

RIVM rapport 714801028/2003

**Basiswaarden voor spoorelementen in het zoete grondwater
van Nederland; gegevens uit de landelijke en provinciale
meetnetten (LMG, PMG, LMB, sprengen Veluwe)**

C.R. Meinardi, M.S.M. Groot, H.F Prins

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Directoraat-Generaal Milieubeheer van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directie Bodem, Water en Landelijk Gebied (projectnummer 714801, Monitoring en Diagnose grondwater MAP-MILIEU 1998-2002)
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Postbus 1, 3720 BA Bilthoven,
telefoon: 030 - 274 91 11, fax: 030 - 274 29 71

Samenvatting

Basiswaarden voor het zoete grondwater zijn gedefinieerd als de concentraties van stoffen in het grondwater die uitsluitend zijn ontstaan uit natuurlijke neerslag in het huidige landschap. Metingen aan grondwater met reistijden van meer dan 50 jaar in de bodem van gebieden met een natuurlijke vegetatie uit de Landelijke en Provinciale Meetnetten Grondwaterkwaliteit (LMG, PMG) en uit de sprengen van de Veluwe zijn bewerkt om basiswaarden te bepalen voor 50 anorganische sporelementen in zoet grondwater. De gegevens uit LMG en PMG waren onvoldoende consistent om ze in samenhang te beschouwen; de resultaten van de PMG zijn niet gebruikt. Concentraties in de natuurlijke neerslag kunnen uit de basiswaarden voor het grondwater worden afgeleid door rekening te houden met de indamping.

Basiswaarden dienen in beschouwing genomen te worden bij de vaststelling van streef- en grenswaarden om ongewenste overschrijdingen te voorkomen. De basiswaarden voor Cd, Cu en Ni zijn vrijwel gelijk aan de thans geldende streefwaarden, zodat overschrijdingen veel voorkomen.

Ook is het met de basiswaarden mogelijk om veranderingen in de samenstelling van het grondwater door menselijke invloed te bepalen. Uit een vergelijking van de concentraties in grondwater met lange (meer dan 50 jaar) en korte (minder dan 25 jaar) reistijd in de bodem blijkt dat menselijke invloeden aantoonbaar zijn. Hoge concentraties van de metalen Al, Cd, Cu, Pb, Ni en Zn worden vooral als gevolg van verzuring gevonden in grondwater met korte reistijden onder natuurlijke vegetatie. Overschrijdingen van de streefwaarden zijn aanzienlijk in het zuidelijk zandgebied en veelal iets minder groot in de overige. Andere stoffen hebben de hoogste concentraties in ondiep grondwater onder landbouw (bemesting).

Recent in de bodem geïnfiltreerd water is bemonsterd in het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Uit deze gegevens volgt dat een toegenomen atmosferische depositie van Cd, Cu en Ni merkbaar is in het grondwater van natuurgebieden. De verschillen in de concentraties van veel sporelementen zijn relatief gering voor ondiep grondwater onder diverse vormen van landbouw.

Trefwoorden: meetnetten, grondwaterkwaliteit, sporelementen, basiswaarden, streefwaarden

Summary

Basic groundwater values are concentrations in natural aerial deposition, multiplied by condensation factors derived from evapotranspiration in the actual landscape. They can serve as reference values for limit values and also for determining anthropogenic influences on groundwater. Groundwater basic values and basic values for atmospheric deposition in the Netherlands were derived from groundwater with long travel times in the soil sampled in the national (LMG) and provincial groundwater monitoring networks (PMG). Groundwater from areas with natural vegetation, having resided a large time in a sandy soil, is discharged by the Veluwe sprengen, where investigations included the analysis of 50 trace elements. Comparison of the concentrations of trace elements in groundwater with travel times of more than 50 years under natural vegetation and those in Veluwe sprengen water showed the effects of variations in evapotranspiration, leading to different condensation factors. LMG and PMG data turned out to be insufficiently consistent, only LMG has been elaborated.

Human activities cause high concentrations of metals in groundwater with short travel times under natural vegetation. Other trace elements and most major compounds have the highest concentrations in recent groundwater under agriculture. The national target levels for groundwater in LMG and PMG are often exceeded for Cd, Cu, Ni, Pb and Zn and, notably, for groundwater with the shortest travel times in the soil of both agricultural grounds and areas with natural vegetation. Recently infiltrated groundwater was observed in the National Soil Monitoring Network (LMB). Results indicated an increased aerial deposition of metal elements on natural vegetation showing a south to north trend over the Netherlands. Areas with intensive husbandry, sampled in LMB, show increased values for As and total-P, the concentrations of the other elements being only slightly higher if compared to normal agricultural soils.

Key words: Groundwater quality monitoring networks, basic values, trace elements

INHOUD

1.	Inleiding	7
1.1.	Kader en doelstellingen	7
1.2.	Eigenschappen van basiswaarden	8
1.3.	Leeswijzer	9
2.	Gebruikte gegevens	11
2.1.	Bodem- en grondwatermeetnetten	11
2.2.	MTR- en streefwaarden, drinkwaternormen en detectiegrenzen	13
3.	Water uit de sprengen van de Veluwe in relatie tot de neerslag	15
4.	Het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit	17
4.1.	Indeling naar reistijden in de bodem en intrekgebied	17
4.2.	Vergelijking van het sprengenwater en het grondwater in LMG en PMG	22
4.3.	Regionale verschillen in basiswaarden en menselijke invloeden	23
4.4.	Gemiddelde en mediane waarden	25
5.	De Provinciale Meetnetten Grondwaterkwaliteit	27
6.	Grondwater uit het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit	29
6.1.	Opzet van het meetnet	29
6.2.	Concentraties in het bovenste grondwater op boslocaties	29
6.3.	Concentraties in het bovenste grondwater op overige locaties	31
7.	Basiswaarden en antropogene invloeden; conclusies	33
	Literatuur	37
	Bijlage 1 Gegevens van de sprengen rond de Veluwe	39
	Bijlage 2 Gegevens uit het LMG	40
	Bijlage 3 Gegevens uit de PMG	42
	Bijlage 4 Gegevens uit het LMB	43

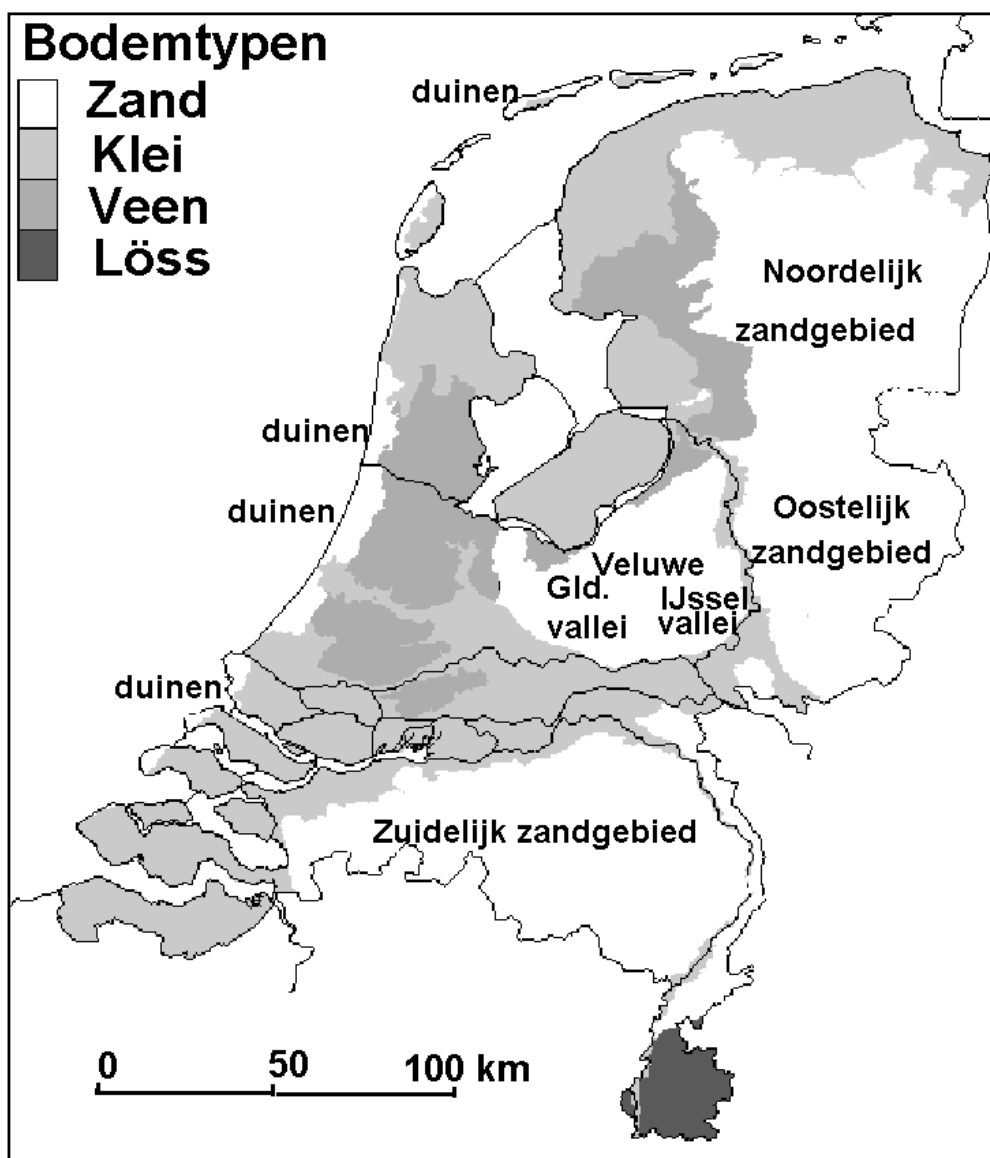


Fig.1 De zandgebieden van Nederland

1. INLEIDING

1.1. Kader en doelstellingen

Grondwater ontstaat uit neerslag en daarnaast kunnen vaste delen van de bodem in oplossing gaan. Verder ondervinden bodem en water tegenwoordig ook de gevolgen van menselijke activiteiten. In het landelijk gebied uitendie zich in een toename van de atmosferische depositie en daarnaast een belasting van landbouwgronden door bemesting en het gebruik van chemicaliën. Deze diffuse bronnen veroorzaken hogere concentraties in het grondwater. Ze zijn van belang sinds de invoering van de kunstmest en de opkomst van de industrialisatie in de negentiende eeuw. Het gebruik van mest en chemicaliën in de landbouw en de uitstoot van stoffen hebben met name in de afgelopen 50 jaar een grote vlucht genomen. Zuurvormende stoffen in de bodembelasting maken tevens het grondwater zuurder waardoor ook stoffen uit de bodem in oplossing gaan zodat de concentraties in het grondwater toenemen.

De toegenomen concentraties van sporelementen in het grondwater kunnen gevaarlijk zijn voor mensen (drinkwater) en schadelijk voor ecosystemen. Daarom heeft het Ministerie van VROM in de afgelopen jaren bij de uitwerking van de Wet Bodembescherming (Wbb) streef- en grenswaarden vastgesteld (Swartjes, 1999) voor onder andere de concentraties aan zware metalen in het grondwater. Een situatie zonder menselijke invloed is van groot belang als referentie. Vroeger is nauwelijks gemeten aan de concentraties in het grondwater. Het huidige grondwater met lange verblijftijden in de bodem geeft echter een beeld van de samenstelling van de neerslag in vroeger tijden en van het daardoor gevormde grondwater.

Basiswaarden voor het grondwater zijn hier gedefinieerd als concentraties in zoet grondwater die uitsluitend zijn ontstaan onder invloed van de natuurlijke neerslag. Grondwater met reistijden van vele tientallen jaren in de bodem heeft praktisch geen invloed ondervonden van menselijke verontreiniging. De samenstelling van dit grondwater, uitgedrukt als basiswaarden, zou als referentie kunnen dienen voor een nadere vaststelling van streef- en grenswaarden. Met behulp van deze basiswaarden is het tevens mogelijk om veranderingen in de samenstelling van het grondwater als gevolg van menselijke activiteiten nader aan te geven. Basiswaarden voor de atmosferische depositie zijn bij benadering gelijk aan concentraties in de natuurlijke neerslag. Ze kunnen worden afgeleid uit de basiswaarden in het grondwater.

Het doel van het onderzoek was om de basiswaarden te bepalen voor 50 anorganische sporelementen in het grondwater van Nederland en daaruit afgeleid die in de neerslag. De nadruk lag op de sporelementen; de concentraties van de hoofdelementen zijn gebruikt om de hydrologische en hydrochemische situatie te schetsen en voor een verdere onderbouwing van het gebruikte concept. De gevonden basiswaarden zijn vergeleken met de streefwaarden uit de Wet Bodembescherming. Tevens vormden ze de basis voor beschouwingen over de concentraties in grondwater dat wel invloed heeft ondervonden van menselijke activiteiten.

1.2. Eigenschappen van basiswaarden

De reistijd van grondwater in de bodem van zandgebieden (Fig.1) bedraagt vaak al tientallen jaren op relatief geringe diepte. Op grotere diepte kan de reistijd eeuwen lang zijn. De langste verblijftijden zijn bepaald in het diepe grondwater onder kleigebieden. Het is echter niet eenvoudig om uit dit zeer oude grondwater de “natuurlijke” samenstelling te achterhalen. Een praktisch bezwaar is dat het aantal metingen aan zulk grondwater beperkt is en niet eenvoudig op te voeren. Metingen in de zandgebieden, die in relatief grote hoeveelheid beschikbaar zijn, bieden meer aanknopingspunten bij de bepaling van basiswaarden voor een bij benadering natuurlijke situatie. Voor monsters uit het Landelijk (LMG) en de Provinciale Meetnetten Grondwaterkwaliteit (PMG) zijn de herkomst van het grondwater en de reistijden in de bodem bepaald met behulp van de gemeten tritiumconcentraties (Meinardi, 2003). De concentraties van een aantal spoorelementen zijn bepaald in deze meetnetten. Hetzelfde geldt voor het onderzoek aan het water van de sprengen van de Veluwe, waarvoor de verdeling van de reistijden in de bodem (soms honderden jaren) en de concentraties van 50 verschillende spoorelementen zijn bepaald per monster van het sprengwater (Meinardi, 1999). Overigens bestaat het zoete grondwater onder de klei- en veengebieden overwegend uit grondwater dat in de zandgebieden is gevormd en van daaruit verder is gestroomd. Het zal eigenschappen hebben die vergelijkbaar zijn met die van het grondwater in de zandgebieden.

De hydrologische situatie heeft invloed op de concentraties in grondwater doordat het meestal onderhevig is geweest aan evapotranspiratie tijdens de vorming, zodat de concentraties in de neerslag toenemen (indamping). De laagste concentraties die volgden uit het onderzoek van de sprengen waren vaak ongeveer twee keer hoger dan die in neerslag (Meinardi, 1999b). De indampfactor zal inderdaad ongeveer 2 zijn geweest bij de schaarse begroeiing van de Veluwe in vroeger tijden. Indampfactoren voor de huidige landschappen van Nederland variëren van 3 tot 5 (Meinardi, 1994) met een gemiddelde waarde van circa 4. In Tabel 1 zijn langjarige gemiddelden gegeven voor een aantal verschillende situaties in gebieden met een natuurlijke begroeiing en daaruit afgeleid een schatting van de optredende indampfactoren.

Tabel 1 Langjaarlijkse gemiddelden van neerslag, verdamping en indampingsfactor

Gebied	neerslag <i>mm.a⁻¹</i>	verdamping <i>mm.a⁻¹</i>	indampingsfactor <i>dimensieloos</i>
Veluwe (heide en kale grond)	850	430	2.0
Veluwe (naaldbos)	850	675	4.9
Laag Nederland (gras en heide)	780	550	3.4
Laag Nederland (gemengd bos)	780	610	4.6

De consequentie is dat de basiswaarden in grondwater steeds afhankelijk zijn van een variabele indamping in het intrekgebied. Buiten de Veluwe (en Zuid-Limburg) met hoge waarden voor de gemiddelde neerslag zijn de variaties in de indampfactoren echter minder groot. Een tweede opmerkelijke conclusie uit Tabel 1 is dat de indampfactor voor de huidige

situatie van de Veluwe, waar de vegetatie overwegend uit naaldbos bestaat, vergelijkbaar is met die voor veel gebieden met een natuurlijke vegetatie in de rest van Nederland. Dit houdt in dat het sprengenwater lagere concentraties zal bevatten dan grondwater uit LMG en PMG van de Veluwe en dat lage concentraties vergelijkbaar zullen zijn met die in de rest van Nederland.

De afgifte van stoffen door de bodem kan ook van belang zijn (Appelo en Postma, 1994). De doorstroomde bodem van het in de zandgebieden bemonsterde grondwater bestaat vooral uit sedimenten die in stromend water zijn afgezet. Dat water zal een sterke gelijkenis hebben gehad met de toenmalige neerslag. Naar verwachting zullen de gehalten aan sporelementen in deze sedimenten vrijwel in evenwicht zijn geweest met het water. Daarna is de bodem duizenden (en soms miljoenen) jaren doorstroomd door grondwater dat afkomstig was van de neerslag. Voor een natuurlijke situatie is het daarom een redelijke veronderstelling dat de vaste sedimenten en het grondwater in chemisch evenwicht zijn. Dit houdt in dat de natuurlijke achtergrondconcentraties in het grondwater een constante waarde zullen hebben bij een constante samenstelling van de natuurlijke neerslag.

Menselijke invloed op de kwaliteit van het grondwater kan voor geen enkel zandgebied meer worden uitgesloten, al was het maar door een verhoogde atmosferische depositie. Die invloed is te reduceren door een selectie te maken van het grondwater met de langste verblijftijden in de bodem (voor LMG met $t > 50$ jaar). Meer dan 50 jaar geleden zal de invloed van menselijke activiteiten in gebieden met een natuurlijke vegetatie praktisch verwaarloosbaar zijn geweest. Uitgangspunt voor de basiswaarden zijn daarom de concentraties in grondwater met relatief lange reistijden in de bodem van gebieden met een natuurlijke vegetatie en dus alleen een belasting door atmosferische depositie. In zulke gevallen zal de samenstelling van natuurlijk grondwater vrijwel gelijk zijn aan die van natuurlijk regenwater na het effect van indamping. Voor sporelementen met relatief constante concentraties in de natuurlijke neerslag mogen we daarom ook relatief constante basiswaarden verwachten voor het zoete grondwater. Bij het brakke en zoute grondwater spelen extra toevoegingen een rol. Het volgende gaat uitsluitend over grondwater met chlorideconcentraties van minder dan 200 mg/l. Dat zoete grondwater is aangetroffen in de grote meerderheid van de meetpunten in de zandgebieden. Met name voor de punten in de duingebieden kan echter niet worden uitgesloten dat toch een geringe menging met zeewater heeft plaats gevonden.

De conclusies voor de zandgebieden gelden ook voor het zoete grondwater in de klei- en veengebieden, dat in de zandgebieden is ontstaan. Een zinvolle inperking is om het onderzoek te richten op het zoete grondwater in de zandgebieden.

1.3. Leeswijzer

Het grondwater in de zandgebieden heeft verblijftijden in de bodem die voor LMG en PMG bepaald zijn (Meinardi, 2003), evenals de plaats van infiltratie. De beschikbare

waarnemingen zijn beschreven in hoofdstuk 2. Het grondwater dat door de sprengen van de Veluwe wordt afgevoerd, kan weliswaar deels ouder zijn maar ook hiervoor zijn de verblijftijdverdelingen in de bodem vast te stellen evenals de herkomst. De resultaten (hoofdstuk 3) zijn geschikt voor een eerste verkenning van de basiswaarden. Waarnemingen uit het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG) in hoofdstuk 4 zijn opgesplitst naar de zandgebieden, naar het landgebruik in de omgeving van de put en naar de verblijftijd van het water in de bodem. Dezelfde indeling is gemaakt voor de Provinciale Meetnetten (PMG, hoofdstuk 5), waarbij in het noordelijk zandgebied alleen waarnemingen in de provincie Drenthe, in het oostelijk zandgebied alleen in Gelderland, in het zuidelijk zandgebied alleen in Noord-Brabant en in het duingebied alleen waarnemingen in Zuid-Holland beschikbaar waren. Uitsluitend de waarden over de periode van 1992-2000 zijn beschouwd voor het LMG en het PMG. Gegevens uit het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB, Groot e.a., 1997) komen in hoofdstuk 6 ter sprake. Deze waarnemingen representeren water met een relatief korte reistijd in de bodem. Tenslotte is in hoofdstuk 7 een overzicht van de conclusies gegeven met daarbij een tabel van de bepaalde basiswaarden in het grondwater van Nederland en daaruit zijn de concentraties in de natuurlijke neerslag afgeleid.

2. GEBRUIKTE GEGEVENS

2.1. Bodem- en grondwatermeetnetten

Putten van de Landelijke en de Provinciale Meetnetten Grondwaterkwaliteit (LMG en PMG) geven een beeld van de kwaliteit van het grondwater. Monsters water uit die putten worden regelmatig geanalyseerd op concentraties van hoofdcomponenten (Ca, Cl, Fe, HCO₃, K, Mg, Mn, Na, NH₄, NO₃, O₂, P en SO₄) en van spoorelementen (Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr en Zn). Daarnaast beheert het RIVM het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB), dat gericht is op onderzoek naar veranderingen in de kwaliteit van de bodem. Het analyseert ook monsters uit het bovenste grondwater op dezelfde hoofdcomponenten en spoorelementen. Verder heeft het RIVM met tienjarige tussenpozen metingen gedaan aan stroming en watersamenstelling van de sprengen van de Veluwe, die grondwater afvoeren dat weinig is beïnvloed door menselijke factoren. Bij het onderzoek in 1996 heeft NITG-TNO de concentraties van 50 verschillende spoorelementen bepaald in het sprengenwater.

De aantallen putfilters in LMG en PMG in de zandgebieden waarvan de waarnemingen in de hoofdstukken 4, 5 en 6 zijn gebruikt, zijn gegeven in Tabel 2. De putfilters liggen op verschillende diepten (circa 10, 15 en 25m), maar in Tabel 2 zijn de monsters verdeeld naar de verblijftijd in de bodem van het grondwater in jaren (a). Het werkelijke aantal gegevens zal in vergelijking tot het aantal filters groter zijn doordat in de putten jaarlijkse metingen zijn gedaan in de beschouwde periode van 1992 tot 1996 en daarna minder frequent. De in de hoofdstukken 4 en 5 gebruikte series omvatten niet alle LMG- en PMG-putten met zoet grondwater in het zandgebied. Niet opgenomen zijn de putten waar het landgebruik afwijkt (bebouwd terrein) en putten waarvoor geen verblijftijd kon worden bepaald.

Tabel 2 Aantallen putfilters met zoet grondwater in LMG en PMG

	landbouw verblijftijden			natuur verblijftijden		
	<25a	25/50a	>50a	<25a	25/50a	>50a
LMG; Noordelijk zandgebied	26	22	20	6	6	2
PMG; Drenthe	19	22	3	4	4	1
LMG; Oostelijk en centraal zandgebied	16	14	7	5	6	1
PMG; Gelderland minus de Veluwe	21	10	1	5	2	0
LMG; Veluwe, Utrechtse Heuvelrug	4	2	0	9	4	0
PMG; Veluwe	6	5	0	3	4	0
LMG; Zuidelijk zandgebied	31	23	16	14	13	3
PMG; Noord-Brabant	25	23	1	9	4	1
LMG; Duinen en geestgronden	5	3	3	5	5	1
PMG; Duinen Zuid-Holland	2	11	0	1	3	0
LMG Totale zandgebied (272 putfilters)	82	64	46	39	34	7
PMG Totale zandgebied (189 putfilters)	73	71	5	22	17	2

In sommige gevallen, vooral bij het oudste grondwater, is het aantal waarnemingen relatief gering waardoor de gegevens minder representatief kunnen zijn voor het algemene beeld. De

monsters water zijn in de RIVM laboratoria geanalyseerd, de waarde van de pH is zowel in het veld als in het laboratorium bepaald; de veldwaarnemingen zijn gebruikt. Het RIVM gebruikt bij de analyses van de spoorelementen voor LMG de volgende technieken:

Atomaire absorptie hydride techniek: As

ICP-AES (Inductively Coupled Plasma- Atomic Emission Spectrometry): Fe, Zn, Al, Ca, K, Na, Mg, Mn, Ba, Sr

ICP-MS (Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometry): Cd, Pb, Cu, Cr, Ni

Dezelfde technieken zijn gebruikt voor de monsters van PMG maar deze bepalingen zijn gedaan door andere laboratoria.

De samenstelling van het water uit de sprengen die de Veluwe draineren, levert gegevens op over een weinig beïnvloede situatie. Een deel van het sprengenwater heeft tientallen jaren in de bodem doorgebracht vrijwel zonder antropogene invloeden en met een beperkte invloed van de bodem (hoofdstuk 3). In 1974, 1986 en 1996 is onderzoek uitgevoerd aan de sprengen die het grondwater van de Veluwe draineren. De herkomst van de opgeloste stoffen in het sprengenwater is de atmosferische depositie, die in de tijd heeft gevarieerd. De verblijftijden in de bodem van het bemonsterde water zijn bepaald door hydrologische metingen. De sprengen voeren een mengsel af dat verschillende tijden in de bodem heeft doorgebracht. Het bleek mogelijk te zijn om een schatting te maken van de verdeling van de verblijftijden in de bodem van de uit de sprengen genomen monsters. De metingen en de interpretatie ervan zijn uitvoerig beschreven (Meinardi e.a., 1999a/b). In 1996 zijn 20 sprengen onderzocht waarbij monsters zijn genomen op 36 locaties. De hoofdelementen en 50 spoorelementen zijn bepaald in het sprengenwater. Deze spoorelementen zijn:

Ag; Al; As; Au; B; Ba; Be; Bi; Cd; Ce; Co; Cr; Cs; Cu; Dy; Er; Eu; Fe; Ga; Gd; Hf; Ho; La; Li; Lu; Mn; Mo; Nb; Nd; Ni; Pb; Pr; Pt; Rb; Sb; Se; Sm; Sn; Sr; Ta; Tb; Th; Ti; Tm; U; W; Y; Yb; Zn; Zr

Het NITG-TNO heeft de concentraties van de spoorelementen in het sprengenwater bepaald met de ICP-MS techniek, de hoofdcomponenten zijn door het RIVM geanalyseerd.

Het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) is sinds 1990 gefaseerd bemonsterd. Elk jaar werden 40 verspreid liggende locaties bemonsterd in twee combinaties van grondgebruik en bodemtype. Naast bodemmonsters werden per locatie 4 mengmonsters samengesteld van het grondwater uit 16 ondiepe boringen (direct onder de grondwaterspiegel). Alleen de resultaten voor het grondwater zijn hier gebruikt. De mengmonsters werden in het RIVM-laboratorium geanalyseerd op Ca, Cl, DOC (Dissolved Organic Carbon), Fe, K, Mg, Mn, Na, NH₄, NO₃, SO₄, ortho-P en totaal-P en op die van spoorelementen Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr en Zn. De pH is in het veld bepaald aan de aparte monsters. In 2002 waren alle gebieden met een zandige bodem één keer bezocht, volgens de indeling van het grondgebruik in bos, akkerbouw, extensieve veeteelt, intensieve melkveehouderij (grotere veebezetting dan 2.75 gva/ha) en intensieve mestveehouderij.

Verscheidende laboratoria hebben de concentraties geanalyseerd van de hoofdcomponenten en de spoorelementen. Dit is een mogelijke bron van fouten. Dergelijke fouten zijn zo veel mogelijk geëlimineerd door dezelfde methoden te gebruiken zoals is nagestreefd bij LMG en PMG. In een aantal gevallen zijn dezelfde monsters twee keer geanalyseerd op dezelfde parameters (Veluwe) door RIVM en NITG-TNO ter vergelijking van de uitkomsten. De overeenkomst was bevredigend (Meinardi e.a., 1999).

2.2. MTR- en streefwaarden, drinkwaternormen en detectiegrenzen

De overheid heeft eisen (grenswaarden) gesteld aan de kwaliteit van het openbare drinkwater. Grondwater is van belang omdat het de belangrijkste bron is voor de openbare en particuliere watervoorziening. Verder speelt grondwater een grote rol in zowel terrestrische als aquatische ecosystemen. De overheid heeft normen gesteld aan de grondwaterkwaliteit in de vorm van MTR (Maximaal Toelaatbaar Risico) waarden en streefwaarden. Een moeilijkheid is dat verschillende uitgangspunten zijn gehanteerd bij de vaststelling van deze waarden. Illustratief zijn de MTR-waarden die voor stikstof gelden voor grond- en oppervlaktewater. Als MTR waarde voor nitraat in grondwater is een concentratie van 50 mg/l vastgesteld met een streefwaarde van 25 mg/l. Deze waarden komen overeen met de normen die door de overheid zijn vastgesteld voor drinkwater, maar ze zijn wellicht te hoog voor grondwater dat ecologisch belangrijk oppervlaktewater voedt en of dat zelf ecologisch van belang is. Voor stagnant oppervlaktewater dat gevoelig is voor eutrofiëring geldt een MTR-waarde voor totaal stikstof van 2.2 mg/l. Ook voor andere MTR- en streefwaarden zijn waarden gegeven die vragen oproepen, zoals het verschil in streefwaarden voor de spoorelementen in ondiep en diep grondwater. Voor de in LMG en PMG gemeten spoorelementen zijn de streefwaarden gegeven in Tabel 3.

Ter vergelijking zijn in Tabel 3 ook de gemiddelde laagste concentraties (basiswaarden, Bw) opgenomen die afgeleid zijn voor het sprengenwater (Meinardi, 1999). Deze komen in Hoofdstuk 3 nog nader aan de orde. Tabel 3 geeft eveneens de meest recente streefwaarden volgens de Wet bodembescherming voor de spoorelementen (Swartjes, 1999); voor Al is de grenswaarde voor drinkwater genoemd. Bij de bepaling van deze streefwaarden is rekening gehouden met concentraties, die volgens een bepaalde manier zijn afgeleid uit het LMG (Fraters e.a., 2000). Daardoor kunnen variabele afwijkingen optreden tussen de eerder genoemde basiswaarden en de streefwaarden.

Vooraf bij spoorelementen speelt een rol dat de concentraties soms zo laag zijn dat ze betrekkelijk weinig verschillen van de detectiegrens voor de desbetreffende stoffen en ook van de basiswaarden en streefwaarden. De detectiegrenzen zijn wisselend van grootte voor verschillende meetperioden. Voor de metingen in LMG van 1992 tot 2000 die hierna worden besproken, zijn bijvoorbeeld voor lood (Pb) de volgende serie detectielimieten aangehouden: voor 26 metingen 0.02; voor 29 metingen 0.08; voor 225 metingen 0.207; voor 41 metingen 0.21 en voor 4 metingen 2 ug/l. Het betreft in totaal 325 bepalingen met een gemiddelde

detectiegrens van 0.203 ug/l. Voor de periode 1990-1995 ging het echter om 783 waarnemingen met een gemiddelde van 1.30 ug/l (het aantal waarnemingen is niet elk jaar even groot). Het verschil in de waarden van de detectiegrens is groot. In Tabel 3 zijn de gemiddelde waarden van de detectiegrenzen voor de periode 1992-2000 weergegeven. Uit die tabel blijkt dat veel bepaalde basiswaarden voor spoorelementen weinig verschillen van de detectielimieten. Gedetailleerde gegevens over detectiegrenzen zijn niet beschikbaar voor het Veluwe onderzoek en voor de bepalingen in het LMB. Voor het sprengenwater zijn die in het algemeen lager dan de waarden die in Tabel 3 zijn aangegeven voor LMG. Voor LMB zijn ze vermoedelijk vergelijkbaar met de PMG-waarden.

Tabel 3 Aangehouden streefwaarden, laagste concentraties (Bw.) voor de Veluwe en detectiegrenzen voor de periode 1992-2000 in grondwater (waarden in ug/l)

		Streefw <10m	Streefw >10m	Drinkw. waarde	Bw. Veluwe ± st.afwijking	Det.gr. LMG gem. 92-00	Det.gr. PMG gem. 92-00
Al	Aluminium			200	19 ± 11	21	18
As	Arseen	10	7.2		1.2 ± 0.59	0.15	0.45
Ba	Barium	50	200		13 ± 4.1	1	6.25
Cd	Cadmium	0.4	0.06		0.037 ± 0.035	0.05	0.10
Cr	Chroom	1.0	2.4		0.31 ± 0.25	0.73	0.91
Cu	Koper	15	1.3		1.2 ± 1.2	0.76	2.12
Fe	IJzer				530 ± 670	14	19
Mn	Mangaan				150 ± 150	2	7
Ni	Nikkel	15	2.1		1.3 ± 0.4	2.1	1.38
Pb	Lood	15	1.7		0.12 ± 0.09	0.21	1.68
Sr	Strontium				46 ± 15		
Zn	Zink	65	24		3.9 ± 2.6	7.3	7.0

Het probleem dat lage meetwaarden in grootte vergelijkbaar zijn met de detectiegrenzen blijkt duidelijk uit Tabel 3. Voor sommige van de genoemde spoorelementen zijn de basiswaarden, die bepaald zijn op grond van de metingen aan het sprengenwater, lager dan de gemiddelde detectiegrenzen die voor de analyses van monsters uit LMG en PMG golden in de periode 1992-2000. Met dit aspect moet steeds rekening worden gehouden bij een onderlinge vergelijking van de gemeten waarden. Uit Tabel 3 blijkt eveneens dat de detectielimieten voor de PMG-waarnemingen in veel gevallen hoger (en soms zelfs aanzienlijk hoger) zijn dan die voor het LMG in de periode 1992-2000. In het volgende is daarom de meeste aandacht gegeven aan de metingen uit het LMG.

Een betrouwbare bepaling van de genoemde spoorelementen in het grondwater is overigens verre van eenvoudig (Van der Velde, 1999). Monsterneming, monsterbehandeling, transport en analyse van de monsters zijn daarbij zeer belangrijk.

3. WATER UIT DE SPRENGEN VAN DE VELUWE IN RELATIE TOT DE NEERSLAG

Sprengen draineren het grondwater dat in de heuvels van de Veluwe tot infiltratie is gekomen. Op grond van het hydrologisch onderzoek (Meinardi, 1999b) was het mogelijk om een selectie te maken van monsters die bestonden uit water dat overwegend voor 1945 in de bodem is gekomen en die een pH-waarde hebben van meer dan 6. Het betreft 12 monsters uit sprengen langs de oostkant van de Veluwe. Voor deze sprengen is het aannemelijk dat het afgevoerde water behalve door de atmosferische depositie niet antropogeen is beïnvloed. Ook voor sprengenwater gelden basiswaarden die echter kunnen verschillen van de basiswaarden in het zoete grondwater uit de rest van Nederland door een afwijkende indampfactor.

De concentraties van de hoofdelementen in het sprengenwater zijn vergeleken met die in de neerslag. Sinds Leeftang (1938) is bekend dat de concentraties in de neerslag meer of minder sterk variëren met de afstand tot de kust. Hij vond dat de concentratie aan Cl in de neerslag in het duingebied ongeveer een factor 5 hoger kan zijn dan in neerslag op de Veluwe (zie ook Van de Meent, 1984 en RIVM, KNMI, 1989). De verschillen zijn kleiner voor andere in de neerslag opgeloste stoffen doordat ze lagere concentraties in zeewater hebben. Daarnaast worden de concentraties van een aantal stoffen in de huidige situatie ook bepaald door emissies vanaf land. Dit geldt met name voor stikstofverbindingen (N), die grotendeels uit landbouw en industrie afkomstig zijn en zwavelverbindingen (S) die door industrie en verkeer in de lucht worden gebracht. De variatie over Nederland is relatief goed bekend.

Een vorm van atmosferische depositie is de neerslag van zuurvormende stoffen. In de periode waarin het sprengenwater in de bodem kwam is de pH van het bodemwater gedaald. Uit een vergelijking van de gemeten pH en de reistijd in de bodem bleek dat “jong” water veelal een waarde van $pH < 5$ heeft. De laagst gemeten waarde is 4.2. Sprengenwater met $pH > 6$ bestaat voor meer dan 50% uit water dat langer dan 40 jaar in de bodem heeft verbleven. De waarde van de pH heeft invloed op de concentraties van de sporelementen (Fig.2). Vergelijkbare beelden voor de andere sporelementen geven aan dat de basiswaarden voor de sprengen bij goede benadering gelijk zullen zijn aan de gemiddelde concentraties voor circa $pH > 6$.

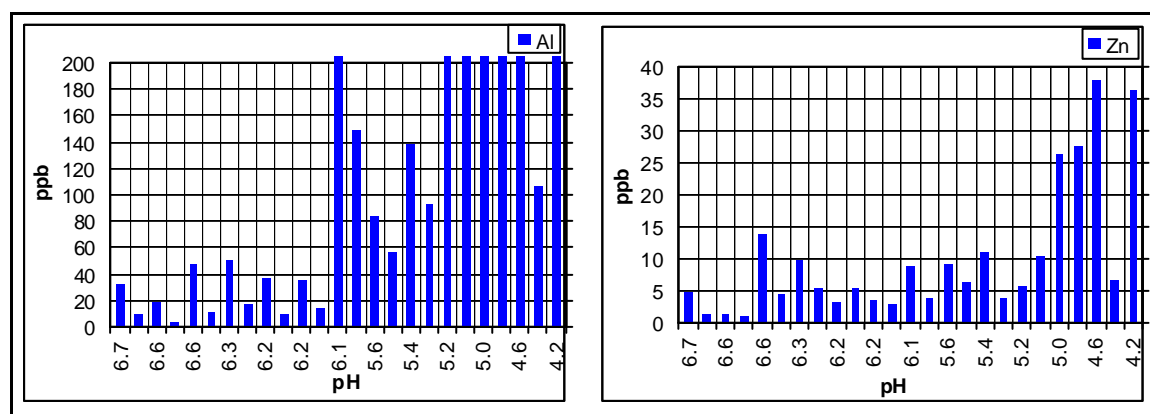


Fig.2 Invloed van de pH (en van verblijftijden in de bodem) voor Al en Zn

De concentraties van Ca, Mg en HCO₃ en in mindere mate voor Na en K zijn tevens afhankelijk van oplossing vanuit de bodem. De waarden in Bijlage 1 gelden voor het diepere grondwater van de Veluwe waar relatief veel Ca in oplossing is gegaan, in mindere mate Mg en nog minder Na en K. Dit blijkt al enigszins uit Bijlage 1, namelijk als de waarden voor de neerslag met een factor twee (indamping) worden vermenigvuldigd en daarna worden vergeleken met de basiswaarden voor de genoemde elementen.

De basiswaarden van de spoorelementen in het sprengenwater zijn bepaald voor monsters met pH>6, om invloeden van (recente) verzuring zoveel mogelijk te elimineren. In Bijlage 1 zijn ook de standaardafwijkingen aangegeven die erbij horen. In die bijlage zijn alleen de elementen weergegeven, waarvoor concentraties in de neerslag beschikbaar waren in de literatuur. Dit zijn meer elementen dan in LMG en PMG zijn geanalyseerd, maar minder dan die waarvan de concentraties in het sprengenwater zijn bepaald.

Bij de in Bijlage 1 weergegeven waarden zijn de volgende opmerkingen te maken:

1. Deposities zijn berekend als concentraties in de voedende neerslag.
2. Basiswaarden voor de sprengen voor Cl, K, Na en SO₄ zijn grofweg gelijk aan twee keer de concentraties in de voedende neerslag (Meinardi, 1999b), volgens een voor de vroegere Veluwe geldende indampfactor (hoge neerslag, geringe verdamping).
3. Basiswaarden voor de sprengen voor Ca en Mg zijn hoger dan volgt uit de concentraties in de neerslag doordat deze stoffen vanuit de bodem in oplossing gaan.
4. Basiswaarden voor de sprengen voor NH₄ en NO₃ volgen uit een schatting voor de neerslag in het verleden, die gebaseerd is op gegevens in (Meinardi, 1999b).
5. Waarden voor P en O₂ zijn in 1996 niet gemeten in het sprengenwater en in 1986 slechts incidenteel. Deze basiswaarden zijn gekozen op grond van "expert judgement".

De vergelijking tussen neerslag en grondwater is voor spoorelementen om twee redenen moeilijk te maken. De eerste is dat de waarden in de neerslag berusten op relatief korte meetperioden zodat het gemiddelde over langere perioden af kan wijken. De tweede reden is dat de bepalingen van spoorelementen in de neerslag van recente datum zijn, metingen uit het verleden ontbreken. Daardoor kunnen de waarden beïnvloed zijn door een recent toegenomen atmosferische depositie. Aangehouden is dat er sprake is van een verband als de basiswaarden en concentraties in de neerslag niet meer dan één orde van grootte (maximaal een factor 10) verschillen. Uit Bijlage 1 blijkt dat de concentraties van de elementen Li, Be, Ti, Cr, Co, Ni, Cu, As, Se, Rb, Mo, Cd, Ba, Ce en Sm in niet-verontreinigde sprengen goed in overeenstemming zijn met de concentraties in de neerslag. De overeenkomst is minder goed voor Al, Mn, Fe, Zn, Sb, Cd, Cs en Pb. Behalve voor Cd, Sb en Pb is voor die elementen het verschil echter wel minder dan één orde van grootte. In het algemeen geldt dus voor de spoorelementen dat de laagste concentraties in het grondwater van de Veluwe bij goede benadering afgeleid kunnen worden uit de concentraties in de lokale neerslag. Afwijkingen kunnen onder andere zijn veroorzaakt door een recent toegenomen atmosferische depositie. De basiswaarden zijn een afspiegeling van de vroegere neerslag.

4. HET LANDELIJK MEETNET GRONDWATERKWALITEIT

4.1. Indeling naar reistijden in de bodem en intrekgebied

De waarnemingen uit LMG zijn bewerkt voor gebieden met zandige bodem. Gegevens uit de periode 1992-2000 zijn gebruikt. Uitsluitend het zoete grondwater (chlorideconcentratie minder dan 200 mg/l) is beschouwd om de invloed van menging met zeewater te beperken; met name voor de duingebieden is een volledige uitschakeling daarvan echter onmogelijk. Per putfilter zijn de waarnemingen over de genoemde periode gemiddeld en met die waarden is verder gewerkt. De diverse detectiegrenzen zijn, waar geldend, bij de bepaling van de gemiddelden als meetwaarden beschouwd, de werkelijke gemiddelden kunnen dus nog iets lager zijn. Aan de concentraties zijn geen bewerkingen toegepast om de invloed van meteorologische omstandigheden te elimineren. Aangenomen is dat de gemiddelde waarden over de beschouwde periode weinig hebben afgeweken van de langjarige gemiddelden.

De reistijden in de bodem van het bemonsterde grondwater zijn bepaald (Meinardi, 1994) op basis van de in 1982-1984 gemeten tritiumconcentraties in LMG-putten. Filters uit het LMG waarvoor geen reistijd is bepaald omdat de tritiumconcentraties nagenoeg nul waren, zijn buiten beschouwing gebleven. Voor putten waar dat wel kon, zijn alle waarnemingen uit de bemonsterde filters, die dus op verschillende diepten kunnen liggen, bij het onderzoek betrokken. In Bijlage 2 zijn de gemiddelden van alle metingen gegeven en eveneens de gemiddelden van de mediane waarden, ook voor de pH. De gegevens zijn ingedeeld in drie categorieën met verschillende verblijftijden:

1. verblijftijd minder dan 25 jaar in de bodem (<25a in Bijlage 2);
2. verblijftijd meer dan 25 en minder dan 50 jaar in de bodem (25/50a in Bijlage 2);
3. verblijftijd meer dan 50 jaar in de bodem (>50a in Bijlage 2).

Met de indeling in reistijden in de bodem (Meinardi, 2003) wordt aangesloten bij de perioden waarin relatief grote veranderingen plaats vonden in de omgeving. Voor de waarnemingen uit 1992-2000 vertegenwoordigt de eerste categorie het grondwater dat na circa 1970 in de bodem is gekomen, dus na de opkomst van de intensieve veehouderij. Grondwater uit categorie 2 is ontstaan in een tussenperiode (1945-1970) waarin de atmosferische depositie en de bemesting met kunstmest sterk waren toegenomen. Het bemonsterde grondwater in categorie 3 zal slechts in geringe mate belast zijn door menselijke invloeden. Een verdere onderverdeling was niet goed mogelijk omdat de waarnemingen uit het LMG, waarvoor een bepaling van de reistijden mogelijk is, al nauwelijks in categorie 3 (Tabel 2) vallen.

De ruimtelijke verdeling is van belang omdat de belasting aan maaiveld niet overal even groot is geweest. Er is gekozen voor een combinatie van gebieden in grotere eenheden die ongeveer samenvallen met de hoofdgebieden volgens de LEI-indeling (Tabel 2). Hiermee wordt aangesloten bij verschillen in de landbouw, maar ook bij een situatie dat de atmosferische depositie verschilt. In de onderscheiden gebieden zijn vervolgens het land met

een natuurlijke begroeiing en landbouwgebieden apart beschouwd. Overige vormen van landgebruik zijn buiten beschouwing gelaten. De volgende indeling is aangehouden:

- Noordelijk zandgebied
- Oostelijk zandgebied plus de IJsselvallei in het centraal zandgebied
- Veluwe, Utrechtse Heuvelrug en Het Gooi
- Zuidelijk zandgebied
- Duinen en geestgronden

De basiswaarden voor het in LMG bemonsterde zoete grondwater zijn in eerste instantie gelijk gesteld aan de gemiddelde concentraties van de metingen uit monsters met een reistijd in de bodem van meer dan 50 jaar en afkomstig uit gebieden met een natuurlijke begroeiing.

De monsters uit putten van het LMG van de Veluwe zijn eveneens meegeteld bij de bepaling van de basiswaarden voor het zoete grondwater omdat het huidige landschap van de Veluwe verschilt van de gebieden met schaarse begroeiing waarin het sprengenwater is ontstaan.

De gemiddelde waarden uit Bijlage 2 zijn in grafiek gebracht in de Figuren 3 tot en met 25. Mogelijke regionale verschillen zouden moeten blijken uit de verschillen voor het noordelijk, oostelijk, centraal en zuidelijk zandgebied en de duinen. De gemiddelde concentraties zijn daartoe nader verdeeld over de verschillende zandgebieden en ze zijn onderscheiden naar verblijftijd en landbedekking ($t < 25$ jaar, $25 < t < 50$ jaar, $t > 50$ jaar en l_b =landbouw, n_a =natuur in Fig.3-25). De gemiddelde waarden zijn steeds gedeeld door de basiswaarde om de elementen te kunnen vergelijken, behalve voor NO_3 waar de gemeten concentraties (als N) zijn weergegeven. De waarden voor grondwater met een reistijd $t > 50$ jaar onder natuur in “alle zand” zijn daarom per definitie gelijk aan 1. In deze figuren is waar mogelijk de streefwaarde (SW) aangegeven voor een diepte groter dan 10 m onder maaiveld, weer door de streefwaarde te delen door de basiswaarde zoals die volgens het voorgaande is bepaald. Voor Al, NH_4 en P_{tot} is de grenswaarde voor drinkwater (DW) weergegeven in de grafieken.

De Fig.3-25 geven een nader inzicht in drie verschillende eigenschappen:

- De verschillen in concentraties in grondwater uit de grote zandgebieden;
- De verschillen in concentraties in grondwater uit landbouwgronden en natuurgebieden;
- De verschillen in concentraties in grondwater voor verschillende reistijden.

Een interessant vraagstuk is in hoeverre concentraties in het grondwater met lange reistijden onder natuurgebieden van de verschillende gebieden afwijken van de basiswaarden. Met andere woorden: zijn de basiswaarden relatief constant over Nederland? De verschillen in reistijd en in intrekgebied geven daarnaast een aanduiding van menselijke invloed.

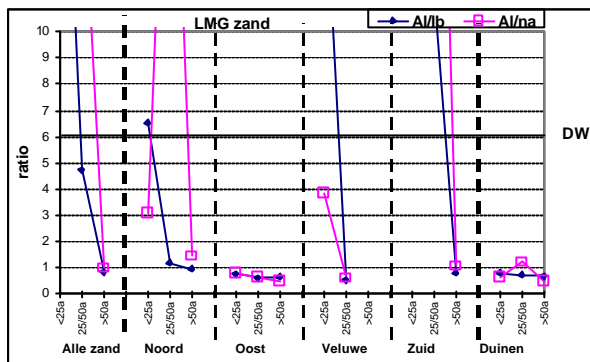


Fig.3 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Al
DW=drinkwaternorm= 200 ug/l

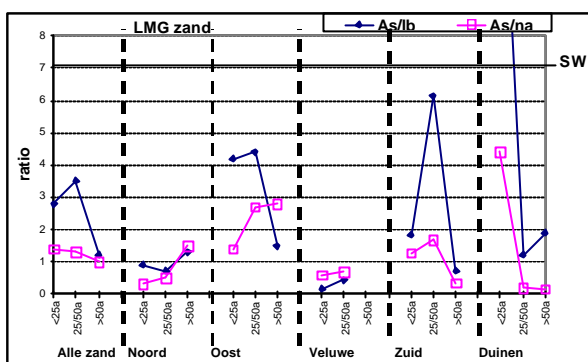


Fig.4 Verhouding t.o.v. basiswaarde; As
SW=streefwaarde (>10m)= 7.2 ug/l

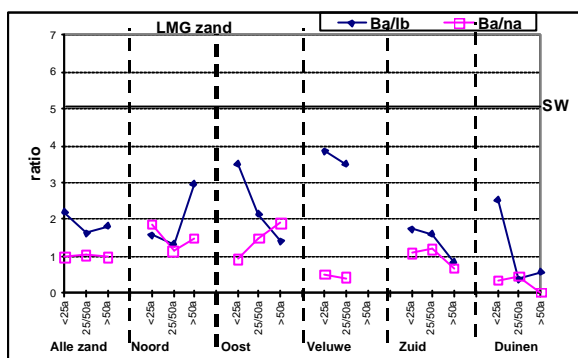


Fig.5 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Ba
SW=streefwaarde (>10m)= 200 ug/l

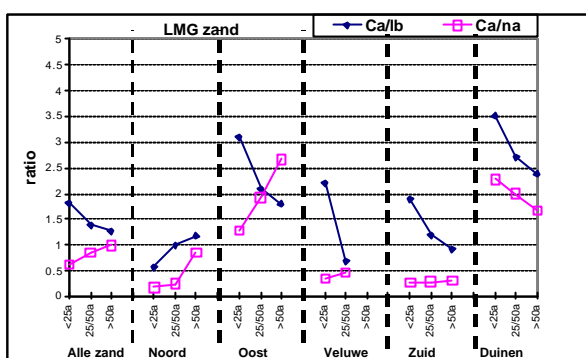


Fig.6 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Ca

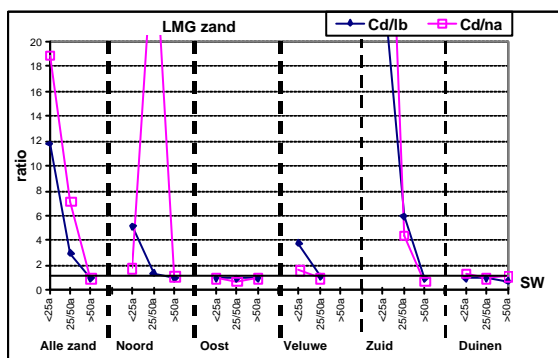


Fig.7 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Cd
SW=streefwaarde (>10m)= 0.06 ug/l

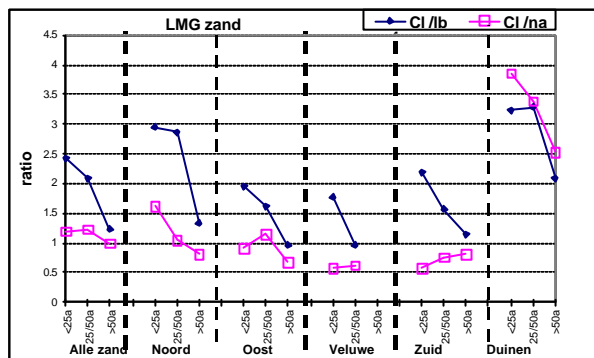


Fig.8 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Cl

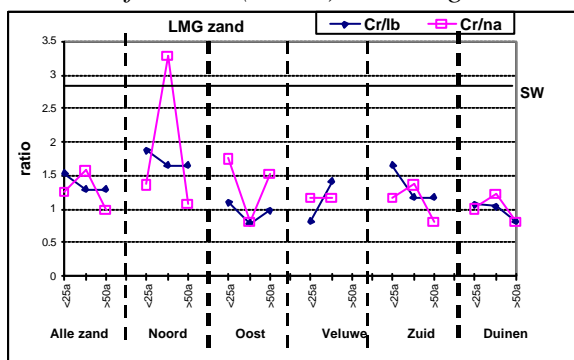


Fig.9 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Cr
SW=streefwaarde (>10m)= 2.4 ug/l

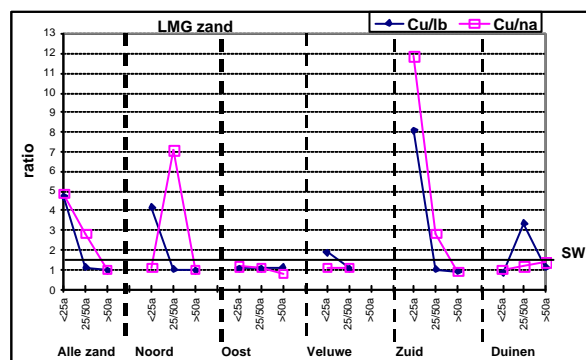


Fig.10 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Cu
SW=streefwaarde (>10m)= 1.3 ug/l

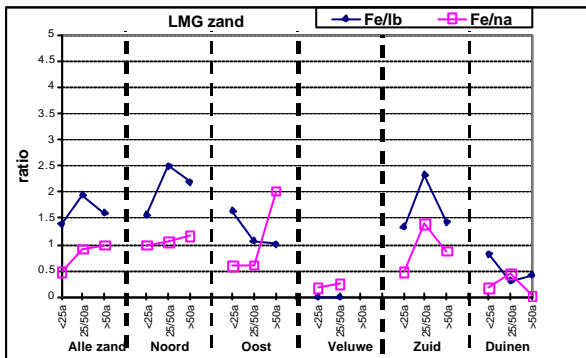


Fig.11 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Fe

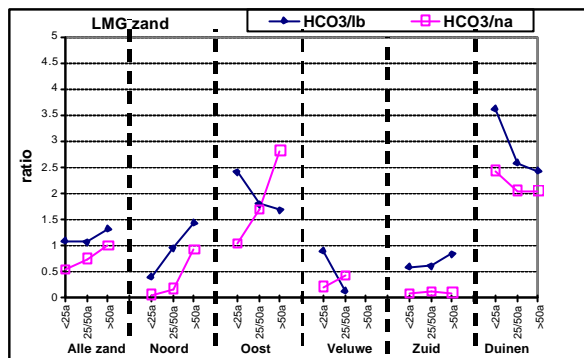


Fig.12 Verhouding t.o.v. basiswaarde HCO₃

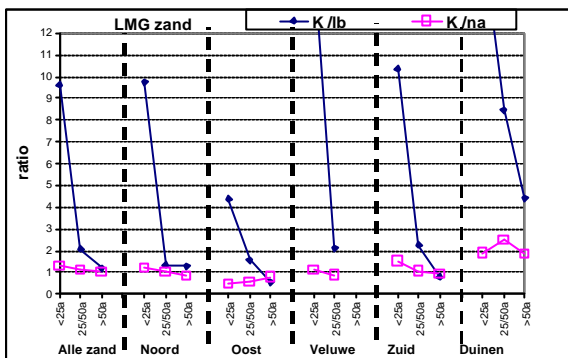


Fig.13 Verhouding t.o.v. basiswaarde; K

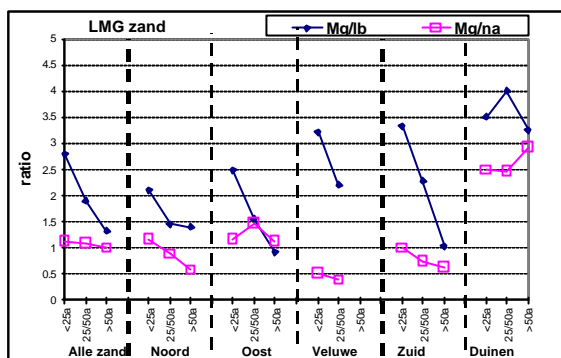


Fig.14 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Mg

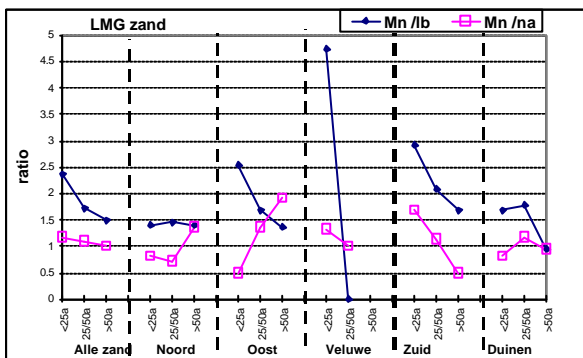


Fig.15 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Mn

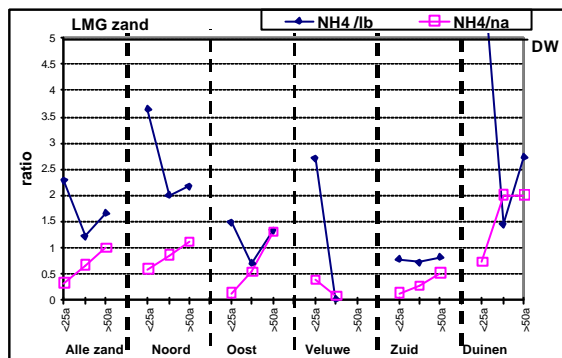


Fig.16 Verhouding t.o.v. basiswaarde; NH₄

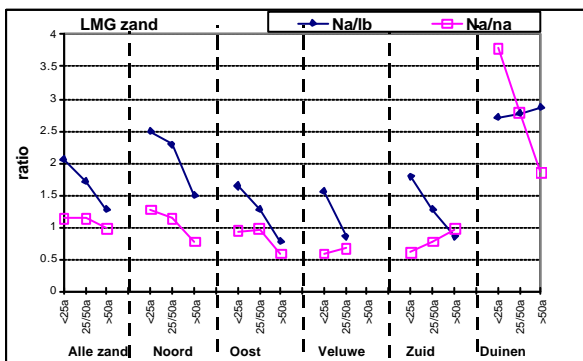


Fig.17 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Na

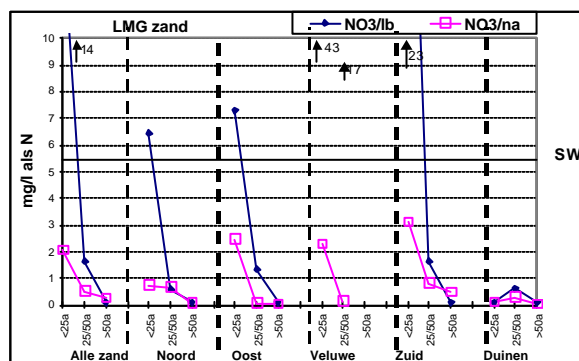


Fig.18 Concentraties in mg/l als N; NO₃
 SW= Streefwaarde =5.6 mg/l als N

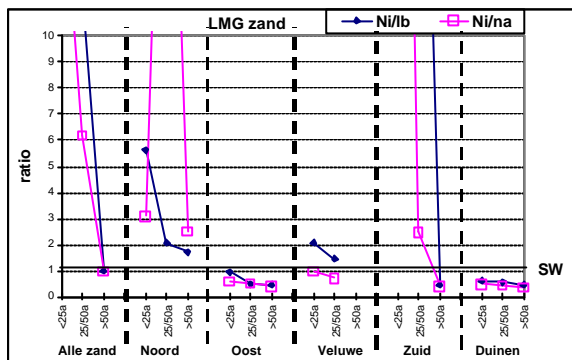


Fig.19 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Ni
SW=streefwaarde (>10m)= 2.1 ug/l

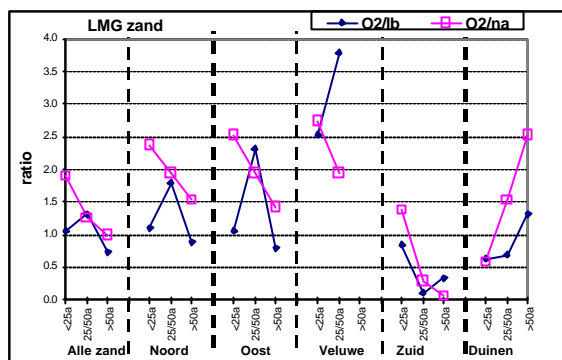


Fig.20 Verhouding t.o.v. basiswaarde; O₂

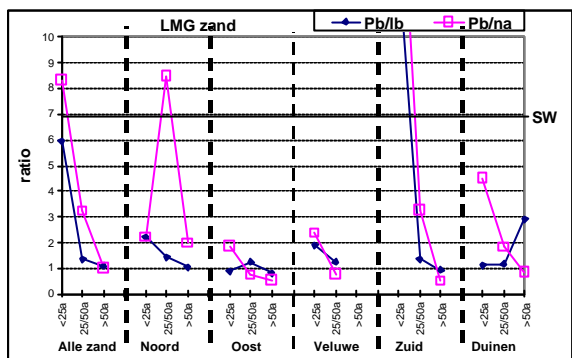


Fig.21 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Pb
SW=streefwaarde (>10m)= 1.7 ug/l

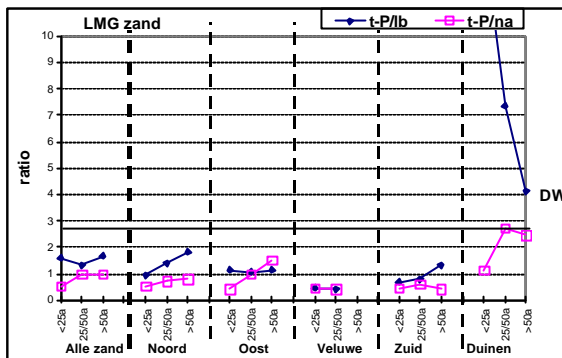


Fig.22 Verhouding t.o.v. basiswaarde; P_{tot}
DW=drinkwaternorm= 0.4 ug/l

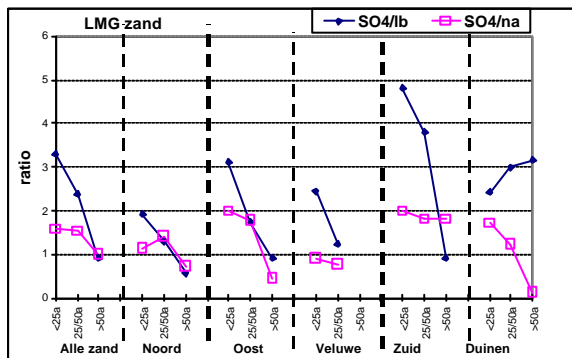


Fig.23 Verhouding t.o.v. basiswaarde; SO₄

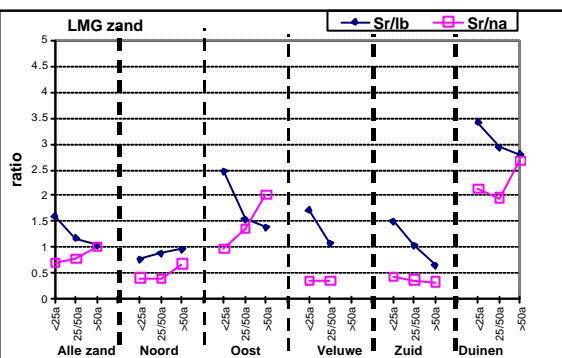


Fig.24 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Sr

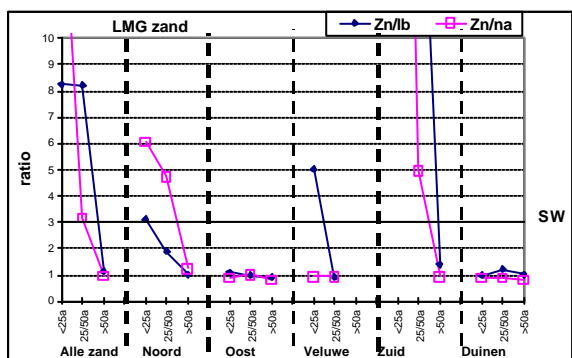


Fig.25 Verhouding t.o.v. basiswaarde; Zn
SW=streefwaarde (>10m)= 24 ug/l

4.2. Vergelijking van het sprengenwater en het grondwater in LMG en PMG

Bij de vergelijking van de concentraties die in het sprengenwater zijn waargenomen en de waarden voor LMG en de PMG, moet rekening worden gehouden met een ruimtelijke spreiding van de atmosferische depositie over Nederland. De variatie over Nederland van de concentraties aan spoorelementen in de neerslag is niet in detail bekend. De beschikbare waarden zijn weergegeven in Bijlage 1 zonder verdere bewerking behalve dat de deposities (in kg/ha) zijn omgerekend naar concentraties (mg/l) in de lokale neerslag. De natuurlijke depositie van deze elementen kan in verband staan met de afstand tot de kust. Het is echter waarschijnlijk dat emissies vanaf het land een belangrijke bijdrage leveren aan de huidige atmosferische depositie. Uit Van de Meent (1984) en RIVM, KNMI (1989) volgt dat de atmosferische depositie van veel spoorelementen afneemt van zuid naar noord. De verschillen zijn vaak echter betrekkelijk klein voor concentraties van spoorelementen in de actuele neerslag en dat zal waarschijnlijk ook hebben gegolden voor de natuurlijke neerslag.

De basiswaarden voor het grondwater uit het LMG zijn gelijk gesteld aan de gemiddelde waarden van de concentraties in monsters met een reistijd in de bodem van meer dan 50 jaar onder natuurgebieden. De standaardafwijkingen waren hierbij relatief klein (in het algemeen kleiner dan de gemiddelde waarden, zie hierna). De vergelijking tussen de basiswaarden, die afgeleid zijn voor het sprengenwater van de Veluwe met lange reistijden in de bodem en die uit de waarnemingen in het LMG zijn bepaald, is weergegeven in Fig.26 voor de hoofdcomponenten en de spoorelementen.

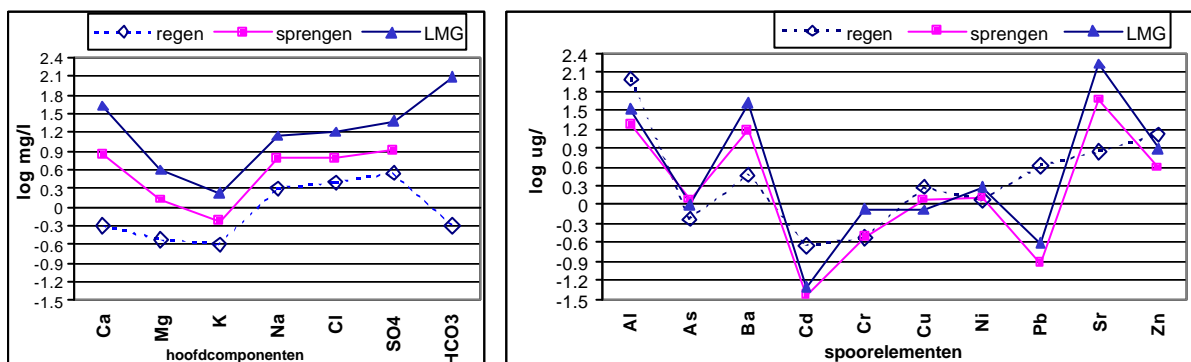


Fig.26 Vergelijking van de basiswaarden voor de Veluwe en LMG: regen, Vel en LMG zijn de logaritmen van de concentraties in resp. neerslag, sprengenwater en LMG-monsters

De vergelijking voor de hoofdcomponenten in Fig.26 is illustratief voor het verband tussen de basisconcentraties in de neerslag, die in het sprengenwater en de basiswaarden die bepaald zijn uit de gegevens van het LMG. Met uitzondering van de concentraties van Ca en HCO₃ zijn de lijnen die de punten verbinden evenwijdig aan elkaar en liggen ze op afstanden van ongeveer 0.3 maal een logaritmische eenheid. Dit betekent dat ze inderdaad een factor 2 ($\log 2 = 0.3$) verschillen als gevolg van een verschillende indamping, zoals hiervoor (Tabel 1) was verondersteld. De laagste concentraties in de sprengen zijn dus ongeveer twee keer die in de voedende neerslag en die van de basiswaarden uit het LMG vier keer.

Het in oplossing gaan van vaste delen uit de bodem mag niet worden uitgesloten voor Ca, Fe, HCO₃, Mg, Mn en O₂. De reden is dat de concentraties van deze stoffen afhankelijk zijn van het landschap en de vegetatie. Bij dichte vegetatie ontstaat relatief veel CO₂ in de bodem en verdwijnt O₂, zodat de concentraties van Ca, HCO₃, Mg, Fe, Mn zullen toenemen in het grondwater doordat mineralen in oplossing gaan. Uiteindelijk zal evenwicht worden bereikt, maar het is aannemelijk dat de veranderingen in het landschap van de afgelopen eeuw nog niet in evenwicht zijn met de bodem. Voor deze stoffen kunnen eigenlijk geen basiswaarden bestaan, maar de laagste concentraties benaderen al wel de veronderstelde basiswaarde.

De vergelijking voor de spoorelementen levert voor de waarden in de sprengen en die in het LMG een verschil op van ook ongeveer een factor 2, zoals weer volgt uit een verschillende indamping. Het verband is iets minder goed voor As en Cu, in beide gevallen zijn de basiswaarden ongeveer gelijk aan elkaar (de verbindingslijnen raken of snijden elkaar). In Fig.26 zijn ook waarden voor de concentraties in relatief recente neerslag gegeven (Meinardi, 1999b). Een verband met de basiswaarden in het grondwater komt niet duidelijk naar voren, zoals dat bij de hoofdcomponenten wel het geval was. De concentraties in de relatief recente neerslag van de spoorelementen verschillen echter niet meer dan een ordegrootte (één logaritmische eenheid) van die in het sprengenwater, behalve voor lood (Pb). Het is daarom aannemelijk dat er verband bestaat tussen de basiswaarden in grondwater en de concentraties in de natuurlijke neerslag uit vroeger tijden, die niet zijn gemeten. Dat verband komt hierna opnieuw aan de orde.

4.3. Regionale verschillen in basiswaarden en menselijke invloeden

De regionale verschillen in het grondwater met de langste verblijftijden ($t > 50a$) zijn relatief gering voor de hoofdcomponenten, Ca, Cl, K, Mg, Mn, NO₃, NH₄, Na, SO₄. De gemiddelde waarden voor natuur wijken in het algemeen minder dan een factor 2 af van de basiswaarden, behalve in de duinen. Opvallend, maar niet onverwacht, is dat de waarden voor ($t > 50a$) voor natuur weinig verschillen van die voor landbouw. De waarden in het overig zandgebied zijn eveneens vergelijkbaar met de waarden voor de sprengen van de Veluwe als rekening wordt gehouden met het effect van indamping (Bijlage 1). Dit alles houdt in dat er ook voor de hoofdcomponenten basiswaarden voor Nederland af te leiden zijn. De gemiddelde waarden van de LMG-meetgegevens zijn volgens de Fig.6, 8, 13-18 en 23 voor landbouw steeds hoger dan die voor natuur. De hoogste waarden voor landbouw vallen bijna altijd in de groep ($t < 25a$). Een waarschijnlijke oorzaak is dat deze hoofdcomponenten van oudsher de invloed ondervinden van bemesting van het maaiveld, die relatief sterk is toegenomen in de tijd. Een bijzonder aspect is dat de concentraties van de hoofdcomponenten in het duingebied vaak iets hoger zijn dan elders. Voor een deel komt dat door een hogere atmosferische depositie, maar ook bevat de bodem van de duinen soms meer kalk dan de zandgronden verder van de kust.

De gemiddelde concentraties van totaal fosfaat (Fig.22) voor natuur zijn overal vrijwel gelijk aan de gemiddelde waarden voor alle zandgebieden (0.1 mg/l als P), behalve in de duinen. De waarden onder landbouw zijn licht hoger (ongeveer een factor 2). Dit betekent dat de verhoogde belasting bij landbouw wel merkbaar is, ook in de diepere filters, maar dat de invloed nog relatief klein is. De verhoogde concentraties in het duingebied hangen vermoedelijk samen met de nabijheid van de zee, waardoor de situatie enigszins verschilt van die in het binnenland. Dit houdt ook in dat de gemiddelde concentratie voor de binnenlands gelegen putten met zoet grondwater lager is dan de basiswaarde. Het is redelijk om de basiswaarde daarmee in overeenstemming te brengen en die waarde lager te stellen (0.1 mg/l als P) dan het landelijk gemiddelde (0.15 mg/l als P) dat voor het gehele zandgebied van Nederland geldt (Bijlage 2).

Voor langere verblijftijden zijn de concentraties van veel sporelementen (de metalen Al, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) overal vrijwel gelijk aan de basiswaarden, die dus blijkbaar constant zijn over Nederland. Waarden voor ($t < 25a$) zijn hoger dan de waarden voor water met een langere verblijftijd in de bodem. In het zuidelijk zandgebied zijn de waarden voor ($25a < t < 50a$) soms ook hoger. Merkwaardig (en moeilijk verklaarbaar) is dat ook in het noordelijk zandgebied hogere waarden zijn waargenomen voor ($25a < t < 50a$) terwijl die voor ($t < 25a$) relatief laag zijn. In het algemeen zijn de hoogste waarden voor water met een korte verblijftijd in de bodem waargenomen in het zuidelijk zandgebied. Voor ($t < 25a$) zijn de waarden bij natuur hoger dan de waarden bij landbouw. Een mogelijke oorzaak is dat de genoemde componenten invloed ondervinden van een relatief recente verzuring van het grondwater (zie de waarden voor de pH in Bijlage 2), die onder natuur relatief sterker is (geweest) dan bij bodems onder landbouw. Deze invloed overschaduwde de effecten van een variatie in de belasting aan maaiveld. De gemiddelde concentraties van Cr (Fig.9) zijn vrijwel steeds gelijk aan de basiswaarde die weinig afwijkt van de detectiegrens. Er is weinig verschil tussen de waarden voor landbouw en natuur. De streefwaarden worden zelden overschreden (om moeilijk te verklaren redenen is dat wel het geval in Drenthe voor $25 < t < 50a$).

De invloed van verzuring van het ondiepe grondwater komt voor een aantal sporelementen (As, Ba, Sr) tot uiting doordat de gemiddelde waarden er soms lager zijn dan de basiswaarde. Bij de genoemde elementen is soms ook sprake van licht hogere waarden voor grondwater onder landbouw. Met name voor Ba en Sr zijn de gemiddelde waarden voor landbouw hoger dan voor natuur en zijn ook voor ($t < 25a$) de waarden hoger dan voor gevallen waar de verblijftijd in de bodem groter is geweest. Dit betekent dat de concentraties van de genoemde sporelementen in relatief lichte mate zijn beïnvloed door een verhoogde belasting aan maaiveld die deels afkomstig kan zijn van recente atmosferische depositie en voor een ander deel van de bemesting van landbouwgronden. De concentraties van Sr in het duingebied zijn hoger dan die in de overige zandgebieden. Om deze reden is de basiswaarde voor het zoete grondwater (100 ug/l) lager gesteld dan het landelijk gemiddelde (175 ug/l).

De invloed van een belasting door hogere mestgiften (zie Fig.18) blijkt uit de hoge waarden voor veel opgeloste stoffen die in het jongste water onder landbouw in zuidelijk Nederland zijn waargenomen en in mindere mate ook in de overige zandgebieden. De invloed van een toegenomen belasting aan maaiveld blijkt uit de verschillen voor landbouw en natuur vooral bij de concentraties aan hoofdcomponenten in het jongste grondwater. De verhoging van de concentraties aan NO_3 voor landbouwgronden valt zelfs buiten de schaal van Fig.18, maar dat was ook te verwachten. De bijbehorende problematiek komt hier niet aan de orde.

Uit de weergave van het niveau van streefwaarden en drinkwaternormen in Fig.3-25 blijkt dat deze waarden door de concentraties van de metalen veelvuldig worden overschreden, vooral maar niet uitsluitend, in het grondwater met de kortste verblijftijden. Dit komt onder andere ook doordat de streefwaarden soms weinig afwijken van de gevonden basiswaarden.

4.4. Gemiddelde en mediane waarden

In Bijlage 2 zijn ook de mediane waarden voor de zuurgraad (pH) gegeven. De in de tijd toegenomen zuurgraad van het grondwater kan eveneens een grote rol spelen bij het in oplossing gaan (of blijven) van veel sporelementen. Gemiddelde en mediane waarden van de concentraties van stoffen verschillen van elkaar als de verdeling scheef is. Een mogelijke oorzaak daarvan zijn antropogene invloeden op de concentraties van het element. Afwijkende waarden beïnvloeden eerder de gemiddelde dan de mediane waarden. De scheefheid is in Fig.27 uitgedrukt als het relatieve verschil van beide waarden voor de verschillende groepen van reistijden voor het gehele zandgebied. In principe kan deze bewerking ook voor de onderscheiden gebieden worden uitgevoerd, maar dat levert vrijwel dezelfde beelden op.

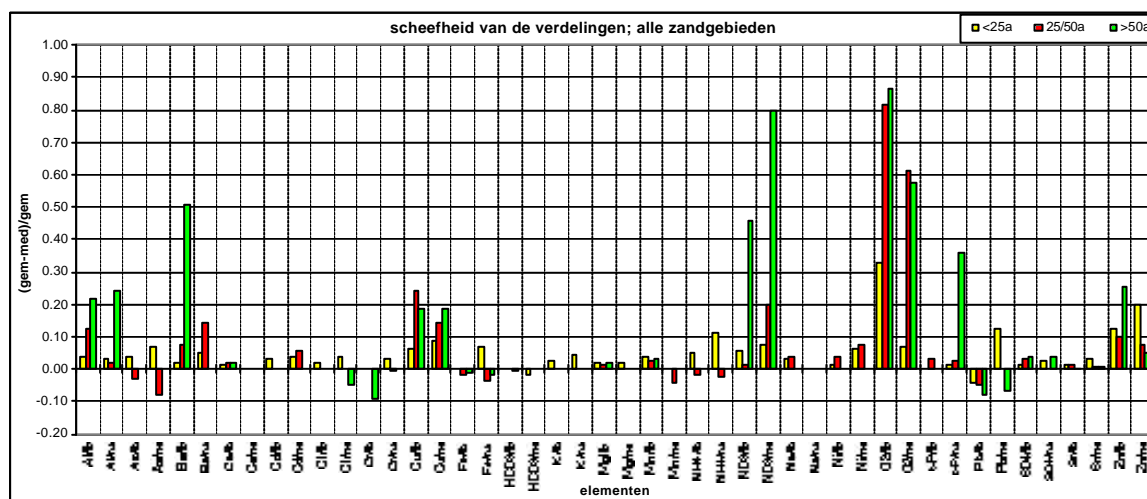


Fig.27 De scheefheid van de verdeling in het gehele zandgebied van Nederland

In Fig.27 komen scheve verdelingen (>20% afwijking) voor bij Al voor landbouw en natuur, Ba/lb, Cu, NO_3 , O_2 , totaal-P en bij Zn/na. De verdelingen voor O_2 blijven verder buiten beschouwing. De scheefheid van de verdeling is vaak het grootst bij reistijden van meer dan 50 jaar in de bodem. Dit kan betekenen dat de onderliggende oorzaken ongeveer sinds 50 jaar

een rol spelen zoals ook was te verwachten. Een deel van dat grondwater ondervindt mogelijk al een effect van menselijke invloeden en de rest nog niet. Het grondwater dat minder dan 50 jaar door de bodem heeft gestroomd is reeds sterker beïnvloed, zodat de gemiddelde en mediane waarden weer dicht bij elkaar komen te liggen.

Het voorkomen van een scheve verdeling in ongeveer dezelfde mate bij zowel landbouw als natuur (Fig.27) geeft aan dat de oorzaak vooral bij de atmosferische depositie ligt. Dit kan het gevolg zijn van een verhoogde atmosferische depositie van die stof, of van een combinatie van een verhoogde depositie en een grotere mobiliteit door zuurdere omstandigheden in de bodem. Op dit aspect zal in Hoofdstuk 6 nog nader worden ingegaan.

De algemene conclusie op basis van Fig.27 is dat het met de scheefheid van de verdelingen wel meevalt. Het is daarom gerechtvaardigd om de beschouwingen in deze studie vooral op de gemiddelden te baseren. Zo zijn de basiswaarden bepaald uit de gemiddelde concentraties voor grondwater met een reistijd van meer dan 50 jaar in de bodem. Een verder voordeel daarvan is dat veranderingen die niet ouder zijn dan 50 jaar, zoals veel het geval zal zijn, duidelijker tot uiting komen in de gemiddelde waarden dan in de medianen. In het volgende zijn verder uitsluitend gemiddelde waarden beschouwd.

5. DE PROVINCIALE MEETNETTEN GRONDWATERKWALITEIT

De waarnemingen uit de provinciale meetnetten zijn evenals de putten van het landelijk meetnet regelmatig verspreid over Nederland. Dit zou moeten inhouden dat er geen grote verschillen aanwezig zijn tussen LMG- en PMG-waarnemingen. De waarnemingen uit de diverse PMG-putten zijn weergegeven in Bijlage 3. In Fig.28 is de vergelijking afgebeeld tussen de gegevens van Bijlage 2 (LMG) en Bijlage 3 (PMG). In deze figuur zijn twee extra lijnen aangegeven, de bovenste lijn geeft aan dat de PMG-waarden twee keer zo hoog zijn als de LMG-waarden, voor de onderste lijn zijn ze de helft van de LMG-waarden.

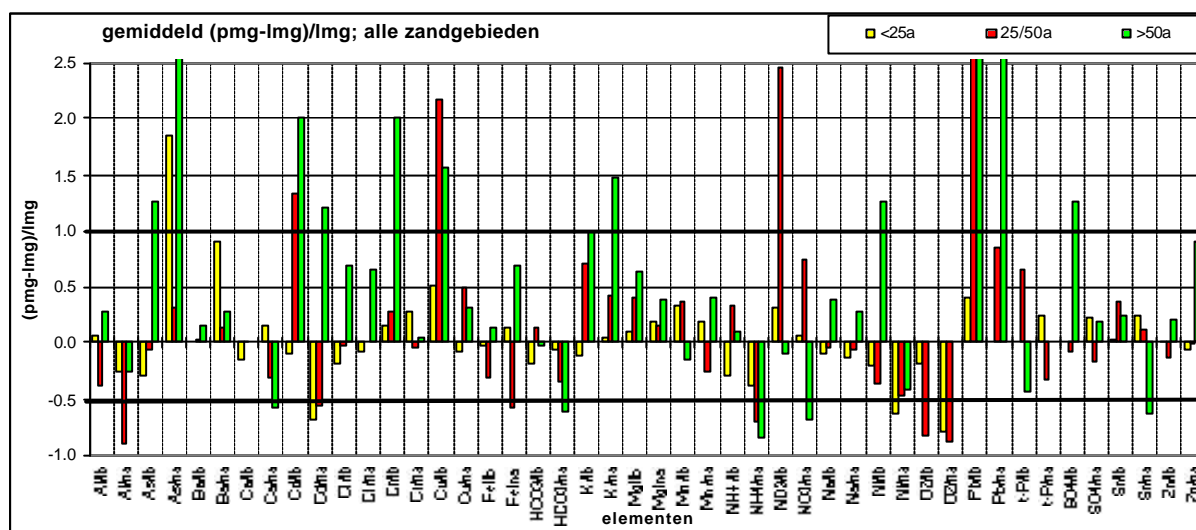


Fig. 28 Vergelijking van gemiddelde waarden uit LMG en PMG

Uit de in Fig. 28 weergegeven vergelijking blijkt dat de afwijkingen in sommige gevallen relatief aanzienlijk zijn. Een belangrijke oorzaak is het verschil in detectiegrens (Tabel 3), die maakt dat vooral de lage waarden van de gemiddelde concentraties (bij lange verblijftijden) kunnen verschillen, omdat de waarde van de detectiegrens voor gevallen dat die wordt overschreden, is gebruikt bij de bepaling van de gemiddelden. Deze factor is overheersend in het geval van Pb (zie de grote verschillen in detectiegrens volgens par.2.2), maar speelt ook een rol bij de andere metalen.

De hoogte van de detectiegrens kan geen rol spelen bij de verschillen tussen LMG en PMG in de gemiddelde concentraties van ammonium en nitraat die soms aanzienlijk zijn. Hier moeten andere factoren invloed hebben zoals de plaatsing van de afzonderlijke putten en misschien ook het al dan niet voorkomen van denitrificatie. Wellicht zijn bij de locatie van de putten in de PMG toch iets andere criteria gehanteerd dan bij het LMG. Dit betekent ook dat het niet zonder meer duidelijk is welke waarnemingen het meest representatief zijn. De afwijkingen voor de hoofdcomponenten K en SO₄ zijn lastiger te verklaren, maar hier zou de locatie van de putten eveneens een rol kunnen spelen (randeffecten in bosgebieden).

Tenslotte is het ook nog mogelijk dat monsterneming en monsterbehandeling een rol hebben gespeeld. Het is bekend uit het onderzoek van de sprengen (Meinardi, 1999) dat met name het pompen en de filtratie van de monsters de waarde van de pH kan doen stijgen. Een stijging van de pH kan gevolgen hebben voor de concentraties van veel stoffen. De bepaling van de concentraties van zuurstof in het grondwater is eveneens sterk afhankelijk van de behandeling van de monsters, verschillen in de concentraties gemeten in LMG en PMG zijn daarom niet verwonderlijk.

De algemene conclusie is dat het van groot belang is om de metingen in LMG en PMG op een uniforme wijze (en met gelijke detectiegrenzen) uit te voeren en daarnaast opnieuw te bezien hoe de hier geconstateerde verschillen zo klein mogelijk kunnen worden gemaakt. Ze kunnen vermoedelijk nooit helemaal worden voorkomen maar voor de periode 1992-2000 waren de geconstateerde verschillen toch te groot om de gegevens in samenhang te beschouwen. Daarom is voor de bepaling van de basiswaarden geen gebruik gemaakt van gegevens uit de verschillende Provinciale Meetnetten Grondwaterkwaliteit.

6. GRONDWATER UIT HET LANDELIJK MEETNET BODEMKWALITEIT

6.1. Opzet van het meetnet

Het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) is vooral opgezet om de kwaliteit van de vaste delen van de bodem te beoordelen. Bij de bemonstering van het LMB zijn echter ook steeds monsters van het bovenste grondwater genomen (vanaf freatisch vlak tot enkele decimeters daaronder). De resultaten van de volgende aantallen locaties (4 series gegevens per locatie) zijn gerepresenteerd in Bijlage 4, waarin het volgende onderscheid is gemaakt:

Noordelijk zandgebied (N):	6 bos, 20 akkerbouw, 9 extensieve veeteelt;
Oostelijk en Centraal zand (M+O):	7 bos, 10 extensieve veeteelt, 9 intensieve veeteelt, 16 intensieve veehouderij;
Zuidelijk zandgebied (Z):	7 bos, 7 intensieve veeteelt, 16 intensieve veehouderij;

Uit het zware metalen overschot (Cd, Cu, Pb en Zn) minus de berekende uitspoeling op basis van gemiddelde concentraties (Groot, 1997) blijkt dat sprake is van accumulatie in de bodem, behalve voor de categorie bos op zand waar Cd, Cu en Zn in verhoogde mate kunnen uitspoelen. De uitgespoelde elementen komen in het grondwater terecht.

6.2. Concentraties in het bovenste grondwater op boslocaties

Uit de gegevens van Bijlage 4 blijkt dat de medianen van de pH-waarde relatief laag zijn bij de locaties die in bos liggen. De waarden zijn echter vrijwel gelijk voor de drie onderscheiden gebieden. De effecten van verzuring van het ondiepe grondwater zullen dus waarschijnlijk vergelijkbaar zijn. In Fig.29 zijn de gemiddelde waarden gemeten in het LMB vergeleken met de basiswaarden, die zijn afgeleid uit de gegevens van LMG, zie par.4.2. Dit zijn de gemiddelde waarden van concentraties in grondwater met lange reistijden in de bodem van natuurgebieden. Voor de DOC basiswaarde is eerder geen getal gegeven, hiervoor is een waarde van DOC=5 mg/l als referentiewaarde gekozen. Verder is voor NO₃ als basiswaarde een concentratie van 1 mg/l (als N) genomen zodat de waarden in Fig.29 ook de werkelijke concentraties representeren. Uit de vergelijking blijkt dat:

- De concentraties van de hoofdelementen zijn vrijwel gelijk aan de basiswaarden, behalve voor NO₃ en SO₄, waarvan de concentraties toenemen van noord naar zuid.
- De concentraties van de spoorelementen Ba, Cr en Sr zijn licht (1 tot 2 keer) hoger dan of vrijwel gelijk aan de basiswaarden.
- De gemiddelde concentraties voor As zijn lager in de monsters uit het LMB dan in het grondwater van de Veluwe en ook dan in het grondwater gemeten in LMG. De lage waarden van de pH die voorkomen in het LMB zijn vermoedelijk de oorzaak.
- De waarden voor Cd, Cu, Ni, Pb en Zn zijn hoger dan de basiswaarden, de concentraties nemen toe van noord naar zuid. De waarden voor Al zijn in alle zandgebieden veel hoger. Met name bij Pb kan de hoogte van de detectiegrens ook een rol spelen.

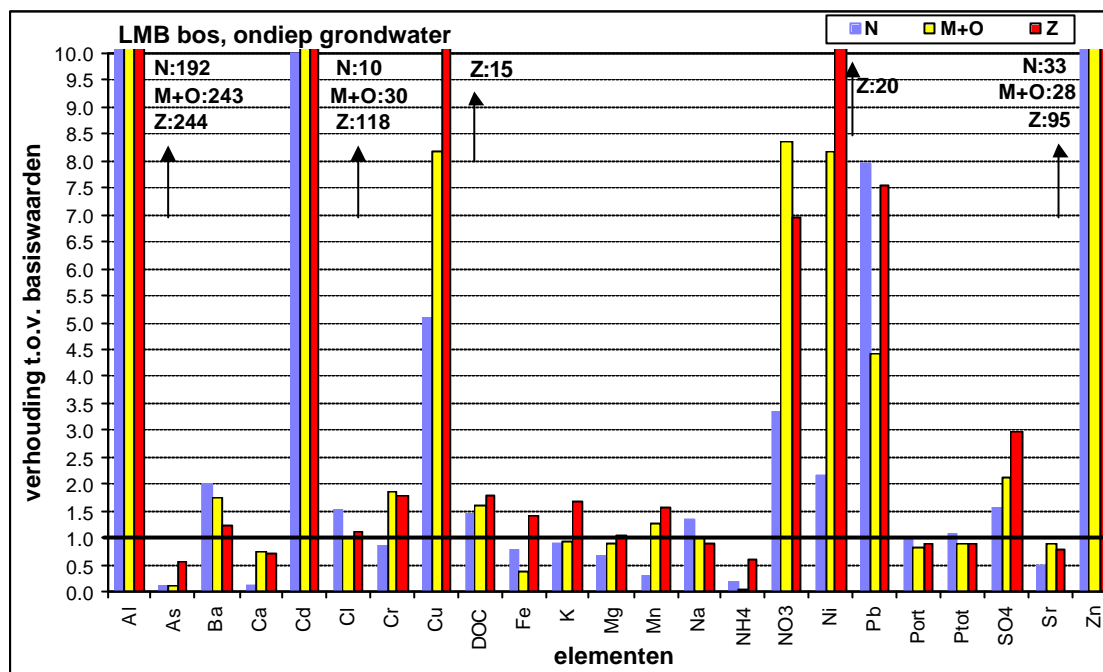


Fig. 29 Variatie in het ondiepe grondwater onder bos in de LEI gebieden

Uit de waarnemingen in het LMG bleek (par.4.2) dat de gemiddelde concentraties steeds vrijwel gelijk zijn aan de basiswaarde voor het desbetreffende element in gevallen waarin de verblijftijd van het grondwater onder natuurgebieden groter is dan 25 jaar. In Fig.29 waar de uit LMG bepaalde basiswaarden als maatstaf zijn genomen voor de concentraties in het bovenste grondwater uit LMB, liggen de concentraties in het bovenste grondwater onder een natuurlijke vegetatie in het LMB op eveneens op dat niveau voor de spoorelementen Ba, Cr, en Sr en voor een aantal hoofdelementen. Voor die stoffen is het daarom waarschijnlijk dat recent geen verhoogde uitspoeling is opgetreden en vermoedelijk ook geen hogere atmosferische depositie. Bovendien zijn de concentraties niet sterk gestegen door de in de laatste 25 jaar toegenomen verzuring van het ondiepe grondwater. De concentraties van de genoemde stoffen zijn waarschijnlijk het resultaat van een atmosferische depositie die vrijwel gelijk is (gebleven) aan de natuurlijke depositie.

De waarneming dat de concentraties aan NO_3 en SO_4 hoger zijn dan de waarden in het diepe grondwater van de Veluwe en ook in het oudere LMG-grondwater is een gevolg van een relatief recent toegenomen atmosferische depositie in de bosgebieden waar de monsters genomen zijn. Hiermee hangt samen dat de verzuring van het ondiepe grondwater is toegenomen zoals ook uit het onderzoek aan de sprengen is gebleken.

De lagere concentraties aan As die in het LMB zijn aangetroffen in vergelijking met het grondwater dat in het LMG is bemonsterd en met sprengenwater met lange verblijftijden in de bodem zijn te verklaren door een verband tussen de concentraties aan As en de pH in het grondwater. De As concentraties gemeten in LMB komen overeen met de laagste waarden in

het sprengenwater met relatief korte reistijden in de bodem en bij lage pH. Dat mocht ook worden verwacht gezien de overeenkomst in de waarden van de pH.

De gemiddelde concentraties aan Cd, Cu en Ni die volgens Fig.29 hoger zijn dan de basiswaarden hangen samen met een grotere mobiliteit van deze elementen bij lage waarden van de pH. De concentraties in het grondwater van gebieden met een natuurlijke vegetatie nemen toe van noord naar zuid bij een nagenoeg gelijke waarde van de pH en de waarden voor (M+O) zijn bovendien vrijwel gelijk aan twee maal de voor de Veluwse sprengen gevonden maxima (bij vergelijkbare pH). Hieruit volgt dat een toegenomen atmosferische depositie tenminste mede de oorzaak moet zijn van de geconstateerde verhoogde uitspoeling. Dit betekent dat de atmosferische depositie van de genoemde sporelementen in de jaren 1990 in het zuiden groter is geweest dan in het noorden.

De gemiddelde concentraties aan Al en Zn die hoger zijn dan de basiswaarden hangen eveneens samen met een grotere mobiliteit van deze elementen bij lage waarden van de pH. De waarden voor Al en Zn voor (M+O) zijn vier tot meer dan tien maal zo hoog als de voor de Veluwe gevonden maxima (bij vergelijkbare pH). Voor Al liggen de waarden in LMB op een vergelijkbare hoogte voor de drie onderscheiden gebieden en voor Zn in (N) en (M+O). Dit leidt tot de conclusie dat de gemiddelde waarden grotendeels het resultaat zijn van het in oplossing gaan van mineralen uit de bodem. De conclusie dat regionale verschillen in de atmosferische depositie van Al en Zn er geen invloed hebben, mag niet zonder meer worden getrokken. Een mogelijke invloed wordt echter volledig overschaduwd door het in oplossing gaan van Al en Zn uit de bodem.

6.3. Concentraties in het bovenste grondwater op overige locaties

Ook voor situaties met verschillend grondgebruik zijn dezelfde vergelijkingen te maken aangezien meerdere combinaties te maken zijn van series waarbij de mediane pH waarde vrijwel gelijk is (Bijlage 4). De moeilijkheid is hierbij dat verschillende factoren een rol spelen, namelijk een wisselende belasting door bemesting, waarvan de effecten ook nog afhangen van het weer en een mogelijke regionale variatie in de atmosferische depositie. Bij één combinatie gaat het om dezelfde regio: de mediane waarde van de pH is gelijk voor extensieve veeteelt in het oostelijke en centrale zandgebied en voor intensieve veehouderij in hetzelfde gebied, alleen het jaar van bemonstering verschilt (Fig.30). De verschillen zijn niet bijzonder groot, behalve voor de elementen As en P_{ort} . Blijkbaar leidt de grote bemesting met dierlijke mest op het land in gebieden met intensieve veehouderij tot een grotere uitspoeling van P_{ort} zoals ook te verwachten was. Waarom dat ook voor As geldt, is minder eenvoudig te verklaren. Overigens is het ook zo dat de gemiddelde concentraties voor een aantal hoofdelementen hoger zijn in het ondiepe grondwater onder intensieve veehouderij. Verder zijn de gemiddelde concentraties van Cr en Cu ongeveer 1.5 keer zo hoog in het ondiepe grondwater onder intensieve veehouderij in vergelijking tot de extensieve veeteelt.

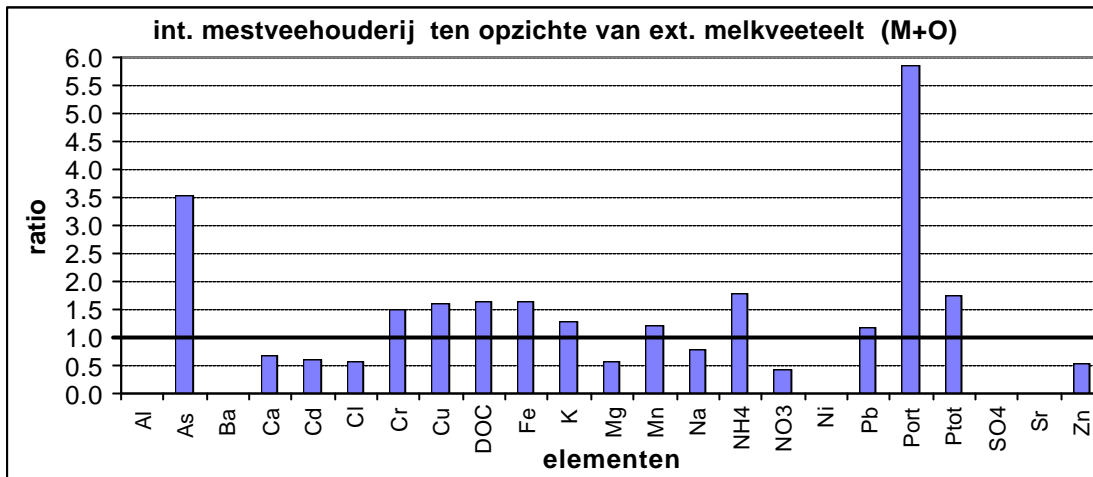


Fig.30 Grondwater voor twee vormen van landgebruik in het oostelijke en centrale gebied

De overige vergelijking van combinaties zijn verder niet in een figuur weergegeven. Uit de gegevens van Bijlage 4 zijn echter de volgende algemene conclusies te trekken:

1. De gemiddelde waarden van de concentraties aan de hoofdelementen zijn onder akkerbouw in het algemeen lager dan in het bovenste grondwater onder veeteelt.
2. De gemiddelde waarden voor de concentraties aan spoorelementen in het bovenste grondwater onder landbouwgronden, met uitzondering van intensieve veeteelt, liggen in dezelfde orde van grootte, de waarden verschillen meestal minder dan een factor 2.
3. In het bovenste grondwater in bodems gebruikt door de intensieve veehouderij zijn de gemiddelde waarden voor As en P_{ort} aanzienlijk hoger dan in de overige gronden.

7. BASISWAARDEN EN ANTROPOGENE INVLOEDEN; CONCLUSIES

Basiswaarden voor het zoete grondwater zijn gedefinieerd als de concentraties van stoffen in grondwater die uitsluitend zijn ontstaan uit de natuurlijke neerslag.

Deze basiswaarden zijn vastgesteld door een selectie te maken van waarnemingen uit diverse monitoring- en meetprogramma's (LMG, PMG, LMB en Sprengenonderzoek). De selectie was dat alleen grondwater is beschouwd met minder dan 200 mg/l chloride en met een reistijd (ouderdom) van minimaal 50 jaar in de bodem van gebieden met natuurlijke vegetatie.

De laagste concentraties aan spoorelementen zijn waargenomen in het water uit de sprengen en daarmee in het diepe grondwater van de Veluwe. Deze concentraties zijn veelal een factor twee lager dan de concentraties in grondwater met relatief kortere reistijden (maar langer dan 50 jaar) uit het LMG (Fig.26). Dit is verklaarbaar uit de verschillen in indamping tussen het landschap van de Veluwe in het verleden (heide en kale grond) en het huidige landschap van Nederland. De gegevens van het LMG voor het huidige landschap van de Veluwe (naaldbos) komen wel overeen met die van de overige zandgebieden.

Uit een vergelijking voor het LMG (Fig.3-25) blijkt dat de concentraties van spoorelementen in grondwater met lange reistijden onder landbouw (meer dan 50 jaar) steeds nagenoeg gelijk zijn aan de concentraties onder natuur. Dit was ook te verwachten omdat tijdens het ontstaan van dit grondwater nog nauwelijks sprake was van menselijke beïnvloeding. De overeenkomst vormt een belangrijke ondersteuning van de bepaling van de basiswaarden, ook omdat voor het grondwater onder landbouw meer gegevens beschikbaar zijn dan voor natuur.

Uit de geringe ruimtelijke variatie in de zandgebieden (Fig.3-25) volgt dat de uit LMG afgeleide basiswaarden bij goede benadering geldig zijn voor het zoete grondwater van heel Nederland. De aard van de bodem lijkt geen invloed te hebben op de concentraties. In de duingebieden heeft de nabijheid van de zee voor een aantal elementen wel invloed gehad.

Conclusie 1 De concentraties in het oudere, zoete grondwater van het LMG en twee maal de waarden voor de sprengen van de Veluwe, vormen een goede benadering voor de basiswaarden; basiswaarden zijn de concentraties in het zoete grondwater van geheel Nederland voor een natuurlijke situatie bij het huidige landschap, met inbegrip van de Veluwe.

Conclusie 2 Verschillen in de aard van de bodem in de zandgebieden hebben geen invloed op de basiswaarden.

De afwezigheid van een invloed van verschillende bodems op de basiswaarden maakt het aannemelijk dat vanuit de vaste bestanddelen uit de bodem in een natuurlijke situatie geen extra stoffen worden toegevoegd aan de door neerslag toegevoerde concentraties in het grondwater. Zelfs voor de huidige concentraties van spoorelementen in de neerslag worden

geen grote verschillen gevonden met de basiswaarden, zoals vastgesteld uit de LMG- en sprengengegevens (Fig. 26). Daarom is de volgende conclusie aannemelijk maar niet hard:

Conclusie 3 Vanuit vaste bestanddelen van de bodem wordt geen of een verwaarloosbare bijdrage geleverd aan de in het grondwater opgeloste spoorelementen.

Uit conclusie 3 volgt:

Conclusie 4 Basiswaarden in het grondwater voor spoorelementen, die niet in het LMG zijn bepaald, volgen uit het onderzoek van de sprengen door de waarden met twee (indampingsfactor) te vermenigvuldigen (Tabel 4).

Uit conclusie 3 volgt ook dat basisconcentraties voor de natuurlijke neerslag in Nederland kunnen worden afgeleid uit die in het grondwater, zie Tabel 4. Daarom geldt:

Conclusie 5 Basiswaarden voor spoorelementen in de neerslag volgen bij benadering uit die voor het zoete grondwater door rekening te houden met de indamping.

Natuurlijke achtergrondconcentraties vormen een belangrijk gegeven bij de vaststelling van streefwaarden. De hier vastgestelde basiswaarden zijn natuurlijke achtergrondconcentraties voor het huidige landschap. De thans geldende streefwaarden verschillen voor sommige spoorelementen weinig van de basiswaarden in Tabel 4. Dit betekent dat overschrijdingen voor die elementen zelfs in nog vrijwel natuurlijke situaties veelvuldig voorkomen; dit geldt met name voor Cd, Cu en Ni en in iets mindere mate voor Cr.

Deze overwegingen leiden tot:

Conclusie 6 Gezien de niveaus van de basiswaarden verdient het aanbeveling de streefwaarden te herijken. Bovendien kunnen basiswaarden een rol spelen bij een uitbreiding met nieuwe streefwaarden voor grondwater.

Fraters e.a. (2002) stellen dat de werkelijke natuurlijke achtergrondconcentraties moeilijk te achterhalen zijn. Als indicatie voor de natuurlijke achtergrondconcentratie geven zij, conform het TCB-advies uit 1996, de mediane concentraties uit relatief onbelaste gebieden. Zij bepalen verder ook semi-natuurlijke achtergrondconcentraties die gelijk zijn aan de concentraties die in 90% van relatief onbelaste gebieden niet worden overschreden. Deze laatste concentraties zijn uiteraard hoger dan de hier gevonden basiswaarden, waarvoor inderdaad geldt dat ze vrijwel gelijk zijn aan de natuurlijke achtergrondconcentraties.

Conclusie 7 De basiswaarden moeten worden gezien als een aanvulling op de studie door Fraters e.a. (2002).

Een vergelijking van grondwater uit het LMG met verschillende reistijden in de bodem levert op dat de concentraties bij relatief korte reistijden voor de meeste spoorelementen hoger zijn dan de basiswaarden. Hogere waarden zijn een gevolg van menselijke invloeden die zichtbaar worden in grondwater met korte reistijden. Vaak betreft het een combinatie van verzuring, een verhoogde atmosferische depositie en de bemesting van landbouwgronden. Uit het voorgaande volgt:

Conclusie 8 Menselijke invloeden zijn merkbaar in de waargenomen concentraties van veel spoorelementen (en vrijwel alle hoofdcomponenten) in het zoete grondwater met reistijden van minder dan 25 jaar in de bodem.

Ook in de waarnemingen van het LMB is de invloed van menselijke activiteiten waarneembaar. Gemiddelde concentraties van Al, Cd, Cu, Ni en Zn in het bovenste grondwater onder natuurgebieden, die hoger zijn dan de basiswaarden, hangen samen met een grotere mobiliteit van deze elementen bij lage waarden van de pH. De concentraties aan Cd, Cu en Ni nemen echter ook toe van noord naar zuid bij een nagenoeg gelijke waarde van de pH (Fig.29). Voor Al zijn de waarden vrijwel gelijk voor de drie onderscheiden gebieden en voor Zn zijn ze alleen in het zuiden hoger. Hieruit volgt dat een toegenomen atmosferische depositie mede de oorzaak moet zijn van de geconstateerde verhoogde uitspoeling voor in ieder geval de concentraties aan Cd, Cu en Ni. Dit betekent dat de atmosferische depositie van die stoffen in de jaren 1990 in het zuiden groter is geweest dan in het noorden. De conclusie dat er geen invloed is van regionale verschillen in atmosferische depositie van Al en Zn mag niet zonder meer worden getrokken. Een mogelijke invloed wordt echter overschaduwd door het in oplossing gaan van Al en in mindere mate Zn uit de bodem. De conclusie is:

Conclusie 9 De atmosferische depositie van Cd, Cu en Ni is tot de jaren 1990 in het zuiden groter geweest dan in het noorden en die heeft mede geleid tot verhoogde concentraties in het bovenste grondwater. Dit geldt minder voor de relatief hoge concentraties aan Al en Zn waar de oplossing van bodemmineralen als gevolg van verzuring de belangrijkste oorzaak vormt.

Tenslotte volgt uit de onderlinge vergelijking van de waarnemingen uit het landelijk (LMG) en de provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit (PMG) dat beide series van elkaar verschillen. De gemiddelde concentraties wijken in te veel gevallen meer dan een factor twee van elkaar af (Fig.28) voor dezelfde gebieden in de meetperiode 1992-2000. De verschillen kunnen een aantal oorzaken hebben, die hier niet nader zijn onderzocht. Ze zijn echter te groot om beide series gegevens in samenhang te beschouwen. Van groot belang is:

Conclusie 10 De onderlinge consistentie van de metingen in LMG en PMG dient op korte termijn zoveel als mogelijk is te worden verbeterd. De verschillen tussen beide gegevensbestanden zijn nu zo groot dat het niet mogelijk is om de gegevens in samenhang te beschouwen.

Tabel 4 Laagste concentraties van sporelementen bepaald uit het sprengenwater en LMG en daaruit afgeleide basiswaarden voor grondwater en neerslag (ug/l)

	Sprengenwater		Grondwater (>50a)		Basiswaarden Zoet grondwater	Basiswaarden Neerslag
	gemiddeld	st.afw.	gemiddeld	st.afw.		
Ag	<0.0001	<0.0001			<0.0001	<0.0001
Al	19	11	33	24	40	10
As	1.2	0.59	1.0	1.0	1.0	0.6
Au	0.0006	0.0013			0.001	0.0003
B	3.3	0.6			7.0	2
Ba	13	4.1	41	27	40	10
Be	0.03	0.03			0.06	0.02
Bi	0.0009	0.0009			0.002	0.0005
Cd	0.037	0.035	0.05	0.01	0.05	0.020
Ce	0.50	0.32			1.0	0.25
Co	0.30	0.24			0.6	0.15
Cr	0.31	0.25	0.85	0.27	0.85	0.2
Cs	0.0025	0.0014			0.005	0.0015
Cu	1.2	1.2	0.84	0.19	0.85	0.6
Dy	0.066	0.044			0.13	0.04
Er	0.038	0.026			0.08	0.02
Eu	0.013	0.010			0.03	0.007
Ga	0.17	0.05			0.35	0.09
Gd	0.050	0.036			0.1	0.025
Hf	0.0007	0.0005			0.0015	0.0005
Ho	0.013	0.009			0.03	0.01
La	0.37	0.19			0.75	0.2
Li	1.4	0.4			2.4	0.7
Lu	0.0037	0.0023			0.0075	0.002
Mo	0.056	0.031			0.12	0.03
Nb	0.0007	0.0014			0.0015	0.0005
Nd	0.32	0.20			0.65	0.16
Ni	1.3	0.4	1.93	2.83	2.6	0.6
Pb	0.12	0.09	0.25	0.24	0.25	0.1
Pr	0.077	0.045			0.15	0.04
Pt	0.0017	0.0010			0.0035	0.001
Rb	0.60	0.24			1.2	0.3
Sb	0.021	0.013			0.045	0.01
Se	0.30	0.12			0.6	0.15
Sm	0.056	0.039			0.12	0.03
Sn	0.0031	0.0057			0.006	0.002
Sr	46	15	175	173	100	25
Ta	0.0001	0.0002			0.0002	0.00005
Tb	0.010	0.007			0.02	0.005
Th	0.0012	0.0016			0.0025	0.0006
Ti	2.0	0.6			4.0	1.0
Tm	0.0047	0.0029			0.01	0.0025
U	0.0102	0.019			0.02	0.005
W	0.070	0.053			0.14	0.035
Y	0.53	0.37			1.1	0.3
Yb	0.026	0.017			0.05	0.015
Zn	3.9	2.6	7.88	2.02	8.0	2.0
Zr	0.034	0.028			0.07	0.02

LITERATUUR

- Appelo C.A.J. and D. Postma, 1994, Geochemistry, groundwater and pollution, Rotterdam
- Boumans L.J.M. en W.H.J. Beltman, 1991, Kwaliteit van het bovenste freatische grondwater in de zandgebieden van Nederland, onder bos en heidevelden, RIVM rapport 724901001
- Boumans L.J.M en C.R. Meinardi, 1986, Hoge zinkgehalten in het ondiepe grondwater van een natuurgebied in de Peel H₂O (19) nr 12, 263-265
- Boumans L.J.M. en D. Fraters, 1993, Cadmium, chroom, lood, zink en arseen in freatisch grondwater van de zandgebieden van Nederland, onder bos en heidevelden RIVM rapport 712300001
- Boumans L.J.M, C.R. Meinardi en G.J. Krajenbrink, 1989, Nitraatgehalten en kwaliteit van het grondwater onder grasland in de zandgebieden, RIVM rapport 728472013
- Drecht van G., L.J.M. Boumans, B. Fraters, H.F.R. Reijnders, W. van Duijvenbooden, 1996, Landelijke beelden van de diffuse metaalbelasting van de bodem en de metaalgehalten in de bovengrond, alsmede de relatie tussen gehalten en belasting, RIVM rapport 714801006
- Fraters B., L.J.M. Boumans en H.P. Prins, 2000, Achtergrondconcentraties van 17 sporenmatalen in het grondwater van Nederland, Notitie ten behoeve van het afleiden van streefwaarden. RIVM rapport 601501008
- Groot, M.S.M., J.J.B. Bronswijk, W.J. Willems, T. de Haan en P. del Castilho, 1996 Landelijk meetnet bodemkwaliteit, Resultaten 1993, RIVM-rapport 714801007
- Groot, M.S.M., J.J.B. Bronswijk, W.J. Willems, T. de Haan en P. del Castilho, 1997 Landelijk meetnet bodemkwaliteit, Resultaten 1994, RIVM-rapport 714801017
- Karssemeijer, P.L., P.G.M. Kaasenbrood en M.C. Rang, 1991, Spoorelementen in het ondiepe grondwater: depositie of verzuring? H₂O (12) 24:323-329
- Leeflang K.W.H., 1938, De chemische samenstelling van de neerslag in Nederland, Chemisch Weekblad nr.35
- Meent D. van de, 1984, RID-VEWIN meetnet regenwater 1972-1982, Ecowad rapport 84-01, RID, thans RIVM
- Meinardi C.R., 1994, Groundwater recharge and travel times in the sandy regions of the Netherlands, Ph.D. Thesis VU Amsterdam, also RIVM report no. 715501004
- Meinardi C.R., G. Klaver, B. van Os en A. Rolf, 1999a, Resultaten van de metingen aan de sprengen en het grondwater van de Veluwe, RIVM rapport 714851003
- Meinardi C.R., 1999b, Stroming en samenstelling van de sprengen en het grondwater van de Veluwe, RIVM rapport 714851004
- Meinardi C.R., 2003, Verblijftijden en grondwateraanvulling van monsters uit de provinciale en landelijke meetnetten grondwaterkwaliteit, RIVM rapport 714801027
- RIVM, KNMI, 1989, Netherlands Precipitation Chemistry Network. Monitoring Results 1988, RIVM report 228703012
- Sloof W., P.F.H. Bont, M.A.G.T. van den Hoop, J.A. Janus, J.A. Annema, 1993, Exploratory report rare earth metals and their compounds, RIVM report 710401025

- Somhorst M.H.M. en A.P. Stolk, 1996, Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling, Meetresultaten 1994, RIVM rapport nr.723101027
- Stuyfzand P.J.,1991, Micro-componenten in grondwater in Nederland, deel I, H₂O (24)
- Stuyfzand P.J.,1992, Micro-componenten in grondwater in Nederland, deel II, H₂O (25)
- Swartjes F.A. 1999, Risk-Based Assessment of Soil and Groundwater Quality in the Netherlands: Standards and Remediation Urgency, Risk Analysis, Vol.19, No.6.
- TCB 1996, Advies toegevoegd risicomethode, Technische Commissie Bodembescherming, rapportnr. TCB A91/03
- Van der Velde-Koerts T., 2000, Grondwaterbemonstering vanuit een analytisch-chemisch perspectief, RIVM rapport 518001006

BIJLAGE 1 GEGEVENS VAN DE SPRENGEN ROND DE VELUWE

Tabel 5 Concentraties in neerslag en sprengwater van de Veluwe (waarden in ppb), atmosferische deposities omgerekend naar concentraties in de lokale neerslag

		pH	atmosferische depositie				max.	basis-	streef-
		relatie*REF. ¹	REF ²	REF ³	REF ⁴	conc. ⁵	waarden ⁶	waarde ⁷	
			(- = geen gegevens)				spr.w.	gem. ± st.afw.	(Wbb)
Al	Aluminium	neg.	100	-	-	-	2730	19 ± 11	
As	Arseen	pos./var.	0.7	<0.8	0.6	<0.75	2.26	1.2 ± 0.6	7.2
B	Boor	neg.	<5	-	-	-		3.3 ± 0.6	
Ba	Barium	neg.	3	20	-	-	70	13 ± 4	200
Be	Beryllium	neg.	<0.02	-	-	-		0.031 ± 0.026	0.05
Cd	Cadmium	neg.	0.11	0.6	0.225	0.225	0.77	0.037 ± 0.035	0.06
Ce	Cerium	neg.	0.31	-	-	-		0.50 ± 0.32	
Co	Kobalt	neg.	0.34	-	<0.6	-		0.30 ± 0.24	0.7
Cr	Chroom	geen	0.7	0.3	<0.6	0	1.42	0.31 ± 0.25	2.4
Cs	Cesium	geen	0.09	-	-	-		0.0025 ± 0.0015	
Cu	Koper	geen	3.2	6	4.5	1.9	3.5	1.2 ± 1.2	1.3
Fe	IJzer	divers	77	30	106	-		530 ± 670	
Li	Lithium	geen	<0.6	-	-	-		1.4 ± 0.4	
Mn	Mangaan	divers	21	20	5.5	-		152 ± 152	
Mo	Molybdeen	pos.	<0.1	-	-	-		0.06 ± 0.03	3.6
Ni	Nikkel	neg.	0.6	2	1.2	1.2	11.3	1.3 ± 0.4	2.1
Pb	Lood	neg.	10	12.5	17	4.2	2.4	0.12 ± 0.09	1.7
Rb	Rubidium	geen	<0.45	-	-	-		0.60 ± 0.24	
Sb	Antimoon	geen	0.89	-	-	-		0.02 ± 0.01	0.15
Se	Seleen	neg.	<0.16	1	<0.15	-		0.30 ± 0.12	0.07
Sm	Samarium	neg.	0.06	-	-	-		0.06 ± 0.04	
Sr	Strontium	pos.	7	-	-	-	82	46 ± 15	
Ti	Titaan	geen	3.8	-	-	-		2.0 ± 0.6	
Zn	Zink	neg.	15	31	19	13	38	3.9 ± 2.6	24
Ca	(in mg.l. ¹)			0.7	0.5	0.4		7	
Cl	(in mg.l. ¹)			3	3.2	2.6		6	100
K	(in mg.l. ¹)			0.24	0.23	0.12		0.6	
Mg	(in mg.l. ¹)			0.2	0.25	0.16		1.3	
NH ₄	(als N in mg.l. ¹)							0.1	
NO ₃	(als N in mg.l. ¹)			6	4.9	4.1		1	11
Na	(in mg.l. ¹)			1.8	2.0	1.3		4	
O ₂	(in mg.l. ¹)							5	
P	(als Pin mg.l. ¹)							0.1	0.4
SO ₄	(in mg.l. ¹)			6.0	4.2	7		8	

Noot *) relatie tussen pH-waarde en concentraties afgeleid uit het sprengwater

REF¹=Stuyfzand, 1990, 1991,

REF²= Van de Meent (1984),

REF³= RIVM, KNMI (1989),

REF⁴= Somhorst M.H.M. en A.P. Stolk (1996)

Noot ⁵) maximum concentraties bepaald uit waarden voor alle sprengen van de Veluwe

Noot ⁶) gemiddelde concentraties afgeleid uit concentraties in 12 oostelijke sprengen met pH>6

Noot ⁷) streefwaarden in de Wet Bodembescherming voor een diepte van meer dan mv-10m; voor de hoofdelementen zijn de waarden in het Drinkwaterbesluit genomen.

BIJLAGE 2 GEGEVENS UIT HET LMG

Tabel 6 Gemiddelde concentraties over 1992-2000 in de LMG meetnetputten ;
(normaal=land- en tuinbouw; *vetgedrukt*=bos+natuur)

		Totale zandgebied			Noordelijk zandgebied			Oost. en centraal zandgebied			Veluwe en Utr. Heuvelrug			Zuidelijk zandgebied			duingebied		
		verblijftijden			verblijftijden			verblijftijden			verblijftijden			verblijftijden			verblijftijden		
		<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a
Al	ppb	759	156	28	216	39	31	25	20	21	548	18	*	1739	379	27	27	24	23
Al	ppb	1143	554	33	102	801	48	27	21	17	127	20	*	3117	1047	35	21	40	17
As	ppb	2.8	3.5	1.2	0.9	0.7	1.3	4.2	4.4	1.5	0.15	0.42	*	1.83	6.13	0.7	16	1.2	1.9
As	ppb	1.4	1.3	1	0.3	0.5	1.5	1.4	2.7	2.8	0.58	0.67	*	1.28	1.67	0.35	4.4	0.18	0.15
Ba	ppb	90	67	75	65	55	122	144	88	58	158	144	*	71	66	35	103	16	24
Ba	ppb	41	43	41	77	47	62	38	62	78	21	18	*	45	49	29	14.8	19.2	1.1
Ca	ppm	76	58	53	24	42	49	130	88	75	93	29	*	79	50	39	147	114	100
Ca	ppm	27	36	42	7	10.8	36	54	81	112	15	20	*	11	12	13	96	84	70
Cd	ppb	0.59	0.15	0.05	0.26	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.19	0.06	*	1.28	0.3	0.05	0.05	0.05	0.04
Cd	ppb	0.94	0.36	0.05	0.09	1.46	0.06	0.05	0.04	0.05	0.08	0.05	*	2.53	0.22	0.04	0.07	0.05	0.06
Cl	ppm	51	44	26	62	60	28	41	34	20	37	20	*	46	33	24	68	69	44
Cl	ppm	25	26	21	34	22	17	19	24	14	12	13	*	12	16	17	81	71	53
Cr	ppb	1.3	1.1	1.1	1.6	1.4	1.4	0.94	0.67	0.83	0.7	1.2	*	1.4	1	1	0.91	0.88	0.7
Cr	ppb	1.08	1.34	0.85	1.16	2.8	0.92	1.5	0.7	1.3	1	1	*	1	1.16	0.7	0.86	1.05	0.7
Cu	ppb	3.97	0.98	0.86	3.49	0.88	0.83	0.94	0.91	0.98	1.62	0.92	*	6.77	0.89	0.81	0.77	2.81	0.99
Cu	ppb	4.1	2.4	0.84	0.95	5.95	0.85	1	0.99	0.66	0.95	0.95	*	9.96	2.39	0.75	0.9	1	1.2
Fe	ppm	8.9	12.5	10.3	10	16	14	10.5	6.8	6.5	0.02	0.02	*	8.6	14.9	9.2	5.3	1.9	2.7
Fe	ppm	3	5.9	6.4	6.3	6.7	7.5	3.8	3.9	12.9	1.1	1.6	*	3	8.9	5.6	1.1	2.77	0.14
HCO ₃	ppm	133	129	160	49	116	173	293	217	203	108	16	*	73	75	101	437	312	294
HCO₃	ppm	64	90	121	6.4	21.9	110.6	126	204	341	25	50	*	8.8	14.4	11.5	295	247	249
K	ppm	16.3	3.5	2	16.6	2.3	2.2	7.45	2.65	0.9	25.6	3.6	*	17.6	3.8	1.3	27.8	14.4	7.5
K	ppm	2.2	1.9	1.7	2	1.7	1.4	0.8	0.9	1.3	1.9	1.5	*	2.6	1.8	1.6	3.2	4.2	3.1
Mg	ppm	11.2	7.6	5.3	8.4	5.8	5.6	10	6.2	3.7	12.9	8.8	*	13.3	9.1	4.1	14	16	13
Mg	ppm	4.5	4.4	4	4.7	3.5	2.3	4.7	5.9	4.5	2.1	1.5	*	4	3	2.5	10	9.9	11.7
Mn	ppm	0.52	0.38	0.33	0.31	0.32	0.31	0.56	0.37	0.3	1.04	0	*	0.64	0.46	0.37	0.37	0.39	0.21
Mn	ppm	0.26	0.24	0.22	0.18	0.16	0.3	0.11	0.3	0.42	0.29	0.22	*	0.37	0.25	0.11	0.18	0.26	0.21
NH ₄	ppm	1.26	0.67	0.91	2	1.1	1.2	0.82	0.39	0.73	1.49	0.01	*	0.43	0.4	0.45	3.7	0.8	1.5
NH₄	ppm	0.18	0.37	0.55	0.33	0.47	0.61	0.07	0.29	0.71	0.21	0.04	*	0.07	0.15	0.28	0.4	1.1	1.1
NO ₃	ppm	14.18	1.66	0.11	6.43	0.61	0.11	7.29	1.36	0.1	43	17	*	22.75	1.63	0.12	0.12	0.64	0.12
NO₃	ppm	2.05	0.51	0.25	0.75	0.67	0.09	2.48	0.08	0.05	2.27	0.15	*	3.09	0.82	0.49	0.1	0.3	0.05
Na	ppm	29	24	18	35	32	21	23	18	11	22	12	*	25	18	12	38	39	40
Na	ppm	16	16	14	18	16	11	13.3	13.7	8.3	8.3	9.3	*	8.6	10.9	13.7	53	39	26
Ni	ppb	24.2	22.4	1.9	10.7	3.9	3.3	1.83	0.94	0.89	3.9	2.8	*	53.35	57.67	0.85	1.16	1.09	0.88
Ni	ppb	31.4	11.8	1.9	5.9	52.8	4.8	1.16	0.99	0.79	1.9	1.4	*	84.84	4.74	0.8	0.96	0.85	0.76
O ₂	ppm	2	2.5	1.4	2.1	3.4	1.7	2	4.4	1.5	4.8	7.2	*	1.61	0.19	0.65	1.2	1.3	2.5
O₂	ppm	3.6	2.4	1.9	4.5	3.7	2.9	4.8	3.7	2.7	5.2	3.7	*	2.63	0.56	0.11	1.1	2.9	4.8
Pb	ppb	1.49	0.34	0.27	0.55	0.36	0.26	0.22	0.31	0.2	0.48	0.31	*	3.29	0.34	0.23	0.28	0.29	0.73
Pb	ppb	2.08	0.81	0.25	0.55	2.12	0.5	0.47	0.18	0.14	0.59	0.19	*	4.6	0.82	0.13	1.13	0.46	0.21
P _t (P)	ppm	0.24	0.2	0.25	0.14	0.21	0.27	0.17	0.16	0.17	0.07	0.06	*	0.1	0.12	0.2	2.06	1.1	0.62
P_t (P)	ppm	0.08	0.15	0.15	0.08	0.11	0.12	0.06	0.15	0.23	0.07	0.06	*	0.07	0.09	0.06	0.17	0.41	0.37
SO ₄	ppm	86	62	24	50	34	15	81	45	24	64	32	*	125	99	24	63	78	82
SO₄	ppm	41	40	26	30	37	19	52	46	12	24	20	*	52	47	47	44.7	32.3	3.4
Sr	ppb	279	207	182	134	154	169	434	270	244	302	188	*	265	181	114	599	515	491
Sr	ppb	120	135	175	72	67	117	168	235	351	60	62	*	76	64	56	373	340	467
Zn	ppb	65.1	65	9.1	24.5	15.1	8.1	8.8	7.8	7.2	39.7	7.1	*	141	160	11	7.7	9.5	8.2
Zn	ppb	127.4	25.1	7.9	48	37.5	10	7.3	8.1	6.5	7.4	7.6	*	330.1	39.4	7.4	7.3	7.1	6.5

Tabel 7 Gemiddelden van de mediane concentraties over 1992-2000 in het LMG;
(normaal=land- en tuinbouw; **vetgedrukt=bos+natuur**)

		Totale zandgebied			Noordelijk zandgebied			Oost. en centraal zandgebied			Veluwe en Utr. Heuvelrug			Zuidelijk zandgebied			duingebied		
		verblijftijden			verblijftijden			verblijftijden			verblijftijden			Verblijftijden			verblijftijden		
		<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a
Al	ppb	728	137	22	203	32	24	21	14	19	475	13	*	1679	338	22	27	15	16
Al	ppb	1108	542	25	90	731	27	23	16	13	111	15	*	3036	1055	31	16	31	13
As	ppb	2.7	3.6	1.2	0.8	0.7	1.2	4.2	4.7	1.8	0.15	0.41	*	1.58	6.34	0.7	17.1	1.2	1.9
As	ppb	1.3	1.4	1	0.3	0.5	1.5	1.4	2.9	2.8	0.6	0.65	*	1.13	1.72	0.35	4.56	0.15	0.15
Ba	ppb	88	62	37	63	55	39	143	88	57	149	139	*	69	53	28	105	16	25
Ba	ppb	39	37	41	73	46	62	38	61	78	20	17	*	44	35	29	12.9	18.7	1.2
Ca	ppm	75	57	52	24	41	49	130	87	74	83	29	*	78	49	39	146	111	99
Ca	ppm	27	36	42	6.6	10.4	36.1	53	81	111	15	20	*	11	12	13	94	85	70
Cd	ppb	0.57	0.15	0.05	0.26	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.18	0.06	*	1.24	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05
Cd	ppb	0.9	0.34	0.05	0.09	1.32	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08	0.05	*	2.45	0.21	0.05	0.05	0.05	0.05
Cl	ppm	50	44	26	61	60	28	40	33	19	34	21	*	44	33	23	67	70	46
Cl	ppm	24	26	22	32	21	17	19	24	14	11	13	*	11	16	17	79	73	52
Cr	ppb	1.3	1.1	1.2	1.5	1.4	1.4	0.9	0.7	0.92	0.7	1.2	*	1.4	1	1	0.88	0.88	0.7
Cr	ppb	1.05	1.35	0.85	1.1	2.79	0.91	1.6	0.7	1.3	1	1	*	0.97	1.18	0.73	0.81	1.01	0.7
Cu	ppb	3.72	0.74	0.7	3.27	0.71	0.69	0.74	0.67	0.7	1.41	0.95	*	6.42	0.69	0.69	0.69	1.51	0.93
Cu	ppb	3.75	2.06	0.68	0.78	5.16	0.67	0.7	0.7	0.64	0.79	0.82	*	9.32	2.18	0.7	0.69	0.7	0.7
Fe	ppm	8.9	12.7	10.4	10	16	14	10.3	7	6.5	0.01	0.01	*	8.7	15.2	9.1	4.9	1.9	2.9
Fe	ppm	2.8	6.1	6.5	5.8	7.3	7.9	3.8	4	12.9	1.2	1.4	*	2.5	9.1	5.6	1.07	2.86	0.11
HCO ₃	ppm	133	129	161	49	115	172	293	215	203	108	14	*	73	75	102	432	312	296
HCO₃	ppm	65	90	121	6.3	21.9	111.4	127	204	341	26	50	*	8.8	15.3	11.5	300	249	249
K	ppm	15.9	3.5	2	15.7	2.3	2.2	7.43	2.68	0.9	27.6	3.2	*	17	3.7	1.3	27.1	14	7.5
K	ppm	2.1	1.9	1.7	1.9	1.7	1.4	0.7	0.8	1.3	1.9	1.4	*	2.5	1.8	1.6	3	4.1	2.9
Mg	ppm	11	7.5	5.2	8.3	5.8	5.6	10.1	6.1	3.6	12.2	8.8	*	13	9	4.1	14	15	12
Mg	ppm	4.4	4.4	4	4.4	3.5	2.3	4.6	5.9	4.5	2	1.4	*	3.9	3	2.5	9.9	9.8	11.6
Mn	ppm	0.5	0.37	0.32	0.3	0.31	0.31	0.55	0.37	0.3	0.66	0	*	0.64	0.47	0.36	0.36	0.36	0.22
Mn	ppm	0.26	0.25	0.22	0.17	0.16	0.28	0.11	0.32	0.43	0.28	0.22	*	0.36	0.25	0.11	0.17	0.26	0.21
NH ₄ -N	ppm	1.2	0.68	0.91	1.9	1.2	1.3	0.8	0.39	0.73	0.91	0.01	*	0.42	0.41	0.43	3.7	0.9	1.6
NH₄-N	ppm	0.16	0.38	0.55	0.32	0.55	0.63	0.07	0.3	0.73	0.23	0.03	*	0.06	0.16	0.28	0.2	1.1	1
NO ₃ -N	ppm	13.32	1.64	0.06	5.79	0.56	0.07	7.18	1.36	0.04	38	17	*	21.75	1.72	0.05	0.06	0.24	0.06
NO₃-N	ppm	1.89	0.41	0.05	0.65	0.42	0.07	2.26	0.05	0.05	2.03	0.13	*	2.93	0.78	0.04	0.06	0.07	0.04
Na	ppm	28	23	18	35	32	22	23	18	11	21	12	*	25	18	12	38	39	39
Na	ppm	16	16	14	17	16	11	13.1	13.6	8.3	8.1	9.2	*	8.3	10.8	13.8	51	39	26
Ni	ppb	23.8	21.6	1.9	10.3	3.4	3.3	1.62	0.92	0.82	3.8	2.9	*	52.86	55.92	0.8	1.15	1.06	0.85
Ni	ppb	29.4	10.9	1.9	5.7	50.5	4.8	1.12	0.87	0.79	1.8	1.4	*	79.25	3.38	0.7	0.91	0.83	0.7
O ₂	ppm	1.34	0.46	0.19	1.48	0.42	0.08	0.14	0.14	0.06	4.3	7.3	*	1.59	0.07	0.2	0.3	0.5	1.1
O₂	ppm	3.35	0.92	0.81	4.37	1.83	0.05	3.42	0.27	0.4	5.2	1.9	*	2.79	0.47	0.1	0.4	1	4.8
Pb	ppb	1.49	0.33	0.27	0.55	0.34	0.26	0.22	0.31	0.2	0.47	0.31	*	3.29	0.34	0.23	0.28	0.29	0.73
Pb	ppb	2.06	0.79	0.16	0.45	2.03	0.21	0.47	0.18	0.14	0.59	0.19	*	4.6	0.81	0.13	1.13	0.46	0.21
P _t (P)	ppm	0.25	0.21	0.27	0.13	0.22	0.29	0.18	0.17	0.16	0.06	0.06	*	0.09	0.12	0.21	2.29	1.12	0.66
P_t (P)	ppm	0.07	0.15	0.16	0.07	0.11	0.11	0.06	0.17	0.22	0.07	0.06	*	0.06	0.09	0.06	0.14	0.38	0.46
SO ₄	ppm	85	60	23	50	32	15	82	45	22	60	32	*	123	97	23	57	78	78
SO₄	ppm	40	40	25	30	39	17	50	46	10	24	19	*	51	47	46	42.9	33.3	3.1
Sr	ppb	276	204	181	134	152	168	435	269	242	279	188	*	262	178	111	587	497	488
Sr	ppb	116	134	174	68	67	117	163	233	351	60	61	*	73	62	55	361	338	467
Zn	ppb	56.8	58.4	6.8	22.5	13.8	7.2	7.4	6.6	6.5	37.7	6.5	*	121.6	143.7	6.5	6.5	8.7	6.5
Zn	ppb	102.3	23.2	7.5	43.7	33.8	9.8	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	*	261.6	37.5	6.5	6.5	6.5	6.5
pH	pH	6	6.5	6.9	5.5	6.1	6.7	7.1	7.3	7.4	6.1	5.6	*	5.5	6.2	6.8	7.5	7.7	7.6
pH	pH	6.1	6.5	6.4	5.6	5.6	6.5	7.5	7.5	6.8	6.8	7.2	*	5	5.7	5.7	7.7	7.4	8

BIJLAGE 3 GEGEVENS UIT DE PMG

Tabel 8 Gemiddelde concentraties over 1992-2000 in de PMG meetnetputten;
(normaal=land- en tuinbouw; vetgedrukt=bos+natuur)

		Totale			Noord			Oost			Veluwe			Zuid			Duinen		
		<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a	<25a	25/50	>50a
Al	ppb	799	97	36	739	26	41	263	23	23	664	388	*	1407	178	28	34	32	*
Al	ppb	863	57	25	846	31	26	333	19	*	1961	30	*	891	139	23	31	34	*
As	ppb	2	3.3	2.7	2.4	2.9	3	1.6	4.9	2.1	0.44	0.22	*	2.4	4	2.5	1.2	2.7	*
As	ppb	4	1.7	5.2	1	1.5	2.4	1.9	2.6	*	0.62	0.19	*	7.9	2.7	8	2.4	2.5	*
Ba	ppb	90	69	86	89	72	89	108	157	64	81	54	*	83	40	97	34	53	*
Ba	ppb	78	49	52	66	49	83	28	45	*	37	32	*	124	61	20	26	61	*
Ca	ppm	65	59	53	26	34	44	115	142	77	57	62	*	58	47	66	169	73	*
Ca	ppm	31	25	18	5	7.8	11.4	79	79	*	17.7	9.4	*	22	24	24	97	67	*
Cd	ppb	0.54	0.35	0.15	0.49	0.43	0.18	0.25	0.06	0.05	0.48	0.29	*	0.9	0.52	0.1	0.04	0.03	*
Cd	ppb	0.3	0.16	0.11	0.24	0.3	0.18	0.43	0.07	*	0.19	0.07	*	0.32	0.12	0.05	0.04	0.03	*
Cl	ppm	42	43	44	42	56	42	34	47	33	73	35	*	41	26	64	57	46	*
Cl	ppm	23	26	35	23	21	58	22	57	*	25	14	*	20	19	13	48	55	*
Cr	ppb	1.5	1.4	3.3	1.6	1.6	4.6	1.55	0.87	0.61	1.6	1	*	1.3	1.6	1	0.85	0.97	*
Cr	ppb	1.38	1.29	0.89	1.3	1.1	1	0.9	0.67	*	1.5	2.3	*	1.69	1.13	0.78	0.77	0.91	*
Cu	ppb	6	3.1	2.2	4	2	1.4	4	1.5	1.3	3.9	1.7	*	11	6.1	6	0.81	0.94	*
Cu	ppb	3.8	3.6	1.1	3.6	4.1	1.4	1.5	1	*	1.6	1.4	*	5.69	6.67	0.81	1.39	0.96	*
Fe	ppm	8.7	8.8	11.8	14	15	14	3.21	7.18	0.59	0.1	1.2	*	10.2	7	14	10.2	3.1	*
Fe	ppm	3.4	2.5	10.8	3.6	1.5	10.4	0.9	2	*	0.23	0.03	*	5.7	6.8	11.1	0.53	0.43	*
HCO ₃	ppm	109	147	156	44	70	158	228	358	214	54	64	*	46	96	90	687	310	*
HCO₃	ppm	60	59	47	6.7	11	11.2	152	192	*	32	15	*	45	48	84	226	210	*
K	ppm	14.5	6	4	10.9	4.1	3.6	11.4	6.8	7.8	15.5	5	*	20.7	3.9	1.9	14	15	*
K	ppm	2.3	2.7	4.2	2	1.7	6.9	1.5	3.2	*	1.1	1.3	*	3.1	3.4	1.5	3.2	6.3	*
Mg	ppm	12.3	10.7	8.7	11.1	9.2	7	13	13	11	8.5	15.5	*	12.7	7.4	13.2	29	18	*
Mg	ppm	5.4	5.1	5.5	3.9	4	7.2	8.8	6.9	*	1.9	3.3	*	5.6	4.2	3.8	7.8	13.4	*
Mn	ppm	0.7	0.52	0.28	0.81	0.41	0.24	0.76	0.89	0.15	0.62	0.48	*	0.52	0.53	0.56	1.08	0.45	*
Mn	ppm	0.31	0.18	0.31	0.17	0.06	0.17	0.15	0.21	*	0.04	0.01	*	0.53	0.39	0.44	0.46	0.41	*
NH ₄ -N	ppm	0.9	0.9	1	0.92	0.8	0.6	0.86	0.96	0.06	0.15	0.09	*	0.5	0.4	3.7	8.6	2.2	*
NH₄-N	ppm	0.11	0.11	0.08	0.09	0.06	0.09	0.06	0.17	*	0.03	0.06	*	0.17	0.11	0.07	0.24	0.38	*
NO ₃ -N	ppm	18.63	5.74	0.1	15.94	8.33	0.11	22.85	0.45	0.08	22	32	*	18.62	2.04	0.08	0.05	0.03	*
NO₃-N	ppm	2.16	0.89	0.08	1.14	1.15	0.13	5.09	0.08	*	1.9	2.3	*	1.71	0.06	0.02	0.13	0.04	*
Na	ppm	26	23	25	28	28	21	22	25	35	48	21	*	21	13	29	33	31	*
Na	ppm	14	15	18	14	14	28	16	28	*	15.4	9.2	*	12.3	12.3	7.7	29	25	*
Ni	ppb	19.4	14.1	4.3	20	19.3	5.5	6.76	1.14	0.89	4.8	9.2	*	34.4	20.1	3	0.9	1	*
Ni	ppb	11.9	6.1	1.1	9.1	10.8	1.4	2.1	1.2	*	1.8	6.5	*	22.01	2.96	0.88	1	1	*
O ₂	ppm	1.64	0.44		*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.51	0.42	0.57	3.17	0.97	*
O₂	ppm	0.77	0.29		*	*	*	*	*	*	*	*	*	0.58	0.29	*	2.3	*	*
Pb	ppb	2.1	1.9	1.7	1.9	2	1.8	0.68	0.43	0.14	1.25	0.5	*	3.9	3.2	3	0.23	0.3	*
Pb	ppb	2.1	1.5	1	2.1	1.9	1.8	0.4	0.58	*	0.62	0.41	*	3.39	2.87	0.21	0.23	0.25	*
P _t (P)	ppm	0.24	0.33	0.14	0.19	0.2	0.16	0.12	0.16	0.07	0.08	0.1	*	0.15	0.2	0.15	3.6	1.3	*
P_t (P)	ppm	0.1	0.1	0.15	0.06	0.07	0.09	0.09	0.09	*	0.06	0.08	*	0.14	0.1	0.21	0.19	0.28	*
SO ₄	ppm	86	57	54	58	48	26	84	105	92	74	60	*	128	68	128	0.1	9.5	*
SO₄	ppm	50	33	31	31	28	52	88	50	*	20	20	*	50.7	46.8	8.6	72	28	*
Sr	ppb	287	282	228	*	*	*	374	474	273	190	303	*	195	157	183	876	399	*
Sr	ppb	149	150	64	*	*	*	237	245	*	53	72	*	113	88	64	389	362	*
Zn	ppb	66	57	11	58	41.4	7.3	25	10.5	6.6	21	387	*	126	48	29	8.3	13.1	*
Zn	ppb	119	25	15	49	43	25	12.4	8.3	*	57.4	7.6	*	238.7	25.8	6	8.3	9.8	*
pH		5.9	6.4	6.4	5.6	5.9	6	6.8	7	7.7	5.7	6	*	5.5	6.4	6.5	7.2	7.5	*
pH		6.1	6.2	6.3	5.1	5.5	5.6	7.2	7.6	*	6.3	6	*	6	6.2	7.1	7.7	7.8	*

BIJLAGE 4 GEGEVENS UIT HET LMB

Tabel 9 Gemiddelde concentraties in de putten van het LMB voor de zandgebieden (N= noordelijk, M+O= midden en centraal, Z= zuidelijk zandgebied); mediane waarden voor de pH

Landgebruik	Monsterneming	Bos			Akker- bouw	Extensieve melkveehouderij		Intensieve melkveehouderij		Intensieve mestveehouderij	
		1994	1994	1994	1995	1993	1993	1993	1993	1994	1994
	zandgebied	N	M+O	Z	N	N	M+O	M+O	Z	M+O	Z
Al	ug/l	7660	9720	9760	2420					1250	2040
As	ug/l	0.1	0.1	0.55	1.62	0.88	1.24	1.4	1.69	4.4	2.39
Ba	ug/l	80	70	50	770					100	100
Ca	mg/l	4	19	18	37	70	84	138	88	58	61
Cd	ug/l	0.5	1.49	5.88	0.25	0.64	0.55	0.53	1.26	0.34	1.05
Cl	mg/l	32	21	23	23	51	41	47	43	23	45
Cr	ug/l	0.73	1.58	1.51	2.91	1.88	1.98	2.56	2.3	2.94	1.98
Cu	ug/l	4.3	6.9	12.0	13.6	11.4	8.3	10.1	14.3	13.2	16.3
DOC	mg/l	7.2	8.1	9.0	47.2	17.9	22.0	21.2	21.7	36.1	23.7
Fe	ug/l	770	400	1410	2111	8140	2580	1350	2920	4270	5830
K	mg/l	1.6	1.6	2.9	7.1	19.9	20.4	26.5	36.7	26.4	29.4
Mg	mg/l	2.7	3.7	4.3	6.1	18.2	18.4	23.9	28.4	10.8	18.4
Mn	ug/l	70	280	350	176	520	550	440	890	660	780
Na	mg/l	19	14	13	17	24	23	30	27	18	27
NH ₄ -N	mg/l	0.03	0.01	0.1	0.36	1.34	0.59	0.33	0.8	1.05	1.19
NO ₃ -N	mg/l	3	8	7	14	31	36	51	52	15	41
Ni	ug/l	6	21	51	12					12	33
Pb	ug/l	2.0	1.1	1.9	2.3	1.3	1.8	2.5	3.1	2.1	1.6
P-ort	mg/l (P)	0.10	0.08	0.09	0.06	0.04	0.06	0.03	0.03	0.36	0.20
P-tot	mg/l	0.11	0.09	0.09	1.58	0.29	0.25	0.18	0.24	0.44	0.28
SO ₄	mg/l	41	56	78						49	86
Sr	ug/l	50	90	80	130					190	170
Zn	ug/l	258	219	749	41	117	103	56	220	56	184
pH	mediaan	4.3	4.3	4.3	5.5	5.1	5.4	6.3	5.1	5.4	5.0