

Ontwikkelingen in de Kwartair-geologische opvattingen over ons land na Starings proefschrift van 1833:

Herkenning van de glaciële morfologie in de periode van Lorié, eind 19^e eeuw, tot de 21^e eeuw

Erno Oele

E. Oele, Kagerdreef 188, 2172 HR Sassenheim

W.C.H. Staring (1808-1887) besteedt in zijn proefschrift 'De geologia patriae' (Over de Geologie des Vaderlands; Staring, 1833) onder andere nadrukkelijk aandacht aan de in zijn tijd nog slecht begrepen ontstaanswijze van diluviale (Pleistocene) afzettingen. In een eerdere bijdrage (Grondboor & Hamer 55, 1) over de ontwikkeling van de kennis omtrent de Nederlandse glaciële verschijnselen is aandacht besteed aan de periode van 1800 - 1880 waarin de overstap van de 'catastrofetheorie' naar de 'landijstheorie' gemaakt werd. De *Vader van de Nederlandse geologie* Staring speelt daarin een centrale rol. Vastgesteld werd dat Staring waarschijnlijk in 1867 de landijstheorie heeft aanvaard, acht jaar vóór die in Noordwest-Europa algemeen ingang vond. Echter, men kende de dynamiek van een landijsmassa onvoldoende om zich een goede voorstelling te kunnen maken van zo'n oprukkende ijsmassa, laat staan van de ingrijpende invloed op de morfologie van ons land. Staring kon de theorie dan ook moeilijk uitdragen of vertalen naar waar te nemen verschijnselen. In de 80'er jaren van de 19^e eeuw leidt acceptatie van de ijsbedekking tot een eerste herkenning van de glaciële terreinvormen in Nederland, maar het zal meer dan een eeuw duren vóór het beeld min of meer volledig is. Dan nog blijft de reconstructie van de glaciële geschiedenis vragen oproepen.

Na Staring: nieuwe impulsen voor geologisch onderzoek

Starings geologische kaart van Nederland 1 : 200.000, verschenen tussen 1858 en 1870, had in de ogen van de beleidsmakers onvoldoende economisch profijt opgeleverd. Daarom krijgt geologisch vervolgonderzoek geen enkele steun van hogerhand. Gelukkig komen er in de 19^e eeuw drie nieuwe impulsen voor wetenschappelijk geologisch onderzoek, dat onder andere bewijzen voor de juist geaccepteerde landijstheorie zal gaan opleveren. In de kort geleden verschenen publicatie 'De ontdekking van de ondergrond' (Faasse, 2002) wordt uitvoerig ingegaan op de geschiedenis van het geologisch onderzoek na Staring in de 19^e eeuw.

1. De instelling van drie leerstoelen in de aardwetenschappen

Allereerst is er de instelling van drie leerstoelen in de aardwetenschappen krachtens de Wet op het Hooger Onderwijs van 1876 en de benoeming van de hoogleraren A. Wichmann (Utrecht), K. Martin (Leiden) en F. van Calker (Groningen). Met hun studies van zwerfstenen tonen met name beide laatste warme belangstelling voor de Pleistocene afzettingen.

2. De benoeming van dr. J. Lorié in Utrecht

Niet lang daarna, in 1884, volgt de benoeming van dr. J. Lorié (1852-1924; Afb. 1) tot privaat-docent aan de Universiteit van Utrecht. Hij zal door zijn tomeloze werkkraft en gedegen veldonderzoek met oog voor nieuwe geologische inzichten speciaal de Kwartair-geologie van Nederland uitzonderlijke diensten bewijzen.

Spoedig verschijnen van zijn hand belangrijke publicaties (o.a. Lorié, 1887) over wat wij nu het glaciële landschap noemen. Het belang van de artikelen kan niet gemakkelijk worden overschat. Hij heeft talloze ontsluitingen in vrijwel alle stuwwallen gezien en nauwkeurig beschreven. Lorié doorkruist niet alleen Midden- en Oost-Nederland, maar ook Noord-Nederland, waar hij diverse ontsluitingen in zogeheten keileemopduikingen bezoekt.

Zijn bestudering van al die ontsluitingen en van vele boringen over het gehele land verspreid, biedt inzicht in de ruimtelijke opbouw van het landschap en de niet-ontsloten ondergrond. De aanpak van Lorié betekent de grote stap van het tweedimensionale geolo-

Summary

After acceptance of the glacial theory in northwestern Europe (1875), gradually the morphological expression of a former landice cover is being recognized. Endmoraines, pushmoraines and related phenomena like eskers and ice marginal valleys are observed in the field. Increasing information from the subsoil reveals the presence of glacial valleys flanked by pushmoraines and refilled with meltwaterdeposits. At first, such valleys are thought to represent former river valleys deepened by the landicemass. When their outline becomes better known it is concluded that actually the valleys are glacial basins, of which five are found in the central Netherlands. In the subsoil of the adjacent North Sea the presence of pushmoraines and glacial basins is established as well.

The landice is supposed to have spread out over the Netherlands from the northeast to the southwest. During phases of standstill two or more series of pushmoraines had been formed. In the middle of the 20th century on the contrary the general opinion holds that five series of pushmoraines have been formed during the retreat of the landice. In both views formation of the glacial basins received no special attention, because they were considered as glacially eroded river valleys. These would have been formed during the maximum extension of the landice.

Erosion of the glacial valleys as well as the glacial basins was ascribed to the pushing power of the icemass. The idea found further support when the sudden spreading of glaciers (glacial surge) had been observed.

Already in the middle of the 20th century the coarseness respectively fineness of the subsoil under the glacier has been put forward to explain the difference between the glacial landscapes of the northern and central Netherlands. Growing insight in the behaviour of glaciers confirms this idea: meltwater production and the related drainage system as well as the ability of the subsoil to react thereupon are now considered as determining factors for the way of deformation of the subsoil during surging phases. In this way the difference in the geohydrological structure of the subsoil between the northern- and the Central-Netherlands explains the different glacial landscapes of the two areas.

Recognition of the glacial morphology in the course of time is reflected in the subsequent maps depicting the glacial elements (Fig. 5). The most recent one, presented on Fig. 6, has been compiled especially at the occasion of the opening of the new building of the National Geological Survey.



Afb. 1. Lorié in het veld (Bijdrage van Herman van Amsterdam en Peter van der Voort in de Woensdagkrant Duin- en Bollenstreek dd 28.03.01).

Een vreemde ontdekking op 21 maart 1912

Afgelopen week schreef ik in dit blad al een inleidend verhaaltje over het zogenoemde 'verzonken gat te Hillegom' en ik meldde daar in deze eerste aflevering van TOEN nog op terug te zullen komen. Bij deze. Nog even uw geheugen oprispen.

Op 21 maart 1912 ontdekte een landarbeider, die werkzaam was voor bloembollenkweker Walkers aan de Meerstraat in Hillegom, dat hij bij het spitten op 30 centimeter diepte op papperige grond was gestuit. Hij riep zijn baas erbij en diens mond viel open van verbazing. Hij ontdekte een gat in de grond en wat hij er ook in stopte, hij voelde maar geen bodem.

Er kwam spoorlags een bekende geoloog naar Hillegom – doktor J. Lorié – en die stelde een diepgaand onderzoek in. Een andere theorie was dat zich tussen de Noordzee en de Kagerplas, op grote diepte allerlei onderaardse watermassa's bevonden en dat het Hillegoms gat wellicht loodrecht in verbinding stond met zo'n dieptemeer. Maar dat was allemaal gissen en doktor Lorié moest licht in de duisternis zien te brengen.

Hij bracht eerst het gat en directe omgeving goed in kaart. De grond ter plaatse bestond uit een laag zand van 30 centimeter dikte en daaronder een veenlaag van om en nabij de drie meter en daaronder weer een dikke laag (5 meter) van oude zeeklei. Maar wat had dat alles te maken met het gat? De geoloog raakte bij toeval in gesprek met 'den ouden heer Van Waveren die nog schaats heeft gereden op het Haarlemmermeer'. En die had zo zijn eigen verklaring voor deze, wat werd genoemd, aardval. Namelijk dat hier sprake was van een aar naar de Haarlemmermeer. Volgens Van Waveren liep bij menig stuk bollenland dat aan de kant van de duinen was gelegen, het water 'schuin omlaag' naar de Haarlemmermeer. Lorié citeert in zijn verslag de heer Van Waveren als volgt: 'Jaren geleden hebben Jan van den Berg en Arie van Driel langs het pad, dat naar de Cruqius voert, eene sloot gegraven en die vol water gepompt. Maar jawel, het water liep weg. Naar de Haarlemmermeer natuurlijk!'

De geoloog kon zich - onder voorbehoud - wel vinden in die theorie. Lorié kwam nog een aantal keren terug naar de 'plek des onheils' en deed ook onderzoekingen in de omgeving. Alle inspanningen resulteerden in een wetenschappelijke verhandeling. Daarin viel ook te lezen dat een soortgelijke gebeurtenis als in Hillegom zich ook al eens had afgespeeld bij het Betsy Hof in Lisse, ter hoogte van wat toen nog heette de Lisser Dwarsweg. Daar was in mei 1911 een wel geslagen en er kwam in plaats van water een enorme hoeveelheid zand uit opstijgen! Volgens zeggen wel tien karrenvrachten.

Wat de korte studie van Lorié leerde is dat onder de Duin- en Bollenstreek in grote hoeveelheden volop water stroomt en dat dat water hier en daar voor verrassingen zorgt, zoals op het land van kweker Walkers.

Zo'n situatie als in 1912 heeft zich – naar mijn beste weten – daarna niet meer voorgedaan in de Duin- en Bollenstreek. Wel vertelde iemand mij onlangs een verhaal dat mij direct weer deed denken aan dat onderzoek van doktor Lorié. Hij wees mij er op dat wie erg goed oplet, kan zien dat er in de sloten in deze regio sprake is van een werking van eb en vloed. Het scheelt maar een paar centimeter maar bij vloed staat het water iets hoger in de sloten dan bij eb. Wellicht zijn er lezers die ook iets bijzonders te melden hebben over de bijzondere getijdestromen onder onze streek. Laat het even weten.

gische oppervlaktebeeld naar het driedimensionale, waar Staring (1863) al voor pleitte, maar in het geheel niet aan toe was gekomen.

De betekenis van Lorié voor de ontwikkeling van de geologie in Nederland is zeker zo groot als die van Staring. Voor zijn verdiensten wordt hij onderscheiden met een eredoctoraat van de Technische Hogeschool te Delft. Een verslag van de gebeurtenis vindt men in het KNAG tijdschrift (KNAG, 1912). Anecdotisch is dat prof. Jonker in zijn toespraak bij de uitreiking van de bul Lorié aanspoort een nieuwe 'Bodem van Nederland' te schrijven, want die waaraan Van Baren (op dat moment) werkt (citaat) 'is te uitgebreid en te duur en zal zeker niet spoedig voltooid zijn'. Het kan bijna niet anders of van Baren was getuige van deze oproep!

Bij het bereiken van de zeventigjarige leeftijd wordt Lorié benoemd tot Ridder in de Orde van de Nederlandse Leeuw, ter gelegenheid waarvan Van Baren (1922) sans rancune een artikel aan de persoon Lorié wijdt.

3. De instelling van de Commissie voor Geologisch Onderzoek

In 1889 volgt - ongetwijfeld door toedoen van de nieuwe hoogleraren en de eerste publicaties van Lorié - de instelling van de Commissie voor Geologisch Onderzoek door de Koninklijke Akademie van Wetenschappen, waarvan K. Martin lid was. Het wordt de taak van de Commissie, bestaande uit een paleontoloog, een scheikundige en een waterstaatsingenieur, ervoor te zorgen dat zo veel mogelijk geologische informatie bijeengebracht wordt uit ontsluitingen en boringen. Veel ontsluitingen, blootgelegd bij de eerdere aanleg van het spoorwegnet, zijn blijkbaar nog goed te bestuderen. Daarnaast vinden er uitgebreide boorcampagnes plaats ten behoeve van een betere drinkwatervoorziening als reactie op de cholera-epidemie van 1867 in Amsterdam. Op grond van buitenlandse ervaringen verwacht Staring (1860, p. 399) al dat juist dit soort werken zal bijdragen aan het vergroten van het geologisch inzicht.

De Akademie biedt de Commissie de gelegenheid de onderzoeksresultaten te publiceren in haar jaarlijkse Verhandelingen onder de titel 'Mededelingen omtrent de geologie van Nederland; verzameld door de Commissie voor het geologisch onderzoek'. Tot 1917 komen veertig van zulke mededelingen tot stand, die te

beschouwen zijn als wetenschappelijke verhandelingen.

Herkenning van de belangrijkste glaciële terreinvormen

1. Stuwwallen

Lorié is de eerste die sporen van de ijsbedekking in het Nederlandse landschap vaststelt. Hij constateert dat in veel van de ontsluitingen in Midden-Nederland lagen scheefgesteld zijn, die bovendien aan de bovenzijde ombuigingen kunnen vertonen (Afb. 2). In een aantal gevallen geeft hij specifiek aan dat het om scheefstelling van Rijndiluvium gaat (bij Rhenen en Apeldoorn o.a.). Op deze lagen rust discordant het gemengd diluvium, het mengsel van zuidelijk Rijn- en Maas-materiaal met Scandinavisch materiaal, en daarop liggen soms weer smeltwaterafzettingen en grondmorene. De smeltwaterafzettingen zijn zijns inziens afkomstig van de naderende ijsmassa. Wellicht verwarrend noemt hij dit vóór de ijsmassa neergelegde materiaal 'praeglaciaal', een term die later, zoals Van Cappelle in 1896 al doet, gebruikt zal worden voor materiaal ouder dan de afzettingen van het Saalien-ijds. Lorié onderkent verder structuren in de grondmorene, die aangeduid worden met de Engelse term 'contorted drift'. Het gaat hierbij om vervormingen in de grondmorene die teweeg zijn gebracht door het eroverheen bewegende landijs. Zo krijgt wat voor Staring nog een chaotisch geheel van vloedafzettingen was, door de nieuwe waarnemingen structuur.

Lorié bepaalt de helling en strekking aan de scheefgestelde lagen, die beide over korte afstand sterk kunnen veranderen. Hij kan zich eerst niet goed voorstellen dat de variatie in de strekkingsrichting rijmt met stuwing door landijs. Zo schrijft hij (Lorié, 1887, p. 424): 'Als voorstanders van de Landijshypothese waren wij aanvankelijk geneigd er den invloed van het naderende Landijs in te zien, dat den voor zich liggende bovengrond plooid en voor zich uitschoof; wij kunnen ons, die verklaring aannemende, evenwel de verschillende valrichtingen niet goed verklaren'. Een bijkomend probleem vormt het ombuigen van de bovenkanten in steeds weer andere richtingen. Lorié (1887, p. 427) concludeert vervolgens 'De heuvelachtigheid van ons Diluvium is dus zowel een gevolg van oprichting der lagen in het Praeglaciële Diluvium als van de ijsbedekking en ook van latere erosie door rivieren en beken...'. Kortom, onze stuwwallen zijn opge-

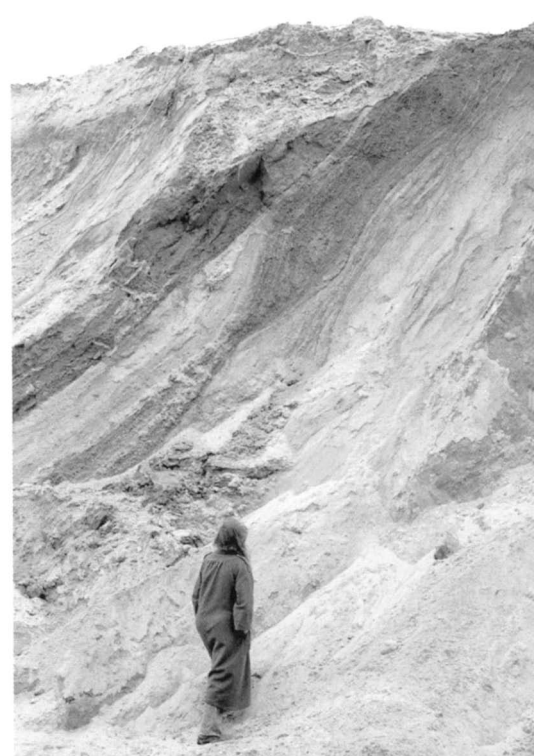
bouwd door tektonische scheefstelling van horizontaal afgezette lagen die vervolgens deels zijn geërodeerd en uiteindelijk bedekt door smeltwaterafzettingen met in het laatste stadium een ijsbedekking.

Als eerste durft Van Cappelle (1896) in de scheefstelling het effect van de druk van het landijs te zien; hij gaat zelfs zover de heuvelrug Rhenen-Amersfoort-Huizen als een eindmoreneboog te beschouwen. Later begrijpt ook Lorié dat één en ander een gevolg moet zijn van stuwing door landijs. Hij verklaart dan de sterke wisselingen in de strekkingsrichtingen van de stuwwal aan het tot op kleine schaal boogvormig front van het landijs (Lorié, 1904: 'ik aarzelde toen [1887] deze oprichting toe te schrijven aan de persing van het landijs, doch ben van die aarzeling geheel teruggekomen'). Hij sluit zich bovendien aan bij de mening van Van Cappelle dat de Utrechtse Heuvelrug een eindmoreneboog is, die, zoals hij later constateert, via Nijmegen doorloopt tot Krefeld (Lorié, 1906).

Het lijkt lang te duren voor enkele gedetailleerde profielen door een Nederlandse stuwwal worden gepubliceerd. Wanneer door de Arnhemse stuwwal bij park Sonsbeek een weg wordt aangelegd, ontstaat een zeldzaam mooie ontsluiting van gestuwde afzettingen. Hoewel ombuigingen niet zijn te zien, interpreteert Oestreich (1912) op de getekende profielen het pakket als geplooid. Kort hierop presenteert Tesch (1915a) een geologische kaart van het Rijk van Nijmegen met de verbreiding van de stuwwallen in het gebied.

Herkomst van het woord 'stuwwal'

Zoals gezegd hebben beiden, Van Cappelle en Lorié, zich gerealiseerd dat hun eindmoreneboog, lopend van Huizen via de Utrechtse Heuvelrug tot Krefeld, overwegend bestaat uit gestuwde oudere formaties. Het is dan ook geen eindmorene in de ware zin des woords, zoals door latere auteurs zal worden betoogd. Van Baren (1907) noemt dezelfde rug daarom al meer correct een stuwmorene. Voor alle Nederlandse heuvels neemt men aan dat zij niet tijdens een stilstandsfase zijn gevormd, maar juist door stuwing gedurende de groeifase. Daarom dekt de term 'stuwwal' het verschijnsel beter. Er wordt wel verondersteld dat deze term zou zijn geïntroduceerd in het Eindverslag van de Dienst voor de Rijksopsporing van Delfstoffen (Rijks Opsporing van Delfstoffen, 1918,



Afb. 2. Door stuwing steilstaande lagen in de groeve de Dijkersberg (Kwintelooijen). Foto Wim Hoogendoorn, Provincie Utrecht.

p. 141), maar Tesch (1915a, 1915b) gebruikt de term al zonder nadere aanduiding in twee oudere publicaties. Desniettemin blijft men slordig met de begrippen stuwwal en morene omgaan. In 1927 klaagt Tesch 'Nog dikwijls worden stuwwal en eindmoreene niet scherp genoeg uiteengehouden en worden ze beide als vormen van eindmoreene vermeld, hetgeen verwarring sticht'.

Veluwehorst, IJsselslenk en Gelderse Vallei slenk

Wij zouden uit het voorgaande kunnen afleiden dat rond 1915 inmiddels de communis opinio is, dat de hoge ligging van de Veluwe voortkomt uit de landijsbedekking. Dat is zeker niet waar. Zelfs twaalf jaar na zijn artikel over het Rijk van Nijmegen voelt Tesch (1927) zich geroepen nog eens de argumenten op een rij te zetten waarom sprake is van een stuwwallenlandschap en niet een tektonisch hoog. De wetenschapper Tesch concludeert dat er voldoende argumenten zijn om voor het ontstaan van het landschap de landijsbedekking als werkhypothese (sic!) te aanvaarden. Hij sluit evenwel niet uit dat postglaciële en Holocene bodembewegingen het hoogteverschil tussen de toppen van de Veluwe stuwwallen en de glaciële dalbodem in de IJsselslenk hebben vergroot. Zo komt hij nog enigszins tegemoet aan het tektonisch Veluwehoog dat Van Waterschoot van der Gracht (1913) veronderstelde.

Het onderzoek van de Dienst voor de Rijksopsporing van Delfstoffen in

Zuid-Nederland toont de aanwezigheid van de Centrale Slenk aan met naar Lorié's mening juist in het verlengde ervan de Gelderse Vallei. Het is voor hem evident, dat de Vallei in aanleg het noordelijk deel van dezelfde slenk vertegenwoordigt. Deze opvatting verwoordt hij in een tweede artikel over de geologische bouw van de Vallei (Lorié, 1916). Beide dalen ter weerszijde van de Veluwe zouden in aanleg tektonisch zijn.

De gelijkmatige diepteligging van de bovenkant van het Midden-Pliocéen in Midden-Nederland overtuigt Tesch allerminst van het bestaan van een tektonische structuur. Tesch neemt aan dat het oprukkend landijs is binnengedrongen in bestaande, betrekkelijk ondiepe dalen, zonder dat met zoveel woorden te zeggen er vanuit gaand dat die niet gerelateerd waren aan tektonische bewegingen. Zoveel jaren later bevestigt de breukenkaart van Van Montfrans (1975) dat er inderdaad geen aanwijzingen zijn voor een tektonische invloed.

Dat er zo lang aan tektonische invloeden wordt gedacht schrijft prof. Aart Brouwer (pers. med.) toe aan het gezag van Van Waterschoot van der Gracht en het grote stempel dat hij op het geologisch denken drukte. Vooral diens ervaringen in Zuid-Nederland, die Tesch trouwens deelde, hadden aangetoond dat tektonische bewegingen de oppervlaktegeologie van Nederland sterk hebben kunnen bepalen. Bovendien heeft Tesch zelf, als een van de eersten, de aanwezigheid en ligging van horsten en slenken afgeleid uit verschillen in de oppervlaktegeologie.

Stuwwal-onderzoek rond 1950 en daarna

Zo rond het midden van de 20^e eeuw neemt het onderzoek aan stuwwallen een grote vlucht. Aandachtspunten zijn daarbij de bij stuwing betrokken formaties, wijze van vervorming, stuwingsrichting en fasering. De neerslag vinden wij in onderstaande interessante en belangrijke publicaties:

- De Jong (1952) over de Archemerberg, waar verschubbing van het gestuwde pakket uit blijkt.
- Maarleveld (1953, 1961) over stuwingsrichtingen en fasering op de Veluwe.
- Ter Wee (1962) met de conclusie dat bij Steenwijk en Hoogeveen zowel oudere formaties als keileem gestuwd zijn en dat de keileemopduikingen in feite stuwwallen vertegenwoordigen.



Afb. 3. De Hoge Berg op Texel, een zogeheten keileemopduiking (uit 'Texel Het Vogeleiland' van J. Drijver, 1e druk 1934).

- Ruegg (1981) over o.a. de gestuwde Onder- en Midden-Pleistocene afzettingen in de groeve Kwinteloijen bij Rhenen. Het is een onderdeel van de complete beschrijving van de groeve die hij met Zandstra verzorgde (Ruegg & Zandstra, 1981). Verder hun beider eerder onderzoek (Ruegg & Zandstra, 1977) in de groeve bij Emmerschans. De jongste beschrijving van Ruegg & Burger (1999) betreft die van de opbouw van de stuwwal bij Maarn in ons eigen blad Grondboor & Hamer, een waardevolle vergroting van het inzicht in de 'stuwwal'.
- Van Balen & Kievits (1989) over structuur en sedimentologie van een stuwwal groeve bij Nijmegen.
- Kluiving, (1994) over de structuur en genese van de Itterbeck-Uelsen stuwwal uit de Rehburger fase, ten noorden van Almelo.
- Van der Wateren (1995) Over glaciotectoniek en sedimentologie van stuwwallen, met de allerlaatste inzichten in de genese van stuwwallen.

Het vanaf 1965 lopende geologisch onderzoek op het Nederlands deel van de Noordzee (ook voor zo'n onderzoek pleit Staring reeds in 1860!) heeft daar verwachte stuwingsverschijnselen aan het licht gebracht. Er zijn evenwel geen stuwwallen aanwezig die de Midden-Nederlandse in omvang evenaren. Dit past in het beeld van hun afname in grootte naar het westen (Oele, 1971; Laban, 1995).

2. Keileemopduikingen en eindmorene's

Het voorkomen van keileem wordt in de oudere literatuur veelvuldig gesignaleerd en na acceptatie van de landijsstheorie zonder meer met een ijsbe-

dekking in verband gebracht. Ja, zelfs een verklaring voor de keileemopduikingen van Noord-Nederland (Afb. 3) laat niet lang op zich wachten. Lorié noemt ze in 1887 al 'brokstukken der eindmorene', terwijl Van Cappelle (1890, 1895) een aantal opduikingen als deel van één moreneboog ziet. Merkwaardigerwijs blijven zij, en zeker hun oorsprong, een onderbelicht onderwerp. Niemand komt terug op het eindmorene karakter, behalve dat op een stuwwallenkaart naar Lorié (in Escher, 1916, herkomst van de kaart niet nader aangegeven) de opduikingen van Urk, Wieringen en Texel zijn aangegeven als bestaande uit morenemateriaal.

Evenmin bestond er kennelijk vanuit geomorfologisch gezichtspunt veel aandacht voor, want ook op een kaart van Hol (1936) gewijd aan het glaciële reliëf, ontbreken de opduikingen. Tenslotte zet Brouwer (1950) alle bekende opduikingen, letterlijk, op de kaart. Hij stelt vast (citaat) 'dat de eindmorene geheel in het vergeetboek raakte', toen men de aard van de Midden-Nederlandse stuwwallen leerde kennen. Door Brouwer wordt opnieuw geconcludeerd dat het om een eindmorene gaat die van Oud-Lutten langs het Drentse keileemplateau, via Steenwijk, Gaasterland en Wieringen naar Texel loopt. Hij geeft aan dit eindmorenestadium de naam 'Drentestadium'. Vooruitgeschoven ijslobben tijdens dit stadium ontwikkelden de opduikingen tussen Vollenhove en Urk.

Latere onderzoekers, zoals Zonneveld (1958) en Ter Wee (1962), gaan met zijn zienswijze mee. Aan de hand van onderzoek aan de opduikingen bij Steenwijk, Hoogeveen en Havelte toont Ter Wee (1962; 1978, p. 11) aan,

dat de keileem eerder grote dikten bereikt in de depressies buiten de opduikingen dan in de opduikingen zelf. In de tweede plaats, constateert hij, maken oudere formaties deel uit van de opduikingen. De zogenoemde keileemopduikingen zijn in feite stuwwallen.

Een tweede belangrijke waarneming, waarop verderop wordt teruggeko- men, is dat de frontale stuwwallen van de Steenwijker Kamp en van het tongbekken van Hoogeveen geen te- kenen van latere verstoring vertonen en dus na hun vorming niet zouden zijn overreden. Dit is in tegenspraak met waarnemingen elders en met eer- dere alswel latere opvattingen van an- deren. Zowel De Waard (1946) en Faber (1947, p. 65) als Zonneveld (1975) leiden uit de vorm van andere opduikingen af dat zij na hun vorming wel degelijk overreden zijn door het uitvloeiende landijs. Van den Berg & Beets (1987) constateren dat de kei- leem niet verschuud ligt met de oude- re afzettingen, maar aangeplakt tegen opduikingen van gestuwd materiaal. Het overstromend landijs heeft de kei- leem er tegen afgezet en heeft niet een aanwezige laag opgeduwd. Het gaat om een drumlinverschijnsel.

Begraven opduikingen

Lorié beschrijft een aantal malen kei- leem, die door hem wordt aangetrof- fen in boringen in onder meer het IJsseldal, de Gelderse Vallei en nabij Vogelenzang. Van Baren (1927), die al over meer informatie beschikt, stelt vast dat keileem zelfs grote dikten kan bereiken in diepere voorkomens in de ondergrond. Die over één kam sche- rend met bovengenoemde opduikin- gen, noemt hij op p. 572 als hun oor- zaak het praeglaciale reliëf en latere bodembewegingen. Het past (nog) niet in het denken dat keileemopdui- kingen ook in een thans begraven po- sitie zouden kunnen voorkomen. Dat dit wel het geval is in Noord-Holland, brengt Verbraeck (1957) in de vijftiger jaren aan het licht. De gevonden voor- komens tussen Hoorn en Castricum liggen volgens Zonneveld (1958) zelfs op een lijn die doorloopt langs de op- duikingen van Urk en Vollenhove. Tesamen vormen zij een tweede eind- moreneboog.

Wanneer zo'n tien jaar na Verbraecks bevindingen het geologisch onder- zoek van de Noordzeebodem van start gaat, worden spoedig met behulp van geofysische opnamen in de onder- grond structuren aangetoond die op stuwung wijzen. Bovendien wijzen bo-

ringen uit dat oudere afzettingen plaatselijk een wel erg hoge ligging innemen o.a. ten westen van Bergen aan Zee. Dit zou op een gestuwde po- sitie kunnen duiden (Oele 1971; Laban, 1995). Het gaat hierbij kenne- lijk om soortgelijke opduikingen als hierboven beschreven. Oele & Schüttenhelm (1979) rekenen de op- duiking ten westen van Bergen tot de opduikingenlijn Hoorn-Castricum, ter- wijl De Gans et al. (2000) haar koppe- len aan het bekken van Bergen (zie hierna).

De Hondsrug

Met betrekking tot dit Noord-Neder- landse fenomeen heeft eigenlijk van oudsher de gedachte geleefd dat het om een gestuwde morene gaat. Martin suggereert zelfs in 1889 al meer specifiek dat de rug tijdens een terugtrekstadium is gevormd. Dubois (1902) bestrijdt het idee van een eind- morene: een ijsstroom vanuit het noordwesten kende twee flanken die trager liepen door hun gesteente- lading. Tussen die flanken had dit op- persing van het oudere Rijnzand tot gevolg. Na afwijzing van deze opvat- ting door Lorié (1904) gaat mede op diens instigatie Jonker (1905), kenner van de Hondsrug, er nog eens scherp tegen in. Er zou hier een wel erg on- zinnige en ondoordachte hypothese zijn gelanceerd. De felheid van de re- actie vloeit voort uit het feit dat Dubois' idee, landijs uit het noord- westen, een ongewenste verspreiding dreigt te krijgen. Het idee blijkt opge- nomen in (citaat) 'een onlangs ver- schenen voor de school bestemd werkje' en moet zo snel mogelijk de kop worden ingedrukt. Eerlijk gezegd is de aanval op Dubois' visie door Lorié niet fijntjes. Hij doet alsof Dubois het landijs uit Schotland laat komen, alleen maar omdat de ten op- zichte van elkaar verschoven delen van één gebroken steen druk uit het noordwesten suggereren. Dubois (1904) maakt hiertegen terecht be- zwaar.

De discussie is hiermee allerminst ge- sloten. Hol (1936) wijst nadrukkelijk het ontstaan van de Hondsrug door stuwung af. Het zou een bijzonder grote, keileemopduiking zijn. Ondanks het feit dat sindsdien veel boringen zijn gezet en ook seismische gege- vens verkregen zijn, rept Ter Wee (1979) in de toelichting bij blad Emmen nog altijd van het Hondsrug- probleem: de grondmorene ontbreekt op de Hondsrug zelf en slechts in het zuidelijk deel is stuwung van oudere afzettingen aan de orde (Ruegg &

Zandstra, 1977). Vanwege de rechtlij- nige vorm blijft de gedachte aan een tektonische beïnvloeding zich opdrin- gen. Feitelijke gegevens voor zo'n in- vloed ontbreken evenwel. De jongste visies zijn die van Rappol (1987) resp. Van den Berg & Beets (1987), waarbij Bosch (1990, p. 101) zich aansluit. Zij denken weliswaar aan een product van het landijs, maar dan wel van een ijsstroom uit het noordwesten, zoals Dubois het zich in 1902 al voorstelde. Het Scandinavische ijs stroomde aan- vankelijk (zuid)westwaarts, boog in het Noordzeegebied om en drong Nederland vanuit het noordwesten binnen. We zijn dus bijna terug bij af. Volgens Rappol werd de ombuiging van de ijsstroom mede veroorzaakt door een botsing met het landijs, dat zich vanaf de Britse eilanden naar het oosten verbreidde.

Vervolgens stelt Laban (1995) de ui- terste grens van het Saalien-ijis in het gebied van de Noordzee voor onze omgeving vast. Volgens Rappol ligt die ijsgrens te oostelijk om de draai- ing van een NO - ZW naar een NW - ZO richting mogelijk te maken. Zijns inziens moet de ijsmassa zich verder naar het westen hebben uitgestrekt. Laban bestrijdt dit en suggereert dat mogelijk het binnendringen van de zee in de Noorse Trog tegen het eind van de Saalien-vergletsjering het ijs van zijn bron afsneed, hetgeen het ijs van richting deed veranderen. Over hoe dit proces zich fysisch heeft kun- nen voltrekken laat hij zich niet uit. Er is kennelijk nog altijd een Hondsrug- probleem.

3. Glaciale dalen en bekken

Nieuwe ontwikkelingen vergroten het inzicht in de opbouw van de ondergrond
De macroscopische, d.w.z. met het blote oog gemaakte, beschrijvingen van monsters, vormden aanvankelijk de enige basis voor de lithostratigrafi- sche indelingen van de ondergrond van Staring en Lorié. In het midden van de 20^e eeuw vinden stormachtige ontwikkelingen plaats, waardoor de opbouw van de ondergrond veel be- ter geanalyseerd en begrepen wordt. Toepassing van de zware-mineralen- analyse en pollenanalyse stellen in staat de sedimenten in te delen naar herkomstgebied en naar ouderdom. Nu was in de loop der jaren een groot archief van boormonsters en boorbe- schrijvingen opgebouwd, dat uitein- delijk door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en de Geolo- gische Stichting gezamenlijk werd be- heerd. Zonneveld paste op veel van dit materiaal en nieuwe boormonsters

de zware-mineralenanalyse toe en ontwikkelde daaruit een sterk verbeterd lithostratigrafisch model van het Nederlandse Kwartair (Zonneveld, 1958).

Evenals aan het eind van de 19^e eeuw komt vanaf het midden van de 20^e eeuw bovendien een nieuwe stroom van boormonsters op gang: het aantal boringen neemt drastisch toe. Enerzijds is er behoefte aan een goed hydrogeologisch inzicht in het IJsselmeergebied in verband met de inpoldering van de Flevopolders en eventueel de Markerwaard. Anderzijds vereist het toenemende watergebruik in zijn algemeenheid een gedegen hydrogeologische inventarisatie van het gehele land. Ten derde is de nieuwe systematische geologische 1 : 50.000 kartering van start gegaan. De combinatie van gedetailleerde veldopnames, monsterbeschrijvingen en nieuwe analysetechnieken mondt, voor zover het om glaciële verschijnselen gaat, allereerst uit in Ter Wee's overzicht van de Saalien-ijssbedekking van Noord-Nederland (Ter Wee, 1962). In 1975 volgt de publicatie 'Geologische Overzichtskaarten van Nederland'. Eén ervan (Rijks Geologische Dienst, 1975a) met de glaciële verschijnselen in Nederland uit het Saalien is de eerste kaart waarop zowel aan de oppervlakte voorkomende als begraven elementen zijn aangegeven. (Op kleinere schaal is dezelfde kaart opgenomen in Zagwijns paleogeografische kaarten van het Kwartair, Zagwijn 1974 resp. 1975). Bovendien verduidelijken twee van de drie dwarsdoorsneden door Nederland, die ook in deze publicatie zijn opgenomen (Rijks Geologische Dienst, 1975b) de relatie tussen oppervlakte- en begraven verschijnselen. De toelichting bij de glaciële kaart en de doorsneden is van de hand van Jelgersma & Breeuwer (1975a, 1975b).

Glaciële dalen en bekken van Saalien ouderdom

Al in 1887 beschrijft Lorié het voorkomen van keileem op een diepte van 73,5 - 78,5 m – AP bij Deventer. Onder de keileem ligt gelaagd fluvio-glaciële materiaal (smeltwaterafzettingen). Omdat keileem in slechts één van drie boringen in het IJsseldal is aangetroffen, durft hij aan de geïsoleerde vondst geen conclusie te verbinden. Wanneer hij eveneens keileem aantreft in een groot aantal boringen in de Gelderse Vallei op uiteenlopende diepten, met als diepste voorkomen 53 m – AP, oordeelt Lorié (1906) dat de Vallei is uitgeschuurd door het

landijs, waarbij materiaal terzijde is opgeperst, en dat een zelfde proces zich voltrokken zal hebben in het huidige IJsseldal. (In de tijd zijn we dan twintig jaar na de eerste vondsten van begraven keileem). Deze opvatting wordt algemeen aanvaard en vinden we terug bij vele latere auteurs.

Vanwege die eroderende werking van het landijs en op grond van de dalopvulling met keileem en fluvio-glaciële afzettingen, worden de dalen aangeduid als glaciële dalen. Wanneer in de vijftiger jaren in de ondergrond van Amsterdam tot grote diepte soortgelijke afzettingen worden aangetroffen, onder andere in boringen voor de IJ-tunnel, wordt aangenomen dat zich ook daar in de ondergrond een glaciële dal bevindt. Volgens Zonneveld loopt dit dal zelfs door tot de omgeving van Den Haag, terwijl het naar het oosten aansluit op het Overijsselse Vechtdal. Zonneveld ziet dat de vorm van de glaciële dalen in Midden-Nederland beter als lob- of bekkenvormig kan worden omschreven, terwijl Zagwijn (1961) de term 'glaciële tongbekkens' gebruikt.

Niet minder dan vijf omvangrijke begraven bekken in Midden- en West-Nederland worden door Jelgersma & Breeuwer (1975a) in kaart gebracht: de bekken van Bergen, IJmuiden, Amsterdam, zuidelijk Flevoland (uitlopend in de Gelderse Vallei) en IJssel Vallei (later ook wel IJssel bekken of bekken van Deventer genoemd). Het bekken van IJmuiden wordt later onderscheiden in twee gescheiden bekken, dat van Beverwijk, deels gelegen onder de Noordzee, resp. dat van Haarlem. De naam bekken van IJmuiden wordt daarna gebruikt voor een bekken in de Noordzee tegen dat van Beverwijk aan. Ook kunnen in Noord-Holland enkele kleinere bekken onderscheiden worden, zoals die van Purmerend en Spanbroek (Westerhoff e.a., 1987).

De afmeting van de bekken loopt op van west naar oost: de lengte van 15 tot 90 kilometer, de breedte van 5 tot 25 kilometer. Zij reiken op de diepste punten tot meer dan 125 m – NAP. Niets wijst erop dat het gaat om uitgeruimde praeglaciële dalen. Volgens Zagwijn (1974) bestonden deze niet. De bekkenopvulling is door de vele boringen goed bekend. Onderin ligt vaak tegen de randen keileem. Daarop volgen glaciolacustriene (in meren afgezette) smeltwaterkleien, die onderin een 'warven' (seizoens)gelaagdheid kunnen vertonen. Het proces van ver-

dere opvulling loopt gedurende de volgende geologische perioden door. Op de glaciële afzettingen treffen we achtereenvolgens afzettingen uit het Eemien (overwegend marien), Weichselien (vooral periglaciële) en tenlotte Holoceen (marien).

Ook onder de Noordzee blijken twee glaciële tongbekkens voor te komen die in omvang vergelijkbaar zijn met de Midden-Nederlandse. De opvulling met gelaagd materiaal komt goed tot uiting op de geofysische registraties. Volgens Laban (1995) zou het ene bekken al gevormd zijn in de Elsterien-ijstijd en na een gedeeltelijke opvulling met sediment uit het Holsteinien-interglaciële opnieuw zijn benut door een Saalien-ijstong. Het andere bekken bevindt zich tegen de lengtegraad van 4°OL., de grens van de maximale ijsverbreiding op de Noordzee.

De bekken vertonen de karakteristieken van de grote bekken in Midden-Nederland met stuwingsverschijnselen langs de randen en een opvulling uit het Saalien (fluvio-glaciële afzettingen) gevolgd door mariene Eemien-afzettingen. En in één van de bekken daaroverheen Weichselien-afzettingen en mariene Holoceen afzettingen. Laban beschrijft ook een omvangrijk stelsel van subglaciële dalen, die door hun vorm veel weg hebben van de Elsterien-dalen (zie hierna). Volgens hem zijn er in het centrale deel van de Noordzee bovendien overeenkomstige subglaciële dalen aangetroffen, die een Saalien-ouderdom bezitten. Zij zijn opgevuld met mariene sedimenten uit het Eemien.

Het problematische bekken van Bergen

De begrenzing van dit bekken vertoont bij nader inzien de karakteristieke vorm van een tunneldal. Het overvloedig smeltwater op de ijsskap vindt zijn weg naar beneden door spleten en verzamelt zich onder het ijs tot stromen. Via tunnels aan de basis van het ijs vervolgt het water zijn weg om aan het ijsfront uit te treden. Soms wordt daarbij een zo hoge hydrostatische druk opgebouwd dat het water de tunnelbodem gaat eroderen en diepe dalen insnijdt. Op die manier zou onder het Saalien-ijss het tunneldal van Bergen door smeltwater zijn uitgeslepen (Westerhoff e.a., 1987).

De latere opvulling van het ruim 140 meter diepe dal bestaat onderin uit een ruim 50 meter dik zandpakket. Bij de afzetting daarvan speelt opnieuw

smeltwater een rol. Het tunneldal van Bergen ligt namelijk in het oerstromdal van de Overijsselse Vecht (zie hierna), dat in Noord-Holland zijn voortzetting heeft. Het dal zou er ook maar één zijn van een stelsel van subglaciale dalsystemen in het gebied. Het smeltwater dat in het Laat-Saale door het westelijk deel van het Vechtdal afvloeide heeft het zand aangevoerd. Deze bevredigende verklaring doet De Gans (1991) vervolgens weer teniet. In ons eigen blad schrijft hij dat het tunneldal bij Bergen uit het Elsterien-glaciaal zou stammen. Hij wijst ook op andere aanwijzingen in Noord-Holland voor een mogelijke Elsterien-ijsbedekking.

Tenslotte keert de opvatting terug dat wel sprake is van een glaciaal bekken met een stuwwal eromheen (De Gans et al, 2000). De depressie is breder is dan een doorsnee tunneldal. Bovendien zijn de hiervoor genoemde stuwingsverschijnselen in het aangrenzende Noordzeegebied beter te begrijpen wanneer ze tegen een bekken aan liggen. Toch, zoals De Gans onlangs mondeling aangaf, weet men eigenlijk niet precies hoe het zit. Dit geldt blijkbaar mutatis mutandis ook voor het Overijsselse Vechtdal (zie hierna).

Intermezzo: glaciale dalen van Elsterien-ouderdom Noord-Nederland

Naast het begraven dalstelsel onder Midden-Nederland bestaat er volgens Zonneveld (1958) een systeem van enkele zeer brede dalen onder Noord-Nederland. Hij meent een verband te zien tussen een door Brouwer (1948) gesignaleerd dal bij Winschoten en enkele door Steenhuis (1916) waargenomen dalen onder Friesland. Omdat keileem op de dalopvulling rust, zou het systeem niet zijn gevormd door landijs en ouder zijn dan de Saalien-ijsbedekking. Zonneveld beschouwt het dalsysteem als het resultaat van normale riviererosie: aan het begin van de Saalien-ijstijd verleggen de Midden-Duitse rivieren niet alleen hun loop via (Noord)oost-Nederland naar het westen, maar reagerend op de sterk dalende zeespiegel moeten zij zich daarbij insnijden. Vervolgens is het zo ontstane dalstelsel opgevuld met materiaal dat wordt aangevoerd door dezelfde rivieren en in het bijzonder door het smeltwater van de naderende Saalien ijsskap. Dit leidt tot plaatselijk grofzandige inschakelingen in overwegend fluvioglaciale afzettingen van fijne zanden en dikke lenzen potklei. Hetzelfde zandige materiaal uit de dalopvulling ligt bovendien als

een dek over de afzettingen waarin de dalen zijn ingesneden. Kortom, de dalen zijn gevormd en opgevuld in de aanloop van de Saalien-ijsbedekking van Nederland.

De potklei is qua samenstelling vergelijkbaar met de 'Lauenburger Ton', die in Noord-Duitsland wijd en zijd verbreid is. Het is echter bekend dat die klei uit de oudere Elsterien-ijstijd stamt. Zonneveld ziet in de overeenkomst daarom alleen maar gelijksoortige afzettingsomstandigheden.

Zonnevelds idee van een met zo'n breed gebaar getekend dalstelsel raakt spoedig achterhaald. De kennis van de ondergrond van Noord-Nederland neemt snel toe door de geologische kartering en door project gericht onderzoek onder leiding van Ter Wee. Er is inderdaad een dalstelsel in de ondergrond aanwezig, maar niet één van enkele diepe dalen met een breedte van tien tot twintig kilometer. Hoewel eigenlijk al in het begin van de jaren zestig bekend, vermeldt Ter Wee pas in zijn publicatie van 1976 expliciet het voorkomen van (vele) begraven, vaak geulvormige depressies, die reiken tot diepten van 100 meter, en naar later zal blijken incidenteel meer dan 350 meter (Ter Wee, 1983; De Groot e.a., 1987). Over de lengte wordt niets gezegd, de lengterichting van de geulen of dalen is meestal noord-zuid.

Het zijn deze geulen die gekenmerkt worden door een dikke opvulling met potklei en daarnaast de wat zandiger afzettingen die Zonneveld ook al noemde. Lithologisch gaat het in feite om dezelfde soorten sedimenten, het stelsel echter vertoont een genuanceerder patroon.

Het tweede verschil met Zonnevelds interpretatie betreft de periode waarin het stelsel met opvulling en al ontwikkeld zou zijn. De eerste aanwijzingen (Ter Wee, 1962) dat de potklei ouder dan de Saalien-ijsbedekking moet zijn, worden door later onderzoek (Doppert e.a., 1975) bevestigd. Het dalsysteem inclusief de opvulling ervan kan worden gekoppeld aan de Elsterien-ijsbedekking. Alle betrokken afzettingen, smeltwaterzanden en -kleien, waaronder de potklei, worden tot één eenheid gerekend, de Formatie van Peelo. De potklei is behalve in aard nu ook qua ouderdom gelijk aan de Noord-Duitse 'Lauenburger Ton'. Invloeden van oostelijke rivieren worden in de Formatie van Peelo niet (meer) onderscheiden. Vanaf dat moment wordt

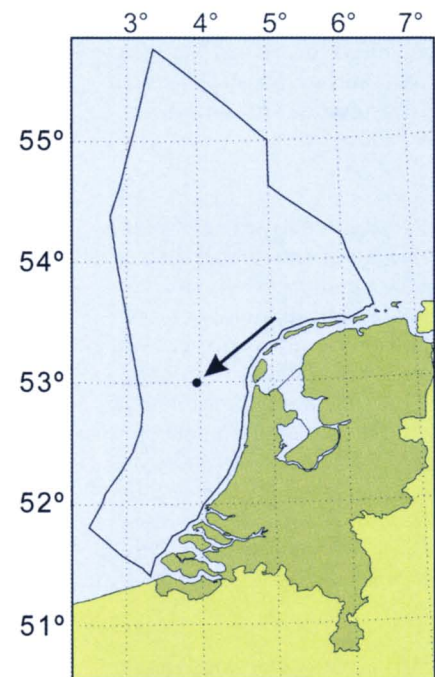
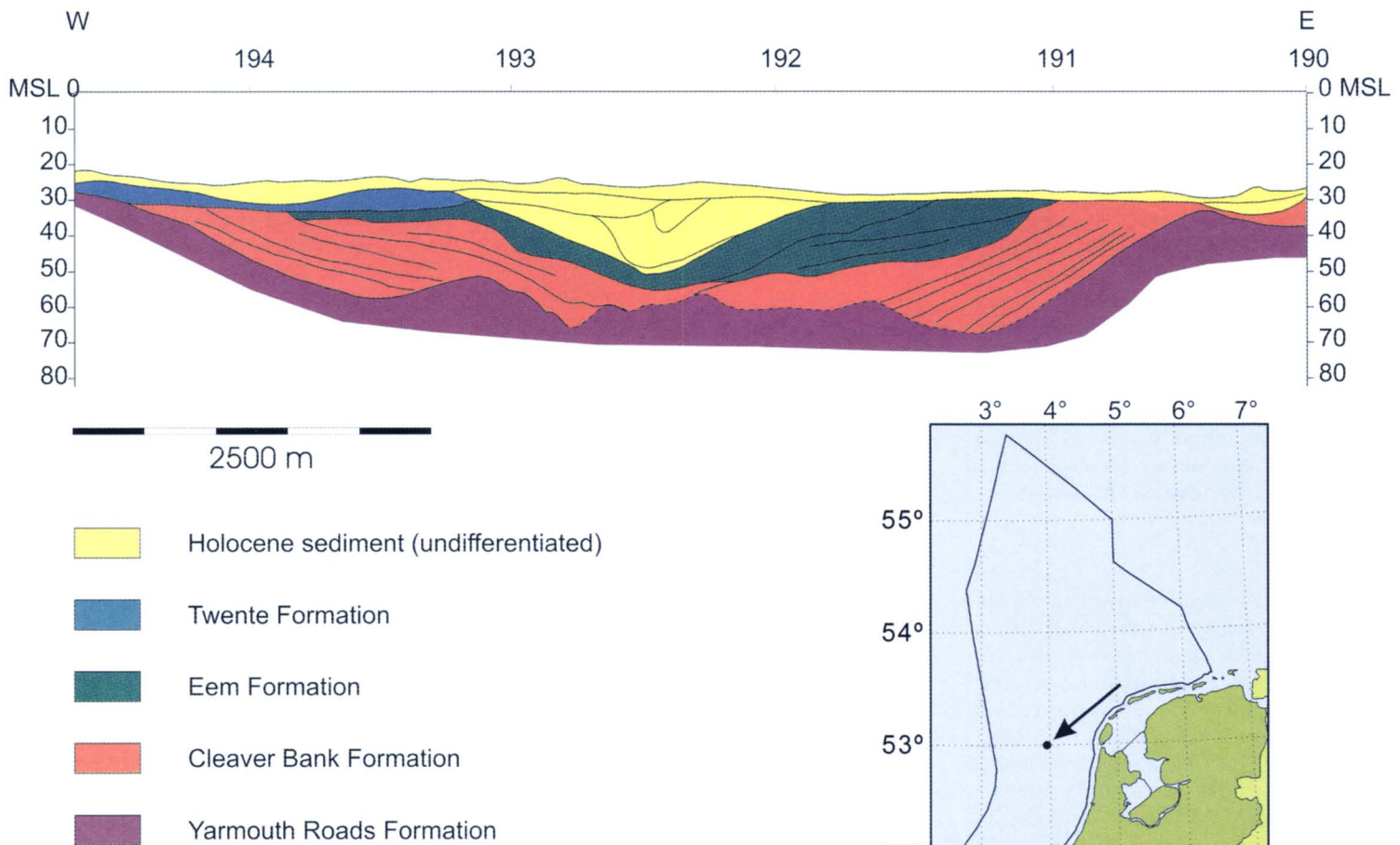
met recht gesproken over de glaciale Elsterien-dalen in Noord-Nederland. Dat de opvulling van de dalen bestaat uit materiaal dat door smeltwater is aangevoerd, staat later, ook nu niet ter discussie. Het fijne sediment heeft kunnen bezinken in meren die in de depressies waren ontstaan.

Nu her en der onderdelen van het stelsel zijn waargenomen, is er natuurlijk behoefte aan een overzicht van het gehele patroon. Naast een wetenschappelijke drijfveer dwingen vragen vanuit de maatschappij (grondwaterhuishouding, berging van radioactief afval) tot een inventarisatie. Hoewel van een overzichtskaart eerdere versies bestonden vinden we de eerste in gedrukte vorm bij Ter Wee's artikel (1983) over de Elsterien-glaciatie, kort daarna verbeterde kaartbeelden verschijnen in de toelichtingen bij de kaartbladen Heerenveen (De Groot e.a., 1987) en Assen (Bosch, 1990).

Het verbreidingsgebied strekt zich uit over Groningen, noordelijk Friesland en noordelijk Drente. De zuidgrens valt even onder de 53°NB, de breedte waarop Assen ligt. Het is frappant dat de dalsystemen die Brouwer (1948) en Zonneveld (1958) meenden te mogen veronderstellen in de ondergrond van oostelijk Groningen resp. westelijk Friesland niet ver bezijden de huidige aannames vallen. Dat het om zeer langgerekte dalen van tientallen kilometers gaat met een ongeveer noord-zuid voorkeursrichting, springt uit de kaartbeelden naar voren. In de zuidoost hoek van Drente komen fijne zanden uit het Elsterien nog voor tot aan Coevorden.

Noordzee

Vanaf ongeveer 1970 blijkt het grote voordeel van de continue registratie bij geofysische opnamen op zee. Zij laten al spoedig zien dat ook onder de Noordzeebodem een stelsel van diepe geulen met de hierboven genoemde karakteristieken van de Elsterien-dalen voorkomt (Afb. 4). Het voorkomen van de dalen is niet beperkt tot het Nederlands deel van het Continentale Plat, maar heeft zijn voortzetting onder het Britse deel van de Noordzee (Cameron e.a., 1986, geologisch kaartblad *Indefatigable 1 : 250.000*). De dichtheid van het dalstelsel valt op deze schaal in het oog. Tenslotte wordt ook van het Deense Continentale Plat een stelsel vermoedelijke Elsterien-geulen beschreven (Huuse & Lykke-Andersen, 2000).



Afb. 4. Glaciaal dal Noordzee (afbeelding beschikbaar gesteld door C.Laban uit diens publicatie van 1995).

Laban (1995) geeft niet alleen hun verbreiding over het gehele Nederlandse Plat weer, maar verwoordt ook de argumenten voor de Elsterien-ouderdom. De geofysische opnamen laten zien dat de smalle en langgerekte dalen een ondulerende bodem met drempels hebben. Ook wordt zichtbaar dat, anders dan bij de Saalienbekkens van Midden-Nederland, de Elsterien-geulen niet omringd worden door stuwwallen. Het is opvallend dat, evenals in Noord-Nederland, de dalen noord-zuid lopen en onder het Nederlandse deel van de Noordzee evenmin veel zuidelijker komen dan ruwweg de 53°NB.

Noord-Duitse Elsterien-dalen

Reeds aan het eind van de 19^e eeuw is het voorkomen van plaatselijk zeer dikke pakketten kwartaire afzettingen uit de omgeving van Hamburg bekend. De verbreiding van de Elsterien-dalen, waar het ook hier om gaat, wordt zelfs al in 1924 voor het eerst op een kaart aangegeven, die in 1965 wordt herzien (zie Ehlers & Linke, 1989). De geulen zijn grotendeels opgevuld met de hierboven genoemde

'Lauenburger Ton'. Dit systeem vormt zo een onderdeel van het grotere Noordwest-Europese stelsel.

Ontstaan van de glaciale Elsterien-dalen

Door de grote diepte van de dalen en hun patroon ligt een verklaring voor het ontstaan niet voor de hand. In Duitsland in het bijzonder wordt daarover vanaf de eerste waarnemingen gespeculeerd. Na 1980 wordt de groep onderzoekers die zich met de problematiek bezighoudt duidelijk internationaler. Als mechanismen worden genoemd: glaciale erosie, tektoniek, riviererosie voorafgaand aan een ijsbedekking, glaciale erosie in combinatie met tunneldalen al dan niet als gevolg van het plotseling vrijkomen van geweldige hoeveelheden smeltwater. Huuse & Lykke-Andersen (2000) geven een fraai overzicht met bronvermelding van vele theorieën die in de loop der tijd zijn aangevoerd.

Omdat alleen in een boring bij Ameland Elsterien-keileem was aangetroffen, is Ter Wee (1976) terughoudend over een verband tussen vorming van

de Nederlandse Elsterien-dalen en een ijsbedekking. Hij sluit zich aan bij de opvatting die dan in Duitsland nogal opgeld doet, te weten een tektonische oorzaak. Daarbij zouden bewegingen van het zout in de ondergrond mede een rol spelen. Het soms abrupt eindigen van de dalen, dat niet lijkt te passen bij een erosieve vorming, is een verder argument voor die gedachte. In 1983 neemt Ter Wee nog verder afstand van een glacigene oorsprong. De dalen in westelijk Friesland zouden vanuit het zuiden door rivieren zijn ingesneden en ouder zijn dan de Elsterien-glaciatie; alleen hun uitdieping zou onder invloed van tektoniek, misschien ook van enige glaciale activiteit, hebben plaatsgevonden.

Hoewel Ruegg (1983) al conform andere Duitse opvattingen een subglaciale ontstaanswijze en gedeeltelijke opvulling suggereert, wordt dit door De Groot e.a. (1987) nog steeds afgewezen op grond van het in Nederland ontbrekende bewijs voor een ijsbedekking in de vorm van keileem. Omdat het geulpatroon onaf-

hankelijk blijkt van breuken in de ondergrond en de geulen aan beide uiteinden gesloten zijn, vervallen volgens Bosch (1990) echter de argumenten voor een veronderstelde tektonische resp. fluviaatiele ontstaanswijze. Hij conformeert zich aan de rond 1990 meer algemeen aanvaarde theorie van een subglaciale vorming. Hij wijst, overigens naast andere mechanismen die hierna aan de orde komen, op een heel bijzondere, namelijk smeltwateruitbarstingen. De theorie wordt sterk gepropageerd door Wingfield (1991) en raakt als het ware in de mode. Zij berust op waarnemingen op Spitsbergen (of IJsland?) dat grote hoeveelheden smeltwater plotseling konden uitstromen. Het gaat om smeltwater dat zich verzameld heeft op, maar ook in holtes in de gletsjer. Wingfield gebruikt voor dit laatste wel de term 'waterlakkoliet'. Het vrijkomen van het water gaat met zo veel geweld gepaard, dat veel erosie optreedt van de tunneldalen onder het ijs en stroomafwaarts van het punt van uittreden.

Laban (1995) noemt ook enkele van de veronderstelde ontstaanswijzen in relatie tot de dynamiek van ijskappen en grote gletsjers. Het model van Boulton & Hindmarsch (1987) gaat ervan uit dat bij hoge waterdruk en grote afvoer door het smeltwater zoveel bodemmateriaal kan worden meegesleurd, dat een depressie ontstaat waarin het ijs wegzakt. In die situatie spuit bij de neus van het ijs het smeltwater onder de rand door naar buiten en kan het de voorgrond uitruimen. Om het drainagesysteem in stand te houden moet er meer en meer water door worden afgevoerd: het is een zichzelf versterkend proces waarbij diepe dalen worden ingesneden. Dit proces vereist evenals het volgende een hoge smeltwaterproductie.

Het tweede model, dat van Van Dijke & Veldkamp (1995) veronderstelt vorming van de dalen tijdens het terugtrekken van de ijsmassa in een steeds hoger tempo met een toenemende smeltwaterproductie. De enorme waterafvoer houdt niet alleen de vrijgekomen tunneldalen vóór het ijs in stand, maar ruimt die ook verder uit.

Volgens Laban verklaart dit model het beste zijn waarnemingen, namelijk het ontbreken van glaciële vervormingen, de geringe onderlinge afstanden en de ondulerende bodem. Deze hangt dan samen met perioden van

geringere smeltwaterproductie of snellere verplaatsing van het landijs.

Ter afsluiting, Huuse & Lykke-Anderzen (2000) komen tot de conclusie dat drie factoren bepalend zouden zijn

- a) smeltwaterafvoer gedurende de steady-state van het landijs,
- b) catastrofale uitbarstingen van smeltwateropeenhopingen in het landijs en
- c) glaciële erosie.

Verbreiding van de Elsterien-ijskap

Voor de Noordzee kan Laban aangeven waar de lijn van de maximale uitbreiding loopt en wel vanaf Den Helder naar Ipswich. Wat het land betreft is al met al nog steeds niet duidelijk hoever de Elsterien ijskap naar het zuiden heeft kunnen doordringen. De keileem bij Ameland wijst erop dat het landijs tenminste Noord-Nederland heeft bereikt. Wanneer de theorie wordt aangehangen dat de Elsterien dalen door smeltwater uitgeruimde tunneldalen zijn of dalen die in het verlengde ervan zijn uitgeslepen, dan zal waarschijnlijk het landijs verder zijn doorgedrongen.

De veronderstelling van De Gans (1991) dat het tunneldal bij Bergen uit het Elsterien glaciëel stamt, impliceerde al dat een groot deel van Noord-Nederland met landijs bedekt zou zijn geweest. Fischer (1992, p. 113) legt de landijsgrens voor Oost-Nederland nog zuidelijker, namelijk langs de Overijsselse Vecht. Mogelijk heeft hij zich laten leiden door het voorkomen van de Formatie van Peelo.

Eskers (smeltwaterruggen), de positieve afdruk van tunneldalen

Met eskers worden ruggen aangeduid die meestal als een lint door het landschap te vervolgen zijn. Zij bestaan uit zand en grind en kunnen, zoals Faber (1947, p. 208) schrijft, 'in het open veld indrukwekkende landschapsvormen' zijn. Hierboven is beschreven dat het smeltwater op de ijskap uiteindelijk door tunnels onderin de ijsmassa wegstroomt. Bij een terugtrekkende ijskap met afnemende smeltwateraanvoer kan het meegevoerde materiaal achterblijven in de tunnels. Bij verdere terugtrekking verschijnt de tunnelopvulling dan als lintvormige esker in het landschap.

Van Baren (1907) is de eerste die in Nederland eskers aanwijst. Hij (Van Baren 1927, p. 581) onderscheidt zelfs zand- en grind-eskers. De Render- en Kamperklippen tussen Epe-Wapenveld vormen samen een grind-esker;

andere grind-eskers liggen tussen Markelo en Rijssen en bij Steenwijk. Boerman (1923) brengt er op de Veluwe nog meer in kaart, die vervolgens worden overgenomen op de Geologische Kaart 1:50.00 van Tesch.

Bij nader inzien zijn de meeste van de smeltwaterruggen, waaronder die bij Apeldoorn, niet anders dan stuifzandruggen uit het Holoceen (Edelman & Maarleveld, 1944). Ook de andere hierbovengenoemde eskers verdwijnen als zodanig buiten beeld. Latere onderzoekers (Ter Wee, 1962, 1978; de overzichtskaart met glaciële verschijnselen, Rijks Geologische Dienst, 1986) maken er geen melding meer van. Daarentegen ziet Maarleveld (1956) in een reeks koppen in het landschap ten oosten van Almelo een noord-zuid lopende esker. Door erosie vormt zij geen doorlopende lijn meer. De koppen bestaan uit fluvioglaciëel materiaal. Weliswaar komt de esker niet voor op de kaart met glaciële verschijnselen van de Rijks Geologische Dienst van 1975, maar wel op de nieuwe versie ervan van (Zagwijn e.a., 1985) en de RGD kaart van 1986. De esker gaat zuidelijker, even ten noorden van Delden, over in een echt tunneldal. Het dal is te vervolgen tot Goch in Duitsland, waar het de ijsrand zou hebben bereikt (Van den Berg & Den Otter, 1993).

Oerstroombalen

Zoals we zagen wordt al spoedig na acceptatie van de landijstheorie verondersteld dat het oprukkend ijs de rivieren van de Noord-Duitse en Nederlandse laagvlakte dwong hun naar het noorden gerichte koers te verleggen in westelijke richting vóór het ijsfront langs. Soms hebben zij gebruik kunnen maken van reeds bestaande secundaire dalen. Extra gevoed door smeltwater en onder invloed van de lage zeestand snijden de rivieren zich diep in. Soms ook is de aanvoer van smeltwater alleen voldoende om dalvorming te veroorzaken. Zulke door het ijsfront bepaalde dalstelsels worden 'oerstroombalen' (Engels 'ice marginal valleys') genoemd. De dalen worden in de aflopende fase van de landijsbedekking bij een weer stijgende zeespiegel opgevuld.

Gewoonlijk worden drie van dergelijke 'oerstroombalen' onderscheiden. Naast dat van de Rijn/Maas met het Niersdal als restant ervan, zijn het de dalen van de Overijsselse Vecht en van de Hunze. Zij staan alle drie als zodanig aangegeven op de kaart met

glaciale verschijnselen van de Rijks Geologische Dienst (1975a). Wat betreft de Noordzee is wel gesuggereerd dat de Deepwater Channel, een 100 meter diepe geul ten Oosten van East Anglia, een oerstroombdal vertegenwoordigt.

Zoals hierna wordt aangegeven, is recentelijk een aantal argumenten aangedragen om voor de dalen van de Overijsselse Vecht en Hunze een andere ontstaanswijze aan te nemen.

Het Rijn/Maas oerstroombdal, vóór de steile Veluwezoom langs, noemt Schuiling al in 1915 (Schuiling, 1915, p.16). Zijn opvatting wordt daarna nooit bestreden. Tot ongeveer 25 meter diepte wordt onder de huidige rivierloop een serie afzettingen gevonden die na de ijsbedekking zijn afgezet en ingebed liggen in oudere formaties.

Het dal van de Overijsselse Vecht wordt pas veel later door Hol (1936) geïnterpreteerd als een oerstroombdal. Het dal bestaat uit een vrij brede vlakke tegen het Drentse keileemplateau. Eigenlijk is het dal veel te breed in verhouding tot het riviertje de Vecht dat er nu doorheen stroomt. Vergelijkbaar met het dal van de Rijn nabij de Veluwe treft men hier tot zo'n 30 tot 40 meter diepte afzettingen aan die jonger zijn dan die waarin ze ingebed liggen. Het oerstroombdal zou zijn gevoed door Midden-Duitse rivieren die voor het ijsfront langs hun weg naar zee zochten.

Op grond van het vermeende dikke keileempakket onderin het dal meent Hol, dat het landijs er naderhand overheen is gestroomd. Het dal zelf raakt opgevuld met ijs en de bodem bedekt met keileem. De verdere opvulling met fijn smeltwatermateriaal is tot stand gekomen toen het ijs zich terugtrok. Kortom, het Overijsselse Vechtdal is vóór de komst van het landijs gevormd als 'ice marginal valley', d.w.z. vroeg in het Saalien, en met smeltwatersediment gevuld laat in het Saalien. Later geeft zij (Hol, 1951) meer specifiek aan dat het dal is benut door de Eems (Duits: Ems) en andere Duitse rivieren. Hoewel Ter Wee (1962) uitgaat van een zelfde ontstaanswijze, bestrijdt hij de aanwezigheid van keileem in het dal. Die veronderstelling berustte op een verkeerde interpretatie van boorgegevens; de opvulling bestaat alleen maar uit smeltwaterafzettingen.

Het lijkt steeds duidelijker dat er sprake is van een heel belangrijke rivieraf-

voer. Brouwer (1950) werkt Hol's gedachte verder uit door aan te nemen dat het dal zich naar het westen voortzet langs de opduikingen van het Drentestadium (o.a. die van Steenwijk, Gaasterland en Texel). Wiggers (1955) en Zonneveld (1958) treffen in de Noordoostpolder respectievelijk Noord-Holland afzettingen aan die behoren tot de opvulling ervan. Zo ligt het oerstroombdal ingeklemd tussen de reeks genoemde opduikingen en de zuidelijke serie Vollenhove, Urk, Hoorn en Castricum en bestrijkt zodoende de gehele noordelijke helft van Noord-Holland. Zonnevelds veronderstelde zuidelijke tak via de Flevopolders naar Amsterdam en Den Haag lijkt later onaannemelijk, omdat het dal enkele glaciale bekkens met ieder ongeveer een noord-zuid richting zou moeten kruisen (Rijks Geologische Dienst, 1975a). Uit de kartering van dit gebied blijkt deze reconstructie dan ook onjuist (Westerhoff e.a., 1987).

Hoewel op de glaciale kaart van de Rijks Geologische Dienst uit 1975 het dal van de Overijsselse Vecht als oerstroombdal staat aangegeven, rekent Zagwijn dit dal niet mee in zijn opsomming van Nederlandse oerstroombdalen uit dat zelfde jaar. Hij interpreteert de westelijke voortzetting van het oerstroombdal van de Overijsselse Vecht door het IJsselmeergebied en Noord-Holland als Rijndal: na afsmelting van het Saalien-landijs heeft de Rijn zijn loop hernomen door het glaciale bekken van het IJsseldal en, gedwongen door het nog lage zeeniveau, stroomafwaarts een dal ingesneden. Aan het eind van de ijstijd vulden Rijnsedimenten het dal gedeeltelijk weer op.

Van den Berg & Beets (1987) gaan mee met de opvatting van Zagwijn. Zij wijzen erop, dat genoemde smeltwaterafzettingen alleen bestaan uit fijnkorrelige fluvioglaciale sedimenten. Grovere puinwaaiers komen niet voor. De eroderende waterstroom voerde kennelijk weinig sediment mee. Hierbij valt te denken aan bijvoorbeeld een overloopafvoer uit een meer, waarin het aangevoerde sediment was afgevangen. Zo'n situatie bestond nu juist in het model van Zagwijn. In het eertijds glaciale IJsselbekken, waarin de Rijn uitmondde, was een groot meer ontstaan met een diepte van vele tientallen meters. Uit dit natuurlijke stuwwaer stroomde het water weg via een overlooppunt op slechts 25 meter -NAP naar het westelijk deel van het Overijsselse

Vechtdal in Noord-Holland. Het ontstaan staat los van een gelijktijdige ijsbedekking. Van den Berg & Beets wijzen erop dat een ijsmassa die niet langer gevoed wordt, snel overgaat in een doodijs lichaam. In depressies en bekkens ontstaan daaruit meren, waarin slechts fijn materiaal bezinkt. Een voorbeeld van zulke meerafzettingen vormen de glaciolacustriene kleien in de ondergrond bij Spanbroek (De Gans e.a., 1987). Westerhoff e.a. (1987) blijven daarentegen spreken van het (Overijsselse) Vechtdal als smeltwaterdal, omdat onderin smeltwaterafzettingen liggen. Ook op de jongste kaart van TNO-NITG (2003), hier gepresenteerd als Afb. 6, wordt het Overijsselse Vechtdal als oerstroombdal aangegeven. Men neemt kennelijk aan dat de Rijnafvoer door het IJsselbekken zijn weg gevonden heeft naar het al bestaande Vechtdal.

Het dal van de Hunze, dat zo mooi parallel loopt aan de Hondsrug, wordt door velen als een oerstroombdal beschouwd (Faber, 1947 p. 161; Hol, 1951; Ligterink, 1954; Ter Wee, 1979, Zagwijn e.a., 1985). Evenals bij de Rijnloop en de Overijsselse Vecht wordt onder de huidige Hunze loop de opvulling gevonden van een vroeger dal met smeltwaterafzettingen en jongere sedimenten die ingebed liggen in oudere afzettingen. De diepte van het dal reikt ook tot 50 meter onder maaiveld, dat is wel 70 meter onder de top van de Hondsrug!

Ook al omdat het ontstaan van de aangrenzende Hondsrug omstreden blijft, bestaat er over de vorming van het Hunzedal minder eensgezindheid dan bijvoorbeeld over die van het Rijndal. Terwijl Ligterink meent dat de oer-Eems er doorheen gelopen heeft, legt Hol (1959) een verband tussen het Hunze-oerstroombdal en de loop van een Beneden-Vecht. Volgens Ter Wee en Zagwijn et al. is het Hunzedal niet meer dan een smeltwaterdal voor het ijsfront van de laatste vergletsjersingsfase in Nederland. Het werd echter niet gebruikt door enige rivier.

Vanwege de gelijksoortige opbouw van de ondergrond onder het Hunzedal en onder het Vechtdal bepleiten Van den Berg & Beets (1987) een gelijksoortige ontstaanswijze voor beide dalen. Een zuidoostelijk gelegen ijsveld heeft geen andere afvoermogelijkheden voor zijn smeltwater dan in noordwestelijke richting. De auteurs geven niet aan waar in de omgeving van het Hunzedal een krachtig gevoed groot meer gelegen

zou kunnen hebben noch waarheen het water zou zijn afgestroomd. Daarom beschouwt Bosch (1990), die wel een ijsstroom uit het noordwesten aanneemt voor vorming van de Hondsrug, het Hunzedal als een gewoon glaciaal dal. Het zou zijn uitgeruimd door de ijsstroom op weg naar het zuidoosten.

Kaartbeelden en reconstructies van de Saalien landijsbedekking in ons land

1. Ontwikkeling van het traditionele beeld

Zoals we zagen is Van Cappelle (1896) de eerste die de stuwwallen als zodanig herkent en de heuvelrug Huizen-Amersfoort-Rhenen als één eindmoreneboog beschouwt. Hoewel Lorié zich kort daarop bij die opvatting aansluit en onderkent dat de moreneboog doorloopt tot Krefeld, verschijnt het eerste kaartbeeld met het verloop van die stuwwal vreemd genoeg pas na 20 jaar vervolgonderzoek. Dan is het ook nog slechts als illustratie in Eschers 'De gedaanteveranderingen onzer aarde' van 1916 (Afb. 5.1). Bovendien staan op het kaartje alleen de keileemopduikingen van Texel, Wieringen en Urk aangegeven. Ondanks Lorié's vroegtijdige interpretatie van de reeks opduikingen als 'eindmorene' behorend bij een stilstandsfase, zou de weergave van slechts die drie erop kunnen duiden dat het zijns inziens om een niet zo belangrijke gebeurtenis in de glaciële geschiedenis ging.

Lorié beseft weliswaar dat de heuvels in Midden-Nederland het resultaat van stuwing door landijs zijn, maar hij blijft, trouwens evenals Van Cappelle, ervan uitgaan dat het ijs een bestand heuvellandschap verder vormde. De oorspronkelijke heuvels waren zo'n 25 meter lager dan de huidige. Het ijs zou hen slechts over een kleine hoogte hebben opgeduwd. Ja, Lorié veronderstelt zelfs dat de heuvels de ijsmassa tot stilstand hebben gebracht. *Hij is niet doordrongen van de geweldige krachten van de ijsmassa.*

Ondanks het intensieve stuwwallenonderzoek, onder andere door Tesch, verschijnt het eerste kaartbeeld met alle Midden-Nederlandse stuwwallen, waaronder ook die van Oost-Nederland, pas in 1936 van de hand van Jacoba Hol (Afb. 5.2). Ten opzichte van Lorié's kaartbeeld betekent het een stap vooruit. Maar, evenmin als Lorié, schenkt zij aandacht aan de keileem en de opduikingen ervan in Noord-Nederland. Zij gaat ervan uit

dat vóór de komst van het landijs Noord-Nederland een vlakke en uniforme ondergrond had. Het ijs kon er gemakkelijk voortschuiven over het mengsel van smeltwater- en rivierafzettingen dat vóór het ijsfront was samengespoeld. Deze veronderstelling wordt voor haar (Hol, 1951), des te aannemelijker wanneer Boissevain (1950) het gebied als een dalingsgebied bestempelt en dus een accumulatiegebied voor een dik pakket rivierafzettingen en later smeltwaterafzettingen. Het landijs zelf legt daar het dek van keileem overheen.

Wanneer de landijsgrens is opgeschoven tot de hoogte van Coevorden, treedt de eerste stilstandsfase op. Van veel betekenis acht Hol dit oponthoud overigens niet, hoewel die lang genoeg duurde om vóór het landijsfront het oerstromdal van de Vecht te doen ontstaan.

Daarna stroomde het ijs uit door het IJsseldal en de Gelderse Vallei, en tenslotte nóg verder onder vorming van de stuwwal van Nijmegen-Xanten (bij Duisburg), waarbij het Niersdal als oerstromdal ontstond. Het Hunzedal snijdt zich eveneens in als oerstromdal in afzettingen vóór het ijsfront. Hoewel zij dat niet met zoveel woorden zegt, bedoelt zij in een stilstandsfase tijdens het oprukken van het landijs. Het Hunzedal, qua ijsbedekking 'bovenstrooms' van het Overijsselse Vechtdal, is bijgevolg ouder dan laatstgenoemde.

In het verleden werd er eigenlijk in het algemeen vanuit gegaan dat het landijs bij het uitvloeien gebruikmaakte van bestaande dalen. Diverse auteurs, Brouwer (1950), Zonneveld (1958) en Ter Wee (1962), veronderstellen dat in de tijd vóór de ijsbedekking meer specifiek de Maas zijn loop had gekozen door de Gelderse Vallei en de Rijn door het IJsseldal.

Brouwer is eigenlijk de eerste die het grote belang onderkent van de zo verschillende glaciogene landschapstypen in Noord- en Midden-Nederland (Afb. 5.3). De eindmoreneboog Texel-Coevorden ('Drentestadium') komt op zijn kaart voor het eerst duidelijk uit. Er voor is, zoals Hol aannam, het oerstromdal van de Overijsselse Vecht uitgeslepen. Ten zuiden ervan springt het Midden-Nederlandse stuwwallenlandschap in het oog. Evenals Hol neemt Brouwer aan dat het Noord-Nederlandse landschap vlak was. Eventuele dalen zouden door smeltwaterafzettingen zijn opgevuld. Dat verklaart ook het ontbreken

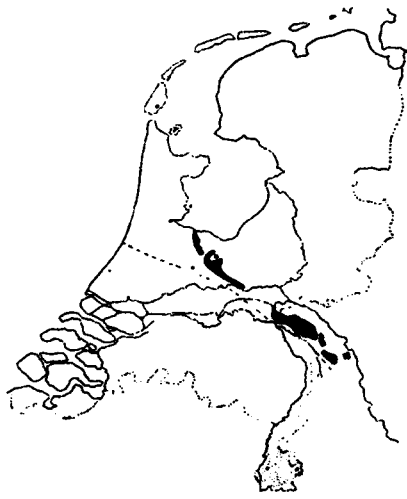
van stuwwallen: het landijs vindt er geen aangrijpingspunten voor stuwwalvorming. Dat laatste kan pas optreden als in de volgende fase het landijs de dalen van Rijn en Maas binnendringt. Het is nog steeds de heersende opvatting dat het ijs bij voorkeur uitstroomt in laagten en door zijn massa het aanwezige sediment voor zich uit duwt en opzij perst. Voor Brouwer is dit zelfs een sine qua non voor de stuwwalvorming: geen dalen, dan ook geen glaciële dalen met stuwwallen eromheen.

Geleidelijk aan wordt het beeld van stuwwallen en keileemopduikingen completer. Een meer aangepast kaartbeeld dan dat van Hol en Brouwer verschijnt in de 'Geologische geschiedenis van Nederland' (Pannekoek, 1956). Hierop wordt nauwkeuriger naast de ligging van de stuwwallen de verbreiding van glaciële dalen aangegeven, waaronder het dal onder Amsterdam. De oerstromdalen van Overijsselse Vecht, doorlopend door Noord-Holland, en Hunze worden ook als glaciële dalen gepresenteerd. De begraven keileemvoorkomens in Noord-Holland zijn de enige ontbrekende glaciële elementen op de kaart. Zonneveld (1958) kan deze kort daarop wel in zijn reconstructie betrekken en aan Brouwers boog van opduikingen een tweede toevoegen: de eindmoreneboog van de Voorst naar Castricum. Langs deze eindmoreneboog ontwikkelde zich zijns inziens de eerdergenoemde zuidelijke tak van het glaciële dal van de Overijsselse Vecht, dat wil zeggen van Zwolle ten zuiden van de Voorst langs naar het glaciële dal van Amsterdam. Afbeelding 5.4 laat Zonnevelds glaciële kaart zien.

2. Omslag in het denken over het verloop van de ijsbedekking

Tot Zonnevelds overzichtsartikel wordt het beeld van de glaciële verschijnselen weliswaar steeds verfijnder, maar de heersende opvatting over het verloop van de landijsbedekking blijft dezelfde. Er wordt vastgehouden aan een landijsmassa uit het noordoosten die op weg naar het zuiden de glaciële morfologie tot stand brengt en kennelijk op de weg terug geen invloed meer uitoefent.

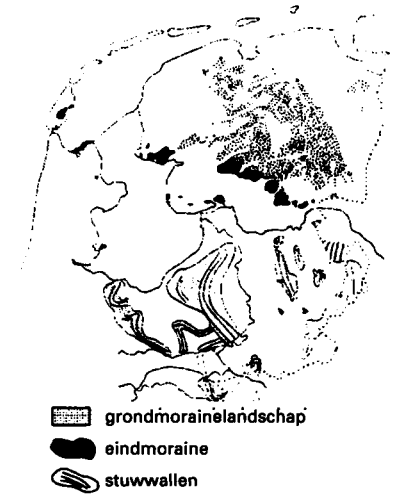
Maarlevelds bevindingen rond het midden van de vorige eeuw passen weliswaar niet in die visie, maar zij brengen er desondanks geen verandering in. Uit grote aantallen metingen aan helling en strekking van de gestuwde pakketten leidt Maarleveld



Afb.5.1 Lorié, 1916 (uit Escher 1916)

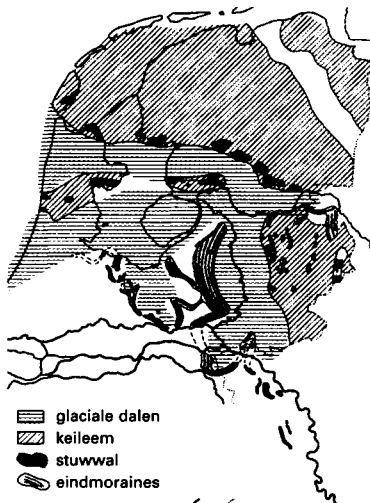


Afb.5.2 Hol, 1936



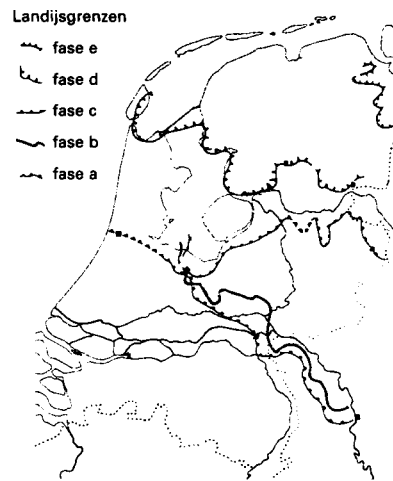
Afb.5.3 Brouwer, 1950

grondmorainelandschap
 eindmoraine
 stuwwallen



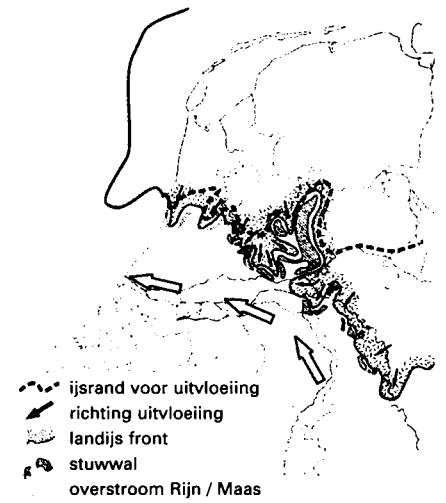
Afb.5.4 Zonneveld, 1958

glaciale dalen
 keileem
 stuwwal
 eindmoraines



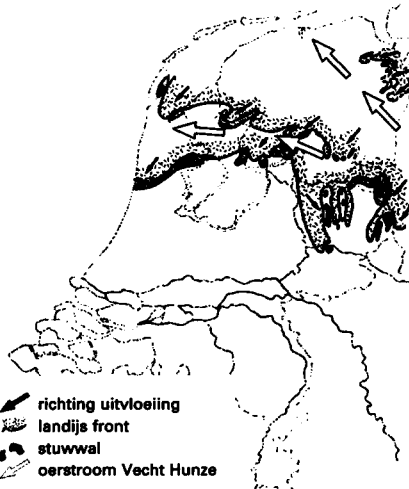
Afb.5.5 Ter wee, 1962

Landijsgrenzen
 ~ fase e
 ~ fase d
 ~ fase c
 ~ fase b
 ~ fase a



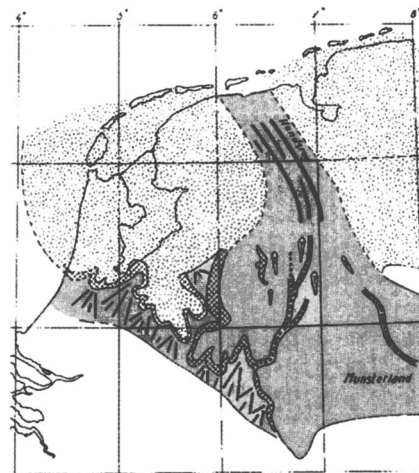
Afb.5.6 Jelgersma en Breeuwer, 1975; Laban 1995

ijsrand voor uitvloeiing
 richting uitvloeiing
 landijs front
 stuwwal
 overstrom Rijn / Maas

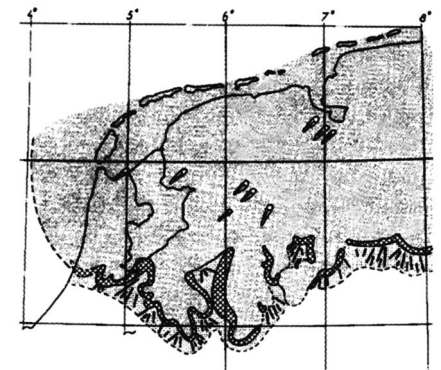


Afb.5.7 Jelgersma en Breeuwer, 1975

richting uitvloeiing
 landijs front
 stuwwal
 oerstrom Vecht Hunze



Afb.5.8 v.d. Berg en Beets, 1987; legenda zie afb. 5.9



Afb.5.9 v.d. Berg en Beets, 1987

Hondsrugijsstroom
 Doodijs
 Grote stroomlijnvormen
 Drumlins
 Esker
 Subglaciaal dal
 Stuwwal
 Sandr

Afb. 5. Kaartbeelden en reconstructies, overzichtsfiguur.

5.1 Stuwwallenkaart van Lorié 1916, gepubliceerd in Escher, 1916.

5.2 Stuwwallenkaart van Hol 1936.

5.3 De glaciogene landschapstypen in Nederland volgens Brouwer 1950.

5.4 Keileemgebieden, eindmoraines, stuwwallen en Midden-Nederlandse glaciale dalen volgens Zonneveld 1958, fig. 7 & 8.

5.5 Maximale verbreiding van het landijs in de fasen a t/m d. Ter Wee e.a. 1962.

5.6 Fasen I en II van de groeiende ijskap volgens Jelgersma S. & J.B.Breeuwer 1975, fig. 3.4.5 en 3.4.6.

5.7 Fasen III, IV en V van de terugtrekkende ijskap volgens Jelgersma S. & J.B.Breeuwer 1975, fig. 3.4.8, 3.4.9 en 3.4.10.

5.8 Maximale landijsuitbreiding vanuit het NO in het Rehburger Stadium. Van den Berg & Beets 1987, fig. 8.

5.9 Maximale landijsuitbreiding vanuit het NW, de Hondsrug ijsstroom. Van den Berg & Beets 1987, fig. 9.

af dat de zuidelijke stuwwallen van de Veluwe ouder zijn dan de noordelijke. Zijn conclusie is, dat niet tijdens het oprukken, maar tijdens de teruggang van het ijs de Noord-Veluwe stuwwallen zijn gevormd. Na eenmaal via de riviermonden van Rijn (IJsseldal) en Maas (Gelderse Vallei) tot de maximale uitbreiding (fase a) te zijn gekomen heeft het landijs zich, onderbroken door twee stilstandsfasen b en c, weer uit het gebied van de Veluwe teruggetrokken. Wel traden oscillerende bewegingen op, zodat tijdens fase b vanuit een teruggetrokken positie soms oudere stuwwallen weer overreden worden. Fase c kent als begrenzing de lijn Amersfoort-Zwolle-Uelsen. Volgens Maarleveld (1961) is dit de westelijke voortzetting van de landijsgrens tijdens het Rehburgerstadium in Duitsland. Deze door Maarleveld getrokken grenzen zijn door Ter Wee (1962) met de fasen d en e die hij eraan toevoegde, uitgebeeld in afbeelding 5.5.

Maarlevelds opvattingen vinden weinig weerklank. Wanneer Ter Wee (1962) de Noord-Nederlandse glaciale verschijnselen goed in kaart brengt, verandert die situatie. Wordt tot dan toe de eindmoreneboog van Texel naar Coevorden nog als een soort raaklijn langs de opduikingen aangegeven, Ter Wee laat zien dat zij kleine bekkens omsluit. Tongen van het landijsfront die erin lagen hebben de randen opgestuwd. In het oostelijk deel van de 'eindmoreneboog' kunnen twee van zulke tongbekkens (Steenwijk en Hoogeveen) worden onderscheiden en in het westelijk deel drie (Vollenhove/Urk, Fluessen, Wieringen/Texel). Van de stuwwallen rond de laatste bekkens zijn alleen nog maar restanten over, het grootste deel is door erosie verdwenen. In de opduiking van de Steenwijker Kamp vindt Ter Wee geen aanwijzingen dat de stuwwal zou zijn overreden. Zijn belangrijke eindconclusie is daarom dat de Noord-Nederlandse stuwwallen (gerekend tot het Drentestadium) jonger moeten zijn dan die van Midden-Nederland (uit het Amersfoortstadium, de maximale ijsuitbreiding): de Noord-Nederlandse opduikingen en bijbehorende stuwwallen zijn bijgevolg door het landijs op de terugweg gevormd.

De reconstructie van Ter Wee sluit aan op die van Maarleveld. Het landijs breidt zich uit overeenkomstig diens fasen a, b en c. Ter Wee voegt daaraan zijn fasen d en e toe. Fase d markeert de stilstandsfase op de lijn

Coevorden-Texel. Zowel in deze fase d als in de vorige fase c maakt het landijs geen gebruik meer van bestaande dalen. Vóór het ijsfront van fase d wordt het oerstroombdal van de Overijsselse Vecht van oost naar west uitgeslepen: eerst ten zuiden van de keileemopduiking van Vollenhove langs, later dwars door het tongbekken bij de opduiking. De door Hol veronderstelde bedekking van het Overijsselse Vechtdal door landijs na het ontstaan past dus niet in deze visie. Het landijs trekt zich opnieuw verder terug tot op de lijn van de stuwwallen van noordoost Groningen (fase e), waar het oerstroombdal van de Hunze ontstaat.

Ook met betrekking tot de stroomrichting van het landijs heeft de omslag in het denken gevolgen. De zwerfsteensamenstellingen duiden erop dat in fasen a, b en c het landijs uit het noorden is gekomen, in de latere fasen uit het noordoosten. Het brongebied verschuift van noord naar noordoost (Maarleveld en Ter Wee). Opgemerkt wordt dat Ter Wee en Maarleveld aannemen dat de stuwwallen van Midden-Nederland door laterale druk vanuit de dalen worden opgeperst.

Ter Wee gaat eigenlijk niet in op de vervormingen die de kleinere keileemopduikingen kennelijk hebben ondergaan. Zoals vóór hem hechten ook latere auteurs juist veel waarde aan dit fenomeen. Verder zijn er nog onvoldoende gegevens, meent Ter Wee, om de glaciale verschijnselen uit de ondergrond van Noord-Holland in zijn reconstructie in te passen.

3. Het kaartbeeld compleet en verklaard aan de hand van de landijsdynamiek

Kort vóór en na het verschijnen van Ter Wee's reconstructie groeit het inzicht in de verbreiding van de Nederlandse glaciale verschijnselen bijzonder sterk door het intensieve geologisch onderzoek in verband met de grondwaterhuishouding. De begrenzing van de glaciale bekkens en hun aansluiting op de stuwwallen wordt duidelijk. Precies honderd jaar na de triomf van de landijstheorie in Noord-Europa kan de Rijks Geologische Dienst (1975a) een bijna volledig kaartbeeld met alle belangrijke glaciale fenomenen in hun samenhang presenteren. Alle hierboven genoemde elementen zijn erop terug te vinden: het Noord-Nederlandse keileemvoorkomen, gestuwde keileem, in Noord-Holland deels

begraven, de stuwwallen met de glaciale bekkens alsmede de oerstroombdalen.

Behalve dat men rond 1975 beschikt over een vollediger beeld van de verschijnselen, is bovendien de kennis over glaciale processen toegenomen. Reconstructies van de gebeurtenissen worden gekoppeld aan de dynamiek van landijsbewegingen.

Tot dan toe, zoals hierboven betoogd, gaat men er vanuit dat de bekkens met de stuwwallen eromheen ontstaan door het binnendringen van landijstongen in bestaande dalen. Ter Wee neemt tot op zekere hoogte al afstand van deze algemene opinie. De kleinschaliger glaciale fenomenen van zijn fasen c en e vereisten zijns inziens geen dalsystemen als uitgangspunt.

De discussie over het duale karakter van het glaciale landschap neemt een wending wanneer Zagwijn (1974) het mechanisme 'glacial surge' als motoriek achter de bekken- en stuwwalvorming in Midden-Nederland ziet. In de zestiger jaren had dr. J.D. de Jong, na een excursie op Spitsbergen, het begrip in Nederland geïntroduceerd. Men had waargenomen dat recente gletsjers momenten van instabiliteit kennen. De ijsmassa vloeit dan na het overschrijden van een kritische grens plotseling met grote snelheid uit. Schreef men de instabiliteit, tot in de zeventiger jaren van de 20^e eeuw, toe aan ijsophoppingen in het centrum, thans wordt een verstoring van het bed van de gletsjer als oorzaak gezien. Het evenwicht tussen de drijvende kracht (de gradiënt van de gletsjer) en de tegenkracht (wrijving) wordt verbroken. Hierbij speelt water altijd een belangrijke rol als smeermiddel. Daarom is het waarschijnlijk dat de surges plaatsvonden tijdens de degradatie of het terugtrekken van de ijskap in Midden-Nederland. Aan de randen van ijsmassa treedt erosie tot grote diepte op met zijdelingse oppersing van het aanwezige sediment.

Dit mechanisme verklaart de vorming van de grote glaciale bekkens en hogere stuwwallen zonder dat sprake is van gebruikmaking van bestaande dalen. Het komt daarmee tegemoet aan het feit dat er volgens Zagwijn helemaal geen echte dalen van Rijn, Maas of andere rivieren bestaan vóór de komst van het landijs. Zulke dramatische uitvloeiingen traden kennelijk niet op tijdens de ijsbedekking van Noord-Nederland.

Jelgersma & Breeuwer (1975a) werken de gedachte van 'surges' verder uit in hun reconstructie van de glaciële geschiedenis, die daardoor met betrekking tot de fasen a en b van Maarleveld en Ter Wee afwijkt (Afb. 5.6). Het is nu noodzakelijk de ligging van een ijsrand aan te nemen ten noorden van de Veluwe, vanwaar het plotseling uitvloeien kon beginnen om de bekkens van Midden-Nederland te vormen. Er moet natuurlijk ruimte zijn tussen de rand en de bekkens om voldoende energie voor het insnijden te ontwikkelen. De ijsrand loopt van Castricum naar Ootmarsum. Evenmin als het oprukkende ijs sporen achterlaat, behalve het keileemdek, geldt dit voor deze frontlijn. In een eerste uitvloeiingsfase komt het landijs tot het midden van het land en de grens Overijssel-Achterhoek. De stuwwallen van het Gooi, de noordelijke Veluwe en de grote Oost-Veluwe stuwwal worden opgeperst, de bekkens van IJmuiden, Amsterdam, Flevoland en Gelderse Vallei ingesneden. In een tweede, minder intensieve uitvloeiingsfase dringt het ijs verder door, bijna tot de maximale uitbreidingslijn. Bij deze fase behoren de Utrechtse Heuvelrug en de zuidelijke Veluwe stuwwallen. De ijslob die tegen Montferland en de oostelijke Veluwe aan lag, stult tussen Arnhem en Nijmegen naar het westen uit. Meer naar het zuiden wordt de stuwwalketen tot Krefeld ontwikkeld. Later volgt de maximale uitbreiding, waarvan het patroon niet veel afwijkt van dat in de vorige fase.

Vervolgens trekt het ijs zich betrekkelijk ver terug op de lijn Castricum-Urk-Ootmarsum met één tong penetrerend in het IJsselbekken (Afb. 5.7). Vanuit dit front zou in een laatste uitvloeiingsfase het bekken van Bergen zijn ontstaan. Het bekken bevindt zich ten noorden van de ijsgrens en een veronderstelde vorming vanuit deze positie roept vragen op. Dit stadium is volgens Jelgersma & Breeuwer het Rehburgerstadium. Het betekent dat de grens ervan in West-Nederland noordelijker valt dan Maarleveld en Ter Wee aannemen.

Conform de visie van Ter Wee vindt verdere teruggang in 2 stappen plaats met als grenzen van de stilstandstadia de lijn Texel-Steenwijk-Coevorden respectievelijk die langs de Oost-Groningse opduikingen. Hierbij ontstaan het Overijsselse Vechtdal respectievelijk het Hunzedal.

Benadrukt wordt dat Jelgersma & Breeuwer het geldende model van Maarleveld en Ter Wee dus nuanceren door aan te nemen dat de stuwwal- en bekkenvorming in Midden-Nederland in de eerste fasen tot stand komt onder invloed van een groeiende ijskap. Zij sluiten daarmee weer aan bij de oudere theorie.

Een verbeterde versie van de glaciële kaart van de Rijks Geologische Dienst van 1975 wordt op schaal 1 : 2 000 000 afgedrukt in de Wetenschappelijke Atlas van Nederland (Zagwijn e.a., 1985). Met het oog op het doel van de kaart, de schaal en beschikbare tijd was besloten de oorspronkelijke kaart slechts in beperkte mate te actualiseren. De verbetering betreft vooral een nauwkeuriger begrenzing van de glaciële verschijnselen in Twente en de Achterhoek en de toevoeging van enkele nieuwe elementen zoals keileemvoorkomens, een tunneldal en esker. Ondanks inmiddels afwijkende opvattingen over het oerstroombekken van de Overijsselse Vecht, wordt dit nog als zodanig aangeduid.

4. De landijsgrens te land en ter zee gekoppeld

In de meeste oudere literatuur wordt aangenomen dat de maximale landijsgrens van Haarlem simpelweg westwaarts liep tot boven de Theemsmonding. Stuwingspatronen onder de Bruine Bank in de Noordzee en het genoemde glaciële tongbekken langs de 4°OL lijn leken dat beeld te bevestigen. Het ontbreken van aanwijzingen voor glaciële invloed tussen het bekken en de Bruine Bank zaait echter twijfel. Oele & Schüttenhelm (1979) concluderen dat de richting van de maximale uitbreidingslijn, in West-Nederland van zuidoost naar noordwest, onder de Noordzee gewoon doorloopt. Zij presenteren een volledig kaartbeeld met zowel de gegevens van Jelgersma & Breeuwer als die waarover zijzelf inmiddels beschikken. De gegevens van Nederland en die van de Noordzee zijn gekoppeld.

Labans studie preciseert het verloop van de maximale begrenzing door deze op 4°OL te laten ombuigen naar het noorden (Afb. 5.7). Aan de hand van zijn gegevens en interpretatie kunnen De Gans e.a. (2000) het beeld van de reeks West-Nederlandse glaciële bekkens en stuwwallen eromheen met hun voortzetting in de Noordzee completeren. Ten westen van de reeks bevindt zich onder de

Noordzee nog het bekken van IJmuiden.

5. Het laatste woord?

Het samenvattend kaartbeeld van Jelgersma & Breeuwer (1975a) vormt het eindpunt van een logische ontwikkelingslijn. De fasering wordt steeds verfijnder. De glaciële dalen waarin het ijs zich heeft ingesneden, zouden juist niet in aanleg dalen van Rijn en Maas zijn. Het blijken omvangrijke bekkens, die door 'glacial surge' – een mechanisch proces – zijn uitgeslepen tijdens de uitbreiding van de het landijs. Het lijkt nu onomstotelijk te zijn vastgesteld dat de glaciële structuren ten noorden van de Veluwe en in Oost-Nederland op de terugweg van het ijs tot stand zijn gekomen. De geactualiseerde versie van het kaartbeeld in de Wetenschappelijke Atlas van Nederland (Zagwijn e.a., 1985) sluit daarop aan.

Voor de samenstellers was het maken van laatstgenoemde kaart tot op zekere hoogte onbevredigend gebleven. Op goede gronden overigens was niet de gelegenheid te baat genomen alle recente gegevens uit de kartering van de Rijks Geologische Dienst en die van de toenmalige Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (R.I.J.P.) bij de herziening mee te nemen. Dit klemde, des te meer daar de inzichten in glaciële processen snel zijn toegenomen en daarover volop wordt gediscussieerd. Er is behoefte 'alles uit de kast te halen'. Een goede aanleiding dit te doen is een symposium 'Tills and Glaciotectonics' dat in 1986 te Amsterdam zal worden gehouden. Hier zal de wetenschappelijke stand van zaken met betrekking tot de ijsbedekkingen en hun effecten aan de orde komen. Het besluit valt om met vereende krachten van beide genoemde diensten een geheel nieuwe glaciële kaart te maken. Het lukt de kaart 'Glaciële afzettingen en morfologie uit het Saalien in Nederland' in 1986 te publiceren (Rijks Geologische Dienst, 1986). Op vele punten betekent deze Saalienkaart een verdere vervolmaking van de voorgaande. Zo is in het bijzonder de weergave van de glaciële fenomenen in Oost-Groningen, het IJsselmeergebied, Twente en de Achterhoek veel vollediger.

Het ligt voor de hand dat vervolgens de bestaande reconstructie van de gebeurtenissen wordt herzien. Van den Berg & Beets (1987) verbinden aan de kaart een nieuwe interpretatie van de glaciële geschiedenis, die zij presenteren tijdens het symposium.

Zij gebruiken allereerst twee nieuwe gegevens bij hun reconstructie. Ten eerste brengt een analyse van de drumlins op het Drentse keileemplateau twee ijsstroomrichtingen aan het licht: één NO-ZW richting, terug te vinden in lage ruggen en de vorm van de overreden stuwwallen, en één NNW-ZZO, de Hondsrug-richting.

Ten tweede, vertonen de Oost-Nederlandse stuwwallen dezelfde kenmerken als de Duitse uit het Rehburgerstadium: zij zijn na vorming overreden. Fascinerend is dat zelfs enkele niet meer op de plaats liggen waar zij gevormd zijn. Het landijs heeft ze, over soms grote afstanden, meegeleid. De veronderstelling van Maarleveld en Ter Wee, dat het ijs na het Rehburgerstadium zich alleen maar verder terugtrok, verliest hiermee zijn grond.

Daarnaast brengen zij een nieuw aspect in het geding. Het proces van smeltwaterproductie, smeltwaterafvoer en daaruit voortkomende vervorming van de ondergrond dat het ontstaan van de Elsterien-glaciale dalen zou verklaren, is voor hen ook uitgangspunt om het ontstaan van de Midden-Nederlandse bekkens te begrijpen. Van den Berg & Beets voegen daar als nieuw element aan toe dat de wijze waarop een landijsmassa de ondergrond kan vervormen in hoge mate mede bepaald wordt door de waterdoorlatendheid ervan. Zij betrekken daarom de geohydrologische opbouw van Noord- en Midden-Nederland nadrukkelijk in hun reconstructie en constateren dat het geprononceerde Midden-Nederlandse landschap met zijn hoge stuwwallen en diepe glaciale bekkens precies ligt boven een compartiment in de ondergrond dat tot grote diepte zeer doorlatend is. Hier ligt het pakket grove afzettingen van de Rijn en het oostelijk rivierstelsel. In het noorden en oosten van het land daarentegen is de ondergrond tot grote diepte fijnkorrelig en beduidend minder permeabel. In hun ogen ligt hier de kiem voor het verschil in de glaciale landschappen van beide gebieden.

Van den Berg & Beets komen tot het volgende verloop van de glaciale geschiedenis. Het landijs stroomt vrijwel ononderbroken en zonder productie van smeltwaterafzettingen uit over het Drents plateau (Afb. 5.8). Kleine stuwwallen rond tongbekkens worden aan de ijsrand (Texel-Coevorden) opgeworpen. De slecht doorlatende ondergrond is uitermate geschikt om

daarvoor de benodigde waterdruk op te bouwen.

Daarna wordt de snelheid van de ijsbeweging geremd in Midden-Nederland en noordelijk Overijssel, waar de ondergrond overgaat van fijn naar grof, de grens van het geohydrologisch grove compartiment. Opgebouwen in tongen rukt het ijs verder op tot de noordzijde van de glaciale bekkens van Beverwijk en Amsterdam. De tongen vormen kleine bekkens door subglaciale erosie. Lokale verschillen bepalen daarbij de richting, subglaciale dalen wijzen erop dat de smeltwaterproductie nu aanzienlijk toeneemt.

In de volgende fase ontstaan de grote fenomenen. Als gevolg van grotere wrijving vertraagt de uitvloeiing en neemt de dikte van de ijsrand toe. De toegenomen smeltwaterproductie leidt tot bijzonder grote waterdrukken aan de ijsrand. Het uittredende water vindt zijn weg door de grove sedimenten van de ondergrond en ontwikkelt door sediment weg te spuiten 'subglaciale dalen' in de ondergrond, waarin het ijs wegzakt. Omdat op het ijsveld vanuit het noorden nog steeds een voorwaartse druk wordt uitgeoefend, kan het vanuit de diepe dalen de randen enigszins oppersen. Zo worden gelijktijdig een bekken uitgeruimd en een stuwwal gevormd. Hoewel niet genoemd speelt het hierboven gehanteerde begrip 'glacial surge' wellicht ook nog een rol.

De ijsrand bereikt op die manier de lijn van ongeveer IJmuiden via de zuidelijke Veluwe rand naar de noordrand van Twente. De lijn sluit aan op de Duitse stuwwallen van het Rehburgerstadium, waaraan Van den Berg & Beets de maximale verbreding in West-Nederland verbinden.

Nu vindt de grote omslag plaats (Afb. 5.9). In West- en Midden-Nederland is het ijs vastgelopen in de diepe bekkens. In het oosten echter vloeit het ijs verder uit via het bekken van Nordhorn naar het zuidoosten. Als het ware 'aangezogen' (maar het is natuurlijk door druk vanuit het ijsveld) komt een stromingsrichting op gang van noordwest naar zuidoost via de Hondsrug (het optreden van zulke stromen is bekend van Antarctica). Aan weerszijden van de stroom wordt het ijs niet meer gevoed, zodat twee kolossale dooijsslichamen ontstaan. De nieuwe landijsstroom reikt van het IJsseldal in het westen tot het Wesergebergte in het oosten en

breidt zich naar het zuiden uit tot diep in Duitsland. Spoedig daarna wordt ook de ijsstroom zelf niet meer gevoed en verwordt de gehele ijsmassa tot dooijss. De veronderstelling van zo'n abrupt einde past in de resultaten van recent klimaatonderzoek waaruit blijkt dat de omslag van een glaciaal naar een interglaciaal klimaat zich in enkele decennia kan voltrekken. Bovendien bevindt het ijs zich op Nederlandse breedtegraad veel te zuidelijk. Tenslotte ontstaan *als gevolg* van de glaciale morfologie de dalen van de Overijsselse Vecht en Hunze zoals hiervoor beschreven.

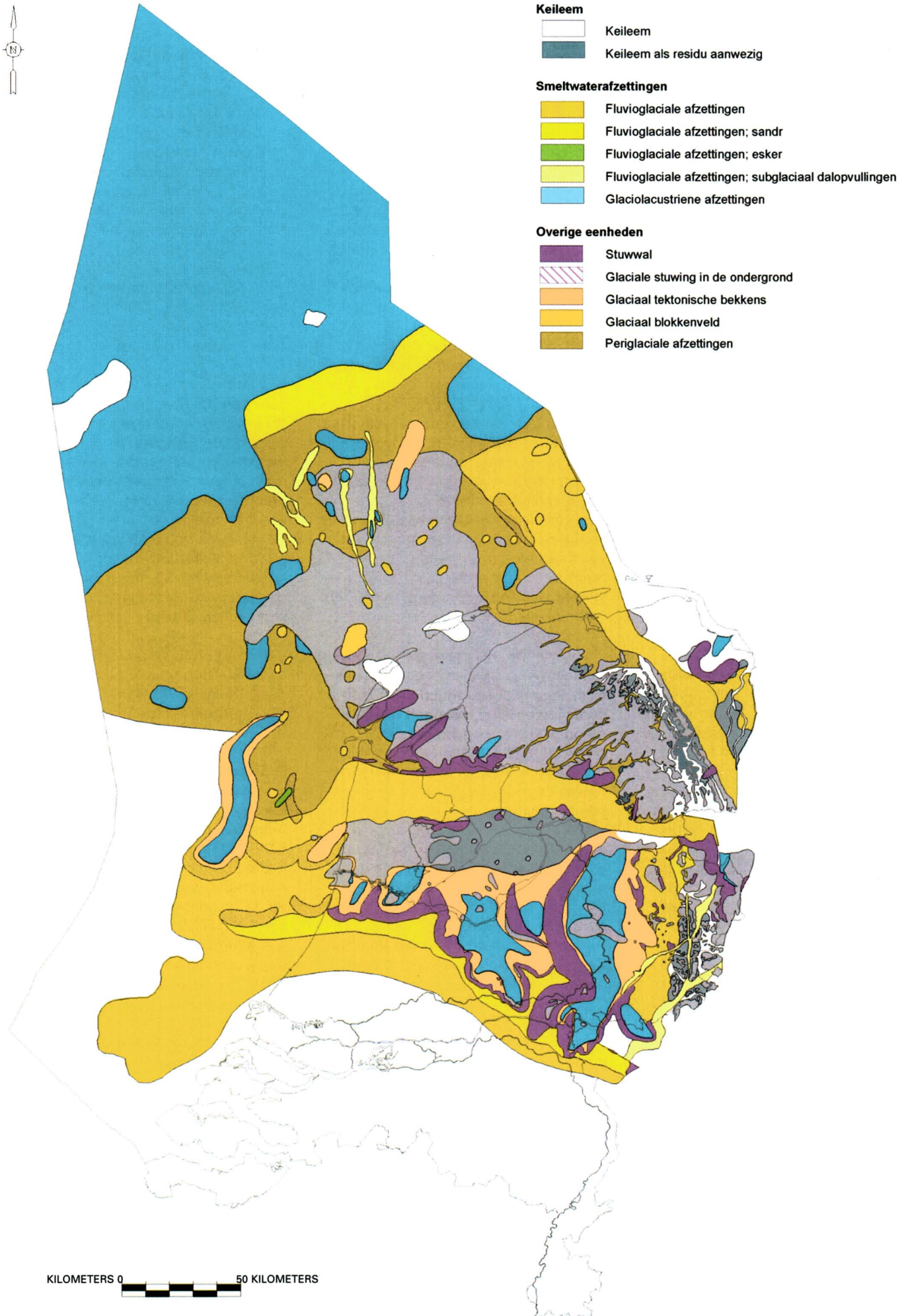
Het model van Van den Berg & Beets verklaart daarvoor onbegrepen verschijnselen, maar ook niet alle. Met weer nieuwe gegevens en modernere inzichten in het gedrag van landijsmassa's zal de reconstructie zeker opnieuw worden bijgesteld. De recente toepassing van radar- en hoge resolutie seismiek op de stuwwallen in Midden-Nederland vormt bijvoorbeeld een nieuwe onderzoekstechniek die beter de interne structuur van de stuwwallen in beeld kan brengen dan tot op heden mogelijk was. Bakker & v.d. Meer (2003) laten op die manier de aanwezigheid van plooiën zien in dezelfde stuwwal, waar Oestreich in 1912 dergelijke structuren niet anders dan uit een ontsluiting kon afleiden.

6. Tot slot: de nieuwste glaciale kaart van 2002

Een bijzondere gelegenheid, de opening van het gebouw van het TNO-NITG in Utrecht, vormt opnieuw aanleiding de glaciale fenomenen in Nederland volgens de jongste inzichten te presenteren. De glaciale kaart van 2002 (TNO-NITG, 2002; Afb. 6) is niet alleen een op onderdelen verbeterde versie van die van 1986, maar geeft ook de verschijnselen op de bodem van de Noordzee weer. Voor het eerst zijn de fenomenen volledig samengebracht en wordt hun samenhang uitgebeeld.

Dankwoord

Prof. dr. Aart Brouwer heeft mij aangemoedigd dit artikel samen te stellen. Het werk heeft mij veel plezier bezorgd. Voor zijn initiatief en de stimulerende gesprekken over het onderwerp dank ik hem daarom zeer. Cees Laban heeft met enthousiasme de tekst kritisch bekeken en ervoor gezorgd dat de belangrijkste afbeeldingen tot stand konden komen. Daarbij heeft Kenneth Rijdsdijk zijn goede diensten aangeboden. Hun hulp, waarvoor ik hen zeer erkentelijk



Afb. 6. Glaciale afzettingen uit het Saalien, kaart uitgebracht op CD-ROM door TNO-NITG tgv de opening van het nieuwe gebouw in januari 2003.

ben, was onontbeerlijk. Het kritisch commentaar van Ronald van Balen heeft duidelijk tot verbeteringen geleid. Enkele oud-collega's, Meindert van den Berg, Maarten Fischer en Wim de Gans hebben de moeite genomen de tekst geheel of gedeeltelijk door te nemen en te becommentariëren of advies te geven. Met hun bijdragen ben ik zeer ingenomen.

Wim Hoogendoorn, werkzaam bij de Provincie Utrecht, stelde welwillend afbeelding 2 ter beschikking. Daarvoor bedank ik hem graag. Jan Jaap Zijl heeft een gewaardeerde bijdrage geleverd bij het gereedmaken van afbeeldingen. Een speciaal woord van dank gaat naar de Redactie van de Woensdagkrant Duin- en Bollenstreek voor het beschikbaarstellen van de bijzondere foto van dr. Lorié in het veld en het verhaal eromheen.

Tot slot is het niet alleen voor mij als auteur, maar voor de gehele Redactie van Grondboor & Hamer eervol dat de Directie van het TNO-NITG toestemming heeft gegeven voor publicatie van de onlangs gepresenteerde kleurenkaart met glaciële verschijnselen als afbeelding bij het artikel.

Samenvatting

In 1875 wordt de gedachte van een vroegere landijsbedekking ook in Noordwest-Europa algemeen aanvaard. Het artikel beschrijft hoe men daarna geleidelijk glaciële terreinvormen in Nederland herkent. Eerst ziet men in verschillende, duidelijke terreinverhogingen eindmorenes en stuwwallen. Ook begeleidende elementen als eskers en oerstroombalen vindt men terug. Uit boorcampagnes blijkt het voorkomen van begraven structuren, waaronder glaciële dalen. Deze door het landijs verdiepte dalen van onder andere Maas en Rijn met stuwwallen eromheen (Gelderse Vallei en IJsseldal) zijn na vorming opgevuld met smeltwaterafzettingen en postglaciële afzettingen. De glaciële dalen blijken vervolgens omvangrijke, diepe bekkens, waarvan er zo'n vijf in de ondergrond van Midden-Nederland voorkomen. Een relatie met oudere rivierstelsels wordt niet aangetoond. Stuwwallen en bekkens worden in de Noordzee teruggevonden.

Aanvankelijk neemt men aan dat het landijs oprukkend van noord(oost) naar zuid(west) tijdens stilstandsfasen de stuwwalbogen opwierp. In het midden van de 20^e eeuw gaat men ervan uit dat dit juist gebeurde tijdens

het terugtrekken van het landijs. Men onderscheidt zelfs 5 stilstandstadia met bijbehorende stuwwalreeksen. In 1975 kan een min of meer volledig kaartbeeld van de glaciële morfologie worden gepresenteerd. Weliswaar beschouwt men de noordelijker stuwwalreeksen nog steeds als product van de terugtrekkende ijsmassa, het Midden-Nederlandse glaciële reliëf daarentegen zou het gevolg zijn van twee uitvloeingsfasen van de ijskap tijdens de uitbreiding. Tenslotte wordt opnieuw de theorie aangehangen dat alleen een uitbreidende landijsmassa verantwoordelijk is voor de glaciële morfologie.

De massa van het landijs zou voldoende druk leveren om zelfs de grote stuwwallen en glaciële bekkens te ontwikkelen. Waargenomen periodieke snelle uitvloeelingen van het ijs (glacial surge) geven voedsel aan de gedachte. De korrelgrootte van de ondergrond wordt in het midden van de 20e eeuw al als belangrijke factor genoemd ter verklaring van de twee Nederlandse glaciogene landschapstypen (Noord- resp. Midden-Nederland). Deze gedachte komt opnieuw onder de aandacht door het toenemend inzicht in het gedrag van landijsmassa's. Smeltwaterproductie en -afvoer enerzijds en de (on)mogelijkheid van de ondergrond daarop te reageren - onder andere als gevolg van de korrelgrootte - anderzijds worden thans verantwoordelijk gehouden voor de wijze van vervormen van de ondergrond tijdens de uitvloeelingen. Hierin ligt ook de verklaring voor het verschil tussen het glaciële landschapstype van Noord- en dat van Midden-Nederland.

De geschiedenis van de herkenning van de glaciële morfologie komt tot uiting in de glaciële kaarten die in de loop der tijd zijn geproduceerd. Oudere weergaven zijn aangegeven in Afb. 5, de jongste interpretatie staat op Afb. 6.

Literatuur/bronnen

- Bakker, M. & J.J.M. van der Meer, 2003. Structure of a pleistocene moraine revealed by groundpenetrating radar; eastern Veluwe ridge, The Netherlands. In: Bristov, C.S. & Jol, H.M. (eds) GPR in sediments: Applications and Interpretation. Geol. Soc. Spec. Pub., London, U.K.
- Balen, R.T. van & F.H. Kievits, 1989. Sedimentstructurele en glaciotektonische verschijnselen uit het Midden- Saalien in een stuwwal afgraving bij Mook (L.), Grondboor & Hamer, 43, p. 106-122.

- Baren, J. van, 1907. De morfologische bouw van het Diluvium ten W. van de IJssel. Tijdschr. KNAG Tweede serie, deel XXIV, p.129-166.
- Baren, J. van, 1922. Dr Jan Lorié en de studie van het Nederlandsche Kwartair. Tijdschr. KNAG, Tweede Serie, deel XXXIX, p. 571-579.
- Baren, J. van, 1927. De Bodem van Nederland, II. Het Kwartair. Supplement. Van Looy, Amsterdam. p. 451-1365.
- Berg, M.W. van den & D.J. Beets, 1987. Saalian glacial deposits and morphology in The Netherlands. In: J.J.M. van der Meer (ed.). Tills and Glaciotectionics. Balkema, Rotterdam/Boston, p. 235-252.
- Berg, M.W. van den & C. den Otter, 1993. Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1:50.000. Blad Almelo/Denekamp (28 O / 29). Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 240 p.
- Boerman, W.E, 1923. Smeltwatergullies op de Veluwe. Tijdschr. KNAG., deel XL, p. 355-358.
- Boissevain, M.H., 1950. Over de praeglaciële morfologie van Noord-Nederland. Geologie & Mijnbouw., N.S. 12, p. 37-40.
- Bosch, J.H.A., 1990. Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000. Blad Assen West (12 W) en blad Assen Oost (12 O). Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 188 p.
- Boulton, G.S. & R.C.A. Hindmarsh, 1987. Sediment deformation beneath glaciers: rheology and geological consequences. Journ. Geophys. Res., 92, p.9059-9082.
- Brouwer, A., 1948. Pollenanalytisch en geologisch onderzoek in het Onder- en Midden-Pleistoceen van Noord-Nederland. Diss. Leiden. Leidse Geol. Meded., 15/2, p. 259-346.
- Brouwer, A., 1950. De glaciogene landschapstypen in Nederland. Tijdschr. KNAG, LXVII, nr. 1, p. 20-32.
- Cameron, T.D.J., C.Laban & R.T.E. Schüttenhelm, 1986. Indefatigable: sheet 53° N/02° E. Quaternary Geology, 1:250.000 series British Geological Survey and Geological Survey of The Netherlands.
- Cappelle, H. van, 1890. Geologische resultaten van eenige in West-Drente en het Oostelijk deel van Overijssel verrichte grondboringen. Verh. KNAW, XXIX, 40 p.
- Cappelle, H. van, 1896. Bijdrage tot de kennis van het Gemengde Diluvium. Tijdschr. KNAG, Tweede serie, XIII, p.1-24.
- Doppert, J.W. Chr., G.H.J. Ruegg, C.J. van Staalduinen, W.H. Zagwijnen en

- J.G.Zandstra, 1975. Formaties van het Kwartair en Boven-Tertiair in Nederland. In: Zagwijn, W.H. & C.J. van Staaldin (eds.). Toelichting bij de Geologische Overzichtskaarten van Nederland, p.11-55. Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 134 p.
- Dubois, E., 1902. De geologische samenstelling en de wijze van ontstaan van den Hondsrug in Drente. Versl. van de gewone vergaderingen van de Kon. Akad. van Wet. der Wis- en Natuurkundige Afdeeling, XI, p. 43-50.
- Dubois, E., 1904. Richting en uitgangpunt der diluviale ijsbeweging over ons land. Versl. van de gewone vergaderingen van de Kon. Akad. van Wet. der Wis- en Natuurkundige Afdeeling, XIII, p. 44-45.
- Dijke, J.J. van & A. Veldkamp, 1995. Climate controlled glacial erosion in the unconsolidated sediments of North-western Europe, based on a genetic model for tunnelvalley formation. *Earth Surface Processes and Landforms*. British Geomorphological Research Group. Wiley. Chichester, UK.
- Edelman, C.H. & G.C. Maarleveld, 1944. Eenige opmerkingen over zoogenaamde smeltwaterruggen in de omgeving van Apeldoorn. *Tijdschr. KNAG*, Tweede Serie, LXI, p. 357-362.
- Ehlers, J. & G. Linke, 1989. The origin of deep buried channels of Elsterian age in Northwest Germany, *Journ. of Quaternary Science*, 4, 255-265.
- Escher, B.G. 1916. De gedaanteveranderingen onzer aarde, *Algemeene Geologie*. 1^e druk. Wereldbibliotheek, de Maatschappij voor goede en goedkoope Lectuur. Amsterdam. 422 p.
- Faase, P.E., 2002. De ontdekking van de ondergrond, Anderhalve eeuw toegepast geowetenschappelijk onderzoek in Nederland. *Geologie van Nederland*, deel 6. TNO-NITG, Utrecht 152 p.
- Faber, F.J., 1947. *Geologie van Nederland*, III Nederlandsche Landschappen. Tweede druk. J.Noorduijn en Zoon, Gorinchem. 381 p.
- Faber, F.J., 1960. *Geologie van Nederland IV*. Aanvullende hoofdstukken. Noorduijn en Zoon, Gorinchem, 380 p.
- Fischer, M.M., 1992. Leereenheid 1 Pleistocene van Nederland I: Praetiglien – Holsteinen. In: *Geologie rondom ijstijden*, deel 2, p.113. Open Universiteit, Heerlen.
- Gans, W. de, 1991. *Kwartairgeologie van West-Nederland*. Grondboor & Hamer, 45, 5/6, p.103-114.
- Gans, W. de, Th. de Groot & H. Zwaan. 1987. The Amsterdam basin, a case study of a glacial basin in The Netherlands. In: J.J.M. van der Meer (ed.). *Tills and Glaciotectonics*. Balkema, Rotterdam/Boston, p.205-216.
- Gans, W. de, D.J. Beets & M.C. Centineo, 2000. Late Saalian and Eemian deposits in the Amsterdam glacial basin. *Geol. & Mijnbouw/Neth.J.of Geosc.*, 79, p. 147-160.
- Groot, T.A.M., H.A. van Adrichem Boogaert, M.M. Fischer, B. Klijnstra, H.M. van Montfrans, H.Uil, M.W. ter Wee, M.J. van Weperen, J.G. Zandstra e.a., 1987. *Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000*. Blad Heerenveen West (11 W) en blad Heerenveen Oost (11 O). Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 251 p.
- Hol, J.B.L., 1936. Le reliéf de la Hollande et les glaciations. *Bulletin de Soc. Royale Belge de Géographie*, Fasc.3-4., 11 p.
- Hol, J.B.L., 1951. Le caractère morphologique des Pays-Bas. *Geologie & Mijnbouw*, N.S. 13, p. 191-201.
- Hol, J.B.L., 1959. De geomorfologische landschappen van Nederland. *Handboek der Geografie van Nederland*, dl VI, pag. 342-372. Erven J.J. Tijl nv, Zwolle.
- Huuse, M., & H. Lykke-Andersen, 2000. Overdeepened Quaternary valleys in the eastern Danish North Sea: morphology and origin. *Quaternary Science Reviews*, 19-2, 1233-1253.
- Jelgersma, S. & J.B. Breeuwer, 1975a. Toelichting bij de kaart glaciële verschijnselen gedurende het Saalien. In: Zagwijn, W.H. & C.J. van Staaldin (eds.). *Toelichting bij de Geologische Overzichtskaarten van Nederland*, p. 93-103. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Jelgersma, S. & J.B. Breeuwer, 1975b. Toelichting bij de geologische overzichtsprofielen door Nederland. In: Zagwijn, W.H. & C.J. van Staaldin (eds.). *Toelichting bij de Geologische Overzichtskaarten van Nederland*, p. 91-93. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Jong, J.D. de, 1952. On the structure of the pre-glacial Pleistocene of the Archemerberg (prov. of Overijssel, Netherlands). *Geologie & Mijnbouw*, N.S. 14, p. 86-90.
- Jong, J.D. de, 1955. Geologische onderzoekingen in de stuwwallen van oostelijk Nederland. *Med. Geol. St.*, N.S. 8, p. 33-58.
- Jonker, H.G., 1905. Eenige opmerkingen over de geologische samenstelling en de wijze van ontstaan van den Hondsrug. Versl. van de gewone vergaderingen van de Kon. Akad. v. Wetensch der Wis- en Natuurkundige Afdeeling, XIV, p.146-154.
- Kluyving, S.J., 1994. Glaciotectonics of the IJtterbeck-Uelsen push moraines, Germany. *Journal of Quaternary Science*, 9, 235-244.
- KNAG, 1912. Mededeling 'Dr.J. Lorie als geoloog gehuldigd'. *Tijdschr. KNAG*, Tweede Seire, XXIX, p. 221-224.
- Laban, C., 1995. The Pleistocene glaciations in the Dutch sector of the North Sea. A synthesis of sedimentary and seismic data. *Diss. Amsterdam*, 194 pp.
- Ligterink, G.H., 1954. De Hondsrug en het dal van de Oer-Eems. *Tijdschr. KNAG Tweede Reeks*, LXXI, p. 105-120.
- Lorié, J., 1887. *Beschouwingen over het Diluvium van Nederland*. *Tijdschr. KNAG Tweede serie*, IV, p. 383-453.
- Lorié, J., 1904. *Beschrijving van eenige nieuwe grondboringen (V)*. *Medeelingen van de Commissie voor geologisch onderzoek*. nr 33 p.1-21. Verh. KNAW. Tweede sectie, deel X, 1904.
- Lorié, J., 1906. De geologische bouw der Geldersche Vallei, benevens beschrijving van eenige nieuwe grondboringen (VII). *Medeelingen omtrent de Geologie van Nederland*, verzameld door de Commissie voor het Geologisch Onderzoek nr 35, p.1-100. Verh. KNAW, Tweede sectie, deel XIII (1907),1.
- Lorié, J., 1916. De geologische Bouw van de Geldersche Vallei II; benevens Beschrijving van eenige nieuwe Grondboringen. *Medeelingen van de Commissie voor geologisch onderzoek*. nr 39. p.1-30. Verh. KNAW Tweede serie deel XIX, 1917.
- Maarleveld, G.C., 1953. *Standen van het landijs*. Boor & Spade, 6, p. 95-112.
- Maarleveld, G.C., 1956. *Grindhoudende Midden-Pleistocene sedimenten*. *Med. Geol. St.*, Serie C-VI-No. 6, 105 p.
- Maarleveld, G.C., 1961. *Notities. Jaarverslag Stichting voor Bodemkartering*. Wageningen.
- Martin, K., 1889. Het eiland Urk. *Tijdschr. KNAG*, Tweede serie, VI, *Verslagen en Mededelingen* p. 1-37.
- Montfrans, H.M. van, 1975. Toelichting bij de ondiepe breukenkaart met diepteligging van de Formatie van Maassluis 1:600.000. In: Zagwijn, W.H. & C.J. van Staaldin (eds.). *Toelichting bij de Geologische Overzichtskaarten van Nederland*, p.103-108. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Oele, E., 1971. The Quaternary geology of the southern area of the Dutch part of the North Sea. *Geologie & Mijnbouw*, 50, p.461- 474.
- Oele, E., 2001. *Ontwikkelingen in de Kwartair-geologische opvattingen over ons land na Starings proefschrift van*

- 1833: de periode van Staring tot Lorié. *Grondboor & Hamer*, 55, p. 16-21.
- Oele, E. & R.T.E. Schüttenhelm, 1979. Development of the North Sea after the Saalian glaciation. In: Oele, E., R.T.E. Schüttenhelm & A.J. Wiggers (eds). *The Quaternary history of the North Sea*. Uppsala Acta Universitatis Upsaliensis, p. 143-146.
- Oestreich, K, 1912. Ein glazial Stauchungsprofil bei Arnheim. *Tijdschr. KNAG Tweede serie*, XXIX, p. 733- 736.
- Pannekoek, A.J.(red.), 1956. De geologische geschiedenis van Nederland. Toelichting bij de geologische overzichtskaart van Nederland op de schaal 1:200.000. Staatdrukkerij en uitgeverijbedrijf. 's Gravenhage, 1956. 154 pp.
- Rappol, M., 1987. Saalian till in The Netherlands: a review. In: J.J.M. van der Meer (ed.). *Tills and Glaciotectonics*. Balkema, Rotterdam/Boston, p. 3-22.
- Ruegg, G.H.J., 1981. Ice-pushed Lower and Middle Pleistocene deposits near Rhenen (Kwintelooijen): sedimentary-structural and lithological-granulometrical investigations. *Med. Rijks Geol. Dienst*, 35, p. 165-177.
- Ruegg, G.H.J., 1983. Glaciofluvial and glaciolacustrine deposits in The Netherlands. In Ehlers (red.). *Glacial deposits in North-West Europe*, p. 379-392. Balkema, Rotterdam.
- Ruegg, G.H.J. & Burger, 1999. De spoorwegafgraving bij Maarn: nieuwe waarnemingen in een oude groeve. *Grondboor & Hamer*, 53, p. 111-116.
- Ruegg, G.H.J. & J.G. Zandstra, 1977. Pliozäne und pleistozäne gestauchte Ablagerungen bei Emmerschans (Drenthe, Niederlande). *Meded. Rijks Geol. Dienst*, 28, p.65-99.
- Ruegg, G.H.J. & J.G. Zandstra, eds. 1981. *Geology and archaeology of Pleistocene deposits in the ice-pushed ridge near Rhenen and Venendaal*. *Meded. Rijks Geol. Dienst*, 35, 165 p.
- Rijks Geologische Dienst, 1975a. Overzichtskaart Glaciale verschijnselen gedurende het Saalien 1:600.000. In: *Geologische overzichtskaarten van Nederland*. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Rijks Geologische Dienst, 1975b. Geologische overzichtsprofielen door Nederland 1:300.000. In: *Geologische overzichtskaarten van Nederland*. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Rijks Geologische Dienst, 1986. Overzichtskaart 1:500.000: Glaciale afzettingen en morfologie uit het Saalien in Nederland. Redactie: M.W. van den Berg, D.J. Beets en S.D. van Veen; auteurs: M.W. ter Wee, W. de Gans, E.A. van de Meene, C. den Otter, A. Verbraeck (R.G.D); P.J. Ente en R. Koopstra (R.I.J.P.).
- Rijksopsporing van Delfstoffen, 1918. Eindverslag over de onderzoekingen en uitkomsten van den Dienst der Rijksopsporing van Delfstoffen in Nederland 1903-1916.
- Schuilung, R., 1915. *Nederland, handboek der aardrijkskunde*. 5^e druk Gorinchem, van Till. 763 p.
- Staring, W.C.H., 1833. *De geologia patriae*. Acad. Proefschrift, Leiden.
- Staring, W.H.C., 1863. Toestand van het geologisch onderzoek van Nederland. *Algemene Konst- en Letterbode*, 49, p. 390-392 en id., 50, p. 398-401.
- Staring, W.C.H., 1867. De geologische kaart is af. *Beschouwing bij het aanbieden van de dan gecompleteerde geologische kaart aan de Afdeling Natuurkunde van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen op 28 september 1867*. Manuscript Bibliotheek Wageningen.
- Steenhuis, J.F., 1916. *Bijdrage tot de kennis van den diluvialen ondergrond van Drente en Friesland*. Leiden, diss.
- Tesch, P., 1915a. Toelichting bij een geologische kaart van het Rijk van Nijmegen met het aangrenzend gebied. *Tijdschr. KNAG Tweede Serie*, deel XXXII, p. 569-574.
- Tesch, P., 1915b. Het veldspaatbestanddeel in het zogenaamde 'fluviatiele Diluvium' *Tijdschr. KNAG Tweede Serie*, deel XXXII, p. 441-448.
- Tesch, P., 1927. De glaciale kneding. *Tijdschr. KNAG. Tweede Serie*, deel XLIV, p. 325-334.
- TNO-NITG, 2003. *Glaciale afzettingen uit het Saalien*. Kaart uitgebracht op CD-ROM.
- Verbraeck, A., 1957. *Rapport Geol. Dienst*, no. 189. Haarlem.
- Waard, D. de, 1946. De geologie en geomorfologie van Urk. *Tijdschr. KNAG Tweede reeks*, deel LXIII, p. 710-736.
- Wateren, F.M. van der, 1995. *Structural geology and sedimentology of push moraines*. *Meded. Rijks Geol. Dienst*, 54, 168 p.
- Waterschoot van der Gracht, W.A.J.M.van, 1913. *Jaarverslag der Rijksopsporing van Delfstoffen over 1913*.
- Wee, M.W. ter, 1962. The Saalian glaciation in the Netherlands. *Med. Geol. Stichting, N.S.* 15, p. 57-76.
- Wee, M.W. ter, 1976. Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000. Blad Sneek (10W, 100), Rijks Geologische Dienst. Haarlem, 131 p.
- Wee, M.W. ter, 1978. Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000. Blad Steenwijk Oost (17 O). Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 105 p.
- Wee, M.W. ter, 1979. Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000. Blad Emmen West (17 W) en Emmen Oost (17 O). Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 216 p.
- Wee, M.W. ter, 1983. The Elsterian glaciation in the northern Netherlands. In: J.Ehlers, red. *Glacial deposits in North-West Europe*, p. 413-415. Balkema, Rotterdam.
- Westerhoff, W.E., E.F.J. de Mulder en W. de Gans, 1987. Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000. Blad Alkmaar West (19W) en Oost (19O). Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 227 p.
- Wiggers, A.J., 1955. *De wording van het Noordoost-Poldergebied*. Amsterdam, diss.
- Zagwijn, W.H., 1961. Vegetation, climate and radiocarbon datings in the Late Pleistocene of the Netherlands. Part I: Eemian and Early Weichselian. *Med. Geol. Stichting N.S.* 14, p. 15-45.
- Zagwijn, W.H., 1974. The palaeogeographic evolution of the Netherlands during the Quaternary. *Geol en Mijnbouw*, 53. p. 369-385.
- Zagwijn W.H., 1975. De paleogeografische ontwikkeling van Nederland in de laatste drie miljoen jaar. *Geogr. Tijdschr., Nieuwe Reeks*, IX, p. 181-201. Tevens uitgave van KNAG, Amsterdam en Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Zagwijn, dr W.H., dr D.J. Beets, ir M. van den Berg, dr H.M. van Montfrans en drs P.van Rooijen, 1985. 3. De pleistocene afzettingen, fig. 56. In: *Atlas van Nederland, Deel 13 Geologie*, Stichting Wetenschappelijke Atlas van Nederland, Staatsuitgeverij, 's Gravenhage 1985, 23 p.
- Zandstra, J.G., 1977. Hoofdstuk 2.1 Historisch geologisch onderzoek; genese van het Pleistoceen. In: C.J. van Staalduinen (red.) *Geologisch onderzoek van het Nederlandse Waddengebied*. Rijks Geologische Dienst, Haarlem, p. 10-23.
- Zonneveld, J.I.S., 1958. Lithostratigrafische eenheden in het Nederlandse Pleistoceen. *Med. Geol. St., N.S.* 12, p. 31-64.
- Zonneveld, J.I.S., 1975. Zijn de noordnederlandse stuwwallen overreden of niet? *Ber. Fys.-Geogr. Afd., Geogr. Inst. Rijks Univ. Utrecht*, 9, p. 3-14.