

Landijs, zee en rivieren als geologische "opbouwwerkers" van het Noorden.

J.H.A. Bosch

Dertig jaar geologisch onderzoek in Noord-Nederland heeft veel kennis over de wordingsgeschiedenis opgeleverd. In dit artikel worden nieuwe ideeën hierover toegelicht; beginnend bij de vraag waar het mineraal augiet in de Cromerien-zanden vandaan komt tot en met nieuwe gegevens over de zeespiegelbewegingen in de laatste 3000 jaar.

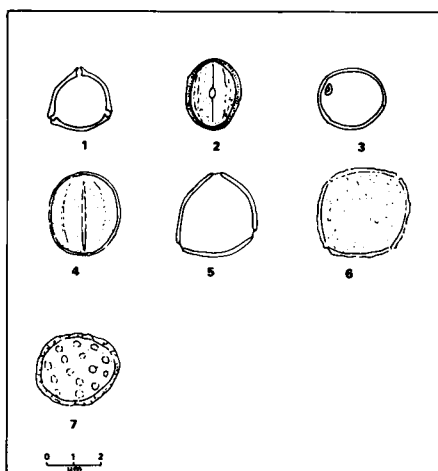
Inleiding

Gedurende de laatste 30 jaar heeft de Rijks Geologische Dienst (R.G.D.) in Noord-Nederland door het systematisch uitvoeren van hand- en mechanische boringen veel kennis opgedaan over de geologische opbouw van de tijdens de laatste twee miljoen jaar (het Kwartair) gevormde grondlagen. Een groot deel van deze kennis is in de vorm van geologische toelichtingen, voorzien van kaarten en profielen gepubliceerd (Ter Wee 1966, 1976 en 1979, De Groot, 1987 en Bosch, 1990). Daarnaast zijn er de laatste 15 jaar andere wetenschappelijke publicaties over de Kwartairgeologie van Noord-Nederland uitgebracht, o.a. door medewerkers van de R.G.D. (Burger, De Jong, Ruegg, Zagwijn, Zandstra), de Vrije Universiteit (De Gans, Griede, Roeleveld) en de Gemeente Universiteit van Amsterdam (Van der Meer, Rappol). Deze publicaties behandelen de microscopische inhoud van de afzettingen zoals zware mineralen en fossiel stuifmeel, de gesteente-inhoud e.d., de sedimentaire structuren die bij afzetting ontstonden en de interpretatie daarvan. Tenslotte is er nu nog onderzoek aan de gang; werkhypothesen over de vormingswijze van bepaalde geologische eenheden hebben nog niet tot een uitgebalanceerde theorie geleid.

De serie afzettingen in onze ondergrond is, zeker vergeleken met de rest van de Noord-West Europese Laagvlakte nogal dik. Dit is te danken aan de voortdurende bodemdaling van het Noordzee-bekken. Het dikst zijn de in het Kwartair afgezette lagen onder het IJsselmeer; hier bedraagt de dikte ongeveer 500 m. In oostelijke richting neemt deze geleidelijk af. Op de lijn Groningen-Hoogeveen is nog een 150 m dikke laag kwartaire zanden en kleien aanwezig. Een groot deel van dit verschil bestond al 700.000 jaar geleden. De bovenkant van de toen aan de oppervlakte liggende afzettingen helt heel licht in westelijke richting. Dit vlak markeert een langdurige periode waarin over een groot deel van Noord-

Nederland erosie optrad. Daarna is dit gebied gelijkmatig gedaald, waarbij door rivieren en zee aangevoerde zanden en kleien konden blijven liggen. In dit artikel willen wij een overzicht geven met betrekking tot de ontstaansgeschiedenis van de drie noordelijke provincies. Hierbij beperken we ons tot de afzettingen die in de bovenste 60 tot 70 m van de ondergrond voorkomen. Deze lagen dateren uit het Midden- en Jong-Pleistoceen en uit het Holoceen, tezamen een periode van ongeveer 700.000 jaar. Dit jongste deel van het Kwartair wordt, evenals het oudste deel, gekarakteriseerd door een afwisseling van koudere (glaciale) en warmere (interglaciale) perioden. Vooral uit de studie van fossiel stuifmeel (fig. 1) is de afwisseling van koudere en warmere perioden te herkennen. Dit tijdvak onderscheidt zich van het oudste deel doordat de invloed van de landijsbedekking van Scandinavië merkbaar wordt op onze breedtegraad. Tijdens twee ijsstijden heeft het

ijs zelfs Noord-Nederland bedekt. Doordat in de landijskappen van Scandinavië en Noord-Amerika grote hoeveelheden water in de vorm van ijs waren opgeslagen, stond het zee-oppervlak tijdens het koudste deel van zo'n ijsstijd tenminste 100 m lager dan gedurende de warmere perioden. Wanneer de zee aan het begin van een warmere periode het land overstroomt worden veen en kleilagen gevormd. Opvallend is dat deze in Noord-Nederland niet bekend zijn uit het grootste deel van het Vroeg-Pleistoceen. In het Midden- en Boven-Pleistoceen zijn tenminste gedurende drie perioden door de zee sedimenten in de kustvlakte afgezet. Ook nu leven we weer in een interglaciale periode.



Soorten, kenmerkend voor glaciële perioden:

- 1 Betula - berk
- 2 Artemisia - oelzen
- 3 Gramineae - grassen

Soorten, kenmerkend voor interglaciële perioden:

- 4 Quercus - eik
- 5 Corylus - hazelaar
- 6 Ulmus - iep
- 7 Chenopodiaceae - gewasvoet-familie

Fig.1 Enkele typen stuifmeelkorrels.

H O L O C E E N		Westland Formatie
Z	WEICHSELIIEN	Formatie van Twente (o.a. debsand)
W	E E M I E N	Eem Formatie
U	SAALIJEN	Formatie van Grante (o.a. halsami)
O		Formatie van Eindhoven
H	HOLSTEINIJEN	Formatie van Urk II (Holsteinien afz.)
M	ELSTERIJEN	Formatie van Peete (o.a. peetklei)
C		Formatie van Urk I
V	CROMERIEN IV	Groene Bank
J		
A	CROMERIEN C	Afzettingen van Weerdinge / Betsward zone

Fig.2 Stratigrafische tabel.

Cromerien

De onderste eenheid die het op de overgang van Vroeg- naar Midden-Pleistoceen gevormde erosievlak afdekt is de Formatie van Urk. Hiertoe behoren allereerst de in de tweede helft van het Cromerien tijdens een koude periode afgezette grove, grindhoudende zanden, die als Mengzone of als Afzettingen van Weerdinge worden benoemd. Aan de hand van de structuren in deze afzetting kon Ruegg (1977) vaststellen dat dit zand in groeve de Boer te Emmerschans, is afgezet als een puinwaaier voor een ijskap. Ook het feit dat het oostelijke riviersysteem aan het einde van het Vroeg-Pleistoceen een noordelijker koers

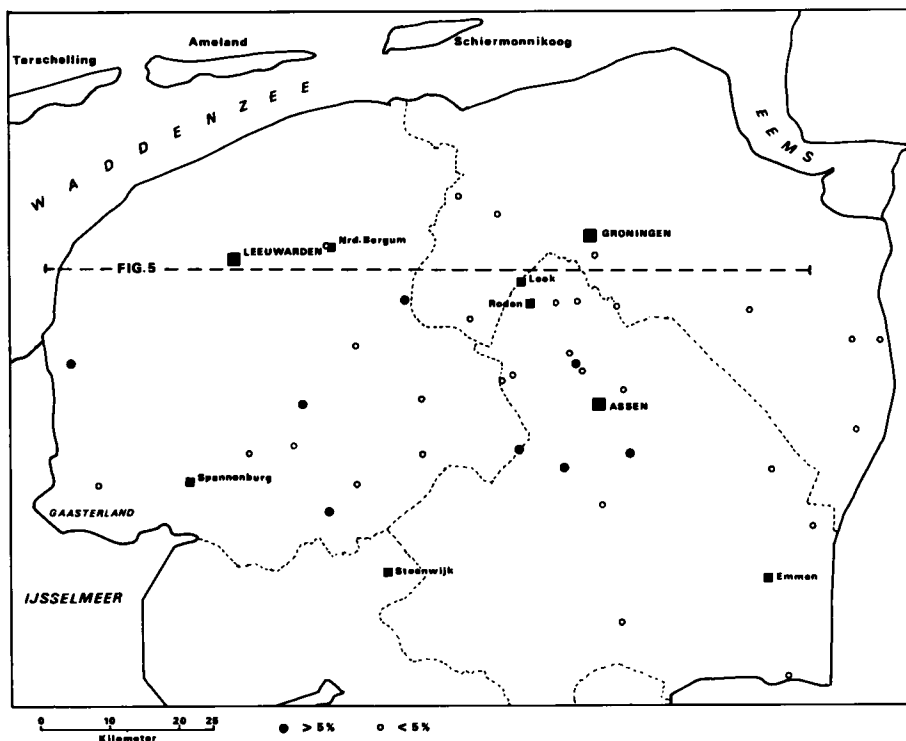


Fig.3 Lokaties waar kleien van Cromerien IV-ouderdom met behulp van pollenanalyse zijn aangetoond (● > 5% Chenopodiaceae, ○ < 5% Chenopodiaceae, zie tekst).

ging volgen geeft al aan, dat later geen uit oostelijke richting aangevoerde rivierafzettingen hier meer terecht kwamen. De Afzettingen van Weerdinge hebben een typische mineraalinhoud; naast de zware mineralen toermalijn, sillimaniet e.d. is een (laag) percentage augiet aanwezig. De herkomst van dit mineraal werd gezocht in de Eifel, waar omstreeks 400.000 jaar geleden vulkaanuitbarstingen plaatsvonden. Ook in het Ertzgebergte (Tsjecho-Slowakije) vond echter in dezelfde periode vulkanische activiteit plaats. In de afzettingen van de rivier de Elster wordt meer dan 30% augiet aangetroffen (Müller et al., 1988). Zeer waarschijnlijk is het aandeel dat de Rijn in het oostelijk deel van Noord-Nederland aan sediment bijdroeg, in deze periode zeer beperkt geweest. In Friesland, waar de Bolsward Mineraalzone, gekenmerkt door een hoger percentage van het mineraal hoornblende, aanwezig is, zijn de zanden in dezelfde periode wel grotendeels door de Rijn aangevoerd. In de volgende periode met een gematigd warm klimaat, het Cromerien IV, wordt een afzetting gevormd, die hoofdzakelijk uit kleien bestaat en stratigrafisch als de Groene Bank wordt aangeduid. Deze eenheid is afgezet in een riviervlakte waarin plaatselijk ook brak- en zelfs zoutwaterinvloed is te herkennen. Met het blote oog is dit aan de schelpinhoud te constateren: in de noordelijke helft van Friesland worden regelmatig zoutwater schelpen gevonden in deze afzettingen. Van *Spisula's* (strand-schelpen) uit een boring bij Bergum is met behulp van de aminozuren-date-

ring de ouderdom bepaald (Bowen, Sykes, 1988). Schelpen van deze ouderdom zijn in Noordwest-Europa nog zelden aangetroffen en gedateerd. Verder geeft de analyse van fossiel stuifmeel uit de Cromerien-kleien aanwijzingen over het afzettingsmilieu. Regelmatig worden stuifmeelkorrels van Chenopodiaceae (Ganzevoet-familie, zie fig. 1) teruggevonden. Tot deze familie behoren o.a. zeekraal, schorrekruid, zoutmelde en strandmelde; tot welke soort het gevondenstuifmeel behoort is niet duidelijk. Voor de milieuinterpretatie is dat niet zo belangrijk; al deze planten groeien namelijk op een kwelder. In figuur 3 zijn de lokaties van alle boringen aangegeven waar het Cromerien IV pollenanalytisch is herkend. In een beperkt aantal boringen wordt een hoog percentage (>5%) Chenopodiaceae aangetroffen. Zoals op het kaartje valt te zien is het moeilijk om hieruit te reconstrueren waar in die periode de kwelderzone precies lag.

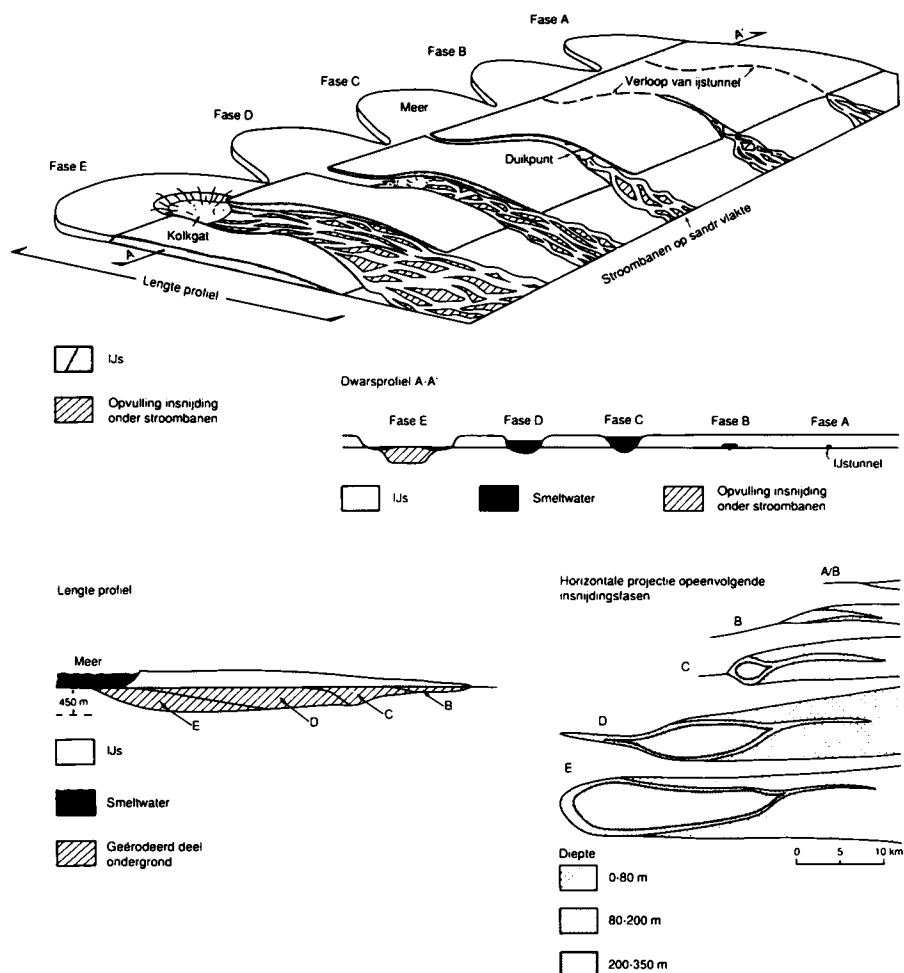


Fig.4 Het ontstaan van diepe depressies in het Elsterien.

Elsterien

Op de Cromerien-kleien ligt in Noord-Nederland een ongeveer 10 meter dik pakket grof, grindhoudend zand, gerekend tot de Formatie van Urk I. Een blik op de grindinhoud maakt al snel duidelijk dat de oorsprong van het materiaal in het stroomgebied van de Rijn gezocht moet worden; veel ondoorzichtige 'melk'kwarts ten opzichte van heldere kwarts en verder veel zandsteen. Verder wordt een zeer hoog percentage ($\pm 30-40\%$) augiet in de zware mineralen-preparaten aangetroffen. Dit bevestigt dat dit zand door de Rijn is aangevoerd. Omdat er in deze zanden geen dateerbare niveau's aanwezig zijn valt niet vast te stellen of deze zanden aan het einde van het Cromerien of in het begin van het Elsterien zijn gevormd. Vooralsnog gaan wij er, gezien het grote verschil met de onderliggende kleien, vanuit dat de Rijn-zanden pas na een verslechtering van het klimaat, dus in het begin van het Elsterien, zijn afgezet. Tot voor kort werd aangenomen dat tijdens het Elsterien het Scandinavische landijs Nederland niet had bereikt (Ter Wee, 1983). De laatste jaren realiseert men zich echter dat de in de Noordwesteuropese Laagvlakte gevonden Elsterien-afzettingen, in Nederland tot de Formatie van Peelo gerekend, alleen binnen een landschap gevormd kunnen zijn. Keileem wordt slechts zelden aangetroffen (Zandstra, 1977). Opmerkelijk zijn de in deze periode gevormde diepe erosiegaten, die in de ondergrond van Noord-Nederland worden teruggevonden. Deze gaten zijn 20 tot 30 km lang, 3 tot 5 km breed en plaatselijk meer dan 350 m diep. Ook in de bodem van de Noordzee zijn dergelijke 'gaten' aanwezig. Doordat op zee de bovenste honderden meters van de bodem gemakkelijk met seismi-

sche methoden onderzocht kunnen worden zijn daar meer aanwijzingen gevonden voor de vorming van deze gaten. Wingfield (1990) verklaart de depressies op de volgende wijze: In de beginfase vormt zich in en op de landijskap een groot meer, dat vele tientallen kubieke kilometers water bevat. Wanneer dit water een uitweg vindt uit het ijs, wordt de afvoertunnel in het ijs snel groter, zodat het ijs in de zone waar de tunnel loopt wordt opgeruimd (fig. 4, fase A, B, en C). In deze fase bereikt het water zeer hoge stroomsnelheden, zodat afzettingen tot op grote diepte worden opgeruimd (fig. 4, fase D). Als het meer leeg is stopt deze zondvloed; in zeer korte tijd zijn dan vele kubieke kilometers grond verplaatst (fig. 4, fase E). Een deel hiervan, vooral het grind en het grovere zand, blijft in het diepste deel van de erosiegaten achter; het fijne zand en de kleideeltjes zijn stroomafwaarts meegesleurd. Wanneer de vloedstroom daar nu in een eerder uitgeruimde, geheel met water gevuld meer uitstroomt wordt de snelheid van het water sterk afgeremd. Het fijne zand blijft dicht bij de rand van het meer liggen, daarbij een delta uitbouwend, terwijl de kleideeltjes verderop naar de bodem zakken. Hier worden de dikke lagen zogenaamde potklei gevormd. Aan het einde van het Elsterien zijn de meeste gaten geheel opgevuld.

Holsteinien

Na het Elsterien Glaciaal volgt weer een warmere tijd, het Holsteinien genaamd. Net als in het Cromerien dringt de zee ook in deze periode het noordelijke deel van Noord-Nederland weer binnen. Veen- en kleilagen worden teruggevonden o.a. in de ondergrond bij

Leek en Bergum. Schelphoudende zanden uit het Holsteinien worden onder de Waddenzee en de Waddeneilanden aangetroffen. Verder worden dikke kleilagen gevonden in het zuidoostelijke deel van Friesland, o.a. bij Spannenburg. Deze afzettingen zijn in de riviervlakte van de Rijn gevormd en behoren tot de Formatie van Urk II.

Saalien

Na het Holsteinien breekt een lange koude periode aan; het Saalien. In het eerste deel van dit glaciaal wordt in Noord-Nederland een dikke door de wind aangevoerde laag fijn zand (Formatie van Eindhoven) neergelegd. Onlangs zijn in de omgeving van Roden ook grove, waarschijnlijk in stromend water afgezette zanden gevonden. Dit zand is waarschijnlijk door een lokaal stroompje afgezet. Tweemaal werd het klimaat in deze periode warmer. Veenlagen, met stuifmeel dat gematigde klimaatsomstandigheden kenmerkt, zijn van verschillende lokaties bekend. In een van deze fasen, het zogenaamde Hoogeveen Interstadiaal, komt hier zelfs gemengd eikenbos voor (Zagwijn, 1973). Gedurende het tweede deel van het Saalien raakte Nederland bedekt onder de Scandinavische ijskap. Afzettingen uit deze fase verschillen sterk van die van het Elsterien. Onder de Saale-ijskap werd een in dikte variërend pakket keileem (Formatie van Drenthe) afgezet. Smeltwaterafzettingen uit deze periode worden slechts zeer lokaal teruggevonden. In de jaren vijftig en zestig werd aangenomen dat er in de Saalien-ijsbedekking vijf fasen zijn te onderscheiden (Ter Wee, 1962). De stuwwallen in Midden-Nederland begrenzen de oudste fasen terwijl de stuwheuvels van Gaasterland en Steenwijk en de stuwwallen van Oost-Groningen jongere fasen van

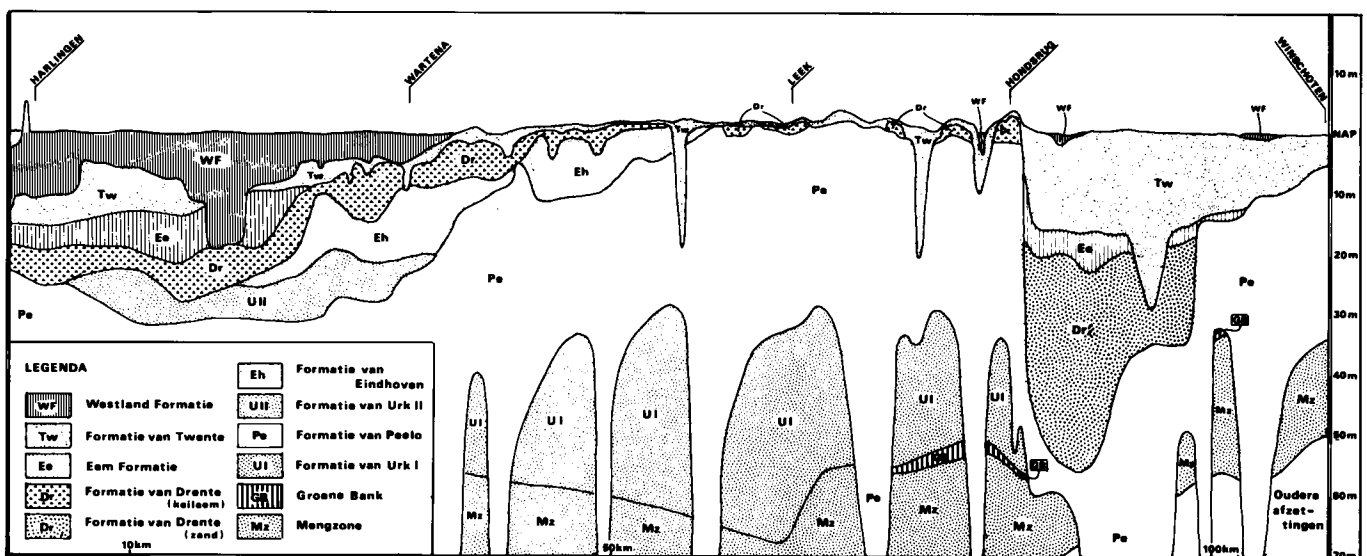


Fig. 5 Profiel van Harlingen naar Winschoten (lokatie zie fig. 3).

de ijsverbreiding aangaven. De laatste 15 jaar is deze reconstructie nogal kritisch benaderd. Diverse auteurs (Zonneveld, 1975, Rappol 1985, van der Berg & Beets, 1987) menen dat de volgende juist omgekeerd moet worden; de Oost-Groningse heuvels zijn tijdens de allereerste fase van de landijsbedekking gevormd en daarna overreden door de in zuidwestelijke richting stromende ijsmassa. Tijdens een volgende fase werd de ruggenreeks vanaf Texel via Gaasterland naar Steenwijk gevormd (Rappol et al., 1989). Mogelijk behoort ook de in de Hondsrug ontsloten, maar morfologisch niet meer te onderscheiden gestuwde zone bij Emmen (Ter Wee, 1976) ook tot deze fase. Latere overrijding van deze zone vormde de stuwwallen verder zuidelijk in Midden- en Oost-Nederland. Op het moment dat het landijs niet meer bewoog, in de zogenaamde doodijfsfase, baande een 'ijsstroom' zich een weg vanuit de Noordzee, Nederland binnenkomend ter hoogte van het huidige Schiermonnikoog. Deze vormde de N.N.W.-Z.Z.O. gerichte ruggen op het oostelijke deel van het Drents Plateau. Waarschijnlijk strekte dit hoge gebied zich eerst nog verder naar het oosten uit maar werd dit deel later deels opgeruimd. Het Hunzedal (fig. 5) is mogelijk ontstaan ten gevolge van erosie door dit in zuidzuidoostelijke richting stromende landijs (Bosch, 1990). Op het Drents Plateau valt op dat smeltwaterafzettingen nagenoeg ontbreken. Twee van deze voorkomens grindhoudende grove zanden zijn de Bendersche Berg (op de Dwingeloosche Heide) en de es van Amen (de Gans, 1981). Blijkbaar was er in het landijs weinig water aanwezig.

Eemien

Op de koude van het Saalien volgt de warmte van het Eemien. Een hogere temperatuur, een stijgende zeespiegel en een warmteminnende vegetatie zijn enkele gevolgen van de klimaatsverbetering. Ook in de afzettingen blijkt dit. In het hogere deel van Noord-Nederland werd, op plaatsen waar een drassig milieu aanwezig was, veen gevormd. Dit was het geval langs de Hondsrug, waar kwelwater van het Drents Plateau aan de oppervlakte kwam, in de beekdalen en lokaal in afvoerloze depressies. Elders vond het zeewater een weg landinwaarts door de laagten die het landijs had achter gelaten, zoals het dal van de Hunze. In beschutte lokaties werden kleien afgezet en op plaatsen waar golven en stromingen vrij spel hadden, werden zanden neergelegd. De afzettingssomstandigheden zijn aan de schelpinhoud af te lezen; hartschelp (*Cerastoderma*),

slijkgaper (*Scrobicularia*), mossel (*Mytilus*) en oester (*Ostrea*) zijn de meest voorkomende soorten. Dit zijn bijna allemaal soorten die ook in de tegenwoordige Waddenzee voorkomen. Het Eemien heeft ongeveer 10.000 tot 15.000 jaar geduurd.

Weichselien

De laatste koude periode wordt het Weichselien genoemd. In het eerste deel waren de omstandigheden nog niet extreem. Tijdens een of meerdere interstadialen (perioden met een wat milder klimaat) werden veenlagen en sterk humeuze afzettingen (gyttja's) gevormd. Daarna sloeg de koude toe. Bewijs daarvoor zijn de grote ijswiggen die in de oudere veenlagen worden gevonden. Ook tijdens deze zeer koude fase worden zo nu en dan veenlagen gevormd. Het stuifmeel uit deze lagen laat zien dat er in deze omgeving geen bomen meer groeien; Noord-Nederland is overdekt met een toendravegetatie. De wind zorgt ervoor dat op plaatsen waar geen planten staan zand wordt weggenomen en over vele kilometers wordt vervoerd. Verder zorgt het dooiwater in de lente ervoor dat de beken en riviertjes zich diep insnijden; soms wel 20 m diep. Dit is ook mogelijk doordat de zeespiegel minstens 100 m lager staat dan nu; het grootste deel van de Noordzeebodem is in deze periode land. De periode met de grootste koude valt tussen 20.000 en 15.000 jaar geleden. In die periode bereikte het Scandinavische landijs Denemarken en het noordelijke deel van Duitsland. Nederland werd daar dit keer niet door bedekt. Ook tijdens de laatste 5000 jaar van het Weichselien werden door de wind nog dikke pakketten zand neergelegd. Over grote oppervlakten ligt dit zogenaamde 'dekzand' (Formatie van Twente) nu aan de oppervlakte in het 'hoge deel' van het Noorden. De definitieve klimaatsverbetering verloopt aarzelend. Twee maal zijn er korte perioden met een wat hogere temperatuur, maar evenzoveel keren verslechtert het klimaat weer.

Holocene

Vanaf 10.000 jaar geleden werd, in het tijdperk dat Holocene wordt genoemd, de temperatuur over de gehele wereld vele graden hoger. In ons gebied zorgde dat voor een verandering van de vegetatie. Veel planten- en boomsoorten, die tijdens het Weichselien in zuidelijk Europa 'overwinterd' hadden kwamen terug. Een tweede verandering werd al snel zichtbaar in lager gelegen gebieden. De zeespiegelstijging, veroorzaakt door het afsmelten

van sneeuw en ijs dat tijdens de ijstijd op land lag opgeslagen, deed grote delen in en rond de huidige Noordzee overstromen. Langs de randen van de hogere zandgronden ontstonden veenmoerassen, die op hun beurt overstromd werden en bedekt raakten onder meters dikke lagen klei en zand (Westland Formatie). De afzettingssomstandigheden van dit sediment lijken deels op de omstandigheden in een lagune van de open zee beschermd door een kustbarrière, en deels op die in een waddengebied. Opmerkelijk is het verschil in ontwikkeling tussen de kustvlakten van West- en Noord-Nederland. In West-Nederland ontstaat omstreeks 5000 jaar geleden een gesloten strandwallenkust. Achter deze gordel ontstaat een waddengebied en een lagune waar al snel over grote oppervlakten veen wordt gevormd. De zee dringt nog maar sporadisch en over kleine oppervlakten dit gebied binnen. In Noord-Nederland blijft de kust echter open. De situatie rond de Waddeneilanden is de laatste duizenden jaren niet veel veranderd. Wel hebben de eilanden en de zeegaten een geleidelijke verandering in hun positie ondergaan. Hoeveel deze landwaarts- en langs de kust gerichte opschuiving van de eilanden bedraagt is niet bekend. In de randzone langs de Pleistocene zandgronden is in Noord-Nederland een afwisseling van veen- en kleilagen te vinden (Roeleveld, 1974, Ter Wee, 1976, Griede, 1978, De Groot, 1987). De periode waarin zoetwater in de lagune grote invloed had op de afzettingssomstandigheden wisselde af met perioden waarin zout water de veenvorming onderbrak en klei-afzetting plaats vond. Toen 2500 jaar geleden de mens het kweldergebied ging bewonen en bebouwen werden al snel de eerste terpen opgeworpen. De hogere gebieden, de zogenaamde kwelderwallen, waren een ideale vestigingsplaats. Eeuwenlang kon de mens zijn positie in dit milieu op deze manier handhaven. Tien eeuwen geleden werden de eerste dijken aangelegd, een geweldig karwei wanneer we ons realiseren over welke gebrekkige hulpmiddelen men toen beschikte. Toch is deze activiteit succesvol gebleken. In de loop van de eeuwen werden ook zeearmen zoals Middelzee, Reitdiep en Fivel ingedijkt. Anderzijds gingen gebieden verloren, met name in de Dollard. Ook nu is de strijd tussen land en water niet gestreden. De zeespiegelstijging, die ten gevolge van het broeikaseffect voorspeld wordt, kan een grote bedreiging vormen voor de Waddeneilanden. Maar of dit echt gebeuren zal kunnen de wetenschappers nog niet zeggen. Uit het Nederlandse kustgebied

waren geen gegevens beschikbaar over veranderingen van de zeespiegelstand in de laatste drieduizend jaar. Onderzoek op de Duitse Waddeneilanden heeft aangetoond dat de zeespiegel 700 jaar geleden hoger stond dan tegenwoordig (Streif, 1986). Een door de R.G.D. uitgevoerd onderzoek lijkt dit niet te bevestigen; de zeespiegelrijzing is de laatste drie millennia langzaam maar gestaag doorgegaan.

Dankbetuiging

De directeur van de Rijks Geologische Dienst gaf toestemming voor de publicatie van dit artikel. Drs. P. Cleveringa deed zeer bruikbare suggesties voor het verbeteren van eerdere versies. De technische realisatie was in handen van mevrouw A. de Vries (tekstverwerking) en de heer M.A. Smakman (figuren).

Adres van de auteur
Rijks Geologische Dienst, district Noord
Postbus 85
8430 AB Oosterwolde

Literatuur

- Berg, M.W. van den & D.J. Beets (1987): Saalian glacial deposits and morphology in The Netherlands. -p. 235-251 in: J.J.M. van der Meer ed.: Tills and glaciotectionics of an Inqua symposium on genesis and lithology of glacial deposits, Amsterdam, 1986, Balkema, Rotterdam.
- Bowen, D.Q. and G.A. Sykes, (1988): Correlation of marine events and glaciations on the northeast Atlantic margin. Phil. Trans. R. Soc. London. B318, p. 619-635.
- Gans, W. de (1981) Fysisch-geografische streekbeschrijving nr.2 : Het gebied van de Drentsche Aa. -K.N.A.G. Geografisch Tijdschrift XV, p. 243-252.
- Griede, J.W. (1978): Het ontstaan van Frieslands Noordhoek. Proefschrift V.U. Amsterdam, Rodopi, 186 p.
- Groot, T.A.M. de (1987): Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000. Blad Heerenveen West (11W) en blad Heerenveen Oost (11O). -Rijks Geol. Dienst, Haarlem, 251 p.
- Rappol, M. (1985): Enkele nieuwe resultaten en een overzicht van het onderzoek naar de aard van steenorientatie in keileem. Grondb. en Hamer, p. 88-95.
- Rappol, M., S. Haldorsen, P. Jorgensen, J.J.M. van der Meer & H.M.P. Stoltenberg (1989): Composition and origin of petrographically-stratified thick till in the northern Netherlands and a Saalian glaciation model for the North Sea Basin. -Meded. Werkgr. Tert. Kwart. Geol. 26, p. 31-64.
- Roeleveld, W. (1974): The holocene evolution of the Groningen marine-clay district. -Berichten van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek, 24, 252 p.
- Ruegg, G.H.J. & J.G. Zandstra (1977): Pliozäne und Pleistozäne gestauchte Ablagerungen bei Emmerschans (Drenthe, Niederlande). -Med. Rijks Geol. Dienst, Nieuwe Serie 28, p. 65-99.
- Streif, H. (1986): Zur Altersstellung und Entwicklung der Ostfriesische Inseln. -Offa, Band 43, p. 29-44.
- Wee, M.W. ter (1962): The Saalian glaciation in the Netherlands. -Med. Geol. Stichting, Nieuwe Serie 15, p. 57-76.
- Wee, M.W. ter (1976): Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000, Blad Sneek (10 W, 10 O). -Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 131 p.
- Wee M.W. ter (1983): The Elsterian Glaciation in the Netherlands. p. 413-415 in: J. Ehlers (ed.) Glacial Deposits in North-West Europe, Balkema-Rotterdam.
- Wingfield, R. (1990): The origin of major incisions within the Pleistocene Deposits of the North Sea. -Marine Geology, 91, p. 31-52.
- Zagwijn, W.H. (1973): Pollenanalytic studies of Holsteinian and Saalian Beds in the Northern Netherlands. -Med. Rijks Geol. Dienst, Nieuwe Serie 24, p. 139-156.
- Zandstra, J.S. (1977): Geologische opbouw. -in: C.J. van Staalduinen (red.) Geologisch Onderzoek van het Nederlandse Waddengebied, Rijks Geol. Dienst Haarlem, p. 37-58.
- Zonneveld, J.I.S. (1975): Zijn de Noordnederlandse stuwwallen overreden of niet? -Berichten Fysisch Geografische Afdeling, nr. 9



Grondwatersystemen in Noord-Nederland

J.J. Delvigne

1. Inleiding

De sterk toegenomen belangstelling voor het grondwater in de laatste jaren is voor een deel uit nood geboren. De aanspraken die op grondwater worden gemaakt vanuit de drinkwatervoorziening, de landbouw, de industrieën, het natuurbeheer, zijn in omvang toegenomen en blijken lang niet altijd met elkaar te verenigen. Betroffen genoemde belangen in het verleden voornamelijk de kwantiteit van het grondwater omdat de kwaliteit als onveranderlijk werd beschouwd, momenteel komt ook de zorg om de kwaliteit nadrukkelijk in beeld (Langeweg,

1988). Die zorg betreft vooral de bedreiging van de grondwaterkwaliteit in verband met de drinkwatervoorziening en in gebieden die door grondwater worden gevoed, in verband met de samenstelling van natuurlijke vegetaties die aan grondwater zijn gebonden.

Kwantiteit en kwaliteit van grondwater hangen met elkaar samen via de stroming van het grondwater. Het grondwater doorstroomt in Noord-Nederland sedimentpakketten waarvan de geohydrologische eigenschappen mede bepalend zijn voor het volume van de stroming. De stroming is daar-

naast medebepalend voor kwaliteitseigenschappen doordat het de richting aangeeft waarin opgeloste stoffen worden getransporteerd, terwijl de doorstroomde pakketten als gevolg van oplossing en uitwisseling ook enige invloed op de chemische samenstelling van het grondwater hebben.

Als conceptueel model voor de ruimtelijke samenhang van het stromende grondwater wordt tegenwoordig gebruik gemaakt van het begrip grondwatersysteem of grondwaterstromingsstelsel (Engelen, 1984; Engelen et al. 1984), waarmee een ruimtelijk samenhangend geheel van bewegend