

In de loop van duizenden jaren veranderen rivieren hun koers onder invloed van zeespiegelstijgingen, bodembeweging en klimaatverandering. Maar in de Rijn-Maasdelta werden dergelijke 'avulsies' de laatste 8500 jaar ook door het riviersysteem zelf ingegeven.

# Rivierdynamiek in de holocene Rijn-Maasdelta

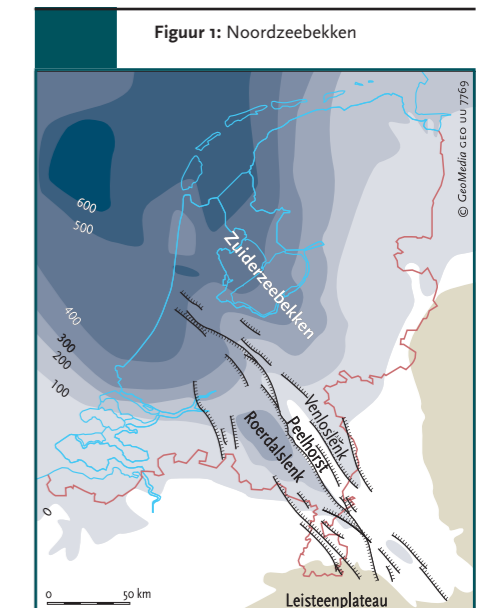
De geologische opbouw van rivierdelta's wordt sterk bepaald door verleggingen van rivierlopen door de tijd heen. Waar de rivier stroomt, worden zand en klei afgezet. Buiten het bereik van de rivier, waar geen riviersediment terecht komt maar wel natte condities heersen, vormt zich veen. De verdeling van zand, klei en veen is bepalend voor het gebruik en de inrichting van deltagebieden. Op langere geologische tijdschalen is de verdeling van het sediment belangrijk voor de opbouw van olie- en gasreservoirs in oude deltagebieden die zich miljoenen jaren geleden ontwikkelden en toen aan de oppervlakte lagen. Vanwege de bodemdaling liggen deze delta's nu op enkele kilometers diepte.

Rivierverleggingen, ofwel avulsies, worden op de tijdschaal van duizenden jaren gestuurd door factoren buiten het riviersysteem, zoals zeespiegelstijging, bodembeweging en klimaatverandering. Maar de rivierverleggingen in de Rijn-Maasdelta van de laatste 8500 jaar zijn deels gestuurd door factoren binnen het riviersysteem.

## De Rijn-Maasdelta

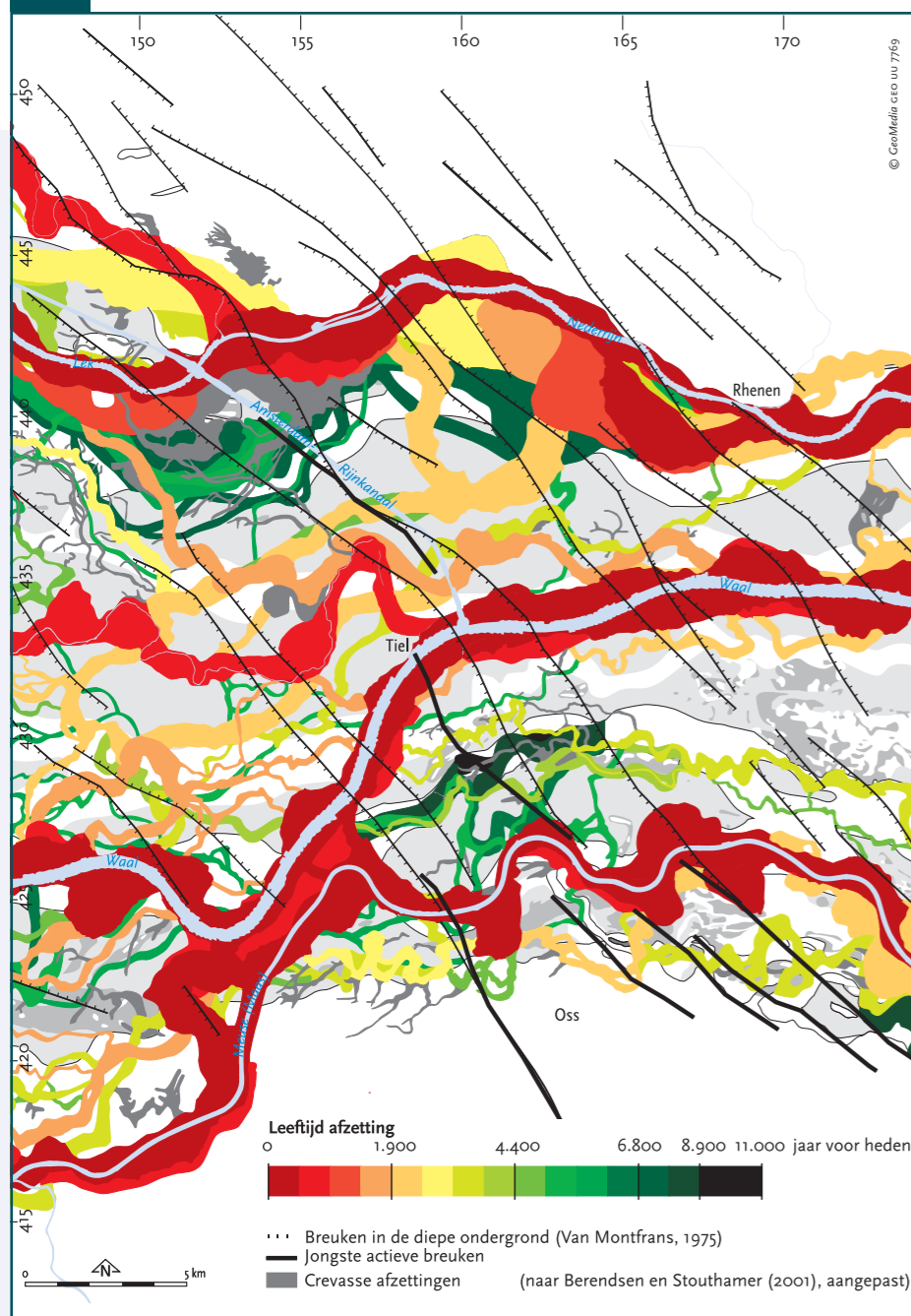
In het Holocene (vanaf 11.500 jaar geleden) hebben de Rijn en de Maas samen een delta opgebouwd. De delta ligt in het Noordzeebekken, dat gevormd is in het Tertiair (65-2,6 miljoen jaar geleden) en sindsdien daalt (figuur 1). Door de continue daling worden

de sedimenten afkomstig van de rivieren en de zee, en het veen al duizenden jaren op elkaar gestapeld. De holocene Rijn-Maasdelta ligt in Midden-Nederland, waar de Rijn en de Maas vanuit een opheffingsgebied het dalingsgebied instromen en vervolgens uitmonden in de Noordzee. Beide rivieren hebben hun loop gedurende het Holocene vele malen verlegd en zo de huidige delta gevormd.



Blauw geeft de dikte van de sedimenten afgezet in het bekken in het Kwartair.

Figuur 3: Stroomruggen en begraven terrassen van rivieren in de Peelrandbreukzone in de Rijn-Maasdelta



ontstaan sneller hoogteverschillen en vormen zich vaker nieuwe hoofdtakken dan in gebieden met minder of geen bodemdaling.

Bovenstrooms van het splitsingspunt bij Wijk bij Duurstede hield de Rijn juist sterk vast aan zijn hoofdloop. Segmenten in het veranderlijke netwerk van riviertakken zijn doorgaans maar zo'n 1200 jaar actief en worden dan vervangen door nieuwe afsplitsingen. Er ontstonden in de delta bovenstrooms van Rhenen wel afsplitsingen, maar die voegden zich veelal weer bij de hoofdloop voordat de Peelrandbreukzone gepasseerd werd en ze groeiden nooit uit tot nieuwe hoofdtakken. Pas zeer recentelijk, tussen 1800 en 1500 jaar geleden, veranderde dit. Kort na de Romeinse tijd verloor de Neder-Rijn belangrijke delen van haar afvoer, doordat de Waal zich tot een nieuwe hoofdloop

ontwikkelde en er een compleet nieuwe aftakking ontstond: de Gelderse IJssel. Deze grote veranderingen konden plaatsvinden omdat de hoeveelheid slib die de Rijn vervoerde, in de jongste deltageschiedenis sterk was toegenomen. In het bovenstroomse deel van de delta leidde dit tot verhoogde sedimentatie en daarmee tot hernieuwde uitbreiding van de delta naar het oosten. De belangrijkste oorzaak voor het extra sediment was erosie

## Door de bodemdaling in de Bommelerwaard bogen de Waal en de Maas in zuidwaartse richting af

door prehistorische landbouw en boskap in het Duitse achterland. Tussen 5000 en 2500 jaar geleden was de doorvoer van extra slib uit het achterland nog beperkt. Omdat ook de zeespiegel toen nauwelijks meer steeg, had het verschil in bodemdaling nog grote invloed op de geografie en sedimentatie binnen de delta. Maar zelfs toen het slib vanaf 2500 jaar geleden de sedimentatie versnelde en de geografie sterk veranderde, bleef bodemdaling de loop van de grote riviertakken mede bepalen.

Rond 2200 jaar geleden liep er al een Rijntak van Nijmegen via Tiel (de latere Waal). Deze rivier ging verder als de Linge richting Gorinchem en kwam uit in het Maasestuarium bij Rotterdam. De riviertak ging steeds meer water en slib vervoeren en dit leidde 1800 jaar geleden tot een verlegging bij Tiel. Die splitsing van Linge en Waal ligt precies daar waar de Peelrandbreukzone werd overgestoken. De nieuw gevonden loop boog zuidwaarts af naar de Bommelerwaard en werd de grootste van alle Rijntakken: de huidige Waal. De richting die de rivier volgt werd door eerdere, kleinere riviertakken in dit gebied ook al gevolgd en is zeer karakteristiek. Dezelfde richting is ook te herkennen in de loop van Maas (bij Heerwaarden, bij Alem) en in de loop van zandbanen van voorlopers van de huidige takken (figuur 3). Het toont de aantrekkingskracht van dit dalingsgebied op de sedimentbrengende rivieren. Opvallend genoeg hebben alleen riviertakken in de Tielwaard en de Bommelerwaard zo'n zuidwaartse voorkeursrichting.

## Noordwaartse verplaatsing

In de rest van het riviereengebied is er sinds 15.000 jaar geleden juist een sterke voorkeur voor noordwaartse verplaatsing. Zo waren er rond 14.000 jaar geleden drie beginnende meanderende takken van de Rijn tussen Nijmegen en Rotterdam, maar daar was 3000 jaar later alleen nog de meest noordelijke van over (figuur 3). Ook de positie van de Neder-Rijn, al 11.000 jaar pal aan de voet van de Utrechtse Heuvelrug, etaleert de voorkeur voor een zo noordelijk mogelijke ligging.

Uit zeespiegelstudies rondom de Noordzee blijkt dat Noord-Nederland in de laatste 15.000 jaar sterker daalde dan Zuid-Nederland. Geofysische onderzoeken laten zien dat dit door het afsmelten van ijskappen in de laatste ijstijd komt. De herverdeling van zee-water naar landijs en vice versa gaat gepaard met aanzienlijke bewegingen van de aardkorst (glacio-isostasie en hydro-isostasie). Terwijl de aardkorst onder het gewicht van de

aangroeiende Scandinavische ijsmassa doorzakte, veerde Nederland in de laatste ijstijd een stukje op. Toen de ijskappen afsmolten zakte het land weer grotendeels terug (18.000-10.000 jaar geleden) en die inzinking ijlt nog steeds na.

Het idee dat glacio-isostasie de ligging van de jongste rivieren stuurde, wordt nog geloofwaardiger als de rivierafzettingen uit het koudere deel van de ijstijd net daarvoor wijzen op een tegengestelde zuidwaartse zijdelingse beweging. Het blijkt dat het Rijndal in West-Nederland zich tijdens het opbouwen van de ijskappen inderdaad zuidwaarts verplaatste en het Rijndal extra breed maakte. De Rijnafzettingen van 30.000-20.000 jaar terug vormden een nauwer dal (precies tijdens de grootste ijsopbouw en maximale glacio-isostasie). Toen de ijskappen wegsmolten zakte dit dal sterk weg onder de afzettingen van 20.000-15.000 jaar geleden. Dit wijst op een snelle daling en gelijktijdig grote sedimentaanvoer tot zo'n 15.000 jaar terug. Zo ontstond de begraven rivierdalbodem met de breuktrap, waarmee dit artikel begon. Niet hoog in de bergen, maar juist in het laagland van Nederland is de geografie van rivieren in hoge mate het gevolg van bodembewegingen.

## Bronnen

- Cohen, K.M. 2003. *Differential subsidence within a coastal prism*. KNAG Nederlandse Geografische Studies 316. Proefschrift Fac. Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht.
- Cohen, K.M., E. Stouthamer, W.Z. Hoek, H.J.A. Berendsen & H. Kempen 2009. *Zand in Banen. Zanddiepte kaarten van het Riviereengebied en het IJsseldal in de provincies Gelderland en Overijssel*. Provincie Gelderland en Universiteit Utrecht.
- Erkens, G. 2009. *Sediment dynamics in the Rhine catchment: Quantification of fluvial response to climate change and human impact*. KNAG Nederlandse Geografische Studies 388. Proefschrift Fac. Geowetenschappen, Universiteit Utrecht.
- Kiden, P., B. Makaske & O. van de Plassche 2008. *Waarom verschillen de zeespiegelreconstructies van Nederland. Grondboor @ Hamer*, 2008-3/4: 54-61.

Volledige bronnenlijst op [www.geografie.nl](http://www.geografie.nl)

### Rivierverleggingen

Rivierverleggingen worden veroorzaakt door het hoogteverschil tussen de rivierbedding en het lagere komgebied ernaast. Wanneer de bedding van een rivier hoger ligt dan het komgebied, ontstaat een instabiele situatie. Treedt de rivier bij flink hoogwater buiten haar oevers, dan kan het water een nieuwe rivierloop vormen. Dat laatste gebeurt niet als de bedding is ingesneden en ver beneden het omliggende komgebied ligt – zelfs niet als de rivier een keer buiten haar oevers treedt (figuur 2). Avulsies doen zich dus pas voor bij netto opslibbing van sediment.

Tijdens een ijstijd is de zeespiegel laag. Als het warmer wordt en het ijs begint te smelten, stijgt de zeespiegel en daardoor ook de grondwaterspiegel landinwaarts. Zolang de grondwaterspiegel nog onder het oppervlak van de laatste ijstijd ligt, vindt netto insnijding plaats en kunnen er dus geen avulsies optreden (figuur 3a). Maar reikt het grondwater boven het oppervlak van de voorafgaande ijstijd, dan kan riviersediment opslibben en wordt de situatie instabiel (figuur 3b).

De eerste avulsies in de Rijn-Maasdelta deden zich 8500 jaar geleden voor, na de overgang van de laatste ijstijd in het Pleistoceen naar het veel warmere Holoceen. Door de voortschrijdende zeespiegelstijging en het in oostelijke richting opschuiven van de zone waar de grondwaterspiegel boven het oppervlak van de laatste ijstijd komt, konden avulsies steeds verder oostwaarts optreden. Die zone schoof alsmatig op tot de rand van het Noordzeebekken werd bereikt, zo'n 4200 jaar geleden. Hier ligt de Peelrandbreukzone:

de bodemdaling van het bekken stopt hier; het gebied ten oosten van de breuk wordt licht opgeheven (zie het artikel van Kim Cohen op pag. 12). Tussen 5500 en 2000 jaar terug traden er veel avulsies op in de buurt van breuken. Vanaf 3000 jaar geleden kwamen rivierverleggingen in het oostelijke deel van de delta op min of meer willekeurige plaatsen voor. In het westelijke deel van de delta liggen de verleggingspunten langs de noord- en zuidranden van de delta.

Tussen 1100 en 1300 na Chr. zijn alle Nederlandse rivieren bedijkt en rond 1850 zijn de watervoerende geulen vastgelegd met kribben. Toen was het afgelopen met de natuurlijke rivierverleggingen. Wel heeft de mens de rivieren nog kunstmatig verlegd, zoals de Afdamde Maas naar de Bergsche Maas, die gegraven is in 1904.

### Externe oorzaken

De avulsies in het Holoceen zijn al met al te verklaren door een aantal externe factoren.

- **Zeespiegelstijging.** De zone waar rivierverleggingen kunnen optreden schoof 8000 tot 4200 jaar terug op door de grondwaterspiegelstijging, die weer samenhangt met de zeespiegelstijging.
- **Bodembeweging.** De avulsies zijn geconcentreerd in de buurt van breuken. Als gevolg van beweging langs de breukvlakken ontstaan er zwakke plekken in de oeverwallen langs de rivierbedding en/of veranderingen in het langsvhang en dwarsvhang van de rivier waardoor deze buiten haar oevers treedt en er een avulsie kan optreden.
- **Toename water- en sedimentafvoer.** Door het op grote schaal kappen van bos in het stroomgebied van de Rijn in Duitsland is de water- en sedimentafvoer vanuit het stroomgebied naar de rivier toegenomen. Dit leidde tot hogere piekafvoeren en een toename van de hoeveelheid sediment in de rivieren en sedimentatie in de rivierbeddingen. Dit verminderde het bergend vermogen van de watervoerende geul waardoor de rivier bij hoogwater sneller buiten haar oevers trad en er een rivierverlegging kon plaatsvinden. In het westen van de delta zijn avulsies vooral langs de noord- en zuidranden te vinden. Op plaatsen waar in de ondiepe ondergrond zand voorkomt is een rivierloop instabiel. De loop kan zich makkelijker zijwaarts ver-



FOTO: JOHAN WIELAND

plaatsen dan wanneer er alleen klei en veen in de ondergrond aanwezig is. Klei en veen fixeren de loop van de rivier juist.

- **De mens.** De mens heeft niet alleen de water- en sedimentafvoer beïnvloed door het grootschalig kappen van bos in het bovenstroomse deel van het stroomgebied van de Rijn, hij heeft de afgelopen 900 jaar ook de rivierlopen vastgelegd met dijken en kribben, kleine riviertakken afdamd en meanderbochten afgesneden. De rivierverleggingen van na de bedijking zijn dan ook allemaal het werk van de mens.

### Interne oorzaken

Naast externe oorzaken moeten er ook interne oorzaken zijn van avulsies. De eerste verlegging vindt helemaal benedenstrooms, in het

kustnabije gebied plaats, de volgende stroomopwaarts en de daaropvolgende nog verder stroomopwaarts tot de rand van het Noordzeebekken, waar de Rijn of de Maas in het Noordzeebekken stroomt. Daarna begint de vorming van een nieuw verleggingspunt in de nieuwe tak weer helemaal benedenstrooms en verplaatsen de verleggingspunten zich stroomopwaarts (figuur 4). Dit heet een rivierverleggingsequentie. Het duurt iedere keer ongeveer 600 jaar vanaf de eerste benedenstroomse avulsie tot de laatste. In de Rijn-Maasdelta zijn er in 8000 jaar zeven sequenties opgetreden. De precieze oorzaak van deze sequenties is nog niet onderzocht, maar ze zijn waarschijnlijk het gevolg van veranderingen in de waterspiegel en het niveau van de rivierbedding die ontstaan als gevolg van een avulsie en die doorwerken in bovenstroomse richting. Een alternatieve verklaring is dat het bij een nieuwe rivierloop enige tijd duurt voor de bedding op een kritische hoogte ligt ten opzichte van het lager gelegen komgebied. Ondertussen gaat de ophoging van de oudere rivierbedding bovenstrooms gewoon door. Deze komt steeds hoger te liggen ten opzichte van het naastgelegen komgebied waardoor de kans op een avulsie hier alsmatig toeneemt.

### Toekomstige avulsies

Als de Rijn en de Maas in de Nederlandse rivierdelta niet waren vastgelegd, zou er al lang weer een avulsie hebben plaatsgevonden. Een riviersysteem in de Rijn-Maasdelta blijft gemiddeld ongeveer 1200 jaar bestaan, hoewel de levensduur sterk kan variëren.

De laatste natuurlijke verlegging – die van de Neder-Rijn naar de Gelderse IJssel – dateert van zo'n 1500 jaar terug. De IJssel heeft de neiging te verlanden door de manier waarop deze rivier aftakt van de Neder-Rijn. Op een termijn van duizenden jaren zal de Rijn haar hoofdgeul echter verleggen naar het IJsseldal in noordwestelijke richting, omdat de tektonisch bepaalde bodemdalingssnelheid in die richting toeneemt. Mogelijk zal de Rijn ook een loop vormen door de Gelderse Vallei.

Onder de huidige omstandigheden zullen bovengenoemde verleggingen echter niet optreden, omdat we de rivierlopen hebben vastgelegd en op diepte houden door regelmatig te baggeren. Op termijn zullen de kosten voor handhaving van deze situatie alsmatig toenemen door de voortdurende opslibbing van de uiterwaarden, waardoor de gradiënt richting IJsselmeer toeneemt. Op een termijn van duizenden jaren is een verlegging van de Rijn in noordwestelijke richting dan ook niet te voorkomen.

### Kennis gebruiken

In alle deltagebieden wereldwijd spelen de externe factoren zeespiegel, bodembeweging en klimaat (dat de water- en sedimentafvoer van de rivieren beïnvloedt) en interne mechanismen (bijvoorbeeld rivierverleggingsequenties) een rol. De relatieve invloed van deze factoren kan echter per delta en zelfs binnen een delta sterk verschillen, waardoor op langere termijn ook de opbouw van deltagebieden sterk varieert. Als we weten hoe al die factoren de grootschalige rivierdynamiek en daarmee de opbouw van een deltagebied

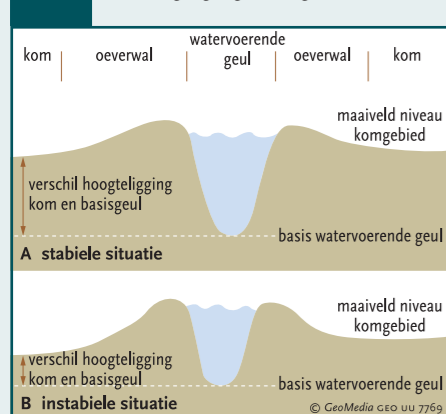
Uitbaggeren van het rivierbed gaat avulsie tegen. Op termijn echter is een verlegging van de Rijn in noordwestelijke richting niet te voorkomen.

beïnvloeden, stelt ons dat in staat de opbouw van de ondergrond beter te begrijpen en mogelijke avulsies te zien aankomen in gebieden waar rivieren nog niet zijn vastgelegd door dijken. We kunnen dan gerichte maatregelen nemen en in het ernstigste geval mensen tijdig evacueren. •

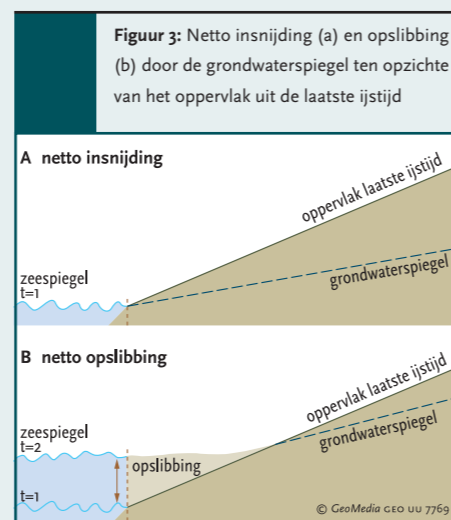
### Bronnen

- Berendsen, H.J.A. (red.) 1986. *Het landschap van de Bommelerwaard*. Nederlandse Geografische Studies 10.
- Berendsen, H.J.A. 2005. Verlegging van de Rijn naar het noordwesten onafwendbaar. *Geografie* 14 (8): 30-33.
- Berendsen, H.J.A. 2008. *De vorming van het land. Inleiding in de geologie en de geomorfologie*. Van Gorcum, Assen.
- Erkens, G. & K.M. Cohen 2009. Quantification of intra-Holocene sedimentation in the Rhine-Meuse delta: a record of variable sediment delivery. In Erkens, G. *From source to sink: Late Glacial and Holocene sediment dynamics in the Rhine catchment*. Proefschrift KNAG/Faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht, Nederlands Geografische Studies 388.
- Heller, P.L. & C. Paola 1996. Downstream changes in alluvial architecture: an exploration of controls on channel-stacking patterns. *Journal of Sedimentary Research* 66 (2): 297-306.
- Stouthamer, E. & H.J.A. Berendsen 2000. Factors controlling the Holocene avulsion history of the Rhine-Meuse delta (The Netherlands). *Journal of Sedimentary Research* A70 (5): 1051-1064.

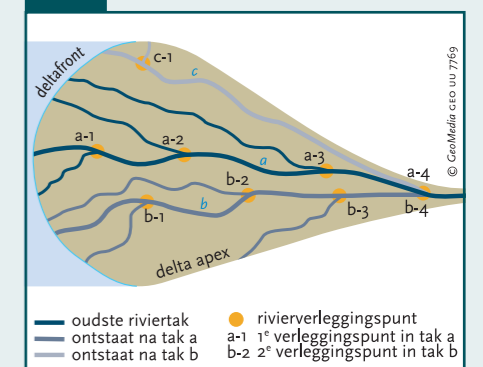
**Figuur 2:** Rivierbedding ten opzichte van het lager gelegen komgebied



**Figuur 3:** Netto insnijding (a) en opslibbing (b) door de grondwaterspiegel ten opzichte van het oppervlak uit de laatste ijstijd



**Figuur 4:** Interne dynamiek van een riviersysteem



De rivierverleggingspunten schuiven op in stroomopwaartse richting. Wanneer de rand van het Noordzeebekken bereikt is, begint de vorming van een nieuwe rivierverlegging in de nieuwe riviertak weer benedenstrooms en schuift op in bovenstroomse richting.