



# Modelstudie microverontreinigingen Valleikanaal

IR. J. ICKE, WITTEVEEN+BOS, THANS WLDELFT HYDRAULICS
IR. R. VAN DEN BOOMEN, WITTEVEEN+BOS
ING. M. VAN DER HARST, WATERSCHAP VALLEI & EEM

*Het Valleikanaal is de belangrijkste waterloop in het beheersgebied van Waterschap Vallei & Eem. Het kanaal is in de veertiger jaren gegraven voor de afwatering, voeding en doorspoeling van het gebied tussen de Utrechtse Heuvelrug en het Veluwemassief. Het Valleikanaal vormt de verbinding tussen de Nederrijn en de Eem. Plaatselijk is de waterbodem ernstig verontreinigd met zware metalen en organische microverontreinigingen en ook de waterkwaliteit laat te wensen over. Op het Valleikanaal monden een aantal zijbeken uit die water en sediment van oost naar west transporteren. In tijden van hoge afvoer zijn de zijbeken relatief snel stromend vergeleken met het Valleikanaal. Het Valleikanaal fungeert daardoor als een soort sedimentvang waarin het gesuspendeerde materiaal van de zijbeken bezinkt. De bronnen van zware metalen en organische microverontreinigingen in het stroomgebied van het Valleikanaal zijn deels afkomstig uit puntbronnen (bedrijfslozingen, zuiveringsinstallaties) en deels diffuus van karakter (landbouw, overstorten, oeverbeschoeiingen en atmosferische depositie).*

Het treffen van maatregelen om de belasting van het kanaal door deze bronnen terug te dringen is een kostbare zaak. Bovendien ijlt ook het effect van de historische verontreinigingen in de waterbodem nog lange tijd na. Het op voorhand inschatten van de effectiviteit van dergelijke maatregelen is daarom van belang. Om de effectiviteit van brongerichte en effectgerichte maatregelen te evalueren is een modelstudie met DUFLOW uitgevoerd voor het stroomgebied van het Valleikanaal.

## Onderzoeksopzet

Om de verspreiding en accumulatie van zware metalen en PAK in het Valleikanaal onder wisselende condities in beeld te brengen, is een model gebouwd in DUFLOW. DUFLOW is een simulatiepakket waarmee stroming van water, transport van stoffen en kwaliteitsprocessen in water en waterbodem gesimuleerd kunnen worden.

Nodig zijn gegevens over het watersysteem, de hydrologie, de slibhuishouding, waterkwaliteit en bronnen van verontreiniging. Een zo volledig mogelijke inventarisatie van deze gegevens is een belangrijke randvoorwaarde voor de hele modelstudie. Na de informatieverzameling is het model opgebouwd en gecalibreerd. Hiermee zijn afzonderlijke maatregelen en maatregelpakketten doorgerekend, om zo de effectiviteit te bepalen.

## Inventarisatie van gegevens en modelopbouw

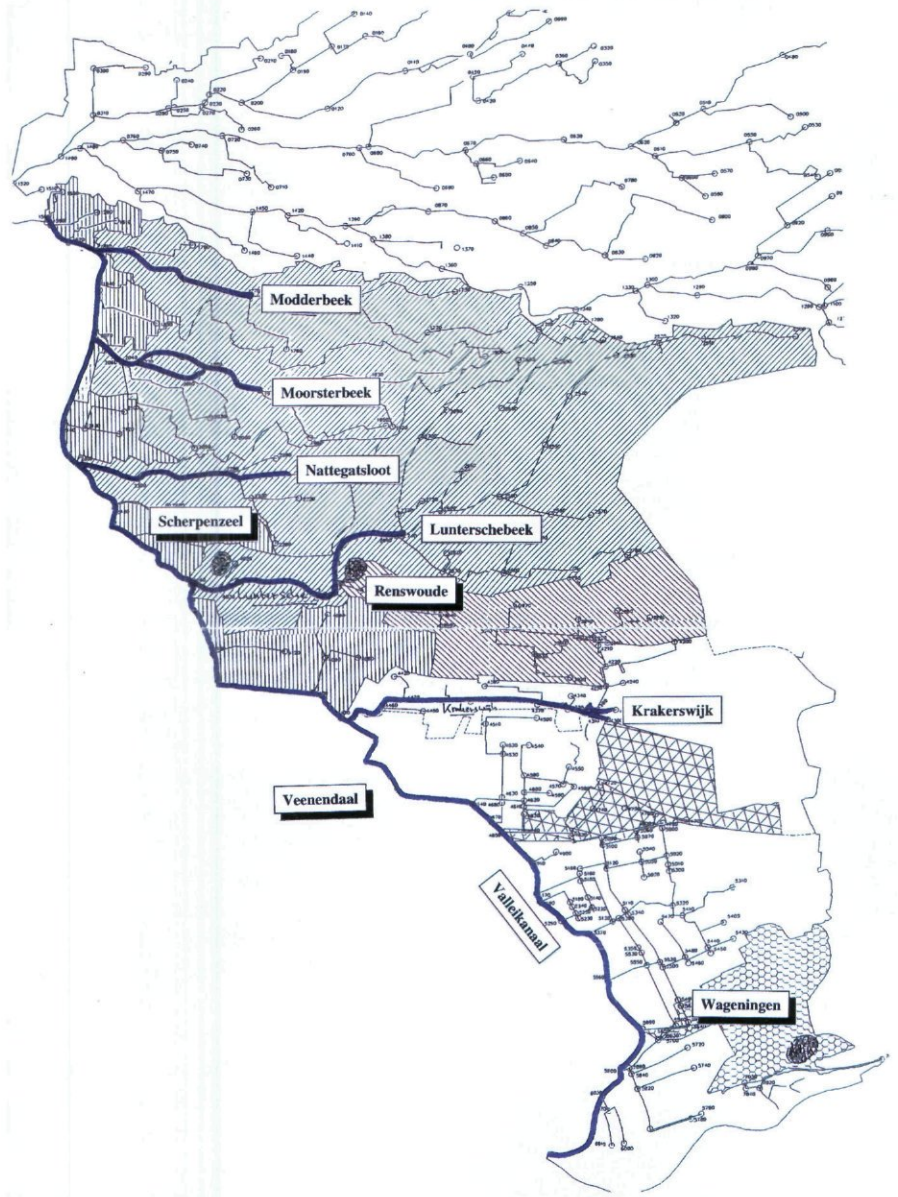
Voor een goede modellering is het noodzakelijk betrouwbare informatie te hebben over het watersysteem. De verspreiding en accumulatie van microverontreinigingen wordt in het Valleikanaal gestuurd door de waterstroming en het sedimenttransport. De informatiebehoefte bestaat daarmee uit de ligging en de afmetingen van watergangen, de hydrologie (afwateringseenheden in het stroomgebied), de bronnen van verontreiniging (puntbronnen en diffuse bronnen) en de historische en actuele kwaliteit van water en waterbodem. Een modelstudie is een goede aanleiding om alle beschikbare informatie nog eens op een rij te zetten. Dan wordt duidelijk of bijvoorbeeld alle bronnen in het gebied bekend zijn, inclusief de diffuse bronnen.

Voor de schematisatie van het watersysteem is uitgegaan van de stroomgebiedskaart (afbeelding 2) en de legger met dwarsprofielen. Daarbij is deels gebruik gemaakt van een reeds bestaande modelschematisatie. Voor het bepalen van de dikte van de sliblaag op de waterbodem is gebruik gemaakt van vier informatiebronnen:

- theoretische en opgenomen dwarsprofielen. Uit het verschil kan de dikte van de sedimentlaag worden bepaald;
- modelsimulaties met het slibtransportmodel gedurende een heel jaar, uitgaande van een vlakke sliblaag op de waterbodem van 35 centimeter, laten zien waar

*Afb. 1: Het Valleikanaal.*






*Afb. 2: Het stroomgebied van het Valleikanaal.*

resuspensie en sedimentatiegebieden zijn gelegen in het Valleikanaal;
- expertkennis van het Valleikanaal: gebiedsdeskundigen weten waar er ophoping van slib optreedt en waar de waterbodem erodeert;
- lodingen met GEORADAR tussen Veenendaal en de uitmonding van de Lunterse Beek.

De hydrologie van het systeem is met de neerslagafvoermodule RAM van DUFLOW gesimuleerd. Van de voornaamste continue lozingen alsmede de inlaat van water uit de Nederrijn zijn eveneens debieten ingevoerd.

De puntbronnen in het stroomgebied zijn de rioolwaterzuiveringsinstallaties van Bennekom, Ede, Veenendaal en Woudenberg. In Ede loost het bedrijf ENKA via een afvalwaterzuiveringsinstallatie effluent op de Krakerswijk. De belangrijkste probleemstoffen in dit effluent zijn cadmium en zink. In de Krakerswijk doet zich een bijzondere situatie voor, doordat hier naast de effluentlozing door de ENKA ook de rioolwaterzuiveringsinstallatie van Ede z'n effluent loost. De zware metalen in het effluent van de AWZI van ENKA adsorberen aan de zwevende stof die via het effluent van de RWZI van Ede op de Krakerswijk wordt geloosd.

De diffuse bronnen in het gebied zijn landbouw, overstorten, uitloging van beschoeiingen en atmosferische depositie. De diffuse belasting van het oppervlaktewater is afgeleid uit een bronnenonderzoek in het stroomgebied van het Valleikanaal[1]. De totale diffuse belasting is omgerekend naar een (constante) gemiddelde concentratie in het afstromende water in het landelijk gebied. De concentraties in de aanvoer uit het landelijk gebied zijn constant aangenomen. De aanvoerdebieten zijn wel variabel in de tijd.

De afgelopen jaren zijn vele waterbodemonderzoeken uitgevoerd in het Valleikanaal[3]. Deze onderzoeken concentreerden zich echter op de meest verontreinigde trajecten. De sedimentlaag is de resultante van de waterkwaliteitsprocessen die zich in de afgelopen jaren in de waterkolom hebben voorgedaan en omvat daarmee een heel stuk historie. De concentratie cadmium ligt over het algemeen tussen de streef- en de grenswaarde (klasse 1). Relatief hoge concentraties komen voor op het punt waar de Krakerswijk uitmondt op het Valleikanaal. Eenzelfde uitschieter is daar zichtbaar in de koperconcentratie. Over vrijwel de gehele lengte van het Valleikanaal ligt de concentratie beneden de streef- en grenswaarde van 35 mg/kg, behalve ter hoogte van de Krakerswijk. Hier wordt de toetsingswaarde overschreden, klasse 3. Zink komt op twee plaatsen in de waterbodem in het Valleikanaal in zeer hoge concentraties voor, die ver boven de interventiewaarde liggen (klasse 4). De concentratie PAK10 in de waterbodem ligt in grote delen van het Valleikanaal tussen de grens- en toetsingswaarde (klasse 2).

De verplaatsing en de accumulatie van microverontreinigingen in een watersysteem verloopt zowel via de waterstroming (advectief en dispersief transport) als via het sedimenttransport[4]. Microverontreinigingen zijn deels opgelost en deels aan het zwevend stof geadsorbeerd. Een adequate beschrijving van het transport van microverontreinigingen begint met een goed waterkwantiteitsmodel, gevolgd door een gecalibreerd sedimenttransportmodel. Tenslotte beschrijft het waterkwaliteitsmodel het transport van zware metalen en PAK10 in de waterfase en de accumulatie van deze stoffen in de waterbodem.

Als basis voor het waterkwaliteitsmodel MICRO heeft het slibtransportmodel SLIBSTROOM gediend, dat als standaard waterkwaliteitsmodule bij DUFLOW hoort. Het waterkwaliteitsmodel dat voor deze studie is gebruikt, is opgebouwd uit drie deelmodellen: een model voor verblijftijd en de conservatieve stof chloride, een deelmodel voor zwevende stof en sediment en tenslotte een deelmodel voor zware metalen en microverontreinigingen.

## Calibratie

De calibratie van het model is stapsgewijs uitgevoerd door de parameters in de neerslagafvoermodule, het sedimenttransportmodel en het waterkwaliteitsmodel binnen reële grenzen te variëren tot de simulatieresultaten de meetgegevens zo goed mogelijk benaderden. De calibratie van het waterkwantiteitsmodel is gebeurd op basis van waterstandsmetingen bij stuw Rode Haan en een meetpunt in de Lunterse beek. Het model benadert de gemeten waterstanden goed. Het chloride

kan als aanvulling hierop worden beschouwd. Doordat chloride een conservatieve stof is, die niet aan reactieprocessen onderhevig is, is de gesimuleerde chloride-concentratie de resultante van de aanvoer en menging van water uit de verschillende bronnen in het gebied die het Valleikanaal voeden.

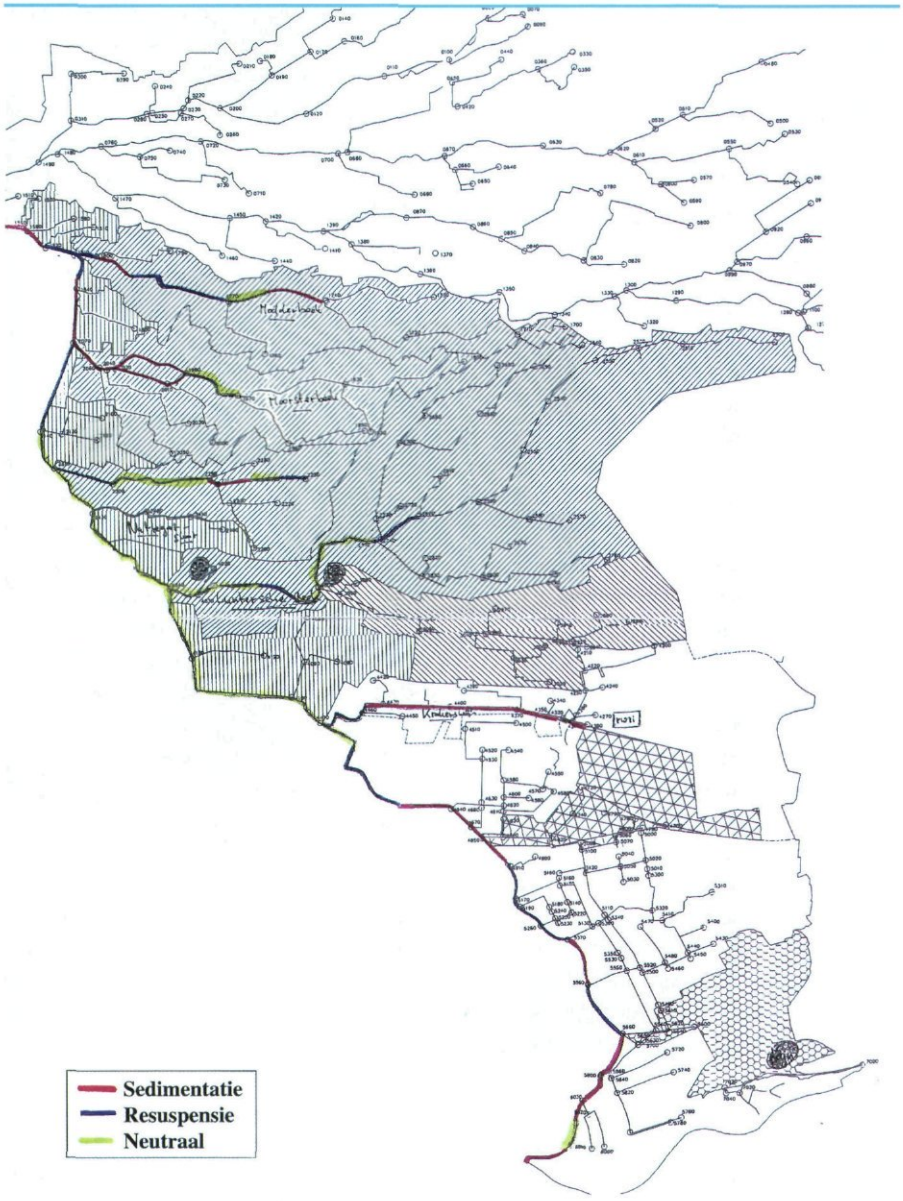
Daarna is het sedimenttransportmodel gecalibreerd, gevolgd door het model voor zware metalen en PAK10. Voor een uitgebreide calibratie van het model ontbrak het aan voldoende gegevens. Daarom is ervoor gekozen om het model in eerste instantie met parameters[4),5)] door te rekenen en deze door middel van 'fine-tuning' bij te stellen binnen de ranges die door de literatuur worden voorgeschreven.

Over de afzonderlijke processen in de slibhuishouding van het Valleikanaal is weinig bekend (zoals bijvoorbeeld sedimentatiesnelheden of resuspensiefluxen). Wat het uiteindelijke resultaat van een simulatie van de slibhuishouding zou moeten zijn is wèl bekend: dit is de dikte van de sedimentlaag. Baggerwerkzaamheden, waaruit bijvoorbeeld een jaarlijkse slibaanwas kan worden afgeleid, zijn niet recentelijk uitgevoerd in het Valleikanaal.

Uit afbeelding 3 blijkt dat het model netto-erosie voorspelt tussen kilometer 15 en 25 en tussen kilometer 30 en 35. Dit is het gevolg van de relatief hoge stroomsnelheden die hier gesimuleerd worden. De hoogste stroomsnelheden treden op in het begin van het simulatiejaar 1995. Het erosiepatroon is al na de simulatie van enkele weken in januari duidelijk zichtbaar in de resultaten. Nettosedimentatie treedt op veel minder plaatsen in het Valleikanaal op. Met name bovenstrooms en helemaal aan het einde van de modelschematisatie (vanaf kilometer 35).

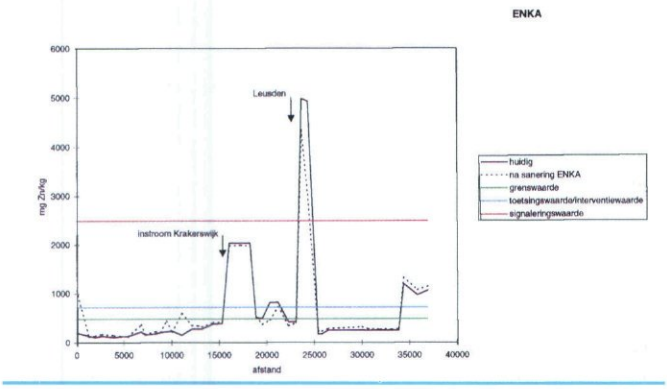
Dit beeld komt aardig overeen met de locaties waar in het veld sedimentatie optreedt. Lokale afwijkingen kunnen verklaard worden doordat het één-dimensionale model DUFLOW de stroomsnelheids- en concentratiegradiënten middelt die er over de dwarsdoorsnede van de watergang bestaan. De sedimentatie van zwevende stof in de hoeken van het dwarsprofiel wordt dus niet gesimuleerd. Bij hoge afvoeren kan bovendien de hele sliblaag in beweging kan komen. Dit fenomeen is waargenomen tijdens en na afloop van periodes met hevige neerslag, zoals bijvoorbeeld de herfst van 1998. De met het model gesimuleerde winter van 1995 is hiermee vergelijkbaar.

*Afb. 3: Gesimuleerde sedimentatie/resuspensiepatronen in het Valleikanaal.*

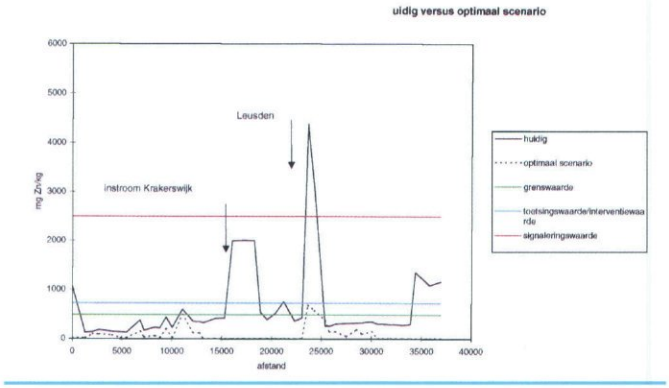



De belangrijkste parameter in het kwaliteitsmodel is de partitiecoëfficiënt Kd. Deze parameter beschrijft de verhouding tussen geadsorbeerde en opgeloste concentraties zware metalen en PAK. Er is gekozen om met een constante Kd-waarde te rekenen. In werkelijkheid zal de partitiecoëfficiënt variëren onder invloed van diverse factoren. Ten eerste is de samenstelling van zwevende stof en sediment bepalend: microverontreinigingen kunnen adsorberen aan organische stof en kleideeltjes, maar niet aan zand. In lijn hiermee ligt het aantal beschikbare bindingsplaatsen aan de zwevende stof voor microverontreinigingen. De adsorptie van zware metalen aan zwevende stof kan onderhevig zijn aan de competitie tussen verschillende stoffen om de beperkte beschikbaarheid van bindingsplaatsen. Tenslotte is de tijdschaal waarop evenwicht wordt bereikt tussen de opgeloste en de geadsorbeerde fractie over het algemeen veel langer dan de tijdschaal waarop veranderingen in de waterafvoer en in de aanvoer van microverontreinigingen van buiten het systeem optreedt[6)]. In het model wordt dus impliciet de aanname gedaan dat er een nieuw evenwicht ontstaat tussen de opgeloste en de geadsorbeerde fractie, na afloop van elke tijdstap waarmee het model wordt doorgerekend. Over de factoren die van invloed zijn op de Kd waren te weinig gegevens bekend om daar in het model voor het Valleikanaal gestalte aan te geven. Door te rekenen met een constante Kd, ligt de waarde van deze parameter in feite vast binnen de ranges die door de literatuur worden voorgeschreven.

In het model treedt in het algemeen afvlakking op van de concentratiegradiënten die er bestaan. Op plaatsen waar hoge concentraties microverontreinigingen zijn gemeten, nemen deze geleidelijk af. Daar waar lagere concentraties zijn gemeten, is een toename van de concentratie waarneembaar. Dit is het gevolg van de uitwisseling en vermenging van het sediment op een bepaalde locatie met sediment van elders en vers aangevoerde




*Afb. 4: Resultaten van zink-simulaties in de huidige situatie en na het saneren van ENKA.*




*Afb. 5: Resultaten van zink-simulaties in de huidige situatie en in een optimaal scenario.*

zwevende stof. Door de krachten die de waterstroming uitoefent op de waterbodem, gaat er voortdurend sediment in resuspensie. Op het moment dat de stroomsnelheden verminderen, treedt sedimentatie op van de zwevende stof die in het water gesuspendeerd is.

## Maatregelenpakketten

Mogelijke maatregelen die de oorzaken en/of gevolgen bestrijden van de verontreinigde waterbodem in het Valleikanaal, kunnen onderverdeeld worden in een aantal categorieën. Maatregelen kunnen brongericht of effectgericht zijn. Brongerichte maatregelen nemen de oorzaak van de verontreiniging weg, terwijl effectgerichte maatregelen bedoeld zijn om de gevolgen van de verspreiding van verontreinigingen te beperken. De bronnen van verontreiniging kunnen op hun beurt weer onderverdeeld worden in puntbronnen en diffuse bronnen. Puntbronnen in het stroomgebied van het Valleikanaal zijn de RWZI's van Bennekom, Ede, Veenendaal en Woudenberg en de ENKA. Ook de inlaat van water uit de Nederrijn zou als een puntbron kunnen worden beschouwd. Diffuse bronnen in het stroomgebied van het Valleikanaal zijn riooloverstorten, landbouw, verkeer en atmosferische depositie.

Brongerichte maatregelen zijn het geheel of gedeeltelijk saneren van punt- en diffuse bronnen. Effectgerichte maatregelen beogen een vermindering van de negatieve gevolgen van de verontreinigde waterbodem en/of de lozing van zwevende stof en microverontreinigingen. Effectgerichte maatregelen betreffen voornamelijk ingrepen in het watersysteem zelf. Voorbeelden van effectgerichte maatregelen zijn het regelmatig baggeren van de verontreinigde waterbodem of het bouwen van een sedimentvang benedenstrooms van de aanvoerende beken, waardoor verontreinigd sediment wordt afgevangen voor dit het Valleikanaal bereikt. Een andere effectgerichte maatregel is het aanleggen van een retentiebekken voor water, bijvoorbeeld ter hoogte van Wageningen, waardoor afvoergolven afgevlakt worden en er minder sedimenttransport plaatsvindt. De verspreiding van verontreinigd slib door sedimenttransporten in het watersysteem wordt hierdoor beperkt.

De verontreinigde waterbodem in het Valleikanaal kan men ook als een interne bron van verontreiniging beschouwen. Als gevolg van processen, zoals de resuspensie van verontreinigd slib en de diffusie van verontreinigingen vanuit het poriewater naar de bovenstaande waterkolom, wordt het water opnieuw belast met zware metalen en PAK.

## Scenarioberekeningen

In eerste instantie zijn vijf scenario's geformuleerd. Een aantal hiervan die met het DUFLOW-model zijn doorgerekend, zijn extremen, die in de praktijk waarschijnlijk niet zo zullen worden uitgevoerd. Toch geven deze scenario's een goed inzicht in het gedrag van het water(bodem)systeem. Op deze wijze kan de bijdrage van afzonderlijke maatregelen worden geschat, iets wat bij een pakket van maatregelen lastiger is. Pas in tweede instantie is een optimaal scenario samengesteld.

Uit het scenario waarin de waterbodem in het Valleikanaal volledig is gesaneerd, blijkt dat op twee trajecten een nieuwe waterbodem gevormd wordt. Netto sedimentatie treedt op in de eerste 15 kilometer vanaf het beginpunt bij Rhenen en in een 10 kilometer lang traject bovenstrooms van en in Amersfoort. Op het tussengelegen traject wordt geen aanwas van sediment gesimuleerd. Na afloop van het volledig baggeren van de waterbodem worden waterbodemconcentraties gesimuleerd met gelijke of zelfs hogere concentraties aan microverontreinigingen dan in de huidige situatie. Mogelijke oorzaak hiervoor is de overschatting van de concentraties microverontreinigingen die via diffuse belasting in de landelijke afvoer terecht komen.

Het scenario waarin de ENKA is gesaneerd (afbeelding 4), leidt tot een aantoonbare verbetering van de waterbodemsamenstelling ten aanzien van cadmium en zink. De effecten zijn het duidelijkst merkbaar in de nabijheid van de uitstroming van de Krakerswijk. Door de menging van vers gevormd sediment met de reeds aanwezige sedimentlaag zal de sanering van bronnen in het stroomgebied van het Valleikanaal met een zekere tijdsvertraging zichtbaar zijn in de concentraties microverontreinigingen in de waterbodem.

De aanleg van een retentiebekken bij Wageningen blijkt volgens de scenarioberekeningen alleen een lokaal effect te hebben op het sedimentatiepatroon en de waterbodemsamenstelling. Zowel wat betreft hoeveelheden als samenstelling is het effect benedenstrooms verwaarloosbaar.

## Optimale maatregelen

Op basis van de scenarioberekeningen is een optimaal maatregelpakket vastgesteld, waarin de meest effectieve ingrepen zijn vertaald naar haalbare maatregelen. Effectieve ingrepen bleken het baggeren van de verontreinigde waterbodem en het (volledig) saneren van de ENKA-lozing te zijn. Deze ingrepen zijn in de praktijk niet volledig haalbaar of betaalbaar en een beëindiging van de lozing van effluent door de ENKA wordt niet op korte termijn voorzien. Daarom is met het model onderzocht of met de aanleg van een slibvang bij de uitmonding van de Krakerswijk voorkomen kan worden dat verontreinigd slib het Valleikanaal bereikt en daar in de waterbodem ophoopt. Door tevens de sterkst verontreinigde trajecten van het Valleikanaal te baggeren wordt een belangrijke interne bron van zware metalen en microverontreinigingen uit het systeem verwijderd.

Uit de simulatie van het optimale maatregelpakket blijkt dat slechts zeer weinig nieuwe aanwas van bagger zal optreden benedenstrooms van de Krakerswijk (afbeelding 5). Verder zal met name in Amersfoort minder

slib worden afgezet. De saneringsspecie die in de Krakerswijk ligt en die na baggeren in relatief korte tijd opnieuw ontstaat, wordt afgevangen in de slibvang. Daarnaast is de (interne) bron van verontreinigd sediment door het baggeren uit het watersysteem verdwenen. Het baggeren van het Valleikanaal zou het beste van boven naar benedenstrooms kunnen plaatsvinden.

## Sterkte/zwakte analyse

De beperkingen van het gebruikte DUFLOW-model zijn door middel van een sterkte/zwakte-analyse geïnventariseerd, waarbij twee aspecten belangrijk zijn gebleken voor deze studie. Ten eerste kunnen lokale aanzanding- en erosiepatronen in meanders van het Valleikanaal niet goed gesimuleerd worden met behulp van het één-dimensionale model. Op theoretische gronden kan bovendien gesteld worden dat de aanname van evenwicht tussen geadsorbeerde en opgeloste zwevende stof leidt tot een overschatting van de accumulatie van microverontreinigingen in de waterbodem.

Zandtransportberekeningen tonen aan dat zandtransport in de zijbeken alleen tijdens piekafvoeren optreedt. Dit zand bezinkt dan nabij de uitmonding van de beek op het Valleikanaal. De simulatie van het zandtransport via de Lunterse beek kon niet goed gesimuleerd worden, hier speelt met name ook meandering een rol[7].

## Conclusie

De modelstudie naar de herkomst, verspreiding en accumulatie van microverontreinigingen heeft het inzicht in het functioneren van het watersysteem verhoogd. De simulatie van maatregelpakketten met het model heeft aangetoond dat de aanleg van een slibvang in de Krakerswijk voorkomt dat geloosde zwevende stof en microverontreinigingen als verontreinigde bagger in het Valleikanaal terechtkomen. Door de meest verontreinigde trajecten in het Valleikanaal te baggeren wordt tevens voorkomen dat deze (historische) verontreinigingen zich door sedimenttransport naar benedenstrooms gelegen gebieden verspreiden. ¶


LITERATUUR

1) CSO adviesbureau voor milieuonderzoek en Provincie Utrecht (1995). Bronnenonderzoek voor micro-verontreinigingen in het onderzoeksgebied Valleikanaal.

2) Tauw Civiel en Bouw b.v. (1994). Hydraulische berekeningen Valleikanaal. Projectnr. 33315.39.

3) Niebeek milieumanagement b.v. (1997). Project: Inventarisatie waterbodems waterschap Vallei & Eem. In opdracht van waterschap Vallei & Eem.

4) STOWA (1998). DUFLOW. Waterkwaliteits/procesbeschrijvingen. Landbouwuniversiteit Wageningen, in opdracht van de STOWA, publicatienr. 98-18.

5) STOWA (1996). Speurdersgids normen waterkwaliteitsbeheer. Publicatie nr. 96-23.

6) Blind M. en G. Blom (1996). Transport microverontreinigingen Vallei & Eem. Lanbouwuniversiteit Wageningen, Vakgroep Waterkwaliteitsbeheer en Aquatische Oecologie.

7) Bouwknecht J. en A. Gelok (1992). Zandtransport bij beekherstel. In: Landinrichting 32 (8).