in en ten zuiden van Eijsden interessant nl. te Breust en te Navagne. Eerderevermelde artesische bronnen liggen in het Maasdal en het water is afkomstig uit onder-carbonische afzettingen. KEULER (1923) vermeldt dat het opmerkelijk is dat het vee bij voorkeur aan een van deze bronnen gaat drinken. Dit deed vermoeden dat het water meer zouten dan gewoonlijk zou kunnen bevatten. KEULER (1923) vermeldt verder een keukenzoutgehalte (NaCl) van het bronwater te Navagne van 270 mg/l en van Breust 234 mg/l.

JONGMANS *et al.* (1941) geven enkele chemische bestanddelen van dit bronwater waarbij het relatief hoge chloridegehalte (tot 556 mg/l) opmerkelijk is. Het chloridegehalte van bronwater in Zuid-Limburg varieert normaliter van enkele tot enkele tientallen mg/l. Bij de artesische bronnen bij Eijsden moet men er rekening mee houden dat het karbonaatwater door het bovenliggend grondwaterlichaam in de gronden en zanden, afgezet door de Maas, heen moet stromen en er dus menging van beide watertypen kan optreden.

Mineraalwater treft men van nature in bronnen van Zuid-Limburg niet aan, behalve in en bij Eijsden. Onder mineraalwater wordt immers verstaan water waarin meer dan 1 gr/l zouten zijn opgelost en meer dan 250 mg CO₂ bevat (FRICKE & MICHEL, 1969).

Enkele bronwateren voldoen wel aan het criterium van de hoeveelheid opgeloste zouten, maar dit is dan het gevolg van vaak ernstige verontreiniging. De samenstelling van bronwater is representatief voor de regionale samenstelling van het grondwater vooral indien meerdere bronnen bemonsterd worden en er geen duidelijke verontrei-

nigingsoorzaken in de directe omgeving van de bron kunnen worden aangetoond. Bronnen zijn dus van belang voor de monitoring van grondwaterverontreiniging op een betrouwbare en betrekkelijk eenvoudige wijze.

ECOLOGISCHE ASPECTEN

Het bronmilieu wordt gekenmerkt door de fysische en chemische eigenschappen van het uitredende water. Het wordt gevormd door een aquatische component en een aangrenzende terrestrische component. De meest in het oog springende eigenschappen van het bronmilieu zijn de continue natheid en vochtigheid, de relatief constante temperatuur en de relatief constante chemische samenstelling en fysische hoedanigheid van het water. Het belang van de relatief constante temperatuur van het uitredende grondwater en de ruimtelijke effecten hiervan ter aanduiding van het bronmilieu is in het voorgaande reeds behandeld. ODUM (1971) brengt het bijzondere karakter van bronmilieus als volgt onder woorden: "Springs are the aquatic ecologist's natural constant temperature laboratory."

Echter niet alleen de aquatische component van het bronmilieu wordt gekenmerkt door genoemde karakteristieken maar ook de terrestrische. De ecologische omstandigheden in de bodem van het bronmilieu worden ook door het specifieke karakter van het uitredende grondwater bepaald. Door de permanente natte omstandigheden heeft zich plaatselijk veen kunnen vormen. Op basis van de wijze waarop het grondwater uitredt worden in ecologisch getinte onderzoeken aan bronnen een aantal brontypen onderscheiden. Hierbij speelt de morfologie van de bron een belangrijke rol. Deze typologie is opgesteld door Duitse onderzoekers en niet, zoals in vele onderzoeksrapporten en artikelen over bronnen wordt vermeld, door REDEKE



Rheokrenen



Limnokrene



Helokrene

Figuur 4. Typen bronnen op basis van de wijze waarop het grondwater uitredt.

(1948). THIENEMANN (1922) vermeldt deze typologie als zijnde opgesteld door Steinmann (fig. 4):

- * **Rheokrenen** (Sturz- oder Sprudelquellen): het grondwater treedt met grote snelheid op een loodrechte wand of op een helling uit. Nederlandse benaming: Stort- of Borrelbronnen;
- * **Helokrenen** (Sumpf- oder Sickerquellen): het water sijpelt op een diffuse wijze uit de grond. Nederlandse benaming: Moeras- of Sijpelbronnen;
- * **Limnokrenen** (Tümpelquellen): het grondwater treedt op de bodem van een poel uit en daar waar de poel overloopt ontstaat een bronbeek. Nederlandse benaming: Poelbronnen.

Op basis van onderzoek in Zuid-Limburg voegen CUPPEN & MOLLER PILOT (1978) het type puntbronnen toe. TOLKAMP (1983) heeft dit type later akrokrenen genoemd. Deze akrokrenen staan dicht bij het type rheokrenen, met name bij de hierna genoemde schietbronnen. BREHM & MEIJERING (1982) geven een verfijning van de morfologische brontypen. Ze onderscheiden 6 typen bronnen:

Fallquellen (Stortbronnen) waarbij het grondwater uit een rotswand uittreedt en direct als waterval afstort; Schießquellen (Schietbronnen) waarbij het water bij sterk verval zeer snel afstroomt; Fliessquellen (Stroombronnen) waarbij het water bij gering verval langzaam afstroomt; Sumpfquellen (Moerasbronnen) waarbij het grondwater naar boven sijpelt, aan het oppervlak samenstroomt en dan gebundeld afstroomt; Trichterquellen (Trechterbronnen) waarbij het grondwater omhoogborrelt, in een trechtersvorming bekken stijgt en via een overloop afstroomt en Grundquellen (Waterbodembronnen) die zich op de bodem van wateren zoals meren, beken, rivieren en vijvers bevinden.

In de Zuidlimburgse brongebieden treft men veelal een complex van rheokrenen en helokrenen aan. Limnokrenen zijn in de minderheid. Een min of meer verborgen type bron is de onderwaterbron of de waterbodembron, die in Zuid-Limburg in kunstmatige waterpartijen, in beek- en rivierbeddingen aanwezig zijn. Bij zeer lage waterstanden zijn dergelijke bronnen bv. langs de Grensmaas waargenomen. Omtrent de ecologische betekenis van dit brontype is vrijwel niets bekend.

De voedselbasis van de levensgemeenschap in bronnen en bronbeken wordt in bosgebieden gevormd door

bladeren van bomen. De voedselbasis voor bronnen in weiland bestaat uit water- en oeverplanten. Het voorkomen en de betekenis van algen in bronnen zijn nog onvoldoende bekend. Algen zijn in bronnen veelal waar te nemen op stenen en ondergedoken plantendelen.

In rheokrenen komen weinig hogere planten voor, wel rond deze bronnen en in en langs de door hun gevormde bronbeken. In florisch opzicht zijn limnokrenen en met name helokrenen veel rijker. Karakteristieke plantensoorten van het overwegend kalkrijke, Zuidlimburgse bronmilieu zijn o.a. Bittere veldkers (*Cardamine amara*), Paarbladig goudveil (*Chrysosplenium oppositifolium*) en Verspreidbladig goudveil (*Chrysosplenium alternifolium*).

Van de zeggensoorten betreft het in bos Hangende zegge (*Carex pendula*) en Slanke zegge (*Carex strigosa*) en op open plekken Gele zegge (*Carex flava*) en Schubzegge (*Carex lepidocarpa*) (WESTHOFF *et al.*, 1973). Van de sporendragers zijn met name te noemen Reuzenpaardestaart (*Equisetum telmateia*) en Diknerfmos (*Cratoneuron filicinum*). Bovengenoemde plantensoorten zijn vrij zeldzaam tot zeer zeldzaam (VAN DER MEIJDEN *et al.*, 1983; ARNOLDS & VAN DER MEIJDEN, 1976). De zeldzaamheid van deze soorten staat natuurlijk in verband met de zeldzaamheid van bronmilieu in Nederland. Opmerkelijk is de vermelding van BUTH (1984) van het voorkomen van Reuzenpaardestaart op platen in de Grevelingen, waar waarschijnlijk zoet kwelwater vergelijkbare ecologische omstandigheden veroorzaakt als in de Zuidlimburgse bronmilieus.

De Bittere veldkers staat als vrij zeldzaam bekend maar breidt zich de laatste jaren uit o.a. langs allerlei watergangen in Drente en Overijssel. De oorzaak van deze uitbreiding is nog onvoldoende bekend (WEEDA *et al.*, 1987).

Naast deze hoofdzakelijk in bronmilieus voorkomende plantensoorten zijn er ook soorten die minder specifiek zijn voor brongebieden.

Vermeldenswaardig zijn o.a. Gele dovenetel (*Lamium galeobdolon*), Witte Klaverzuring (*Oxalis acetosella*), Dotterbloem (*Caltha palustris*), Bosbies (*Scirpus sylvaticus*), Echte Waterkers (*Nasturtium officinale*), Kleine waterpeper (*Berula erecta*), Muskuskruid (*Adoxa moschatellina*), Daslook (*Allium ursinum*), Bosereprijs (*Veronica montana*) en Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*).

De boomlaag van bronbossen wordt van nature gevormd door de Es (*Fraxinus excelsior*) en de Zwarte els (*Alnus glutinosa*).

De botanische rijkdom van bronmilieus is gebaseerd op het voorkomen van een grote verscheidenheid aan standplaatsfactoren: nat, dras, droog gecombineerd met bodems bestaande uit grind, zand, leem en veen. Brongebieden bestaan veelal uit mozaïken van verschillende standplaatsen. De botanische waardering van de ecotopen, bronbos en bron(gebied) is in nationaal opzicht bijzonder hoog. Bronbossen vormen natuurlijke landschapselementen in botanisch opzicht van de hoogste nationale betekenis (STUMP-RIENKS, 1975).

Het belangrijkste vegetatiekundig onderzoek aan Nederlandse bronmilieus werd verricht door MAAS (1959). Ofschoon dit onderzoek in hoofdzaak gericht was op de Veluwezoom, werden ook enkele Zuidlimburgse brongebieden vegetatiekundig beschreven.

De plantengemeenschappen van het bronmilieu zullen hier slechts beknopt besproken worden. In vegetatiekundig opzicht wordt de vegetatie van het bronmilieu ondergebracht in een aparte klasse, de Klasse der Brongemeenschappen: het Montio-Cardamine *et al.* Tot deze klasse behoort maar 1 orde, nl. de Orde der Brongemeenschappen ofwel het Montio-Cardaminetalia. Deze orde is weer onderverdeeld in twee verbonden nl. het Cardamino-Montion (Verbond van Bittere veldkers en Bronkruid) en het Cratoneurion (Verbond der Kalkbrongemeenschappen). Het Cardamino-Montion komt voor in of langs kalkarme, voedselarme tot -rijke, zure tot neutrale bronnen en bronbeken met een bodem meestal bestaand uit zand en silicaatgesteente. Een verdere onderverdeling (in 2 onderverbonden) wordt gemaakt op basis van het al dan niet beschaduwde zijn. Tot het Cardamino-Montion behoren 4 associaties nl. de Bronkruid-associatie, de Wolmos-associatie, de Associatie van Paarbladig goudveil en de Kegelmoss-associatie. De meeste associaties zijn weer onderverdeeld in subassociaties.

Het andere verbond nl. het Cratoneurion komt voor in voedsel- en kalkrijke, neutrale tot zwakbasische bronnen met een bodem uit leem, krijt en soms zand of grind. Tot dit verbond behoort slechts één associatie nl. de Diknerfmos-associatie, die op basis van de mate van beschaduwing in 2 subassociaties is opgesplitst. (WESTHOFF &

DEN HELD, 1975). Het *Cratoneurion* is voor de Zuidlimburgse situatie waarschijnlijk het belangrijkste verbond. In tabel I zijn de plantengemeenschappen van brongebieden in Nederland schematisch weergegeven. Het is niet uitgesloten dat lopend vegetatiekundig onderzoek van de brongemeenschap zal leiden tot een afwijkende vegetatiekundige indeling. De bronbosgemeenschappen behoren in hoofdzaak tot twee verbonden nl. het *Alnion glutinosae* (Elzenverbond) en het *Alno-Padion* (Elzen-Vogelkersverbond). Van belang hierbij zijn subassociaties van het Ruigt-Elzenbos (*Macrophorbio-Alnetum*), het Elzenbroek (*Carici elongatae-Alnetum*) en het Goudveilesenbos (*Carici-remotae-Fraxinetum*). Omdat bronmilieus over korte afstanden wisselingen kennen van milieutypen, heeft de vegetatie meestal een mozaïkstructuur.

FAUNA

De belangrijkste diergroep van het bronmilieu, ook wel krenon genoemd, zijn de met het blote oog zichtbare ongewervelde waterdieren ofwel de makrofauna. Het makrofauna-onderzoek aan bronnen heeft elders in Europa van-

af het begin van deze eeuw reeds veel aandacht genoten (THIENEMANN, 1922, 1923 en 1926; PATTEE, 1965; THORUP, 1963; THORUP & LINDEGAARD, 1977). In het kader van het Mergellandonderzoek (DE MOLENAAR, 1978) heeft men een groot aantal Zuidlimburgse bronnen op de samenstelling van makrofauna onderzocht. Gezien het belang van de bevindingen van dit onderzoek hebben in deelgebieden nadere onderzoeken plaatsgevonden, vnl. door doctoraalstudenten van de Landbouwniversiteit (VAN DER PLOEG & UPPERMAN, 1982; VAN DAEL, 1982; DE BOER, 1983). Een aantal makrofaunasoorten zijn specifiek aan het bronmilieu verbonden. BIAB (1986) geeft aan dat in de Europese bronnen tot op heden ca. 1.500 diersoorten zijn aangetroffen waarvan 465 soorten specifieke bronbewoners schijnen te zijn. Deze specifieke gebondenheid kan wellicht worden verklaard door de refugiumfunctie van bronmilieus gedurende geologische perioden met klimatologische veranderingen. De vrijwel constante temperatuur van bronmilieus maakt het mogelijk dat organismen in regio's voorkomen waar ze zich in andere aquatische ecotopen niet kunnen handhaven (ODUM, 1971). Zo zijn arctische insektensoorten in Duitse bronnen aangetroffen vanwege

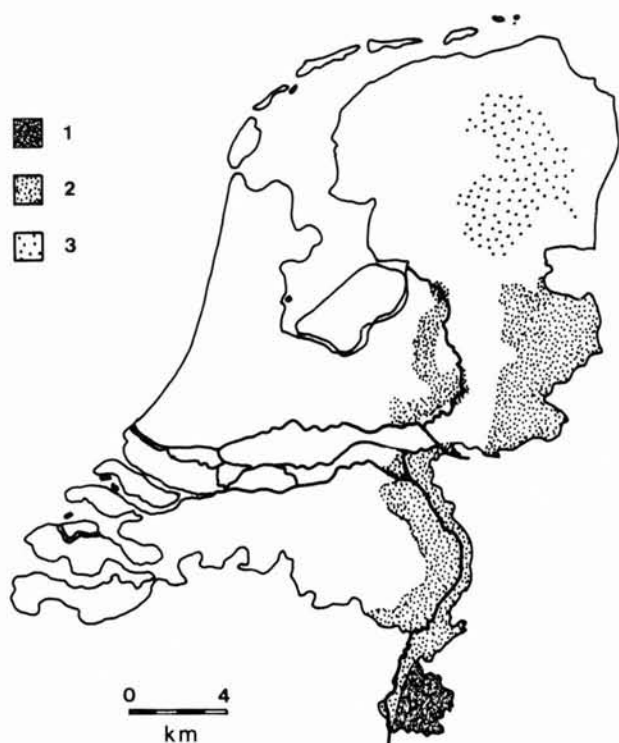
de daarin heersende lage zomertemperatuur en komen organismen van warme klimaten voor in hete bronnen op IJsland. Zoals reeds eerder vermeld vormt het bronmilieu een overgangsmilieu tussen grondwater en oppervlaktewater. Het is dan ook niet vreemd dat men in bronnen grondwaterorganismen aantreft. Voor Zuid-Limburg kunnen genoemd worden o.a. de blinde vlokreeftsoorten *Niphargus aquilex*, *Niphargus schellenbergi* en de blinde platworm *Dendrocoelum boetgeri*. Karakteristiek voor de Zuidlimburgse bronlevensgemeenschap zijn o.a. de platwormen *Crenobia alpina* en *Polycelis felina*. *Crenobia alpina* komt in warmere gebieden alleen voor in de altijd koele bronwateren hetgeen waarschijnlijk als voorbeeld van de eerdervermelde ijsstijdrelicten mag gelden (BREHM & MEIJERING, 1982). Tot de bronbewoners behoren verder de kevers *Agabus discretus*, *Stenus picipennis* en *Stenus nitidiusculus* en de kokerjuffers *Crunoecia irrorata*, *Silona nigricornus* en *Drusus annulatus*. Dipteren vormen een belangrijke groep in de bronlevensgemeenschap. Genoemd kunnen worden soorten van het geslacht *Diamesa*, *Parametriocneme stylatus*, *Chactocladus gr. laminatus* en *Paraphaenocladus impensus*. Ook kan de steenvlieg *Nemoura marginata* worden vermeld. Bovenstaande opsomming

Tabel I. Overzicht van de plantengemeenschappen van bronmilieus in Nederland (naar WESTHOFF & DEN HELD, 1975).

MONTIO-CARDAMINETEA
(Klasse der Brongemeenschappen)

MONTIO-CARDAMINETALIA
(Orde der Brongemeenschappen)

1. CARDAMINO-MONTION (Verbond van Bittere veldkers en Bronkruid)		2. CRATONEURION (Verbond der Kalkbrongemeenschappen)
1.1 MONTION (Bronkruid-onderverbond)	1.2 CARDAMINION (Onderverbond met Bittere veldkers)	
• Ass. 1.1.1 <i>Philonotido fontanae-Montietum</i> (Bronkruid-associatie)	• Ass. 1.2.1 <i>Trichocoleo-Sphagnetum</i> (Wolmos-associatie)	• Ass. <i>Cratoneuro filicini-Cardaminetum</i> (Diknerfmos-associatie)
Subass. 1.1.1.1 <i>veronicetosum</i> 1.1.1.2 <i>peplidetosum</i> 1.1.1.3 <i>ranunculetosum</i>	• Ass. 1.2.2 <i>Pellio epiphyllae-Chrysosplenietum oppositifolii</i> (associatie van Paarbladig goudveil) Subass. 1.2.2.1 <i>stellarietosum</i> 1.2.2.2 <i>pellietosum</i> 1.2.2.3 <i>cratoneuretosum</i>	Subass. 2.1 <i>chrysosplenietosum</i> 2.2 <i>filipenduletosum</i>
	• Ass. 1.2.3 <i>Pellio-Conocephaletum</i> (Kegelmos-associatie) Subass. 1.2.3.1 <i>chrysosplenietosum alternifolii</i> 1.2.3.2 <i>inops</i>	



Figuur 5. Beoordeling van de bronnen en de bovenloopjes (bronbeken) in Nederland op basis van hydrobiologische kenmerken. 1. niveau 1, de actuele situatie voldoet aan de potentie; 2. niveau 2, de actuele situatie voldoet aan de potentie; 3. niveau 3, de faunistische actuele situatie voldoet niet, de floristische actuele situatie voldoet wel aan de potentie. (naar TORENBEEK, 1988)

van makrofaunasoorten van de Zuidlimburgse bronmilieus is niet uitputtend. De meest karakteristieke soorten zijn vermeld op basis van oriënterend onderzoek.

Zuidlimburgse bronnen en bronbeken herbergen nog een zeer rijke fauna met vele soorten die niet uitsluitend aan het koudstenotherme bronmilieu gebonden zijn. CUPPEN & MÖLLER PILOT (1978) onderzochten ca. 200 bronnen in Mergelland en troffen er 180 verschillende makrofaunataxa aan.

Een typologie van de Zuidlimburgse bronnen op basis van de makrofaunasamenstelling is momenteel nog onvoldoende ontwikkeld. Aanzetten tot het opstellen van een dergelijke typologie zijn alleen gebaseerd op éénmalige bemonsteringen en hebben het karakter van een oriënterend onderzoek (CUPPEN & MÖLLER PILOT, 1978) of het karakter van een uitgebreide inventarisatie in deelgebieden (VAN DER PLOEG & UPPERMAN, 1982; VAN DAEL, 1982; DE BOER, 1983).

De trofische structuur van de bronlevensgemeenschap is relatief eenvoudig (BREHM & MEIJERING, 1982). Detritusvreter spelen een belangrijke rol in bronnen. Bladval vormt voor de in bos gelegen bronnen de voedselbasis voor de fauna. In de relatief donkere bronbossen spelen mossen een belangrijke rol. Voor weidebronnen bestaat de voedselbasis uit kruiden. De rol van algen in de bronlevensgemeenschap

is nog onvoldoende bekend. THORUP (1963) heeft een studie gemaakt van de groei en de levenscyclus van enkele makrofaunasoorten in Deense bronnen. Zijn onderzoeksresultaten geven aan dat de groeisnelheid van de onderzochte dieren niet verklaard kan worden door de temperatuurcondities in de bronnen en dat de ontwikkelingscyclus van deze dieren gebonden is aan seizoenen. De watertemperatuur blijkt dus maar een van de factoren te zijn, die de groei en levenscyclus van dierlijke bronorganismen bepalen.

De waarde van de Zuidlimburgse bronnen en bronbeken, vnl. met betrekking tot de voorkomende makrofauna, wordt aangegeven door TORENBEEK (1988). Van alle Nederlandse gebieden waarin bronnen voorkomen, voldoet alleen in Zuid-Limburg de actuele situatie van bronnen en bovenloopjes aan de potentie die deze milieus hebben, dat wil zeggen dat de abiotische factoren dusdanig zijn dat een optimale biologische situatie mogelijk is (fig. 5).

Van de overige fauna van brongebieden zijn amfibieën een belangrijke groep. De Vuursalamander (*Salamandra salamandra*) komt in Nederland alleen in Zuid-Limburg voor, en is voor zijn voortplanting aangewezen op bronnen en bronbeekjes. Populaties van Vuursalamanders komen momenteel nog voor in het hellingbos tussen

Elsloo en Bunde en in bronnen en bronbeekjes in het zuidoostelijk deel van Zuid-Limburg. Zie hiervoor het artikel over de fauna van de Zuidlimburgse beken elders in dit themanummer.

Bronwater is verder van groot belang als drinkwater voor zoogdieren en vogels. Dit is met name het geval in de winter als de temperatuur van het bronwater t.o.v. de luchttemperatuur hoog is en nooit dichtvriest.

In droge zomers vormen bronnen veelal betrouwbare drinkwaterleveranciers.

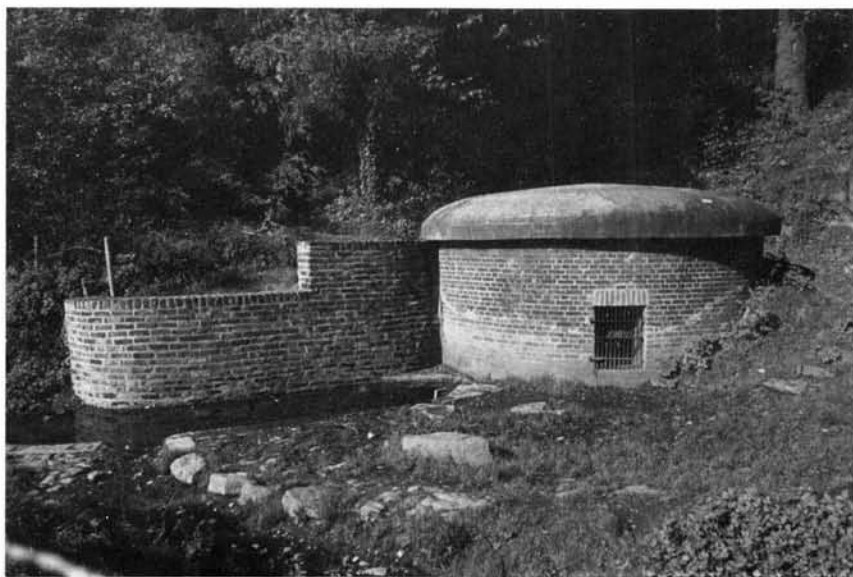
BRON EN MENS

Het thema bron en mens is veelomvattend. In het kader van dit artikel kan dit thema slechts beknopt behandeld worden.

In eerste instantie kan de betekenis van bronnen voor de mens worden teruggevoerd tot leveranciers van betrouwbaar, helder drinkwater: in de zomer heerlijk koel, in de winter aangenaam warm (fig. 6).

TACITUS (98) vermeldt met name bronnen als uitnodiging voor een vestigingsplaats van de Germanen. De functie van drinkwaterleverancier hebben bronnen tot op heden behouden. De menselijke aanwezigheid en het gebruik van bronnen gaat ver terug in de tijd en blijkt een mondiaal karakter te hebben. Hiervan getuigen vele archeologische vondsten in en nabij brongebieden in verschillende werelddelen. Als voorbeelden de paleolitische vondsten uit de Adlerquelle in Duitsland, een 70° C warme bron (VEIL, 1978) en de archeologische vondsten in de Wakulla Springs in Florida (KOPS, 1985).

Van groot belang zijn bronnen door de eeuwen heen als cultusplaats of als heiligdom, met name vanwege de vruchtbaarheidsbrengende en geneeskrachtige werking van het bronwater. Ook deze functie blijkt een universeel karakter te hebben. Over de bron heen of in de nabijheid werden religieuze bouwwerken opgericht en offergaven in allerlei vormen en van velerlei betekenis werden in het bronwater gedeponeerd. Hierbij zijn met name de zogenaamde ex-voto's van belang. STJERNQUIST (1970) vermeldt dergelijke vondsten uit de bron Röekillorna (Zuid-Zweden) van Vroeg-neolithicum tot de Romeinse IJzertijd. DEYTS (1983) beschrijft o.a. de opmerkelijke houten beelden, waarschijnlijk uit de IJzertijd, die in grote hoeveelheden als ex-



Figuur 6. De Zonput te Stein, een bron van de Ur. Deze bron werd in 1922 gecapteerd t.b.v. de watervoorziening van het stroomafwaarts gelegen klooster in het voormalige kasteel Stein (foto: auteur).

voto's in de bronnen van de Seine nabij Dijon zijn gedeponneerd. Uit het Grieks-Romeinse gebied bestaan een aantal literatuurverwijzingen over cultus en wonderen bij bronnen. Het was gebruikelijk om munten in bronnen te werpen (STJERNQUIST, 1970).

De Hopi-indianen (New-Mexico) maakten kleine zwarte cilindrische met ringetjes van riet. De cilindrische zijn het mannelijk symbool en de ringetjes het vrouwelijk. Ze werden samengebonden en in de heilige bron gegooid (BENEDICT, 1950).

Ook in Zuid-Limburg meent men bronverering uit vervlogen tijden te hebben aangetoond. Nabij Gulpen werd een Romeins bouwwerk bij een bron ontdekt (BECKERS & BECKERS, 1940). Dit bouwwerk werd later geïnterpreteerd als een Romeins bronheilighoud (BOGAERTS, 1955; VAN ES, 1981). Oorspronkelijk was de naam Kampborn, later spreekt men van de Godenbron. Een belangrijk voorbeeld van broncultus is verder de Lacus Curtius op het Forum Romanum te Rome (STJERNQUIST, 1970). Ook zijn te noemen de heilige Samsebron bij de Kaaba in Mekka en de Gihonbron waarbij de oorsprong van Jerusalem is gelegen. Ook in de Noordepoolse mythologie nemen bronnen een belangrijke plaats in. Volgens de Noorse mythologie ontspringt aan de voet van de Yggdrasil, de wereldboom, een bron genoemd de bron van Mimir. Odin moest één van zijn ogen offeren aan Mimir, om te mogen drinken van deze bron ter verkrijging van wijsheid en begrip (DAVIDSON, 1964). Overigens is de Yggdrasil een

Es (*Fraxinus excelsior*).

De verering van bronnen in voorchristelijke religies betreft ook de bron als schenker van levenskracht en vruchtbaarheid. Het is opmerkelijk dat het Engelse spring zowel bron als lente betekent. Hetzelfde geldt voor het woord born, de oude schrijfwijze van bron, dat geboorte betekent, nieuw leven. GESCHWENDT (1964) vermeldt meerdere bronnen in Europa waarvan het gebruik voor geneeskrachtige doeleinden teruggaat tot in de prehistorie. Met name behandelt hij de "Gute Born", een hooggelegen bron nabij het Reuzengebergte in Polen. Het gebruik van deze bron vanwege de geneeskrachtige werking van het bronwater loopt van de Steentijd tot heden. Als teken van dank en verering legde men dankgiften bij de bron neer. De "heidense" verering voor bronnen is geassimileerd door het Christendom en op veel plaatsen verzezen daar kapellen en kerken. De belangrijkste bron van de Noor heet de Brigidabron. Brigida of Brigitta is afgeleid van Brigit, een Iers-Keltische godin, beschermheilige van veefokkerij, geneeskracht en heilig vuur (NORRIS, 1982). Iedereen kent de bron die in Lourdes ontspringt in een grot. Aan dit water wordt ook een geneeskrachtige werking toegekend.

In sagen en legenden spelen bronnen soms een rol bv. in de vrouw Hollesage. In Zuid-Limburg zijn enkele legenden verbonden aan bronnen o.a. aan de St. Servatiusbron in het Jekerdal (WELTERS, 1975) (fig. 8) en aan een bron in Holset waarin St. Lambertus een rol speelt (HELLENBRAND, 1988).

Plaatsen waar het water zomaar uit de grond stroomt hebben dus door de tijden heen een bijzondere belangstelling van de mens genoten. Het bronwater werd beschouwd als een geschenk van Moeder Aarde.

Verreweg de belangrijkste functie van bronnen voor de mens is de leverantie van drinkwater. Op veel plaatsen in Zuid-Limburg werd eeuwenlang vaak over grote afstanden drinkwater gehaald bij bronnen; soms treft men er ook oude wasplaatsen aan. Ook in onze tijd zijn bronnen belangrijke leveranciers van drinkwater. Enkele krachtige bronnen werden niet zo erg lang geleden gecapteerd bv. de Landeus bij Mechelen en de Roodborn bij Eijs. Het natuurlijk uitdredend grondwater wordt daar opgevangen en vervolgens in een buizensysteem geleid.

Het waarschijnlijk oudste kuuroord in Nederland, waar men gebruik maakte van de gezondheidsterkende werking van bronwater, werd op bescheiden schaal geëxploiteerd door de zusters Franciscanessen te Breust (Eijsden; fig. 9). De bijzondere samenstelling van dit bronwater is reeds in het voorgaande besproken.

Nabij brongebieden werden kastelen en landgoederen gebouwd of aangelegd en vormt bronwater de voeding van grachten en vijvers (fig. 7). Dit geldt ook voor viskweekvijvers die veelal nabij brongebieden werden aangelegd.

Tenslotte kan nog de teelt van waterkers in en bij bronnen worden genoemd, ook wel cresson genoemd, dat als groente wordt gegeten.

PROBLEMATIEK ROND BRONGEBIEDEN

In het voorgaande zijn reeds een aantal problemen beschreven met betrekking tot de aardwetenschappelijke en ecologische gesteldheid van brongebieden. WAAJEN (1981), die een dertigtal brongebieden in Midden- en Zuid-Limburg heeft onderzocht, signaleert dat in vrijwel alle onderzochte gebieden, of delen ervan, plantensoorten indicatief voor verstoring massaal optreden. Ook de bronnen in Mergelland blijken volgens CUPPEN & MOLLER PILOT (1978) in botanisch opzicht veel geleden te hebben, veel helokrenen zijn namelijk vervuurd. Uit onderzoek van VAN DER PLOEG & UPPERMAN (1982) blijkt dat vele brongebieden in de gemeente Vaals bedreigd worden door intensief landbouwkundig gebruik, met name door drainage, betreding en directe

bemesting door vee. VAN DAEL (1982) concludeerde dat de bronnen van het Mechelderbeekdal morfologisch nog weinig verstoord zijn, maar dat van afspoeling van meststoffen naar het bronmilieu grote invloed is te vrezen. DE BOER (1983) vermeldt morfologische aantastingen van bronnen door betreding en vergraving met name in de brongebieden van de Berversbergbeek en de Terzieterbeek.

Men kan bovengenoemde problemen onderbrengen in 2 categorieën nl. problemen ten gevolge van activiteiten buiten het brongebied (externe beïnvloeding) en problemen ten gevolge van activiteiten binnen het brongebied (interne beïnvloeding).

Tot de externe beïnvloeding behoort de uitspoeling van meststoffen van de landbouwgronden. Zoals reeds is aangegeven speelt hierbij o.a. de toevoer van nitraat naar brongebieden een belangrijke rol. De eutrofiering van bronnen en bronbeken heeft in deze veelal snelstromende wateren niet zo duidelijk waarneembare effecten dan in langzaamstromende of stilstaande wateren, bv. algenbloei. Ook de toevoer van percolaatwater uit vuilstorten in groeven behoort tot de externe beïnvloeding. De toxische effecten hiervan kunnen desastreus zijn voor de organismen in brongebieden zoals in het eerder beschreven brongebied nabij groeve Kruisberg bij Bunde.

Ook via afspoeling kunnen ongewenste stoffen brongebieden bereiken, zoals nutriënten, toxische stoffen als al dan niet verontreinigd slib. De effecten hiervan zijn vaak duidelijk waarneem-

baar in de samenstelling van de vegetatie in het brongebied o.a. door het ontstaan van grote brandnetelruigten. Bij de afspoeling speelt geconcentreerde toevoer van landbouwwater of riooloverstortwater via waterlopen of terreinlaagten een belangrijke rol. Tensamen met atmosferische depositie van stoffen vormen uitspoeling en afspoeling een ernstige bedreiging voor de bronlevensgemeenschap.

Naast deze kwalitatieve beïnvloeding van water en bodem spelen ook kwantitatieve beïnvloedingen een rol. Door grondwaterwinning en afvoer via verhard oppervlak (bebouwing, wegen) blijft minder grondwater ter beschikking voor de voeding van bronnen. Geconcentreerde afvoer van water via het oppervlak door brongebieden veroorzaakt naast genoemde kwalitatieve beïnvloeding een ongewenste dynamiek in het bronmilieu en tast in enkele gevallen door de eroderende werking van het stromende water de morfologie van de bron of de bronbeek aan.

Ook in de brongebieden zelf vinden activiteiten plaats met negatieve effecten. Van deze interne beïnvloeding zijn te noemen het storten van velerlei afval, het met grond opvullen, het vergraven en het aanleggen van greppels, afvoerbuizen en drainpijpen. Deze activiteiten hebben veelal volledige vernieling van het bronmilieu tot gevolg. Indien bronnen in weiland zijn gelegen vindt er in veel gevallen een te zware bemesting plaats of wordt het drassige milieu door het vee vertrapt. Zijn brongebieden aangeplant met populieren

dan treft meestal een monotone vegetatie van brandnetel en kleeftkruid aan. Aan deze activiteiten moet intensieve menselijke betreding of berijding worden toegevoegd waarvan de vertrapingsgevoelige brongebieden soms veel te lijden hebben.

Ook herstel van de zogenaamde cultuurhistorische toestand van bronnen, meestal voorzieningen voor het verkrijgen van drink- en waswater, kan ecologisch gezien niet altijd positief worden beoordeeld. De zich enigszins herstelde bronlevensgemeenschap wordt door deze, op zich goedbedoelde activiteiten volledig verstoord. Als voorbeelden hiervan de cultuurhistorische restauratie van de Bermertijnbron bij Vijlen of het Terhagerputje in het kasteelpark bij Elsloo. Ook moeten vraagtekens worden gesteld bij vergraving van bronnen voor de aanleg van vijvers. Dit verschijnsel treft men vaak aan in particuliere tuinen.

Ondanks de veelomvattende problematiek zijn de Zuidlimburgse bronnen nog steeds van nationaal belang. TORENBECK (1988) geeft aan dat alleen nog in Zuid-Limburg de actuele situatie van bronnen en bovenloopjes voldoet aan de potentie die deze milieus hebben, d.w.z. dat de abiotische factoren dusdanig zijn dat een optimale biologische situatie mogelijk is.

In dit verband moet nog een aanzet tot een geïntegreerde waarderingsclassificatie voor bronnen worden vermeld. DE MOLENAAR (1978) heeft op basis van kenmerken betreffende hydrologie, morfologie, flora en fauna een drietal waarderingsklassen voor bronnen geformeerd. De beoordeling van de Zuidlimburgse bronnen aan de hand van deze classificatie heeft op beperkte schaal plaatsgevonden.

AANBEVELINGEN VOOR BEHOUD EN HERSTEL

Het ligt voor de hand dat ten behoeve van het behoud en herstel van brongebieden de in het voorgaande beschreven beïnvloedingen tot een aanvaardbaar niveau moeten worden teruggebracht, of zelfs moeten worden beëindigd. Het is opmerkelijk dat veel brongebieden niet bekend zijn bij natuurbeherende instanties en dat relatief veel brongebieden in particuliere eigendom zijn. De vaak moeilijke bereikbaarheid en de beperkte omvang van deze waardevolle gebieden zijn hier waarschijnlijk debet aan. Behoud of verbetering van de waterkwaliteit kan worden bereikt door de bemesting in het in-



Figuur 7. Een bron van de Vliekerwaterlossing te Ulestraten, een verfraaiing van het dorpsbeeld (foto: auteur).

filtratiegebied af te stemmen op een milieuhygiënisch verantwoord niveau. Dit ter bescherming van de grondwaterkwaliteit en dus ook van de kwaliteit van het bronwater.

Tevens dient voorkomen te worden dat percolaatwater uit vuilstorten, veelal in voormalige groeven, het grondwater kan bereiken of in brongebieden wordt geleid. Bovengenoemde beschermingsmaatregelen mogen worden verwacht als resultaat van de milieuhygiënische regelgeving o.a. de Wet Bodembescherming en de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren.

Zowel uit kwalitatieve als kwantitatieve overwegingen dient oppervlakkig afstromend water om brongebieden heen te worden geleid of dient door de aanleg van bufferstroken voorkomen te worden dat dit water in brongebieden terecht komt. Dit betreft zowel oppervlakkig afstromend water van landbouwgronden als water uit bebouwde gebieden. Bij verdere uitbreidingen van grondwateronttrekkingen moet verdroging van brongebieden als mogelijk gevolg duidelijk worden onderkend en mee worden genomen in de afweging. Dit geldt ook voor omvangrijke verhardingen van het oppervlak.

Maatregelen gericht op de activiteiten in de brongebieden zelf bestaan uit het voorkomen en verwijderen van vuilstort, het voorkomen en opheffen van drainages, geleiding in buizen, vergroeven en ophogingen.

Het betredingsniveau moet in veel gevallen worden teruggedrongen. Dit geldt ook voor het bemestings- en beweidingsniveau in en rond weidebronnen.

Herstel kan worden bereikt door een gericht onderhoud uit te voeren zoals het voorzichtig opschonen van bronnen en bronbeken, indien nodig. Verder omvat dit onderhoud het maaien en afvoeren van de vegetatie in het najaar of het toepassen van een lichte beweiding. In sommige gevallen zal afrastering van de weidebronnen nodig zijn. In bosbrongebieden verdient het aanbeveling de populieren te vervangen door o.a. Es, Els en Wilg of een spontane ontwikkeling na kap van de populieren te laten plaatsvinden. Bij weidebronnen zal aanplant van enkele struiken of bomen deze bijzondere landschapselementen accentueren en daardoor het landschapsbeeld verfraaien. De Es (*Fraxinus excelsior*) is uit een cultuurhistorisch en ecologisch oogpunt een verantwoorde keuze voor aanplant bij bronnen.



Figuur 8. De St. Servaasbron in het Jekerdal bij Maastricht (foto: auteur).

Herstel van de cultuurhistorische situatie is niet zonder meer aan te raden. Ecologisch gezien verdient spontane en dus natuurlijke ontwikkeling van brongebieden de voorkeur.

Behoud van brongebieden is mogelijk door aankoop door een organisatie die garant kan staan voor een goed beheer. Behalve aankoop is aanwijzing als reservaatgebied (Relatienota) van belang voor weidebrongebieden en aanwijzing als beschermd natuurmonument van belang voor bosbrongebieden. Tevens is het van belang dat brongebieden een planologische bescherming krijgen met name in bestemmingsplannen. Bij de projectie van wegen, bebouwing of ontgrondingen dient men dan rekening te houden met deze waardevolle ecotopen.

RUSTPENSION BRONBADEN

Prachtige omgeving, zachte lucht voor rustbehoevende dames. De bronbaden zijn aanbevolen door H.H. Doktoren, het water komt op door een diepe spleet in de aarde evenals te Aken. Vele resultaten reeds bij reumatiek, pijn in de rug, droog exema, slechte bloedsomloop enz. enz. — Wie gezondheid behartigd neemt de bronbaden bij de 3497

Zrs FRANCISCANESSEN
te Eijsden bij Maastricht

Figuur 9. Advertentie in de Limburger Koerier van 16 nov. 1937, waarschijnlijk het eerste (en enige) kuuroord in Nederland waar gebruik werd gemaakt van de gezondheidssterkende werking van bronwater.

Om brongebieden te behouden of te herstellen is het noodzakelijk de gedetailleerde ligging van deze gebieden te kennen. Er dient een goede inventarisatie te worden verricht waarbij tevens gelet wordt op bijzondere waarden die in afzonderlijke brongebieden aanwezig zijn en de grootste bedreigingen. Een dergelijke documentatie van alle afzonderlijke Zuidlimburgse brongebieden is helaas nog niet aanwezig.

SUMMARY

SPRINGS IN SOUTHERN LIMBURG

Southern Limburg is a region rich in springs. Springs are of vital importance for the base flow of many natural streams in this part of the country. Spring areas are special places from an ecological point of view, because of the relatively constant temperature of the water and soil, the permanent humidity and the relatively constant chemical composition of the water. Many types of springs can be distinguished on the basis of their hydrogeology, hydrologic character, waterchemistry, morphology, vegetation, fauna composition, or degree of disturbance, or a combination of these items. Because of the special abiotic conditions, many species of plants and animals are closely linked with spring areas. Spring areas and their biotic communities are threatened in many ways, e.g. by urbanisation, groundwater depletion, leaching of nutrients, influx of undesirable chemicals and agricultural land use. Nevertheless the hydrobiological situation of springs in Southern Limburg still compares favorably with that of springs in other Dutch regions. Springs are also of great importance to man. They supply drinking water and water for fish ponds and moats. They constitute valuable landscape elements. Furthermore, springs play a special role in various re-

ligions, myths and legends. The article also surveys the ecological problems of spring areas and makes some suggestions for conservation, recovery and management of these valuable ecotopes.

LITERATUUR

- AGGENBACH, C. & A. JANSEN, 1989. Hydro-ecologie van de Bovenste Hof. Laaglandbekenproject ACJN/Rijksuniversiteit Groningen nr. 16-1989.
- ARNOLDS, E.J.M. & R. VAN DER MEIJDEN, 1976. Standaardlijst van de Nederlandse flora 1975. Rijks-herbarium Leiden.
- BECKERS, H.J. & G.A.J. BECKERS, 1940. Voorgeschiedenis van Z-Limburg. Maastricht.
- BENEDICT, R., 1950. Mozaïk der cultuurvormen. Antwerpen/Amsterdam.
- BIAB, J., 1986. Grundlagen des Biotopschutzes für Tiere. Schriftenreihe für Landschaftsplege und Naturschutz Heft 24. Bonn-Bad Godesberg.
- BOER, J. DE, 1983. Bronnen en beken in het Boven-Geuldal. Verslag LH/Nb nr. 668. Wageningen.
- BOGAERS, J.E.A.T., 1955. De Gallo-Romeinse tempels te Elst in de Over-Betuwe. Den Haag.
- BRAKEL, A. VAN, 1982. Invloed van cultuurdruk op bron- en beekoevervegetaties in Mergelland. SBB dienstvak natuurbewoud. Roermond.
- BREHM, J. & M.P.D. MEIJERING, 1982. Fliessgewässerskunde. Biologische Arbeitsbücher 36. Heidelberg.
- BUTH, G.J.G., 1984. Wisselende plantengroei in een natuurgebied. Natuur en Techniek jrg. 52 p. 762-777.
- CORTEN, J.G.J.M., 1985. Waterkwaliteit in een deel van Z-Limburg. Verslag vakgroep Fysische Geografie RUU. Utrecht.
- CUPPEN, H.P.J.J. & H.K.M. MOLLER PILOT, 1978. Werkrapport Mergelland bijlage 1. Een oriënterend hydrobiologisch onderzoek naar bronnen en bronbeken in Mergelland. RIN-rapport Leersum.
- DAEL, G. VAN, 1982. Niet bij makrofauna alleen. Onderzoek van de makrofauna in bronnen en beken van het Mechelderbeekdal. Verslag LH/Nb nr. 634. Wageningen.
- DAVIDSON, H.R.E., 1964. Gods and Myths of Northern Europe. Penguin Books.
- DAVIS, S.N. & R.J.M. DEWIEST, 1966. Hydrogeology. New York/London/Sydney.
- DENIER VAN DER GON, H. & A. VAN DER HORST, 1985. Nitraatverontreiniging in het Boven-Gulpedal. Verslag LH Hydrogeologie. Wageningen.
- DEUTS, S., 1983. Les bois sculptés des sources de la Seine. XIIIe supplément à Gallia. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris.
- ES, W.A. VAN, 1981. De Romeinen in Nederland. Haarlem.
- EVERS, W.M.J., 1983. De vegetatie van het Bunderbos c.a. Verslag Botanisch Laboratorium afd. Geobotanie K.U. Nijmegen.
- FRICKE, K. & G. MICHEL, 1969. Mineral- und Thermalwässer der Bundesrepublik Deutschland. Mineral and thermal waters of the world A-Europe. International Geological Congress p. 31-59. Prague.
- GESCHWENDT, F., 1964. Der Gute Born. Eine vorgeschichtliche Kult- und Heilquelle im Riesengebirge. Beihefte der Bonner Jahrbücher Band 10/I. Studien aus Alteuropa Teil I. Köln/Graz.
- GONGGRIJ, G.P. (red.), 1986. Gea-objecten van Limburg. RIN-rapport 86/21. Leersum.
- GRAULICH, J.M., 1969. Eaux minérales et thermales de Belgique. Mineral and thermal waters of the world A-Europe. International Geological Congress p. 9-17. Prague.
- HEIMANS, E., 1911. Uit ons Krijtland. Amsterdam.
- HELLEBRAND, 1988. Het 'Klückske' verhaal. Holset (privé-uitgave).
- HENDRIKS, R.F.A. & P. ELUSTEN, 1985. Bronnen en bronmilieus. Een onderzoek naar bronnen en bronmilieus in Z-Limburg. Verslag vakgroep Cultuurtechniek LH. Wageningen.
- HENDRIX, W.P.A.M., 1982. De Kingbeek uit een oogpunt van natuurbeheer. Verslag LH/Nb nr. 603. Wageningen.
- HENDRIX, W.P.A.M., 1985. Het grondwater van het Centraal Plateau (Z-Limburg). Geografisch Instituut der Rijksuniversiteit Utrecht.
- HENDRIX, W.P.A.M. en R.F.A. HENDRIKS (in prep). Temperatuur en het bronmilieu.
- JONGMANS, W.J., W.F.J.M. KRUL & J.J.H. VOS, 1941. Waterwinning in Z-Limburg. N.V. Waterleidingmij. voor Z-Limburg. Maastricht.
- KEILHACK, K., 1935. Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde.
- KEULLER, L., 1923. Breuken in het Krijt nabij Maastricht. Natuurhist. Maandbl. 12 (5): 19 en 20. Maastricht.
- KLEIN, W.C., 1914. Spoorweggeologie in Z-Limburg. Tijdschr. Kon.Neder.Aardr.Gen. 2e serie dl. XXXI afl. 4 p. 451-474.
- KOPS, H., 1985. Het kerkhof van de mammoeten. Adventure nr. 9 p. 52-60.
- MAAS, F.M., 1959. Bronnen, bronbeken en bronbossen van Nederland, in het bijzonder die van de Veluwezoom. Meded. LH 59 (12). Wageningen.
- MEIJDEN, R. VAN DER, E.J. WEEDA, F.A.C.B. ADEMA & G.J. DE JONCHEERE, 1983. Flora van Nederland (Heukels). Groningen.
- MOLENAAR, J.G. DE (red), 1978. Werkrapport Mergelland. RIN-rapport. Leersum.
- MUTHMANN, F., 1975. Mutter und Quelle. Archäologischen Verlag. Basel.
- NORRIS, H.T., 1982. De Islam. In: R. CAVENDISH, Mythologie van de gehele wereld p. 110-119.
- ODUM, E.P., 1971. Fundamentals of ecology. Philadelphia/London/Toronto.
- PATTEE, E., 1965. Sténothermie et eurythermie les invertébrés d'eau douce et la variation journalière de température. Toulouse.
- PLOEG, M.P.M. VAN DER & C.W. UPPERMANN, 1982. Bronnen in Vaals; macrofauna-onderzoek. Verslag LH/Nb nr. 643. Wageningen.
- REDEKE, H.C., 1948. Hydrobiologie van Nederland. Amsterdam.
- RUMMELEN, F.H. VAN, 1943. Overzicht van de tusschen 600 en 1940 in Zuid-Limburg en omgeving waargenomen aardbevingen, en van aardbevingen welke mogelijk hier haren invloed kunnen hebben doen gelden. Meded. behorende bij het jaarverslag over 1942 en 1943. Geol. bureau voor het Mijnged. Heerlen.
- RIJKS GEOLOGISCHE DIENST 1984 geologische kaart van Zuid-Limburg en omgeving (Pré-kwartair). Haarlem/Heerlen.
- STJERNQUIST, B., 1970. Germanische Quellenopfer. In: H. JANKUHN (red), Vorgeschichtliche Heiligtümer und Opferplätze in Mittel- und Nordeuropa. Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen.
- STINY, J., 1933. Die Quellen. Wien.
- STUMPEL-RIENKS, S.E., 1975. De botanische waardering van ecotopen als bijdrage tot een globale waardering van het natuurlijk milieu. Gorteria deel VII 1974-1975 p. 91-99.
- TACITUS, C., 98. Germania. Vertaling: B.H. Steringa Kuypers 1902, Amsterdam.
- THORUP, J., 1963. Growth and life-cycle of invertebrates from Danish springs. Hydrobiologica vol. XXII nr. 1-2.
- THORUP, J. & C. LINDEGAARD, 1977. Studies on Danish springs. Folia Limnol.Scand. 17: p. 7-15.
- THIENEMANN, A., 1922. Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen (I-IV). Arch.f.Hydrobiol. XIV p. 151-190.
- THIENEMANN, A., 1923. Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen V. Zeitschr.f.Wiss. Insektenbiologie Bd. XVIII p. 126-134/179-186. Berlin.
- THIENEMANN, A., 1926. Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen VII. Deutsche Entomologische Zeitschrift Heft I p. 1-50. Berlin.
- TOLKAMP, H.H., 1983. Beken in Z-Limburg. Natura 80 (1) (904) p. 102-108.
- TORENBEEK, R., 1988. Hydrobiologie en waterhuishouding: een beleidsvoorbereidende studie. RIN-rapport nr. 88/55. Arnhem, Leersum en Texel.
- VEIL, S. (red), 1978. Alt- und Mittelsteinzeitliche Fundplätze des Rheinlandes. Köln/Bonn.
- VEESHOUWERS, J.M.E. 1984. Water dat zijn bedding verloor; over bronnen, beek, vijver en watermolens in het oude Limbricht. Hist. jaarb. voor het Land van Swentibold p. 25-48.
- WAAJEN, G.W.A.M., 1981. Brongebieden in Midden- en Zuid-Limburg. Verslag LH/Nb nr. 566. Wageningen.
- WATERSCHAP ZUIVERINGSCHAP LIMBURG (WZL), 1983 en 1985. Basisonderzoek naar de kwaliteit van de oppervlaktewateren. Roermond.
- WEEDA, E.J., R. WESTRA, CH. WESTRA & T. WESTRA, 1985. Nederlandse ecologische flora. Wilde planten en hun relaties 2. IVN/VARA/VEWIN. Hilversum/Haarlem.
- WELTERS, H., 1875. Limburgse legenden, sagen, sprookjes en volksverhalen. Deel 1 Heruitgave 1982.
- WESTHOFF, V., P.A. BAKKER, C.G. VAN LEEUWEN, E.E. VAN DER VOO & I.S. ZONNEVELD, 1973. Wilde planten, flora en vegetatie in onze natuurgebieden. Deel 3 De hogere gronden. Ver. tot behoud van Nat.mon. in Nederland.
- WESTHOFF, V. & A.J. DEN HELD, 1975. Plantengemeenschappen in Nederland. Zutphen.