

Dat een tsunami honderdduizenden slachtoffers kan eisen, hebben we afgelopen december in Zuid-Oost Azië hardhandig moeten leren. Een avulsie, een plotselinge rivierverlegging waarbij een nieuwe loop ontstaat, kan minstens zo verwoestend zijn.

Toch is er weinig over avulsies bekend. Onderzoek in de Nederlandse Rijn-Maas-delta leidt tot verrassende inzichten.

Avulsies

Verlegging van de Rijn naar het noordwesten onafwendbaar

In 1887 kwamen ruim 2 miljoen Chinezen om het leven als gevolg van een zogenoemde avulsie, een plotselinge verlegging van de Gele Rivier. In 1931 verlegde de rivier zijn loop opnieuw en vielen er 3,7 miljoen slachtoffers. Het zijn cijfers die zelfs het dodental van de recente tsunami in Zuidoost-Azië vele malen overtreffen.

Ook in ander opzicht verdienen avulsies onze aandacht. Een avulsie zorgt namelijk voor een herverdeling van water en sediment over een riviervlakte of een delta. Er vormt zich een nieuwe rivierarm (het woord avulsie is afkomstig uit het Latijn: avulsio = het afscheuren) en daarmee verandert de ligging van de (zandige) riviergeul en de (kleiige) overstromingsvlakte. Door opeenvolgende avulsies vertoont de driedimensionale opbouw (de 'architectuur') van een delta een ingewikkeld patroon van zandige, opgevlude geulen in een kleiige matrix. In die geulen kunnen zich na verloop van miljoenen jaren belangrijke delfstoffen (water, olie en gas) bevinden, terwijl daarbuiten vaak veen ontstaat dat op den duur verandert in steenkool. Het voorspellen of inschatten van de ligging van zandige geulen in een delta is dan ook een belangrijke stap in de opsporing van delfstoffen.

Onderzoek

Tot voor kort was er over het mechanisme en de oorzaken van avulsies betrekkelijk weinig bekend. We veronderstelden dat een avulsie begint als bij hoogwaterstanden de oeverwallen doorbreken. De hoeveelheid water die via het doorbraakgat de rivier verlaat, wordt steeds groter, waardoor zich uiteindelijk een nieuwe rivierarm vormt en de oude hoofdarm wordt verlaten. Waarom een oeverwaldoorbraak soms leidt tot een avulsie, maar veel vaker niet, was tot voor kort niet duidelijk. Wel was bekend dat avulsies zowel plotseling als geleidelijk kunnen optreden, en dat er *nodal avulsions* (op steeds hetzelfde 'knooppunt') en *random avulsions* (op willekeurige plaatsen) zijn.

Het avulsieproces is voor het eerst goed beschreven door de Canadese geoloog Norman Smith. Dat deed hij aan de hand van een recente avulsie in de Saskatchewan-rivier (Canada). Bij deze avulsie vormde zich stroomafwaarts van het avulsiepunt een brede gordel met nieuwe geulen, die zich stroomafwaarts uiteindelijk verenigden in één enkele geul. Zo'n gordel heet een *avulsion belt*. Omdat de avulsie in de Saskatchewan River nog aan de gang is, kan slechts een deel van het proces worden geobserveerd, maar de verwachting is dat de nieuw gevormde geul uiteindelijk een deel van de avulsion belt zal eroderen – een reden waarom niet op elke avulsielocatie een avulsion belt wordt aangetroffen.

Het Canadese voorbeeld maakt meteen duidelijk dat onderzoekers vaak gebruik moeten maken van gegevens uit het verleden omdat avulsieprocessen relatief lang duren (ten opzichte van een mensenleven).

Ook in de holocene afzettingen van de Rijn-Maas-delta zijn avulsion belts gevonden. Het ruimtelijke patroon vertoont dezelfde karakteristieke elementen in dwarsdoorsneden als bij de Saskatchewan-rivier. Zulke patronen ontstaan in het beginstadium van een avulsie.

In 1931 eiste een avulsie in de Gele Rivier 3,7 miljoen doden.



Avulsion belt van de Saskatchewan-rivier in Canada.

In het fossiele milieu komen echter ook zulke afzettingen voor die niet in verband kunnen worden gebracht met een avulsie: ze markeren een 'mislukte' avulsie. Niet alle beginnende avulsies zetten namelijk door: alleen wanneer de nieuw gevormde geul een voldoende gradiënt heeft (een 'gradiëntvoordeel') kan zich een nieuwe rivierloop ontwikkelen. Het gradiëntvoordeel kan bijvoorbeeld bestaan uit een kortere weg naar zee. Een grotere gradiënt van de nieuwe geul is waarschijnlijk een voorwaarde om een avulsie te doen slagen, maar bewezen is dat nog niet.

Voorspellen

In 1995 presenteerden Mackey & Bridge een betrekkelijk eenvoudig rekenmodel, dat de driedimensionale opbouw van delta's simuleert op grond van het avulsieproces van één rivierarm. Het model voorspelt echter verschijnselen die niet overkomen met de werkelijkheid, en moet daarom worden herzien. Daarvoor zijn (veld)gegevens nodig uit deltagebieden waar avulsies optreden of zijn opgetreden.

Tijdens de International Conference on Fluvial Sedimentology in Zuid-Afrika (1997) en Nebraska (2001) werden er belangrijke lezingen over avulsies gehouden, waarin veel nieuwe gegevens aan het licht kwamen. Het onderzoek in de Nederlandse Rijn-Maas-delta – een van de best onderzochte delta's ter wereld – speelde hierbij een prominente rol. Op grond van deze gegevens wordt thans aan de Universiteit Utrecht gewerkt aan het verbeteren van het Mackey & Bridge-model.

Op een korte tijdschaal (tientallen tot enkele honderden jaren) zijn avulsies moeilijk te voorspellen. Ze worden veroorzaakt door een hoge rivierafvoer, waarbij de rivier een nieuwe loop kiest en de oude loop uiteindelijk wordt verlaten. Er zijn vier factoren die het ontstaan van avulsies bevorderen:

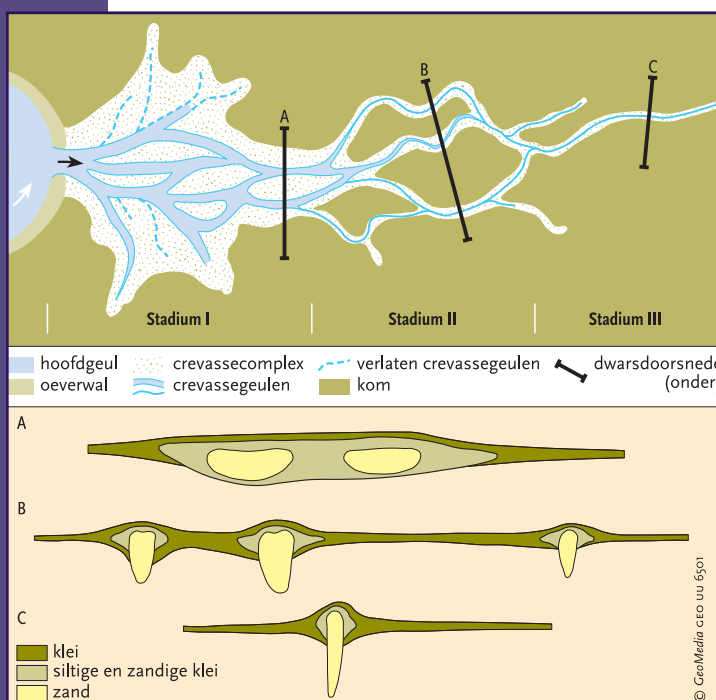
- de afname van het bergingsvermogen van de hoofdgeul door sedimentatie in de bedding;
- de vorming van ijssdammen;
- graafsporen van dieren (zoals bevers of nijlpaarden);
- de aanwezigheid van duinen in de rivierbedding.

Al deze factoren zijn 'toevallig' en dus niet te voorspellen. Daarmee zijn ook de exacte plaats en het precieze tijdstip van een avulsie onvoorspelbaar.

Op een lange tijdschaal (duizenden tot miljoenen jaren) blijken avulsies niet 'toevallig' te zijn verdeeld over ruimte en tijd. Met andere woorden: de driedimensionale architectuur van een delta vertoont kenmerken, die – met een zekere statistische waarschijnlijkheid – wél voorspelbaar zijn. Zeespiegelbewegingen, tektonische bewegingen en klimaatveranderingen zijn de belangrijkste oorzaken voor het optreden van avulsies op de lange tijdschalen. In recente tijd is ook de mens een belangrijke veroorzaker van avulsies, vooral door het graven van kanalen, waardoor rivieren een 'nieuwe

Gezien over een periode van duizenden tot miljoenen jaren zijn avulsies wel degelijk voorspelbaar.

Model van avulsieafzettingen



Scheur in een Maasdijk als gevolg van de aardbeving bij Roermond in 1992. Als zo'n scheur bij hoog water in een oeverwal ontstaat, kan er gemakkelijk een avulsie optreden.



FOTO: HENK BERENDSEN

loop' hebben gekregen. De Maas heeft in 1904 bijvoorbeeld een eigen uitmonding naar zee gekregen door het graven van de Bergsche Maas.

De Rijn-Maas-delta

In Nederland is de avulsiegeschiedenis voor het Holoceen op een schitterende wijze gedocumenteerd door onderzoek van Stouthamer. Hieruit blijkt dat er zich van 10.000 tot circa 7500 jaar geleden geen avulsies in Nederland voordeden. De rivieren waren nog diep ingesneden als gevolg van de lage zeespiegelstand aan het einde van de laatste ijstijd. Zo'n 7500 jaar geleden raakten de diepe rivierdalen echter opgevuld door de snel stijgende zeespiegel. Door die stijging kreeg sedimentatie de overhand in het benedenstroomse deel van de Rijn-Maas-delta en deden zich veel avulsies voor in het westelijk deel van de delta. Verder naar het oosten waren de rivieren nog steeds ingesneden. Avulsies traden op in een circa 30 km brede gordel, die zich tot zo'n 3700 jaar geleden in oostelijke richting verplaatste. Hier is duidelijk de invloed van de zeespiegelstijging te bespeuren: naarmate de zee verder steeg, vonden avulsies steeds verder stroomopwaarts (oostelijker) plaats.

Vanaf 3700 tot 2800 jaar geleden deden zich veel avulsies voor op breuken die verband houden met het horst-slenksysteem van de Venlo Slenk, de Peel Horst en de Roerdalslenk. Bijzonder opvallend is de ligging van de avulsieknooppunten op de grootste breuken. De belangrijkste knooppunten in Nederland liggen bij Tiel en Wijk bij Duurstede. Beide steden liggen op de Peelrandbreuk. De ligging van de avulsieknooppunten op breuken wijst op de invloed van neotektoniek. De relatief kleine tektonische bewegingen (2 meter verticale verschuiving over de laatste 10.000 jaar) werden pas dominant op het moment dat de invloed van de relatieve zeespiegelstijging was afgenomen. Het is niet zeker of de avulsies direct werden veroorzaakt door aardbevingen; waarschijnlijk was het over langere tijd opgebouwde hoogteverschil bij de Peelrandbreuk de belangrijkste factor. Aardbevingen kunnen echter wel een rol hebben gespeeld. Bij de aardbeving van 1992 ontstond bijvoorbeeld een grote scheur in een van de Maasdijken. Zou zo'n scheur bij hoog water in een oeverwal ontstaan, dan zou er gemakkelijk een avulsie kunnen optreden.

Vanaf ongeveer 2800 jaar geleden kwamen avulsies verspreid voor in de hele Rijn-Maas-delta. De invloed van neotektoniek was nog wel aanwezig, maar vormde niet langer de hoofdoorzaak van avulsies. Ook de zeespiegelstijging speelde geen rol van betekenis meer – de stijgingsnelheid was veel geringer. De oorzaak van de meer willekeurige verspreiding van de avulsielocaties ligt dan ook in de toegenomen afvoer en sedimentatie in de bedding. Hier zijn verschillende aanwijzingen voor. De belangrijkste zijn de toename van de klei-sedimentatie en de afname van de veenvorming, de gelijktijdige toename van het aantal geulen en de toe-

name van de meanderlengte. Het aantal rivierbeddingen nam toe, evenals de meanderlengte. Dit is waarschijnlijk het gevolg van toegenomen afvoer van de rivieren. Of deze toename te danken is aan klimaatveranderingen of aan menselijk ingrijpen valt uit het onderzoek niet af te leiden. Mogelijk is het een combinatie van beide, waarbij menselijk ingrijpen (ontbossing) de belangrijkste factor lijkt te zijn.

Gevolgen

Uit het avulsieonderzoek in de Rijn-Maas-delta kunnen we afleiden dat een riviersysteem gemiddeld ongeveer 1200 jaar blijft bestaan, al is de variatie in levensduur groot. Over het algemeen blijven de grote stroomgordels (met een hoge afvoer) langer bestaan dan de kleine. De periode waarin een avulsie zich voltrekt varieert ook sterk. Gemiddeld duurt een avulsie ruim 300 jaar, maar ongeveer de helft voltrekt zich in minder dan 200 jaar. De grootste uitschieter die is aangetroffen in de Rijn-Maas-delta is een avulsie die 1250 jaar duurde. In die periode is er dan sprake van een bifurcatie (riviersplitsing) of een partiële avulsie, zoals thans de splitsing van Rijn en IJssel.

In de afgelopen 7500 jaar hebben zich in de Rijn-Maas-delta 92 avulsies voorgedaan. Er vond dus gemid-

deld om de 75 jaar ergens in de delta een avulsie plaats. De frequentie hangt sterk samen met de afvoer en de sedimentlast. Bij de Gele Rivier, die een zeer hoge sedimentlast heeft, treedt bijvoorbeeld gemiddeld elke elf jaar een avulsie op.

De meest recente avulsies in de Rijn-Maas-delta betreffen het ontstaan van de Lek (circa 2000 jaar geleden), het ontstaan van de Waal (circa 1600 jaar geleden) en het ontstaan van de Gelderse IJssel (circa 1500 jaar geleden). In alle gevallen speelde de toegenomen afvoer een belangrijke rol. De Gelderse IJssel vormt een bijzonder geval, omdat de hoofdrijver (de Nederrijn) nog steeds bestaat. Zonder menselijk ingrijpen zou de avulsie van de Gelderse IJssel zelfs voorlopig zijn mislukt, omdat de IJssel op een zodanige manier aftakt dat de bovenloop van deze rivier de neiging heeft te verzanden. Op de lange duur (duizenden jaren) zal de Rijn echter zijn hoofdloop verleggen naar het noordwesten, omdat dat (als gevolg van tektonische processen) de richting is met de sterkste afhelling. De meest voor de hand liggende toekomstige Rijnloop is daarom een hoofdloop door het IJsseldal naar het IJsselmeer, en misschien een tweede loop door de Gelderse Vallei richting IJsselmeer. Op dit moment kunnen deze rivieren echter nog niet ontstaan. De huidige rivieren

Er wordt geopperd dat de Romeinen mede uit Nederland verdwenen door de toegenomen overstromingen.

zijn door de bedijking volledig vastgelegd en worden door uitbaggeren op diepte gehouden. Op een termijn van honderden jaren zullen de huidige rivierlopen slechts tegen hoge kosten te handhaven zijn, omdat de opslibbing van de uiterwaarden steeds verder gaat, en daarmee het gradiëntvoordeel richting IJsselmeer toeneemt. Op een termijn van duizenden jaren is een verlegging van de Rijn naar het noordwesten onafwendbaar.

Niet alle avulsies in de Rijn-Maas-delta zijn even ingrijpend geweest; soms ging het om betrekkelijk kleine rivieren. Bij de grote avulsies (zoals bij de verlegging van de Kromme Rijn naar de Lek) hebben zich echter zonder twijfel grote overstromingen voorgedaan. Er is wel geopperd dat de Romeinen mede uit Nederland verdwenen als gevolg van toegenomen overstromingen. Dit is goed mogelijk, want in de periode tussen het begin van de jaartelling en 400 na Christus hebben zich vele nieuwe rivierlopen gevormd, zoals de Waal en de Gelderse IJssel. Het ontstaan van de Lek speelt voor het verdwijnen van de Romeinen waarschijnlijk echter geen rol, omdat deze rivier al ontstond aan het begin van de Romeinse tijd.

Avulsies van zeer grote rivieren zoals de Mississippi en de Gele Rivier veroorzaken uiteraard veel grotere overstromingen dan de Rijn. Hoewel we de precieze locatie en het moment van een avulsie niet kunnen voorspellen, is het wel mogelijk om op de lange termijn gebieden met grotere risico's te identificeren. In Nederland is het IJsseldal zonder twijfel zo'n risicogebied. ■

Bronnen

- Berendsen, H.J.A. 1992. Roman river courses in the central Netherlands. Berichten Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek 40: 243-249.
- Berendsen, H.J.A., & E. Stouthamer 2001. Palaeogeographic Development of the Rhine-Meuse Delta, The Netherlands. Koninklijke Van Gorcum, Assen.
- Berendsen, H.J.A. 2004. Samenvatting van het fysisch-geografisch onderzoek in het kader van het AAO voor de verbreding van de A2. ICG-report 2004/02.
- Mackey, S.D. & J.S. Bridge 1995. Three-dimensional model of alluvial stratigraphy: theory and application. Journal of Sedimentary Research, B65/1: 7-31.
- Makaske, B. 1998. Anastomosing Rivers - Forms, Processes and Sediments. Ph.D. Thesis, Universiteit Utrecht. Netherlands Geographical Studies 249. KNAG/Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit Utrecht.
- Smith, N.D., T.A. Cross, J.P. Dufficy & S.R. Clough 1989. Anatomy of an avulsion. Sedimentology, 36: 1-23.
- Stouthamer, E. 2001. Holocene avulsions in the Rhine-Meuse delta. Netherlands Geographical Studies 283. KNAG/Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit Utrecht.

De afgelopen 2800 jaar is de avulsiefrequentie in de Rijn-Maas-delta toegenomen.