

NOTA 1482

november 1983

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

DE GENESE VAN LITHOGEEN GRONDWATER EN
DAARIN OPTREDENDE REGIONALE VERSCHILLEN

drs. R.H. Kemmers

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. DE OPLOSBAARHEID VAN CALCIET	2
3. CHEMISCHE VERWERING VAN CALCIET	3
3.1. Gelderse vallei	3
3.2. Zuidelijk Peelgebied	6
4. DE CO ₂ SPANNING IN HET GRONDWATER	9
5. CONCLUSIES	11
6. SLOTOPMERKINGEN	13
7. SAMENVATTING	14
8. LITERATUUR	16

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

1. INLEIDING

In ecologisch onderzoek met raakvlakken naar de hydrologie wordt veel gewezen op het grote belang van de waterkwaliteit. De waterkwaliteit is daarbij sterk gekoppeld aan de positie van de beschouwde locatie in een grondwaterstroomstelsel.

VAN WIRDUM (1980) onderscheidde een aantal chemische watertypen die hij koppelde aan de verblijftijd in de lithosfeer. Atmosfisch grondwater kon worden aangetroffen in infiltratiegebieden, waar het grondwater een nog sterke gelijkenis heeft met neerslagwater. Dergelijk water wordt gekarakteriseerd door een laag aandeel van Ca^{2+} in de kationensom (ionenratio) en lage waarden van het elektrisch geleidingsvermogen. Als referentiepunt werd het gemiddelde van het neerslagwater te Witteveen in de periode 1973-1974 gekozen. Met toenemende verblijftijd zal in afhankelijkheid van de aard van het doorstroomde sediment de ionenratio en het elektrisch geleidingsvermogen toenemen tot het litho trofereferentiepunt is bereikt. Als referentiepunt voor typisch grondwater koos hij de gemiddelde samenstelling van Maaswater te Remilly over een periode van 6 maanden in 1975.

De chemische karakteristieken van grondwater uit de vermelde gradiënt zijn in hoge mate indicatief gebleken voor bodemfysische en bodemchemische processen welke van belang zijn voor de nutriënten huishouding van ecosysteem onderdelen.

Moeilijkheden doen zich voor bij de interpretatie van grondwatertypen welke buiten de lijn tussen beschouwde referentiepunten zijn gelegen. Deze problemen zijn soms te ondervangen door gebruik te maken van andere verwerkingsmethoden van hydrochemische gegevens zoals met behulp van Piperdiagrammen (HEM, 1970).

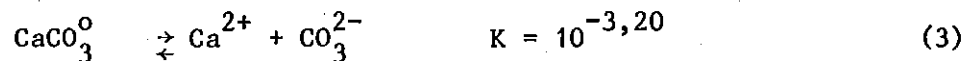
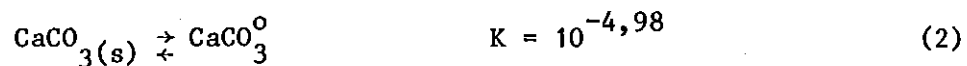
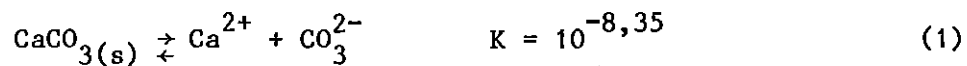
Een tweede moeilijkheid is dat de ionenratio gebaseerd is op relatieve concentraties van ionen welke niet wezenlijk een rol

spelen bij het verrijgingsproces van het grondwater temeer daar de methode van van Wirdum als uitgangspunt voor de verrijking van chemische verwerking van Ca-houdende mineralen heeft gekozen. Vooral in situaties waar vanuit andere bronnen dan het sediment ionen in het grondwater worden opgenomen (bemesting, allochtoon oppervlaktewater) kan typering van de hydrochemie met behulp van ionen ratio en elektrisch geleidingsvermogen problemen opleveren.

Ook kunnen in gooreerdgronden, als gevolg van periodieke verschuivingen van het evenwicht tussen adsorptiecomplex en bodemoplossing, sterke variaties optreden in de ionenratio. Daarbij kan de ionenratio de waarde van het lithotrofe referentiepunt benaderen terwijl het elektrisch geleidingsvermogen aanzienlijk lager is dan dat van het lithotrofe referentiepunt (KEMMERS, 1983).

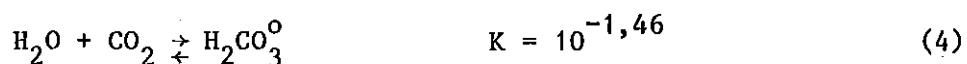
2. DE OPLOSBAARHEID VAN CALCIET

Calcium carbonaat (calciet) is slechts in beperkte mate oplosbaar (BOLT en BRUGGENWERT, 1976):

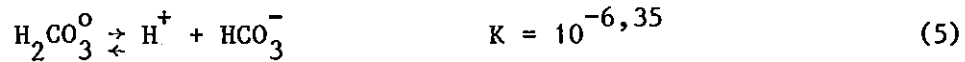


Onder invloed van waterstofionen kan de oplosbaarheid van calciet worden vergroot.

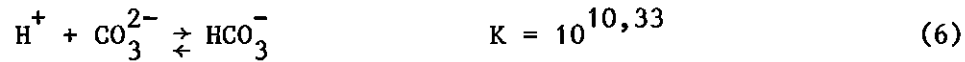
De CO_2 productie in de wortelzone door ademhalingsprocessen is zeer aanzienlijk. Voor een gedeelte zal CO_2 ontsnappen naar de atmosfeer, terwijl het restant in combinatie met water de vorming van H_2CO_3^0 veroorzaakt:



De dissociatie van H_2CO_3^0 kan als een van de belangrijkste bronnen van H^+ ionen worden beschouwd.



De H^+ -ionen in oplossing gaan, in contact gekomen met $\text{CaCO}_3(\text{s})$, de volgende reactie aan:



Combinatie van de formules 1 t/m 6 in logaritmische vorm, levert:

$$\log \text{Ca}^{2+} + \log \text{HCO}_3^- - \log \text{H}^+ = 2,15 \quad (7)$$

Deze relatie geldt uitsluitend indien CaCO_3 is neergeslagen en in evenwicht is met de oplossing.

Relatie (7) kan lineair worden gemaakt door twee variabelen te combineren tot een quotient notatie:

$$\log \frac{\text{Ca}^{2+}}{\text{H}^+} = - \log \text{HCO}_3^- + 2,15 \quad (8)$$

Deze theoretische relatie zal in de praktijk slechts bij benadering worden gevonden vanwege de veel gesignaleerde (HEM, 1970, STUMM and MORGAN, 1970) mogelijkheid van over- en onderverzadiging en complexering van de ionen.

3. CHEMISCHE VERWERING VAN CALCIEF

3.1. Gelderse vallei

Het natuurterrein Groot-Zandbrink kan worden beschouwd als een geïsoleerd lokaal hydrologisch systeem waar geen andere bronnen van verrijking van het grondwater aanwezig zijn dan het sediment.

De zeer locale grondwaterstromingen in het reservaat konden worden afgeleid uit gedetailleerde isohypsenpatronen (JANSEN en KEMMERS, 1980). Vanuit het centrale midden, waar een waterscheiding is gelegen vindt er een ondiepe grondwaterstroming plaats naar de

randen van het reservaat. Op locaties met variërende afstanden vanaf de waterscheiding werd het grondwater bemonsterd en geanalyseerd op $[Ca^{2+}]$, $[H^+]$ en $[HCO_3^-]$.

In fig. 1 zijn de resultaten weergegeven, waarbij de concentraties zijn weergegeven als de logaritmen van $[Ca^{2+}]/[H^+]$ en de logaritme van $[HCO_3^-]$ in Mol/l. Door de punten kon een exponentiële regressielijn worden berekend:

$$\log Ca^{2+} + pH = 12,33 \exp (0,47 \log HCO_3^-) R^2 = 0,86 \quad (9)$$

Voorts is in deze figuur de lijn aangegeven welke de theoretische relatie weergeeft tussen de $\log \frac{Ca^{2+}}{H^+}$ en $-\log HCO_3^-$ in aanwezigheid van vast $CaCO_{30}$ (formule 8).

Geconcludeerd moet worden dat het grondwater agressief is ten opzichte van vast $CaCO_3$ omdat de concentraties van Ca^{2+} , H^+ en HCO_3^- niet conform de waarden bij een evenwichtssituatie met $CaCO_{3(s)}$ zijn.

Het $CaCO_{3(s)}$ in het sediment gaat dientengevolge in oplossing waardoor de $[Ca^{2+}]$ en $[HCO_3^-]$ stijgen en de $[H^+]$ daalt. De curve is een afspiegeling van de genese van lithogeen grondwater uit neerslagwater.

De pH kan daarbij oplopen tot een waarde waarbij door verschuiving van het bicarbonaat-carbonaat evenwicht in combinatie met de hoge $[Ca^{2+}]$ secundaire afzetting van $CaCO_3$ mogelijk wordt. Een dergelijke situatie doet zich voor bij het snijpunt van de exponentiële curve en de rechte.

Hier is grondwater bemonsterd dat relatief de langste verblijftijd in het sediment heeft gehad en tot volledige verzadiging met Ca^{2+} en HCO_3^- is gekomen. Er is sprake van 'gerijpt' grondwater. In de bovengrond (0-5 cm -mv) konden vaste $CaCO_3$ partikels worden aangetoond met HCl (KEMMERS en JANSEN, 1980).

Ter vergelijking zijn de gegevens van de analyses bewerkt op een wijze waarmee de relatie tussen ionenratio en electrisch geleidingsvermogen kan worden aangegeven (VAN WIRDUM, 1980). Uit fig. 2 blijkt dat de analyseresultaten, conform de verwachting, zijn te rangschikken tussen het atmotrafe en lithotrofe referentiepunt. Interpretatie problemen lijken in een dergelijke situatie niet aanwezig te zijn. De beide methoden lijken elkaar goed aan te vullen.

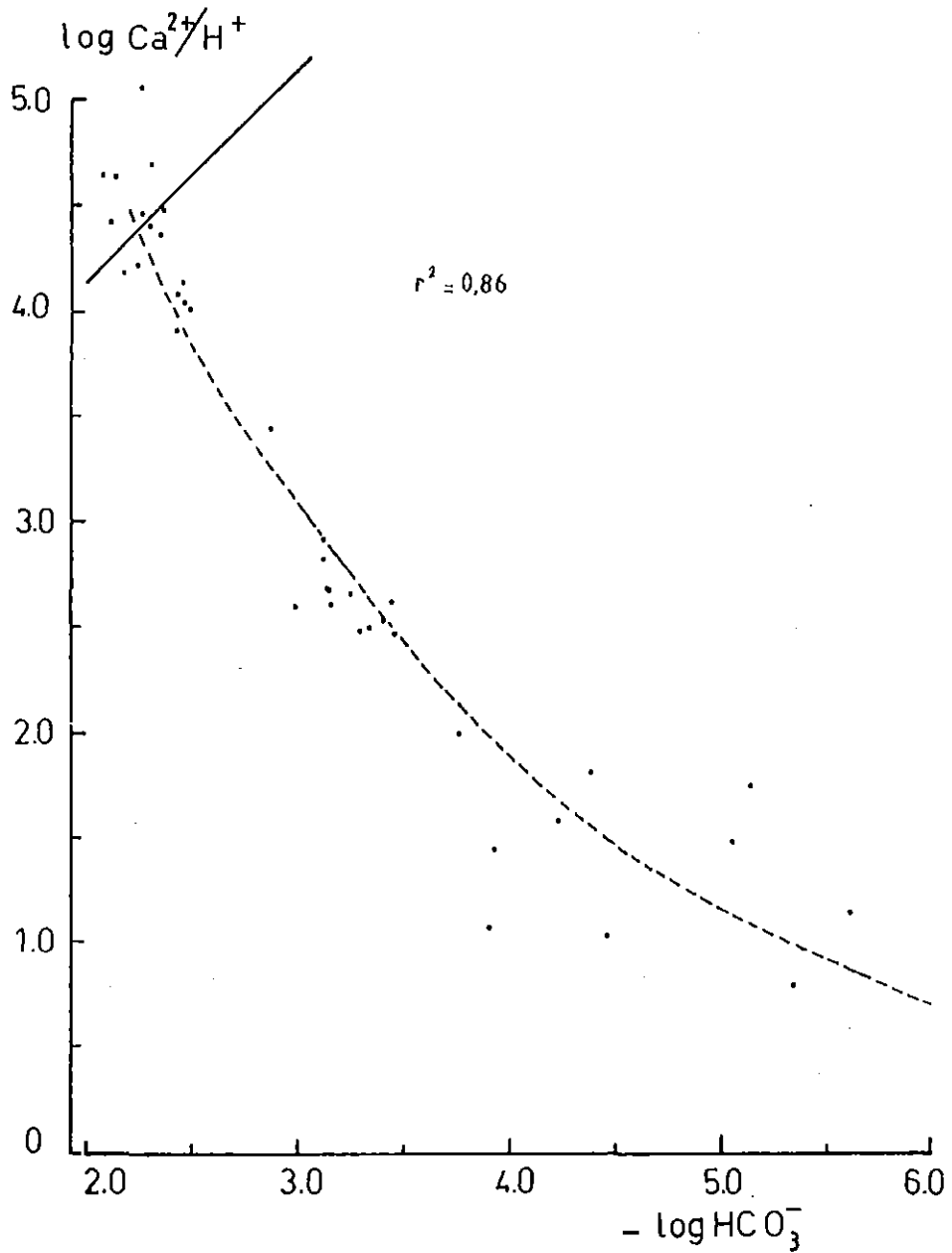


Fig. 1. De genese van lithogeen grondwater tijdens de grondwaterstroming gebaseerd op de relatie tussen $\log \text{Ca}^{2+}/\text{H}^+$ en $\log \text{HCO}_3^-$ geïllustreerd met gegevens van Groot-Zandbrink ($\log \text{Ca}^{2+} + \text{pH} = 12,33 \exp(0,47 \log \text{HCO}_3^-)$)

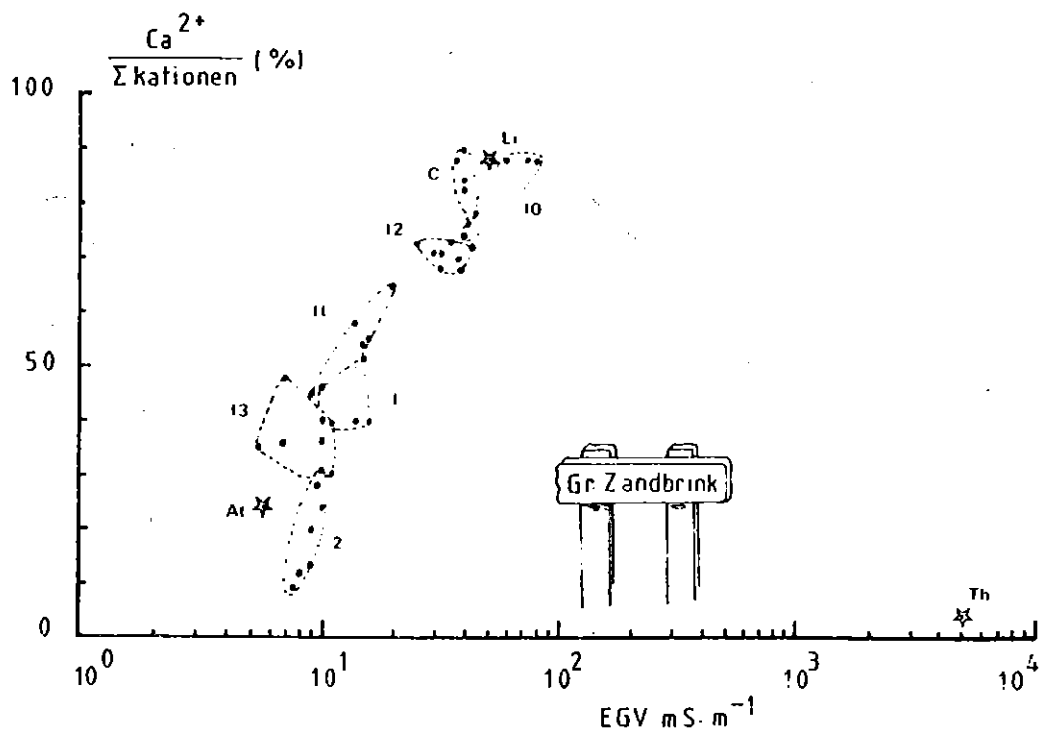


Fig. 2. Weergave van analyseresultaten van Groot-Zandbrink met behulp van de ionen ratio en het elektrisch geleidingsvermogen

De genese van het lithotrofe grondwater in Groot-Zandbrink is een proces dat een tijdsbestek van jaren tot hooguit enkele tientallen jaren beslaat (VASAK, 1979, JANSEN en KEMMERS, 1980). Deze relatief korte periode die benodigd is om tot volledige rijpheid van het grondwater te komen lijkt samen te hangen met de rijkdom aan $CaCO_3$ in het doorstroomde sediment (KEMMERS en JANSEN, 1982).

3.2. Zuidelijk Peelgebied

Het Zuidelijk Peelgebied wordt aan de oostzijde begrensd door een regionale waterscheiding. De globale grondwaterstroming in het studiegebied is zuid-oost, noord-west gericht. Evenwijdig aan de stroomrichting werden vanaf de waterscheiding een aantal raaien met grondwaterstandsbuizen geïnstalleerd ten dienst van een regionaal meetnet voor de waterkwaliteit.

Uit dit meetnet werden watermonsters verzameld en na analyse geselecteerd op het Cl^- gehalte. Als indicatie voor beïnvloeding van het grondwater door andere factoren dan het sediment werd een $[\text{Cl}^-] > 30$ mg/l gekozen. Watermonsters met een lager Cl^- gehalte werden als natuurlijk beschouwd. Van deze watermonsters werden de $\log \text{Ca}^{2+}/\text{H}^+$ en de $\log \text{HCO}_3^-$ (beide in Mol/l) tegen elkaar uitgezet in fig. 3.

Door deze punten kon een exponentiële regressielijn worden berekend:

$$\log \text{Ca}^{2+} + \text{pH} = 30,96 \cdot \exp(0,79 \cdot \log[\text{HCO}_3^-]) \quad r^2 = 0,74 \quad (10)$$

In vergelijking met de resultaten uit het Zandbrink onderzoek kunnen enkele verschillen wordenesignaleerd.

De lijn voor de Zuidelijke Peel regio begint op een lager niveau en vertoont een stijler verloop dan de lijn voor Zandbrink.

In tegenstelling tot in Zandbrink komt het grondwater in het Zuidelijk Peelgebied niet tot een verzadigingsgraad met Ca^{2+} en HCO_3^- waarbij van volledige rijpheid van het grondwater gesproken kan worden. Het voorkomen van secundaire afzettingen van CaCO_3 in de beekdalen van het studiegebied is niet waarschijnlijk.

De verblijftijd van het grondwater in het hydrologisch systeem van de Peel moet beschouwd worden als een veelvoud van de verblijftijden in Groot-Zandbrink. Ondanks deze zeer lange verblijftijd vindt geen volledige verzadiging van het grondwater plaats. Hieruit moet geconcludeerd worden dat niet alleen verblijftijd van het water maar ook de samenstelling van het sediment van belang zijn bij het rijpingsproces van het grondwater.

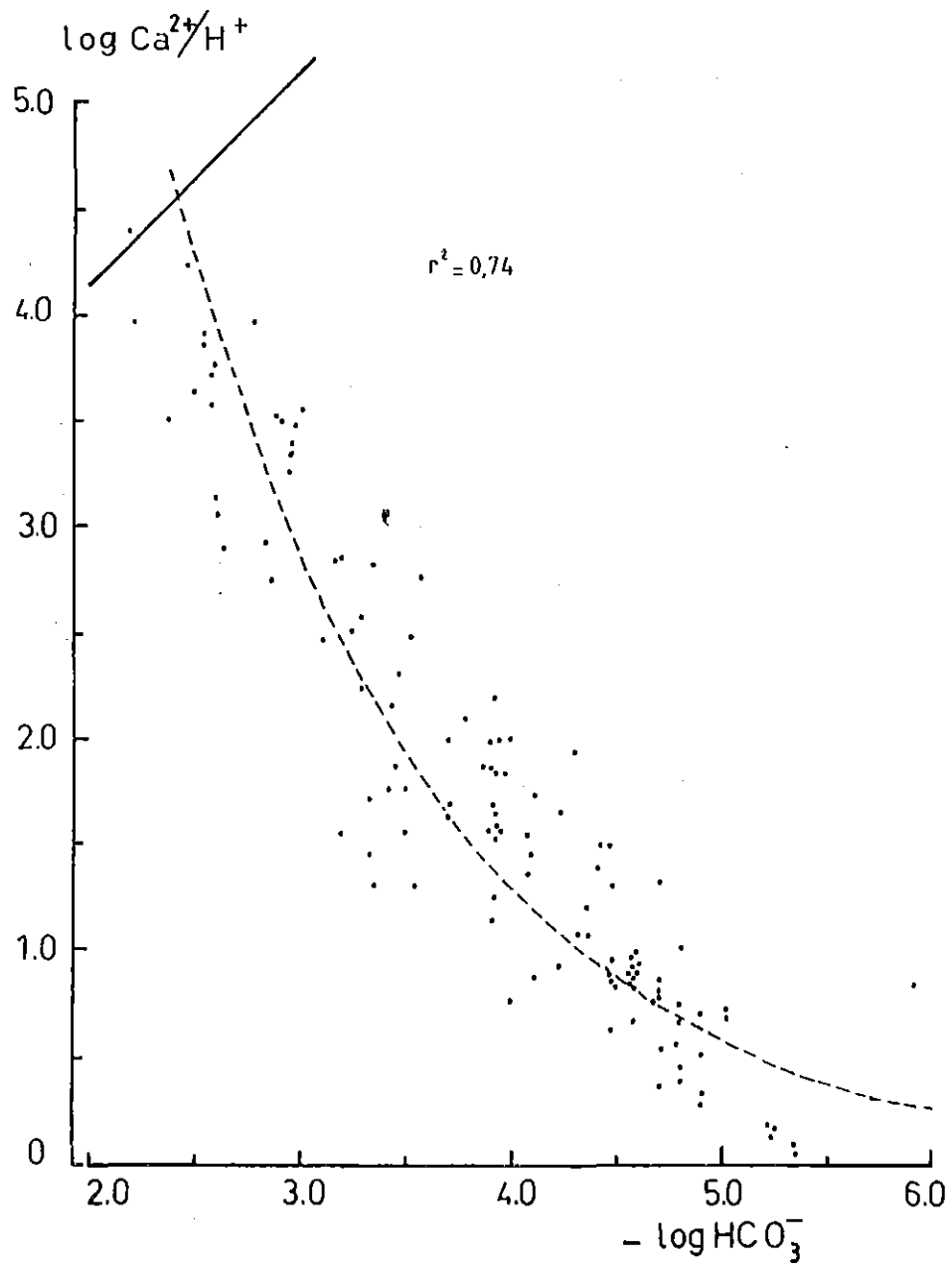
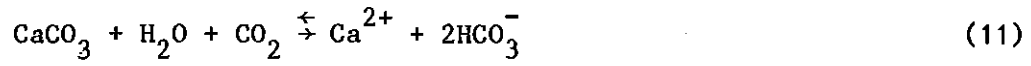


Fig. 3. De genese van lithogeen grondwater gebaseerd op de relatie tussen $\log \text{Ca}^{2+}/\text{H}^+$ en $\log \text{HCO}_3^-$ geïllustreerd met gegevens van het Zuidelijk Peelgebied ($\log \text{Ca}^{2+} + \text{pH} = 30,96 \exp(0,79 \log \text{HCO}_3^-)$)

4. DE CO₂ SPANNING IN HET GRONDWATER

De oplosbaarheid van CaCO₃ is afhankelijk van de CO₂ spanning (P_{CO₂}).



Bij toenemende P_{CO₂} zal de oplosbaarheid van calciet groter worden. (BOLT en BRUGGENWERT, 1976, LINDSAY, 1979, GARRELS and CHRIST, 1965).

De P_{CO₂} is tevens bepalend voor de evenwichtsreactie.



Theoretisch kan worden afgeleid dat voor een evenwichtssituatie geldt (BOLT en BRUGGENWERT, 1976)

$$\log \text{H}^+ + \log \text{HCO}_3^- = -7,81 + \log P_{\text{CO}_2} \quad (13)$$

Uit deze vergelijking blijkt, dat de P_{CO₂} berekend kan worden indien van een watermonster de pH en [HCO₃⁻]² bekend zijn. Rekening houdend met de mogelijkheid dat een gedeelte van de CO₂ in opgeloste vorm voorkomt als H₂CO₃ kan de P_{CO₂} worden omgerekend in de H₂CO₃ concentraties volgens:

$$\log \text{H}_2\text{CO}_3 = \log P_{\text{CO}_2} - 1,46 \quad (14)$$

Van dezelfde monsterpunten waarvoor relatie 9 werd afgeleid werden de pH en [HCO₃⁻] aan elkaar gerelateerd. Voor deze relatie kon een regressielijn worden berekend welke is weergegeven in fig. 4:

$$\text{pH} = 8,85 [\text{HCO}_3^-]^{0,05} \quad r^2 = 0,83 \quad (15)$$

Op identieke wijze werd de relatie berekend tussen de pH en [HCO₃⁻] voor de watermonsters uit het meetnet van het Zuidelijk Peelgebied:

$$\text{pH} = 9,43 [\text{HCO}_3^-]^{0,07} \quad r^2 = 0,74 \quad (16)$$

De regressielijn is weergegeven in fig. 5.

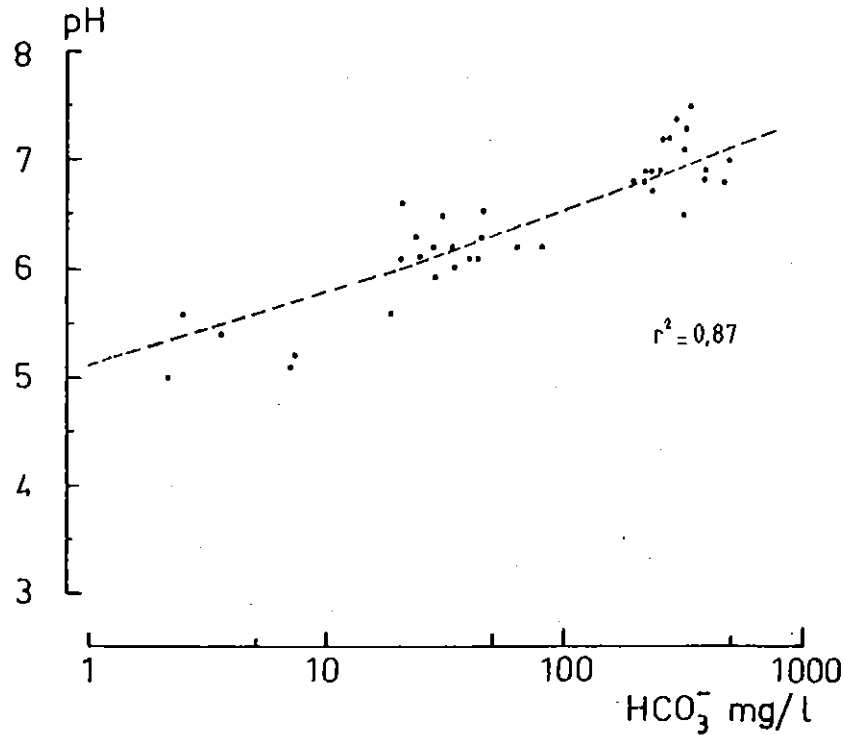


Fig. 4. De verandering van de $[\text{HCO}_3^-]$ tijdens de grondwaterstroming in afhankelijkheid van de pH geïllustreerd met gegevens van Groot-Zandbrink (pH = 5,11 $[\text{HCO}_3^-]^{0,05}$)

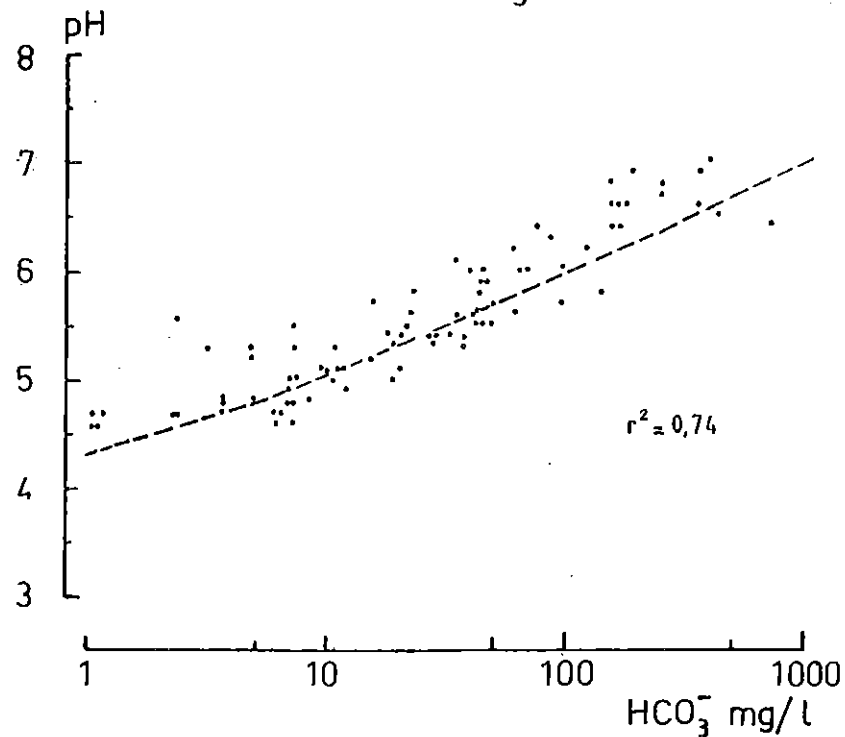


Fig. 5. De verandering van de $[\text{HCO}_3^-]$ tijdens de grondwaterstroming in afhankelijkheid van de pH geïllustreerd met gegevens uit het Zuidelijk Peelgebied (pH = 4,36 $[\text{HCO}_3^-]^{0,07}$)

De weergegeven relaties in de figuren 4 en 5 zijn een afspiegeling van de verandering van de HCO_3^- concentratie, welke in het grondwater optreedt in afhankelijkheid van de pH tijdens de stroming door de ondergrond. Tijdens dit stromingsproces daalt de $[\text{H}^+]$ en stijgt de $[\text{HCO}_3^-]$, wat conform de verwachting is bij chemische verwering van calciëet onder invloed van H_2CO_3 .

Opvallend is dat de relatie voor het Zuidelijk Peelgebied op een lager niveau is gelegen dan voor Zandbrink. In tabel 1 zijn voor enkele punten uit het traject van de lijnen in fig. 4 en 5 de P_{CO_2} en $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ berekend. Voorts is aangegeven wat het aandeel is van $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ in de som van $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ en $[\text{HCO}_3^-]$ in Mol/l (BOLT EN BRUGGENWERT, 1976). Aangenomen is dat CO_2 voorkomt in de vorm van H_2CO_3^0 . De P_{CO_2} werd daartoe omgerekend in $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ met gebruikmaking van (14).

Tabel 1. Berekende P_{CO_2} en het aandeel van H_2CO_3 in de som van carbonaat vormen in verschillende trajecten van stroombanen in Groot-Zandbrink en het Zuidelijk Peelgebied

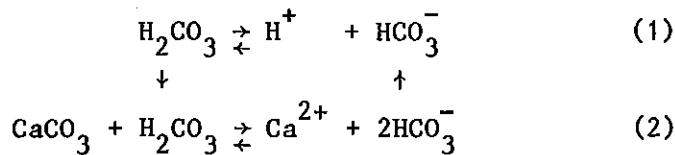
	pH	HCO_3^- (mg/l)	P_{CO_2} (bar)	H_2CO_3 (mg/l)	$\frac{\text{H}_2\text{CO}_3}{\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{HCO}_3^-}$
Groot Zandbrink	5,10	1	$10^{-2,08}$	18	0,95
	6,24	40	$10^{-1,61}$	52,37	0,56
	6,95	300	$10^{-1,45}$	76,6	0,20
Zuidelijke Peel	4,36	1	$10^{-1,34}$	99,3	0,99
	5,65	40	$10^{-1,02}$	205,3	0,83
	6,50	300	$10^{-1,00}$	215,8	0,41

5. CONCLUSIES

In het Zuidelijk Peelgebied is de P_{CO_2} van het grondwater over het gehele traject van de stroombaan aanzienlijk hoger dan in Groot-Zandbrink. De totale hoeveelheid 'carbonaten' is derhalve aanzienlijk groter in het grondwater van de Zuidelijke Peel.

Uit tabel 1 blijkt in beide gevallen dat de totale hoeveelheid anorganisch C sterk toeneemt naarmate een groter traject in de stroombaan is afgelegd wat verklaard kan worden uit het in oplossing gaan van calciet.

Dit verweringsproces vertoont aanvankelijk een zichzelf versterkend effect wat in het volgende schema tot uitdrukking is gebracht:



Door het in oplossing gaan van calciet komt HCO_3^- beschikbaar. Door het aanvankelijk zure milieu schuift dientengevolge het evenwicht (1) naar links, waardoor meer H_2CO_3 gevormd wordt, dat opnieuw calciet kan aantasten etc. Geleidelijk aan wordt het milieu minder zuur doordat tijdens het verweringsproces de H^+ ionen verdwijnen. Naarmate het milieu een neutraler karakter krijgt verschuift het evenwicht (1) weer naar rechts. Deze verschuiving komt tot uiting in tabel 1 waarin het aandeel H_2CO_3 in de som van de 'carbonaten' steeds kleiner wordt.

In het Zuidelijk Peelgebied daalt het aandeel H_2CO_3 minder snel dan in Zandbrink waardoor het grondwater in de Peel langer een agressief karakter behoudt.

Voorts kan worden opgemerkt dat de pH in het Peelgebied minder stijgt waaruit kan worden afgeleid dat minder H^+ ionen verbruikt zijn voor het verweringsproces.

Zowel het blijvend hoge aandeel van H_2CO_3 in de 'carbonaten' als de relatief lage pH aan het eind van het traject in fig. 5 leiden tot de conclusie dat het sediment in het Zuidelijk Peelgebied relatief arm is aan verweerbare CaCO_3 componenten.

Het gevolg is dat in de beekdalen van het Zuidelijk Peelgebied grondwater opkwelt dat niet tot volledige rijpheid is kunnen komen. De Ca^{2+} concentraties zijn o.h.a. laag. In fig. 3 blijkt dat er geen monsterpunten voorkomen in het traject van de curve waar het snijpunt met de rechte is gelegen. Secundaire afzetting van CaCO_3 is in het Zuidelijk Peelgebied niet mogelijk.

Het agressieve karakter van het Peelwater komt tot uiting in het verloop van de curve in fig. 3, dat stijler is dan het verloop van de curve van Groot Zandbrink in fig. 1.

De oorzaak van de zeer hoge P_{CO_2} in het Zuidelijk Peelgebied lijkt in verband te moeten worden gebracht met de verspreiding van de oorspronkelijke veenafzettingen in een vele kilometers brede zone langs de hoofdwaterscheiding. Thans komt nog op ruime schaal restveen in het gebied voor. Opgeloste en uitgespoelde organische stoffen, afkomstig uit het restveen kunnen de bron zijn van de CO_2 productie. VAN DUYVENBODE (1974) stelt, dat een toename van de P_{CO_2} in een stroomsysteem onder anaerobe omstandigheden kan plaatsvinden ten gevolge van reductie/oxidatieprocessen waarbij sulfaten en/of nitraten als O_2 bron kunnen fungeren.

In dat geval kan de toename van de $[H_2CO_3]$ en $[HCO_3^-]$ zoals weergegeven in tabel 1 voor een gedeelte worden toegeschreven aan afbraakprocessen en kan deze toename slechts voor een gedeelte worden verklaard uit verweringsprocessen.

6. SLOTOPMERKINGEN

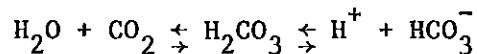
Wat opvalt in met name de resultaten van het Zuidelijk Peelgebied is de spreiding die optreedt bij de weergave in fig. 3. Daarbij moet opgemerkt worden dat de analysedata zijn behandeld alsof er sprake zou zijn van slechts één enkele stroombaan die begint op de waterscheiding en zich in noord-westelijke richting voortzet.

In werkelijkheid zijn op het regionale stromingspatroon tal van stromingspatronen van meer locale aard gesuperponeerd. De herkomst van dergelijke locale stroombanen kan afkomstig zijn uit een gebied met een bodemkundige samenstelling die sterk afwijkend is van de samenstelling van het herkomstgebied van de regionale grondwaterstroming. Dientengevolge zal de CO_2 spanning sterk kunnen variëren.

Het is te verwachten dat het zorgvuldiger in beschouwing nemen van de hydrologische subgebieden tot een minder grote spreiding in resultaten zal leiden.

De analyse resultaten vormen aanleiding om bij de gevolgde bemonsteringstechniek van het grondwater een kanttekening te maken.

Bij het gebruiken van een grondwaterstandsbuis om grondwater te bemonsteren moet ervan worden uitgegaan dat de P_{CO_2} in de buis boven het waterniveau bij benadering gelijk is aan de atmosferische $P_{CO_2} = 10^{-3,5}$ bar. Bij een berekende P_{CO_2} in de orde van 0,1 bar is sprake van een groot drukverschil ten gevolge waarvan de CO_2 kan ontwijken. Dit kan gevolgen hebben voor de ligging van het evenwicht:



Ontwijken van CO_2 heeft een verlaging van de $[H^+]$ en $[HCO_3^-]$ tot gevolg, waardoor de analyse resultaten lager zullen uitvallen. In grondwater, gekarakteriseerd door een combinatie van zeer hoge $[SO_4^{2-}]$ en $[Cl^-]$ is in veel gevallen sprake van zeer lage waarden van de pH.

Verondersteld wordt dat in dergelijk water een sterke toevoer van H^+ ionen via oxidatie, is opgetreden. Oorspronkelijk kan in deze situatie HCO_3^- aanwezig zijn geweest dat onder invloed van de $[H^+]$ ionen is overgegaan in CO_2 . De in paragraaf 3 beschreven methode leidt in dit soort situaties eveneens tot problemen met de interpretatie van het grondwatermonster.

7. SAMENVATTING

Weergave van grondwatermonsters met behulp van de ionenratio en het elektrisch geleidingsvermogen kan in gevallen waar het grondwater verontreinigd is door menselijke beïnvloeding leiden tot moeilijkheden bij de interpretatie.

Als aanvulling hierop wordt een methode gepresenteerd welke gebaseerd is op de verzadigingstoestand van het grondwater met Ca^{2+} en HCO_3^- als gevolg van de chemische verwerking van calciet. Het stadium van de verzadigingstoestand van het grondwater wordt weergegeven met behulp van $[Ca^{2+}]$, $[H^+]$ en $[HCO_3^-]$.

Aangetoond werd, dat de snelheid van de chemische verwerking van calciet afhankelijk is zowel van de CO_2 spanning (P_{CO_2}) van het grondwater

als de rijkdom van het sediment aan calcië.

Het grondwater in het Zuidelijk Peelgebied bezit over het algemeen een zeer hoge P_{CO_2} hetgeen leidt tot een snelle chemische verwerking. Door de armöde aan calcië in het sediment van het Zuidelijk Peelgebied, bereikt het grondwater niet het stadium van volledige verzadiging, ondanks verblijftijden van het grondwater in de orde van decennia.

Het grondwater in de Gelderse Vallei bezit een lagere P_{CO_2} . De rijkdom aan calcië in het sediment heeft desondanks tot gevolg dat een stadium van volledige verzadiging van het grondwater en secundaire afzetting van calcië in kwelgebieden kan ontstaan.

8. LITERATUUR

- BOLT, G.H. and M.G.M. BRUGGENWERT, 1976. Soil chemistry A. Basic elements, Elseviers Scientific Publishing company, Amsterdam
- DUYVENBOODEN, W. VAN, 1974. De geohydrochemie van het jong pleistoceen in Salland in relatie tot topografie en geohydrografie R.I.D. mededeling 74-8
- GARRELS, R.M. and C.L. CHRIST, 1965. Solutions, minerals, and equilibria. Harper and Row, New York
- HEM, J.D., 1970. Study and Interpretation of the chemical characteristics of natural water. 2nd ed. Geol. Surv. Water supply paper 1473
- JANSEN, P.C. en R.H. KEMMERS, 1980. Relaties tussen hydrologische parameters en enkele vegetatietypen van het CRM reservaat Groot-Zandbrink. ICW nota 1180
- _____ en R.H. KEMMERS, 1982. Aanvullingen betreffende de hydrologie van het CRM reservaat Groot-Zandbrink. ICW nota 1326
- KEMMERS, R.H., 1983. De kalkpotentiaal als relevante parameter voor het natuurbeheer. ICW nota 1481
- _____ en P.C. JANSEN, 1980. De invloed van chemische factoren in grondwater en bodem op enkele vegetatietypen in het CRM reservaat Groot Zandbrink. ICW nota 1181
- _____ en P.C. JANSEN, 1982. Redoxpotentialen en calcium in relatie tot de stikstof- en fosfaathuishouding van de schraalgraslandjes in het CRM reservaat Groot-Zandbrink. ICW nota 1330
- LINDSAY, W.L., 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley and sons New York
- STUMM, W. and J.J. MORGAN, 1970. Aquatic chemistry. Wiley-interscience New York
- VASAK, L., 1979. De chemische samenstelling van het grondwater in het Barneveldse Beekgebied. Rapp. van de Comm. Bestudering Waterhuishouding Gelderland, Arnhem
- WIRDUM, G. VAN, 1980. Eenvoudige beschrijving van de waterkwaliteitsverandering gedurende de hydrologische kringloop ten behoeve van de natuurbescherming.
- in: HOOGHART, J.C., 1980, Waterkwaliteit in grondwaterstromingsstelsels. C.H.O.-TNO. Rapporten en nota's 5 p 118-143