

Modelling sediment transport over floodplains

Het modelleren van zwevend stoftransport over uiterwaarden

Ivo Thonon

Begeleiding: Prof.dr. P.A. Burrough, dr. H. Middelkoop, dr. M. van der Perk
Universiteit Utrecht, Faculteit Geowetenschappen, Departement Fysische Geografie
Postbus 80115, 3508 TC Utrecht
E-mail: i.thonon@geog.uu.nl

Summary

Taking the future higher discharges into account, the government has decided to give more room to the rivers by taking landscaping measures. However, measures like lowering of floodplains and excavating secondary channels change the flow and lead to more conveyance and hence deposition of sediments on these floodplains. Because these sediments are contaminated, this affects for example the natural vegetation succession and success of nature restoration.

To be able to study the sediment conveyance, we have developed a numerical model that simulates the transport of suspended sediment through the river channel and over its floodplains. The model, programmed in the environmental modelling tool PCRaster, uses an extension to the functionality of this tool to minimise the problem of numerical dispersion. The model uses input parameters such as initial suspended sediment concentration, water level, flow velocities and dispersivities to simulate suspended sediment concentrations of river reaches.

We apply the model to the reach of the Middle-Waal between Beneden-Leeuwen and Nijmegen for a period of moderately high discharge. It turns out that each of the studied floodplains receives a different amount of suspended sediments. In the future, we will extend the model to a sedimentation model using sedimentation data and data on suspended sediment characteristics.

Inleiding

Het klimaat is aan het veranderen: we moeten in de toekomst rekening houden met meer neerslag in de winter (IPCC 2001). Dit leidt tot hogere afvoeren in de grote rivieren. Om dat water veilig naar zee te kunnen blijven vervoeren zijn in het kader van 'Ruimte voor de Rivier' maatregelen bedacht om de capaciteit van hun winterbed te vergroten (Silva *et al.*, 2000). Eén van die maatregelen is het verlagen van het maaiveld. Dit leidt ertoe dat uiterwaarden vaker overstromen en er meer slib wordt afgezet. Dit slib is verontreinigd (Asselman & Middelkoop, 1996; Thonon & Wielinga, 2003) en heeft daarom gevolgen voor de ecologie van het rivierengebied (Hendriks *et al.*, 1997) maar ook voor de vegetatiesuccessie (Peters, 2002). Om deze gevolgen in te kunnen schatten is het als eerste van belang inzicht te krijgen in de slibhuishouding in de uiterwaarden.

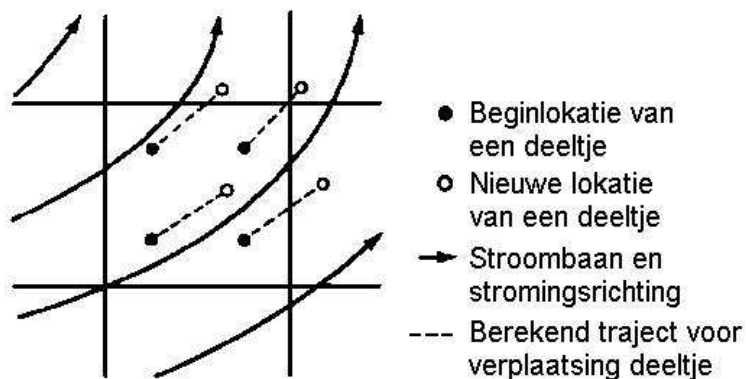
Bij de bestudering van de slibhuishouding spelen modellen een belangrijke rol. De sedimentatie-modellen die tot nu toe in Nederland zijn ontwikkeld zijn een-dimensionaal (Asselman & Van Wijngaarden 2002) of twee-dimensionaal in een rasteromgeving (Van der Perk *et al.*, 1992; Middelkoop & Van der Perk, 1998). Nadeel van een een-dimensionaal model is dat het geen inzicht in de ruimtelijke variatie van sedimentatie binnen uiterwaarden geeft. Twee-dimensionale rastermodellen doen dat wel, maar blijken vaak last te hebben van numerieke dispersie (= het ongewenst verspreiden van stoffen door het toepassen van een raster en de numerieke oplossing) wat tot foute modeluitkomsten kan leiden.

Hier leggen we een modelconcept uit dat numerieke dispersie minimaliseert zonder dat de voordelen van een rasteromgeving, in dit geval PCRaster (Wesseling *et al.*, 1996) teniet worden gedaan. Eerst geven we een korte uitleg van het modelconcept, daarna behandelen we de invoergegevens en passen we het transportmodel bij wijze van voorbeeld toe op de uiterwaarden langs de Middenwaal.

Modelconcept

De vergelijking voor het stoftransport is bij benadering gelijk aan een hyperbolische differentiaal-vergelijking. In de jaren 1960-1970 hebben Amerikaanse hydrologen een methode ontwikkeld om deze hyperbolische differentiaalvergelijkingen eenvoudiger op te lossen (Konikow & Bredehoeft, 1978). Deze methode heet '*Method of Characteristics*' (MoC), naar de naam die van de stroomlijnen ('*characteristic curves*', figuur 1). De methode maakt het mogelijk stoftransport in een grid te modelleren zonder introductie van numerieke dispersie.

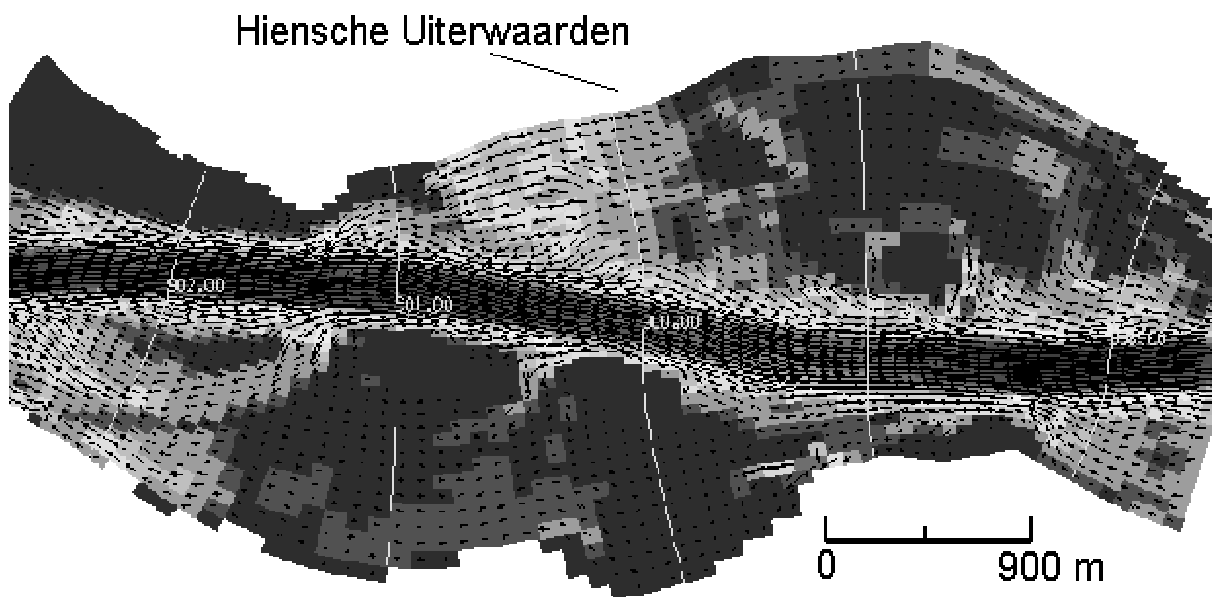
De methode werkt in het kort als volgt: In de eerste stap wordt in elke cel van het raster een aantal deeltjes geplaatst (figuur 1). Alle deeltjes nemen de concentratie over van de gridcel waarin ze zich bevinden. Tijdens elke volgende tijdstap worden alle deeltjes maximaal een cellengte langs de stroomlijnen verplaatst. Na elke tijdstap berekent het model voor elke cel een nieuwe tijdelijke concentratie C^* op basis van de nieuwe locatie van alle deeltjes. Daarna berekent het model de concentratieverandering ΔC door dispersief transport, divergentie van stroombanen, bron/puttermen en/of veranderingen in waterdiepte. Omdat het huidige model geen sedimentatie of erosie meeneemt, is de resulterende concentratie ($C^* \pm \Delta C$) de nieuwe concentratie voor de volgende tijdstap. PCRaster geeft de gebruiker aan het einde van elke tijdstap het nieuwe concentratiebeeld, dat de gebruiker vervolgens verder kan bewerken.



Figuur 1: Het principe van de 'Method of Characteristics'. Naar: Konikow & Bredehoeft (1978).

Invoergegevens

Het model gebruikt de volgende invoergegevens in kaartformaat: initiële zwevend stofconcentratie [mg/l], waterstand [m], in- en uitgaande flux [m/s], stroomsnelheid in de x- en y-richting [m/s], longitudinale en transversale dispersiecoëfficiënt [m^2/s]. De zwevend stofconcentratie is op te vragen bij het Rijkswaterstaat Infocentrum Binnenwateren in Lelystad. De waterstanden en stroomsnelheden zijn uit een hydrodynamisch model zoals WAQUA (MX.Systems, 2003) te halen (figuur 2). De dispersiecoëfficiënten kunnen met empirische formules worden bepaald (Holley & Abrahams, 1973; Fischer *et al.*, 1985). De celgrootte is een eigenschap van de invoerkaarten, de tijdstap kan de gebruiker zelf instellen.



Figuur 2: Stromingspatroon zoals gesimuleerd door WAQUA bij een afvoer van $7000 \text{ m}^3/s$ bij Lobith. Zie figuur 3 voor de ligging van het gebied.

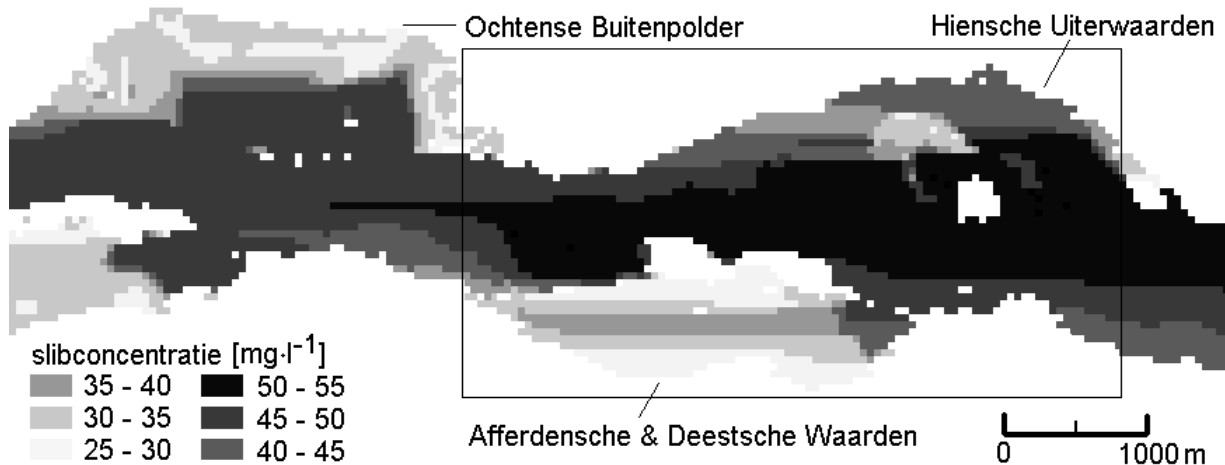
Toepassing van het model

In het voorjaar van 2002 vond een hoogwater plaats waarbij de Rijn bij Lobith een piekafvoer van $8054 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze afvoer heeft een herhalingsstijd van 7 jaar. We hebben het model voor de eerste vier dagen van dit hoogwater toegepast, waarbij we een celgrootte van 50 bij 50 m en een gemiddelde debiet van $7000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith hebben aangehouden. De initiële concentratie van het slib in de rivier was 53 mg/l , terwijl die in de uiterwaarden 30 mg/l was.

Figuur 3 laat de resultaten zien van de berekening voor het Middenwaalgebied tussen Nijmegen en Beneden-Leeuwen, ter hoogte van Druten en Dodewaard. De stroming is hierbij van rechts naar links. In de Hiensche Uiterwaarden komt veel zwevend stof binnenstromen doordat de zomerkade daar laag is. In de Afferdensche & Deestsche Waarden komt duidelijk minder slib binnen doordat slechts in het noordoosten van die uiterwaard een inlaat is. In het geval van de Ochtense Buitenpolder komt het slibrijke rivierwater niet tot aan de winterdijk, waardoor er een sterke noord-zuid gradiënt in zwevend stofconcentratie ontstaat.

Discussie en conclusies

Uit de resultaten blijkt dat er duidelijk verschillende patronen voor de verspreiding van slib bestaan voor verschillende uiterwaarden. Het concept is dan ook bruikbaar om de mate van verspreiding van al dan niet verontreinigde stoffen over uiterwaarden te simuleren. In de toekomst breiden we het model uit tot een sedimentatiemodel, zodat ook de afzetting van verontreinigd slib op de uiterwaarden gesimuleerd kan worden. Dit sedimentatiemodel calibreren we met valsnelheden uit Thonon & Van der Perk (2003) en sedimentatiegegevens in Middelkoop *et al.* (2003).



Figuur 3: De verspreiding van slib door de uiterwaarden tijdens een hoogwater op de Middenwaal. Het vierkant geeft het gebied van figuur 2 aan.

Literatuur

- Asselman, N.E.M. & Middelkoop, H., 1996.** Smerig slib: sedimentatie op de uiterwaarden; *Geografie* 5 (1): 8–12.
- Asselman, N.E.M. & Wijngaarden, M. van, 2002.** Development and application of a 1D floodplain sedimentation model for the River Rhine in The Netherlands; *Journal of Hydrology* 268: 127–142.
- Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J. & Brooks, N.H., 1985.** Mixing in inland and coastal waters; Academic Press, Orlando, USA, 483 pag.
- Hendriks, J., Jonge, J. de, Besten, P. den & Faber, J., 1997.** Giftstoffen in het rivierengebied: een belemmering voor natuurontwikkeling?; *Landschap* 14 (4): 219–233.
- Holley, E.R. & Abraham, G., 1973.** Field tests on transverse mixing in rivers; *Journal of the Hydraulic Division ASCE* 99 (HY12): 2313–2331.
- IPCC, 2001.** Climate change 2001: The scientific basis; Cambridge University Press, Cambridge, UK, 881 pag.
- Konikow, L.F. & Bredehoeft, J.D., 1978.** Computer model of two-dimensional solute transport and dispersion in ground water; United States Geological Survey, Alexandria (VA), VS, 38 pag.
- Middelkoop, H., Perk, M. van der & Thonon, I., 2003.** Herverontreiniging van uiterwaarden langs de Rijnakken met sediment-gebonden zware metalen; ICG Rapport 03/3, Departement Fysische Geografie, Faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht, Utrecht, 41 pag.
- MX.Systems, 2003.** Users's Guide waqua; simona-report 92-10, MX.Systems/Ministerie van Verkeer & Waterstaat, Rijswijk/Den Haag.
- Perk, M. van der, Ertsen, A.C.D. & Bleuten, W., 1992.** Modelling van slibsedimentatie van zware metalenbelasting in een uiterwaard langs de Waal; *H₂O* 25 (8): 233–237.
- Peters, B., 2002.** Successie van natuurlijke uiterwaardlandschappen; Katholieke Universiteit Nijmegen/Bureau Drift, Nijmegen, 32 pag.
- Silva, W., Klijn, F. & Dijkman, J., 2000.** Ruimte voor Rijnakken – Wat het onderzoek ons heeft geleerd; RIZA-nota 2000.026, RIZA, Rijkswaterstaat, Arnhem, 162 pag.
- Thonon, I. & Wielinga, A., 2003.** Het herverontreinigingsniveau voor zware metalen in de Beleidsnotitie Actief Bodembeheer Rijnakken; *Bodem* 13 (5): 186–188.
- Thonon, I. & Perk, M. van der, 2003.** Measuring suspended sediment characteristics using a LISST-ST in an embanked flood plain of the River Rhine; *IAHS Publication* 283 (in druk).
- Wesseling, C.G., Karsenberg, D., Van Deursen, W.P.A., & Burrough, P.A., 1996.** Integrating dynamic environmental models in GIS: the development of a dynamic modelling language. *Transactions in GIS* 1 (1): 40–48.