

Hydrochemie en herkomst van zout kwelwater in de Horstermeerpolder

Inleiding

In april 1986 stond de Horstermeerpolder in de belangstelling vanwege het openen van de nieuwe rwzi. Ook werd er in die periode een onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om zoet water uit de Horstermeerpolder te gebruiken voor suppletie van de omliggende plassen, om zodoende eutrofiëring van deze plassen zoveel mogelijk te voorkomen. In beide gevallen is ruim aandacht besteed aan zowel de technische aspecten van de rioolzuivering als aan de hydrologie van het plasseengebied [H₂O (19) 10, 1986].



F. J. VAN DER LINDEN
Instituut voor
Aardwetenschappen
Vrije Universiteit
Amsterdam



C. A. J. APPELLO
Instituut voor
Aardwetenschappen
Vrije Universiteit
Amsterdam

De geologische situatie van de polder zelf, vooral het voorkomen van brak tot zout kwelwater, is in deze artikelen nauwelijks belicht. Vandaar dat in dit artikel hieraan aandacht wordt besteed.

Bij de vakgroep Hydrologie aan de Vrije Universiteit te Amsterdam wordt sinds enige jaren onderzoek gedaan naar het voorkomen van zout water en de interactie tussen zoet en zout water en de bodem. Dit onderzoek bestaat deels uit modelleer- en laboratorium-experimenten (onder andere kolomproeven) en deels uit veldwaarnemingen [onder andere Appello & Willemsen, 1987; De Groot & Van der Linden, 1987]. In dit artikel wordt verslag gedaan van veldwaarnemingen in de Horstermeerpolder, waarbij vooral is gekeken naar de chemische reacties die optreden (kationuitwisseling), de verspreiding en de herkomst van het zoute water. Bij dit laatste onderdeel is, behalve van geologische en hydrochemische informatie, ook gebruik gemaakt van isotoop-hydrologische informatie.

Beschrijving van het gebied

De Horstermeerpolder, drooggelegd in 1882, is een vrijwel cirkelvormige polder met een oppervlakte van 616 hectare, gelegen nabij Nederhorst den Berg (zie afb. 1). De polder ligt gemiddeld 2 meter lager dan het omliggende plasseengebied. Hierdoor, en door het ontbreken van een slecht doorlatende laag, treedt er een sterke kwel op in de polder van 14 mm/dag (gemiddelde over periode 1976 tot en met 1978). Vanwege de ligging op de grens van de

Samenvatting

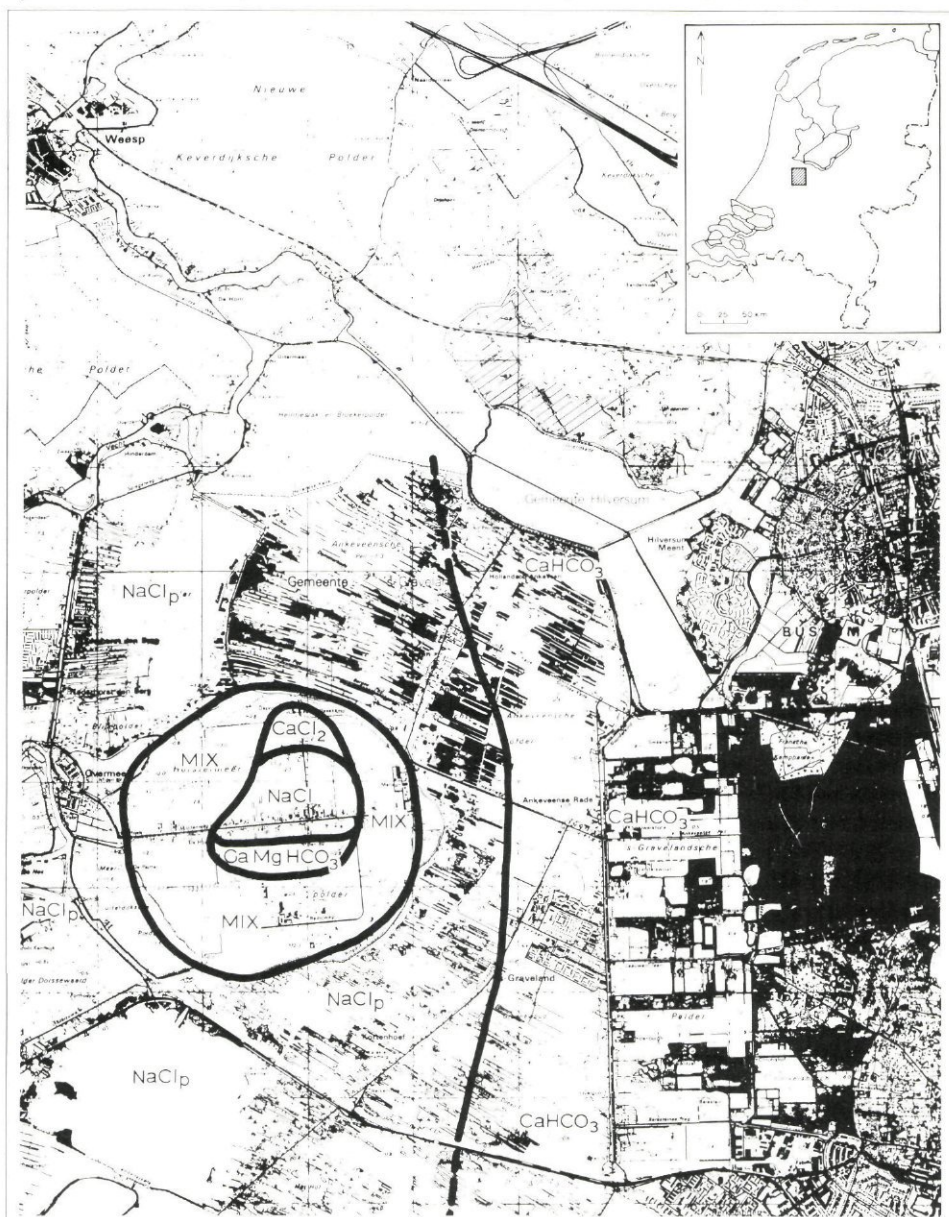
In de Horstermeerpolder (N-H) is een onderzoek gedaan naar het zoute kwelwater in het centrum van de polder. In dit onderzoek is vooral gekeken naar tekenen van kationuitwisseling, die wijzen op recente verzilting of verzoeting, en naar de herkomst van het zoute water.

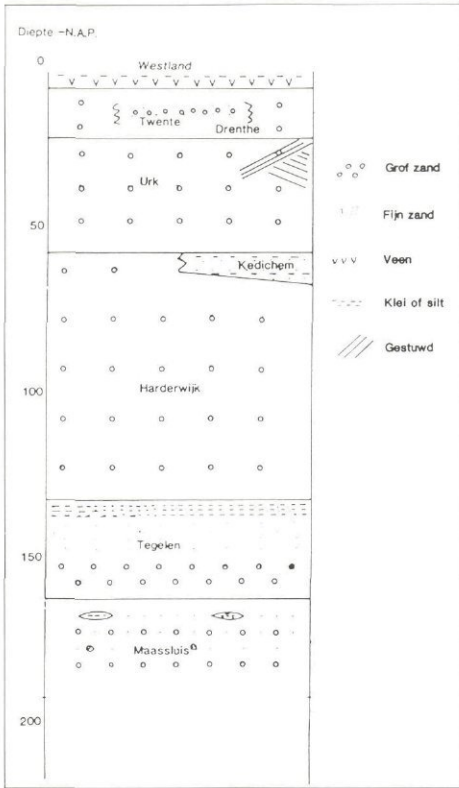
In de polder treedt sterke kwel op met een gemiddelde van 14 mm/dag. Aan de rand van de polder is de kwel zoet, in het centrum brak tot zout. Uit het onderzoek blijkt dat in het noorden van de polder verzilting optreedt en in het zuiden verzoeting.

Waarschijnlijk is in het noorden sprake van een lokale oorzaak. In het zuiden is de verzoeting het gevolg van een verschuiving van het zoet/zout grensvlak naar het noorden. In de toekomst zal het grensvlak waarschijnlijk verder naar het noorden verschuiven, zodat uiteindelijk de kwel van zout water zal stoppen.

Op grond van ¹⁴C-dateringen is de ouderdom bepaald op 3000-500 jaar. Dit betekent dat het zoute water afkomstig is van Holocene transgressies, die het gebied via het IJ en de Vechtmonding binnendrongen. Waarschijnlijk worden er toch aanzienlijke afstanden afgelegd door het zoute water, die wel tien maal groter zijn dan voor een homogeen Pleistoceen aquifer berekend worden.

Afb. 1 - Locatie Horstermeerpolder en waterkwaliteit van het bovenste grondwater (NaClp is plassentype).





Afb. 2 - Schematisch profiel van de ondergrond onder de Horstermeerpolder.

Utrechtse Heuvelrug en het Utrechts-Hollands veenlandschap is de opbouw van het bodemprofiel van plaats tot plaats verschillend. De ondergrond onder de Horstermeerpolder (zie afb. 2) bestaat voornamelijk uit (grof)zandige fluviatiele afzettingen uit het Pleistocene. De enige matig tot slecht doorlatende laag in deze afzettingen wordt gevormd door de formatie van Kedichem die onder de polder uitwigt. De Pleistocene formaties worden aan de onderzijde begrensd door de mariene formatie van Maassluis. Een slecht doorlatende deklaag is alleen in het zuiden en het westen van de polder aanwezig. In het noord-oosten van de polder treedt sterke kwel (tot 30 mm per dag) op vanuit de omliggende plassen. Ook het feit dat dat gedeelte van de polder lager ligt dan het overige deel speelt hierbij een rol.

De kwel in de polder bestaat deels uit zout (tot brak) water (zie afb. 3). De zoete kwel is voornamelijk te vinden langs de randen van de polder en behoort tot een ondiep kwelstelsel dat afkomstig is van het omliggende plassegebied. De zoute kwel is voornamelijk in het midden van de polder te vinden (binnen de tochtsloot, zie afb. 3) en behoort tot een diep kegelvormig systeem. Voor de percentuele bijdrage van het zoute en zoete water, is er een chloridebalans opgesteld. Hiervoor zijn gegevens gebruikt over de hoeveelheid en het chloridegehalte

van het uitgeslagen water respectievelijk $32.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$ en 720 mg/l , [Witteveen & Bos, 1987]. Uitgaande van een Cl-gehalte van het zoete water van 100 mg/l en van het zoute water van 4.000 mg/l kan worden berekend dat de verhouding van zoet en zout kwelwater 84/16 bedraagt.

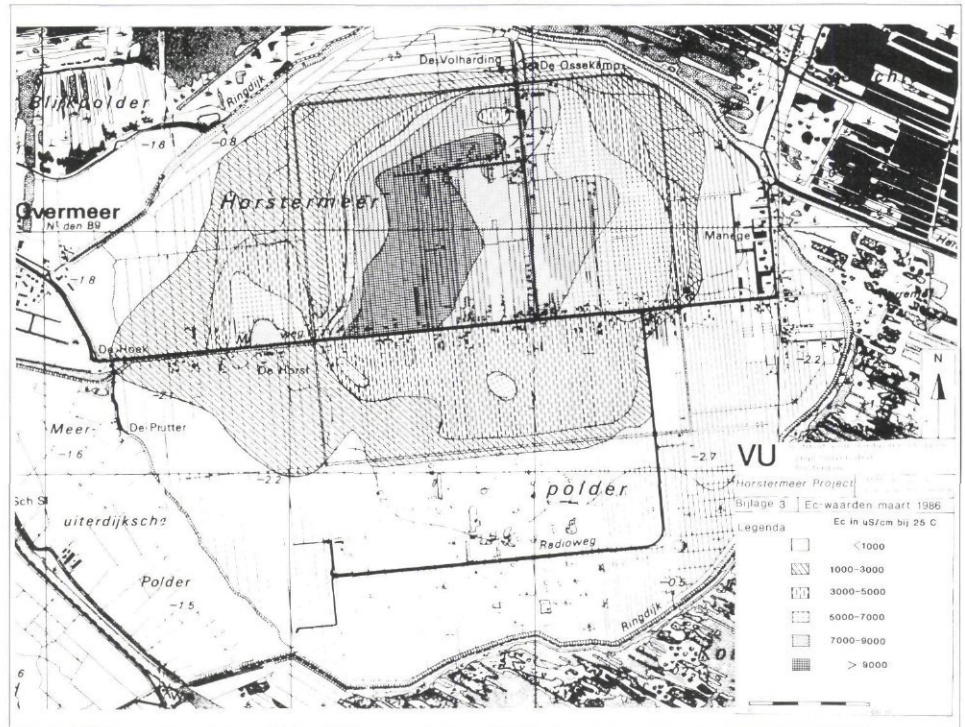
Hydrochemie

In de Horstermeerpolder zijn in totaal 44 grondwater- en 4 oppervlaktewater-monsters genomen. In de polder zelf is het meetpuntennet niet erg dicht; daarom is er een tiental peilbuizen gezet. Deze peilbuizen staan tot een maximale diepte van 5 meter. Aan deze peilbuizen zijn meerdere minifilters bevestigd, om zodoende gedetailleerde puntbemonstering van het grondwater te verkrijgen. De overige monsters zijn genomen uit bestaande putten in de polder en omgeving. Deze monsters zijn geanalyseerd in het waterlab van de VU. Verder is, voor zover mogelijk, gebruik gemaakt van bestaande chemische analyses. Uit de analyses blijkt dat vier belangrijke hydrochemische processen de grondwatersamenstelling voornamelijk bepalen.

Deze vier processen zijn:

1. Het oplossen van kalk;
 2. sulfaatreductie;
 3. zoutwaterintrusie en
 4. kationuitwisseling.
- In afb. 4 zijn de verschillende processen aangegeven in een Piperdiagram. Als gevolg van deze processen kunnen in de regio zes verschillende watertypen worden onderscheiden (zie afb. 1 en tabel I). Het onderscheiden van deze watertypen is

Afb. 3 - Ec-kaart oppervlaktewater in de Horstermeerpolder (maart 1986). De verdeling zal beïnvloed zijn door de wind en stromingsrichting en zal dus niet exact met zoet/zout grensvlak van het grondwater weergeven.



van belang, aangezien dit informatie oplevert over het regionale stromingssysteem en de herkomst van het zoute water [zie Stuyfzand, 1986]. Hieronder zal het ontstaan van deze watertypen kort worden beschreven.

I. Ca-HCO₃-type

Het Ca-HCO₃-type komt vooral voor langs de rand van en op de Utrechtse Heuvelrug. Dit watertype is voornamelijk het gevolg van oplossen van kalk door infiltrerend water. Kenmerkend voor dit watertype is de relatief hoge pH (gemiddeld 7.35), het lage EG (473) en lage gehalten van NO₃, Mg en K. Op enkele locaties bevat het water relatief veel Fe en NH₄⁺. Dit is het geval ten westen van de polder waar het water sterk is gereduceerd door reacties met het daar aanwezige veen.

II. Na-Cl-type

Het Na-Cl-type komt alleen voor in het centrum van de Horstermeerpolder. Dit type ontstaat als gevolg van menging van zeewater met zoetwater. De mengverhouding is uit te rekenen aan de hand van het chloridegehalte, aangezien dit element zich nagenoeg conservatief gedraagt. In de Horstermeerpolder bedraagt de mengverhouding tussen zee- en zoetwater ongeveer 1:4. In tabel II staan de verschillen tussen gemeten en berekende concentraties, waarbij de berekende concentratie is afgeleid op grond van conservatieve menging. Dit is gedaan voor de monsters met het hoogse chloridegehalte (Cl > 80 meq/l). Uit deze tabel blijkt dat er nog twee belangrijke processen een rol spelen, namelijk sulfaatreductie en kation-

uitwisseling. De sulfaatreductie blijkt uit de afname van SO₄²⁻ en de evenredige toename van HCO₃⁻. De kationuitwisseling uit zich in een toename van Ca en een afname van Na, Mg en K. Dit is het normale proces dat optreedt bij verzilting. Er is dus in het centrum van de polder nog steeds sprake van actieve verzilting.

III. Ca-Cl₂-type

Het Ca-Cl₂-type wordt alleen in het noorden van de polder aangetroffen en is kenmerkend voor verzilting. De Cl-concentratie is lager dan 50 meq/l. Kenmerkend voor dit water is de hoge Ca-concentratie die het gevolg is van kationuitwisseling, waarbij Na uit het opkwellende zoute water aan het complex wordt gebonden en wordt uitgewisseld tegen Ca. Een mogelijke oorzaak van deze verzilting is de retouremaling die is toegepast voor de aanleg van de rzwi in de Horstermeerpolder. Hierdoor kan de stroombaan van het zoute kwelwater zich naar het noordoosten hebben verlegd (richting retouremaling) met als gevolg verzilting van het daar aanwezige zoete pakket. Als dit inderdaad de oorzaak van de verzilting is, dan zal de oude situatie zich op den duur herstellen, aangezien de retourbemaling is gestopt. De verzilting in dit gebied is dan van tijdelijke aard. Het is ook mogelijk dat het jaarlijks uitdiepen van de tochtsloot de stroombaan van het zoute water richting tocht trekt. Ook hierdoor kan verzilting van het zoete pakket optreden. Welke oorzaak hier van toepassing is, is nog niet duidelijk.

TABEL I – Representatieve monsters van de verschillende watertypen (in mmol/l).
Naard.m. is een diepe boring nabij het Naardermeer.

Type monster	Ca-HCO ₃ 140	Na-Cl B1	Ca-Cl ₂ B4	Ca-Mg-HCO ₃ B9	Mix 96	Plassen OW2	Naard.m. 197
diepte	20	3,9	4,5	4,5	10	–	50,5
pH	7,16	7,28	7,24	7,27	6,38	8,67	7,2
Eg	167	9,700	2,090	638	988	918	10,560
Na	0,618	90,5	8,83	2,56	4,87	4,65	92,2
K	0,041	0,719	0,136	0,090	0,065	0,164	0,281
Mg	0,069	8,56	0,362	1,09	0,325	0,457	10,3
Ca	0,349	9,63	6,69	1,70	2,22	1,46	6,49
NH ₄	0,064	0,171	0,285	0,028	0,028	0,018	–
Cl	0,533	126	18,4	2,85	4,85	5,33	113
HCO ₃	1,02	7,48	4,68	5,12	6,16	2,00	5,31
SO ₄	0,096	3,08	0,354	0,135	0,114	0,592	5,15
NO ₃	0,008	< 0,002	< 0,002	< 2,85	< 4,85	< 0,0008	< 0,002
PO ₄	0,0002	0,002	< 0,0001	0,0009	0,001	0,0004	–
Fe T	0,049	0,312	0,283	0,083	0,272	< 0,0001	0,304
Mn	0,002	0,008	0,008	0,002	0,013	< 0,0001	–
Sr	0,0007	0,020	0,012	0,003	0,004	< 0,003	–
B	–	0,014	< 0,0009	< 0,0009	0,009	0	–

TABEL II – Afname of toename ten opzichte van conservatieve menging in meq/l in Na-Cl type water met Cl > 80 meq/l.

No.	Na	K	Ca	Mg	Fe	SO ₄	HCO ₃	Ec
B1	– 17,5	– 1,6	14,5	– 7,4	0,6	– 6,9	6,2	9.700
B2	– 16,8	– 1,7	15,0	– 6,3	0,6	– 5,9	5,0	8.600
B5	– 12,7	– 1,6	17,8	– 7,2	0,8	– 4,8	3,3	7.700
B6	– 16,1	– 1,3	19,5	– 8,9	0,6	– 3,4	3,9	6.400
B10	– 10,7	– 1,6	16,4	– 6,6	0,5	– 6,7	6,9	9.000
2	– 13,5	– 1,8	16,2	– 7,1	0,6	– 7,2	5,8	9.900
L49	– 12,0	– 1,6	15,3	– 8,1	0,5	– 4,4	3,6	8.400
L55	– 12,5	– 1,6	17,9	– 10,6	0,7	– 4,8	3,3	8.200

IV. Ca-Mg-HCO₃-type

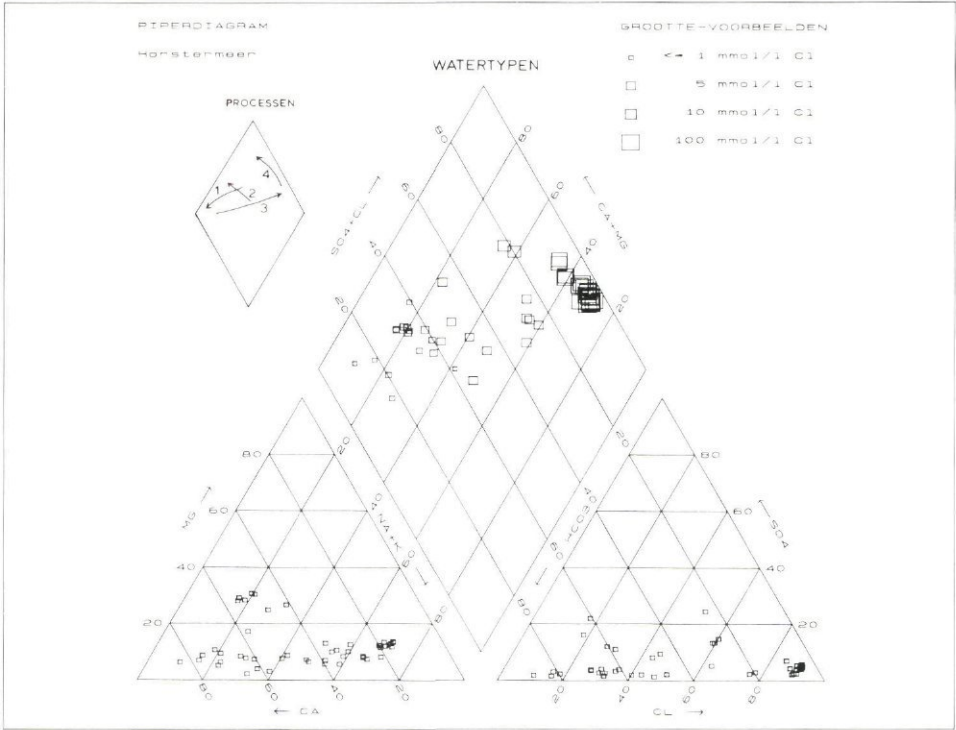
Het Ca-Mg-HCO₃-type wordt alleen aangetroffen ten zuiden van de Middenweg (de centrale weg door de polder). Het water bevat relatief veel Mg (Ca/Mg ratio 1 tot 2) ten opzichte van 'normaal' grondwater (Ca/

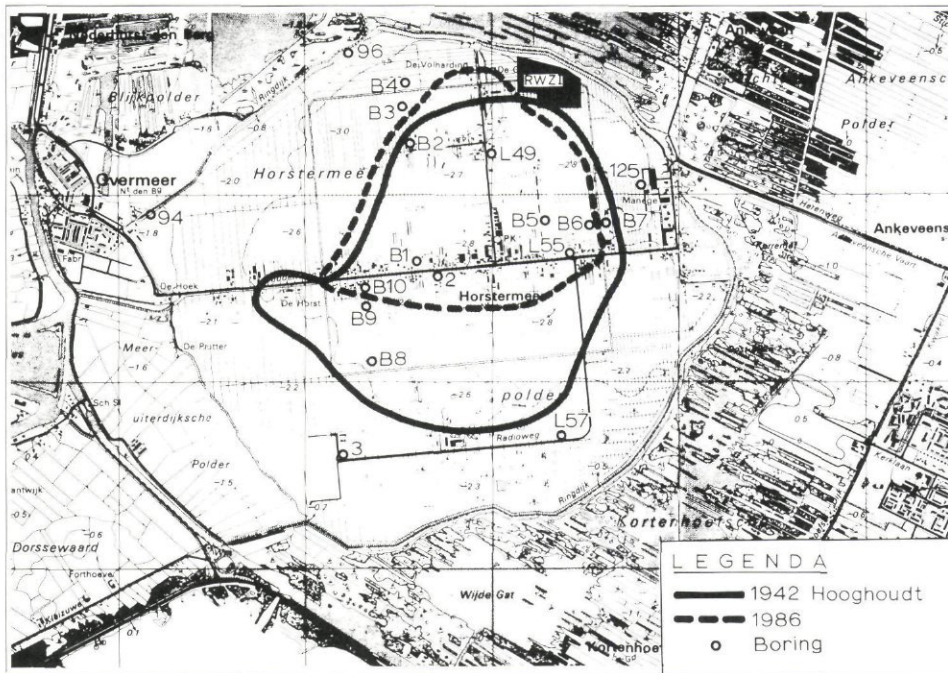
Mg ratio 5 tot 10). Ook in dit geval is kationuitwisseling het dominante proces, maar nu gaat het om verzoeting van een verzilt pakket. Hierbij wordt aan het complex gebonden Ca uitgewisseld tegen in eerste instantie Na en in een later stadium Mg [Appelo & Willemsen, 1987]. Er is dus sprake van verzoeting in het laatste stadium, welke al geruime tijd gaande is (enkele tientallen jaren). In afb. 5 staat de verspreiding van zout water in 1942 [Hooghoudt, 1947]. Hierin valt op dat het zoute water verder naar het zuiden voorkwam dan heden het geval is. Mogelijke oorzaak van deze verzoeting is een polderpeilverlaging in 1945, waardoor de stroombaan van zoet plassenwater het zoute water meer naar het centrum van de polder terugdrong. In dat geval zal de situatie stationair zijn voor wat betreft de Cl-concentratie en zal er geen verdere verzoeting optreden. Een andere mogelijkheid zou kunnen zijn dat het zoute water aan de zuidkant is 'opgebloed' [Van Dam 1987]. In dat geval zou er een verdere verzoeting vanuit het zuiden kunnen treden. Gezien de grote verschuiving van het zoet/zout grensvlak naar het noorden sinds 1942, is het waarschijnlijk dat de situatie instationair is en het grensvlak in de toekomst verder naar het noorden zal opschuiven.

V. Plassentype

Water van het plassentype wordt aangetroffen in het om de Horstermeerpolder

Afb. 4 - Verschillende processen zoals ze in een piperdiagram kunnen worden weergegeven (zie ook tekst).





Afb. 5 - Verschil in ligging van het zoet/zout grensvlak in het ondiepe grondwater in 1942 (naar Hooghoudt, 1947) en in 1986 (De Groot & Van der Linden, 1987). De grens is getrokken bij een Cl-gehalte van 1000 mg/l. B1 tot en met B10 zijn VU-boringen.

liggende plassegebied. Het is het bekende Rijnwater dat enige verdamping heeft ondergaan, en nog verder vervuild is in Nederland. De belangrijkste ionen zijn Na en Cl. Het water komt in de ondergrond door de sterke wegzijging van plassenwater naar de Horstermeerpolder, waardoor de plassen moeten worden aangevuld vanuit de vervuilde Vecht.

VI. Mix-type

Het Mix-type wordt aangetroffen aan de rand van de polder waar water afkomstig van de plassen zich mengt met water afkomstig van de Utrechtse Heuvelrug. Het geeft een watertype waarin Na, Ca, Cl en HCO_3^- in even grote concentraties aanwezig zijn. De nutriëntenbelasting is vrij laag (P-tot 0.13 mg/l, $\text{NO}_3^- < 0.1$ mg/l, NH_4^+ 0.66 mg/l), waardoor dit water eventueel te gebruiken is voor suppletie van de omliggende plassen.

Concluderend kan worden gesteld dat er duidelijk kationuitwisseling optreedt in het water, en zowel verzilting als verzoeting wordt gevonden, en dat de Cl-concentratie verdeling vermoedelijk instationair is. De verzilting in het noorden van de polder (watertype Ca-Cl_2) wijst op een kleine verschuiving van de zoutwaterkegel in dit gedeelte van de polder. Deze verschuiving heeft waarschijnlijk een lokale oorzaak (retourbemaling). In het zuiden van de polder treedt al geruime tijd verzoeting op. Daar verandert de situatie waarschijnlijk nog steeds. In de toekomst zal het zoet/zout grensvlak verder naar het noorden op-

schuiven, waardoor op den duur het opkwellen van zout water zal stoppen.

Herkomst van het zoute kwelwater

Uit het voorgaande is nog geen duidelijkheid ontstaan over de herkomst van het zoute kwelwater. Om hierover toch een uitspraak te kunnen doen is meer informatie nodig, zoals geologische en isotoop-hydrologische informatie. Ook is gekeken naar de mechanismen die verantwoordelijk kunnen zijn voor de verspreiding van zout water in pleistocene aquifers. Tot slot is er gebruik gemaakt van een grondwatermodel om het stromingsbeeld in het gebied te verifiëren.

Mechanismen

Er zijn drie mechanismen aangevoerd om de herkomst van het zoute kwelwater in de Nederlandse ondergrond te verklaren:

- Diffusie van bovenaf voor gebieden die langdurig door zeewater bedekt zijn geweest, of van onderaf uit mariene formaties [Volker, 1961].
 - Dispersie, waarbij zout water vanuit de mariene formatie van Maassluis diffundeert en door regionale stroombanen wordt opgenomen [Meinardi, 1974].
 - Intrusie van zout water in grofzandige getijdegeulen tijdens Holocene transgressies, waarna het zoute water in het aquifer uitzakt door dichtheidstroming [Van der Molen, 1958; Engelen, 1981; De Vries, 1981].
- Tussen dispersie/diffusie en dichtheidstroming kan een uitspraak worden gedaan als de ouderdom van het zoute water bekend is.

Geologische informatie

Geologische informatie is van belang, aangezien daaruit kan worden afgeleid in welke periodes er transgressies zijn geweest in de buurt van de Horstermeerpolder. Uit informatie van de RGD [De Gans, mond. med.] blijkt dat er drie transgressieperiodes kunnen worden onderscheiden:

- Tertiair, waarin de formatie van Maassluis wordt afgezet. Na deze periode wordt het gebied voornamelijk opgebouwd uit fluviatiele sedimenten. Pas in het Holoceen is er weer sprake van zeewaterinvloed.
- Tijdens de Duinkerken-O-transgressie, 3500 jaar B.P., krijgt de zee via het Oer-IJ contact met de Vecht. In deze periode is licht brak riet- en rietzeggeveen afgezet, vooral ten noorden van het onderzoeksgebied.
- Tijdens de Zuiderzeetransgressies, tussen 1100 en 1250 na Chr., is er ten noorden van de polder zeeklei afgezet tussen Muiden en Weesp. Het veengebied langs de Vecht is in deze periode overspoeld met brak water [Stiboka, 1974]. Waarschijnlijk is het zoute grondwater, dat nabij het Naardermeer wordt gevonden, uit deze periode.

Globaal kan dus worden gesteld dat het zoute water dat in de Horstermeerpolder opkwelt hetzij van tertiaire hetzij van holocene ouderdom is (of misschien een mengsel vormt). Met behulp van de radioactieve ^{14}C -isotoop kan hierover duidelijkheid worden verkregen.

Datering van het zoute water

Voor de datering van het zoute kwelwater is gebruik gemaakt van de radioactieve isotopen ^3H (tritium) en ^{14}C . De watermonsters zijn geanalyseerd op het Laboratorium voor Isotopenfysica van de RU-Groningen (met dank aan Prof. dr. W. G. Mook). Tritium is vooral gebruikt om onderscheid te maken tussen recent en niet-recent water (ouder dan 50 jaar). Uit de analyses blijkt dat, zoals verwacht, alle zoute monsters niet-recent zijn.

Met de ^{14}C -analyses kan een hogere leeftijd worden bepaald. Hierbij is het echter wel van belang om de ouderdom te corrigeren voor de verschillende reacties, die het C-gehalte in het water (als HCO_3^-) kunnen beïnvloeden. door deze reacties verandert niet alleen het HCO_3^- -gehalte, maar ook de A_0 -waarde waaruit de uiteindelijke ouderdom wordt berekend. Uit de analyseresultaten kan dus niet direct de exacte leeftijd van het water worden berekend, wel de maximale leeftijd indien er van uit wordt gegaan dat er geen reacties zijn opgetreden. De gemiddelde ^{14}C -waarde van het zoute water was 43% met een standaard afwijking van 5% (12 monsters). Hieruit kan de

maximale ouderdom worden berekend volgens de vergelijking [Mook, 1980]:

$$T = -8270 \cdot \ln (A_m/A_0)$$

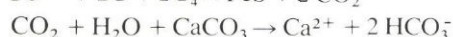
waarbij:

T = leeftijd in jaren

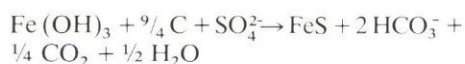
A_m = gemeten ¹⁴C-waarde

A₀ = berekende uitgangswaarde ¹⁴C

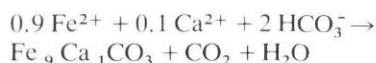
Uitgaande van een A₀-waarde van 100% wordt de leeftijd van het zoute water maximaal 7000 jaar. De conclusie dat het zoute water dus niet van tertiaire ouderdom is, is echter niet gerechtvaardigd, zolang er niet is gecorrigeerd voor de verschillende reacties. Uit tabel I blijkt dat een groot gedeelte van de HCO₃⁻-concentratie verklaard kan worden door sulfaatreductie met organisch materiaal volgens de vergelijkingen:



Wanneer er geen Fe²⁺ in het grondwater aanwezig is, maar Fe(OH)₃ wordt omgezet in FeS, is de reactie:



Het water wordt dan basisch, en er kan Ca-sideriet neerslaan [Leuchs, 1987]:



Een gedeelte van de gemeten ¹⁴C (tussen 2 en 5 meq/l) is dus afkomstig van organisch materiaal en heeft een A₀-waarde, die overeenkomt met de ouderdom van het organisch materiaal ten tijde van de sulfaatreductie. Aangezien het organisch materiaal (veen) altijd enige ouderdom heeft zal de A₀-waarde kleiner zijn dan 100%, waardoor de leeftijd van het water kleiner is dan 7000 jaar. Indien er ook een carbonaat neerslaat, zal ¹⁴C daar verrijkt in opgenomen worden [Deines e.a., 1974; Plummer e.a., 1978]. Dit betekent dat de berekende leeftijd nog geringer zal worden. Hierdoor kan worden uitgesloten dat het zoute water afkomstig is uit de formatie van Maassluis.

De exacte leeftijd van het water is niet te berekenen, aangezien de ouderdom van het organisch materiaal ten tijde van de sulfaatreductie niet bekend is. Wel kunnen er grenzen worden berekend. De maximale ouderdom, dus indien sulfaatreductie is opgetreden met recent organisch materiaal, is ongeveer 3000 jaar. Is het organisch materiaal oud, dan bedraagt de leeftijd slechts enkele honderden jaren. Het is dus zeker dat het zoute water hetzij van Duinkerken-O-transgressie hetzij van de Zuiderzeetransgressie afkomstig is. Een keuze tussen de twee is moeilijk te

maken. Wel kan worden gesteld dat het mechanisme van intrusie zoals voorgesteld door Engelen (door middel van dichtheidstroming) waarschijnlijk de juiste is, aangezien dispersie vanuit de formatie van Maassluis vanwege de geringe ouderdom onwaarschijnlijk is.

Discussie

Uit het voorgaande blijkt dat het zoute kwelwater van Holocene ouderdom is. Uit de geologische informatie blijkt dat tijdens het Holocene de transgressie plaatsvonden via het IJ en de monding van de Vecht, ten noorden van de polder. Dit is echter nog wel moeilijk te plaatsen. Tijdens de transgressie die de Zuiderzee heeft gevormd was de Cl-concentratie van het Zuiderzeewater tegen de kust (bij Muiden) gemiddeld lager dan 2000 mg/l, zo blijkt uit diffusieprofielen van Volker [niet gepubliceerde gegevens RIJP]. Hoe er dan nog verder landinwaarts zout water kan zijn ingedrongen met Cl-concentratie van meer dan 4000 mg/l is onduidelijk.

Op grond van de hoeveelheid kwel die in de polder omhoog is gekomen sinds 1882, zou bij een homogene aquifer van 150 meter dikte een herkomstgebied met een straal van 4,5 kilometer volstaan. Zout water met het vereiste Cl-gehalte en van de noodzakelijke ouderdom is mogelijk van de Duinkerken-O-transgressie aanwezig op ongeveer 20 kilometer ten noorden van het gebied. Misschien treedt er dan ook wel voorkeurstroming op door meer doorlatende lagen in de Pleistocene aquifer, waardoor er veel grotere afstanden worden afgelegd dan voor een homogeen aquifer wordt berekend. Meer zekerheid hierover kan worden verkregen door een diepe boring uit te voeren, waarbij ook water uit de formatie van Maassluis wordt bemonsterd.

Literatuur

- Appelo, C. A. J. and Geirnaert, W. (1983). *Processes accompanying the intrusion of salt water*. Estratto applicata e idrologia, Bari. (SWIM conf.) Vol. 18, parte 2, 29-40.
- Appelo, C. A. J. and Willemsen, A. (1987). *Geochemical calculations and observations on salt water intrusions. I. A combined geochemical/mixing cell model*. Journal of Hydrology, Vol. 94, 313-330.
- Dam, J. C. van (1960). *Het kwelonderzoek in de Horstermeerpolder*. Interim rapport inzake het geo-elektrisch onderzoek.
- Dam, J. C. van (1987). *Het zout in de pap*. Cultuurtechnisch tijdschrift, jg. 26, nr. 5 (febr./maart 1987).
- Deines, P., Langmuir, D. and Harmon, R. S. (1974). *Stable carbon isotope ratios and the existence of a gas phase in the evolution of carbonate groundwater*. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 38, p. 1147-1164.
- Engelen, G. B. (1981). *An analysis of regional hydrological systems from early Pleistocene to recent in the Western part of the Netherlands as a basis for geohydrological calculations*. Uit: Syllabus moderne rekentechnieken (zoet/zout grondwater). Gezondheidstechniek, Delft.
- Groot, M. M. de en Linden, F. J. van der (1987). *Hydrologisch onderzoek in de Horstermeerpolder*. Intern rapport VU Amsterdam.
- Hooghoudt, S. B. (1947). *Rapport betreffende de verrichte onderzoeken in de Horstermeerpolder*. Landbouw

- proefstation en bodemkundig instituut, Groningen.
- Leuchs, W. (1987). *Chemische Genese eines Pleistozänen Porengrundwasserleiters bei Bocholt/ Westfalen*. Ruhr Univ. Bochum, 105 p.
- Meinardi, C. R. (1974). *The origin of brackish groundwater in the lower parts of the Netherlands*. RID Med. 74-6.
- Molen, W. H. van der (1958). *Over de zouthuishouding in de Noordoostpolder*. Van zee tot land 23, 70 p.
- Mook, W. G. (1980). *Carbon-14 in hydrological studies*. In: *Handbook of environmental isotope geochemistry*. Vol. 1, the terrestrial environment, p. 75-82. Elsevier.
- Plummer, L. N., Pearson, F. J. and Wigley, T. M. L. (1978). *Mass transfer and carbon isotope evolution in natural watersystems*. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 42, p. 1117-1139.
- Stiboka (1974). *De bodem van Noord-Holland, schaal 1:200.000*. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Stuyfzand, P. J. (1986). *Een nieuw hydrochemische classificatie van watertypen met Nederlandse voorbeelden van toepassing*. H₂O (19) 1986, nr. 23, p. 562-568.
- Volker, A. (1961). *Sources of brackish groundwater in Pleistocene formations beneath the Dutch polderland*. Economic geology, vol. 56, p. 1045-1057.
- Vries, J. J. de (1981). *Fresh and salt water in the Dutch coastal area in relation to geomorphological evolution*. In: *A farewell to A. J. Wiggers*. Geologie en Mijnbouw, p. 363-368.
- Witteveen & Bos (1987). *Water aanvullingsproject Horstermeerpolder en omliggende polders*. Deventer.



IAWR roept Rijn-ministers op zoutbelasting van de Rijn te blijven bestrijden

De Int. Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke Im Rheineinzugsgebiet heeft de ministers van de Rijn-oeverstaten die vorige maand in Bonn gepraat hebben over voortzetting c.q. aanhouding c.q. opzegging van het Rijn-zout-verdrag geschreven zeer teleurgesteld te zijn over de gang van zaken. Met schadevergoeding alleen lost men de Rijn-zout-problematiek niet op. De verontreiniging van de Rijn met chloriden moet naast de andere verontreinigingen bestreden blijven worden. De Int. Rijn Commissie heeft berekend dat de chloridebelasting van de Rijn in totaal met ca. 160 kg/sec Cl⁻ verminderd moet worden om het in het Rijn-zout-verdrag overeengekomen doel van maximaal 200 mg/l Cl⁻ aan de Duits-Nederlandse grens te kunnen bereiken. De 40 kg/sec Cl⁻ die per 1 januari 1989 opgeslagen zou worden, zou een onontbeerlijke eerste stap in de goede richting zijn. De IAWR vraagt de onderhandelingspartijen over het Rijn-zout-verdrag onverminderd voort te zetten.