

"Hoogtemodel (AHN) van de Maas en haar terras in de Roerdalslenk".

De invloed van breuken op de Maas en Roer in het Roerdalslenk-systeem

HESSEL WOOLDERINK,
KEES KASSE EN

RONALD VAN BALEN.

AFDELING AARDWETENSCHAPPEN,
VRIJE UNIVERSITEIT AMSTERDAM

"De loop der rivieren is afhankelijk van den geologischen bouw van het terrein."
(Blaupot Ten Cate, 1920).

Al een eeuw geleden werd er een relatie tussen geologie en rivieren gelegd in het zuiden van Nederland, een onderwerp dat tot op de dag van vandaag nog reden geeft tot onderzoek. Omdat zowel de Maas als haar zijrivier de



Roer door het tektonisch actieve Roerdalslenk-systeem stromen (waarvan de tektonische activiteit uitzonderlijk goed bekend is), en deze rivieren een serie van relatief goed bewaarde restanten van een vroegere rivier-vlakte (rivierterras) hebben gevormd in de afgelopen circa 50.000 jaar (voor een overzicht zie Woolderink *et al.*, 2018), is dit een ideaal studie-gebied om te bepalen hoe breuken in de ondergrond rivieren beïnvloeden. Door de rivierterrassen over de gehele lengte van de Maas in het Roerdalslenk-systeem te karteren is het mogelijk geworden om de verschillende effecten van breuken op de Maas en Roer te achterhalen.

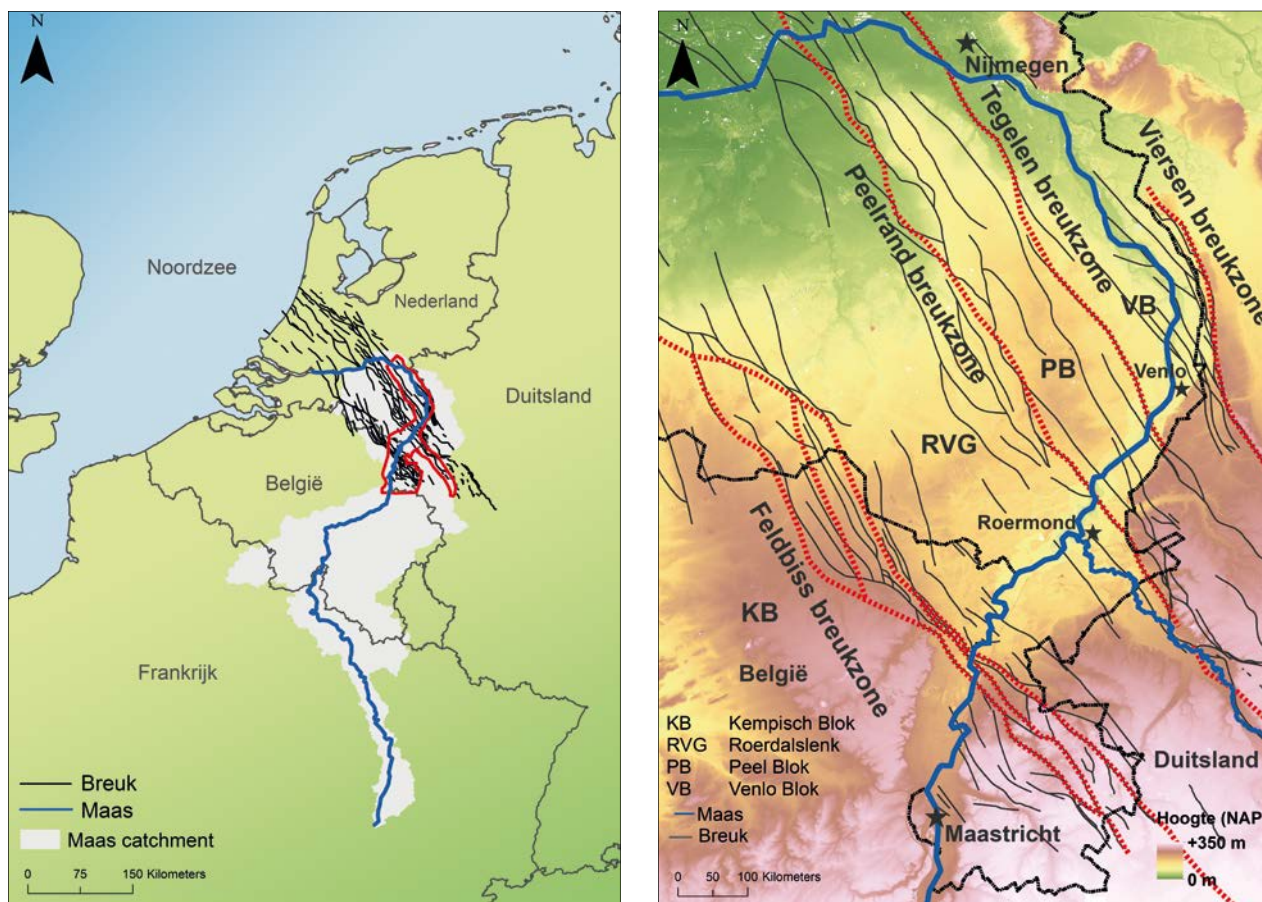
Over het algemeen streeft een rivier naar een zo constant mogelijke gradiënt die past bij de waterafvoer en sedimenttoevoer van die rivier. Breukverplaatsing zorgt ervoor dat op een regionale (in het geval van tektonische blokken) of lokale schaal (breukzones) de steilte van de gradiënt van een rivier (tijdelijk) wordt veranderd. Zulke bodembewegingen kunnen tevens voor een relatief plotselinge verandering in de samenstelling van de ondergrond zorgen door relatieve daling van het “lage” blok aan de ene zijde van de breukzone en opheffing van het “hoge” blok aan de andere zijde. Dankzij het streven naar evenwicht zal een rivier zich proberen aan te passen aan deze door tektoniek veranderde omstandigheden. Dit kan zich uiten in het lokaal eroderen of afzetten van sedimenten in de riviergeul, maar bijvoorbeeld ook in een veranderend rivierpatroon of het aannemen van een gunstigere route door een verlegging van de rivier (avulsie). Dat is ook het geval gebleken bij de Maas en Roer. Juist de Peelrandbreukzone, bekend van de aardbeving bij Roermond, blijkt een grote invloed te hebben.

Geologische achtergrond

De ondergrond van zuid Nederland wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van verscheidene breukzones. Deze breukzones zijn onderdeel van de Beneden-Rijnslenk. Het Roerdalslenk-systeem is onderdeel van de Beneden-Rijnslenk,

die zich uitstrekt over noordoost België, zuidoost Nederland en westelijk Duitsland (Afb. 1). Het Roerdalslenk-systeem is een zogenaamd rift-gebied waarin de aardkorst uit elkaar beweegt (extensie). De hedendaagse extensiefase is begonnen tijdens het Laat-Oligoceen (circa 27 miljoen jaar geleden) en heeft sinds het Mioceen (circa 23 miljoen jaar geleden) een noordoost-zuidwest extensierichting (Geluk *et al.*, 1994; Van Balen *et al.*, 2005). Hierdoor ontstaan er afschuivingen langs breukzones en vormt er een horst-slenk structuur waarin horsten relatieve hoogtes in de topografie vormen en de slenken laagtes zijn (Afb. 1). De oorzaak van het Roerdalslenk-systeem ligt in het laatste stadium van de vorming van de Alpen waarbij Italië in noordwestelijk richting beweegt. Hierdoor beweegt de aardkorst verderop loodrecht op deze richting juist uit elkaar (Van Balen, 2009).

Het Roerdalslenk-systeem bestaat uit het Kempisch blok, de Roerdalslenk, het Peelblok en het Venloblok (Afb. 1). Het Kempisch blok en het



AFBEELDING 1. | Overzicht van de tektonische structuur van het Roerdalslenk-systeem.



Peelblok vormen de relatief omhoog komende delen (horsten), terwijl de Roerdalslenk en het Venloblok de relatieve laagtes vormen (slenken). Deze blokken worden onderling gescheiden door verschillende breukzones. De Feldbissbreukzone (bestaande uit de Heerlerheide, Geleen en Feldbissbreukzones) vormt de grens tussen het Kempisch blok en de Roerdalslenk in het zuidelijke deel van het Roerdalslenk-systeem (Afb. 1). Binnen de Roerdalslenk bevindt zich nog een kleine horst welke begrensd wordt door de Koningsbosch en Beegden breukzones (Afb. 2). De Roerdalslenk en het Peelblok worden gescheiden door de (relatief nauwe) Peelrandbreukzone. De overgang tussen het Peelblok en het Venloblok wordt gevormd door de Tegelenbreukzone, welke bestaat uit meerdere breuken. De Viersenbreukzone begrenst het Roerdalslenk-systeem in het noordoosten (Afb. 1). De breukzones binnen het Roerdalslenk-systeem hebben een duidelijke noordwest-zuidoost oriëntatie.

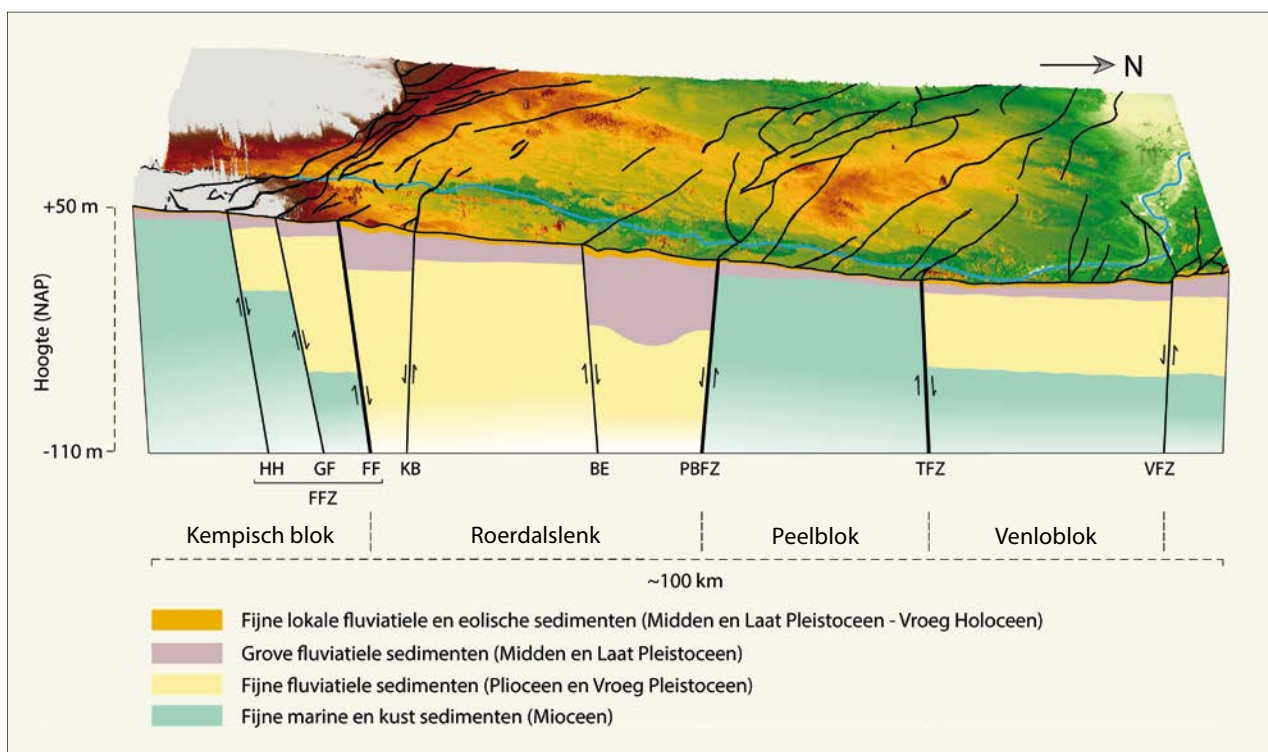
De horst-slenk structuur van het Roerdalslenk-systeem ondergaat bodemverplaatsingen. Zo heeft er in de Roerdalslenk circa 1000-1200 meter bodemdaling plaatsgevonden

sinds het Mioceen terwijl dit voor het Peelblok maar ongeveer 200 meter is (Geluk *et al.*, 1994). Deze differentiële bodembewegingen zorgen er voor dat verschillende afzettingen tegenover elkaar liggen aan weerszijden van de breukzones (Afb. 2). De geschiedenis van de relatieve bodembewegingen in het Roerdalslenk-systeem voor het Kwartair (2,58 miljoen jaar gelden tot heden) zijn in detail bestudeerd door Houtgast en Van Balen (2000). Hieruit is gebleken dat de Roerdalslenk gemiddeld 88 mm per duizend jaar is gedaald terwijl de dalingsnelheid voor het Peelblok en Kempisch blok respectievelijk 46 en 27 mm per duizend jaar was. Een ander belangrijk punt dat uit dit overzicht naar voren komt is het feit dat de verplaatsing varieert langs de individuele breukzones. Met andere woorden, niet alle segmenten van een breukzone (zoals bijvoorbeeld de Peelrandbreukzone) hebben dezelfde mate van verplaatsing ondergaan en de verplaatsing hoeft niet overal gelijktijdig plaats te hebben gevonden. Gemiddeld genomen neemt de daling van de Roerdalslenk, en dus de beweging langs de breukzones, af van het noordwesten naar het zuidoosten.

De breukzones in het Roerdalslenk-systeem zijn nog steeds seismisch actief, met de aardbevingen van Düren (1756), Uden (1932) en Roermond (1992) als de meest belangrijke voorbeelden. Tevens zijn er de laatste jaren in sleufonderzoek belangrijke bewijzen gevonden voor zeer zware fossiele aardbevingen, waarbij een terreintrede in het aardoppervlak werd gevormd (Van Balen *et al.*, 2019 & dit nummer). Zulke zeer abrupt gevormde hoogteverschillen in het aardoppervlak kunnen een belangrijke invloed hebben op, bijvoorbeeld, de rivieren Maas en Roer.

Sedimentaire geschiedenis

De opheffing van de Ardennen en het Rijns Massief heeft sinds het Laat Pliocceen geresulteerd in een set van rivierterrassen van de Rijn en Maas in zuid Limburg en delen van Nordrhein-Westfalen in Duitsland (Van den Berg, 1996; Boenigk en Frechen, 2006). De continue daling van het Roerdalslenk-systeem heeft echter geleid tot een ophoping van een omvangrijk sedimentpakket in, met name, de Roerdalslenk (Afb. 2). De Roerdalslenk, en in mindere mate het Venloblok en het noordelijke deel van het Kempisch blok,



AFBEELDING 2. | Schematische dwarsdoorsnede door het Roerdal Slenk Systeem (gebaseerd op DINOLoket).

HH = Heerlerheidebreuk, GF = Geleenbreuk, FF = Feldbissbreuk, KB = Koningsbosch breuk, BE = Beegdenbreuk, PBFZ = Peelrandbreukzone, TFZ = Tegelenbreukzone, VFZ = Viersenbreukzone. (afbeelding naar Woolderink *et al.*, 2018).

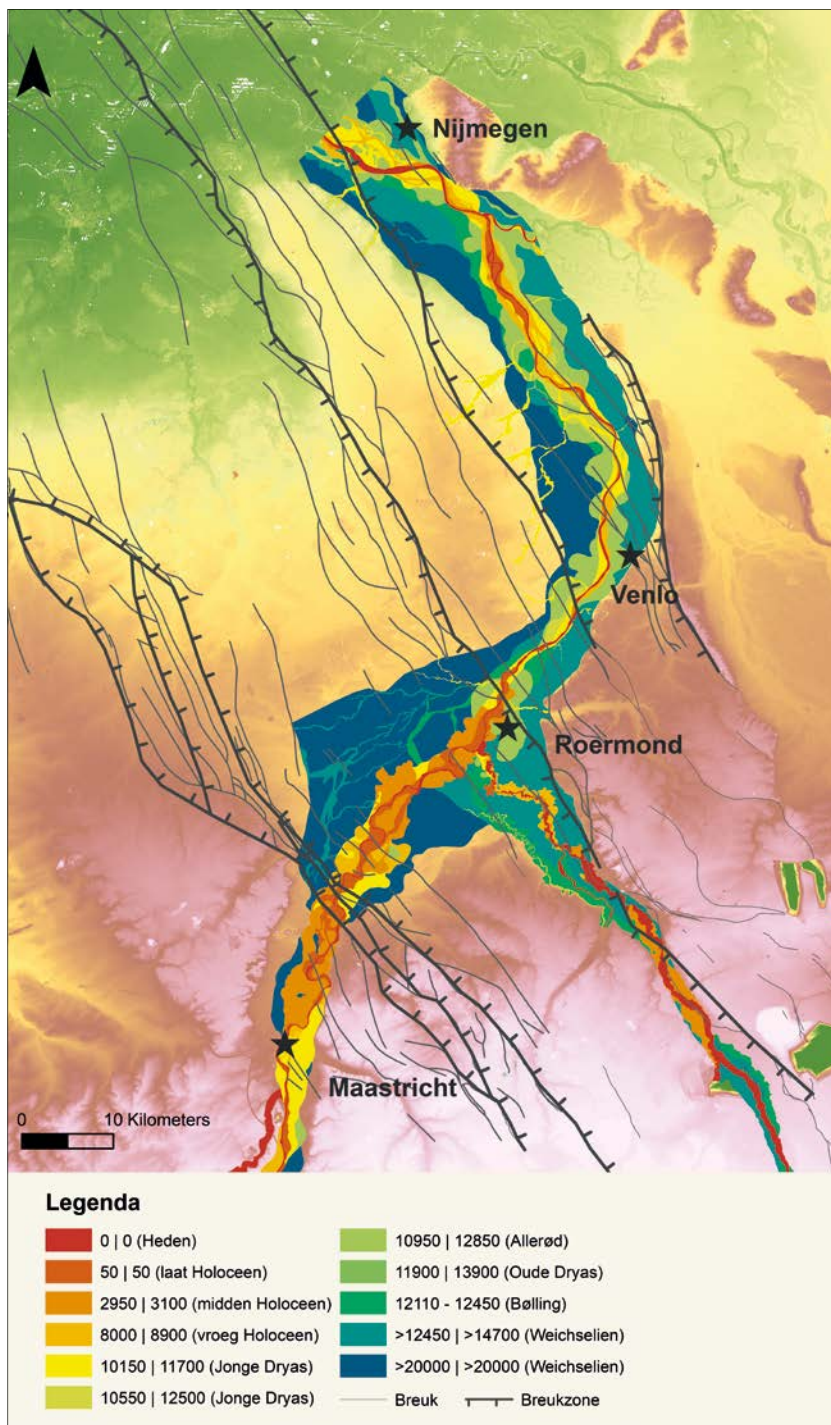


zijn opgevuld met relatief fijne riviersedimenten uit het Laat-Mioceen en Vroeg-Pleistoceen (Kiezeloöliet, Waalre en Stramproy Formaties [Westerhoff *et al.*, 2008]). Deze afzettingen worden (voornamelijk in de Roerdalslenk) bedekt door de grove rivierafzetting van de Rijn en Maas uit het vroege deel van het Midden-Pleistoceen (Formatie van Sterksel). Tijdens het latere deel, het Cromerien (850 - 465 duizend jaar geleden), verlegde de Rijn zich in een meer noordelijke richting en verliet hiermee de Roerdalslenk. Het resultaat hiervan was dat de Maas de belangrijkste rivier werd in het zuiden van Nederland. De grove riviersedimenten van de Maas in het Roerdalslenk-systeem behoren tot de Formatie van Beegden. Ook de stroomrichting van de Maas is in de loop van de

tijd naar het noordoosten verplaatst. Hierbij is de Maas, na opvulling van de Roerdalslenk, over het Peelblok geschoven om vervolgens op het Venloblok te gaan stromen. Door deze stroomverlegging van de Maas, en de veel geringere daling ten opzichte van de omringende tektonische blokken, worden op het Peelblok de fijne, ondiep mariene en kustnabij sedimenten uit het Mioceen (Formatie van Breda) direct bedekt door de grove Maas sedimenten (Afb. 2). Naast afzettingen van de Maas werden er in het Roerdalslenk-systeem lokale rivier en ook op grote schaal eolische sedimenten afgezet (Formatie van Boxtel). Over het algemeen is het pakket sedimenten behorende tot de Formatie van Boxtel dikker in de relatief sterk dalende Roerdalslenk dan op de andere blokken van het Roerdalslenk-systeem (Afb. 2).

Tektonische invloeden op de Maas en Roer

De bodembewegingen binnen het Roerdalslenk-systeem hebben een sterke invloed gehad op de dynamiek van de Maas en de Roer. De relatief snelle daling van de Roerdalslenk heeft ervoor gezorgd dat dit lange tijd een gebied is geweest waarin de Rijn, Maas en Roer hun sedimenten hebben afgezet. Het feit dat de naastgelegen blokken (Kempisch blok en Peelblok) veel minder snel zijn gedaald heeft er voor gezorgd dat er sedimenten van verschillende ouderdom en samenstelling tegenover elkaar zijn komen te liggen (Afb. 2). Zulke relatief snelle overgangen in lithologie van de ondergrond hebben een weerslag op de dynamiek van de Maas in het Holoceen: bij de overgang van de Roerdalslenk naar het Peelblok is er een afname in sinuositeit (mate van meanderen) van de Maas. Waar de Maas in de Roerdalslenk nog een relatief brede rivier-vlakte heeft met een hoge sinuositeit en een hoge mate van zijdelingse verplaatsing, is er op het Peelblok sprake van een veel nauwere rivier-vlakte met een bijna rechte geul en heeft de Maas zich tijdens het Holoceen amper in de breedte verplaatst (Afb. 3). Een belangrijke factor die hiervan de oorzaak zou kunnen zijn is het verschil in weerstand tegen erosie. De grove sedimenten in de Roerdalslenk zijn, ondanks hun aanzienlijke korrelgrootte, relatief makkelijk te



AFBEELDING 3. | Overzicht van de rivierterrassen van Maas en Roer in de afgelopen 20.000 jaar. De legenda geeft de ouderdom van verlaten van de rivierterrassen in ¹⁴C jaren gekalibreerde kalenderjaren weer. Hoge topografische delen worden weergegeven in wit/roodtinten en lage delen in geel/groentinten. Breukzones zijn benoemd in Afb. 1.



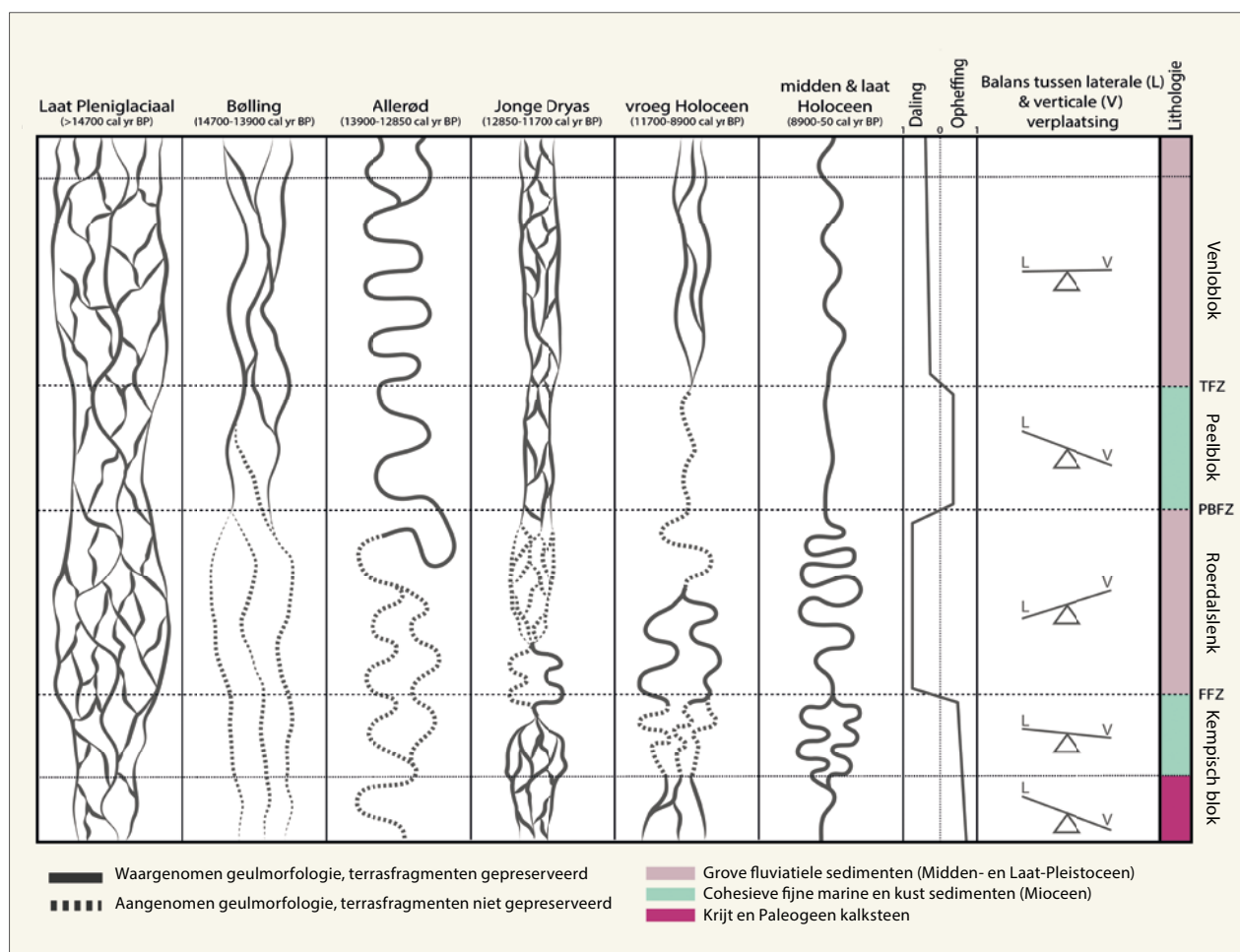
verplaatsen doordat de cohesie (onderlinge aantrekkingskracht) gering is. De fijnere sedimenten op het Peelblok hebben een hogere cohesie waardoor de oevers van dit deel van de Maas een stuk lastiger te eroderen zijn en dus de zijdelingse verplaatsingssnelheid afneemt.

De overgang tussen sedimenten van verschillende samenstelling is echter niet de enige oorzaak. Ook de relatieve opheffing van het Peelblok op zichzelf is een belangrijke factor in de vernauwing van het Maasdal over het Peelblok. Wanneer het Peelblok relatief omhoog komt ten opzichte van de omliggende blokken reageert de Maas hierop door lokaal (over het Peelblok) sedimenten te eroderen. Aangezien de Maas maar een beperkte capaciteit heeft om sedimenten te eroderen, en de basis van de geul zich moet insnijden om de opheffing van het Peelblok bij te houden, blijft er weinig energie over om ook in de

breedte sedimenten te eroderen. Er is als het ware een balans tussen de hoeveelheid verticale verplaatsing (insnijding) en laterale of zijdelingse verplaatsing van de riviergeul, waarbij in de Roerdalslenk de laterale verplaatsing domineert en op het Peelblok juist de verticale verplaatsing (Afb. 4).

De overgang van de Roerdalslenk naar het Peelblok heeft ook een belangrijk effect op de uitsortering van sedimenten op korrelgrootte over de lengterichting van de Maas. Hoewel de Roerdalslenk gekenmerkt wordt door daling, is het verhang van de Maas nog relatief hoog (circa 50 cm/km voor de Laat-holocene Maas), waardoor zand nog makkelijk kan worden getransporteerd en er dus relatief veel grind wordt afgezet. De opheffing van het Peelblok, en in mindere mate ook van het Venloblok, zorgen voor een knikpunt in het verhang van de Maas. Hierdoor neemt de gradiënt af tot circa 15 cm/km benedenstrooms van Roermond. Wat hiermee samenhangt is een afname van de stroomsnelheid waardoor vanaf dit punt ook zand kan sedimenteren en dus het beddingmateriaal van de Maas voornamelijk uit zand bestaat. Verder brengt de samenvloeiing van de Roer in de Maas en het feit dat de Maas veel zandige sedimenten op het Peelblok erodeert voor een extra toevoeging van zand in de Maas benedenstrooms van Roermond. Hierdoor staat de Maas bovenstrooms van Roermond ook wel bekend als de “Grind-Maas” terwijl het benedenstroomse deel “Zand-Maas” wordt genoemd.

Waar de Maas op het Kempisch blok, de Roerdalslenk en het Peelblok nog min of meer loodrecht op de oriëntatie van de tektonische blokken stroomt (Afb. 3), verandert dat bij het Venloblok. Hier verlegt de Maas zich in een noordwestelijke richting, min of meer parallel aan de oriëntatie van het Venloblok.



AFBEELDING 4. | Overzicht van de morfologie van de Maas over de afgelopen 20.000 jaar per tektonisch blok. Wat opvalt is de vernauwing van de riviervlakte (trechtvorm) en de afname van sinuïteit (mate van meanderen) van de Maas over het omhoogkomende Peelblok. (afbeelding naar Woolderink et al., 2018).

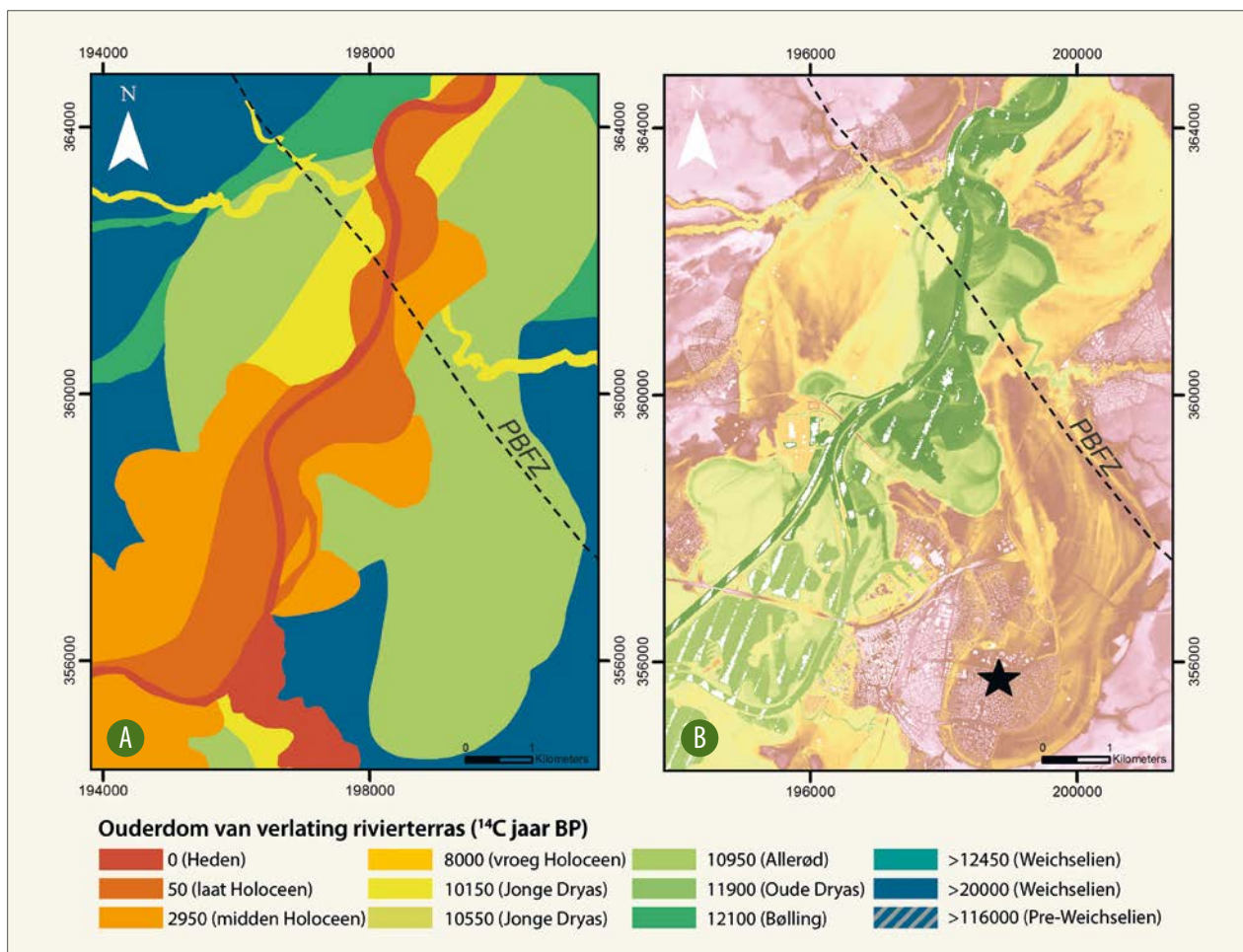


Echter, de rivierterrassen die de Maas heeft achtergelaten in de afgelopen 20.000 jaar verraden ook een andere tektonische invloed. Sinds de laatste ijstijd is de Maas namelijk in noordoostelijke richting afgeschoven op het Venloblok, wat te zien is in de preferente preservatie van rivierterrassen aan de westelijke oever van de Maas (Afb. 3). Dit is waar te nemen bij de rivierterrassen die nu nog aan het oppervlak liggen (ongeveer tussen Venlo en Nijmegen) maar ook bij de terrassen van de Maas die nu begraven liggen onder holocene delta-afzettingen (Cohen, 2003). Deze afschuiving is het gevolg van de kanteling van het Venloblok in noordoostelijke richting, een fenomeen dat ook optreedt bij het Peellblok. En onder holocene delta van de Rijn en Maas zijn nog meer aanwijzingen gevonden voor breukinvloeden op rivierdynamiek. Zo zijn de laatglaciale Rijn- en Maasterrassen onder de huidige delta tot wel 1,5 meter verzet (Cohen *et al.*, 2002) en hebben er tijdens het Holoceen bovengemiddeld veel verleggingen van de riviergeulen van de Rijn en Maas plaatsgevonden nabij de Peelrand- en Tegelenbreukzones (Stouthamer en Berendsen, 2001).

Dat bewegingen langs de Peelrandbreukzone een grote invloed hebben gehad op rivierdynamiek blijkt tevens uit een “abnormale” meander bij Roermond welke is gevormd tijdens het begin van het Allerød (13.900-12.850 jaar geleden) (Afb. 5). De meander is afwijkend omdat deze een erg hoge sinuositeit heeft en zelfs (kortstondig) in bovenstroomse richting heeft bewogen terwijl alle andere meanders uit deze periode zich juist benedenstrooms verplaatsten. Deze afwijkende meander bij Roermond is het gevolg van verticale bewegingen langs de Peelrandbreukzone die ontstaan zijn als gevolg van zware aardbevingen aan het begin van het Laatglaciaal (14.700 – 11.700 jaar geleden) (Van Balen *et al.*, 2019 & dit nummer). Doordat het Peellblok circa 1 meter omhoog kwam ten

opzichte van de Roerdalslenk werd ook de bodem van de Maas met dezelfde mate verzet. Zo'n plotseling verzet van de rivierbedding heeft belangrijke gevolgen voor de stroming in de rivier, welke doorwerken in de sedimentatie in de riviergeul en hierdoor ook de sinuositeit van de rivier beïnvloeden. Nadat dit (tijdelijke) obstakel in de riviergeul van de Maas was weggewerkt door erosie kon de loop van de Maas zich herstellen naar haar “normale” dynamiek.

Dezelfde periode van toegenomen activiteit langs de Peelrandbreukzone heeft ook invloed gehad op de loop van de Roer. De Roer loopt door de Roerdalslenk, min of meer parallel aan de Peelrandbreukzone (Afb. 3). Ten tijde van toegenomen activiteit en relatief groot verzet langs de Peelrandbreukzone aan het begin van het Laatglaciaal bestond het benedenloopse deel van de Roer



AFBEELDING 5. | Overzicht van de Allerød meander bij Roermond met een zeer hoge sinuositeit (aangeven met zwarte ster) die gevormd is als gevolg van verplaatsing langs de Peelrandbreukzone (PBFZ) tijdens het begin van het Laatglaciaal. Paneel A geeft de rivierterrasindeling weer (ouderdom van verlatting in ¹⁴C jaren BP) en paneel B een hoogtebeeld, waarbij de wit-roodtinten relatieve hoogtes en de geel-groentinten relatieve laagtes weergeven. (afbeelding naar Woolderink *et al.*, 2018)



uit twee lopen, waarbij het splitsingspunt (bifurcatie) net over de grens met Duitsland lag (Afb. 3). Door het verzet langs de Peelrandbreukzone ontstond er een gradiëntvoordeel naar de breukzone toe, in noordelijke richting. De Roer reageerde hierop door haar meest zuidelijke loop af te danken en de noordelijke loop te vergroten. De afgedankte zuidelijk loop van de Roer is als een fossiele riviervlakte achtergebleven in het landschap (Afb. 3; Kasse *et al.*, 2017; Woolderink *et al.*, 2019).

Uit dit alles blijkt dat de tektonische processen in het Roerdalslenk-systeem een belangrijke impact hebben gehad op de loop van de rivieren in dit riftsysteem. De Peelrandbreukzone heeft hierin een uitzonderlijke rol gespeeld doordat er langs deze nauwe breukzone relatief grote en

abrupte verplaatsingen hebben plaatsgevonden waaraan de Maas en Roer zich hebben moeten aanpassen. Het feit dat deze verplaatsingen, op geologische tijdschaal, ook recent hebben plaatsgevonden zorgt er voor dat het Roerdalslenk-systeem en de Peelrandbreukzone een uitzonderlijke bijdrage hebben kunnen leveren aan ons begrip van de interactie tussen breuk-bewegingen en rivierdynamiek.

Wilt u de paleogeografie van de Maas thuis bekijken als een interactieve kaart? Ga dan naar <https://arcg.is/1H4L9W> of scan de QR code.



LITERATUUR

- Balen, R. van, 2009, *Aardkundig excursiepunt 28 Peelrandbreuk en Maashorst. Grondboor & Hamer*, 63(6), 155-160.
- Balen, R.T. van, Bakker, M.A.J., Kasse, C., Wallinga, J. & Woolderink, H.A.G., 2019, *A Late Glacial surface rupturing earthquake at the Peel Boundary fault zone, Roer Valley Rift System, the Netherlands. Quaternary Science Reviews*, 218, 254-266.
- Balen, R.T. van, Houtgast, R.F. & Cloetingh, S.A.P.L., 2005, *Neotectonics of the Netherlands: A review. Quaternary Science Reviews*, 24, 439-454.
- Berg, M.W. van den, 1996, *Fluvial Sequences of the Maas: A 10 ma Record of Neotectonics and Climate Change at Various Time Scales. PhD dissertation, Landbouwwuniversiteit Wageningen, Wageningen, the Netherlands.*
- Blaupot Ten Cate, D.H.S., 1920, *De invloed van bodembewegingen op den loop der rivieren in Nederland en aangrenzende streken. -Ingen.*, 35, 566.
- Boenigk, W. & Frechen, M., 2006, *The Pliocene and Quaternary fluvial archives of the Rhine system. Quaternary Science Reviews*, 25(5-6), 550-574.
- Cohen, K.M., 2003, *Differential Subsidence Within a Coastal Prism: Late-Glacial-Holocene Tectonics in the Rhine-Meuse Delta, the Netherlands. PhD dissertation, Universiteit Utrecht, Utrecht, the Netherlands.*
- Cohen, K. M., Stouthamer, E., & Berendsen, H. J. A. (2002), *Fluvial deposits as a record for Late Quaternary neotectonic activity in the Rhine-Meuse delta, The Netherlands. Netherlands Journal of Geosciences/ Geologie en Mijnbouw*, 81(3-4).
- Geluk, M.C., Duin, E.J.T., Dusar, M., Rijkers, R.H.B., van den Berg, M.W. & van Rooijen, P., 1994, *Stratigraphy and tectonics of the Roer Valley Graben. Netherlands Journal of Geosciences - Geologie en Mijnbouw*, 73, 129-141.
- Houtgast, R.F. & van Balen, R.T., 2000, *Neotectonics of the Roer Valley Rift System, the Netherlands. Global and Planetary Change*, 27, 131-146.
- Kasse, C., van Balen, R.T., Bohncke, S.J.P., Wallinga, J. & Vreugdenhil, M., 2017, *Climate and base-level controlled fluvial system change and incision during the last glacial-interglacial transition, Roer river, the Netherlands-western Germany. Netherlands Journal of Geosciences*, 96(2), 71-92.
- Stouthamer, E. & Berendsen, H.J., 2001, *Avulsion frequency, avulsion duration, and interavulsion period of Holocene channel belts in the Rhine-Meuse delta, the Netherlands. Journal of Sedimentary Research*, 71(4), 589-598.
- Westerhoff, W.E., Kemma, 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(1), 107.
- Woolderink, H.A.G., Kasse, C., Grooteman, L.P.A. & van Balen, R.T., 2019, *Interplay between climatic, tectonic and anthropogenic forcing in the Lower Rhine Graben, the Roer River. Geomorphology*, 344, 25-45.
- Woolderink, H.A.G., Kasse, C., Cohen, K.M., Hoek, W.Z. & van Balen, R.T., 2018, *Spatial and temporal variations in river terrace formation, preservation, and morphology in the Lower Meuse Valley, The Netherlands. Quaternary Research*, 91(2), 548-569.

