

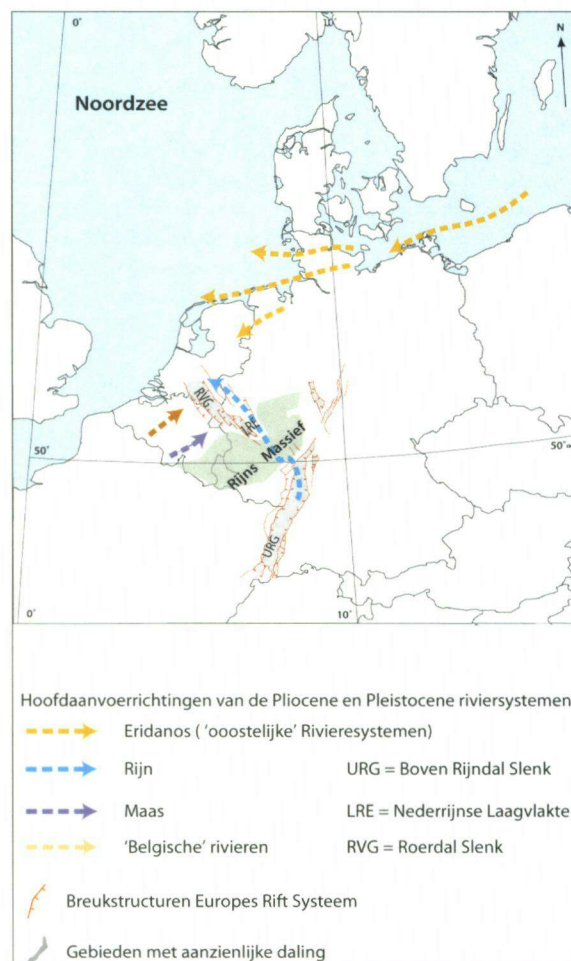
10 MILJOEN JAAR RIVIEREN IN NEDERLAND

Zand is het belangrijkste bestanddeel in de ondiepe ondergrond van Nederland en wordt vanaf de tweede helft van het Mioceen in toenemende mate door rivieren aangevoerd. Bodembewegingen, veranderingen van het zeeniveau en het klimaat zijn daarbij de sturende factoren. Het resultaat van die ontwikkelingen is vastgelegd in de complexe opbouw en variabele samenstelling van Boven-Neogene (= Boven-Mioceen/Pliocene) en Kwartaire afzettingen in de Nederlandse ondergrond.

Rivieren, zee en delta

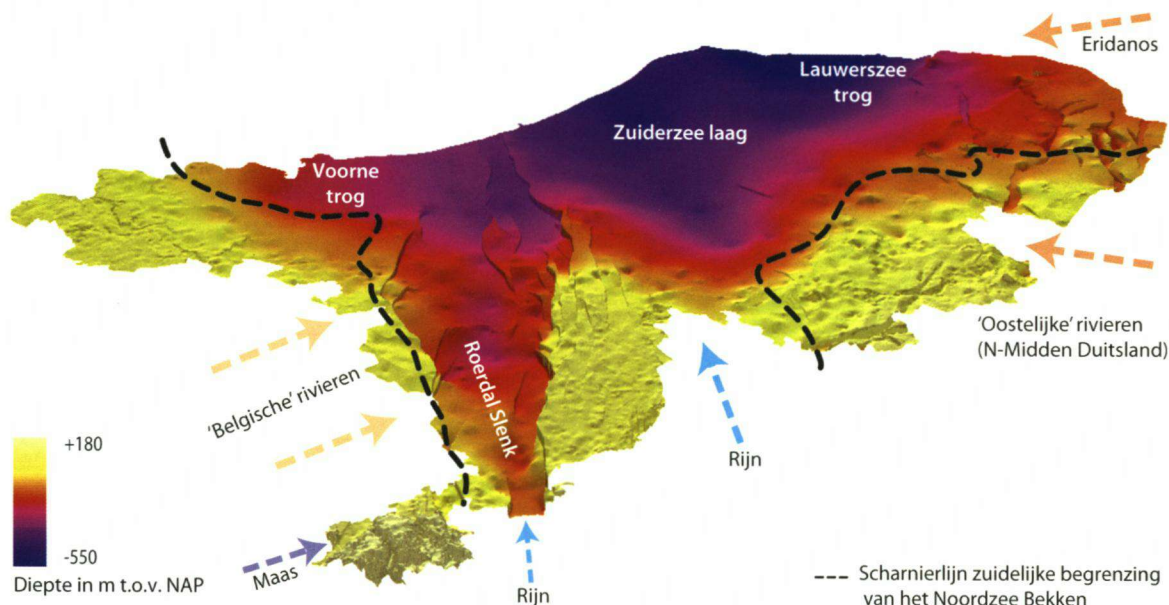
In het grootste deel van het Mioceen is Nederland nog bedekt door de zee en vindt er vanuit het oosten en zuiden nauwelijks aanvoer van sediment naar het zuidelijke Noordzeebekken plaats (De Mulder et al., 2003). Opheffing van het Fenno-Scandinavisch schild en het Rijns Massief (Ardennen en Eifel) tijdens het Laat-Mioceen brengt daar verandering in. Vanaf dat moment komen vier riviersystemen tot ontwikkeling die grote hoeveelheden sediment naar Nederland brengen (Afb. 1).

Door de ligging van Nederland aan de rand van het zuidelijke deel van het Noordzeebekken en de daarmee samenhangende bodemdaling, accumuleren vooral in het zuidoosten (Roerdaalslenk) en rond de Zuiderzee dikke pakketten sediment (Van Balen et al., 2005; Zagwijn, 1975) (Afb. 2). In eerste instantie zijn dat nog *marine* afzettingen, afgezet op de shelf of in het distale (= het lage, ver van de monding liggende) deel van de rivierdelta's (prodelta). De aanvoer van sediment door de rivieren zorgt ervoor dat de rivierdelta's in westelijke en noordwestelijke richting kunnen uitbouwen. Als gevolg daarvan migreert gedurende het Pliocene en Vroeg-Pleistoceen het deltafront in west tot noordwestelijke richting over ons land tot posities die ver buiten de



Afbeelding 1.

Nederland aan de rand van de zuidelijke Noordzee met de hoofdaanvoerrichtingen van de riviersystemen



Afbeelding 2.
Diepteligging van de onderkant van de Kwartaire afzettingen. Een complex patroon in de Roerdalslenk en grootste daling in het noordwestelijk deel van Nederland.

huidige kustlijn liggen. Tijdens dit proces wordt een groot deel van het door de rivieren aangevoerde sediment in zee afgezet en daarom rekenen we die afzettingen lithostratigrafisch tot de mariene eenheden (Afb. 3). Vooral de mariene afzettingen uit het Mioceen kunnen veel glauconiet bevatten en geven het sediment vaak een kenmerkende donkergroene kleur. Het riviersediment dat in de bovenste lagen van de delta (in het aan zee grenzende laagland en in de door getijdenwerking beïnvloede riviermondingen) wordt afgezet, rekenen we lithostratigrafisch tot de *fluviatiele* eenheden.

Lithostratigrafie en brongebieden

De gesteentekennmerken van de riviersedimenten worden in belangrijke mate bepaald door het materiaal dat vanuit de brongebieden wordt aangevoerd. Daarom kan de herkomst van het riviersediment dienen als één van de criteria voor de lithostratigrafische indeling en worden er vier categorieën van rivierafzettingen onderscheiden (Afb. 4). Binnen elke categorie zijn, op grond van de lithologische samenstelling, meerdere eenheden (formaties) gedefinieerd. Naast de korrelgrootteverdeling van grind, zand en klei speelt de ondersteunende informatie over de zware mineralensamenstelling en van boorgatmetingen een belangrijke rol bij de lithostratigrafische indeling. De hoofdkenmerken van de vier categorieën van riviersediment worden hieronder kort samengevat (Westerhoff et al., 2003)

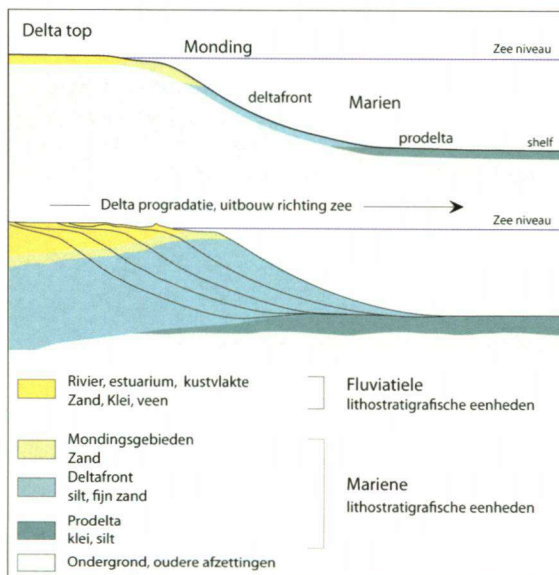
1) De 'oostelijke' riviersystemen

In eerste instantie betreft dit de Eridanos, een nu niet meer bestaand riviersysteem, waarvan de oorsprong in het Baltische gebied ligt (Overeem & Kroonenberg, 2002). Vanaf het Laat-Mioceen tot aan het einde van haar bestaan in het Midden-Pleistoceen brengt deze rivier grote hoeveelheden sediment naar het Noordzeebekken. In Noord-Nederland bedraagt de dikte van deze sedimenten ruim 200 m een waarde die in het centrale deel van de Noordzee kan oplopen tot meer dan 800 m. Het zand is grijs tot wit van kleur en heeft een hoog gehalte aan doorschijnende blauwgrijze, lichtgrijze en kleurloze kwarts. In het bovenste deel neemt het aandeel grijze en witte veldspaat toe. In dat traject kom ook grind voor dat afkomstig is uit Baltische gebied. Lithostratigrafisch worden de afzettingen tot de

Formatie van Peize gerekend (Afb. 4). Granaat, epidoot en hoornblende zijn de dominante zware mineralen, maar het aandeel stabiele mineralen kan vaak oplopen tot meer dan 50% (Afb 5). [NB *instabiele* mineralen verwerken gemakkelijk; in de legenda van Afb. 5 zijn dit granaat t/m vulkanische mineralen. *Stabiele* mineralen zijn veel resistenter; in de legenda van Afb. 5 zijn dit de restgroep t/m toermalijn.] Als, rond het Midden-Pleistoceen, de Eridanos ophoudt te bestaan komt er nog steeds sediment uit oostelijke richting naar Nederland dat wordt aangevoerd door rivieren die hun oorsprong hebben in Midden-Duitsland en voor een deel mogelijk ook Bohemen (Skupin et al., 1993). Deze sedimenten bestaan uit grijswitte, grove, grindhoudende zanden en kunnen ruim 100 m dik zijn. Ze behoren tot de Formatie van Appelscha. De groep instabiele mineralen met onder meer granaat, epidoot en hoornblende, bedraagt zo'n 70%. Opvallend is het vrijwel steeds aanwezig zijn van topaas (Afb. 5).

2) Het riviersysteem van de Rijn

Opheffing van het Rijns Massief gedurende het Laat-Mioceen leidt tot de ontwikkeling van een in noordwestelijke richting afwaterend riviersysteem. Dit riviersysteem, aangeduid als pre-Rijn, heeft als brongebied de sterk verwerende deklagen van het Rijns



Afbeelding 3.
Schematische weergave van een zeewaarts uitbouwende delta.

De opleving van het vulkanisme in de Eifel tijdens het Midden-Pleistoceen veroorzaakt de derde verandering in de petrografische samenstelling van het Rijnsediment. In de zware-mineralensamenstelling zien we dat in de enorme toename van vulkanische mineralen (met name augiet, Afb. 5). De hierbij behorende afzettingen worden tot de Formatie van Urk gerekend.

Afzettingen van de Rijn die tijdens of na de landijsbedekking van het Saalien gevormd zijn, behoren tot de Formatie van Kreftenheye. Deze sedimenten bevatten soms fragmenten van puimsteen die afkomstig zijn van Laat-Pleistocene vulkanische activiteit in de Eifel, onder meer van de Laacher See uitbarsting. De Holocene afzettingen van de Rijn behoren tot de Formatie van Echteld.

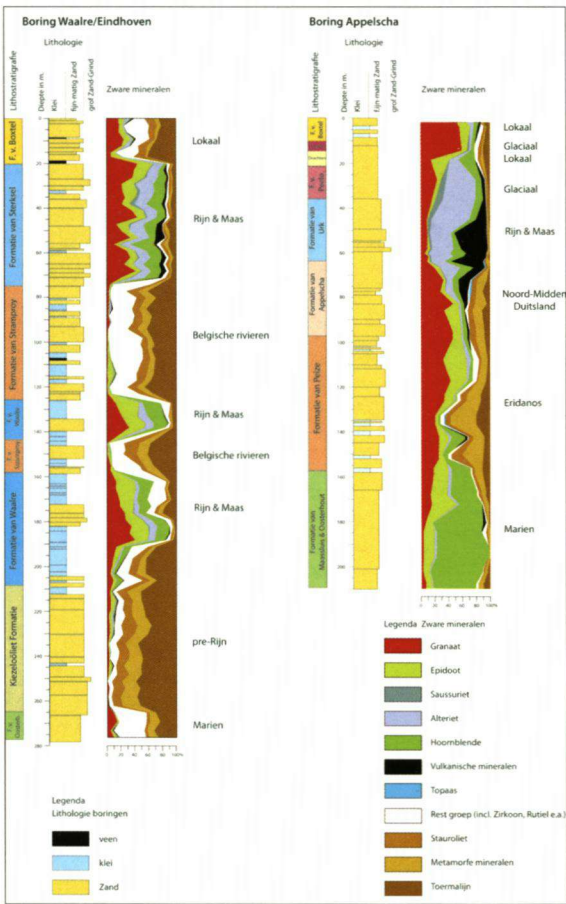
3) Het riviersysteem van de Maas

Het derde riviersysteem dat sediment naar Nederland en het Noordzee Bekken voert is de Maas met haar oorsprong in de Vogezen. Zuivere afzettingen van de Maas treffen we aan in de rivierterrassen van Zuid-Limburg, in de Roerdalslenk en op het Peel Blok. Over het algemeen zijn het grove, grindhoudende zanden met een relatief hoog gehalte aan kwarts en vuursteen. De afzettingen van de Maas uit het Pliocene hebben een overwegend stabiele zware mineralensamenstelling. Lithostratigrafisch worden de Maasafzettingen tot de Formatie van Beegden gerekend. De Kwartaire Maas sedimenten kunnen tot 50% instabiele mineralen bevatten, waarvan Vogezen-hoornblende en chloritoid opvallende componenten zijn. Maar vooral in de grove grind- en stenenfractie zijn Maasafzettingen goed herkenbaar aan kenmerkende componenten die afkomstig zijn uit Noord-Frankrijk (o.a. Revinien kwartsiet) en de Ardennen (o.a. Burnot-conglomeraat).

Zowel in het Pliocene als tijdens het Vroeg-Pleistoceen voegt de Maas zich, in het gebied ten noordoosten van Aken in Duitsland, samen met de Rijn. Benedenstrooms van dit confluëtiëpunt spreken we daarom altijd van "gemengde Rijn-Maas afzettingen" (Westerhoff et al., 2008). Omdat de Rijn een grotere hoeveelheid sediment vervoert is, vooral in de zandfractie, het aandeel van de Maas dan niet meer herkenbaar. Wel kan de invloed van de Maas worden herkend aan het voorkomen van typische Maascomponenten in de grovere grind- en stenenfractie.

4) De 'Belgische' rivieren

Een stelsel van kleinere rivieren dat de afwatering van het centrale en noordelijke deel van België verzorgt, is het vierde riviersysteem dat sediment naar Nederland brengt. Tijdens het Pliocene en Vroeg-Pleistoceen zijn dat min of meer evenwijdig aan elkaar in noordwestelijke richting lopende rivieren, die vooral in het zuidelijk deel van Nederland sediment afzetten. Deze afzettingen bestaan uit fijn tot matig grof kwartsrijk zand, dat afkomstig is van verweerde Tertiaire afzettingen in België. Het zware mineralenbeeld is overwegend stabiel met relatief hoge gehalten aan zirkoon en toermalijn (Afb. 5). De afzettingen worden gerekend tot de Formatie van Stramproy. In de loop van het Midden-Pleistoceen vormen relatief dicht bij het oppervlak liggende oudere kleilagen (Rupel Klei, Kempische Klei) in het noorden van België cuesta's (door erosie ontstane reliëfvormen, meestal als gevolg van moeilijk erodeerbare afzettingen vlak onder het maaiveld) en worden de afwateringspatronen van de rivieren in westelijke richting omgebogen. De meeste



Afbeelding 5. Zware mineralen diagrammen van boringen bij Eindhoven en Appelscha (zie uitleg in de tekst).

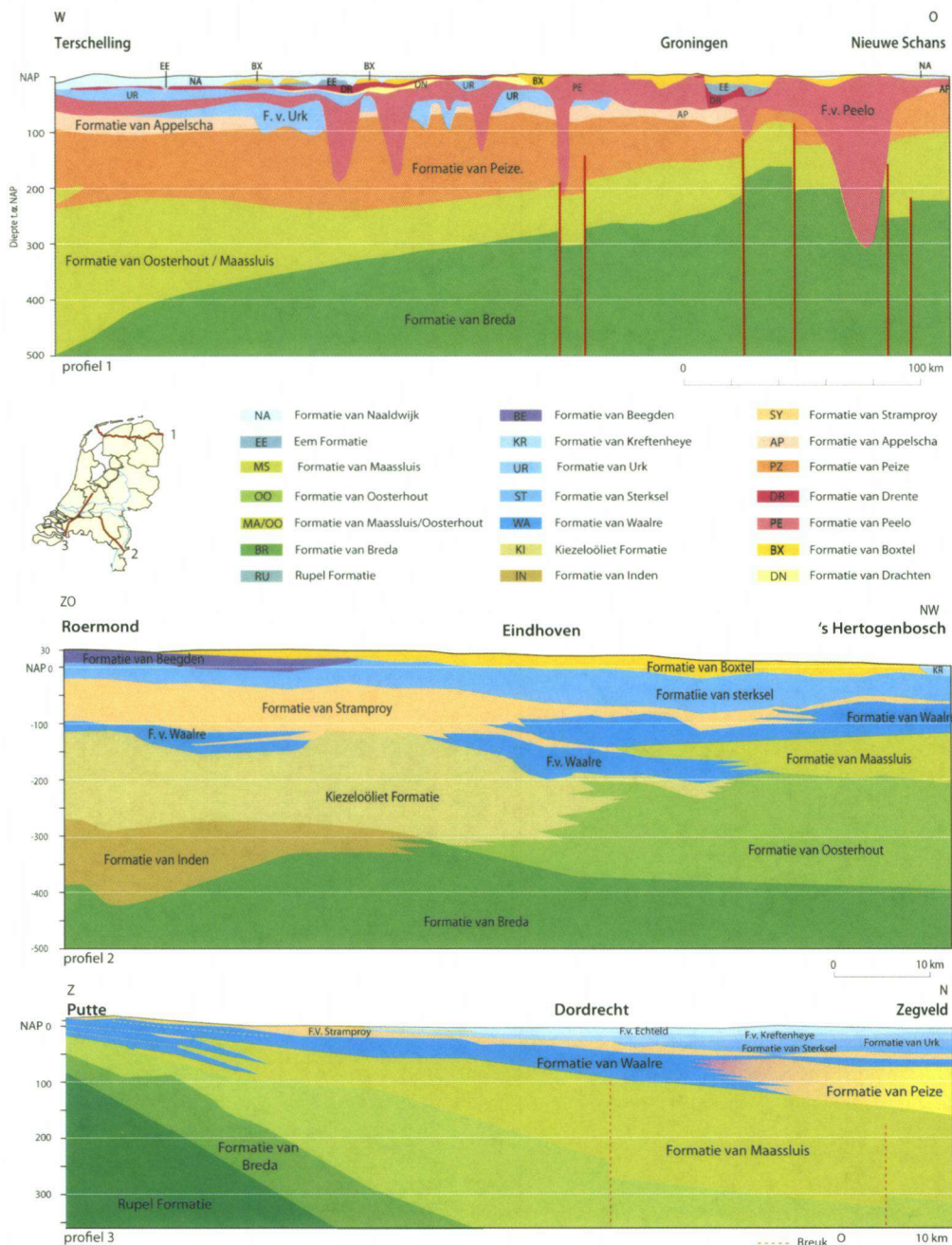
rivieren in België gaan dan deel uitmaken van het stroomgebied van de Schelde. Afzettingen van de Schelde en haar zijrivieren die in het zuidwestelijk deel van Nederland zijn gevormd, worden tot de Formatie van Koewacht en de Kreekrak Formatie gerekend (Afb. 4).

Het ondergrond archief

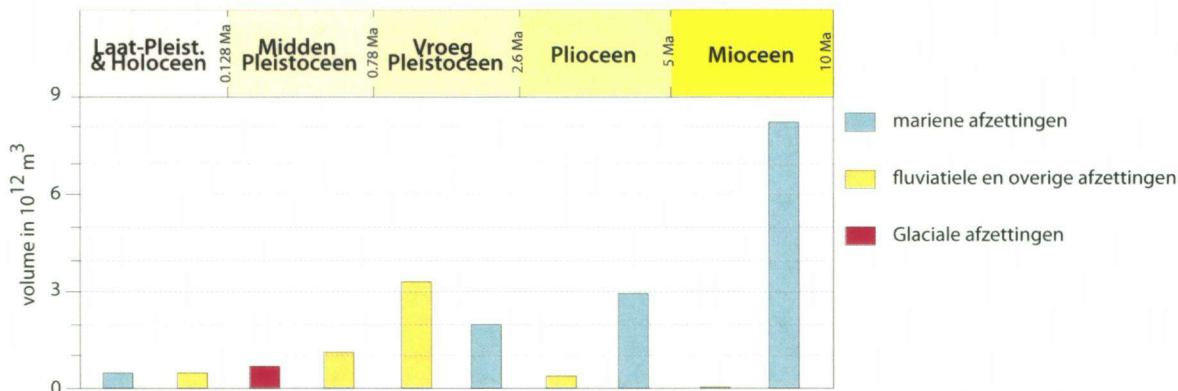
Intervingerende verspreidingspatronen en wisselende dikten kenmerken de opeenvolging van Neogene en Kwartaire afzettingen in de ondergrond van Nederland. Ze vertellen de geschiedenis van het samenspel tussen mariene sedimentatie, delta-uitbouw en rivierontwikkeling, maar ook van bodemdaling en klimaatverandering. De eerste stap om die geschiedenis te ontrafelen is het ordenen en karteren van de verschillende sedimentpakketten in lithostratigrafische eenheden op formatieniveau (Afb. 4). Ter verduidelijking van de onderlinge samenhang tussen de verschillende formaties zijn in afbeelding 6 drie geologische profielen tot een maximum diepte van 500 m weergegeven.

In Noord-Nederland (profiel 1, Afb. 6) zien we dat de totale dikte van de rivierafzettingen in westelijke richting toeneemt en meer dan 200 m kan bedragen. Ook de dikte van onderliggende mariene afzettingen neemt in westelijke richting toe. Het patroon van naar het westen dikker wordende sedimentpakketten hangt direct samen met de tectonische bodemdaling en bevestigt de positie van Nederland aan de rand van het Noordzeebekken (Afb. 2). De omvang van de Formatie van Peize toont aan dat de Eridanos ('oostelijke' rivier) grote hoeveelheden sediment heeft afgezet. Zodra de 'oostelijke' rivieren ophouden sediment naar Nederland te brengen, neemt de invloed van de Rijn in Noord-Nederland toe (Formatie van Urk). Gedurende het Kwartair worden in Nederland vooral riviersedimenten gevormd, maar tijdens het Midden-Pleistoceen is die

Afbeelding 6.
Drie geologische
profielen tot ca. 500
m diepte. N.B. de
verticale schaal van
profiel 1 verschilt
met die van de
profielen 2 en 3.



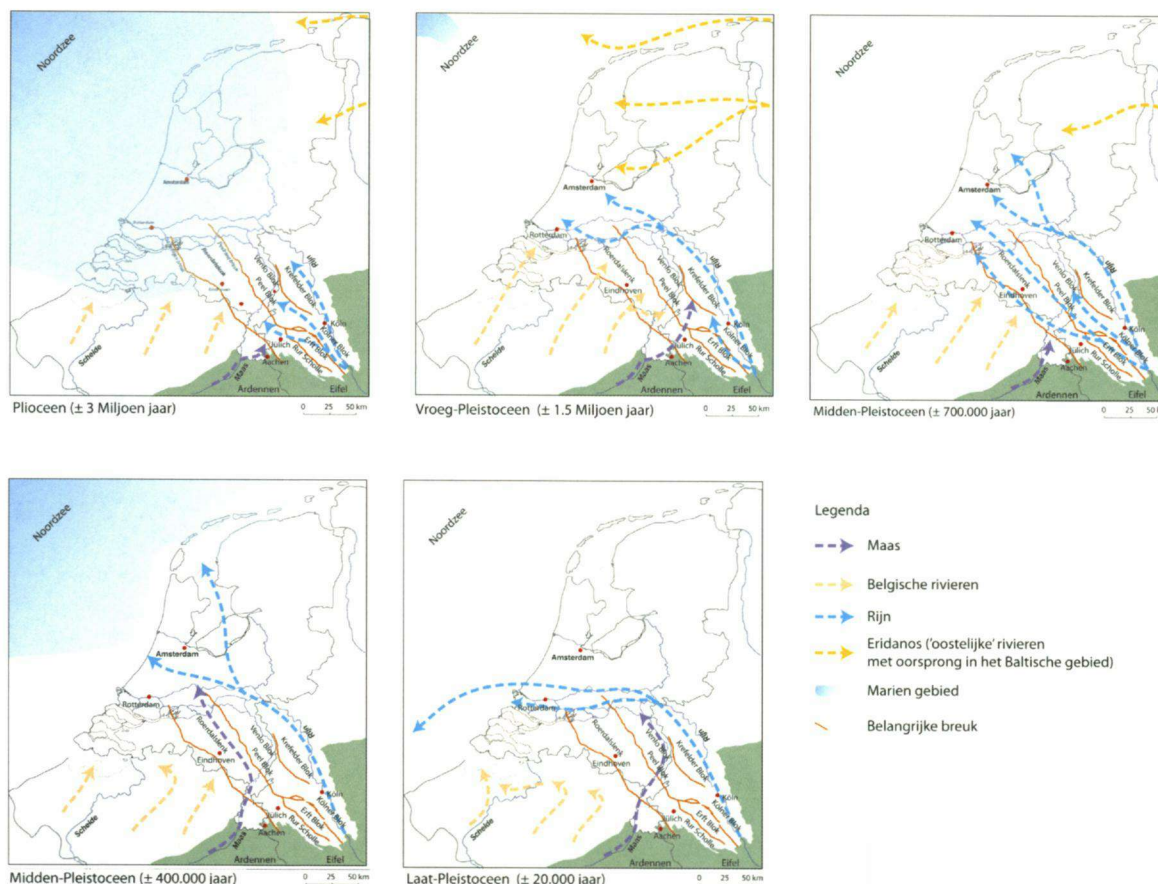
Afbeelding 7.
De verdeling van de
hoeveelheid sedi-
ment die in ruwweg
de laatste 10 miljoen
jaar binnen de gren-
zen van het huidige
vasteland van Neder-
land is afgezet.



ontwikkeling in Noord en Midden-Nederland tot twee maal toe op dramatische wijze onderbroken door de bedekking met landijs tijdens het Elsterien en Saalien. Opvallend zijn de met zand en klei opgevulde glaciale dalen van de Formatie van Peelo die enkele honderden meters diep kunnen zijn. Na die glaciale fase herstelt de riviersedimentatie zich weer (Formatie van Urk), maar tijdens de landijsbedekking van het Saalien

worden keileem en smeltwaterafzettingen (Formatie van Drenthe) gevormd. Voor het uiterste noorden van Nederland betekent dat ook het einde van afzetting door de grote riviersystemen.

In de Roerdaalslenk bij Roermond (profiel 2, Afb. 6) bedraagt de totale dikte van de rivierafzettingen ruim 400 m. In dit profiel is duidelijk te zien dat de rivier-



Afbeelding 8. Paleogeografische kaartjes met de hoofdstromen van de verschillende riviersystemen op vijf verschillende momenten in het Pliocene en Kwartair. Voor verdere uitleg: zie de tekst.

afzettingen van de Formatie van Inden, de Kiezeloöliet Formatie en de Formatie van Waalre in noordwestelijke richting overgaan in mariene afzettingen. Dat is een direct gevolg van de uitbouwende rivierdelta's in de Pliocene en Vroeg-Kwartaire Noordzee. Door de regionaal sterke daling zijn in de Roerdalslenk dikke pakketten sediment uit het Pliocene en Vroeg-Kwartair bewaard gebleven. De jongere afzettingen liggen daar als een relatief dunne deken overheen.

In profiel 3 (Afb. 6) is de regionaal dalende trend van de ondergrond in noordelijke richting goed te zien. Ook hier hangt dat samen met de positie van Nederland aan de zuidelijke rand van het Noordzee Bekken (Afb.2). In het zuidelijke deel van het profiel zien we inschakelingen van de Formatie van Waalre in de Vroeg-Kwartaire mariene afzettingen van de Formatie van Maassluis. Een verschijnsel dat duidt op herhaalde veranderingen van het zeeniveau. De kustlijn migreert tijdens het Vroeg-Pleistoceen geleidelijk aan in westelijke richting en daardoor kan het sedimentatiegebied van de Rijn (Formatie van Waalre) zich uitbreiden. In Centraal-Nederland ontmoeten de sedimentatiegebieden van Rijn en Eridanos elkaar. De Midden- en Boven-Pleistocene rivierafzettingen liggen daar weer als een deken overheen. Ook in deze relatief dunne pakketten zien we, door toename van de dikte in noordelijke richting, de algemene dalende tendens van het Noordzeebekken nog terug.

Sediment hoeveelheden

De hoeveelheid sediment die in ruwweg de afgelopen 10 miljoen jaar is afgezet is enorm. In totaal gaat het om $\pm 18,9 \times 10^{12}$ (triljoen) m^3 ; gemiddeld is dat $\pm 1,89 \times 10^6$ (miljoen) m^3 per jaar. In de grafiek (Afb. 7) komt duidelijk tot uiting dat het merendeel van de afzettingen bestaat uit mariene sedimenten, die gevormd zijn in de naar het westen migrerende delta's (zie ook Afb. 3). De inbreng van de rivieren is in het Mioceen en Pliocene

nog bescheiden, maar neemt vooral in het Vroeg-Pleistoceen toe. In het Midden- en Laat-Pleistoceen neemt de in totaal afgezette hoeveelheid riviersediment weer af. Het overgrote deel van het door de rivieren getransporteerde sediment wordt dan door ons land gevoerd en verder westelijk in de Noordzee afgezet. Verdeeld over het oppervlak van het vasteland van Nederland ($\pm 41.580 \text{ km}^2$) bedraagt de netto ophoging per jaar slechts 0,05 mm. Dit getal moet als indicatief beschouwd worden. Ten eerste is de sedimentatie niet evenredig verdeeld over het oppervlak van Nederland en in de tweede plaats is de aanvoer en sedimentatie door de tijd niet constant. Het getal geeft echter wel aan dat de sedimentatie onder natuurlijke omstandigheden relatief langzaam verloopt (van der Meulen et al., 2007). Ter vergelijking: bij de aanleg van de Maasvlakte 2 wordt in drie jaar tijd $220 \times 10^6 \text{ m}^3$ zand verplaatst. Dat is $\pm 70 \times 10^6 \text{ m}^3$ per jaar, een hoeveelheid die de natuurlijke sedimentatie vele malen overschrijdt.

Rivierontwikkeling op de geologische tijdschaal

Aanvoer van sediment en de accommodatieruimte voor sedimentatie bepalen in de loop van de tijd waar en wanneer een rivierloop op een bepaalde plaats ligt. Bodembewegingen en veranderingen van het zeeniveau spelen daarbij een belangrijke rol. Omdat de sturende factoren zelden voor langere tijd constant zijn, migreren rivieren in de loop van de tijd door het (paleo)landschap. De hoofdlijnen van de rivierontwikkeling is hier samengevat in vijf kaartjes (Afb. 8) die onderstaand kort worden toegelicht.

Pliocene (± 3 miljoen jaar geleden)

Nederland is nog voor het grootste deel bedekt door de zee. In het zuidoosten zet de pre-Rijn sediment af in de Nederrijnse laagvlakte (het dalende gebied ten noorden van de Eifel). In Nederland is dat vooral in

de Roerdalslenk en naaste omgeving. In feite is het een uitgestrekt, dicht bij zee gelegen laagland met een gering verhang en er liggen tussen de rivierlopen grote komgebieden. Het sediment dat wordt afgezet behoort tot de Kiezeloöliet Formatie. De Maas stroomt door het oosten van Zuid-Limburg en voegt zich in de omgeving van Jülich bij de Rijn. Stroomafwaarts van dit confluëntiepunt spreken we van gemengde Rijn-Maas afzettingen. Langs de grens met België vindt sedimentatie plaats door in noord- en noordoostelijke richting stromende kleinere rivieren. In het noordoosten van Nederland is de eerste invloed merkbaar van rivieren die hun oorsprong in het Baltische gebied hebben.

Vroeg-Pleistoceen (± 1.5 miljoen jaar geleden)

De zee heeft zich in noordwestelijke richting teruggetrokken en Nederland ligt geheel in het bereik van de vier grote riviersystemen. De Eridanos zet sediment af in heel Noord- en Midden-Nederland. Het is een riviersysteem dat vele malen groter is dan dat van Rijn en Maas. De Rijn, die inmiddels contact heeft met Zuid-Duitsland en de Alpen, is als gevolg van bodembewegingen in de Nederrijnse laagvlakte naar een meer oostelijk gelegen positie verschoven. Daardoor kan de Maas haar sedimentatiegebied in noordoostelijk richting uitbreiden tot in de omgeving van Mönchengladbach. De vanuit België komende rivieren krijgen ruimte om veel sediment af te zetten in het dalende gebied van de Roerdalslenk.

Midden-Pleistoceen (± 700.000 jaar geleden)

Door opheffing van het Eifel-Ardennengebied voert het Rijn-Maassysteem opnieuw veel grind en grof zand aan dat over grote delen van Zuid- en Midden-Nederland wordt afgezet. In Zuid-Limburg is de Maas, eveneens als gevolg van bodembewegingen, naar een westelijke positie gemigreerd en stroomt nu via Maastricht in noordelijke richting. Het sediment van de Belgische rivieren wordt opgenomen in het Rijn-Maassysteem en is niet meer als aparte afzetting herkenbaar. In het noorden van Nederland komt een einde aan de aanvoer van sediment uit oostelijke richting.

Midden-Pleistoceen (± 450.000 jaar geleden)

Opnieuw zijn er belangrijke verschuivingen in de rivierpatronen. De Rijn heeft haar hoofdafvoer in het oosten van de Nederrijnse laagvlakte en zet sediment af in het midden en noorden van Nederland. De Maas heeft een eigen hoofdstroom in Zuid-Limburg en in de Roerdalslenk en voegt zich pas in Midden-Nederland bij de Rijn. In de 200.000 jaar die op dit beeld volgen migreert de Maas, gestuurd door bodembewegingen, in oostelijke richting tot ongeveer de huidige positie langs de grens met Duitsland. De Belgische rivieren buigen voor een deel in westelijke richting en gaan behoren tot het stroomgebied van de Schelde. Ze brengen alleen nog sediment naar het zuidwestelijk deel van Nederland. In het noorden van Nederland zijn de 'oostelijke' rivieren verdwenen. De kustlijn ligt grotendeels ten noordwesten van de huidige kustlijn. Na deze periode wordt de ontwikkeling van de riviersystemen sterk verstoord door opkomst van landijs in minstens twee glaciële fasen.

Laat-Pleistoceen (± 20.000 jaar geleden)

De Rijn volgt nog steeds haar oostelijk gelegen afvoer in de Nederrijnse laagvlakte en stroomt door Midden-Nederland naar het westen. In de Noordzee, die als gevolg van landijs op Noord-Europa droog ligt, buigt de Rijn af in zuidwestelijke richting en stroomt via het

Nauw van Calais naar de Atlantische Oceaan. De Maas heeft haar positie langs de oostgrens met Duitsland ingenomen en voegt zich ten noorden van Gennep bij de Rijn. De Belgische rivieren wateren in westelijke richting af en vormen plaatselijk nog afzettingen in de provincie Zeeland. In Noord-Nederland vindt geen sedimentatie door grote riviersystemen plaats.

Tot slot

De in de ondergrond bewaard gebleven afzettingen vormen gezamenlijk een uitgebreid bodemarchief waarin de veranderingen van klimaat, bodembewegingen, riviergedrag en kustvorming verborgen ligt. Het ontrafelen van die puzzel draagt bij tot een beter inzicht in de processen die daarbij een rol spelen. De ontwikkeling van ruwweg de laatste 10 miljoen laat zien dat Nederland met recht als delta- en rivierenland beschouwd kan worden.

LITERATUUR

- De Mulder, E.F.J., Geluk, M.C., Ritsema, I., Westerhoff, W.E. & Wong, T.E., (red.), 2003. De ondergrond van Nederland. Geologie van Nederland, deel 7. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (Utrecht).
- Meulen, M.J. van der, Spek, A.J.F. van der, Lange, G. de, Gruijters, S.H.L.L., Gessel, S. van, Nguyen, B.-L., Maljers, D., Schokker, J., Mulder, J.P.M. & Krogt, R.A.A. van der, 2007. Regional Sediment Deficits in the Dutch Lowlands: Implications for Long-Term Land-Use Options. *Journal Soils Sediments* 7 (1), pp. 9 - 16.
- Overeem I., & Kroonenberg, S. 2002. De Amazone in de Noordzee. *Natuur en Techniek* 70 (1), pp. 66 - 71.
- Schäfer, A., Utescher, T., Klett, M. & Valdivia-Manchego, M. 2005. The Cenozoic Lower Rhine Basin - rifting, sedimentation, and cyclic stratigraphy. *International Journal Earth Science (Geol. Rundsch.)* 94, pp. 621 - 639.
- Skupin, K., Speetzen, E. & Zandstra, J.G., 1993. Die Eiszeit in Nordwestdeutschland. *Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen (Krefeld)*.
- Van Balen, R.T., Houtgast, R.F. & Cloetingh, S.A.P.L., 2005. Neotectonics of The Netherlands: a review. *Quaternary Science Reviews* 24, pp. 439 - 454.
- Westerhoff, W.E., Kemna, H.A. & Boenigk, W., 2008. The confluence area of Rhine, Meuse, and Belgian rivers: Late Pliocene and Early Pleistocene fluvial history of the northern Lower Rhine Embayment. *Netherlands Journal of Geosciences/Geologie en Mijnbouw* 87, pp. 107 - 126.
- Westerhoff, W.E., Wong, T.E. & Geluk, M.C., 2003. De opbouw van de ondergrond. In: De Mulder E.F.J., Geluk, M.C., Ritsema, I., Westerhoff, W.E. & Wong, T.E. (eds.). *De ondergrond van Nederland*. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO. Geologie van Nederland 7, pp. 247 - 352.
- Zagwijn, W.H., 1975. Paleogeografische ontwikkeling van Nederland in de laatste 3 miljoen jaar. *KNAG Geografische Tijdschrift*, IX, pp. 181 - 201.