

Hoe duurzaam is rivierverruiming?

IR. A. MOL, UNIVERSITEIT TWENTE, THANS WLDELFT HYDRAULICS

DR. IR. J. RIBBERINK, UNIVERSITEIT TWENTE

IR. E. SNIPPEN, RIJSINSTITUUT VOOR INTEGRAAL ZOETWATERBEHEER EN AFVALWATERBEHANDELING

DR. IR. Z. WANG, WLDELFT HYDRAULICS/TU DELFT

De manier waarop de veiligheid van het Nederlandse rivierensysteem in de komende jaren kan worden gewaarborgd staat ter discussie. In de afgelopen decennia hebben hoge afvoeren de noodzaak tot ingrijpen aan het licht gebracht. De voorkeur van beleidsmakers gaat uit naar rivierverruiming in plaats van grootschalige dijkverhogingen. Rivierverruimende maatregelen bieden goede mogelijkheden tot het verlagen van waterstanden tijdens extreme afvoeren, maar leiden tevens tot een morfologische respons van het riviersysteem. Dit kan op termijn nadelig zijn voor de effectiviteit van de maatregelen. Daarnaast kunnen andere kernfuncties van het riviersysteem, zoals de scheepvaart, in het geding komen. Aanpassingen van het rivierbeheer zullen noodzakelijk zijn om in de toekomst het riviersysteem op de huidige wijze te kunnen laten functioneren.

In 1993, maar vooral in 1995, dreigden de dijken het te begeven. De maatgevende hoge afvoer waarop de veiligheidsnormen worden afgestemd, is naar aanleiding van de extreme afvoeren in de jaren negentig verhoogd tot 16.000 kubieke meter per seconde voor de Rijn en 3.800 kubieke meter per seconde voor de Maas. Het riviersysteem zal moeten worden

aangepast om deze hoge afvoeren op een veilige manier te kunnen verwerken. Daarnaast zal in het benedenrivierengebied ook rekening gehouden moeten worden met een stijging van de zeespiegel (60 cm per eeuw).

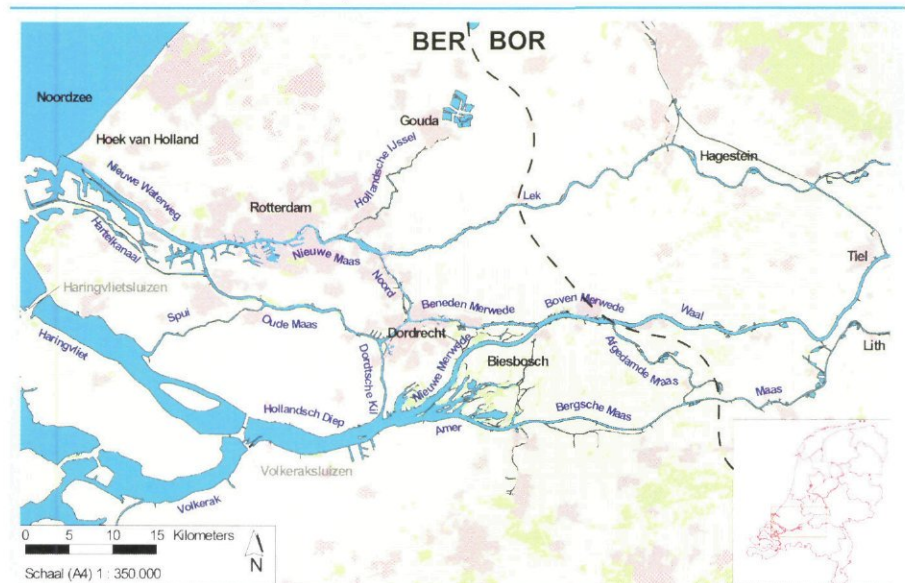
Met de aanpak van de veiligheidsproblematiek ontstaat een koppeling met het beleid

op het gebied van ruimtelijke ordening, waarin wordt gepleit voor een verbetering van de ruimtelijke kwaliteit van het rivierengebied. In dit kader is in 2002 het project 'Ruimte voor de Rivier' gestart. Het projectbureau onderzoekt en toetst mogelijke maatregelenpakketten, waarmee de benodigde waterstanddaling voor de Rijntakken en het benedenstroomse deel van de Maas kan worden bereikt. Deze maatregelen bestaan uit een aaneenschakeling van uiterwaardverlagingen, dijkverleggingen, aanleg van nevengeulen en zomerbedverdiepingen. Uiteindelijk zal na zorgvuldige afweging van de effecten één pakket van maatregelen worden samengesteld.

Rivierverruiming leidt naast het waterstandsverlagende effect ook tot een aantal neveneffecten. In dit artikel staat de vraag centraal wat de morfologische respons van het riviersysteem is op rivierverruimingsmaatregelen en hoe een aantal essentiële rivierfuncties hierdoor in het geding kan komen. Verder wordt aangegeven wat de consequenties hiervan zouden kunnen zijn voor het rivierbeheer. Deze aspecten worden behandeld aan de hand van een studie in het kader van 'Ruimte voor de Rivier', die begin dit jaar is uitgevoerd door de Universiteit Twente in opdracht van het RIZA^{1,2)}. In deze studie is een modelinstrumentarium ontwikkeld waarmee de grootschalige morfologische effecten van een aantal pakketten van rivierverruimende maatregelen in het benedenrivierengebied van de Rijn en Maas in kaart is gebracht.

Het benedenrivierengebied omvat de benedenlopen van de Rijntakken en de Maas (zie kaart, BER staat voor benedenrivierengebied). De rivierverruimende maatregelen in dit gebied concentreren zich op de Lek, de Boven- en Nieuwe Merwede en de benedenloop van de Maas (Bergsche Maas en Amer). De maximaal benodigde waterstanddalingen in deze drie secties bedragen respectievelijk 15, 30 en 60 cm bij een rivierafvoer van 16.000 kubieke meter per seconde te Lobith. Tijdens het onderzoek is een ééndimensionaal morfologisch model³⁾ ontwikkeld van het benedenrivierengebied. Dit model is gekalibreerd voor de benedenlopen van de Maas, de Lek, als ook voor de Waal en de Merwedes. Hierbij is gebruik gemaakt van de waargenomen grootschalige morfologische ontwikkeling van het riviersysteem in de periode 1990-2000. Het benedenrivierengebied is van nature een typisch sedimentatiegebied, waarin echter uitgebreid wordt gebaggerd om de rivierbodem op peil te houden voor de scheepvaart. De interactie tussen natuurlijke sedimentatie en de sedimentonttrekking als gevolg van het baggerwerk is in het model opgenomen door de invoer van werkelijke baggerdata uit de

Afb. 1: Overzicht van het noordelijk deltabekken. De stippellijn geeft de grens tussen het benedenrivierengebied (BER) en het bovenrivierengebied (BOR) aan.



betreffende periode. Verder is met de werkelijk opgetreden rivierafvoeren gerekend en zijn recente korrelgroottegegevens van het rivierbodemsediment gebruikt. Als transportformule voor het sediment is gekozen voor de relatie van Engelund & Hansen (1967). Door het gebruik van de gebiedsspecifieke data en na zorgvuldige kalibratie blijkt de aanwezige balans in het gebied tussen de natuurlijke sedimentatie en het baggeren goed met het model te kunnen worden beschreven.

In grote delen van het benedenrivierengebied treedt sinds de afsluiting van het Haringvliet sedimentatie op. In het middendeel treedt voornamelijk erosie op. Te grote sedimentatie wordt tegengegaan door baggerwerk. Dit veroorzaakt in de huidige situatie een lichte erosie, die voornamelijk door het baggerwerk wordt veroorzaakt. Op enkele riviertakken is de netto bodemverandering zeer gering, doordat de gebaggerde hoeveelheden nagenoeg gelijk zijn aan de sedimentatie.

Riviermorphologische processen en effecten

Morfologische processen, dat wil zeggen aanzanding en erosie van de rivierbodem, worden gedreven door hydraulische processen in de rivier (vooral stroomsnelheden). Veranderingen van de ligging van de rivierbodem zullen tegelijkertijd een ander stromingspatroon teweegbrengen. Hiermee ontstaat een wederzijdse interactie tussen hydraulica en morfologie.

Rivierboderveranderingen zijn het gevolg van veranderingen in de sedimenttransportcapaciteit langs de rivier. Een toename hiervan in stroomafwaartse richting leidt tot erosie van de rivierbodem. Een afname heeft tot gevolg dat een deel van het getransporteerde sediment zal neerslaan, waardoor de rivierbodem aanzandt.

De sedimenttransportcapaciteit (S) is onder meer afhankelijk van de korrelgrootte van het aanwezige bodemsediment en de bodemruwheid, maar vooral ook van de stroomsnelheid (u). Het verband hiertussen wordt door Engelund & Hansen weergegeven als: $S \sim u^5$. De stroomsnelheid zelf staat in relatie met het debiet (Q) en het stroomvoerend oppervlak (A), zoals weergegeven is in de vergelijking $Q = u \times A$. De invloed van hydraulische variabelen, zoals debiet en stroomvoerend oppervlak, op de morfologie verloopt dus via de stroomsnelheid en transportcapaciteit. Rivierverruimende maatregelen zijn primair gericht op het vergroten van het stroomvoerend oppervlak, waardoor bij een gelijkblijvend debiet de waterstand daalt maar tegelijkertijd ook de stroomsnelheid en de sedimenttransportcapaciteit afnemen. In de verruimde riviertrajecten zal het van bovenstrooms aan-

gevoerde sediment daarom minder gemakkelijk kunnen worden doorgetransporteerd, waardoor extra aanzanding kan optreden.

Concluderend betekent de wisselwerking tussen morfologie en hydraulica dat door rivierverruiming hydraulische veranderingen optreden (waterstand, diepte, stroomsnelheid), waaraan de rivierbodem zich zal aanpassen (morfologische respons). Door de verandering van bodemligging zal het hydraulische systeem, inclusief de waterstanden, zich wederom wijzigen. Uiteindelijk ontstaat een nieuwe evenwichtssituatie.

Afbeelding 2 licht het proces toe. Het betreft hier een zomerbedverdieping. De doorlopende lijnen geven de oorspronkelijke situatie weer, de gestippelde lijnen de nieuwe situatie. Door de verdieping van het zomerbed treedt een daling van de waterstand op. De waterdiepte ter plekke van de zomerbedverdieping neemt echter toe. De stroomsnelheid en sedimenttransportcapaciteit nemen daarmee af. Hierdoor slaat een deel van het aangevoerde sediment aan de bovenstroomse kant van de verdieping neer. De hierdoor veroorzaakte verhoging van de rivierbodem zal op termijn weer tot stijging van de waterstand leiden. Elke maatregel heeft zo zijn eigen respons op veranderingen in het systeem.

Modelstudie

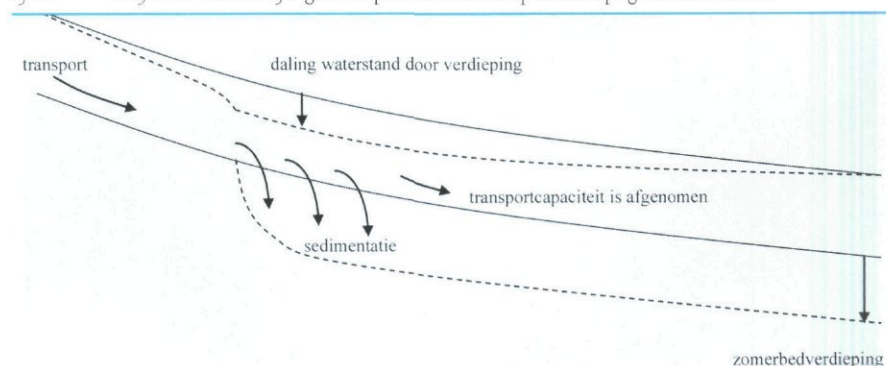
Met het ontwikkelde SOBEK-model is onderzoek gedaan naar de effecten van rivierverruimende maatregelen in het benedenrivierengebied. Een aantal maatregelpakketten is in het model geïmplementeerd door aanpassingen in de riviermodelschematisatie. De effecten van de maatregelen zijn relatief bepaald, dat wil zeggen de ontwikkeling van de huidige situatie (zonder maatregelen), die ook met het SOBEK-model is berekend, is als vergelijkingsbasis gebruikt. Op deze manier ontstaat een beeld van de morfologische veranderingen die in de komende jaren in het riviersysteem kunnen worden verwacht en die volledig kunnen worden toegeschreven aan de rivierverruimende ingrepen. De gebiedsspeci-

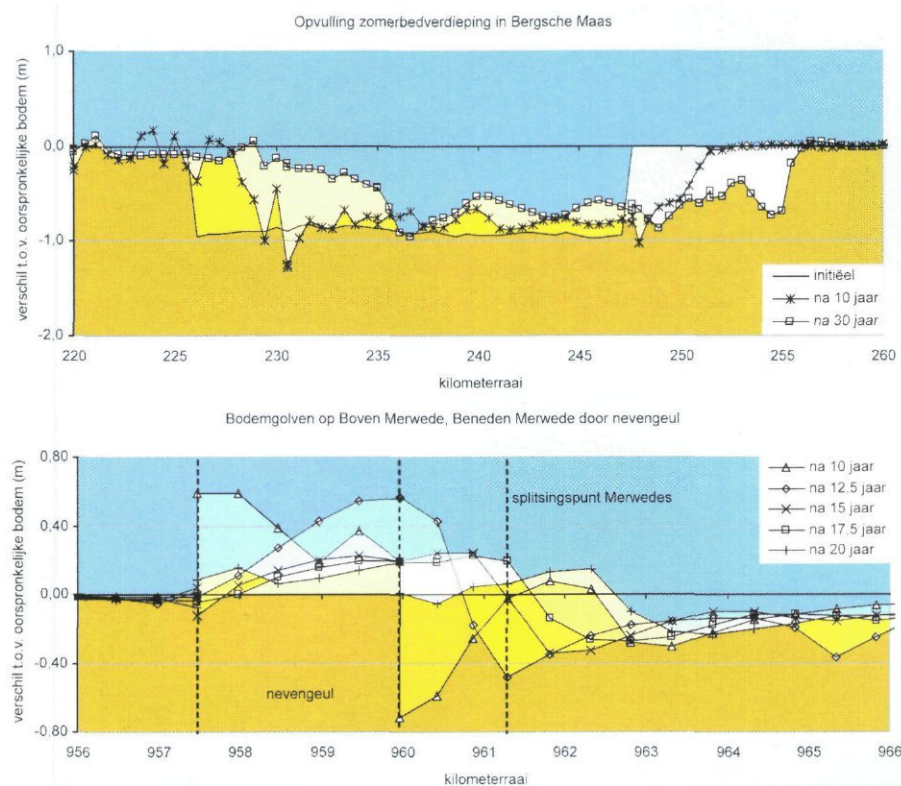
fieke gegevens die voor de kalibratie zijn gebruikt, zijn ook voor deze langetermijn runs gehanteerd. Dit houdt in dat met de rivierafvoeren uit de periode 1990-2000 is gewerkt en dat ook de baggerdata uit deze periode representatief zijn gesteld voor het baggerwerk in de komende jaren.

De morfologische respons van het riviersysteem op rivierverruiming wordt toegelicht aan de hand van de morfologische effecten van twee voorbeeldmaatregelen in het benedenrivierengebied: een zomerbedverdieping en een nevengeul. Beide maatregelen worden door het projectbureau van 'Ruimte voor de Rivier' mogelijk opgenomen in een uiteindelijk maatregelenpakket. Als eerste voorbeeld wordt een zomerbedverdieping in de Bergsche Maas onderzocht. Het betreft hier een verdieping van één meter over een traject van 20 km. In afbeelding 3 (bovenste deel) is deze verdiepte rivierbodem in de Bergsche Maas weergegeven. Hierin is ook te zien hoe, als gevolg van sedimentatie, de verdieping langzaam vanaf de bovenstroomse kant weer wordt opgevuld. Bovendien is te zien dat de verdieping zich ook in benedenstroomse richting verplaatst. Na 30 jaar is deze verplaatsing zo'n acht tot tien kilometer. Tijdens deze stroomafwaartse verplaatsing neemt de verdieping geleidelijk in grootte af als gevolg van sedimentatie langs het gehele traject. Wanneer niet zou worden ingegrepen, zal de gehele verdieping na verloop van tijd verdwijnen en keert het systeem terug in de oude situatie.

Als tweede voorbeeld worden de effecten van een nevengeul beschreven, die is gepland in de uiterwaard nabij Gorinchem aan de Boven Merwede over een traject van 2,5 km (afbeelding 3). Op deze riviertak zijn overigens ook nog andere ingrepen gepland, maar voor een zuivere analyse van de morfologische respons worden deze hier buiten beschouwing gelaten. De nevengeul zorgt voor een maximale toename van stroomvoerend oppervlak van ongeveer 800 m², wanneer deze stroomvoerend is. De frequentie waarmee de geul meestroomt (100

Afb. 2: De hydraulische en morfologische respons van een rivier op een verdieping van het zomerbed.





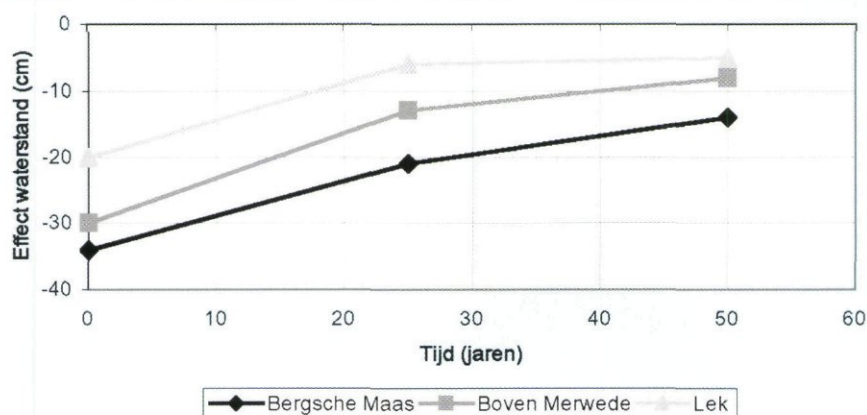
Afb. 3: Morfologische gevolgen van de rivierverruimende maatregelen als resultaten van SOBEK-berekeningen.

maal per jaar) is geregeld middels een inlaatdrempel, zodat de geul alleen bij hoge afvoeren actief wordt. In het model is de nevengeul als een extra riviertak gemodelleerd, parallel aan de hoofdtak. Het SOBEK-programma biedt tevens de mogelijkheid de inlaatdrempel te simuleren. Als gevolg van de maatregel bedraagt de debietafname in de hoofdgeul zo'n 1.000 kubieke meter per seconde bij een hoogwaterafvoer van 6.500 kubieke meter per seconde. Als gevolg hiervan neemt de stroomsnelheid en de transportcapaciteit in de hoofdgeul ter plekke van de nevengeul af. Daar waar de nevengeul zich splitst van de rivier is daarom sedimentatie in de hoofdgeul te verwachten. En net na het punt waar de nevengeul zich weer voegt bij de rivier, is de oorspronkelijke

transportcapaciteit weer aanwezig en zal, als gevolg van de verminderde sedimentaanvoer, erosie optreden. In afbeelding 3 is te zien dat in het nevengeultraject de rivierbodem 10 à 60 cm stijgt, terwijl benedenstrooms een vergelijkbare bodemdaling ontstaat.

Door het niet-continue karakter van de maatregel - de nevengeul is alleen actief bij hoge afvoeren - zijn de effecten tijdelijk van aard en is afwisselend sprake van erosie en sedimentatie. Wanneer na een actieve periode al het water weer alleen door de hoofdgeul wordt afgevoerd, zal de bodem opnieuw streven naar de oude evenwichtssituatie. De op dat moment aanwezige sedimentatiedrempel en erosiekuil in de hoofdgeul van de rivier zullen zich als bodemgolven in stroomafwaartse rich-

Afb. 4: Afname waterstanddaling bij zomerbedverdieping in de tijd. De verdieping op de Lek bedraagt een halve meter, op de overige twee takken is dit één meter. De afvoeren bij deze analyse bedragen: Lek 1.100 m³/s, Boven Merwede 4.300 m³/s en Bergsche Maas 1.600 m³/s.



ting verplaatsen. Uit de berekeningen volgt dat de initiële amplitude van deze golven zo'n 70 cm is. Deze neemt geleidelijk af tijdens het voortplantingsproces. De voortplantingssnelheid bedraagt ongeveer 400 meter per jaar.

Gevolgen voor rivierfuncties

Naast de primaire functie van de rivier, het op een veilige manier afvoeren van water, ijs en sediment, spelen ook riviergebonden functies een rol, zoals scheepvaart, landbouw, landschap, natuur, wonen en recreatie. Het project 'Ruimte voor de Rivier' is er in de eerste plaats om de primaire functie te ondersteunen. De hiervoor beschreven morfologische consequenties van de verruimingsmaatregelen lijken echter na een zekere tijd de effectiviteit van de maatregelen aan te kunnen tasten (beperkte duurzaamheid), waardoor de veiligheid van het rivierengebied op termijn toch weer in het geding kan komen.

De beoogde zomerbedverdieping in de Bergsche Maas levert initieel een belangrijke bijdrage (60%) aan de te realiseren waterstanddaling (60 cm) in het gebied. Naar gelang de verdieping zich weer opvult, zal de waterstand echter gaan stijgen en kan de beoogde veiligheidsnorm niet meer worden gewaarborgd. Ook de geleidelijke migratie van de verdieping in stroomafwaartse richting door de rivier kan tot een ongewenste situatie leiden, omdat de waterstanddaling niet meer ter hoogte van het grootste knelpunt wordt bereikt.

In de plannen van 'Ruimte voor de Rivier' wordt een aantal zomerbedverdiepingen in overweging genomen: naast de verdieping op de Bergsche Maas mogelijk een verdieping van één meter op de Boven Merwede, die doorloopt op een deel van de Nieuwe Merwede. Ook op de Lek wordt als mogelijke maatregel een zomerbedverdieping van een halve meter onderzocht.

Afbeelding 4 geeft weer hoe de door de zomerbedverdieping bereikte initiële waterstanddaling in de loop der tijd weer afneemt als gevolg van de morfologische respons van de betreffende riviertakken. Na 15 tot 30 jaar is de initiële daling van de waterstand al gehalveerd. In de Lek gaat de afname het snelst, omdat de verdieping hier slechts een halve meter bedraagt. Verder valt op dat de afname in de Boven Merwede sneller verloopt dan in de Bergsche Maas, terwijl de verdiepingen hier ongeveer gelijk zijn. Dit wordt veroorzaakt door het grotere jaarlijks gemiddelde sedimenttransport in de Boven Merwede (700.000 kubieke meter, 120.000 kubieke meter in de Bergsche Maas).

Naast de veiligheidsfunctie komen ook enkele andere functies in het geding door de

morfologische respons van het systeem op rivierverruiming. Het bieden van voldoende diepgang voor de scheepvaart is essentieel vanuit economisch perspectief. Met name bij de geplande uiterwaardmaatregelen kunnen tijdens hoogwaterperioden drempels ontstaan in de hoofdgeul, die dan nog geen probleem vormen, maar tijdens lage afvoeren wel tot vaardiepteproblemen voor de scheepvaart kunnen leiden. De drempels verplaatsen zich met zo'n 400 meter per jaar en de hoogte ervan zal over een periode van bijvoorbeeld een half jaar nauwelijks veranderen.

Niet alleen sedimentatie veroorzaakt problemen in het goed functioneren van een rivier. Erosie kan leiden tot instabiliteit van oevers, dijken en kunstwerken. Bij een zomerbedverdieping zullen wellicht maatregelen getroffen moeten worden om instabiliteit tegen te gaan. Ook de uitbreidende erosie benedenstrooms van de initiële verdieping en de erosiegolven als gevolg van uiterwaardmaatregelen kunnen stabiliserende ingrepen op grotere schaal noodzakelijk maken. Uit het voorbeeld van de nevengeul bleken erosiekuilen met een maximale diepte van ruim 70 cm te ontstaan. Het is niet uitgesloten dat deze lokaal veel dieper zullen zijn als gevolg van twee- en driedimensionale effecten.

Gevolgen voor het rivierbeheer

Aanpassingen in het rivierbeheer zullen nodig zijn om de beschreven ongewenste gevolgen van de maatregelen, namelijk geleidelijke stijging van de waterstand en vermindering van effectiviteit, te voorkomen. In het onderzochte benedenrivierengebied zal dit met name kunnen worden gerealiseerd door veranderingen in het baggerbeleid. Middels extra baggerwerk kan de veroorzaakte extra sedimentatie van de rivierbodem worden voorkomen en kan de effectiviteit van de maatregelen ook op termijn in stand worden gehouden. De mate waarin het huidige baggerwerk in het gebied zal moeten worden geïntensiveerd, zal ook medebepalend kunnen zijn voor de uiteindelijke keuze van de te nemen maatregelen.

Tijdens de uitgevoerde studie is onderzocht in welke mate de baggerinspanning zou

moeten worden opgevoerd. De huidige baggerwerkzaamheden in het gebied (Merwedes, Beneden-Lek en Bergsche Maas-Amer) zijn hierbij als maatstaf gebruikt. Het gaat om ongeveer 600.000 kubieke meter per jaar, gebaseerd op cijfers uit de periode 1990-2000. Resultaten van de modelberekeningen zijn gebruikt om een schatting te maken van de benodigde hoeveelheid extra baggerwerk om de negatieve gevolgen van de maatregelen op waterstand (stijging) en vaardiepte (daling) teniet te doen. In tabel 1 zijn de resultaten van het vergelijkende onderzoek weergegeven voor twee maatregelpakketten.

Beide maatregelpakketten leiden tot de gewenste waterstanddaling in het gebied. Uit de modelstudie blijkt echter dat in het benedenrivierengebied het systeem veel heftiger reageert op maatregelpakket A dan op pakket B. De totale verwachte toename van het baggerwerk bedraagt bij pakket A maximaal 67 procent, terwijl dit bij pakket B slechts 16 procent is. Het verschil in morfologische respons van de twee pakketten wordt verklaard door het type maatregelen waaruit beide pakketten bestaan. Pakket A bevat een tweetal zomerbedverdiepingen, namelijk één op de Bergsche Maas en één op de Boven Merwede en Nieuwe Merwede, waarbij het zomerbed met één meter wordt verdiept. Het tweede pakket is meer gericht op ruimtelijk-kwalitatieve maatregelen en behelst voornamelijk ingrepen in de uiterwaard. Daarnaast is één zomerbedverdieping (van 0,5 meter) opgenomen op de Beneden-Lek. De maatregelen in de uiterwaard worden voornamelijk ingezet bij hoge afvoeren, waardoor de gevolgen op morfologie in de hoofdgeul beperkt blijven. Een verdieping van het zomerbed is continu actief. Het riviersysteem wordt hiermee dusdanig uit het evenwicht gebracht, dat snelle morfologische veranderingen volgen. Om de verdieping in stand te houden, zal dus continu gebaggerd moeten worden. Hoewel zomerbedverdieping dus in eerste instantie een zeer effectieve maatregel is, zijn de morfologische effecten ervan zo aanzienlijk dat deze maatregel, ook als het gaat om de gevolgen voor het rivierbeheer, niet direct aanbevelenswaardig is.

Conclusies

Rivierverruimende maatregelen brengen een morfologische respons van het riviersysteem teweeg. Dit kan leiden tot verminderde effectiviteit en beperkte duurzaamheid van de maatregelen. Op een termijn van jaren - decaden komt de veiligheidsfunctie van de rivier hiermee opnieuw in het geding. Daarnaast kunnen de morfologische effecten leiden tot verminderde vaardiepte voor de scheepvaart en aantasting van oever en bodemstabiliteit. Hiermee zal in het ontwerp van maatregelen rekening gehouden moeten worden.

Om de ongewenste morfologische respons tegen te gaan zal het rivierbeheer moeten worden aangepast. Het instrument hiervoor is baggeren/storten. Om extra baggerwerk zoveel mogelijk te vermijden, kunnen de meeste maatregelen dusdanig worden ontworpen dat de morfologische respons zo gering mogelijk is. Zomerbedverdieping is qua waterstanddaling weliswaar zeer effectief, de duurzaamheid laat echter veel te wensen over, vooral in rivieren met hoge sedimenttransporten. Het extra baggerwerk dat nodig is om de effectiviteit van deze maatregelen te behouden, is dan ook zeer significant. Het gebruikte één-dimensionale computermodel blijkt zeer geschikt om de huidige grootschalige morfologische ontwikkeling van het gebied te simuleren en ook om de effecten van rivierverruiming en de gevolgen hiervan voor het rivierbeheer in kaart te brengen.

LITERATUUR

1) Mol A. (2003). Morfologische gevolgen van rivierverruimende maatregelen langs de Merweden, opzet en toepassing van een SOBEK-model. Afstudeerverslag Universiteit Twente.

2) Mol A. (2004). Morfologische effecten 'Ruimte voor de Rivier' in het Benedenrivierengebied. Universiteit Twente. CEM-onderzoeksrapport 2004R-007/WEM-010.

3) SOBEK Help Desk (2001). SOBEK River/Estuary User Manual. WLDelft Hydraulics.

4) Ribberink J. en R. Buijsrogge (2002). Transportverschijnselen en morfologie. Civiele Techniek Universiteit Twente. Dictaat nr. 881.

Tabel 1. Toename baggerwerk als gevolg van twee mogelijke maatregelpakketten.

tak tak	huidige inspanning (1.000 m³/jaar)	toename pakket A	toename pakket B
Merwedes	370	20-87%	0-11%
Beneden-Lek	110	0%	21-50%
Bergsche Maas/Amer	150	25-68%	0-5%
totaal	630	17-67%	4-16%