

Bespreking van het proefschrift van Dr. W. Geirnaert

De chemische samenstelling van het grondwater in het gebied van de Grote Rivieren

Woensdag 26 januari 1972 promoveerde dr. W. Geirnaert aan de Rijks Universiteit te Leiden op een proefschrift dat uit vijf delen bestaat. Vier ervan zijn reeds eerder gepubliceerd (zie literatuur) waarvan één in dit blad. Het vijfde deel is zojuist verschenen in de Leidse Geologische Mededelingen onder de titel: „The hydrogeology and hydrochemistry of the Lower Rhine fluvial plain”. In deze publicatie wordt een algemeen overzicht gegeven van het voorkomen en de ontstaanswijze van de chemische samenstelling van het grondwater in het gebied van de grote rivieren (zie afb. 1). De publicatie geeft bovendien een samenvatting van de resultaten van de eerder gepubliceerde artikelen.

Het proefschrift is van bijzondere hydrologische betekenis omdat hier voor het eerst in Nederland voor een uitgestrekt gebied de chemische samenstelling van grondwater als onderwerp voor een studie is gebruikt. Geirnaert toont aan dat niet alleen met redelijke zekerheid de kwaliteit van het grondwater op een bepaalde plaats te voorspellen valt, maar ook dat het mogelijk is de ontstaanswijze van verschillende grondwatertypes te begrijpen. Hieruit zijn dan weer conclusies van geologische en geohydrologische aard te trekken.

De geohydrologische situatie van het gebied

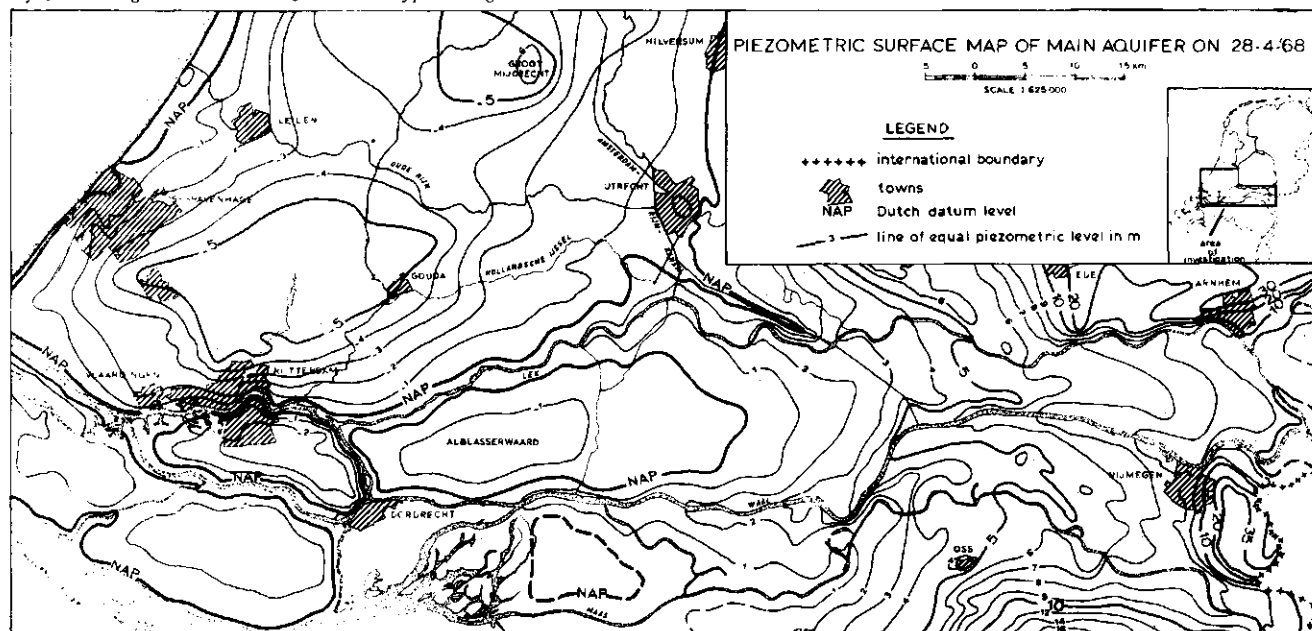
Het proefschrift vangt aan met een korte en heldere beschrijving van de opbouw van de Pleistocene lagen in de ondergrond van West-Nederland. Deze in het algemeen grofzandige lagen worden door Geirnaert opgevat als één samenhangend watervoerend pakket, dat aan de bovenzijde begrensd wordt door Holocene slecht doorlatende dek-lagen en aan de onderzijde (NAP - 100 à 200 m) door de minder goed doorlatende lagen van het mariene Plio-Pleistoceen. Deze opvatting lijkt verantwoord indien, zoals Geirnaert doet, de grondwaterbeweging in grote lijnen wordt beschouwd, hoewel nog een vraagteken gezet zou kunnen

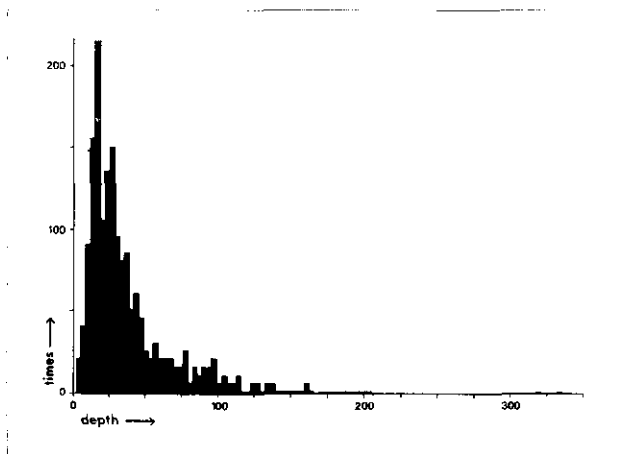
worden bij de schematisering van de ondergrens tot een ondoorlatende basislaag. Bij een grondwaterstroming over grote afstand en op lange termijn zal zeker ook door de mariene Plio-Pleistocene basislaag een niet te verwaarlozen hoeveelheid grondwater bewegen, te meer daar zich tussen het fluviatiele Pleistocene pakket en de onderliggende mariene lagen geen overal aanwezige en duidelijk aanwijsbare scheidingslaag in hydrologische zin bevindt.

In het hoofdstuk geohydrologie worden door Geirnaert vele feiten vermeld. Het is jammer dat hij deze feiten niet zodanig heeft gekombineerd, dat de lezer een indruk krijgt omtrent de grootte van de diverse grondwaterstromingen en de hoeveelheden waarmee het watervoerende pakket wordt gevoed dan wel ontlast; met name kan worden betwijfeld of de hoeveelheid van de Utrechtse Heuvelrug naar het westen stromend grondwater wel een dergelijk grote invloed heeft (gehad), als hij suggereert. Hierbij moet worden bedacht dat gedurende het gehele Holocene tijdperk tot 700 jaar geleden (het tijdstip waarop met inpolderingen werd aangevangen) het landniveau en daarmee ook de stijghoogten van het grondwater in West-Nederland, vrijwel horizontaal zal zijn geweest, terwijl de stijghoogten van het freatisch water in de duinen en de stuwheuvelds wel ongeveer met de huidige overeen gestemd zullen hebben (een top van NAP + 6 à 7 m in de Utrechtse Heuvelrug en minder in de duinen). Daarentegen zijn sinds de bedijkingen en de inpolderingen soms niveauverschillen tussen op korte afstand van elkaar gelegen polders gecreëerd van enkele meters. Waarschijnlijk zullen deze peilverschillen van veel grotere invloed zijn op het grondwaterstromingsveld dan de uit de stuwheuvelds afkomstige grondwaterstroming.

Hierdoor zal ook de chemische samenstelling van het grondwater ingrijpend zijn en worden beïnvloed.

Afb. 1 - Het gebied van onderzoek en isohypsen volgens Geirnaert.





Afb. 2 - De verdeling van de bemonsterde waarnemingsfilters naar de diepte volgens Geirnaert.

De verwerking van de beschikbare analyses

Voor de bestudering van de chemische samenstelling van het grondwater heeft Geirnaert gebruik gemaakt van de normale chemische analyses uit het geohydrologisch archief van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening. Daarnaast zijn voor hem een aantal onderzoeken uitgevoerd naar sporenelementen zoals de Br^- en I^- -ionen en de stabiele isotopen van zuurstof en koolstof. Hoewel de resultaten van deze bepalingen zeker interessant zijn, zal hier vooral aandacht worden besteed aan de verwerking van de gewone chemische analyses.

Grondwater bevat in de regel een zeer groot aantal opgeloste stoffen. Hiervan worden bij de gebruikelijke chemische analyse slechts de meest voorkomende bepaald. Dit zijn de ionen: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ (+ K^+), Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, NO_3^- (en NO_2^- en CHO_3^-). Voorts worden ook de gehalten van de stoffen bepaald welke bij de bereiding van drinkwater uit het ruwe water grotendeels moeten worden verwijderd, zoals ijzer en mangaan. Ook bevat de analyse meestal een bepaling van het geleidingsvermogen, de pH en de hardheid.

In vele gevallen wordt een minder volledige analyse uitgevoerd; hierbij worden meestal de gehalten aan Cl^- , ijzer en mangaan en de hardheid (d.i. de som van de hoeveelheden aan Ca^{++} en Mg^{++}) bepaald. Door Geirnaert zijn ongeveer 2000 analyses verwerkt. 46 % van deze analyses was volledig, d.w.z. dat tenminste de gehalten aan Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ (+ K^+), Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$ en HCO_3^- waren bepaald. Van de rest kon nog 29 % worden omgerekend tot een volledige analyse door gebruik te maken van de ionenbalans, de som van de negatieve ionen uitgedrukt in milli-equivalenten per liter = de som van de positieve ionen. In totaal zijn dus ongeveer 1200 volledige analyses beschikbaar voor een gebied dat ca. 5500 km^2 groot is. Dit is ongeveer 1 analyse per 5 km^2 , waarbij men echter moet bedenken dat vele analyses afkomstig zijn van boringen waarin meerdere filters zijn gesteld of van grondwaterwinplaatsen waar meestal de boringen op korte afstanden van elkaar gegroepeerd zijn. De hoeveelheid analyses is nog ongunstiger verdeeld als men ook de diepte van waar het monster genomen is, in de beschouwing betreft. De door Geirnaert beschouwde aardlagen liggen boven de afzettingen uit het Icenien (tussen NAP - 200 m en NAP - 100 m), terwijl uit afb. 2 blijkt dat het grootste deel van de analyses afkomstig is van een diepte van ca. 25 m - m.v. Het is dus niet verwonderlijk dat vele lijnen op de kaarten en profielen in het proefschrift, vooral voor de diepere gedeeltes, gestippeld moesten worden aangegeven.

Voor de vergelijking van de analyses is een aangepaste vorm van het diagram van Piper gekozen; hierin wordt de onderlinge verhouding van de verschillende ionen aangegeven. Met deze diagrammen kunnen op grafische wijze de ver-

schillende analyses op overzichtelijke manier met elkaar worden vergeleken.

Geirnaert heeft voor de verwerking van de analyses gebruik gemaakt van de computer en wel als volgt:

1. In het geheugen werden alle gegevens opgeslagen van de beschikbare analyses in het gebied van onderzoek.
2. In een volgend gedeelte werden de gehalten in mg/l omgerekend tot meq/l ; de onvolledige analyses werden voorzover mogelijk m.b.v. de ionenbalans omgerekend tot volledige. Bovendien werd voor de volledige analyses nagegaan in hoeverre de ionenbalans klopte.
3. In het eigenlijke programma konden daarna de volgende bewerkingen worden uitgevoerd:
 - a. het maken en tekenen van een distributie-verdeling van een willekeurig gekozen variabele (b.v. de hardheid);
 - b. het tegen elkaar uitzetten van twee willekeurig gekozen variabelen; de ruit van Piper kan b.v. worden gevormd

$$\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{\text{totaal pos. ionen}}$$
 door op de ene as uit te zetten

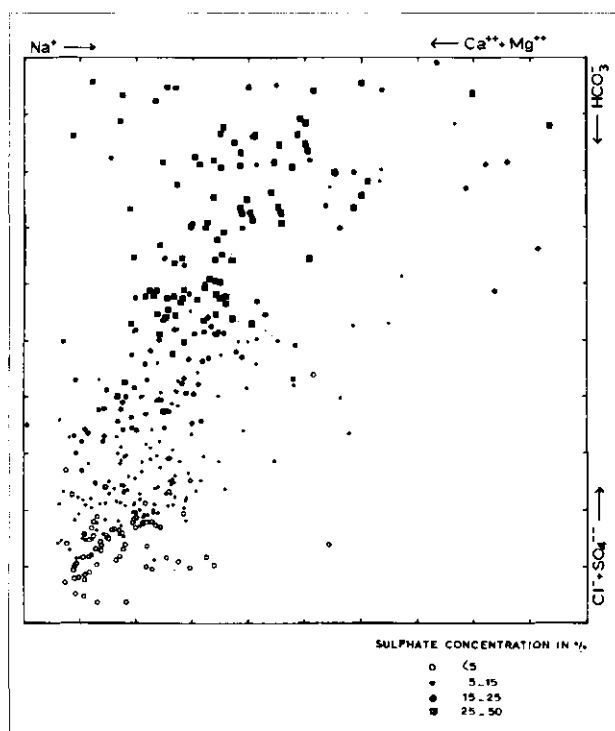
$$\frac{\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=}}{\text{totaal neg. ionen}}$$
 en op de andere (zie afb. 3);
 - c. het uitzetten van een willekeurige variabele op een kaart (bijv. variabelen die door middel van het voorgaande zijn bepaald).

Het Piperdiagram is zeer geschikt voor het vergelijken van zout en brak grondwater zoals dat in West-Nederland voorkomt, waarbij processen als kationenuitwisseling een gepro- nonceerde rol spelen.

Men kan zich echter afvragen of een benadering die uitgaat van de Piperdiagrammen, in principe wel de meest juiste is voor het oostelijk deel van het onderzoeksgebied. De toepassing van deze diagrammen levert daar namelijk de volgende moeilijkheden op.

- a. In de stuwstallen bevindt zich grondwater waarin slechts zeer weinig ionen zijn opgelost. Dit is er de oorzaak

Afb. 3 - De vorm van het door Geirnaert gebruikte Piper-diagram met analyses uit het oostelijk deel van het gebied.



van dat door kleine toevallige verschillen in de onderlinge verhouding van de ionen grote verschuivingen in het Piperdiagram optreden. De analyses uit dat gebied liggen dan ook nagenoeg over de gehele ruit van Piper verspreid, zonder dat daar steekhoudende konklusies aan kunnen worden verbonden. In dit geval is de ruit van Piper onwerkzaam indien geen rekening wordt gehouden met de absolute hoeveelheden opgeloste ionen.

- b. Buiten de stuwwallen is veelal één proces overheersend, namelijk de aantasting van calciumcarbonaat door koolzuurhoudend water. Dit maakt dat Ca^{++} - en HCO_3^- -ionen zeer veel voorkomen, waardoor de onderlinge verschillen tussen de andere ionen in de ruit van Piper worden verdoezeld.
- c. Een bezwaar dat algemeen geldt, is dat indien twee processen tegelijkertijd werkzaam zijn die in de ruit van Piper een tegengesteld effect veroorzaken, de processen in het diagram niet zichtbaar zijn.

Deze moeilijkheden blijken ook uit het proefschrift; Geirnaert is gedwongen toch een aantal absolute grootheden zoals de hardheid en het sulfaatgehalte in te voeren.

Het ontstaan van de chemische samenstelling van het grondwater

Een van de belangrijkste conclusies welke Geirnaert uit zijn studie trekt, is dat de chemische samenstelling van het grondwater in Nederland onafhankelijk is van de samenstelling van het sediment in de aquifer. De samenstelling van het grondwater wordt volgens hem bepaald door:

1. de samenstelling die het water had voordat het in de aquifer infiltreerde (het kan regenwater, rivierwater, zee-water of afvalwater zijn);
2. een aantal biologische processen;
3. de geologische geschiedenis na de sedimentatie van de aquifer (met name de vraag of de formatie in de loop der tijd onder invloed van de zee heeft gestaan).

In het algemeen is deze stelling juist. Het is inderdaad waarschijnlijk dat de chemische samenstelling van het grondwater in West-Nederland niet verandert door het in oplossing gaan van goed oplosbare zouten in het sediment van de aquifer; deze zijn nauwelijks aanwezig. Het is echter wel zo dat het voorkomen en de intensiteit van de biologische processen waarschijnlijk afhankelijk zijn van de hoeveelheid en de aard van het organisch materiaal in het sediment. Ook de kationenuitwisseling is waarschijnlijk afhankelijk van het al dan niet aanwezig zijn van stoffen die het vermogen tot uitwisseling bezitten. Geirnaert neemt aan dat deze stoffen steeds in voldoende mate aanwezig zullen zijn; zeker is dat echter niet. Een meer kwantitatieve benadering van processen zoals de kationenuitwisseling wordt dan ook niet gegeven. Zo is ook de aantasting van calciumcarbonaat door koolzuurhoudend water alleen mogelijk indien in de aquifer calciumcarbonaat aanwezig is. In sommige sedimenten is waarschijnlijk reeds vanaf de sedimentatie het carbonaatgehalte laag geweest (met name in de afzettingen van de oostelijke rivieren, de formaties van Enschede en Harderwijk). Het grondwater in dergelijke formaties is vaak agressief t.o.v. kalk. Een aantal verschijnselen die m.i. door Geirnaert onvoldoende in rekening zijn gebracht, zijn de anaerobe biologische processen. De meest bekende daarvan is wel de sulfaatreductie, maar ook de anaerobe afbraak i.h.a. van organisch materiaal in het sediment is van belang.

Dat sulfaatreductie optreedt, mag blijken uit de bijzonder lage SO_4^- -gehalten (< 5 mg/l) die in het westen van Nederland vaak worden aangetroffen. Door de anaerobe afbraak van organisch materiaal ontstaat in de aquifer CO_2 , waardoor de hardheid toe kan nemen. Het is namelijk niet mogelijk om de hoge hardheden die in de laaggelegen gebieden

in het grondwater worden aangetroffen, te verklaren uit de agressiviteit t.o.v. kalk die het water nog zou bezitten nadat het de stuwwallen heeft verlaten. Deze agressiviteit, die bepaald wordt door de verhouding tussen de HCO_3^- -ionen en het opgeloste CO_2 , is namelijk onderin de stuwwallen of afwezig of zwak. Hoogstens zou een verhoging van de hardheid met 1 à 2 °D hiervan het gevolg kunnen zijn.

De hardheid die het grondwater in de stuwwallen potentieel bezit, kan aldus geschat worden op ten hoogste 7 à 8 °D. Indien buiten de stuwwallen hardheden worden gevonden van 12 °D of meer, dan is dat ofwel een gevolg van de vorming van CO_2 door anaerobe afbraak, ofwel kan hieruit worden afgeleid dat dit water in het geheel niet van de stuwwallen afkomstig is. Het zou bijvoorbeeld geïnfiltreerd rivierwater kunnen zijn (oorspronkelijke hardheid in 1875 ca. 10 °D en daarna hoger geworden) of water dat afkomstig is uit een infiltratiepolder (met dicht begroeid maaiveld, dus veel organisch leven, waardoor veel CO_2 wordt gevormd).

De verklaring van de waargenomen verschijnselen

Het is jammer dat Geirnaert behalve aan de chemische samenstelling van het geïnfiltreerde verontreinigde rivierwater niet ook aandacht heeft geschonken aan het (voor 1875) geïnfiltreerde, niet verontreinigde rivierwater. De samenstelling hiervan is (indien het van de Rijn afkomstig is) redelijk bekend en in vele gevallen is duidelijk aan de chemische samenstelling van het grondwater te zien dat het hier geïnfiltreerd niet verontreinigd rivierwater betreft.

Door Geirnaert wordt een dergelijk type water calciumcarbonaatwater genoemd omdat deze ionen overheersen; het wordt daarmee onder dezelfde noemer gebracht als het in de stuwwallen (de Utrechtse Heuvelrug, het Gooi en de Veluwe) geïnfiltreerde regenwater dat als grondwater naar de lager gelegen gebieden stroomt. Dat geen onderscheid gemaakt kan worden, komt door de indeling volgens de ruit van Piper waarin beide soorten water in dezelfde omgeving liggen; waren behalve de ruit van Piper ook de absolute hoeveelheden van de diverse ionen in de beschouwing betrokken, dan was een onderscheid wel degelijk mogelijk geweest. Dit zou van belang zijn geweest voor de interpretatie van de herkomst en de geschiedenis van het grondwater.

De eerdergenoemde bezwaren hebben uiteraard hun invloed op de verklaring die Geirnaert geeft inzake de wijze waarop de chemische samenstelling van het grondwater in het gebied van zijn onderzoek is ontstaan. Het is bijvoorbeeld de vraag of de opvatting van Geirnaert dat het zoete grondwater in West-Nederland voornamelijk afkomstig is van oorspronkelijk in de stuwwallen of in het hooggelegen gebied van Brabant geïnfiltreerd regenwater helemaal juist is. De hogere hardheden en de lagere sulfaatgehalten die in het westen worden aangetroffen in vergelijking met het oostelijk gebied, zouden m.i. eerder op plaatselijk door Holocene klei- en veenlagen geïnfiltreerd water duiden. Voorzover in de Alblasserwaard chemische analyses voorhanden zijn, is hieruit vooral een infiltratie van rivierwater (dat een $\text{Ca} \rightarrow \text{Na}$ -omwisseling heeft ondergaan), af te lezen.

Er kan bovendien nog opgemerkt worden dat in een strook in de Betuwe tegenover Arnhem wel degelijk invloed van de Rijn op de chemische samenstelling van het grondwater (gekenmerkt door hoge Cl^- - en SO_4^- -gehalten en een hoge hardheid) valt op te merken. Deze invloed reikt tot ca. NAP-15 m. Daaronder bevindt zich pas het op de Veluwe geïnfiltreerde water met een laag gehalte aan opgeloste stof, waarvan Geirnaert aanneemt dat het de gehele aquifer vult. Het zou de waarde ervan zeker ten goede zijn gekomen als Geirnaert in zijn proefschrift een bespreking (of eventueel een weerlegging) van de diffusietheorie ter verklaring van het zoutgehalte van het grondwater in de ondergrond van de lage gedeelten van Nederland had opgenomen. Deze theorie (zie lit.) vormt één van de weinige Nederlandse bijdragen tot de studie van de hydrochemie van grondwater. Zij is gebaseerd op een uitvoerig onderzoek dat door de

Dienst der Zuiderzeewerken (en met name door dr. ir. J. Mazure en prof. ir. A. Volker) is verricht ten aanzien van het zoutgehalte in de ondergrond van de voormalige Zuiderzee. De resultaten van dit onderzoek zijn echter nooit gepubliceerd in een Nederlands vaktijdschrift, waardoor zij geen algemene bekendheid hebben verkregen.

Aan het voorkomen van zout grondwater in de ondergrond van West-Nederland is, vanwege het grote belang ervan voor de drinkwatervoorziening, in *H₂O* (6) 1973, nr. 18, p. 454-460 een aparte beschouwing gewijd.

Konklusie

Het grote belang van het werk van Geirnaert ligt in de methode die hij heeft ontwikkeld om grote aantallen chemische analyses op snelle en doeltreffende wijze met elkaar te vergelijken.

Daarnaast geeft hij een mogelijke en waarschijnlijke verklaring voor de processen die het grondwater op een bepaalde plaats in de loop der tijd zodanig hebben beïnvloed dat de uiteindelijke chemische samenstelling is ontstaan. Met name kan het optreden van de kationenwisseling worden genoemd. Bij de interpretatie van de door hem waargenomen verschijnselen wordt Geirnaert gehandicapt door een gebrek aan gegevens en daarnaast door het feit dat een benadering volgens de Piperdiagrammen in een aantal gevallen moeilijkheden oplevert. Hierin is door hem gedeeltelijk voorzien door een aanpassing van de methode; deze moet wellicht nog verder worden doorgevoerd.

De verklaring die Geirnaert geeft voor het zoutwatervoorkomen in de ondergrond van West-Nederland is m.i. aanvechtbaar.

Literatuur

Wat betreft de door Geirnaert gebruikte literatuur kan nog vermeld worden dat sinds kort (1970) een tweede druk van het bekende werk van J. D. Hem bestaat, die ingrijpend is gewijzigd en aangevuld.

Niet vermeld is het boek van H. Schoeller waarin inzake de chemische samenstelling van grondwater interessante gegevens worden gepubliceerd.

Geirnaert, W. *The hydrology and hydrochemistry of the Lower Rhine fluvial plain*. Leidse Geologische Mededelingen, 1973.

Geirnaert, W. *Het optreden van kationenuitwisseling in grondwater*. *H₂O*, 4 p. 118-127.

Creusot, M. R. en Geirnaert, W. 1971. *Processing of water-quality data by digital computer*. *Geol. en Mijnbouw*, 50, p. 35-40.

Geirnaert, W., 1970. Hoofdstuk hydrologie bij de toelichting bij de geologische kaart van Nederland 1 : 50.000 Blad Gorinchem Oost (380). Rijks Geologische Dienst, Haarlem, p. 91-101.

Geirnaert, W., 1969. *Preliminary report on hydrochemical investigations in the Western Netherlands*, *Geol. en Mijnbouw*, 48, p. 249-254.

Schoeller, H. *Les eaux souterraines*, Masson et Cie, Parijs 1962.

Hem, J. D. *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*, second edition, US. Geological Survey, Water Supply Paper 1473, 1970.

Volker, A. *Source of brackish ground water in the pleisocene formations beneath the Dutch polderland*, *Economic Geology*, Vol. 56, 1961.