

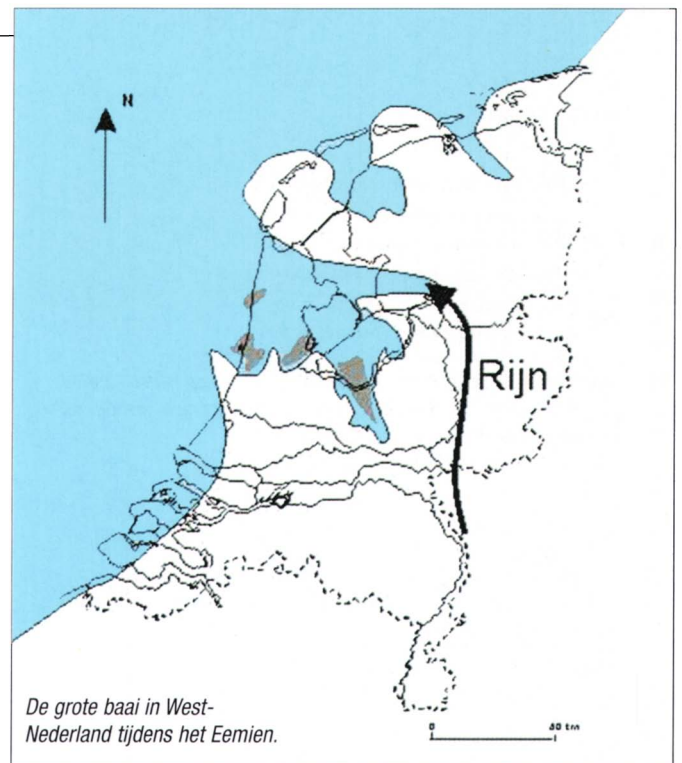
Van de kou van het Saalien naar de warmte van het Eemien: klimaatgeschiedenis vastgelegd in de bodem

door Dirk Beets

Dit artikel geeft een overzicht van de kennis van de laat Saalien en vroege Eemien afzettingen van Nederland, en probeert een beeld te geven over de wijze waarop uit sedimenten informatie over het klimaat wordt verkregen. Gezien de huidige verandering van het klimaat, onder meer ten gevolge van onze uitstoot van broeikasgassen, is het belangrijk om zoveel mogelijk gegevens over het klimaatverloop in het verleden te verzamelen om de natuurlijke variaties van het klimaat beter te leren begrijpen. Sedimenten uit de overgangperiode tussen de ijstijd van het Saalien (Riss) en het interglaciale Eemien zijn goed bewaard gebleven in de ondergrond van Nederland en geven een indruk van de complexe en abrupte wijze waarop het klimaat in ons land veranderde.

Het Saalien is de geologische periode waarin het landijs van de Baltische ijskap tot in midden-Nederland reikte; het Eemien is het daaropvolgende interglaciaal. Het Saalien is genoemd naar de Duitse rivier de Saale. Het Eemien is genoemd naar de riviertje de Eem in de Gelderse Vallei. De naamgever was Pieter Harting, buitengewoon hoogleraar aan de Universiteit van Utrecht en qua opleiding huisarts, die in de 19^e eeuw in kernen van waterboringen in de ondergrond van Amersfoort en Amsterdam ontdekte dat er op een diepte van enkele tientallen meters schelpenrijke sedimenten voorkwamen. Niet alleen schelpen van mollusken die vandaag de dag in de Noordzee leven, maar ook vertegenwoordigers van Lusitanische en zelfs Mediterrane fauna's. Hij begreep dat dit sedimenten waren die voor de laatste ijstijd waren gevormd en in 1874 publiceerde hij een artikel waarin voor het eerst het Eemien formeel werd gedefinieerd. Sindsdien is er nog veel gepubliceerd over deze afzettingen en in dit verband moet vooral het hoofd van de afdeling Laboratoria van de voormalige Rijks Geologische Dienst en buitengewoon hoogleraar aan de Vrije Universiteit van Amsterdam, prof. dr. Waldo Zagwijn, genoemd worden, die in een aantal publikaties de vegetatie gedurende het Eemien op basis van pollen heeft beschreven, en met behulp daarvan de klimaatontwikkeling in grote lijnen wist te schetsen.

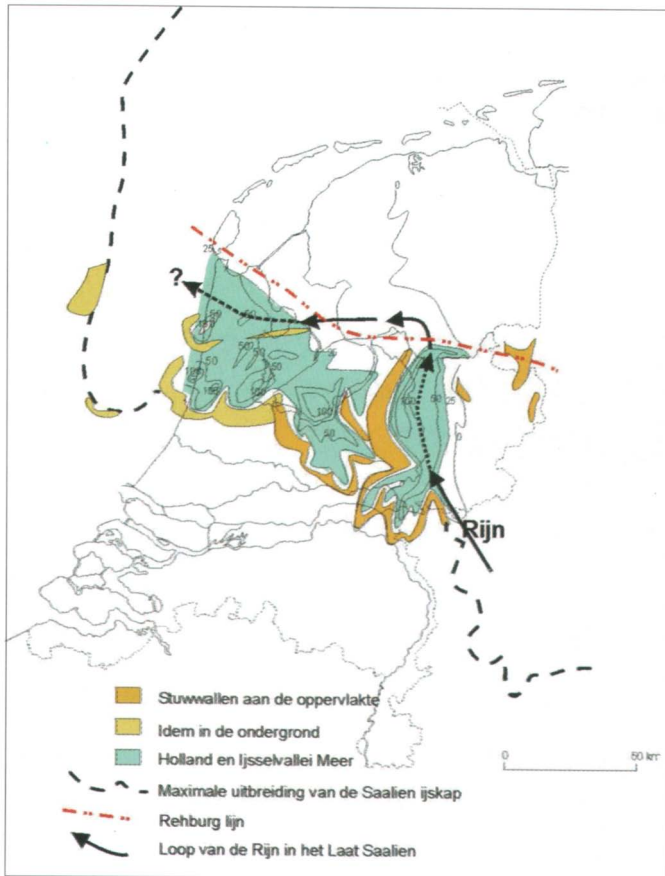
In de negentiger jaren van de vorige eeuw zette de Rijks Geologische Dienst een vijftal gestoken boringen in de ondergrond van Amsterdam in het kader van een nieuw Eemien-project. Een groot deel van de gegevens van dit project werden in 2000 in *Geologie en Mijnbouw* gepubliceerd samen met een aantal publikaties van buitenlandse collega's over hetzelfde onderwerp. Dit artikel maakt dankbaar gebruik van hun gegevens en van de gestoken boringen. De meeste studies werden verricht aan de boring Terminal, geplaatst dichtbij het Centraal Station langs het IJ, en naar deze boring zal hieronder veel verwezen worden.



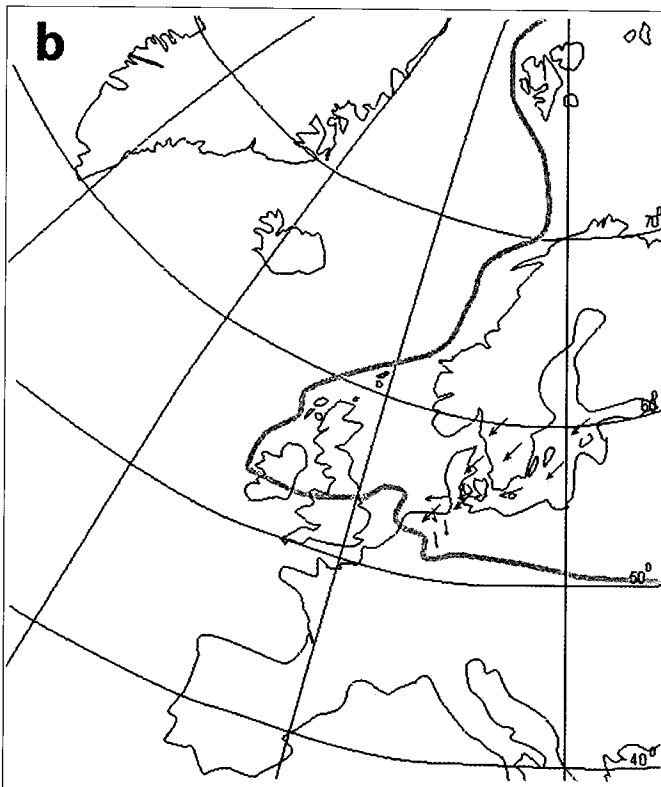
Het einde van de Baltische ijskap in Nederland

Alhoewel wij vroeger dachten dat de Saalien ijskap die tot in centraal Nederland reikte zich op een ordelijke manier terugtrok, enigszins vergelijkbaar met wat wij weten van gletsjers in de bergen, denken wij nu dat het verdwijnen van de ijskap minder systematisch, om niet te zeggen veel chaotischer verliep. Door het ontbreken van de mogelijkheid om te dateren is het volgende nogal speculatief, maar ik wil het u toch niet onthouden.

Wij vinden in Nederland in feite twee lijnen van eindmorenen. De meest duidelijke wordt gevormd door de stuwwallen in midden-Nederland, zoals de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe, de andere is de voortzetting van de Duitse Rehburglijn die in Nederland loopt tussen de stuwwallen van Ootmarsum en Oldenzaal in het oosten via Steenwijk en Gaasterland naar Texel (afb. 1). De eerste is vooral gekenmerkt door de stuwwallen, de tweede door dikke keileemafzettingen, en aangezien keileem bestaat uit door de ijskap meegevoerd materiaal en bij de rand van de ijskap afgezet wordt, denk ik dat het front van de ijskap in Nederland de langste tijd in de buurt van de lijn Oldenzaal – Texel gelegen heeft, in een min of meer stabiele positie, en



Afb. 1. Kaartje van Nederland met de stuwwallen, glaciaal uitgesuurde bekkens, de "Rehburg"lijn, Holland- en IJsseldal-meren na afsmelten van het ijs en de loop van de Rijn in het Laat-Saalien.

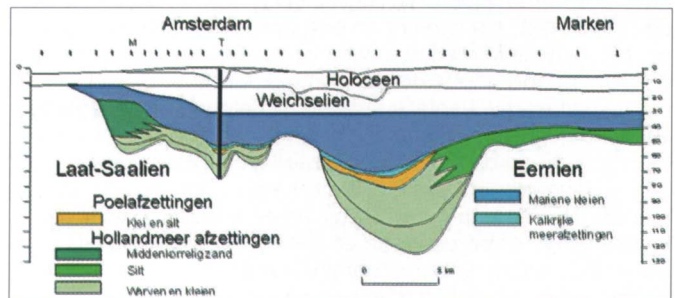


Afb. 2. De maximale uitbreiding van de Baltische en Britse ijskappen met aanvoerrichtingen van het ijs naar Nederland. Zwarte pijlen: Midden- en Zuid-Zweden; Rode pijlen: veronderstelde aanvoer van Oost-Baltisch materiaal.

dat de gletsjertongen die de stuwwallen tussen Haarlem en Nijmegen vormden als ijsstromen vanuit dit front het begin van het einde inluiden. Zulke ijsstromen bestaan dankzij veel smeltwater aan de basis van de gletsjer waardoor de wrijving met de ondergrond minder wordt en waarbij het gewicht van de ijsmassa gecompenseerd wordt door een hoge waterdruk aan de basis. Van de richting van drumlins en andere lineaties in de morfologie weten wij dat de hoofd-ijsmassa uit het noordoosten kwam – en dat is natuurlijk logisch bedenkend dat het Baltisch schild het centrum van de verijzing vormde –, maar zoals aangetoond door prof. Maarleveld hebben de ijsstromen in centraal Nederland een veel meer gevarieerde richting. Het meest opvallend hierbij is de laatste ijsstroom in ons gebied die vanuit het noord-noordwesten de lineaties van de Hondsrug vormde en tot ver in het Rijndal reikte. Door het werk van Zandstra, Schuddebeurs en andere verzamelaars van zwerfstenen uit het ijs weten wij dat deze ijsstroom veel materiaal van Oost-Baltische herkomst meenam, wat betekent dat deze stroom binnen de grote ijskap via de Oostzee en dwars over Denemarken ten N van de Nederlandse en Duitse Waddenzee belandde en van daaruit naar het zuiden bewoog (afb. 2). Deze complete ineenstorting van de ijskap is uiteraard het gevolg van klimaatsverandering; het wordt weer warmer. Door deze Oost-Baltische ijsstroom wordt de normale aanvoer van ijs afgesneden en zijn de ijskap en de gletsjertongen in onze contreien tot smelten gedoemd. Echte gegevens over het klimaat in die tijd hebben wij niet, maar dat verandert nadat het ijs gesmolten was.

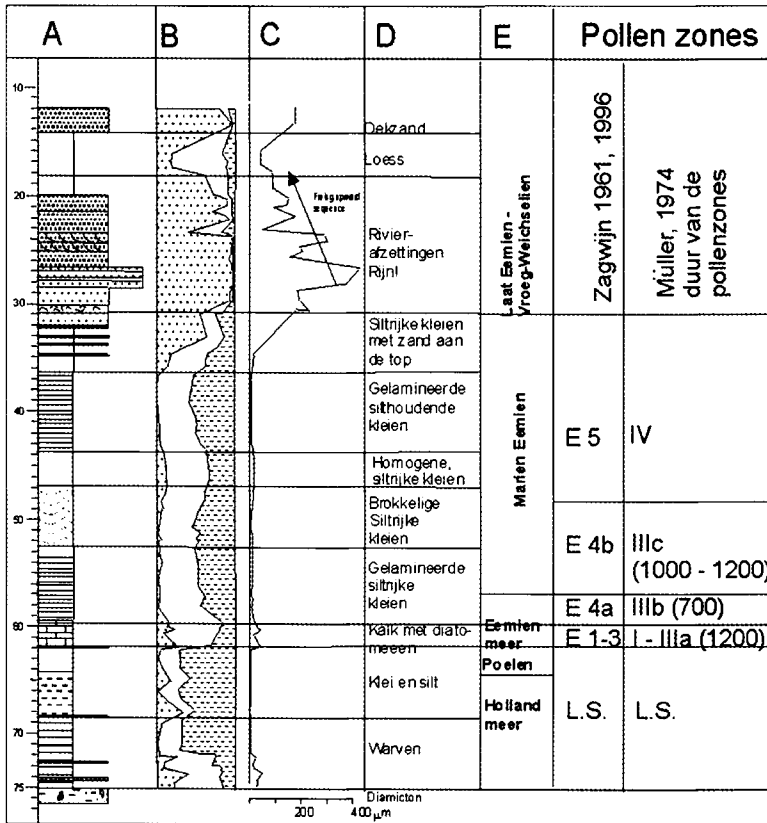
De Laat-Saalien meren

De ijskap en vooral de gletsjer-tongen hadden ons land sterk omgeploegd. Vooral het centrale deel van Nederland was hierdoor veranderd in een landschap van stuwwallen en gaten, waarvan enkele tot meer dan 100 m beneden NAP reikten. Naast grote en kleine stuwwallen aan de oppervlakte zoals de Veluwe, de Utrechtse Heuvelrug, de Holtenerberg, Montferland en nog vele andere, komen er in de ondergrond van Noord-Holland gestuwde afzettingen



Afb. 3. Doorsnede door het Bekken van Amsterdam tussen Marken en het Beatrix park in Amsterdam-Zuid. De boring Terminal bij de Amsterdamse haven (het IJ) wordt aangegeven met de verticale zwarte balk.

voor ten zuiden van Amsterdam en Haarlem, onder Castricum en onder Hoorn, alle door het ijs uitgesuurde en opgestuwde oudere afzettingen. De gaten die er zo waren ontstaan veranderden in meren nadat het ijs was gesmolten (afb. 1). Dankzij een aantal gestoken boringen in het glaciale bekken van Amsterdam (afb. 3) weten wij dat het meerniveau tot ~ 25 m beneden NAP reikte. Als je dan naar de diepteligging van de top van de Saalien keileem kijkt dan blijkt dat een groot gebied ten westen van de Veluwe onder water moet hebben gelegen. Dat is het Hollandmeer. Ten oosten van de Veluwe, waar het diep uitgesuurde IJsselbekken lag, heeft zich een tweede meer gevormd. De Rijn, die aanvankelijk door de ijstong naar het westen was afgebogen, mondt, na het afsmelten van het ijs, via de Oude

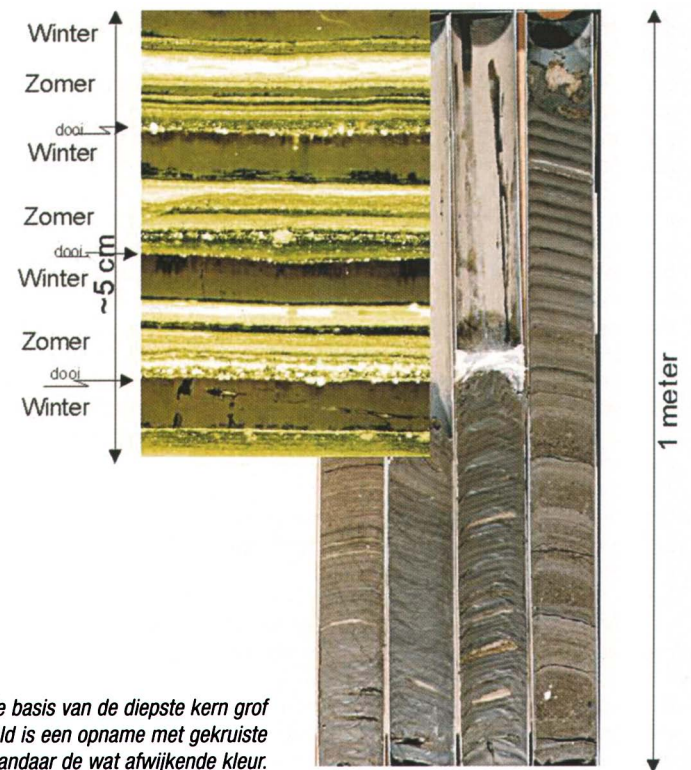


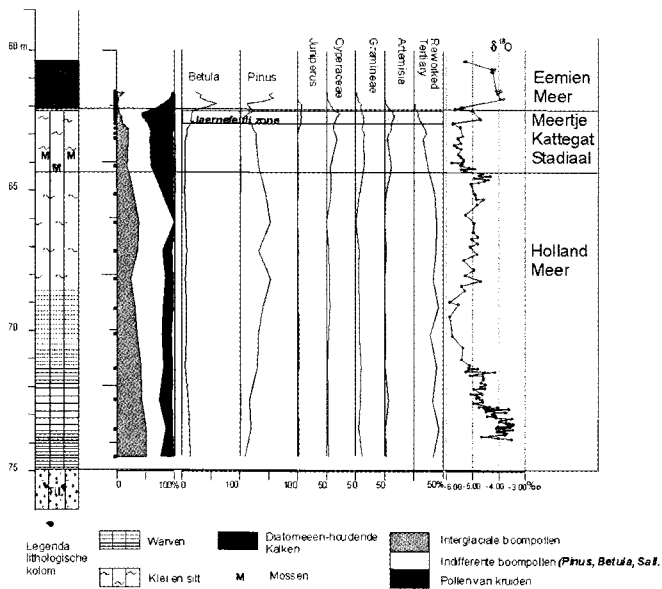
Afb. 4. Boring Terminal. A. lithologie; B. Verhouding zand, silt en klei; C. D50; E. Pollenzones.

IJsseltak in dit laatste meer uit, en, omdat de rivier op dat moment een groot deel van het smeltwater van de nog in Duitsland liggende ijskap afvoerde werd er zoveel sediment aangevoerd dat het grote diepe meer in een betrekkelijk korte tijd opgevuld werd. Via een overloop bij Zwolle kwam het water van de Rijn in het Hollandmeer waar het in suspensie zwevende materiaal, silt en klei, werd afgezet. De meren geven ons voor het eerst wat echte informatie over het klimaat, althans over de temperatuur. Dit dankzij het feit dat door het onttrekken van kooldioxide (CO₂) aan het water door fotosynthese van algen kalk wordt neergeslagen waaruit wij met behulp van een massaspectroscop de zuurstofisotoopverhouding kunnen bepalen. De zuurstofisotoopsamenstelling van deze kalk geeft informatie over de temperatuur die ter plaatse heerste. Het zou hier te ver voeren om uitgebreid in te gaan op de fractionatie van de zuurstofisotopen, maar omdat het de enige methode is om oppervlaktetemperaturen te reconstrueren zal ik proberen er kort iets over te zeggen. Zuurstof, het element O, heeft twee isotopen, ¹⁶O en ¹⁸O, die dezelfde chemische eigenschappen bezitten, maar waarbij ¹⁸O twee neutronen meer in de kern heeft en daardoor iets zwaarder is; ¹⁶O is verreweg de meest voorkomende isotoop. Dit geringe verschil in gewicht ligt aan de basis van de fractionatie van deze isotopen. Watermoleculen met de lichte isotoop (¹⁶O) verdampen makkelijker en eerder dan die met de zware isotoop (¹⁸O), terwijl bij condensatie, m.a.w. neerslag, de zware isotoop preferent het eerste verdwijnt. Met andere woorden: de isotoop-fractionering van zuurstof in de natuur hangt af van de temperatuur, zodat wij bij vergelijking van de verhouding van de zuurstofisotopen informatie krijgen over het klimaat. De sedimenten in het Hollandmeer bestaan geheel uit klei en silt aangevoerd door de Rijn, met daarbij tot 20 % in het meer gevormde kalk. De opeenvolging begint met een aantal

Afb. 5. Warven uit de afzettingen van het Hollandmeer. Rechts de kernen met aan de basis van de diepste kern grof materiaal, waarschijnlijk als "dropstones" uit ijsbergen gesmolten. Het linkse beeld is een opname met gekruiste nicols, vandaar de wat afwijkende kleur.

meters van warven: millimeter tot centimeters dikke siltlaagjes gescheiden door pure klei. Warven wijzen erop dat het meer gedurende een lange periode van het jaar bevroren was, zodat de klei in suspensie in het roerloze water kon bezinken (afb. 4 en 5). In de winter werden er vanaf de omringende stuwwal zandkorreltjes op het ijs geblazen, die bij de dooi naar beneden vielen en als projectieltjes op de klei vielen. Dus lange koude winters. Maar als wij naar de zuurstofisotopen van de kalk kijken blijkt er iets geheel anders. De isotoopverhouding van de kalk in de warven op zo'n 75 m diepte in de boring Terminal (afb. 6) ligt in de grootteorde van die van hedendaagse meerafzettingen en het moet dus ten tijde van de vorming van de kalk redelijk warm geweest zijn. Dat wordt begrijpelijk als wij bedenken dat algenbloei, het onttrekken van CO₂ aan het water, en dus kalkneerslag plaatsvindt in het voorjaar en de zomer. Ik denk dus dat in het Late Saalien het klimaat in de zomer alleszins redelijk was, maar dat de winters streng en koud waren, waarschijnlijk omdat er nog veel rondslingerende restanten van de ijskap als dood ijs het land in de winter als de zon laag stond tot een ijskast maakten. De werkelijkheid is altijd veel gecompliceerder dan je zou willen en dat blijkt ook uit het hier volgende. Kijken wij naar de zuurstofisotoopcurve dan zien wij dat tussen 75 en 70 m in de boring de waarden steeds negatiever worden. In eerste instantie interpreteer je dat als toenemende koude. Echter de sedimenten laten het tegenovergestelde zien: de duidelijke warvestructuur gaat geleidelijk verdwijnen en de kleilaagjes worden dunner, wat betekent dat de lange, koude winters met een dik bevroren meer tot het verleden gaan behoren. Hoe kan dat? Het water van het meer waarover de zuurstofisotoop-verhouding informatie geeft bestaat niet alleen uit neerslag, maar een groot deel van dat water komt uit de Rijn via de overloop bij Zutphen. Op dat ogenblik is de Rijn de enige rivier die het westelijke gedeelte van de Saalien-ijskap afwatert. De ijskap bevat veel lichte zuurstof en dat is de reden dat de





Afb. 6. Detail van boring Terminal met pollen en zuurstofisotoopverhouding van de laat-Saalien en vroeg-Eemien meerafzettingen onder Amsterdam.

curve naar grotere negatieve waarden verschuift. Je kunt in feite zien waar het eerste rivierwater het meer binnenkomt, namelijk op 73 m. Dus hier betekent de verschuiving van de curve niet dat het kouder wordt, maar dat de hoeveelheid smeltwater van de desintegreerde ijskap toenam. Vanaf 65,5 m gaat de curve weer naar lichtere waarden en dat betekent waarschijnlijk dat de hoeveelheid smeltwater van de ijskap nu afnam, waarschijnlijk omdat het ijsfront nu in Duitsland lag en het smeltwater afgevoerd werd door de rivieren Weser en Elbe. Op 64,30 m in de boring zien wij een plotselinge verandering in de zuurstofisotoopcurve, maar ook in de meersedimenten en vooral in de pollensamenstelling. Dat komt omdat het Hollandmeer is leeggelopen en alleen in de diepste delen van de depressies kleine meertjes en poeltjes zijn overgebleven. Wij weten dat omdat sedimenten uit deze periode alleen te vinden zijn in boringen in het diepste deel van het Hollandmeer; in boringen meer naar de rand, zoals Beursplein en De Mirandabad, ontbreekt deze opeenvolging. De mossen die in de boring gevonden zijn groeiden aan de rand van deze poeltjes en ook de opkomst van grassen, zeggen en als men ten koste van de vooral door de Rijn meegevoerde pollen van Tertiaire vegetatie en van dennen wijzen op een geringe grootte van de meertjes. Maar de pollen suggereren ook dat het veel kouder is geworden en dat wordt bevestigd door de zuurstofisotoopverhouding die op die diepte bijna 1 – 1,5 % lager wordt, hetgeen overeenkomt met een verlaging van de zomertemperatuur met ~ 4 °C. Eenzelfde koude periode zien wij tijdens de Weichselien-Holoceenovergang, de Jonge Dryas, en wordt verklaard door een verandering in het grootschalige stromingspatroon in de Atlantische Oceaan, waardoor het warme water van de Golfstroom vervangen werd door het koude water uit de poolgebieden. Deze verandering zou samenhangen met de aanvoer van grote hoeveelheden zoet smeltwater afkomstig van de ijskappen van Noord-Amerika, Groenland, Europa en Antarctica. Door onze Deense collega's werd dit koude interval het Kattegat Stadiaal genoemd.

Voor ik met de ontwikkeling van het klimaat verder ga moeten wij ons eerst nog afvragen waarom het Hollandmeer leegloopt en wat er met de Rijn gebeurt nu het grote meer is verdwenen. Er zijn twee opties om het leeglopen te verklaren. De eerste is dat wij aannemen dat er ergens in het westen een ijsdam het meer afsloot. Smelten van dit ijs zou

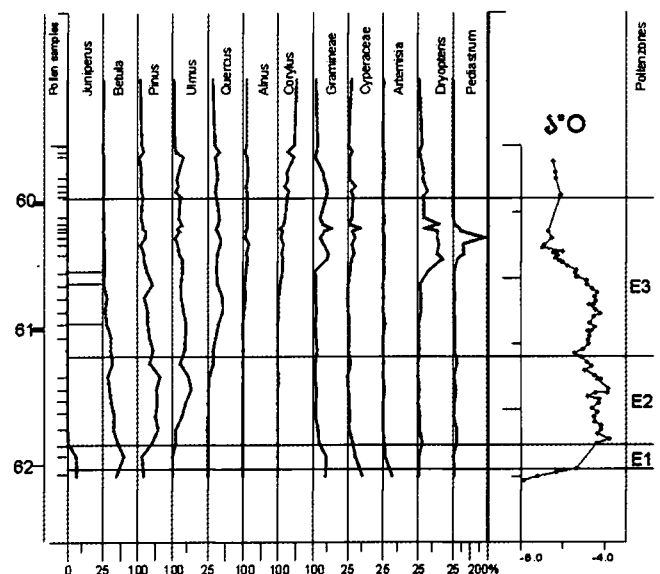
het leeglopen hebben veroorzaakt. De andere mogelijkheid is dat de door het ijs neergedrukte korst t.g.v. de isostatie omhoog komt, terwijl tegelijkertijd de voor het ijs opgewelfde korst, de *forebulge*, gaat dalen. Door het gewicht van het ijs wordt de aardkorst neergedrukt en verplaatst zich mantelmateriaal. Omdat ijs een soortelijk gewicht heeft van 1 en mantelmateriaal ongeveer 3 maal zo zwaar is zal een ijskap van 100 m dikte de korst ongeveer 30 m naar beneden verplaatsen. Als gevolg van het neerbuigen van de korst onder de ijskap wordt vóór het ijsfront de korst enigszins opgewelfd. Tijdens en na het smelten van het ijs zal de oude situatie hersteld worden en stijgt de korst waar eens het ijs lag en nu een meer is gevormd en zal de korst vóór het voormalige ijsfront dalen.

De Rijn was door het leeglopen van het Hollandmeer gedwongen over land verder te stromen en erodeerde een dal tussen Zutphen en de Kop van Noord-Holland. Dat dal is relatief diep (25 m) in het oosten en het IJsselmeer gebied, maar verdwijnt als morfologisch kenmerk meer naar het westen. Dit dal, Vechtdal genoemd, is nu, na ruwweg 140 000 jaren, nog duidelijk in de morfologie te herkennen als het laaggelegen gebied tussen Vollenhove en Steenwijk.

De Eemien-meren

Aan het einde van het koude Kattegat Stadiaal met de kleine meertjes en poelen wordt de temperatuur weer wat mensvriendelijker. Dat is de Jaernefeldtii zone genoemd naar het kiezelwiertje dat in deze sedimenten gevonden wordt. Dit wordt op zijn beurt gevolgd door een korte koude terugval, waarna de temperatuur snel oploopt naar de interglaciële waarden van het Eemien.

Hoe snel vond die overgang van ijs naar interglaciële warmte nu plaats? Warven zijn een jaargelaagdheid met een duidelijk verschil tussen zomer en winter. Dat geeft de mogelijkheid om jaren te tellen. In de onderste helft van de afzettingen van het Hollandmeer, waar warven goed ontwikkeld zijn, is tellen een fluitje van een cent. Het bovenste deel is moeilijker, maar hierin is nog wel te zien dat het ritme van de afwisseling niet veel verschilt van dat van het onderste deel, zodat wij met eenvoudig extrapoleren een redelijke schatting van de levensduur van het Hollandmeer hebben, namelijk 800 à 1000 jaren. De tijdsduur van het Kattegat Stadiaal is veel moeilijker te schatten. Op basis van onze eigen gegevens lukt dat niet en wij moeten daarvoor naar



Afb. 7. Pollen en zuurstofisotopen van de vroeg-Eemien afzettingen uit de boring Terminal.

boringen in de Atlantische Oceaan, waar deze periode duidelijk herkenbaar is in de chemische samenstelling van de foraminiferen en waar op basis van een gereconstrueerde sedimentatiesnelheid de duur van deze koude fase geschat wordt op ongeveer 1000 à 1500 jaren. Dus de overgang tussen het verdwijnen van het ijs en het begin van het interglaciaal bedraagt bij ons ongeveer 2,5 duizend jaren. Omdat de zeespiegel in het begin van het Eemien nog steeds laag stond en de door het ijs gevormde depressies nog niet geheel opgevuld waren, veranderden de laat-Saalien poelen in weer wat grotere meren, waarin kalken rijk aan zoetwater-diatomeeën werden afgezet. In de boring Terminal zijn deze afzettingen ongeveer 2 m dik. De pollenassociatie die erin voorkomt laat een prachtige ontwikkeling van de vegetatie zien met berken en dennen als pioniervegetatie, die snel opgevolgd wordt door iepen (*Ulmus*), eiken (*Quercus*) en de hazelaar (*Corylus*) als onderdeel van het gematigd loofbos (afb. 7). Aan de zuurstofisotoopverhouding ($\delta^{18}\text{O}$) kunnen wij zien dat ook de temperatuur snel steeg tot waarden die zelfs hoger zijn dan die in het Holoceen, en dat deze waarden al bereikt werden in pollenzone E2, niet veel meer dan 100 jaren na het Kattégat Stadiaal, de laatste koude fase aan het einde van het Saalien.

Eemien meerafzettingen bij het dorp Bispingen niet ver van Hamburg vertonen een jaargelaagdheid waaraan schattingen gemaakt zijn over de duur van de verschillende pollenzones in West-Europa door Müller in 1976. Met behulp van deze zwevende kalender weten wij dat dit Eemmeer in Nederland ongeveer 1000 jaren heeft bestaan, waarna de zeespiegel zodanig was gestegen dat het veranderde in een baai van de Noordzee. Wel zien wij aan de zuurstofisotopenverhouding en de vegetatie dat er kort voordat de zee het meer binnendringt er klimatologisch belangrijke veranderingen zijn. De $\delta^{18}\text{O}$ wordt meer negatief, wat betekent dat het óf kouder of natter óf kouder en natter werd. De pollen van de varens (*Dryopteris*) laten zien dat door deze verandering open plekken in het bos ontstaan. Vooral de opkomst van de zeggen (*Cyperaceae*) en de grassen (*Gramineae*) suggereren toenemende natheid, en *Pediastrum*, een kolonie-vormende alg, bloeit op door een grotere aanvoer van bouwstoffen ten gevolge van een grotere *run-off*. De grote piek van *Pediastrum* op ongeveer 60,30 m in de kern is echter het gevolg van het eerste binnenkomen van voedselrijk zeewater. Daarna is het dan ook afgelopen met de alg, omdat het water te zout wordt. Bij de bomen zien wij ook veranderingen, waarbij de snelle opkomst van de hazelaar ten koste van de eik opvalt. Toch zijn de veranderingen in het loofbos niet zo ingrijpend dat wij aan een belangrijke verkoeling van het klimaat moeten denken. Voorlopig nemen wij aan dat vooral toenemende neerslag en geringere verdamping de oorzaak van deze verandering waren. Wat de oorzaak van de verandering is en of deze blijvend is weten wij niet. De zuurstofisotoopverhouding wordt van nu af bepaald door die van de oceaan vermengd met zoetwater van de rivieren en geeft geen duidelijke informatie meer over temperatuur en neerslag. Nu geeft alleen nog vegetatie in de vorm van pollen informatie over het klimaat.

Het mariene Eemien

De Eemzee in Nederland is een grote, beschermde, ondiepe baai van de Noordzee met weinig stroming en golfwerking, waardoor afzetting van silt en klei overheerst. Desondanks is het water helder en groeide er tijdens lange perioden zee gras op de bodem door het ontbreken van turbulentie. Vooral de schelpenfauna van het Eemien is bekend, omdat daar talloze Lusitanische soorten (= soorten die ten zuiden van het Nauw van Calais leven) bij voorkomen. Omdat deze soorten tot in de Eemien-afzettingen van de Noorse Zee gevonden zijn was al vroeg bekend dat de temperatuur gedurende het Eemien gemiddeld hoger was dan tijdens het Holoceen. Dat betekent ook dat de zeespiegel hoger stond omdat er

minder landijs tijdens dit interglaciaal overbleef. In Nederland zien wij nu niets meer van die hogere zeespiegel. De hoogste afzettingen van het mariene Eemien liggen in ons land op ongeveer 8 m beneden NAP ten gevolge van de tektonische daling van vooral het westen van ons land. Opvulling van de baai nam ongeveer 4000 tot 5000 jaren. Zoals ook uit de boring Terminal blijkt werd Noord-Holland daarna de rivierlakte van een Rijntak tot in het Weichselien.

Conclusie

Gebaseerd op het tellen van de jaargelaagdheid in de sedimenten van het Hollandmeer en in de vroeg-Eemien sedimenten van Bispingen, en op de schattingen van het koude Kattégat Stadiaal gebaseerd op kernen in sedimenten van de Atlantische Oceaan, zouden er tussen het afsmelten van het ijs in Nederland en het binnenkomen van de zee in de bekkens van West-Nederland ongeveer 3000 jaren liggen. Wat opvalt is dat de omslagen in temperatuur abrupt zijn, zowel die van de warmte van het Hollandmeer naar de kou van het Kattégat Stadiaal, als van de laatste naar de warmte van het vroeg-Eemien. Het is zo langzamerhand duidelijk dat deze abrupte overgangen samenhangen met de veranderingen van het grootschalige stromingspatroon in de Atlantische Oceaan. Als de Golfstroom het warme water tot in de Noorse Zee brengt is ons klimaat aangenaam, maar als die circulatie stopt is Nederland in last.

Belangrijkste referenties

- Beets, C.J. & Beets, D.J., 2003. A high resolution stable isotope record of the penultimate deglaciation in lake sediments below the city of Amsterdam, the Netherlands. *Quaternary Science Reviews* 22, 195-207.
- De Gans, W., Beets, D.J., Centineo, M.C., 2000. Late Saalian and Eemian deposits in the Amsterdam glacial basin. *Geologie en Mijnbouw*, 79, 147-160.
- Müller, H., 1974. Pollenanalytische Untersuchungen und Jahresschichtenzählung an der eemzeitlichen Kieselgur von Bispingen/Luhe. *Geologisches Jahrbuch A-21*, 149-169.
- Ter Wee, M.W., 1983. The Saalian glaciation in the northern Netherlands. In: J. Ehlers (Ed.), *Glacial deposits in north-west Europe*. A.A. Balkema, Rotterdam, 405-413.
- Van den Berg, M.W. & Beets, D.J., 1987. Saalian glacial deposits and morphology in the Netherlands. In: J.J.M.v.d.Meer (Ed.), *Tills and Glaciotectonics*. A.A. Balkema, Rotterdam/Boston, 235-253.
- Van Leeuwen, R.J.W., Beets, D.J., Bosch, J.H.A., Burger, A.W., Cleveringa, P., Van Harten, D., Herengreen, G.F.W., Kruk, R.W., Langereis, C.G., Meijer, T., Pouwer, R., De Wolf, H., 2000. Stratigraphy and integrated facies analysis of the Saalian and Eemian sediments in the Amsterdam-Terminal borehole, the Netherlands. *Geologie en Mijnbouw* 79, 161-196.
- Zagwijn, W.H., 1961. Vegetation, climate and radiocarbon datings in the late Pleistocene of the Netherlands. Part I. Eemian and early Weichselian. *Mededelingen van de Geologische Stichting* 14, 15-45.
- Zagwijn, W.H., 1996. An analysis of Eemian climate in western and central Europe. *Quaternary Science Reviews* 15, 451-469.