

INTEGRAAL WATERBEHEER OF DWEILEN MET DE KRAAN OPEN

H. LEENAERS, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Rijksuniversiteit Utrecht, Postbus 80, 115 Utrecht
M.C. RANG, CSO, Adviesbureau voor Milieu-onderzoek, Postbus 30, Den Dolder
C.J. SCHOUTEN, idem

Als gevolg van historische lozingen van mijnafval in het Belgische deel van het stroomgebied van de Geul zijn de oevers van dit riviertje in de loop der tijd belast met zware metalen. Door oeverafslag tijdens perioden met hoge afvoeren kan het verontreinigde bodemmateriaal opnieuw in de Geul terechtkomen. Een deel van dit materiaal wordt stroomafwaarts in de overstromingsvlakte afgezet. Een ander deel wordt verder getransporteerd en komt uiteindelijk in de Maas terecht. Feitelijk functioneren de verontreinigde oevers als een nieuwe, secundaire bron van verontreiniging voor de oevergronden langs de Geul. Dit proces van het opnieuw toeleveren van verontreinigingen aan de rivier is sinds de jaren '50 geïntensiveerd, hetgeen afgeleid kan worden uit de toegenomen oeverafslag en overstromingsfrequentie. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in verschuivingen in het agrarisch ruimtegebruik, een toename van het verharde oppervlak en de veranderende inrichting van het landschap.

Civiel-technische ingrepen ter voorkoming van verdere verspreiding van de verontreiniging gedurende overstromingen, zoals het aanbrengen van oeverbeschoeiingen, het verbreden of verdiepen van de bedding en het rechtekken van de loop, zullen de natuurlandschappelijke waarde van het Geuldal in hoge mate aantasten en kunnen derhalve niet uitgevoerd worden. Integraal waterbeheer in het gehele stroomgebied, gericht op een vergroting van het waterbergend en -bufferend vermogen van het landschap zal leiden tot een afname van de oeverafslag en overstromingsfrequentie en zal daarmee de verspreiding van zware metalen reduceren, zonder de bijzondere waarde van het Geuldal aan te tasten.

INLEIDING

Bodemverontreiniging is in Zuid-Limburg geen recent probleem (RANG & SCHOUTEN, 1987). Door het voorkomen van exploiteerbare ertsvoorraden in de directe omgeving (o.a. Plombières en Stolberg) is de non-ferro metallurgische industrie hier al vroeg tot ontwikkeling gekomen. De eeuwenoude mijnbouw en de daarmee samenhangende industriële activiteiten zijn gepaard gegaan met emissies van zware metalen naar het milieu, ten gevolge waarvan op tal van plaatsen de gehalten aan zware metalen in de bodem sterk verhoogd zijn. Dit probleem speelt met name in enkele rivier- en beekdalen, waaronder het Geuldal. Eeuwenlang zijn de rivieren in West Eu-

ropa gebruikt als openbaar riool, waarop vrijelijk huishoudelijk en industrieel afval geloosd kon worden. Niet alleen het rivierwater, maar ook het meegevoerde slib en de onderwaterbodems waren door deze lozingen reeds in de negentiende eeuw ernstig verontreinigd. Tijdens perioden met hoge afvoeren kon dit verontreinigde slib en het vaste mijnafval in de overstromingsvlakte worden afgezet, hetgeen vooral op de laaggelegen, frequent overstroomde oevergronden heeft geleid tot een ernstige verontreiniging. Sanering van het Geuldal is bij de huidige stand van de techniek niet, of slechts tegen zeer hoge kosten te realiseren. Bovendien kan men zich de vraag stellen of sanering in alle gevallen wenselijk is. Het Geuldal vervult na-

melijk naast een agrarische functie ook een belangrijke ecologische en landschappelijke functie. In het structuurschema "Natuur- en Landschapsbehoud" wordt het Geuldal aangeduid als waardevol agrarische cultuurlandschap. Aangezien deze bijzondere waarde door sanering in ernstige mate geschaad zou kunnen worden, is uit het oogpunt van natuur- en landschapsbehoud niet elke vorm van sanering wenselijk. Het meervoudig gebruik van beekdalen vraagt in deze om aangepaste maatregelen, waarbij niet alleen rekening wordt gehouden met milieuhygiënische belangen, maar ook met ecologische en maatschappelijke belangen. Een dergelijke aanpak is pas mogelijk nadat inzicht is verkregen in de processen die verantwoordelijk zijn voor de voortschrijdende verspreiding van zware metalen in het Geuldal.

In deze tekst wordt ingegaan op de huidige bronnen van zware metalen in het Geuldal, de verspreiding van deze zware metalen en de processen en factoren die deze verspreiding bepalen. Daarnaast wordt nagegaan in hoeverre integraal waterbeheer in het gehele stroomgebied van de Geul en een milieuhygiënisch verantwoord gebruik van de oevergronden een oplossing kan bieden.

HYDROLOGISCHE KENMERKEN

De Geul ontspringt in de gemeente Eynatten (België), nabij de Duits-Belgische grens, en mondt 56 km stroomafwaarts en 242 m lager uit in de Maas nabij Bunde (zie ook PAARLBERG in dit nummer). Van de 350 km² die het stroomgebied omvat, liggen er 180 in Nederland. De breedte van de dalbodem varieert van minder dan 100 m in België tot meer dan 600 m in Nederland. Het oppervlak van de fluviaal beïnvloedde gronden in Nederland bedraagt ca. 12 km² (VAN DEN BROEK & VAN DER MAREL, 1964). De gemiddelde afvoer van de Geul bedraagt 1 m³/s bij de grensovergang tussen Nederland en België, en neemt toe tot 3 m³/s in Meerssen.

Het optreden van hoogwater hangt sterk samen met de hoeveelheid neerslag in het stroomgebied. Binnen enkele uren na een regenbui neemt de afvoer toe en de maximale waterstand kan vaak binnen 24 uur worden geregistreerd. De hoogste afvoeren die ooit werden gemeten variëren van 30 m³/s bij de grens tot 60 m³/s bij de monding. Gedurende hoogwaterperioden is de erosieve kracht van het snelstromende water groot, zodat de oevers van de Geul plaatselijk worden aangetast. De sedimentlast kan daardoor toenemen tot enkele grammen per liter. Op plaatsen waar het water wordt opgestuwd, bijv. in de Kapolder waar de Gulp en de Eyserbeek uitmonden in de Geul, treedt de beek buiten haar oevers. Tijdens overstromingen neemt de stroomsnelheid van het water sterk af en wordt het zwevend slib op de oevers afgezet.

LANDGEBRUIK, BODEM-EROSIE EN WATEROVERLAST

De Geul heeft zich ingesneden in het met löss bedekte plateau-landschap van Zuid Limburg. Vóór de cultivatie van de plateaus was de sedimentlast van de Geul erg klein en bestond deze vrijwel uitsluitend uit fijne kleideeltjes. In die tijd had de Geul een vlak afvoerloop, waarbij overstroming van de oevergronden zelden voorkwam en vond er slechts een trage migratie van de bedding plaats. Lang voor de Middeleeuwen werd een begin gemaakt met de ingebruikname van de plateaus en de hellingen voor landbouwdoeleinden. Door bodemerosie is in de loop der tijd een groot deel van de löss naar de lagen delen van het landschap verplaatst. De oevergronden van de Geul bestaan dientengevolge voor een belangrijk deel uit verspoelde löss, en worden gekarakteriseerd door een relatief grove textuur (VAN DE WESTERLINGH, 1980). In de periode van de kleinschalige landbouw, die voortduurde tot ca. 1950, was het agrarisch landgebruik aangepast aan de gevoeligheid van de bodem voor verspoeling. Slechts kleine delen van de akkers werden tegelijkertijd braakgelegd en het was vanzelfsprekend dat de steilste hellingen als graslanden gebruikt werden. Langs de vaak begroeide perceelscheidingen ontstonden graften, die door de boeren werden onderhouden. Sinds de jaren '50 zijn de omvang van het stedelijk gebied en het aantal infrastructuurwerken in het Geuldal toegenomen en heeft een aantal be-

Tabel 1. Agrarisch landgebruik in Zuid Limburg (% van het oppervlak) (VAN DER HELM et al., 1987).

	weide	granen	aardappel	suikerbiet	maïs	overige
1960	51.0	32.6	4.0	8.0	—	4.4
1976	47.2	19.6	3.8	15.4	6.0	8.1
1986	43.1	17.2	4.5	16.1	13.4	5.7

langrijke veranderingen in het agrarisch landgebruik plaatsgevonden. In plaats van granen worden nu ook gewassen als maïs en suikerbieten op de hellingen verbouwd (zie tabel 1). Dit heeft o.a. tot gevolg dat een groot deel van de gronden gedurende meer dan 6 maanden per jaar braak ligt. Het toenemend gebruik van kunstmest en insecticiden heeft waarschijnlijk een negatieve invloed gehad op de stabiliteit van de bodem (VAN EIJSSEN & IMESON, 1985), die ook wordt verminderd door het gebruik van zware landbouwmachines. De rationalisatie van de landbouw leidde tot nog enkele veranderingen: percelen werden vergroot, het landbouwareaal nam toe, de ploegrichting werd evenwijdig aan de hoogtelijnen gekozen, graften werden verwijderd en grasland werd gescheurd (SCHOUTEN et al., 1985). Al deze wijzigingen hebben bijgedragen aan een afname van de infiltratiecapaciteit van de bodem, waardoor het waterbufferend vermogen van het landschap is verminderd. Tijdens een regenbui verslemt de toplaag van de bodem en het water kan over het slecht doorlatende oppervlak afstromen, waarbij ook bodemdeeltjes en gewassen worden meegevoerd. Het gemiddelde bodemverlies op gecultiveerde hellingen in Zuid Limburg werd door BOUTEN et al. (1985) geschat op ca. 15 ton/ha/jaar. Het verlies aan gewassen kan oplopen tot 5-10% van de totale oogst (SCHOUTEN et al., 1985). In termen van financiële schade levert de overlast van water en slib in stedelijke gebieden de grootste bijdrage. De geschatte jaarlijkse kosten voor reparatie- en onderhoudswerkzaamheden als gevolg van wateroverlast bedragen 5-40% van de gemeentelijke budgetten voor het onderhoud van wegen (SCHOUTEN et al., 1985).

GEVOLGEN VAN DE MIJNBOUW

De eerste vermelding van de winning van lood- en zinkerts in het Belgische deel van het stroomgebied van de Geul dateert uit 1270. De belangrijkste mijnen lagen bij de plaatsen Plombières

en Kelmis, waar de hoogtijdagen van de mijnactiviteit werden bereikt in de periode 1820-1880. In die periode bedroeg de ertswinning in de dagbouw-mijnen van Kelmis ca. 135.000 ton per jaar en waren er 1300 mensen werkzaam in de mijnindustrie. De laatste mijn werd in 1938 gesloten.

Door de aanwezigheid van de mijnen en de ertsverwerkende industrie zijn in de loop der tijd grote hoeveelheden lood, zink en cadmium in de Geul terechtgekomen als gevolg van (1) lozingen van drainagewater en afvalwater met hoge concentratie opgeloste metalen en ertsdeeltjes, (2) erosie en uitspoeling van de — nog steeds aanwezige — afvalbergen op de oevers en (3) de verwerking van zwavelhoudende metaalverbindingen door blootstelling aan de lucht.

De zware metalen worden — deels opgelost, deels gebonden aan het slib en deels in minerale vorm — door de Geul in stroomafwaartse richting getransporteerd en tijdens overstromingen afgezet op de oevers. De oevergronden, die de Geul in de huidige situatie aantast tijdens het meanderen in haar eigen afzettingen, bestaan dan ook uit verontreinigde sedimenten. Met andere woorden: de oorspronkelijke puntbron van zware metalen, het mijngebied in België, is verworpen tot een min of meer diffuse lijnbron, de huidige oevergronden.

VERANDERINGEN VAN HET AFVOERVERLOOP

Door velen worden de hydrologische karakteristieken van een beek of waterloop, zoals de sedimentlast, afvoer-karakteristiek, overstromingsfrequentie en oeverafslag, ten onrechte als een vast gegeven beschouwd. Op basis hiervan worden vervolgens beheer- en onderhoudsplannen opgesteld. In werkelijkheid hangen bovengenoemde karakteristieken nauw samen met menselijk ruimtegebruik in het gehele stroomgebied dat afwatert op de betreffende waterloop. Met name de respons van het riviersysteem op neerslaggebeurtenissen kan zich bij veranderingen in het ruimtegebruik binnen het stroomge-

bied, zoals die in de voorgaande paragraaf zijn besproken, sterk wijzigen (LEOPOLD, 1968). Oppervlakkige afstroming van regenwater zal in een vroeger stadium van de bui al op kunnen treden, waardoor een groot deel van de neerslag de waterloop snel kan bereiken. Dit heeft tot gevolg dat afvoerpieken hoger worden en relatief snel na de aanvang van de bui al kunnen worden geregistreerd (HOLLIS, 1975). In een meerjarige afvoerreeks zal men kunnen constateren dat de herhalingstijden van piekafvoeren zijn afgenomen, waarbij de veranderingen het grootst zullen zijn voor debieten met een herhalingstijd in de orde van enkele jaren. Immers, extreem hoogwater is veelal het gevolg van extreme weersomstandigheden en zal, ongeacht het landgebruik, eens in de tientallen jaren optreden.

Teneinde na te gaan of de landgebruiksveranderingen in het stroomgebied van de Geul hebben geleid tot een verandering van het afvoerverloop, werden twee perioden met een bekende afvoerreeks met elkaar vergeleken: 1955 t/m 1958 en 1980 t/m 1986. De eerste periode vertegenwoordigt het tijdperk van voor de schaalvergroting en rationalisatie in de landbouw, de tweede periode is kenmerkend voor de huidige situatie. De frequentie van grotere regenbuien en de gemiddelde jaarlijkse neerslag in beide perioden zijn vrijwel gelijk (zie tabel II), zodat meteorologische verschillen niet de oorzaak kunnen zijn van eventuele aanwezige verschillen tussen de afvoerkarakteristiek van de Geul gedurende de beschouwde perioden.

De afvoerreeks uit de periode 1955 t/m 1958 heeft betrekking op metingen in Schin op Geul (DE ZEEUW, 1966), de reeks uit de periode 1980-1986 is afkomstig van het huidige meetstation in Meerssen. Het oppervlak dat op de Geul afwatert tussen beide punten beslaat slechts 10% van het oppervlak van het gehele stroomgebied, hetgeen verklaart waarom de afvoer langs dit traject niet of nauwelijks toeneemt (HELDIEM, 1973). Om de beide afvoerreeksen met elkaar te kunnen vergelijken werd toch gecorrigeerd voor het verschil in gedraineerd oppervlak. De herhalingstijd van een willekeurige piekafvoer wordt afgeleid uit een reeks van onafhankelijke piekafvoeren, waarbij het aantal pieken in de reeks gelijk is aan het aantal maanden (N) dat door de reeks wordt ingenomen. Indien de pieken worden gerangschikt van groot ($m=1$) naar klein ($m=N$), dan geldt dat de kans op een afvoer

Tabel II. Frequentie (per jaar) van dagelijkse neerslagsommen (mm) in de perioden 1955 t/m 1958 en 1980 t/m 1986 (in Valkenburg)

neerslag (mm)	1955-'58 (906 mm) *	1980-'86 (943 mm) *
5	60.8	60.8
10	24.3	26.1
15	10.1	12.6
20	5.3	5.6
25	3.8	3.7
30	3.0	2.0

*: gemiddelde jaarlijkse neerslag

groter of gelijk dan die met rangnummer m gelijk is aan $P(x) = m/(N+1)$, en dat de gemiddelde herhalingstijd (in maanden) van die afvoer gelijk is aan $1/P(x) = (N+1)/m$ (MOREL-SEYTOUX, 1979). De afvoer kan in een grafiek als functie van de herhalingstijd worden weergegeven (zie figuur 1). De curven in dit figuur hebben betrekking op de perioden 1955-'58 en 1980-'86. Het is duidelijk dat voor lage afvoeren (kleiner dan $15 \text{ m}^3/\text{s}$) de curven samenvallen en er geen verschillen in herhalingstijd kunnen worden geconstateerd. Voor hogere afvoeren daarentegen, wijken de curven uiteen en blijkt de corresponderende herhalingstijd in de periode 1980-'86 aanmerkelijk korter te zijn dan die in 1955-'58. Tabel III geeft hiervan enkele getalenvoorbeelden. Uit de getallen in deze tabel kan worden afgeleid dat in het bereik van herhalingstijden van een half tot 2 jaar de geregistreerde piekafvoeren de afgelopen 30 jaar zijn toegenomen met 40-50%. Deze toename is naar alle waarschijnlijkheid te wijten aan de toegenomen bijdrage van oppervlakkig afstromend water. De omvang en het tijdstip van een inundatie zijn afhankelijk van de specifieke hydrologische eigenschappen van een afvoergolf en van lokale omstandigheden, zoals de hoogte van de oevers en de topografie van de overstromingsvlakte. In het Geuldal kunnen plaatselijk reeds kleine overstromingen optreden bij een afvoer van $20\text{-}25 \text{ m}^3/\text{s}$ (geregistreerd in Meerssen). Grootschalige inundaties treden pas op wanneer de afvoer $40 \text{ m}^3/\text{s}$ overschrijdt. In het licht van de getallen in tabel III kan worden geconcludeerd dat de frequentie van kleinschalige overstromingen in het Geuldal is toegenomen. Met betrekking tot grootschalige overstromingen kunnen, vanwege de beperkte lengte van de meetreeksen, geen uitspraken worden gedaan. Het uiteenwijken van beide curven in figuur 1 wijst er echter op dat in

het afvoerbereik boven de $25 \text{ m}^3/\text{s}$ een verkorting van de herhalingstijden zeker niet mag worden uitgesloten.

OEVERAANTASTINGEN

De aanvoer van sediment door erosieprocessen en het daaropvolgende transport in de waterloop vindt voor het overgrote deel plaats tijdens hoogwaterperioden met een herhalingstijd van maximaal enkele jaren (HADLEY *et al.*, 1985). De erosieve kracht en de transportcapaciteit van de beek zijn tijdens extreem hoge afvoergolven uiteraard veel groter, maar vanwege de lage frequentie is de bijdrage van deze gebeurtenissen aan de totale materiaalverplaatsing in een langere periode relatief gering. Gedurende de afgelopen decennia werden de oevers van de Geul plaatselijk in toenemende mate aangetast. Een sprekend voorbeeld van dit proces kan worden waargenomen langs de Geul ter hoogte van Partij. Figuur 2 illustreert de resultaten van een onderzoek naar de loopverleggingen van dit deel van de Geul, waarbij luchtfoto's uit 1949, 1973, 1976, 1979, 1983 en 1985 met elkaar werden vergeleken. De loopverleggingen tijdens enkele recente perioden met een lengte van 3 tot 4 jaar ('73-'76, '79-'83 en '83-'86) zijn in de zelfde orde van grootte als die in de periode 1949-1973, met een lengte van 24 jaar. De snelheid van de recente loopverleggingen kan oplopen tot 5 meter per jaar. De periode 1976-1979 werd gekenmerkt door een opeenvolging van een zeer droge jaren, hetgeen de stabiliteit van de loop van de Geul in dat tijdvak verklaart.

De versnelde aantasting van de Geuloevers heeft tot gevolg dat grote hoeveelheden oevermateriaal opnieuw in de beek terecht komen, waarna het als slib in stroomafwaartse richting wordt verplaatst. Een deel van het slib verdwijnt uiteindelijk in de Maas en een ander deel zal tijdens inundaties in de overstromingsvlakte van de Geul worden afgezet. Deze circulatie van materiaal door het fluviale systeem, waarbij uitwisseling plaatsvindt tussen de oevergronden en de waterloop, is een belangrijk gegeven bij het bestuderen van het gedrag van aan het slib gebonden contaminanten. Immers, het met zware metalen verontreinigde sediment dat in de tijd van actieve mijnbouw in het Geuldal werd afgezet, kan nu – na jarenlange opslag in het reservoir van de oevergronden – weer opnieuw in circulatie worden gebracht

en een belasting gaan vormen voor stroomafwaartse oevergronden. Om die reden is het van belang de kwaliteit van de aan erosie onderhevige Geul-oevers te bestuderen. In de zomer van 1987 zijn in het Nederlandse deel van het stroomgebied de oevers van de Geul die sporen van recente aantasting vertoonden geïnventariseerd en bemonsterd. Op grond van de concentraties van zware metalen en de ruimtelijke ligging kan een onderscheid worden gemaakt tussen oevers stroomopwaarts en oevers stroomafwaarts van Mechelen (zie tabel IV). De concentraties van lood, zink en cadmium in oever sedimenten zijn stroomopwaarts van Mechelen een factor 5 hoger dan die in de rest van het stroomgebied. Stroomopwaarts van Mechelen zijn de oevers over een diepte van meer dan 1 meter verontreinigd en wordt voor lood en zink over vrijwel het gehele oeverprofiel de C-norm uit de Leidraad Bodemsanering overschreden. De cadmiumconcentraties in het oevermateriaal overschrijden hier de B-norm. Tussen Mechelen en Meerssen zijn de concentraties van zware metalen in de oevers aanmerkelijk lager, maar voor lood en zink wordt

in de bovenste 60 cm van het profiel nog steeds de B-norm overschreden. Deze inventarisatie maakt duidelijk dat de oevers van de Geul, mede vanwege het feit dat de oeveraantasting aan een versnelling onderhevig is, een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de last van zowel sediment als sedimentgebonden zware metalen die bij hoge afvoeren worden getransporteerd.

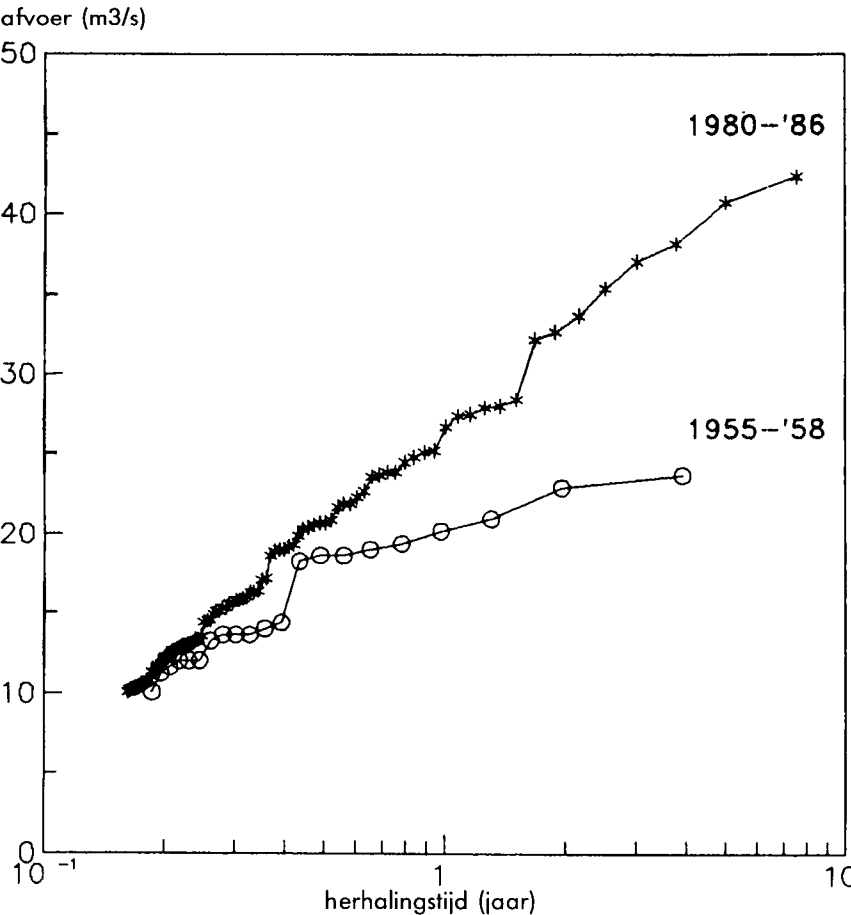
DE AANVOER VAN ZWARE METALEN TIJDENS OVERSTROMINGEN

De mate van verontreiniging van oevergronden vertoont een sterke samenhang met de mate en de aard van de fluviale beïnvloeding. In het Maasdal blijken de overstromingsfrequentie en de bodemontwikkeling een goede

indicatie te geven omtrent de hoogte van de metaalgehalten in de bodems op een bepaalde lokatie (RANG *et al.*, 1987). WOLFENDEN & LEWIN (1977) toonden aan dat de sedimentaire condities tijdens de overstroming van belang kunnen zijn indien de zware metalen een affiniteit voor een bepaalde korrelgrootte-klasse vertonen. In de laaggelegen kommen is de stroomsnelheid het laagst en kan het water stagneren, zodat ook de allerfijnste slibdeeltjes kunnen bezinken. Op de oeverwallen in de stroomrug daarentegen, zal de stroomsnelheid relatief hoog zijn en worden met name de grovere fracties van het slib afgezet. In tabel V worden de concentraties van zware metalen in de oevergronden van de Geul vergeleken met die in recentelijk, tijdens enkele overstromingen in 1986 en 1987, afgezet slib. De stroomruggen die op korte afstand van de waterloop liggen, blijken het zwaarst te zijn belast met zware metalen. De concentraties zijn hier 1,5 tot 2 maal zo hoog als die in de verderaf gelegen komgronden. Door het ontbreken van een duidelijke relatie tussen de concentraties van zware metalen en de korrelgrootteverdeling in de sedimenten van de Geul (LEENAERS *et al.*, 1988), kan dit verschil worden verklaard door het verschil in overstromingsfrequentie: de stroomruggen, die niet worden gekarakteriseerd door het voorkomen van geprononceerde oeverwallen, overstromen vaker dan de komgronden. De concentraties van zware metalen in recentelijk door de Geul afgezet slib zijn aanmerkelijk hoger dan die in de stroomruggen. Hieruit mag worden geconcludeerd dat het materiaal dat wordt aangevoerd tijdens overstromingen, in ernstiger mate is belast met zware metalen dan de bodems in de sterkst verontreinigde delen van het Geuldal. In het voortgaande werd reeds aangetoond dat de frequentie van dergelijke gebeurtenissen is toegenomen. De veranderingen in het afvoerproces van de Geul hebben dus niet alleen tot gevolg dat de mate van oeveraantasting is versneld, maar ook dat de aanvoer van zware metalen naar de oevergronden, zowel in fre-

Tabel III. Afvoeren Q_H (m^3/s) met herhalings-tijd H (jaar) in de perioden 1955-'58 en 1980-'86 (meetstation Meerssen).

	$Q_{0.5}$	$Q_{1.0}$	$Q_{1.5}$	$Q_{2.0}$
1955-1958	17.9	20.0	21.2	22.0
1980-1986	25.1	29.0	31.2	32.8



Figuur 1. Herhalings-tijden van piekafvoeren van de Geul in de perioden 1955-'58 en 1980-'86 (Meerssen).

quentie als in hoeveelheid, is toegenomen.

SANEREN BIJ CONFLICTERENDE BELANGEN

Uit het voorgaande is naar voren gekomen dat het Geuldal in ernstige mate is belast met zware metalen; de B-waarde voor lood uit de Leidraad Bodemsanering wordt veelvuldig overschreden. Plaatselijk wordt zelfs de C-waarde overschreden. Indien deze waarde overschreden wordt is volgens de Leidraad een onderzoek naar de noodzaak tot het nemen van saneringsmaatregelen gewenst. De Interimwet bodemsanering omschrijft het begrip sanering als "het opheffen of tegengaan van verontreiniging van de bodem en de schadelijke gevolgen hiervan voor de volksgezondheid en het milieu". Een sanering kan tevens maatregelen omvatten die een verdere verspreiding van de verontreinigende stoffen tegengaan.

Noch de Interimwet, noch de Leidraad laat aan duidelijkheid te wensen over: zowel het risico voor de volksgezondheid als voor het milieu speelt een belangrijke rol bij de keuze van saneringsmaatregelen. Bij het afwegen van de mogelijk te nemen maatregelen om de huidige verontreiniging van het Geuldal ongedaan te maken, dan wel verdere verontreiniging te voorkomen, dient men dus terdege met alle functies van het gebied rekening te houden.

In het Geuldal is in hoge mate sprake van een verweving van functies. De oudste functie is uiteraard de natuurlijke drainage van het stroomgebied en de afvoer van overtollig water. Daarnaast heeft het Geuldal een agrarische, recreatieve en natuur-landschappelijke

Tabel IV. Gemiddelde Pb-, Zn- en Cd-concentraties (mg/kg) in recentelijk geërodeerde oevers van de Geul.

diepte (m)	grens-Mechelen (n=6-11)			Mechelen-Meerssen (n=6-24)		
	Pb	Zn	Cd	Pb	Zn	Cd
< 0.3	1039 ***	3,219 ***	7.5 **	172 **	600 **	1.6 *
0.3-0.6	1191 ***	3,865 ***	8.3 **	229 **	680 **	4.4 *
0.6-1.0	1817 ***	3,369 ***	8.1 **	81 *	423 *	1.3 *
> 1.0	984 ***	2,661 **	17.1 **	68 *	417 *	1.7 *

* : overschrijding A-norm
** : overschrijding B-norm
*** : overschrijding C-norm (ANONYMUS, 1983).

functie. Deze functies staan onderling in wisselwerking. Deze wisselwerking kan zowel harmoniërend, conflicterend als concurrerend van aard zijn. Aangezien niet alle functies even sterk zijn, kunnen sterke functies andere, zwakkere functies verdringen. Geconstateerd kan worden dat momenteel in Zuid-Limburg een proces van versnelde landschappelijke achteruitgang plaatsvindt, tengevolge van ingrijpende veranderingen op het gebied van de infrastructuurle werken en de landbouw, waarbij met name de functie natuur bedreigd wordt. Daarom moet met het oog op natuur- en landschapsbehoud bij het nemen van saneringsmaatregelen de functie natuur ontzien worden. Bij sanering dienen de eerste maatregelen gericht te zijn op het voorkomen van verdere verontreiniging van de bodem, teneinde het "dweilen met de kraan open" te voorkomen.

Uit het voorgaande is naar voren gekomen dat erosie van sterk verontreinigde afzettingen door oeverafslag, gevolgd door sedimentatie van het geërodeerde materiaal in de overstromingsvlakte, momenteel de belangrijkste bron van verontreiniging is. Het terugdringen

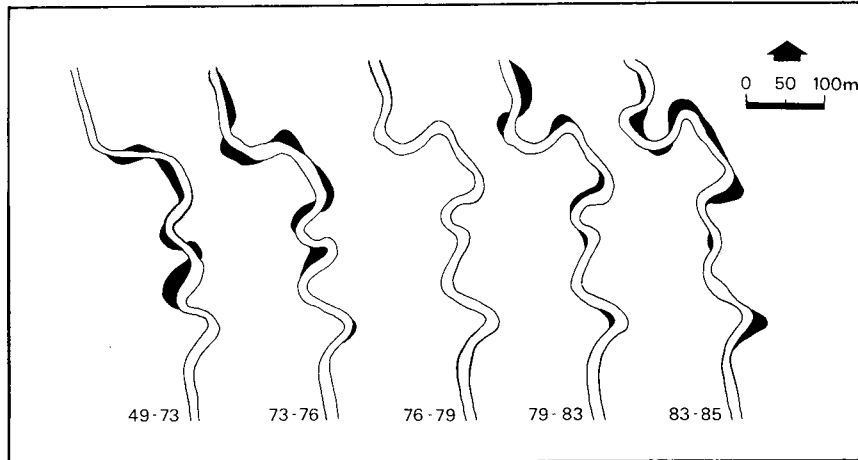
van overstromingen, zowel in frequentie als in omvang, gecombineerd met het voorkomen van oeverafslag, zal dus de verdere verspreiding van de verontreiniging in het Geuldal tegengaan. Overstromingen en oeverafslag kunnen voorkomen worden door de afvoercapaciteit van het dal te vergroten of door de hoogwatergolven af te vlakken en zodoende de piekafvoeren te reduceren.

CIVIEL-TECHNISCHE OPLOSSINGEN

De afvoercapaciteit van de Geul en de snelheid waarmee het water afgevoerd wordt kan vergroot worden door allerlei civiel-technische maatregelen, zoals de aanleg van dijken, het verbreden en verdiepen van de bedding, het rechtekken van de beekloop of het betonneren van de bedding en oevers. In het uiterste geval kan overgegaan worden tot een volledige kanalisatie. Dergelijke civiel-technische ingrepen zullen leiden tot een vergaande aantasting van de natuurlijke en landschappelijke waarde van het Geuldal:

- karakteristieke overbegroeiing en vegetatie aangepast aan hoge grondwaterstanden en periodieke overstromingen zullen aangetast worden of geheel verdwijnen;
- de soortenrijkdom van de macrofauna zal afnemen;
- de visueel landschappelijke kwaliteit en daarmee de recreatieve waarde zal sterk afnemen;
- het vrij meanderende karakter gaat verloren, hetgeen leidt tot het verlies van de voor een natuurlijk beekdal karakteristieke geomorfologische vormen en processen.

Bovendien leiden bovengenoemde civiel-technische maatregelen tot een afname van de bergingscapaciteit van het oppervlaktewatersysteem en daarmee tot een afname van de topvervlak-



Figuur 2. Oeveraantastingen door de Geul in de omgeving van Partij.

king van de hoogwatergolven. Hierdoor zullen de waterstanden bij hoge afvoeren stroomafwaarts van de ingreep toenemen, zodat ook daar ingrijpende civiel-technische maatregelen nodig zullen zijn. Het beoogde effect, i.c. het stoppen van de oeverafslag en het minimaliseren van de overstromingsfrequentie, zal alleen gerealiseerd kunnen worden wanneer de gehele Geul gereguleerd wordt. De schade die dit toebrengt aan de natuurwetenschappelijke, landschappelijke en recreatieve waarde van het Geuldal is echter dermate groot dat uitvoering hiervan niet overwogen kan worden.

INTEGRAAL WATERBEHEER

Een minder ingrijpende oplossing van het probleem biedt de preventie van hoge afvoeren, gecombineerd met het terugdringen van oeverafslag door het herstel of de aanplant van aangepaste oevervegetatie.

Het oppervlaktewater wordt voor een belangrijk deel gevoed vanuit het grondwater door kwel in de beken zelf of hierbuiten in bronnen en kwelzones. De beken ontvangen bovendien oppervlakkig afstromend hemelwater. Door het reliëfrijke karakter van Zuid-Limburg is laatstgenoemde bron van water van groot belang. De beken in Zuid-Limburg ontvangen tijdens neerslagrijke perioden het grootste deel van het water via oppervlakkige afspoeling. Wanneer de oppervlakkige afspoeling van de neerslag verminderd of vertraagd wordt, zal de afvoergolf afgevlakt worden en zal de omvang en frequentie van overstromingen afnemen. Zoals uit het voorgaande is gebleken is de hoeveelheid hemelwater die oppervlakkig afspoelt de laatste decennia echter toegenomen. Deze toename is het gevolg van de vermindering van het waterabsorberend en waterbufferend vermogen van het landschap. Hierbij spelen met name de volgende maatregelen, die samenhangen met de verdergaande rationalisatie van de landbouw, een rol:

- perceelsvergroting;
- vergroting van het areaal bouwland;
- ploegen loodrecht op de hoogtelijnen;
- verwijderen van graften;
- scheuren van graslanden op hellingen steiler dan 4%.

Behalve de veranderingen in het agrarisch ruimtegebruik zal ook de toename van het verharde oppervlak als gevolg van verstedelijking en de aanleg en verharding van wegen debet zijn aan de toename van de oppervlakkige afspoeling (SCHOUTEN *et al.*, 1985). Structurele oplossingen moeten gezocht worden in een integraal waterbeheersingsplan voor het gehele stroomgebied met als doel het waterbufferende en -bergende vermogen van het landschap te vergroten. Op erosiegevoelige hellingen, zoals hellingen steiler dan 4%, dienen bij het uitvoeren van de akkerbouw maatregelen genomen te worden om het erosierisico te verminderen. Op sterk erosiegevoelige hellingen, zoals hellingen steiler dan 8%, dient akkerbouw tegengegaan te worden. Zonodig zullen op deze hellingen bosstroken moeten worden aangelegd. Graften en min of meer natuurlijke lineaire begroeiings-elementen dienen gehandhaafd, hersteld, dan wel in lengte uitgebreid te worden. Versnelde afvoer van water in droge dalen en grubben dient zoveel mogelijk tegengegaan te worden door het nemen van natuur-technische maatregelen, zoals bebossing. De verharding van holle wegen dient in dit verband eveneens tegengegaan te worden. Ook het regenwater dat afspoelt over verharde oppervlakken zal tijdelijk gebufferd dienen te worden. Dit is met name van belang voor regenwater dat afkomstig is van drukke wegen en bebouwde kom. Hiertoe zullen bufferbassins aangelegd dienen te worden. Het voordeel van vertraagde lozing van het hemelwater uit bebouwde gebieden is tweeledig; 1) het afvlakken van piekafvoeren en 2) het bezinken van in het water aanwezig verontreinigd straatvuil, hetgeen ongewenste ver-

spreiding hiervan voorkomt.

Het reduceren van piekafvoeren zal niet alleen leiden tot het afnemen van de overstromingsfrequentie en de piekafvoer, maar ook tot een vermindering van de oeverafslag. De oeverafslag kan nog verder voorkomen worden, overigens zonder het vrij meanderende karakter van de Geul aan te tasten, door het aanbrengen, c.q. herstellen van een aangepaste overbegroeiing. Bovengenoemde maatregelen zullen niet leiden tot het volledig verdwijnen van overstroming en oeverafslag, maar tot een reductie hiervan. Een zekere mate van verspreiding van verontreinigende stoffen en hiermee een verdere verontreiniging van de bodem, zal blijven plaatsvinden. Eventuele risico's voor de volksgezondheid die hieruit voort kunnen vloeien dienen geminimaliseerd te worden door een functietoedeling, die gebaseerd is op de milieuhygiënische kwaliteit van het gebied. Het gebruik van het Geuldal voor bewoning, voor de teelt van consumptiegewassen en voor intensieve (verblijfs-) recreatie is ongewenst. De voorkeur gaat uit naar extensief agrarisch gebruik van deze gronden, bijvoorbeeld als hooiland. Een dergelijk gebruik zal niet alleen de eventuele risico's voor de volksgezondheid verminderen, maar ook een positief effect hebben op de landschappelijke en ecologische waarde van het Geuldal.

CONCLUSIES

De belangrijkste bronnen van verontreiniging in het Geuldal worden op dit moment gevormd door de verontreinigde beekoevers zelf. Door de toegenomen frequentie van het voorkomen van piekafvoeren en de daarmee samenhangende oeverafslag is deze bron de laatste decennia in belang toegenomen.

Civiel-technische ingrepen om oeverafslag en overstroming van de oevergronden te voorkomen zijn ontoelaatbaar, aangezien deze leiden tot een vergaande aantasting van de natuurwetenschappelijke, landschappelijke en recreatieve waarde van het Geuldal. De oplossing moet daarom gezocht worden in een integraal waterbeheer binnen het gehele stroomgebied, waarbij door middel van maatregelen in de sfeer van de landinrichting en de natuur- en landschapsbouw het waterabsorberende en bufferende vermogen van het stroomgebied vergroot wordt.

Tabel V. Gemiddelde concentraties van zware metalen (mg/kg) in oevergronden van de Geul en in recentelijk afgezet slib (n=aantal monsters).

afzetting	n	Pb	Zn	Cd
stroomrug	430	321	1028	3.5
kom	298	158	532	2.5
colluvium	14	33	130	1.6
recent slib	122	477	2308	4.5

Gezien de milieuhygiënische kwaliteit van de oevergronden en gezien het feit dat een verdere verspreiding van de verontreiniging niet volledig voorkomen kan worden, zullen beperkingen gesteld moeten worden aan het ruimtegebruik. Extensivering van het huidige agrarisch ruimtegebruik en het terugdringen van verblijfsrecreatie in het Geuldal zal niet alleen de eventuele risico's voor de volksgezondheid verminderen, maar ook een positief effect hebben op de landschappelijke en ecologische waarde van het Geuldal.

SUMMARY

INTEGRAL WATER MANAGEMENT IN THE CATCHMENT OF THE GEUL

Because of mining activities in the past the alluvial deposits in the Geul valley, in the southernmost part of the Netherlands, are severely polluted by heavy metals. During floods the contaminated deposits on the stream's banks are eroded and thus continue to act as a source of heavy metals. This process of sediment reworking has intensified since the 1950's, as can be derived from an increase in the rate of channel migration and the frequency and magnitude of floods. The cause of this change in hydrological regime is a slow process of land use changes since the 1950's. Due to expansion of the urban area and the number of sealed roads, as well as large scale and modernised agricultural techniques, the infiltration capacity of the physical environment has

decreased. The discharge of the River Geul depends heavily on rainfall. The increasing amount of surface runoff is reflected in a more erratic discharge regime, i.e. similar rainfall conditions lead to a higher peak discharge in the present situation as compared to the situation in the 1950's. As a result, the area that is regularly flooded has grown, and large amounts of contaminated sediments are deposited in the floodplains. This process can only be reduced by integral water management in the entire catchment area. The water management must focus on increasing the infiltration capacity and the water buffering potential of the basin.

LITERATUUR

- ANONYMUS, 1983. Leidraad Bodemsanering, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Leidschendam.
BOUTEN, W., G. VAN EIJSDEN, A.C. IMESON, F.J.P.M. KWAAD, H.J. MÜCHER & A. TIKTAK, 1985. Ontstaan en erosie van de lössleemgronden in Zuid-Limburg. KNAG Geografisch Tijdschrift, XIX (3): 192-207.
BROEK, J.M.M. VAN DEN & H.W. VAN DER MAREL, 1964. De alluviale gronden van de Maas, de Roer en de Geul in de Limburg. Mededelingen Landbouwhogeschool, 7, 80 p.
EIJSDEN, G. VAN & A.C. IMESON, 1985. De relatie tussen erosie en enkele landbouwgewassen in het Ransdalenveld, Zuid-Limburg. Landschap, 2, 133-142.
HADLEY, R.F., R. LAI, C.A. ONSTAD, D.E. WALLING & A. YAIR, 1985. Recent developments in erosion and sediment yield studies. UNESCO Technical Documents in Hydrology, 125 p.
HELM, P.P.M. VAN DER, A.P.J. DE ROO & C.J. SCHOUTEN, 1987. Bodemerosie en wateroverlast. Publicatie van het Instituut voor Ruimtelijk Onderzoek,

- Rijksuniversiteit Utrecht.
HEIDEMIJ, 1973. Afvoerstudie Geul. Rapport in opdracht van de Provincie Limburg.
HOLLIS, G.E., 1975. The effect of urbanization on floods of different recurrence interval. Water Resources Research, 11 (3): 431-435.
LEENAERS, H., M.C. RANG & C.J. SCHOUTEN, 1988. Variability of the metal content of flood deposits. Environmental Geology and Water Science, 11 (1): 95-106.
LEOPOLD, L.B., 1968. Hydrology for urban land planning - a guidebook on the hydrological effects of urban land use. Circular United States Geological Survey, 554.
MOREL-SEYTOUX, H.J., 1979. Forecasting of flows-Flood frequency analysis. Chapter 3 in: Modeling of Rivers (ed. by Shen, W.H.), Wiley & Sons, New York.
RANG, M.C., C.E. KLEIJN & C.J. SCHOUTEN, 1986. Historical changes in the enrichment of fluvial deposits with heavy metals. IAHS Publication, 157, 47-59.
RANG, M.C., C.E. KLEIJN & C.J. SCHOUTEN, 1987. Mapping of soil pollution by application of classical geomorphological and pedological field techniques. In: International Geomorphology, part I (ed. by Gardiner), 1029-1044. Wiley & Sons, New York.
RANG, M.C. & C.J. SCHOUTEN, 1987. Bodemverontreiniging in het Maasdal: geen zaak van vandaag of gisteren. Natuurhistorisch Maandblad 76(4): 70-77.
SCHOUTEN, C.J., M.C. RANG & P.M.J. HUIGEN, 1985. Erosie en water overlast in Zuid-Limburg. Landschap, 2: 118-132.
WESTERIGH, W. VAN DE, 1980. Soils and there geology in the Geul valley. Mededelingen Landbouwhogeschool 80 (8): 1-26.
WOLFENDEN, P.J. & J. LEWIN, 1977. Distributions of metal pollutants in floodplain sediments. Catena, 4: 309-317.
ZEEUW, J.W. DE, 1966. Analyse van het afvoer-verloop van gebieden met hoofdzakelijk grondwaterafvoer. Dissertatie Landbouw Universiteit Wageningen. Veenman & Zonen N.V., Wageningen.



Geul bij St.-Gerlach, Houthem (foto: J. van de Kam).