Zout grondwater in de Nederlandse kustprovincies

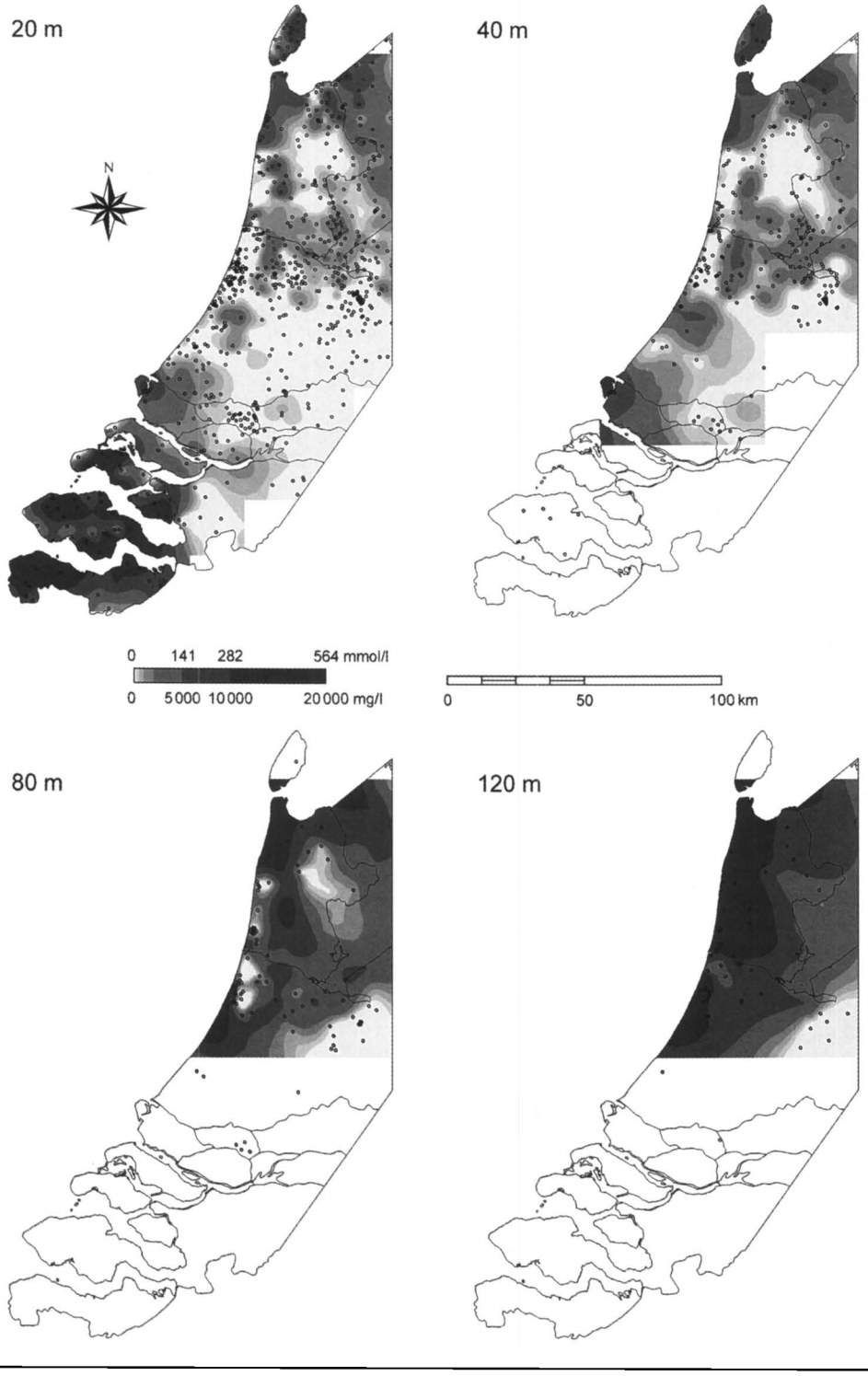
door Vincent Post
Vrije Universiteit, Faculteit der Aard- en Levenswetenschappen, De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam
E-mail: vincent.post@falw.vu.nl

Inleiding

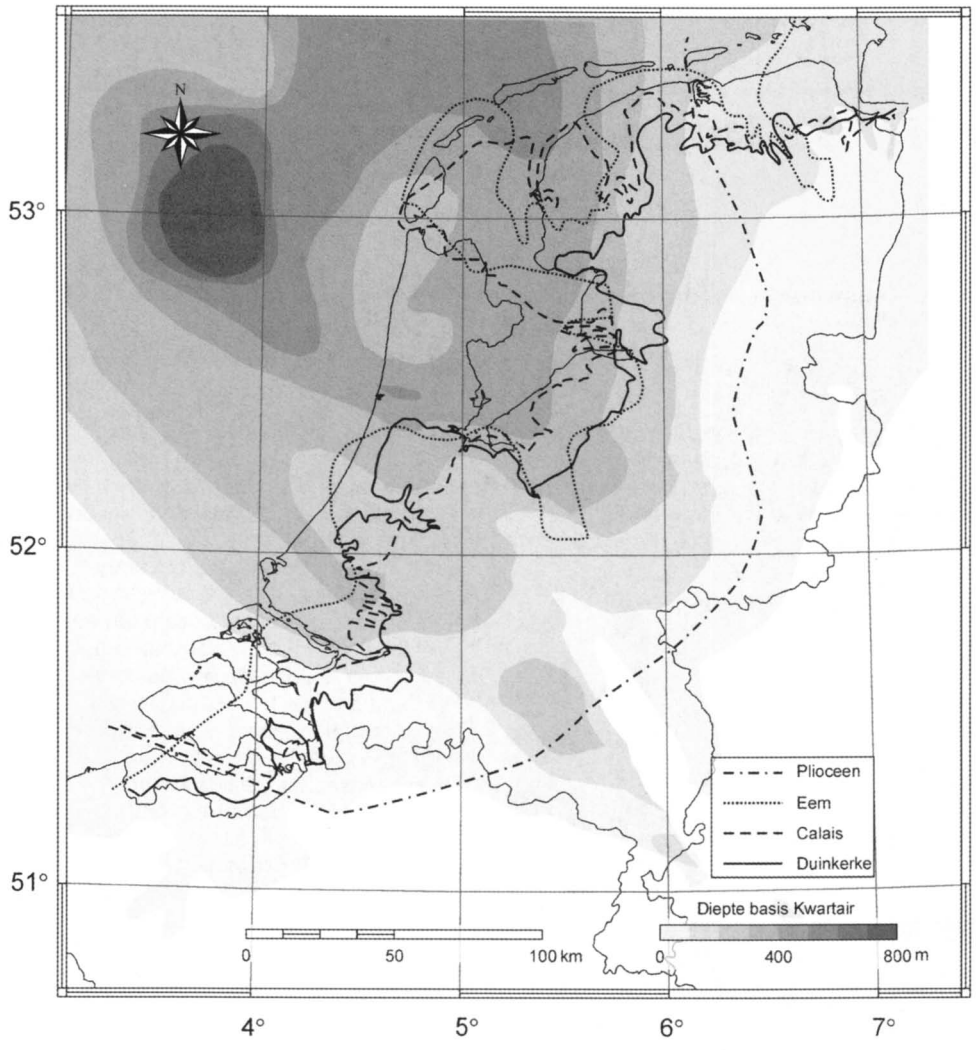
Het zoute water in de ondergrond van onze kustprovincies heeft altijd op een warme belangstelling kunnen rekenen van zowel de bewoners als wetenschappers. Dat er zout grondwater aanwezig is, is al sinds mensenheugenis bekend en in de Middeleeuwen werd op grote schaal veen afgegraven en verbrand om het daarin aanwezige zout te winnen (Leenders, 2003). Grote hoeveelheden zout waren nodig voor de haringindustrie. Omdat deze methode ernstige schade aan het milieu toebracht (onverantwoorde buitendijkse afgravingen konden leiden tot dijkdoorbraken en overstromingen) en bovendien erg bewerkelijk en dus duur was, schakelde men in de 14e eeuw over op het goedkopere zeezout uit onder andere Portugal.

Daarmee was de belangstelling voor het zout in de ondergrond niet verdwenen. De aanleg van de droogmakerijen vanaf de 17e eeuw bracht grote veranderingen met zich mee in de grondwaterstroming. In de diepste delen van de polders trad (en treedt nog steeds) kwel op en het opkwellende grondwater bevat vaak een hoog gehalte aan opgeloste zouten. De hoge zoutconcentraties zijn nadelig voor de landbouw omdat ze zorgen voor gewasschade.

Op dit moment is er volop aandacht voor het zoute grondwater in het daglicht van de voorspelde klimaatsverandering. Een stijging van de zeespiegel zal zorgen voor een toename van de zoute kwel in de lage polders (Oude Essink, 1996). Daarnaast kunnen een afname van de neerslag en rivierafvoeren tijdens de zomer leiden tot hogere zoutgehaltes in de poldergebieden. De discussie die momenteel gaande is, spitst zich toe op het toekomstige landgebruik in de delen van de kustprovincies die met verzilting te maken hebben. De akkerbouw (met name traditionele gewassen als aardappelen en uien) en de melkveehouderij hebben het economisch gezien al moeilijk en de verminderde beschikbaarheid van zoet water zal de problemen alleen maar groter maken.



Figuur 1. De ruimtelijke verbreiding van de Cl-concentraties op 20, 40, 80 en 120 meter –N.A.P. De locaties van de meetlocaties binnen 5 meter onder en boven het weergegeven diepte-interval zijn ook weergegeven. De interpolatie is niet uitgevoerd in gebieden met te weinig observaties. Gebaseerd op gegevens van de provincie Noord-Holland, TNO-NITG en Ouwerkerk (1993).



Figuur 2. Diepte van de onderkant van de Kwartaire afzettingen (Zagwijn en Doppert, 1978) en landwaartse uitbreiding van de Noordzee gedurende het Plioceen en drie Kwartaire transgressies (Zagwijn, 1974; Zagwijn en Doppert, 1978; Zagwijn, 1986).

Ook vanuit het oogpunt van de drinkwatervoorziening is er altijd veel belangstelling geweest voor het zoute grondwater. Toen men in de tweede helft van de 19e eeuw op zoek was naar een geschikte locatie voor de drinkwaterwinning voor Amsterdam bemerkte men dat het zoutgehalte van het grondwater over het algemeen met de diepte en in de richting van de kust toenam (De Vries, 1982). Hiermee kwam ook het wetenschappelijk onderzoek op gang en sindsdien zijn er talrijke publicaties over dit onderwerp verschenen. Een groot aantal van deze artikelen gaat over de herkomst van het zoute grondwater, een vraag die vanaf het begin centraal heeft gestaan. Ook in deze bijdrage zal worden stilgestaan bij de herkomst van het zoute grondwater, bezien vanuit een geologisch perspectief.

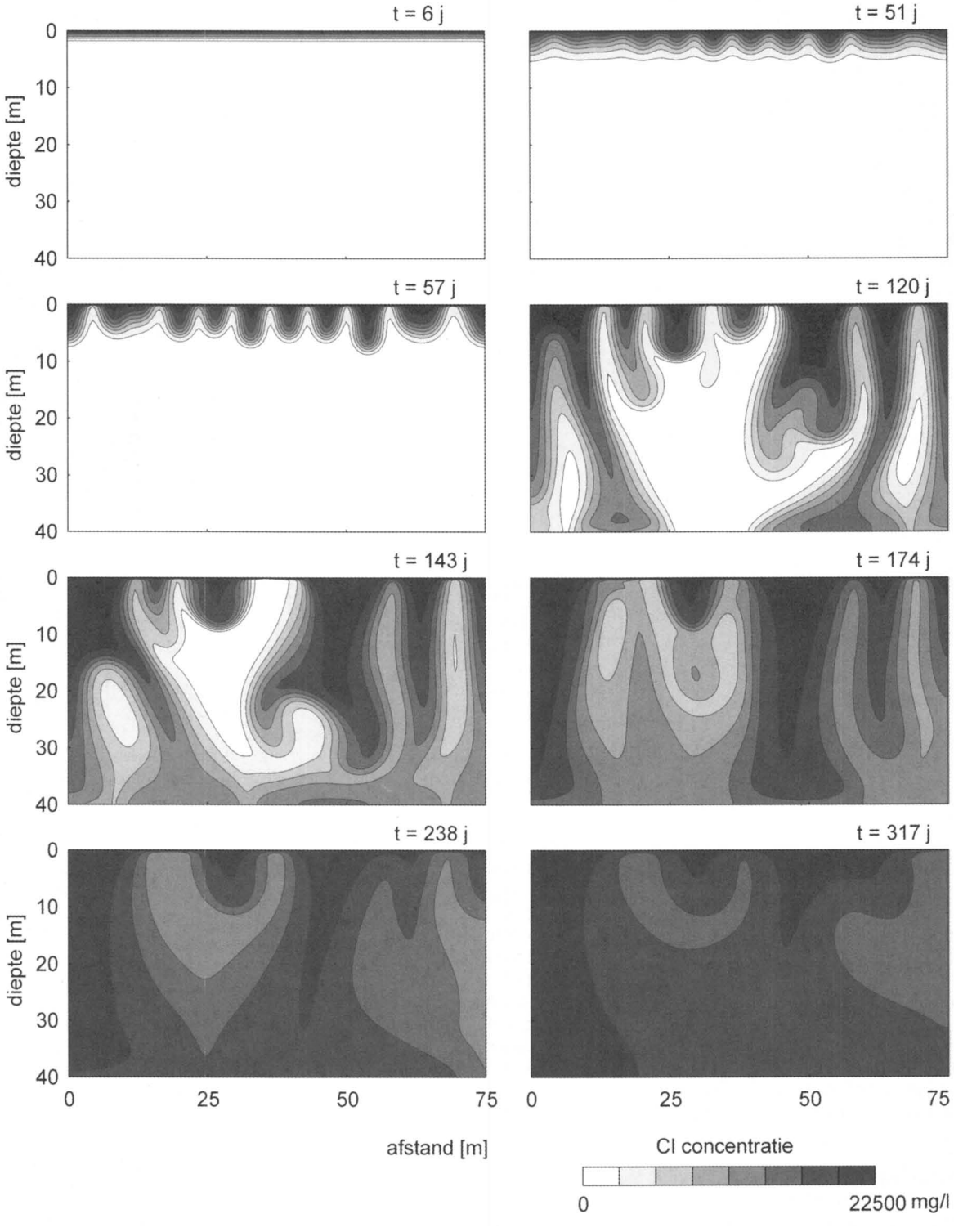
De huidige zoet-zoutverdeling

In kustgebieden waarin klimaat, zeespiegel en morfologie niet in de tijd veranderen, zal sprake zijn van een simpele verdeling van zoet en zout grondwater die gekenmerkt wordt door een zoetwaterlichaam dat 'drijft' op een vanaf de kustlijn landinwaarts hellende zeewaterwig. Bij benadering geldt dan dat voor een willekeurige locatie de dikte van de zoetwaterlaag onder zeeniveau 40 maal groter is dan de hoogte van de grondwaterspiegel boven zeeniveau (dit is het zogenaamde Ghijben-Herzberg principe).
De huidige verdeling van zoet en zout grondwater in West-Nederland is weergegeven in figuur 1. Hierin is de ruimtelijke verdeling weergegeven van de chloride-concentraties van het grondwater op vier verschillende dieptes. Het grillige karakter in de bovenste delen van de ondergrond wordt veroorzaakt door de vele stroomsystemen die gerelateerd zijn aan door de mens gecreëerde hoogteverschillen. Grofweg infiltreert zoet water in de hoger gelegen gebieden en kwelt zout grondwater op in de diepste polders. Op grotere diepte (> 100 m) komt vrijwel alleen brak en zout grondwater voor, waarbij het zoutgehalte vanaf de kustlijn landinwaarts afneemt. Alleen onder de duinen en de hoger gelegen Pleistocene gebieden en in West-Friesland zijn grootschalige diepe zoetwaterlichamen te herkennen.
Er is dus sprake van een complex 3-dimensionaal beeld dat duidelijk niet overeenkomt met de eerder beschreven simpele evenwichtssituatie volgens het Ghijben-Herzberg principe. Blijkbaar reflecteert de zoet-zoutverdeling nog altijd veranderingen in de hydrologische randvoorwaarden die in het verleden hebben plaatsgevonden. Het grootschalige voorkomen van zout grondwater moet worden toegeschreven aan de bedekking van het gebied door de Noordzee in het geologische verleden (Post, 2004). Om te begrijpen hoe het verziltingsproces verliep, is het dan ook noodzakelijk de ontstaansgeschiedenis van het gebied te kennen.

Geologische geschiedenis

In het verleden heeft de zee tijdens zogenaamde transgressies (een landwaartse uitbreiding van de zee) het Nederlandse kustgebied herhaaldelijk overstroomd. De vroegste mariene bedekkingsfase die in dit kader relevant is, was gedurende het Plioceen en Vroeg-Pleistoceen toen de kustlijn grofweg samenviel met de huidige landsgrenzen (zie figuur 2). Deze fase duurde tot ongeveer 1,6 miljoen jaar geleden. In de honderdduizenden jaren die volgden trok de zee zich ver terug, wel tot bij de Doggersbank. In West-Nederland werden in deze periode dikke pakketten fluviatiele grinden, zanden en kleien afgezet. Tijdens de Elster (380 – 360 ka BP) en Saale (180 – 130 ka BP) ijstijden reikten de ijskappen tot in ons land en vonden ingrijpende veranderingen in de morfologie plaats: diepe glaciale bekkens en stuwwallen werden gevormd tot meer dan 100 meter hoog. Grootschalige binnendringing van de zee vond voor het eerst sinds het Vroeg-Pleistoceen weer plaats gedurende het Eem (130 – 110 ka BP, zie figuur 2). Gedurende de op het Eem volgende Weichsel-ijstijd (110 – 10 ka BP) werd ons land niet door het ijs bedekt maar was er wel sprake van permafrost.

Ongeveer 10.000 jaar geleden begon de temperatuur wereldwijd te stijgen. De daarmee gepaarde zeespiegelstijging resulteerde rond 7.500 jaar geleden in het binnendringen van de zee in de huidige kustprovincies. Het waddenmilieu dat daardoor ontstond begon vanaf 5.500 jaar geleden geleidelijk dicht te slibben waardoor veengroei mogelijk werd en het gebied verzoette. De zee drong echter nog herhaaldelijk het gebied binnen en in grote gebieden werd het veen weggeslagen. Op deze manier werd in de Middeleeuwen het IJsselmeer gevormd. Langs de kust ontstonden in dezelfde periode de duinen en begon de mens het landschap ingrijpend te veranderen door de ontginning en afgraving van veenge-

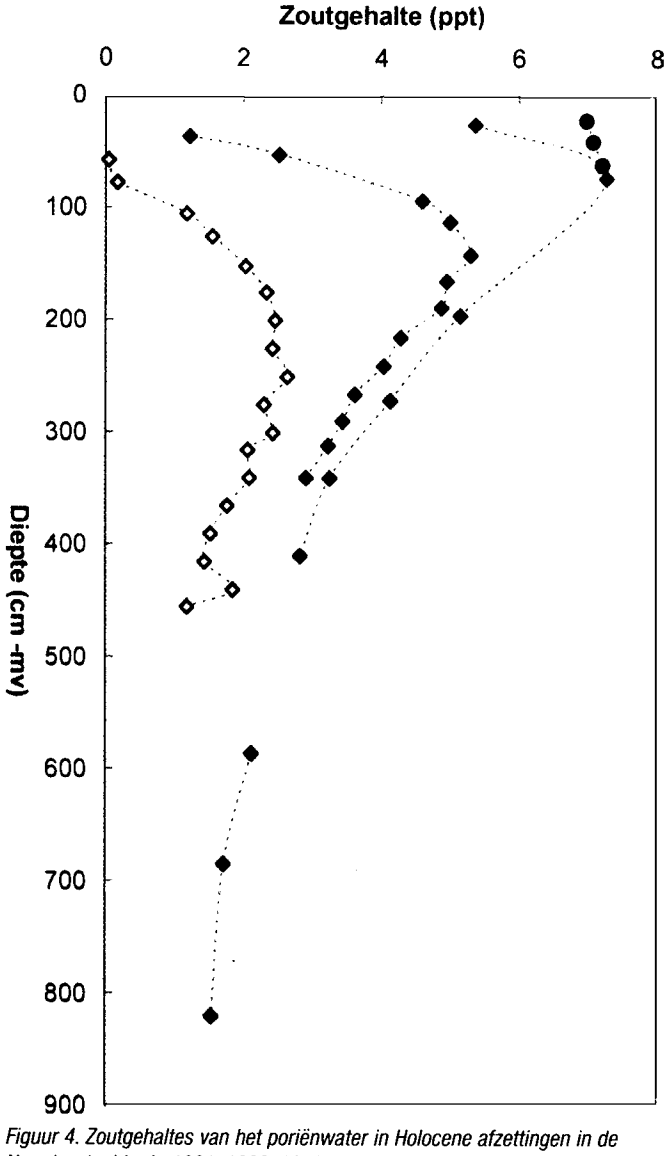


Figuur 3. Modelsimulatie van verzilting door vrije convectie op acht verschillende tijdstippen vanaf het moment van overstroming door de zee.

bieden, bedijking en inpoldering. Op die manier ontstond het karakteristieke polderlandschap zoals we het vandaag de dag kennen.

Verziltingsgeschiedenis

Tijdens de vroegste mariene bedekkingsfase die hier beschouwd wordt, die gedurende het Plioceen en Vroeg-Pleistoceen, werden dikke pakketten fijn zand en klei afgezet. Door bodemdaling zijn deze pakketten in de loop der tijd dieper komen te liggen, tot maximaal circa 350 m diep in het noorden van Noord-Holland. Ondanks hun ouderdom van tenminste 1,6 miljoen jaar bevatten deze pakketten nog een deel van het oorspronkelijke zeewater. Het zoutgehalte is in de loop der tijd wel gedaald doordat de pakketten zijn verzoet gedurende de honderdduizenden jaren tijdens het Kwartair waarin ons land onder invloed was van zoet water dat werd aangevoerd door de grote rivieren en de neerslag. In deze periode werden ook de fluviatiele zanden afgezet die tegenwoordig onze watervoerende pakketten vormen. Vanwege hun fluviatiele oorsprong bevatten deze pakketten oorspronkelijk zoet water, terwijl uit bovenstaande analyse van de huidige zoet-zoutverdeling blijkt dat ze tegenwoordig grotendeels brak en zout water bevatten.
De grootschalige verzilting moet dus hebben plaatsgehad nadat deze pakketten waren afgezet. Vraag is daarbij wat de bron van het opgeloste zout is geweest. Meinardi (1974) veronderstelde dat deze was gelegen in de Pliocene en Vroeg-Pleistocene pakketten die onder de fluviatiele Pleistocene watervoerende pakketten liggen. Deze theorie veronderstelt dat het opgeloste zout door diffusie omhoog bewoog en door menging (veroorzaakt door grondwaterstroming, ook wel dispersie genoemd) over de volledige diepte van de watervoerende pakketten werd verspreid. Als dit het geval zou zijn dan zou de zoutconcentratie van het grondwater overal met de diepte toe moeten nemen, maar in waarnemingsputten die tot in de Pliocene en Vroeg-Pleistocene lagen reiken, blijkt hiervan geen sprake te zijn: het zoutgehalte in de diepe mariene lagen is zelfs lager dan dat van de watervoerende pakketten erboven.
Het opgeloste zout moet dus een andere herkomst hebben. Verschillende auteurs hebben het Holoceen aangewezen als de periode waarin de verzilting van de ondergrond plaats vond (Versluys, 1931; De Vries, 1981; Van der Molen, 1989; Gieske, 1991). Immers, in deze periode hebben vanaf ongeveer 7500 jaar geleden verschillende inbraken van de Noordzee plaatsgevonden, waarbij het zeewater (al dan niet



Figuur 4. Zoutgehaltes van het poriënwater in Holocene afzettingen in de Noordoostpolder in 1931, 1933, 1950 en 2005 (Beck, 2005).

verdund met rivierwater) gedurende honderden tot duizenden jaren grote delen van de huidige kustpovincies bedekte. Uit isotoopdateringen (koolstof-14 methode) en modelberekeningen blijkt inderdaad dat het grootste deel van het zoute grondwater gerelateerd is aan de Holocene transgressies (Post, 2004).

De drijvende kracht achter de verzilting was het dichtheidsverschil tussen het zoute zeewater en het oorspronkelijke, zoete grondwater. We mogen aannemen dat na de laatste ijstijd het grondwater in Nederland tot op grote diepte zoet was, aangezien de zee gedurende de 100.000 jaar die deze ijstijd duurde zich ver had teruggetrokken. Toen de Noordzee in het Holoceen de huidige kustpovincies binnendrong kwam het zeewater dus op het zoete grondwater te staan. Door zijn hoge dichtheid heeft het zeewater dan de neiging om naar beneden te zakken waarbij zich pluimen of vingers vormen (zie figuur 3). Deze pluimen zakken relatief snel naar beneden, waarbij het zoete grondwater naar boven toe wordt verdreven. Uit modelberekeningen is gebleken dat dit proces dusdanig snel verloopt dat de tijd die nodig is om de Pleistocene aquifers tot op grote diepte te verzilten, relatief kort is ten opzichte van de duur van de transgressies.
Deze zogenaamde dichtheidsstroming treedt op in gebieden waar de ondergrond een hoge doorlatendheid heeft, zoals bijvoorbeeld in de getijdengeulen die in het Holoceen diep insneden in het Pleistocene zand. Er waren echter ook plaatsen waar de zee over een slechtdoorlatend klei- of veendek stroomde zonder dit te eroderen. Hier is dan ook geen dichtheidsstroming opgetreden maar vond de verzilting plaats door diffusie. Dit is mooi te herkennen op verscheidene locaties in het IJsselmeergebied waar het poriënwater in de Holocene klei- en veenpakketten is bemonsterd en op zijn zoutgehalte is geanalyseerd (figuur 4). Er is een geleidelijke afname te zien van dat zoutgehalte met de diepte, hetgeen wijst op langzame verzilting door diffusie.
Omdat er in de Holocene slechtdoorlatende lagen nauwelijks grondwaterstroming en dus weinig uitspoeling optreedt, bevatten ze nog steeds veel opgeloste zouten. Op Texel bijvoorbeeld bevindt zich op sommige plaatsen in Holocene mariene kleilagen grondwater dat een hoger zoutgehalte heeft dan zeewater. Dit extreem hoge zoutgehalte kan worden toegeschreven aan verdamping van het zeewater ten tijde van de afzetting van deze sedimenten (Post, 2004).
In de Noordoostpolder, waar zowel in 1933, 1950 en recentelijk in 2005 het zoutgehalte van het poriënwater in het Holoceeen is gemeten (een unieke spreiding in de tijd), vinden we ook nog steeds verhoogde concentraties (zie figuur 4). De geleidelijke afname door diffusie is fraai te zien in deze meetreeks. De vorm van het profiel wordt naast diffusie vermoedelijk ook beinvloed door (lichte) kwel en compactiegedreven stroming door inklinking van de bodem. De landbouw heeft relatief weinig last van het zout dat is opgeslagen in deze Holocene afzettingen omdat het transport ervan maar langzaam verloopt en de bovenste decimeters van de grond, waarin de gewassen wortelen, door drainage flink zijn verzoet.

De toekomst

Onze ondergrond bevat dus nog grote hoeveelheden zout grondwater uit het verleden. De aanleg van de polders heeft geleid tot ingrijpende veranderingen in het grondwaterstromingspatroon, waardoor het zoute grondwater in beweging is gekomen. Hierdoor kwelt in de diepste delen van het poldersysteem zout grondwater op dat voor verhoogde zoutgehaltes in het oppervlaktewater zorgt. Daarnaast is door de inpoldering een peilverschil tussen de Noord- en Waddenzee en de polders ontstaan waardoor een landwaarts gerichte grondwaterstroming op gang is gekomen waarmee zeewater wordt aangevoerd. Dit zorgt voor verzilting van nabij de kust gelegen poldergebieden.
Hoe de verzilting in de toekomst toe gaat nemen als gevolg van de voorspelde zeespiegelstijging is niet helemaal duidelijk. Bestaande grondwatermodellen geven aan dat zowel het zoutgehalte van het opkwellende grondwater als de hoeveelheid kwel toe gaan nemen. De hogere zeespiegel draagt daar zeker aan bij, alleen is dat per gebied verschillend (Oude Essink, 2000; Van Vugt e.a., 2003). In het geval van de diepe droogmakerijen is het effect gering omdat de diepte daarvan groot is vergeleken met de stijging van de zeespiegel, maar in ondiepere poldergebieden kan het effect groter zijn. Lokale verschillen in de snelheid van bodemdaling spelen daarbij ook een rol (Oude Essink e.a., 2004).
Belangrijk in het voorspellen van de toekomstscenario's zijn ook de veranderingen in de neerslagverdeling over het jaar. De verwachting is dat de zomers droger zullen worden en de winters natter (Beersma e.a., 2004). Welk effect dit zal hebben op het zoutgehalte van het ondiepe grondwater is nog vrijwel onbekend. De komende jaren zal hiernaar meer onderzoek verricht gaan worden en de resultaten hiervan zullen een rol spelen bij de discussies over de ruimtelijke ordening in de kustprovincies.

Tenslotte

Hoewel het zoute grondwater grotendeels aan ons oog onttrokken is, speelt de aanwezigheid ervan een belangrijke rol in het dagelijkse leven in de kustgebieden en het

waterbeheer. Daarnaast vormt het wetenschappelijk gezien een interessant studieobject en de lange onderzoekstraditie die altijd in Nederland bestaan heeft op dit gebied is nog lang niet ten einde. En gezien de voorspelde veranderingen in zeespiegel en klimaat is dat geen overbodige luxe...

Referenties

- Beck, H. (2005). Veranderingen in de zouthuishouding van de Noordoostpolder sinds de inpoldering en vergelijking van methodes ter extractie van poriënwater. Scriptie, Vrije Universiteit Amsterdam, 17 p.
- Beersma, J.J., T.A. Buishand, H. Buitenveld (2004). Droog, droger, droogst - KNMI/RIZA-bijdrage aan de tweede fase van de Droogtestudie Nederland. KNMI-publicatie 199-II, 52 p.
- De Vries, J.J. (1981). Fresh and salt groundwater in the Dutch coastal area in relation to geomorphological evolution; *Geologie en mijnbouw* 60: 363-368.
- De Vries, J.J. (1982). Anderhalve eeuw hydrologisch onderzoek in Nederland; Amsterdam, Rodopi, 195 p.
- Gieske, J.M.J. (1991). De oorsprong van het brakke grondwater in het IJsselmeergebied: diffusie, dispersie, of dichtheidsstroming; *H_2O* 24(7): 189-193.
- Leenders, K.A.H.W. (2005) Middeleeuws zout uit de delta. Status questionis als basis voor nader onderzoek. http://users.bart.nl/~leenders/txt/zout4.html
- Meinardi, C.R. (1974). The origin of brackish groundwater in the lower parts of the Netherlands; *R.I.D.-mededelingen* 74-6: 16p.
- Oude Essink, G.H.P. (1996). Impact of sea level rise on groundwater flow regimes; Delft, Technische Universiteit Delft: 410 p.
- Oude Essink, G.H.P. (2000). Zoutwaterintrusie in het grondwatersysteem van de Kop van Noord-Holland: een toepassing van de drie-dimensionale computer code MOCDENS3D; Stromingen 6(3): 9-21.
- Oude Essink, G.H.P., V.E.A. Post, M.J.M. Kuijper en B. Minnema (2004). Land subsidence and sea level rise threaten the coastal aquifer of Zuid-Holland, The Netherlands. 18th Salt Water Intrusion Meeting, Cartagena, Spanje.
- Ouwerkerk, J. (1993). Beschrijving van de chemie van het grondwater van Zeeland en van Walcheren en Zuid-Beveland in het bijzonder; Middelburg, Provincie Zeeland, directie Milieu en Waterstaat: 89 p.
- Post, V.E.A. (2004). Groundwater salinization processes in the coastal area of the Netherlands due to transgressions during the Holocene; Faculty of Earth- and Life Sciences, Vrije Universiteit, Amsterdam: 138 p.
- Van der Molen, W.H. (1989). Het zoute grondwater in West-Nederland: een gevolg van dichtheidsstromingen? *H_2O* 22(11): 330-346.
- Van Vugt, A., G.H.P. Oude Essink en A. Biesheuvel (2003). Modellering van het zoet-zout grondwatersysteem op Texel; Stromingen, 9(1): 33-46.
- Versluys, J. (1931). Subterranean water conditions in the coastal regions of the Netherlands; *Economic geology* 26: 65-95.
- Zagwijn, W.H. (1974). The paleogeographic evolution of the Netherlands during the Quaternary; *Geologie en mijnbouw* 53(6): 369-385.
- Zagwijn, W.H. en J.W. C. Doppert (1978). Upper Cenozoic of the southern North Sea basin: paleoclimatic and paleogeographic evolution; *Geologie en mijnbouw* 57: 577-588.
- Zagwijn, W.H. (1986). Nederland in het Holoceen; 's Gravenhage, Sdu uitgeverij: 46 p.

Boekbespreking

Eigen aardig Nederland. Aardkundig Erfgoed van Nederland, Stichting Aardkundige Waarden; KNNV Uitgeverij, 2005. ISBN 90 5011 000 2. 198 pagina's, 16 x 24 cm, genaaid gebonden, met vele kleurenfoto's. Prijs € 22,95.

De Stichting Aardkundige Waarden ijvert al ruim een decennium om het landschap en de opbouw van de diepere ondergrond te beschermen tegen afbraak, afgraven of volbouwen. Dit boekje is niet alleen een boeiend verslag van deze periode met uitgebreid beschreven voorbeelden, onderzoeken en visies, maar tevens een verzameling van allerlei aspecten die te maken hebben met de geologie van Nederland. Een lange rij auteurs tekende hun verhalen op, en neemt ons mee door de tijd, beginnend bij de reden van het ontstaan van de Stichting Aardkundige Waarden en eindigend met Aardkundige Waarden in de Toekomst.
Juist doordat elke auteur zijn eigen invalshoek heeft ontstaat een verrassend veelzijdige visie op de Nederlandse 'dode natuur'. En dit is nu juist waarom het boekje zo aardig is. Wie een droge opsomming van getallen en feiten vreest zal verrast zijn. Het ene hoofdstukje behandelt bijvoorbeeld de bescherming van het Waddengebied en de daarvoor noodzakelijke morfodynamica, terwijl een ander hoofdstuk verhaalt over het afgraven van de oude duinen en de interesse van Vincent van Gogh hiervoor. De Geomorfologische kaart van Nederland, Barchanen, De Sint Pietersberg (in prachtige foto's), Aardkundige waarden bij Staatsbosbeheer en Natuurmonumenten, Onderwijs in Groen, Bruin en Blauw zijn enkele titels van essays in het boekje. De mooiste titel is gegeven aan een aardig artikel over de zichtbaarheid van aardkundige monumenten: Aardkundige waarden gaan traag door 't laagland. Zeer aardig is ook het science fiction essay 'Aardkundige Waarden in 2164' geschreven door Alex Leget, de directeur van het Logistiek Centrum Hergebruik Grond BV te Delft. Dit visionaire vertellinkje speelt in Zwolle aan zee in een kantoor 500 meter onder de oppervlakte, alwaar een medewerker van een niet nader geduid geologisch onderzoeksbureau de randmeren afscant, op zoek naar doorgangen voor de scheepvaart. Prompt vindt hij een sterke afwijking in de zeebodem op 8 km van het Haagse Zand, en kort daarop een tweede. Deze anomalie lijkt wel wat op het Aardkundig Antropomonument nr. 27 van Breda...
Ook zijn er vele beschrijvingen van inmiddels beschermde aardkundige monumenten die uitnodigen tot een bezoek. Dit niet in de laatste plaats door de mooi vormgegeven kaarten en de vaak prachtige foto's.
De bijlagen bestaan uit een Geologische Tijdschaal (met - helaas - een wat onhandig lettertype), een Verklarende woordenlijst, een uitgebreide literatuurlijst, een verantwoording van de afbeeldingen, en, erg handig voor het plannen van uitstapjes, een overzicht van aardkundige en geologische monumenten (per provincie).
Het boekje is een uitstekende reclame voor de aardkundige waarden in Nederland en voor de behandelde speciale plekken in het bijzonder. Een boekje dat het verdient gekocht te worden door-, of gegeven te worden aan natuurliefhebbers die al gevoelig zijn voor de levende natuur en tot nu toe voorbij gegaan zijn aan het reliëf en het substraat. Voor 'gevorderden' is dit boekje een welkome aanvulling door de vele facetten van omgang met de Nederlandse geologie, men moet er geen diepgaand wetenschappelijke artikelen in verwachten.

Kortom, een boekje met een grote interne dynamiek, het Nederlandse landschap waardig!

Huub Bruens