

Deltares-rapport

2008-U-R0713/A

Overzicht bronnen van verontreinigd slib en mogelijke transportpaden

Datum	juli 2008
Auteur(s)	I.J.I. Bakker G.T. Klaver S. Jansen J. Joziase
Opdrachtgever	Delft Cluster
Projectnummer	092.79299/01.01
Aantal pagina's	45
Goedgekeurd door	H.H.M. Rijnaarts

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Deltares.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan Deltares, dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het Deltares-rapport aan directe belanghebbenden is toegestaan.

2008 Deltares

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
2	Bronnen en transportpaden van verontreinigingen in het slib: algemene beschouwing	4
2.1	Inleiding	4
2.2	Bronnen en transportpaden	4
3	Bronnen en transportpaden van verontreinigingen in het slib binnen het Maas- en Rijnstroomgebied.....	9
3.1	Inleiding	9
3.2	Bronnen en transportpaden in de Rijn	10
3.3	Bronnen en transportpaden in de Maas.....	24
4	Conclusies en aanbevelingen.....	40
5	Verklarende woordenlijst.....	43
6	Referenties	44

1 Inleiding

Transport van verontreinigingen via slibdeeltjes (vooral via gesuspendeerd materiaal, daarnaast ook via ‘bedload’) kan een belangrijk aandeel vormen in het totale transport van deze stoffen. Het kan hierbij gaan om grote hoeveelheden die bovendien grensoverschrijdend verplaatst worden, en grote ecologische effecten teweeg kunnen brengen. Voor een goede inschatting van effecten en maatregelen, onder andere in het licht van de Kaderrichtlijn Water (KRW, EU (2000)), is het dan ook essentieel om de bronnen, transportpaden en processen goed te kennen. Extreme gebeurtenissen zoals droogte en overstromingen, die door klimaatverandering in de nabije toekomst frequenter zullen voorkomen, hebben hier een grote invloed op. Werkpakket 3 van het Delft Cluster Project ‘Waterkwaliteit en Calamiteiten’ richt zich daarom op het transport van verontreinigingen via het slib en de invloed van extreme gebeurtenissen hierop.

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van informatie die aanwezig is over het transport van verontreinigingen via slib in de Rijn en Maas. Hierbij wordt gebruik gemaakt van waterbodem-, bodem- en waterkwaliteitsgegevens uit diverse nationale en internationale databases. Voor de Rijn wordt hierbij gebruik gemaakt van onderzoek dat in opdracht van het Havenbedrijf Rotterdam is uitgevoerd door Heise et al.(2004) naar het risico van het mobiliseren van verontreinigd sediment in het Duitse deel van het stroomgebied. Tevens wordt gebruik gemaakt van resultaten van aanvullende zwevend slib analyses en datasets voor de Nederlandse uiterwaarden. Voor de Maas wordt gebruik gemaakt van de ICM-database, en zijn gegevens via de Belgische onderzoekspartners binnen het EU-AquaTerraproject ontsloten. Andere bronnen van informatie zijn diverse dissertaties, waaronder Leenaers (1989), databases en rapportages van RIZA, onderzoek naar slibafzetting en –kwaliteit in Maas uiterwaarden (Hoogvliet en Rang, 2005), etc.

In dit rapport wordt allereerst een beschouwing gegeven van de processen die in het algemeen een rol spelen bij transport van verontreinigingen via het slib (hoofdstuk 2), waarna specifiek wordt ingegaan op bronnen en transportpaden in de Rijn en Maas (hoofdstuk 3). Voor beide stroomgebieden wordt geïnventariseerd wat bekend is en welke kennis nog ontbreekt. In hoofdstuk 4 worden de belangrijkste uitkomsten samengevat.

2 Bronnen en transportpaden van verontreinigingen in het slib: algemene beschouwing

2.1 Inleiding

Sinds de start van de Industriële Revolutie, maar mogelijk ook al daarvoor, wordt de goede status van water- en sedimentkwaliteit in riviersystemen bedreigd door antropogene input van verontreinigingen in het milieu. Via water, zwevend stof en bodemsediment worden deze verontreinigingen door de rivier getransporteerd en op grote schaal verspreid binnen het riviersysteem. Verschillende bronnen langs en in de rivierloop dragen bij aan de hoge gehalten aan verontreinigingen in een rivier. Ondanks de restricties op productie van toxische (synthetische) materialen en directe lozingen van verontreinigingen op het oppervlaktewater zijn er tegenwoordig nog steeds te hoge gehalten aan verontreinigingen in de Nederlandse en Europese rivieren terug te vinden. Als gevolg van steeds effectievere reductie van de emissies uit puntbronnen wordt het belang van diffuse bronnen steeds groter, waarbij niet eenduidig een individuele bron is aan te wijzen. Daarnaast kunnen oude verontreinigingen nog substantieel bijdragen doordat veel verontreinigingen een grotere affiniteit hebben voor de vaste fase (sediment, zwevend stof) en pas bij een hoog water weer verder stroomafwaarts worden getransporteerd tot de waterflow laag genoeg is voor sedimentatie. Transport van verontreinigingen laat zich daarmee als een traag (geretardeerd) proces zien, waardoor verontreinigingen nog lang in het riviersysteem kunnen achterblijven.

In dit hoofdstuk wordt een algemene beschouwing gegeven van de bronnen en mogelijke transportpaden van verontreinigingen in het slib door het riviersysteem heen. De nadruk ligt hierbij op de ontwikkelingen in Europese rivieren, en meer in het bijzonder de stroomgebieden van de Maas en de Rijn. Hiervoor zal eerst gekeken worden naar de primaire bronnen binnen een rivierstroomgebied. Dit zijn de bronnen die de verontreinigingen produceren en direct in het milieu brengen. Voor de primaire bronnen zal worden aangegeven welke verontreinigingen een rol spelen en wat de algemene ontwikkelingen zijn op dit vlak. Media (landbodems, waterbodems) waar input van de primaire bronnen voor korte of langere tijd in wordt opgeslagen, worden beschouwd als secundaire bronnen. Door processen binnen of buiten het riviersysteem worden deze bronnen in of naar het riviersysteem getransporteerd. Hiervoor zijn verschillende emissie- of transportpaden mogelijk. In het vervolg zullen deze paden aangeduid worden met transportpaden, omdat de benaming emissiepaden suggereert dat er alleen toevoer van verontreinigingen náár het riviersysteem is, terwijl transport van verontreinigingen binnen het riviersysteem ook zeer belangrijk is voor de kwaliteit van het zwevend slib.

2.2 Bronnen en transportpaden

2.2.1 *Primaire bronnen door de jaren heen*

Door de jaren heen zijn er veel veranderingen geweest in en rond de Europese rivieren. Naast antropogene beïnvloeding van de rivierloop door stuwen, dammen en kanalen, worden, zoals eerder vermeld, sinds de Industriële Revolutie (begin 19e eeuw, grootste groei vanaf 1850) onnatuurlijk hoge concentraties aan verontreinigingen in de riviersystemen teruggevonden. De relatief snelle ontwikkeling van nieuwe technieken en de toepassingen hiervan zorgde voor een toenemende behoefte aan grootschalige

industrieën. Vervoer van grote hoeveelheden materiaal geschiedde grotendeels door nieuw ontwikkelde vrachtschepen waardoor ligging nabij de (grote) waterwegen een ideale plek vormde voor zowel de opkomende industrieën als de steeds groter wordende steden.

Een breed scala aan verontreinigingen in het milieu is afkomstig van industriële opwerking van materialen, grotendeels vrijgekomen als bijproduct. In de beginjaren van de Industriële Revolutie werden er vooral veel materialen gewonnen in mijngebieden, waardoor er onnatuurlijk hoge concentraties aan zware metalen (vooral cadmium, koper, lood en zink en aanverwante metalen) in het milieu terecht zijn gekomen. In de 20e eeuw zijn deze mijngebieden veelal gesloten, maar de grote storthopen van mijnafval langs de rivier kunnen ook nu nog een bijdrage leveren aan een verslechterde sedimentkwaliteit in de rivier.

Aan het eind van de 19e eeuw zijn de eerste olieraffinaderijen ontstaan, waarmee steeds meer nadruk kwam te liggen op het aanleveren van energie via verbrandingsprocessen in zowel de industrie als het stadsleven. Hierdoor kwamen niet alleen grote hoeveelheden olie in het milieu terecht, maar ook de meer toxische bij- en verbrandingsproducten, waarvan de verzamelgroep polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) de belangrijkste bijdrage levert. Hiernaast zorgde de groeiende urbanisatie voor veel gecentraliseerde atmosferische uitstoot van PAK's van zowel huishoudens als verkeer.

De verdere ontwikkeling van de industrieën richtte zich daarnaast op de toepassing van synthetische (vaak milieu belastende) materialen. Binnen de landbouw werd en wordt nog steeds veel gebruik gemaakt van kunstmest om de landbouwgronden productiever te maken. De grote hoeveelheden nutriënten (in verschillende vormen o.a. nitraat en fosfaat) die hierbij vrijkomen, zorgen al vele decennia voor eutrofiëring van de oppervlaktewateren. Hiernaast werden in de landbouw ook gewasbeschermingsmiddelen (insecticiden, herbiciden en pesticiden) gebruikt voor de bescherming van het gewas tegen schadelijke hinder van organismen, of ziekten. De productie van een aantal van de meest schadelijke middelen is tegenwoordig grotendeels verboden, maar door de slechte afbreekbaarheid van deze organische stoffen of door illegaal gebruik komen ze nog steeds veelvuldig in het milieu voor. Verder zijn de vervangende middelen uiteraard ook niet volledig onschadelijk. Ook metalen kunnen in gewasbeschermingsmiddelen verwerkt zijn.

Binnen de chemische industrie zijn ook veel synthetische materialen geproduceerd die als vervanging van natuurlijke producten als hout en steen moeten dienen (denk aan kunststof; PVC-buizen). Daarnaast werden er veel (organische) materialen geproduceerd met fysisch-chemische eigenschappen die ze voor verschillende doeleinden toepasbaar maakten. Zo werden PCB's (polychloorbifenylen) gebruikt als isolatievloeistof in transformatoren, koelvloeistof en smeermiddel vanwege de slechte oplosbaarheid in water en de onbrandbaarheid. De productie en het gebruik van PCB's is sinds de periode 1980-1990 in veel landen verboden, maar ook PCB's hebben een slechte afbreekbaarheid en komen nog veelvuldig in watersystemen voor, grotendeels geadsorbeerd aan het sediment. Bij verbranding van PCB's ontstaat ook het giftige dioxine.

De toenemende urbanisatie leidde niet alleen tot een verhoogde uitstoot van PAK's in de atmosfeer, maar ook tot gecentraliseerde afvoer van huishoudelijk en industrieel afvalwater. Zo is een redelijk hoge bijdrage te verwachten van nutriënten vanuit steden, doordat o.a. menselijke uitwerpselen, schoonmaakmiddelen, geneesmiddelen, etc. via rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) in het oppervlaktewater terecht komen. Met name de zogenaamde 'nieuwe' verontreinigingen (hormoonverstorende stoffen) geven aanleiding tot de nodige zorg. In een RWZI wordt natuurlijk een groot deel van de

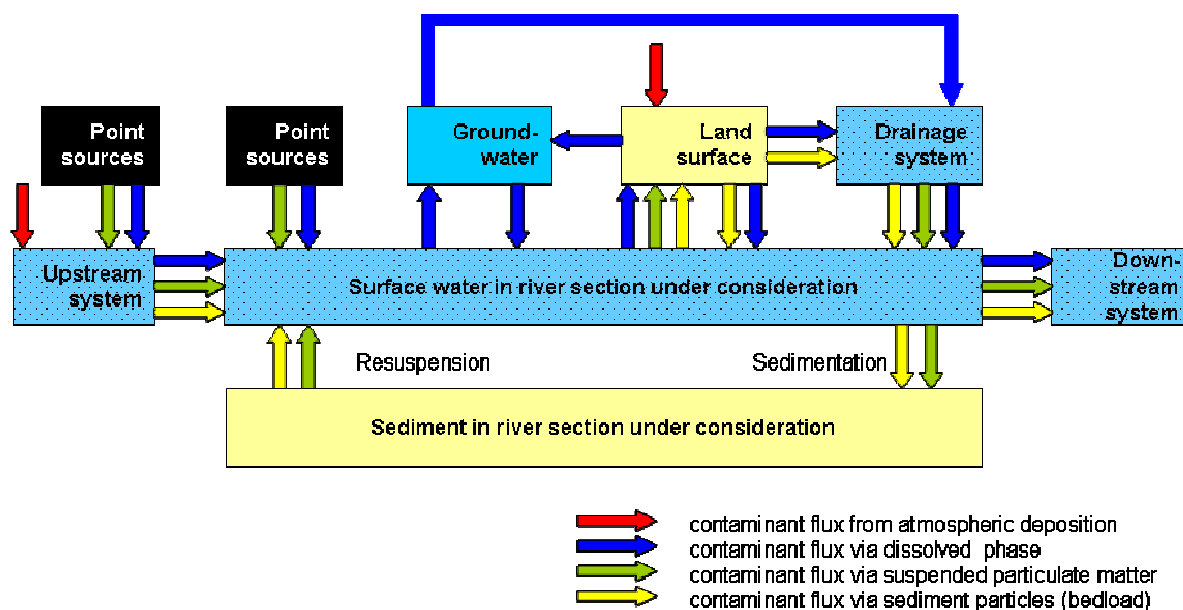
verontreinigingen uit het water verwijderd, maar de technieken zijn nog niet zo ver gevorderd dat ook alle schadelijke stoffen eruit gehaald kunnen worden. Bovendien worden nog niet in alle RWZI's de meest geavanceerde afvalwaterbehandelings-technieken toegepast.

2.2.2 *Transportpaden van verontreinigingen en secundaire bronnen*

Veel secundaire bronnen en transportpaden zijn verbonden met de directe input van industrie, landbouw, stad en verkeer. Zo zijn stad en verkeer grote bronnen voor vervuiling van rivieren met PAK's, maar de grootste bijdrage hiervan zal niet direct door industriële lozingen of RWZI's worden veroorzaakt. PAK's zijn restproducten van een onvolledige verbranding van organische materialen waardoor het grootste deel van de PAK's in de atmosfeer terug te vinden is. Door middel van atmosferische depositie kunnen PAK's weer in de rivier terecht komen, vaak meegebracht met sediment van het omliggende land tijdens een grote regenbui.

Een overzicht van de transportpaden en secundaire bronnen van verontreinigingen in en naar een rivier wordt in figuur 2.1 weergegeven met daarnaast de mogelijke interactie met de secundaire bronnen. Transport kan in vier verschillende matrices plaatsvinden. Atmosferische depositie (bijvoorbeeld van PAK's) is daarin een duidelijke indirecte bron, waarbij het omliggende landoppervlak binnen het rivierstroomgebied als intermediair en tijdelijke opslag van verontreinigingen dient. PAK's, PCB's en metalen hebben een hoge affiniteit voor de vaste fase, waardoor deze verontreinigingen vooral geadsorbeerd aan de sedimentdeeltjes in het riviersysteem komen via erosie van het omliggende land.

De input van verontreinigingen via de opgeloste fase is hoofdzakelijk afkomstig van interacties met het grondwater, puntbronnen, drainagesystemen en input van het bovenstroomse deel. Via het grondwater en drainagesystemen kunnen veel verontreinigingen vanuit de landbouwgebieden afgespoeld worden. Een belangrijke bijdrage van nutriënten is afkomstig van deze secundaire bronnen, waarin de nutriënten hoofdzakelijk in de opgeloste fase getransporteerd zullen worden. De landbouwgebieden kunnen verspreid over het hele rivierstroomgebied voorkomen en worden daarom beschouwd als diffuse bronnen. Ook vanuit RWZI's (puntbronnen) kan een grote bijdrage geleverd worden aan verhoogde nutriëntenconcentraties.



Figuur 2.1: Mogelijke transportpaden van verontreinigingen in en naar het riviersysteem en de interactie met de verschillende secundaire bronnen.

Industrieën en RWZI's worden over het algemeen als puntbronnen beschouwd, doordat input van verontreinigingen veelal van een eenduidig te specificeren locatie afkomstig is. Daarbij kan er onderscheid gemaakt worden tussen een directe lozing van onbewerkt afvalwater of afvalproducten op het riviersysteem (in veel landen al jaren verboden) of een lozing van behandeld water, zoals bij RWZI's en industriële waterzuiveringsinstallaties. Ook het afspoelen of eroderen van afvalhopen op industrieterreinen kan als puntbron beschouwd worden, maar hierbij zal het transport grotendeels via de vaste fase plaatsvinden.

Voor de kwaliteit van het sediment en zwevend slib in het rivierstroomgebied is, naast de input van erosie en afspoeling van de omliggende landen (o.a. ook de uiterwaardengebieden), vooral de resuspensie van eerder gesedimenteerd zwevend slib van groot belang. Dit materiaal is grotendeels gesedimenteerd tijdens perioden met lage afvoer en wordt naar stroomafwaartse gebieden getransporteerd tijdens perioden met hoge afvoer. De verontreinigingsgraad van het zwevend slib wordt niet alleen bepaald door de input van de recente laag aan sediment in het bovenstroomse deel, maar ook door de heropname van ouder, mogelijk vervuild, sediment dat bij hoge afvoeren weer meegenomen kan worden. Dit fenomeen wordt het 'memory effect' genoemd, omdat oud, vervuild sediment gedurende lange tijd in de rivierbedding of in de bodem van de uiterwaarden kan blijven liggen en pas wordt meegenomen nadat de recent gesedimenteerde laag getransporteerd wordt. Op deze manier kan de input van een puntbron via het sediment diffuus verdeeld worden over het rivierstroomgebied. In het rapport van Heise et al. (2004) wordt de bijdrage van deze bron aangeduid met "Altlasten".

2.2.3 Andere invloeden op de verontreinigingsgraad van water en sediment in een rivier

Naast de input van diffuse bronnen en puntbronnen zijn ook verschillende andere processen van belang voor de verontreinigingsgraad van water en sediment in een rivier. Deze processen (die zich in elke rivier kunnen afspelen) zullen kort toegelicht

worden, maar worden in de verdere uitwerkingen van dit rapport niet nader beschouwd voor de te onderzoeken rivierstroomgebieden.

Ten eerste vinden er interacties tussen verontreinigende stoffen in het water en sediment plaats. De chemische en fysische omstandigheden bepalen of een verontreiniging meer opgelost is, of is geadsorbeerd aan het sediment. Zoals eerder vermeld, hebben PAK's, PCB's en metalen een hoge affiniteit voor de vaste fase. PAK's en PCB's hechten zich vooral aan het organische materiaal in het sediment, terwijl metalen zowel aan organisch materiaal als kleideeltjes (zeer fijne fractie) adsorberen. Bij een lagere pH neemt de oplosbaarheid van veel metalen en ook een aantal organische verbindingen toe, waardoor een groter deel van de verontreinigingen in oplossing te vinden is.

Adsorptie van deze verontreinigingen aan het zwevend slib is daarnaast ook afhankelijk van de hoeveelheid slib die aanwezig is. Nutriënten zullen grotendeels in oplossing voorkomen.

Bij sedimentatie van het verontreinigde sediment kunnen er ook veel veranderingen in verontreinigingsgraad optreden. Afhankelijk van de chemische en biologische processen kunnen zuurstofloze (anaërobe) zones ontstaan, die van invloed zijn op de vastlegging of afbraak van stoffen (zie bijv. Vink, 1997). Onder anaërobe condities kunnen metalen bijvoorbeeld worden vastgelegd als metaalsulfiden (zie bijv. Schröder, 2005). Organische verontreinigingen kunnen anaëroob of aëroob afgebroken worden in het sediment door aanwezige bacteriën. De producten die hierbij ontstaan kunnen soms toxischer zijn dan de beginstof. Daarnaast zorgt het waterbodemleven voor opwoeling en verplaatsing van het sediment. Tenslotte kunnen verontreinigingen via diffuus of advectioneel transport met het poriewater naar het grondwater of naar de bovenstaande waterkolom vervoerd worden. Afhankelijk van de genoemde processen kunnen verontreinigingen voor kortere of langere tijd in de waterbodem achterblijven.

3 Bronnen en transportpaden van verontreinigingen in het slib binnen het Maas- en Rijnstroomgebied

3.1 Inleiding

Voor internationale coördinatie van het beheer en onderhoud van het Maas- en Rijnstroomgebied zijn respectievelijk de IMC (Internationale Maas Commissie, zie www.meuse-maas.be) en de ICBR (Internationale Commissie ter bescherming van de Rijn, zie www.iksr.org) actief. Vanwege de implementatie van de KRW wordt er van de verschillende betrokken landen en instanties geëist dat zij het stroomgebied in kaart brengen en zorgdragen voor een goede status van het oppervlaktewater en gerelateerde systemen. Hiervoor is een uitgebreid monitoringssysteem opgesteld, waarbij op verschillende locaties in het stroomgebied de kwantiteit en kwaliteit van het oppervlaktewater (en ook het grondwater) wordt bepaald. Belangrijke locaties van het KRW-programma in het stroomgebied zijn de grensoverschrijdende punten en de monding van belangrijke zijrivieren in de hoofdstroom. De nadruk van het KRW-programma ligt op het monitoren van de oppervlaktewaterkwaliteit en –kwantiteit, inclusief de kwantiteit (concentratie) en kwaliteit van het zwevend slib. De kwaliteit van het sediment (waterbodem) wordt hierin niet of nauwelijks meegenomen. De frequentie van bemonstering wordt bepaald door de ligging van een locatie. Zo worden grensoverschrijdende locaties frequenter bemonsterd (1- tot 4-wekelijks) dan andere locaties (4- tot 8-wekelijks). Inmiddels is door de uitvoering van deze monitoring op diverse locaties een uitgebreide dataset ontstaan met informatie over de kwaliteit en kwantiteit van oppervlaktewater en van het zwevend stof, variërend in de tijd. Dit maakt ook een vergelijking mogelijk tussen de verschillende locaties in een vergelijkbare periode.

De rapportages over de monitoring en implementatie van de KRW in het Maas- en Rijnstroomgebied behoren voor dit rapport tot de belangrijkste informatiebronnen, mede doordat voor de implementatie van de KRW de emissies van verschillende verontreinigingen binnen het stroomgebied in kaart gebracht moesten worden. Hiernaast zijn in het kader van specifieke vragen van onderzoeksinstituten, universiteiten en commerciële bedrijven, verdere interpretaties van de monitoringgegevens uitgevoerd, alsmede additionele bemonstering van oppervlaktewater, zwevend stof, waterbodem- en uiterwaardensediment met bijbehorende interpretatie.

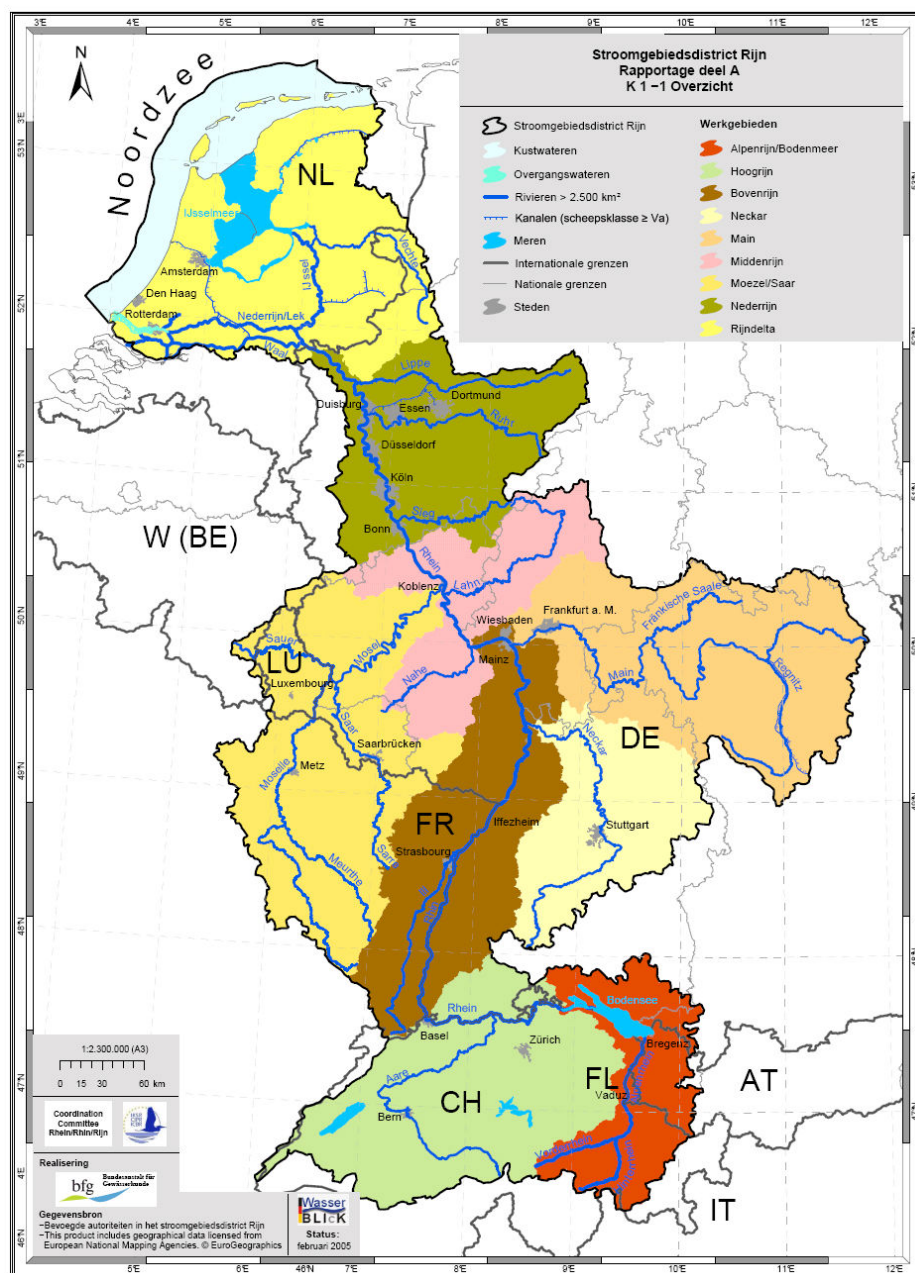
In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de bronnen en transportpaden van verontreinigingen in het Rijn- en Maasstroomgebied vanuit de relevante informatiebronnen voor deze stroomgebieden met extra aandacht voor verontreinigingen die aan het slib zijn gebonden. Hiervoor zal eerst een korte beschrijving van het stroomgebied worden gegeven, waarna wordt ingegaan op de belangrijkste bronnen van verontreinigingen, waar mogelijk uitgesplitst in de verschillende soorten verontreinigingen. De bespreking van elk stroomgebied apart wordt afgesloten met een korte toelichting op de gegevens die nu nog ontbreken om de bronnen en transportpaden van verontreinigingen in het slib van het Rijn- en Maasstroomgebied optimaal in kaart te kunnen brengen.

3.2 Bronnen en transportpaden in de Rijn

3.2.1 *Het stroomgebied van de Rijn*

Het stroomgebied van de Rijn bevindt zich in het westen van Europa en beslaat een gebied van bijna 200,000 km². Het stroomgebied is dichtbevolkt met in totaal ongeveer 58 miljoen inwoners en een gemiddelde bevolkingsdichtheid van 290 inwoners/km². De Rijn ontspringt in de Zwitserse Alpen, waarna de rivier door Zwitserland, Duitsland, Frankrijk en Nederland naar de Noordzee en het IJsselmeer stroomt. Een klein deel van het stroomgebied ligt in Luxemburg en in Liechtenstein. De totale lengte van de rivier bedraagt 1320 km. Het stroomgebied is onder te verdelen in zes deelgebieden met daarnaast nog een bijdrage van drie grote zijrivieren, wat een totaal van negen deelgebieden oplevert (zie ook figuur 3.1):

- 1) Alpenrijn met het Bodensee;
- 2) Hoogrijn: Bodensee tot Basel;
- 3) Bovenrijn: Basel tot Bingen (nabij Mainz);
- 4) Zijrivier 1: Neckar;
- 5) Zijrivier 2: Main;
- 6) Middenrijn: Bingen tot Bonn;
- 7) Zijrivier 3: Moezel/Saar;
- 8) Nederrijn: Bonn tot opsplitsing Rijn in Nederland (onderverdeling in Duitse en Nederlandse Nederrijn);
- 9) Rijndelta: Opsplitsing van de Rijn in Waal, Nederrijn en IJssel tot aan de monding in de Noordzee en het IJsselmeer.



Figuur 3.1: Het stroomgebied van de Rijn (ICBR, 2005).

Het Bodensee is met een wateroppervlak van 535 km² en een volume van 48 miljard m³ van groot belang voor de opvang van neerslag en smeltwater uit de Alpen, en voor een gelijkmatige afvoer via de Rijn. In het deel van de Rijn tussen Schaffhausen (tussen Basel en de Bodensee) en Iffezheim liggen 21 stuwen die zich in een bijna ononderbroken reeks in de Rijn bevinden. Deze stuwen worden gebruikt voor het opwekken van elektriciteit en voor het faciliteren van de scheepvaart (ICBR, 2005). In de Middenrijn stroomt de Rijn door een erosiedal, waar de stenige, rotsachtige rivierbedding zorgt voor een snelle afvoer van het Rijnwater met een hoge stroomsnelheid. Na Bonn neemt de stroomsnelheid af en heeft de rivier een meer landelijk karakter met veel uiterwaardengebieden en terrassenvorming. In het Nederlandse deel van de Rijn breidt dit zich uit tot een typische delta met stroomgeulen die met elkaar in verbinding staan en zich naar de monding toe steeds meer verwijderen.

De langjarige gemiddelde afvoeren bedragen 338 m³/s in Konstanz nabij de Duits-Zwitserse grens en 2.267 m³/s bij de Duits-Nederlandse grens. De afvoer bij de Duits-Nederlandse grens varieert tussen 620 m³/s (gemeten in 1947) en 12.600 m³/s (gemeten in 1926). In Nederlandse hoogwater toekomstscenario's wordt rekening gehouden met debieten van 16.000 en zelfs 18.000 m³/s.

In het Rijnstroomgebied vindt een aanzienlijk deel van de mondiale productie van de chemische industrie plaats. Belangrijk zijn de grote mijnbouwgebieden in de Moezel/Saar-regio en het Ruhrgebied en de bruinkoolwinning aan de linkeroever van de Duitse Nederrijn. De mijnbouwactiviteiten zijn in de laatste decennia sterk afgenomen, maar de gevolgen zijn op veel plaatsen tot op de dag van vandaag nog duidelijk merkbaar. In de volgende paragraaf wordt hier verder op ingegaan.

De Rijn functioneert daarnaast ook als één van de belangrijkste Europese waterwegen voor transport van goederen tussen enerzijds Amsterdam, Rotterdam en Antwerpen en anderzijds de bovenstroomse delen van de Rijn. De rivier levert verder nog drinkwater aan ongeveer 20 miljoen mensen, waarvan de directe onttrekking vanuit het Bodensee een substantieel deel uitmaakt (ICBR, 2005).

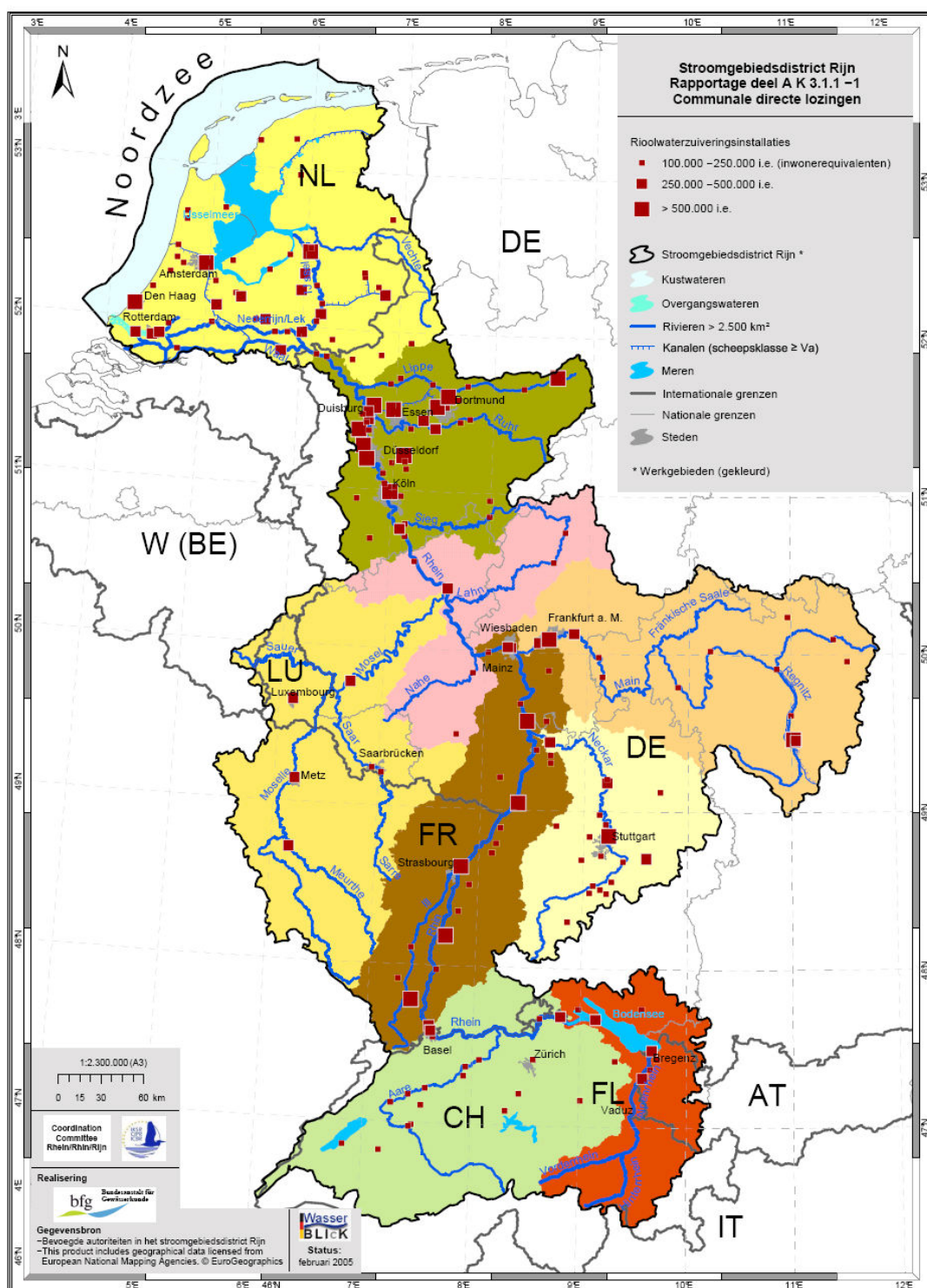
3.2.2 Bronnen en transportpaden in de Rijn

In het stroomgebied van de Rijn zijn twee grote industriegebieden terug te vinden, vanwaar potentieel ook veel verontreinigingen kunnen komen. Het gaat om het Ruhrgebied in de Nederrijn en het Rotterdamse havengebied in de Rijndelta. Deze gebieden laten in figuren 3.2 en 3.3 een duidelijke clustering zien van RWZI's en industrie. In het Rotterdamse havengebied zijn niet veel grote RWZI's aanwezig, maar verschillende soorten industrie zijn binnen een klein gebied geconcentreerd. De nadruk ligt hierbij vooral op de chemische industrie en de voedingsmiddelenindustrie. In het Ruhrgebied komt een grote clustering van veelal grote RWZI's voor in zowel de hoofdstroom als de zijrivieren de Lippe en de Ruhr (figuur 3.2). De industrieën zijn vooral in de omgeving van Duisburg terug te vinden, waar veel opwerking plaatsvindt van metalen en chemicaliën. Vanuit de zijrivieren komt daarnaast een grote bijdrage van andere industrieën (ICBR, 2005).

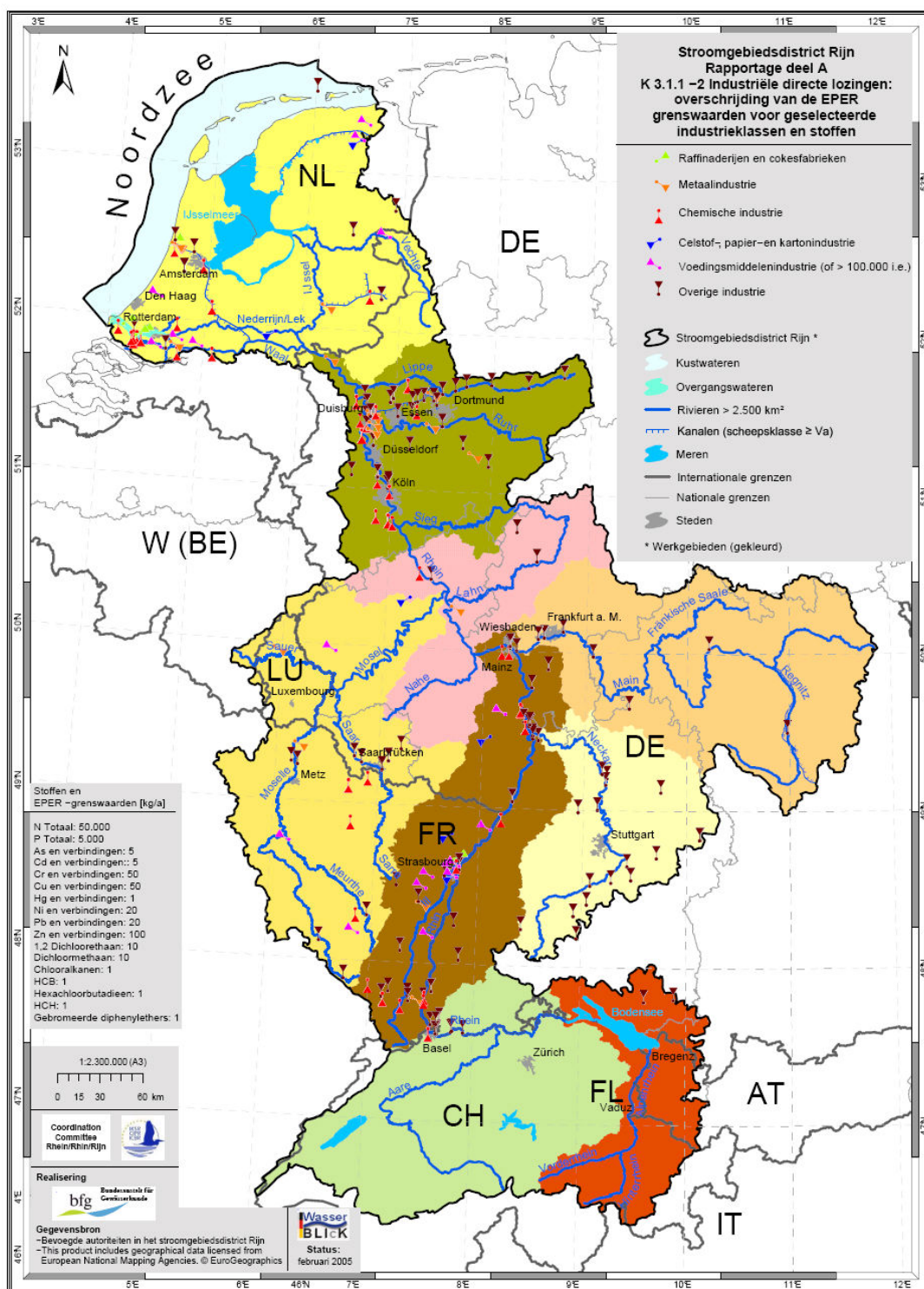
De ICBR heeft naast het overzicht van de aanwezige RWZI's en industrieën in het stroomgebied ook per verontreiniging een inventarisatie gemaakt van de belangrijkste bronnen in het gehele stroomgebied van de Rijn (tabel 3.1). Hieruit blijkt onder meer dat een zeer groot deel van de verontreinigingsvracht uit diffuse bronnen afkomstig is.

Tabel 3.1: Jaarlijkse lozing van verontreinigingen in het stroomgebied van de Rijn, benedenstrooms van het Bodensee (ICBR, 2003).

Verontreiniging	RWZI (kg)	Industrie (kg)	Diffuus (kg)	Totaal (kg)
Totaal-N	107,120,000	22,853,000	289,881,000	419,854,000
Totaal-P	9,719,000	2,424,000	14,032,000	26,175,000
Cr	11,467	34,791	88,205	134,643
Cu	56,820	48,139	213,627	318,586
Zn	357,689	107,071	1,223,103	1,687,863
Cd	863	809	6,350	8,022
Hg	353	306	1,222	1,881
Lindaan	0	1	219	220



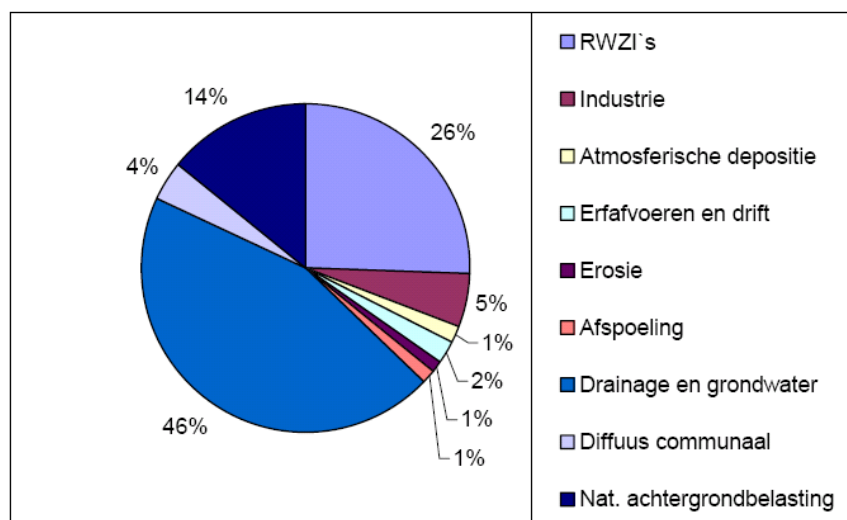
Figuur 3.2: Locaties van rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) in het stroomgebied van de Rijn. De grootte van het symbool geeft het aantal inwonerequivalenten aan (ICBR, 2005).



Figuur 3.3: Locaties van industrieel actieve gebieden in het stroomgebied van de Rijn. De kleur van het symbool geeft aan om wat voor soort industrie het gaat: **groen** = raffinaderijen en cokesfabrieken, **oranje** = metaalindustrie, **rood** = chemische industrie, **blauw** = celstof-, papier- en kartonindustrie, **roze** = voedingsmiddelenindustrie en **bruin** = overige industrie (ICBR, 2005).

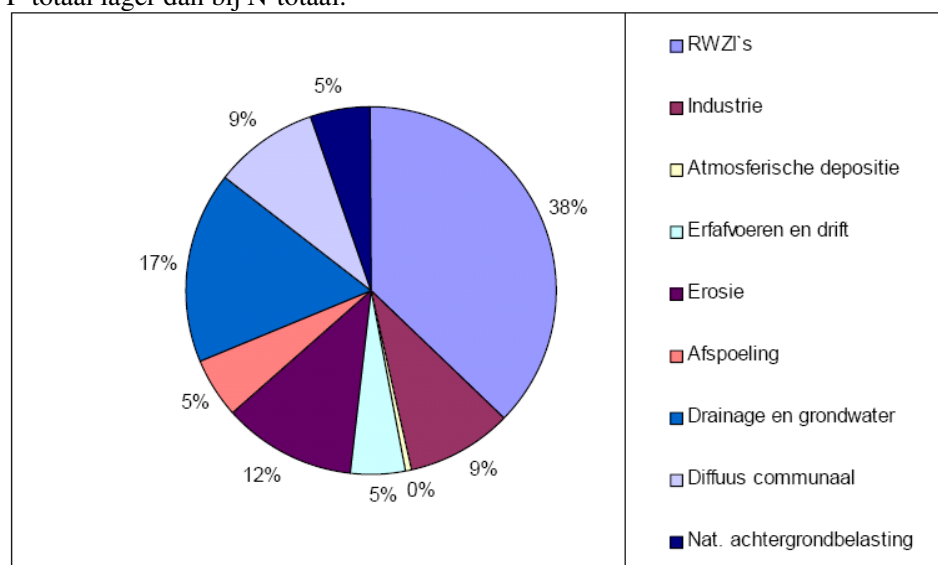
Figuren 3.4 en 3.5 geven een overzicht van de relatieve bijdragen van puntbronnen en diffuse bronnen aan de totale emissie van N-totaal (fig. 3.4) en P-totaal (fig. 3.5) in het stroomgebied van de Rijn.

Voor N-totaal is een zeer grote input terug te vinden van drainage en grondwater, wat betekent dat vooral landbouw substantieel bijdraagt aan verhoogde N-totaal gehalten. RWZI's staan op de tweede plaats met iets meer dan een kwart van de totale emissie. Opvallend is de relatief hoge bijdrage van de natuurlijke achtergrondbelasting aan het totaal (14%), wat aangeeft dat stikstof van nature ook al in redelijk hoge concentraties voorkomt.



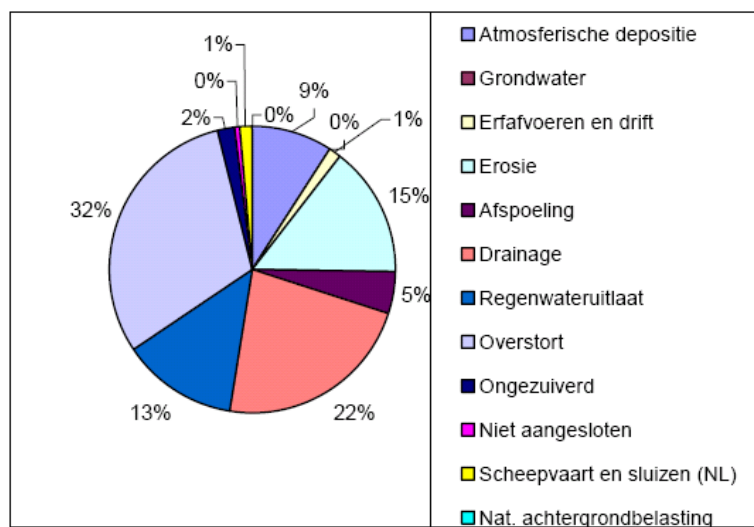
Figuur 3.4: Bijdrage van RWZI's, industrie en diffuse bronnen aan de totale emissie van N-totaal in het stroomgebied van de Rijn (totale emissie in 2000 = 420 kT) (ICBR, 2003).

De emissie van P-totaal is voor bijna de helft afkomstig van puntbronnen, hoofdzakelijk van RWZI's. De bijdrage van diffuse bronnen is duidelijk meer verdeeld dan bij N-totaal. Aanzienlijke bijdragen zijn ook afkomstig van drainage en grondwater, erosie en diffuse bronnen van communaal afvalwater. De natuurlijke achtergrondgehalten zijn bij P-totaal lager dan bij N-totaal.



Figuur 3.5: Bijdrage van RWZI's, industrie en diffuse bronnen aan de totale emissie van P-totaal in het stroomgebied van de Rijn (totale emissie in 2000 = 26 kT) (ICBR, 2003).

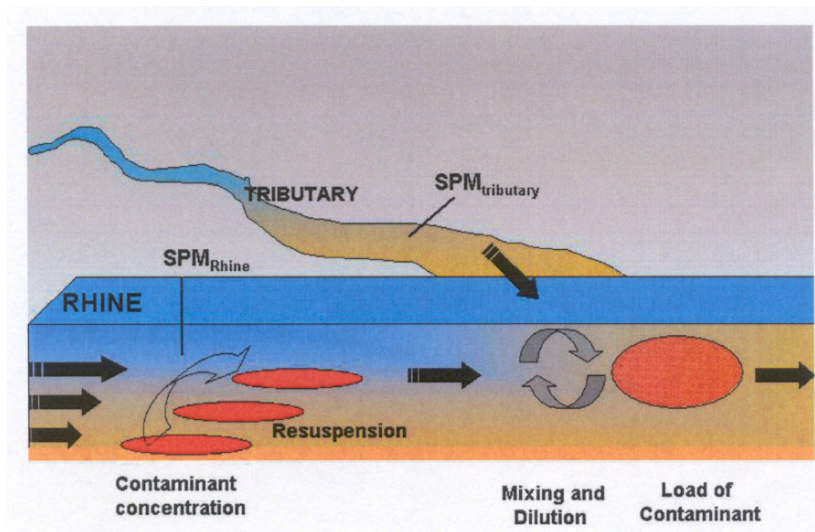
De emissie van zink is in figuur 3.6 alleen voor de diffuse bronnen uitgesplitst. Hierin is een grote bijdrage van overstort, drainage en erosie te zien. Dit betekent dat de input van de diffuse bronnen aan zowel input van steden (overstort van riolering), landbouw (drainage), als industrie (erosie) gerelateerd is. Opvallend is de zeer lage achtergrondbelasting ten opzichte van de andere diffuse bronnen. Dit geeft aan dat de input van andere diffuse bronnen significant hoger ligt dan de natuurlijke achtergrond.



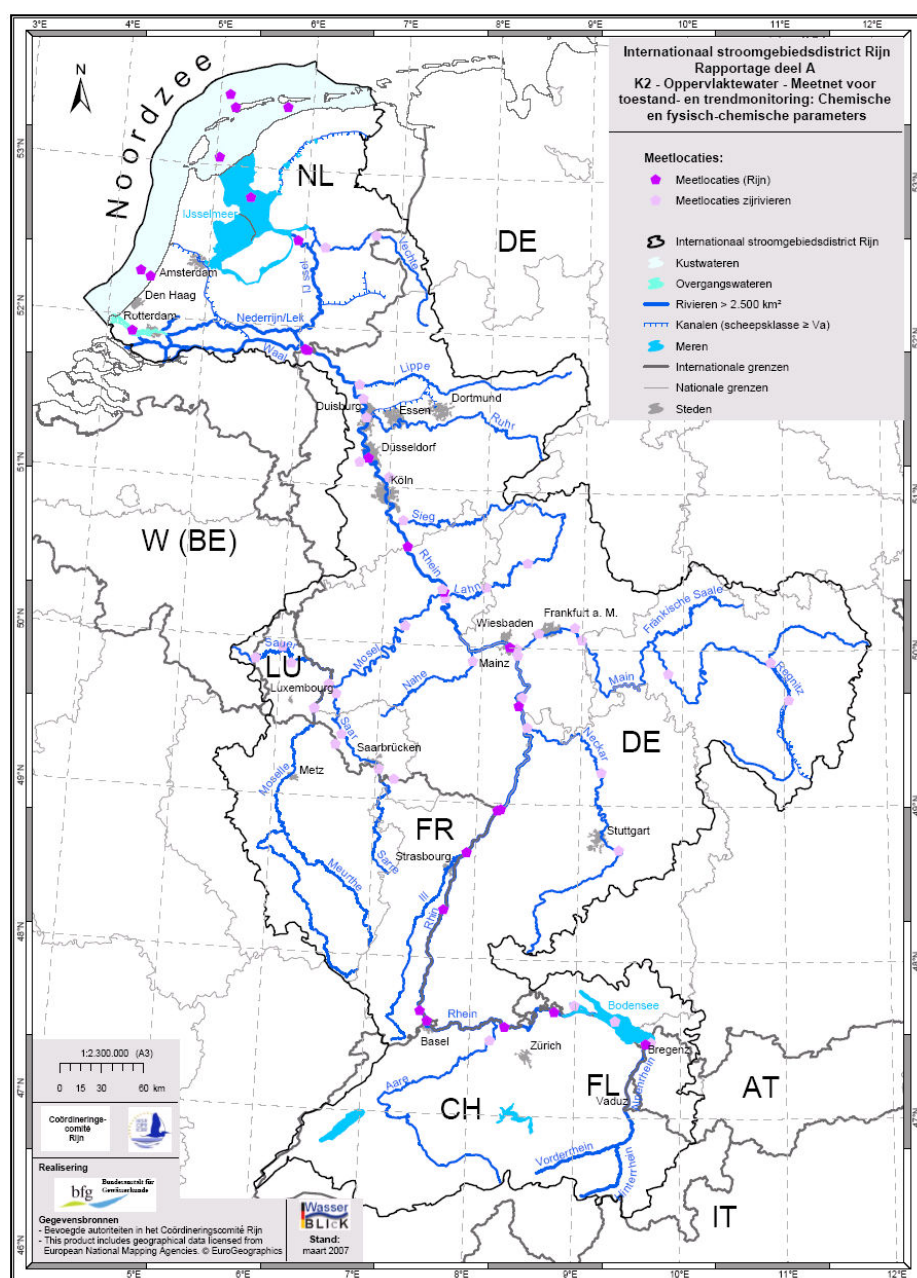
Figuur 3.6: Bijdrage van diffuse bronnen aan de totale emissie van zink in het stroomgebied van de Rijn (totale diffuse zinkbelasting in 2000 = 1.2 kT) (ICBR, 2003).

De ICBR legt vooral de nadruk op de totale belasting van verontreinigingen aan het oppervlaktewater. Binnen het monitoringsprogramma van de KRW wordt echter zowel de kwaliteit van het oppervlaktewater, als de kwaliteit van het zwevend slib opgenomen. Figuur 3.8 laat zien waar de monitoringslocaties voor de KRW liggen. Bemonstering vindt plaats op een 2-wekelijks basis (grensoverschrijdende punten) of op 1- of 2-maandelijks basis (tussengelegen punten). Gegevens van de monitoring wijzen onder andere uit dat de kwaliteit van het Rijnwater de afgelopen decennia aanzienlijk verbeterd is.

Verontreinigingen kunnen echter nog lang in het milieu achterblijven als gevolg van adsorptie aan zwevend stof en sedimentatie van dit materiaal in de minder goed bereikbare gebieden van de rivier. In het rapport van Heise & Förstner (2004) wordt juist naar de kwaliteit van het sediment (waterbodem) in het stroomgebied van de Rijn gekeken. Op deze manier kan achterhaald worden in welke gebieden nog veel historisch verontreinigd sediment ("Altlasten") aanwezig is dat bij hoog water meegenomen kan worden naar de benedenstroomse gebieden. In figuur 3.7 (Heise & Förstner (2004)) worden de processen weergegeven die een rol spelen bij heropname van verontreinigd sediment. Niet alleen resuspensie van verontreinigd sediment is van belang, maar ook de input van zijrivieren. Gemengd met de vracht van zwevend slib uit de bovenstroomse gebieden zorgt de invloed van resuspensie en de input uit zijrivieren voor de totale vracht aan verontreinigingen in het zwevend slib naar het benedenstroomse deel van de rivier.



Figuur 3.7: Overzicht van processen die de vracht van verontreinigingen naar het benedenstroomse deel van de Rijn bepalen (Heise & Förstner, 2004).



Figuur 3.8: Overzicht van de monitoringslocaties in het hoofdstroomgebied en zijrivieren van de Rijn voor de KRW (ICBR, 2005).

Er is een uitgebreid overzicht samengesteld van de samenstelling van sedimenten van vooral het Duitse deel van de Rijn (Heise & Förstner (2004)). Daarnaast is ook gekeken naar de belangrijkste bronnen binnen de industrie (opwerking van materialen) en de locatie van de opwerking. Voor enkele metalen en organische verontreinigingen wordt in tabel 3.2 een beknopt overzicht gegeven van deze inventarisatie.

Naast de bekende verontreinigingen, zoals zware metalen, PAK's en PCB's, komt in het stroomgebied van de Rijn ook veel hexachloorbenzeen (HCB) voor. Input van HCB is vooral afkomstig van de productie van chloorsilaan in de omgeving van Rheinfelden (bovenstroomse deel van de Rijn) waardoor gehalten tot wel 3.000 µg/kg aan HCB in het sediment zijn terug gevonden. Gehaltes van HCB in sediment van de Rijn worden geleidelijk lager richting benedenstroomse gebieden als gevolg van diffuus transport van het verontreinigd sediment en verdunning met schoner sediment. Andere verontreinigingen, zoals zware metalen, PAK's en PCB's, kunnen op verschillende plaatsen in het stroomgebied door lokale input vanuit de bekende primaire bronnen in verhoogde concentraties voorkomen. De samenstelling van de verontreinigingen in het sediment wordt dan bepaald door een combinatie van input van de lokale bronnen en aanvoer vanuit de bovenstroomse gebieden.

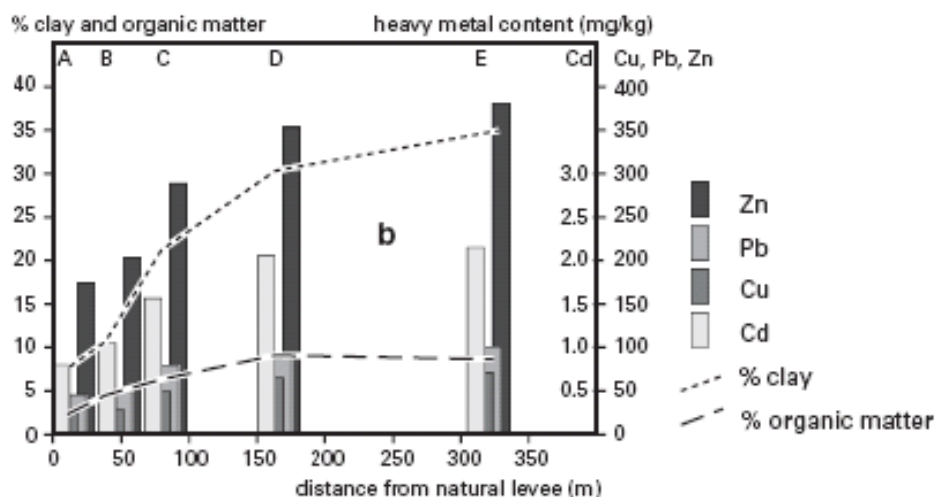


Figuur 3.9: Locaties in het Duitse deel van de Rijn die als risicovol beschouwd kunnen worden. De toeschrijving van de risico's is afgeleid van de overschrijding van de Chemische Toxiciteit Test- waarden voor zware metalen en organische verontreinigingen. Groene punten: geen indicatie van een risico. Grijze punten (klasse 1): Potentieel risicogebied met een overschrijding van de CTT-waarde van enkele gehalten met een factor 1-2. Gele punten (klasse 2): Potentieel hoger risico met concentraties die hoger zijn dan bij klasse 1, maar ook onzekerheid door een beperkte hoeveelheid gegevens. Rode punten (klasse 3): Hoog risico met grote zekerheid, concentratieniveaus vergelijkbaar met klasse 2, maar waar de hoeveelheid aan beschikbare gegevens en het aantal verontreinigingen die de CTT-waarde overschrijden een risico zeer waarschijnlijk maken (Heise & Förstner, 2004).

Naast de uitgebreide studies van ICBR (2005) en Heise & Förstner (2004) voor het in kaart brengen van bronnen in oppervlaktewater en sediment voor een groot deel van het Rijnstroomgebied zijn er ook kleinschalige studies uitgevoerd, waarbij op lokale schaal is gekeken naar de samenstelling van sediment, oppervlaktewater of zwevend slib.

In een studie van CSO (2005a) wordt de samenstelling van het zwevend slib bij Lobith (locatie bij de grensovergang tussen Duitsland en Nederland) gebruikt om herverontreinigingsniveaus te bepalen voor de Rijn in Nederland. De kwaliteit van het zwevend slib op deze locatie blijkt niet significant af te wijken van het hoogwatersediment op de uiterwaarden en de kwaliteit van het zwevend slib voor de rest van het Nederlandse Rijnstroomgebied. Dit lijkt er op te wijzen dat de input van verontreinigingen in het Nederlandse deel van de Rijn minder belangrijk is dan de aanvoer vanuit de bovenstroomse gebieden, maar dat de input vanuit de bovenstroomse gebieden ook niet wordt verdund door schoner sediment.

De samenstelling van uiterwaardensediment is veelvuldig onderzocht in het Nederlandse deel van de Rijn. Bij deze studies is zowel de variatie met de afstand van de rivier als met de diepte in de uiterwaardegrond bestudeerd. Middelkoop (2000) heeft in zijn studie binnen de Rijn-Maas delta op verschillende locaties gekeken naar de variatie van het gehalte aan zware metalen met de afstand tot de rivier. Figuur 3.10 geeft een voorbeeld van deze variatie voor de Klompenwaard nabij de Waal. De toename van de metaalgehalten op deze locaties is gerelateerd aan de toenemende lutum- en organische stoffractie. Fijne deeltjes worden ver in de uiterwaarden getransporteerd, doordat zij pas bij een zeer lage stroomsnelheid sedimenteren. De risicogebieden met verhoogde concentraties aan verontreinigingen liggen daardoor verder van de hoofdstroom af. De sedimentatie van relatief sterk verontreinigde, fijne deeltjes is wel afhankelijk van de intensiteit en het verloop van een overstroming: Bij een afvoer waarbij de uiterwaardegebieden net overstromen, zal het fijne, vervuilde sediment veel dicht bij de rivier worden afgezet. Als hier vervolgens een grote overstroming op volgt, kan het gesedimenteerde fijne materiaal echter al vrij gemakkelijk worden meegenomen en verder in de uiterwaarden worden afgezet. De diffuse verspreiding van het verontreinigde sediment op de uiterwaarden is dus sterk gerelateerd aan de dynamiek van de rivier.

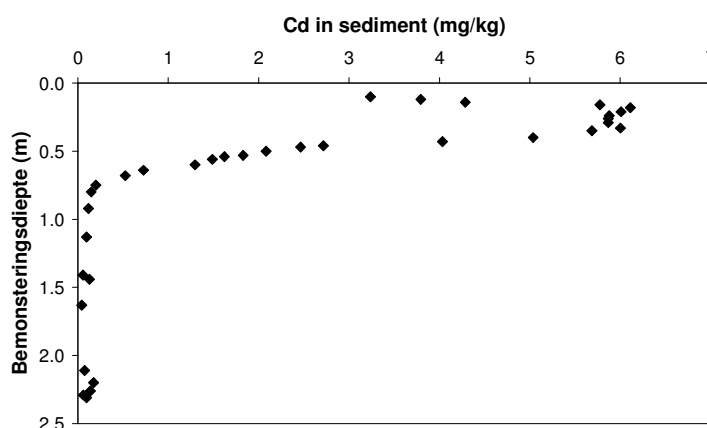


Figuur 3.10: Variatie van klei-, organische stof- en metaalgehalten met afstand tot de rivier voor hoogwatersediment in de uiterwaarden van de Klompenwaard (Middelkoop, 2000).

Uit de variatie van het gehalte aan verontreinigingen in de diepte op de uiterwaarden kan achterhaald worden wat de vroegere gehalten aan verontreinigingen zijn geweest. Bij een overstroming wordt elke keer een verse laag sediment afgezet, waardoor een lagenpatroon ontstaat van de jaren waarin het water een bepaalde locatie heeft bereikt. Dicht bij de hoofdstroom zal naast afzetting ook resuspensie optreden, doordat de stroomsnelheid daar vaak hoog genoeg voor is. Op grotere afstand van de hoofdstroom

zal sedimentatie domineren. In een studie in de omgeving van Winssen is een duidelijk profiel opgemaakt van de metaalverontreiniging in de Rijn door de jaren heen aan de hand van boorkernen in de uiterwaarden. Deze boorkernen zijn eerst gedateerd met behulp van verschillende dateringstechnieken, waarna de metaalprofielen gerelateerd kunnen worden aan de tijd. Figuur 3.11 laat de variatie van de cadmiumconcentratie zien met de bemonsteringsdiepte. Hieruit is duidelijk te constateren dat de huidige concentraties aan verontreinigingen in het uiterwaardensediment nog steeds hoog zijn ten opzichte van de achtergrond, maar dat de verontreinigingsgraad bij een bemonsteringsdiepte van 0,15 tot 0,4 m veel hoger is. Met behulp van verschillende dateringstechnieken (Cs^{137} , loodisotopen en luminescentie) is vastgesteld dat de bemonsteringsdiepten met verhoogde cadmiumgehalten overeenkomen met de periode van ongeveer 1950-1980.

Het materiaal met verhoogde concentraties aan metalen ligt in de uiterwaarden grotendeels begraven onder een wat schonere laag sediment. Zolang deze “schone” laag sediment blijft liggen, is de kans klein dat het zeer sterk verontreinigde sediment weer in de hoofdstroom zal terecht komen. Maar als de “schone” laag verplaatst wordt (bijv. als gevolg van baggeractiviteiten) naar andere gebieden kan de sterk verontreinigde laag weer aan het oppervlak komen en als secundaire verontreinigingsbron door de hoofdstroom van de Rijn worden meegenomen.



Figuur 3.11: Variatie van het cadmiumgehalte met de bemonsteringsdiepte voor een boorkern in de uiterwaarden van de Rijn nabij Winssen (gegevens G. Klaver).

3.2.3 Ontbrekende gegevens

In grote lijnen is voor het stroomgebied van de Rijn bekend wat de potentiële bronnen van verontreinigingen in het oppervlaktewater, zwevend slib of sediment zijn en in welke gebieden deze verontreinigingen veelvuldig voorkomen (figuren met locaties RWZI's (3.2), industrieën (3.3) en verontreinigde sedimenten (3.9)). Per hoofdbron (industrie, RWZI's en diffuus) is daarnaast voor een deel van de verontreinigingen een overzicht gegeven met de emissies van de verontreinigingen (tabel 3.1). De koppeling tussen de directe veroorzaker van een verontreiniging en de hoeveelheid die wordt geloosd op het oppervlaktewater (met of zonder voorbehandeling) is echter nog niet eenduidig gemaakt. Deze koppeling zal echter ook niet simpel te maken zijn. Hiervoor moet gekeken worden naar alle emissiegegevens van producenten apart (industrieën, RWZI's). De samenstelling van het (voorbehandelde) afvalwater en het lozingsdebiet (in m^3/s) is een directe indicatie van de geëmitteerde vracht. In het algemeen zou volstaan kunnen worden met een overzicht van de emissies van verontreinigingen op

het oppervlaktewater in een bepaald district van het Rijnstroomgebied, vergelijkbaar met de studie van Heise & Förstner (2004). De monitoringsgegevens kunnen hierbij eventueel meer informatie verschaffen over de variatie in kwaliteit van oppervlaktewater en zwevend slib door het stroomgebied heen. Verhoogde concentraties van een verontreiniging op een bepaalde locatie geeft een significante invloed van een puntbron aan.

Voor het Nederlandse deel van het Rijnstroomgebied is echter nog geen uitgebreide studie uitgevoerd naar de samenstelling van het (waterbodem)sediment. Hiermee zou in meer detail gekeken kunnen worden naar locaties waar nog veel verontreinigd sediment ligt, afkomstig van de historische verontreiniging van het bovenstroomse gebied, of van lokale bronnen. Daarnaast zijn sedimenten in de uiterwaardengebieden een grote potentiële bron voor verontreinigd sediment in de rivier. Het is echter nog niet duidelijk bij welke afvoeren dit sediment meegenomen zal worden en hoe groot de bijdrage aan het totale sedimenttransport is.

3.3 Bronnen en transportpaden in de Maas

3.3.1 *Het stroomgebied van de Maas*

Het stroomgebied van de Maas beslaat een oppervlak van bijna 35.000 km² in een gebied met bijna 9 miljoen inwoners en een gemiddelde inwonersdichtheid van ongeveer 250 inwoners/km². De Maas ontspringt op een hoogte van 384 meter boven zeeniveau in Pouilly-en-Bassigny (Frankrijk), waarna de rivier via delen van België, Luxemburg, Duitsland en Nederland na 905 kilometer in de Noordzee uitkomt. Figuur 3.12 geeft het hele stroomgebied van de Maas weer, waarnaast ook de belangrijke zijrivieren vermeld zijn. Dit zijn de Chiers, Semois, Lesse, Sambre, Ourthe, Roer, Swalm, Niers, Dommel en Mark.

De Maas is een typische regenrivier. Het debiet is afhankelijk van de neerslag en kan per seizoen en van jaar tot jaar verschillen. De gemiddelde hoeveelheid neerslag varieert tussen 700 en 1400 mm per jaar, waarbij de neerslag in het Ardennengebied (Waals deel van België) het grootst is. De slecht doorlatende ondergrond in vooral het Waalse deel van de Maas zorgt voor grote piekafvoeren in de rivier bij hevige regenbuien. Hoge afvoeren vinden over het algemeen plaats in de winter en het voorjaar. Daarbij kunnen piekafvoeren bereikt worden van meer dan 3.000 m³/s, zoals waargenomen tijdens de overstroming van 1993 bij Eijsden (nabij de grens tussen België en Nederland). De geringe berging van regenwater in de ondergrond zorgt voor lage afvoeren tijdens de warmere zomer- en herfstmaanden. Tijdens zeer droge jaren kan de afvoer lange tijd ruim onder de 50 m³/s blijven. Het afvoerproces van de Maas wordt daarnaast beïnvloed door ingrepen in de rivier en de directe omgeving, ten behoeve van bijv. de scheepvaart en voor een betere overstromingspreventie. Bijna de gehele loop van de Maas wordt kunstmatig beïnvloed door stuwen, sluizen, dammen en kanalen, waarmee het natuurlijke karakter van de rivier in hoge mate gewild wordt aangedaan (IMC, 2005).

Op basis van geomorfologische en fysische kenmerken kan het stroomgebied van de Maas onderverdeeld worden in drie deelgebieden:

Zone 1: van de bron tot aan Charleville-Mézières (nabij de Frans-Belgische grens):

De ondergrond van dit deel van de Maas is kalkhoudend en poreus, terwijl het zomerbed uit grind bestaat. De hoofdstroom van de Maas is hier nog vrij smal en door een gering verval is de stroomsnelheid laag. Scheepvaart wordt grotendeels door het evenwijdige lopende “Canal de l’Est” gevoerd. Vanaf Troussey is ook de Maas

gekanaliseerd. De druk op dit deel van de Maas is nog niet zo groot, doordat er weinig scheepvaart plaatsvindt en het gebied dunbevolkt is. Daarnaast komt er weinig industrialisatie en verstedelijking voor.

Zone 2: Van Charleville-Mézières tot Luik

Dit deel van de Maas wordt gekenmerkt door een ondergrond van slecht doorlatend gesteente. De rivierloop wordt breder en tijdens hevige regenval kunnen de deelstroomgebieden van de Semois, Lesse, Sambre en de Ourthe substantieel bijdragen aan het debiet van de Maas. Het water zal snel afgevoerd worden naar de benedenstroomse delen van de Maas vanwege de geringe doorlatendheid van de ondergrond. De hoofdstroom van de Maas is sterk door de mens beïnvloed om de rivier bevaarbaar te maken. In dit traject komen veel verstedelijkte en geïndustrialiseerde gebieden voor, zowel langs de hoofdstroom als langs de zijrivier de Sambre.

Zone 3: Van Luik tot de monding

Dit deel van de Maas heeft uiteenlopende kenmerken. De ondergrond in het traject van Luik tot aan Maastricht bestaat voornamelijk uit kalksteen en de hoofdstroom is hier vrij smal met beboste hellingen. Ten noorden van Maastricht is de bedding vooral zandig met grind in de winterbedden. Dit deel wordt de Grensmaas genoemd, waarin de Maas een meanderend karakter heeft en niet bevaarbaar is. De scheepvaart wordt geleid door het parallel aan de Grensmaas aangelegde Julianakanaal. Na Roermond is de Maas wel weer bevaarbaar gemaakt, wat voor een grote beperking van de natuurlijke stroomdynamiek zorgt. Dit gebied heeft een hoge bevolkingsdichtheid met intensieve landbouw en industrie. Het noordwestelijke deel van het Maasstroomgebied is vrij open, omringd door stedelijke havengebieden. Omdat dit gebied ook onder invloed staat van de Rijn, wordt dit de Rijn-Maas delta genoemd (IMC, 2005).

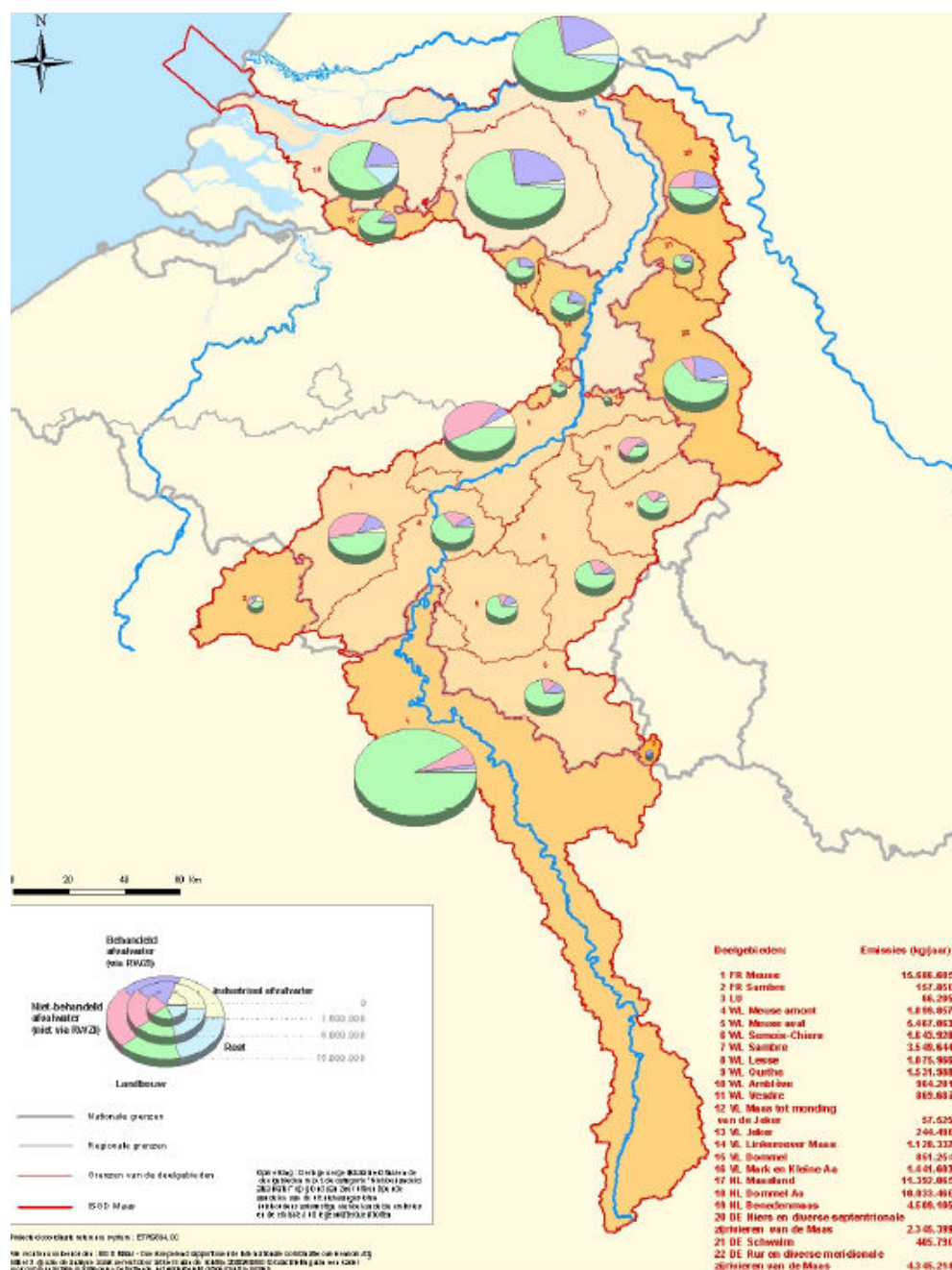


Figuur 3.12: Het stroomgebied van de Maas met aanduiding van de locatie van de Maas in West-Europa (IMC, 2005).

3.3.2 *Bronnen en transportpaden in de Maas*

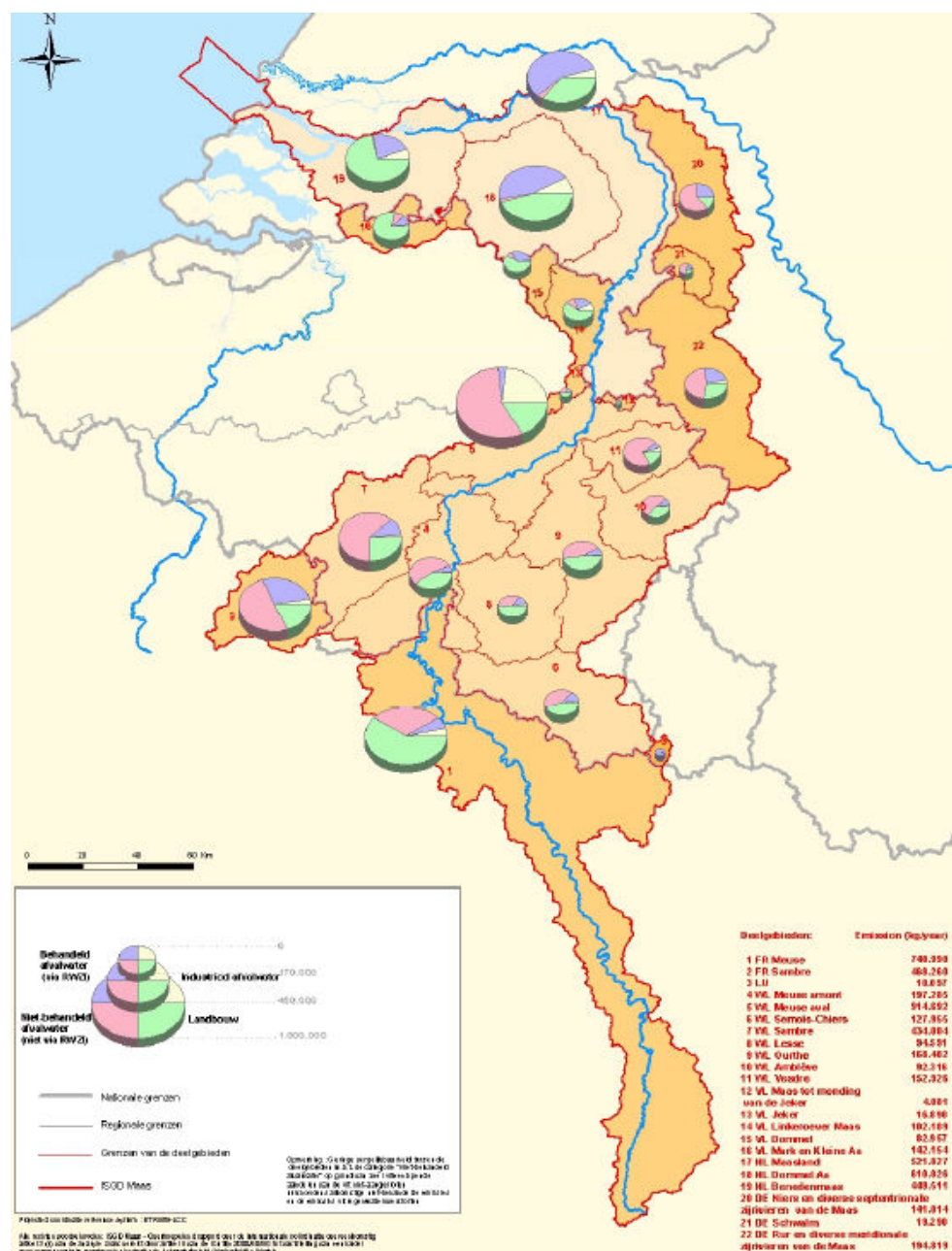
Binnen het stroomgebied van de Maas zijn veel verstedelijkte (aanwezigheid RWZI's) en industriële gebieden terug te vinden. De grootste knooppunten liggen bij Luik, Zuid-Nederland (o.a. Maastricht en Roermond) en langs de zijrivier de Sambre. Landbouw wordt ook veelvuldig bedreven, vooral in het Nederlandse deel van het Maasstroomgebied.

In het overkoepelend rapport van de IMC voor de implementatie van de KRW wordt voor totaal-N en totaal-P een overzicht gegeven van de emissie per primaire bron (industrie, RWZI en landbouw) (IMC, 2005). De emissies worden per deelgebied uitgedrukt als een totaal bijdrage in kg/jaar en zijn verwerkt in figuren 3.13 en 3.14. De figuren kunnen echter een vertekend beeld geven, doordat de grootte van het symbool de absolute grootte van de emissie per deelgebied geeft en deze emissies zijn niet gerelateerd aan de grootte van het deelstroomgebied en het aantal inwoners. Zo behoort de emissie van totaal-N in het deelstroomgebied van Frankrijk tot één van de hoogste emissies, maar dit deelgebied is ook één van de grootste gebieden in het stroomgebied van de Maas. De hoge N- (en P-) concentraties vanaf het Franse deel van de Maas tot aan het monsterpunt in Eijsden (Nederlands-Belgische grens) veroorzaken gedurende de hele zomer een bloei van algen in de gehele zomerperiode. Uit de monitoringgegevens van Rijkswaterstaat blijkt dat er na Eijsden alleen een voorjaarspiek van chlorofyl-A wordt waargenomen. De verklaring hiervoor is momenteel nog niet duidelijk. Mogelijk heeft dit te maken met de samenstelling van de algen (tot aan Eijsden voornamelijk diatomeeën).



Figuur 3.13: Emissie van totaal-N in kg/jaar per deelstroomgebied van de Maas. De emissie is onderverdeeld in vijf categorieën: 1) Behandeld afvalwater (via RWZI) = **paars/blauw**; 2) Niet-behandeld afvalwater (niet via RWZI) = **roze**; 3) Industrieel afvalwater = **geel**; 4) Landbouw = **groen**; 5) rest = **lichtblauw**. De grootte van het symbool geeft de grootte van de emissie aan (IMC, 2005).

Wanneer zou worden gecorrigeerd voor de grootte van het stroomdeelgebied, lijkt de emissie van totaal-N vooral hoog te zijn in het Nederlandse deel van het Maasstroomgebied. De grootste bijdrage aan de totaal-N emissie is afkomstig van landbouw (69% van gehele stroomgebied) en als tweede behandeld afvalwater via RWZI's. Opvallend is de hoge bijdrage van niet behandeld afvalwater aan de emissie van totaal-N in het Waalse stroomgebied van de Maas. Vooral in de omgeving van Luik, waar deze bron bijna de helft van de emissie in beslag neemt. Te verwachten is dat dit beeld zich wijzigt in de komende jaren, naarmate het stedelijk afvalwater van Luik steeds meer door RWZI's gezuiverd zal gaan worden. Daarnaast zijn er enkele deelgebieden waar ook industrieel afvalwater significant bijdraagt aan de emissie van totaal-N. Deze gebieden komen vooral in de omgeving van Luik en Maastricht voor. De emissie van totaal-P (figuur 3.14) is (ook weer rekening houdend met de grootte van het stroomdeelgebied) hoog in de omgeving van Luik, het deelgebied van de Sambre en enkele delen van het Nederlandse Maasstroomgebied. De bijdragen van de verschillende hoofdbronnen zijn voor de emissie van totaal-P beter verdeeld over het hele stroomgebied. De bijdrage van landbouw aan de totale emissie van totaal-P is het hoogst in het Franse en het Nederlandse Maasstroomgebied, terwijl de emissie in het Waalse deel wordt gedomineerd door niet niet-behandeld afvalwater. Naast landbouw draagt ook behandeld afvalwater voor een groot deel bij aan de emissie van totaal-P in het Nederlandse Maasstroomgebied. Emissie vanuit industrieel afvalwater is weer afkomstig vanuit de omgeving van Luik en vanuit het Nederlandse Maasstroomgebied.



Figuur 3.14: Emissie van totaal-P in kg/jaar per deelstroomgebied van de Maas. De emissie is onderverdeeld in vier categorieën: 1) Behandeld afvalwater (via RWZI) = **paars/blauw**; 2) Niet-behandeld afvalwater (niet via RWZI) = **roze**; 3) Industrieel afvalwater = **geel**; 4) Landbouw = **groen**. De grootte van het symbool geeft de grootte van de emissie aan (IMC, 2005).

Voor zware metalen is in het rapport van de IMC (IMC, 2005) ook gekeken naar de bijdragen van de verschillende bronnen in het Maasstroomgebied. Hierbij zijn echter geen emissiegetallen gerelateerd aan de verschillende deelgebieden, omdat deze gegevens niet voor alle deelgebieden bekend zijn. Tabel 3.4 geeft een overzicht van de verdeling van de emissie van zware metalen in het Maasstroomgebied over de verschillende bronnen. De onderverdeling in bronnen wijkt echter af van de onderverdeling die bij totaal-N en totaal-P is gehanteerd. Bij de emissie van metalen is namelijk gekeken naar stedelijk behandeld of niet-behandeld afvalwater (vergelijkbaar wel of niet-behandeld afvalwater, wel of niet via een RWZI). Daarnaast is er geen

aparte indicatie van de input van landbouw, maar binnen de categorie diffuse bronnen zal een groot deel van de emissie afkomstig zijn van landbouw(gronden).

Tabel 3.4: Verdeling van de relatieve emissies van zware metalen over de bronnen industrie, stedelijk behandeld, stedelijk niet-behandeld en diffuus voor het stroomgebied van de Maas. De bron met de belangrijkste bijdrage per metaal is geel gemarkeerd (IMC, 2005).

	Bron:			
Metaal	Industrie	Stedelijk behandeld	Stedelijk niet-behandeld	Diffuus
Cd	20%	14%	35%	31%
Cu	9%	26%	39%	26%
Hg	14%	14%	12%	60%
Ni	6%	34%	14%	46%
Pb	7%	7%	51%	35%
Zn	16%	11%	29%	44%

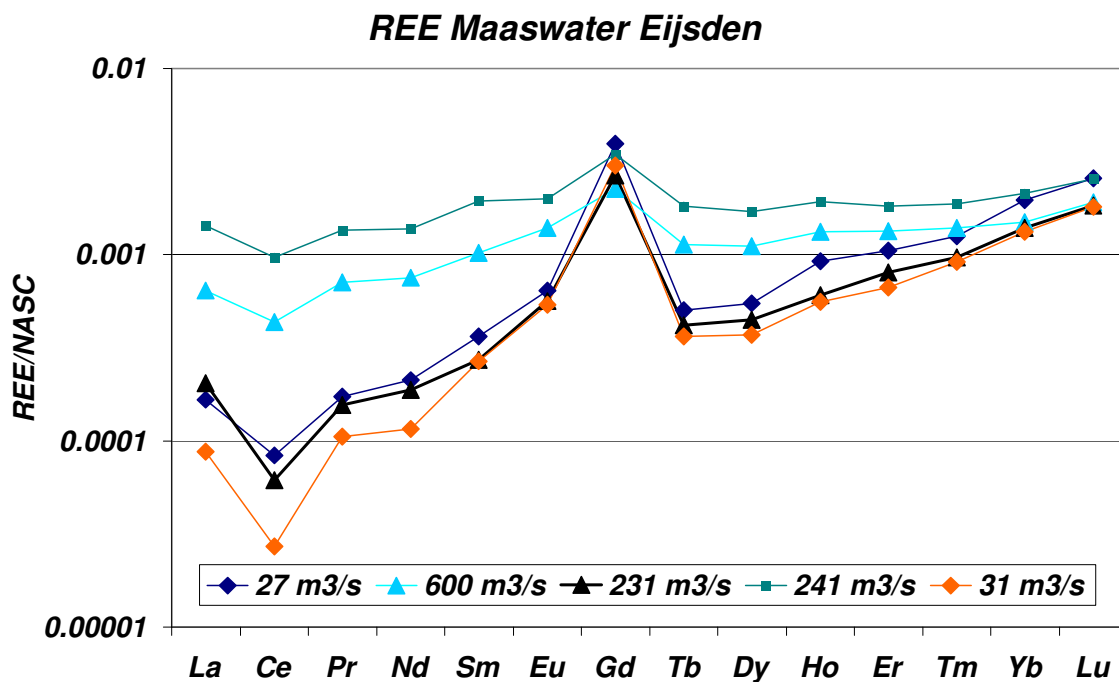
Uit tabel 3.4 komt duidelijk naar voren dat twee bronnen substantieel bijdragen aan de emissie van zware metalen. Voor Cd, Cu en Pb is het grootste deel van de emissie afkomstig van stedelijk niet-behandeld afvalwater, terwijl dit voor Hg, Ni en Zn vooral van diffuse bronnen afkomstig is.

In figuur 3.15 en 3.16 zijn de REE patronen voor Maas water in Eijsden en Keizersveer weergegeven. Deze figuren laten zien dat de Gd anomalie (zie tekstkader) groter is bij lagere debieten. In het Dommel stroomgebied vertonen alleen rivieren waar een RWZI op uit komt, een Gd anomalie.

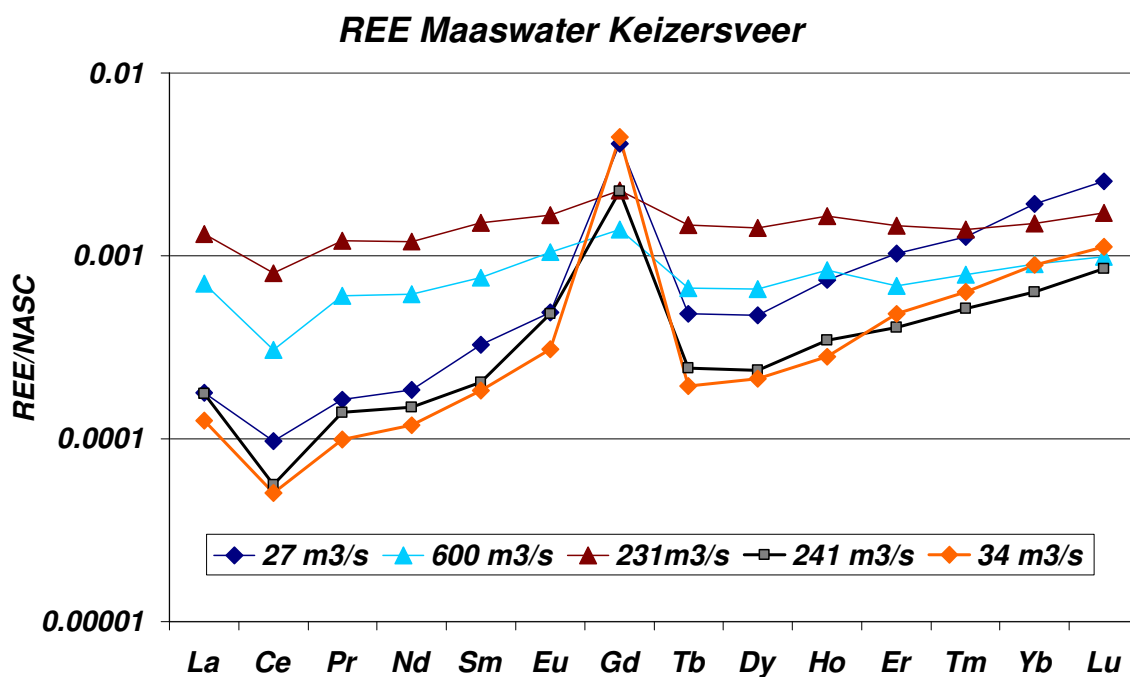
In oppervlaktewater is het afvalwater van RWZI's een bron van gereguleerde en ongereguleerde contaminanten. Tot deze complexe organische stoffen behoren huishoudelijke chemicaliën, farmaceutische stoffen en industriële en medische bijproducten. Afvalwater uit RWZI's laten in West-Europa altijd een positieve gadolinium (Gd) anomalie in hun REE (zeldzame aarden elementen) patronen zien, waarbij de Gd afkomstig is van vloeistoffen die bij het maken van een MRI scan gebruikt worden.

In vergelijking met de organische componenten in het afvalwater van RWZI's zijn de REE gemakkelijk te meten. Een Gd anomalie in oppervlaktewater komt van nature niet voor en dit is daarom een directe indicatie voor de aanwezigheid van afvalwater uit één of meerdere RWZI's.

Door TNO (Geolab Utrecht) is de gevoeligheid voor het meten van REE in zoet oppervlaktewater met behulp van een ICPMS verder geoptimaliseerd, zodat het niet nodig is om de REE voor de meting eerst door middel van een kolomextractie aan te rijken.



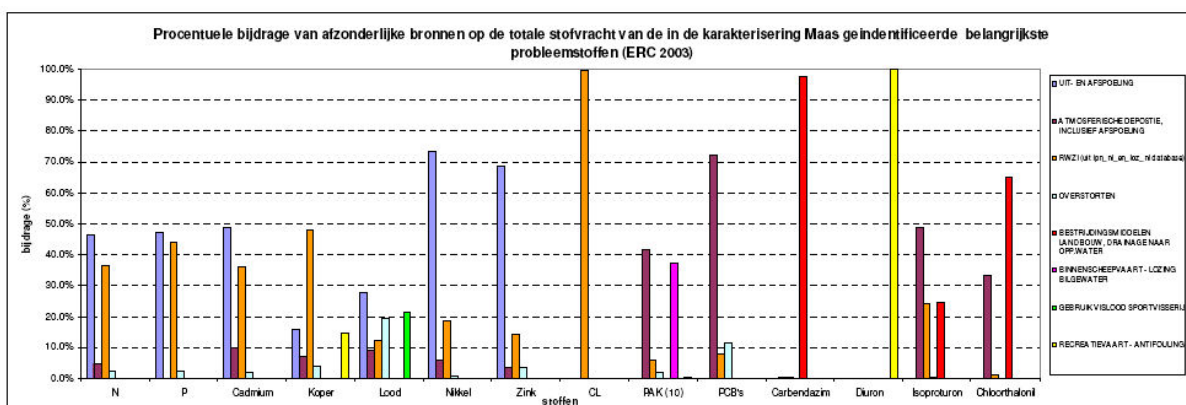
Figuur 3.15: REE patronen Maaswater Eijsden met Gd anomalie



Figuur 3.16: REE patronen Maaswater Keizersveer met Gd anomalie

Voor het Nederlandse deel van het Maasstroomgebied is, naast de rapportage van de IMC, in het kader van de implementatie van de KRW een uitgebreide studie uitgevoerd voor het vaststellen van de herkomst van stoffen in het Nederlandse Maasstroomgebied (Van Vliet *et al.*, 2006a en Van Vliet *et al.*, 2006b). In deze studie is gebruik gemaakt van: 1) gegevens over de landelijke emissie van verschillende stoffen naar de Maas (vanuit de landelijke emissieregistratie database, ERC); 2) inzichten in de diffuse belasting vanuit de bodem naar het oppervlaktewater; 3) vrachtberekeningen voor grensoverschrijdende belasting aan de Maas, 4) bronnen van gewasbeschermingsmiddelen.

Bij het overzicht van de landelijke emissies in het stroomgebied van de Maas zijn in het rapport vooral de stoffen meegenomen die onder de prioritaire lijst vallen (lijst met zeer risicovolle verontreinigingen, opgesteld voor de KRW). Figuur 3.17 geeft een overzicht van de procentuele bijdrage van de afzonderlijke bronnen op de totale vracht van de belangrijkste probleemstoffen in het Nederlandse stroomgebied van de Maas voor het jaar 2003. In dit overzicht zijn geen emissiegegevens van industriële bronnen meegenomen. Verder is de aanduiding van de bronnen in figuur 3.17 afwijkend van de bronnen in figuren 3.13 en 3.14 en tabel 3.4. Mede vanwege het ontbreken van de emissie van de industrie is het moeilijk een vergelijking te maken tussen de bijdragen van het gehele stroomgebied (figuur 3.13 en 3.14 en tabel 3.4) en van het Nederlandse deel van het stroomgebied alleen (figuur 3.17).

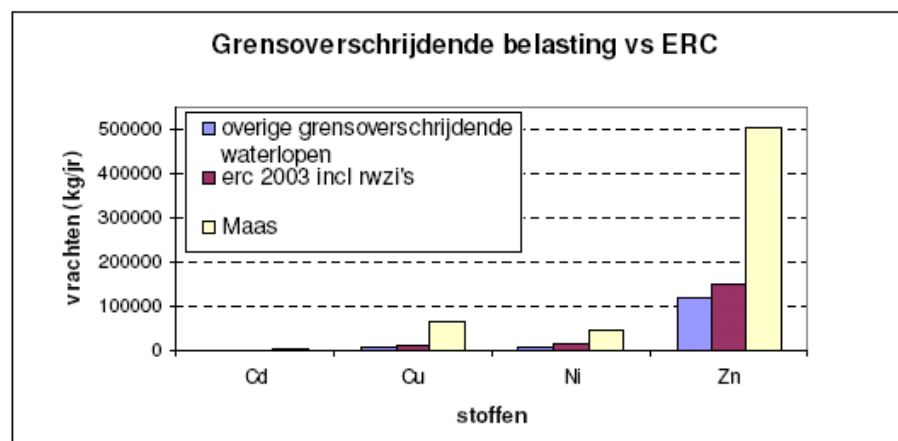


Figuur 3.17: Overzicht van de procentuele bijdrage van afzonderlijke bronnen op de totale stofvracht van belangrijke probleemstoffen in het Nederlandse Maasstroomgebied voor het jaar 2003 (Van Vliet, 2006a).

Opvallend in figuur 3.17 is de grote bijdrage van de diffuse bron uit- en afspoeling (vanuit landbouwgebieden) voor zowel zware metalen als totaal-N en totaal-P. De bijdrage van uit- en afspoeling is bij al deze stoffen het meest dominant aanwezig, behalve bij koper waar RWZI's de grootste bijdrage leveren. Dit resultaat is vergelijkbaar met de hoge bijdrage van stedelijk afvalwater in het hele stroomgebied zoals weergegeven in tabel 3.4. Voor PAK's, PCB's en enkele gewasbeschermingsmiddelen is een groot deel van de belasting afkomstig van atmosferische depositie inclusief afspoeling. PAK's kunnen daarnaast ook nog van emissies veroorzaakt door de binnenscheepvaart afkomstig zijn. Gewasbeschermingsmiddelen hebben een zeer grote input vanuit de landbouw, waar drainage naar het oppervlaktewater voor een grote belasting van het Maaswater zorgt. Diuron is een grote uitzondering op alle andere meegenomen probleemstoffen, want de belasting van diuron is voor 100% toe te schrijven aan de recreatievaart (antifouling). Naast de belangrijke historische belasting van verontreinigde sedimenten in het stroomgebied zelf (vergelijkbaar met de "Altlasten" in de Rijn), kan er ook een grote

bijdrage van historische vervuiling van de landbouwgronden via bodem en grondwater in het oppervlaktewater terechtkomen. Nalevering van historische verontreiniging uit bodem en grondwater kan nog vele decennia duren, doordat uitspoelingsprocessen over het algemeen traag zijn. Dit is afhankelijk van de aard van de stof, de samenstelling van de bodem en de milieucondities.

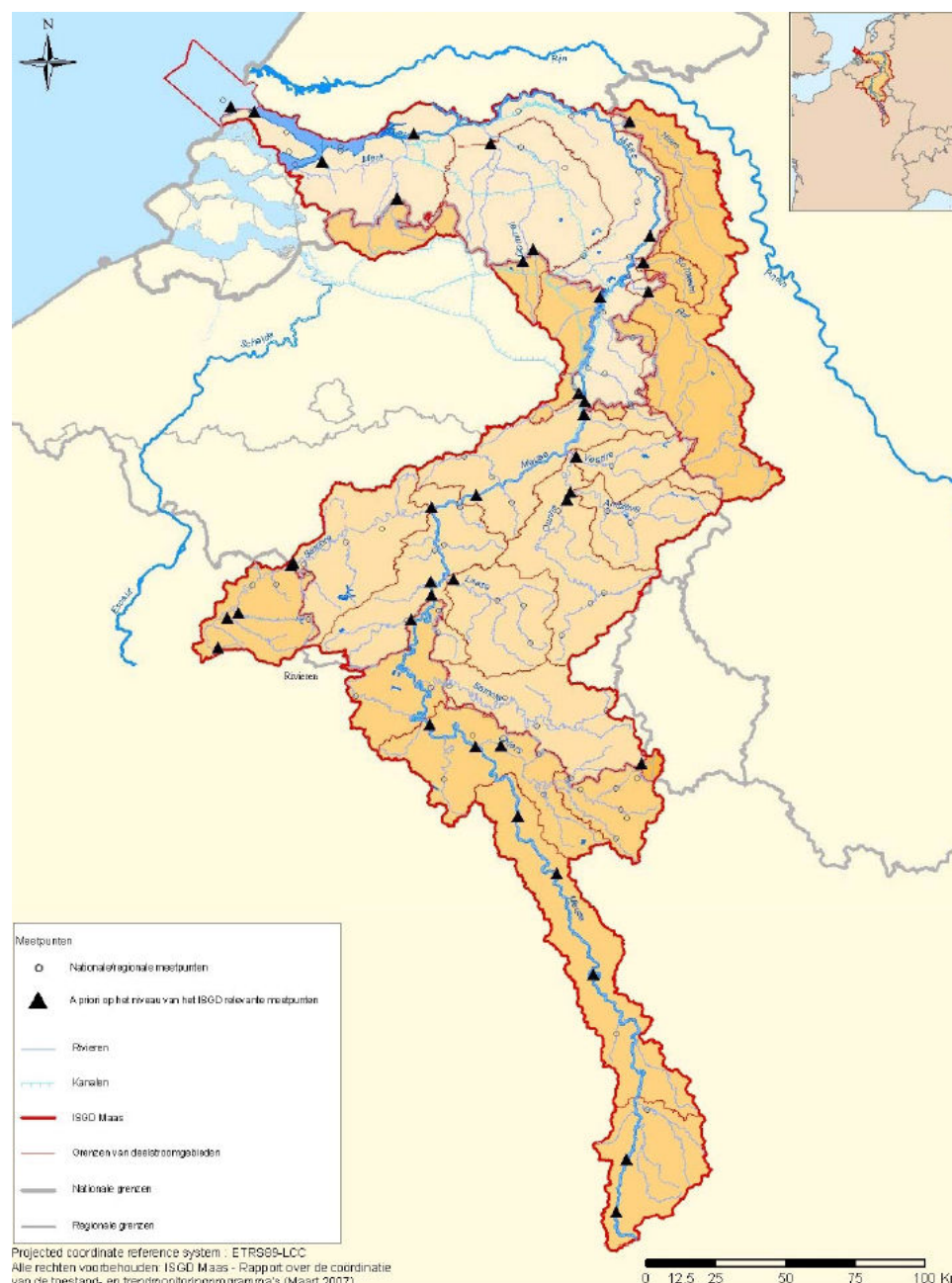
In de periode tussen 1950 en 1980 is de milieubelasting in het Nederlandse Maasstroomgebied enorm toegenomen door toenemende industrialisering en sterke groei van de landbouwgebieden. De belasting is in de laatste jaren afgenomen als gevolg van betere wet- en regelgeving, het gebruik van betere applicatietechnieken voor gewasbeschermingsmiddelen en (kunst)mest, verbeteringen in industriële processen, beschikbaar komen van betere zuiveringstechnieken, etc. De piek aan verontreinigingsvracht vanuit bodem en grondwater via uitspoeling van diverse stoffen is in veel gebieden echter nog niet bereikt. Daardoor zullen deze processen ook in de komende decennia nog een grote bijdrage leveren aan de emissie van stoffen in het Maasstroomgebied (Van Vliet, 2006a).



Figuur 3.18: Vergelijking van de vracht aan zware metalen voor de belasting vanuit de Maas zelf (grens tussen Nederland en België, geel), belasting vanuit verschillende bronnen binnen het Nederlandse stroomgebied van de Maas (roze/paars) en belasting vanuit andere grensoverschrijdende wateren (blauw/paars) (Van Vliet, 2006a). ERC = emissieregistratiedatabase

In het rapport van Van Vliet (2006a) is tevens een vergelijking gemaakt tussen de belasting van stoffen binnen het Nederlandse deel van Maasstroomgebied (figuur 3.17) en de input vanuit het buitenland (grensoverschrijdend). Hierbij is er onderscheid gemaakt tussen de bijdrage van de hoofdstroom (Maas zelf) bij de grens met België en de andere grensoverschrijdende wateren binnen het stroomgebied. Figuur 3.18 geeft een overzicht van de vrachtbijdrage voor bovengenoemde bronnen. Uit deze figuur wordt duidelijk dat de grootste vracht aan metalen in het Nederlandse deel van het Maasstroomgebied afkomstig is uit het stroomopwaartse deel van de Maas zelf. De bijdrage van andere grensoverschrijdende wateren (beken, zijriviertjes), is voor zink nog redelijk groot. Over het algemeen zal de vracht van andere wateren kleiner zijn dan de vracht van de Maas, vooral doordat de afvoer van de Maas veel hoger is dan die van de andere wateren. Anderzijds blijkt uit het rapport van Van Vliet *et al.* (2006b) dat in bepaalde gevallen ook de zijrivieren van de Maas substantieel bijdragen aan de vracht van de Maas. De Dommel heeft enkele jaren een cadmiumvracht gehaald die bijna de helft van de vracht in de Maas zelf bedroeg. Andere wateren zoals de Geul en de Roer kunnen voor bijna 10% aan de zinkvracht bijdragen en de Jeker had in 2002 een diuronvracht die meer dan 10% van de vracht in de Maas besloeg.

Binnen het monitoringsprogramma van de Maas vindt op verschillende locaties in de hoofdstroom en de belangrijkste zijrivieren bemonstering plaats van zowel oppervlaktewater als zwevend stof. Figuur 3.19 geeft de bemonsteringlocaties voor het oppervlaktewater; bemonstering van zwevend stof vindt op minder locaties plaats.



Figuur 3.19: Overzicht van KRW bemonsteringlocaties voor de toestand- en trendmonitoring van de chemische toestand van het oppervlaktewater in het internationale stroomgebied van de Maas (IMC, 2007).

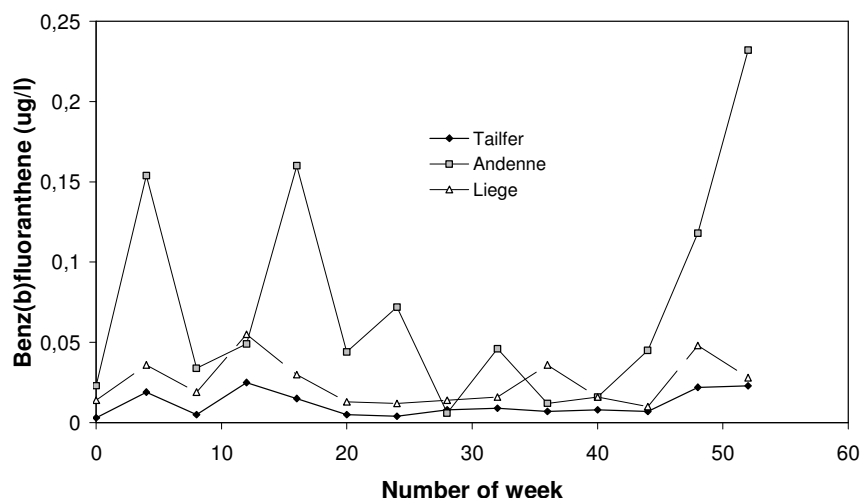
In het Nederlandse deel van de Maas zijn er vier locaties waar zwevend stof regelmatig wordt bemonsterd. Daarbij varieert de frequentie van bemonstering van wekelijks (locatie Eijdsen; grensovergang tussen België en Nederland) tot 8-wekelijks (tussenstations). De variatie van de zwevend stof kwaliteit is in het rapport van Bakker (2006) nader beschouwd vooral voor het gehalte aan zware metalen. Hieruit blijkt dat

het metaalgehalte in het zwevend stof over het algemeen afneemt in stroomafwaartse richting. Dit fenomeen wordt hoofdzakelijk waargenomen in de zomer als de input van algen nog hoog is bij de grens met België en geheel afwezig is bij de laatste locatie nabij de monding van de Maas. Bij de grens is het gehalte aan zware metalen zeer variabel in het zwevend stof en het gehalte wordt lager en stabiel naar de monding toe. De input van bronnen van zware metalen in het Nederlandse deel van de Maas lijkt hiermee een minder grote rol te spelen dan de input vanuit de bovenstroomse delen. Het aangevoerde, verontreinigde sediment kan daarnaast verdund worden door input van schoner sediment uit zijrivieren. Deze verdunning kan met name naar voren komen in de zomer, als de input vanuit de zijrivieren belangrijker is vanwege de relatief lagere afvoer van de Maas. Daarnaast zal in de zomer ook een deel van het verontreinigde sediment in de rivierbedding sedimenteren en hiermee de verontreinigingen diffuus verdelen over het Nederlandse deel van het Maasstroomgebied.

De kwaliteit van het zwevend stof wordt in het Waalse deel van de Maas pas sinds het jaar 2005 bijgehouden. In dit deel zijn er drie locaties waar zwevend stof vier maal per jaar wordt bemonsterd. Uit de resultaten van een rapport voor het Europese project AquaTerra (AquaTerra, 2007) blijkt, dat de zware metaalgehalten in het deelstroomgebied van de Vesdre, de Sambre en benedenstrooms van Luik duidelijk hoger zijn dan in andere monitoringlocaties in Wallonië.

De monitoringgegevens voor het Maasstroomgebied zijn vrij verkrijgbaar op het internet via de website van de IMC. Op de website wordt jaarlijks een rapport uitgebracht waarin de samenstelling van het oppervlaktewater (ongefiltreerd, dus inclusief zwevend stof) op vier-wekelijkse basis wordt weergegeven voor een totaal van ongeveer tien locaties in de Maas. In het rapport van Bakker *et al.* (2007) is onder andere gekeken naar de variatie van zware metalen en organische verontreinigingen tussen de diverse meetpunten in het stroomgebied. Vooral voor organische verontreinigingen, zoals PAK's, is een duidelijke input van de zijrivier de Sambre waar te nemen. Figuur 3.20 geeft de variatie weer van de PAK benz(b)fluorantheen voor het jaar 2001 op drie verschillende locaties in het Waalse deel van de Maas. De locaties (Tailfer, Andenne, Luik) staan in stroomafwaartse volgorde. De gehalten aan benz(b)fluorantheen zijn het hoogst (met sterk variabele piekwaarden) in de locatie Andenne, vlak na de samenloop met de Sambre.

2001



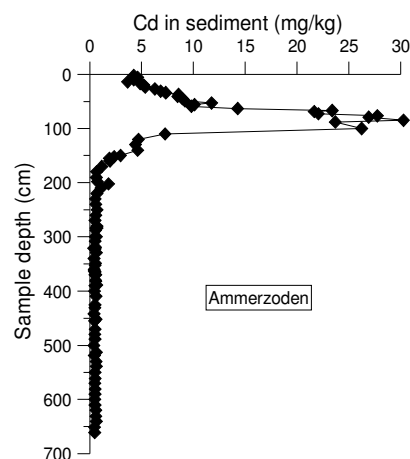
Figuur 3.20: Variatie van het gehalte aan benz(b)fluorantheen voor het jaar 2001 met 4-wekelijkse bemonstering bij de locaties Tailfer (nabij de grens met Frankrijk voor de monding van de Sambre), Andenne (vlak na de monding van de Sambre) en Luik (in stroomafwaartse volgorde) in het Waalse deel van de Maas (Bakker *et al.*, 2007).

Voor andere parameters, behalve PAK's en PCB's uit de Sambre, is uit de monitoringgegevens geen duidelijke input waar te nemen van verontreinigingen in het Maasstroomgebied.

De samenstelling van het hoogwatersediment op de uiterwaarden is in verschillende studies onderzocht. Evenals voor de Rijn heeft Middelkoop (2000) ook voor de uiterwaarden in de Maas een relatie gelegd tussen de afstand tot de rivier en de variatie in samenstelling van het sediment. De uitkomsten zijn vergelijkbaar voor de uiterwaarden van de Maas: ook in de Maas ligt de sterkst verontreinigde toplaag van het sediment verder van de rivier af. In tegenstelling tot de Rijn is in het rapport van CSO (2005a) en ook in een ander rapport van CSO (2005b) wél een duidelijke variatie in de samenstelling van zwevend stof en hoogwatersediment waargenomen voor de Maas. In deze rapporten is hoofdzakelijk gekeken naar de variatie van het metaalgehalte en voor deze groep verontreinigingen is geconstateerd dat de gehalten in het hoogwatersediment afnemen in stroomafwaartse richting voor het Nederlandse deel van de Maas. Dit betekent dat de toplaag van uiterwaardensedimenten in het Nederlandse deel van de Maas schoner wordt.

Ook in de Maas is er gebruik gemaakt van metaalprofielen om de variatie in samenstelling van uiterwaardensediment in de tijd te kunnen bepalen. Het rapport van Passier en Frapporti (2003) beschrijft een studie waarin metaalprofielen zijn gemaakt voor verschillende boorkernen in de uiterwaarden van Borgharen-Itteren. In deze studie is hoofdzakelijk de samenstelling van de bovenste twee meter beschouwd en wordt aangetoond dat er ruimtelijk gezien grote verschillen in metaalprofiel kunnen zijn. Boorkernen die dichtbij de rivierbedding zijn gezet, geven een minder eenduidig profiel weer, waarbij hoge concentraties ook op lagere diepten voorkomen. Op locaties verder van de rivierbedding af is juist wel een duidelijk profiel terug te vinden, waarin vanuit de lage achtergrondconcentraties een duidelijke stijging te zien is als gevolg van de industrialisatie en een duidelijke afname na 1970, toen de WvO (Wet Verontreiniging Oppervlaktewater) van kracht werd, resulterend in vermindering van directe,

ongezuiverde lozingen van afvalwater. In een rapport van Bakker (2006) zijn ook metaalprofielen beschreven van uiterwaardensediment, waarbij naar een locatie (bij Ammerzoden) is gekeken die wordt gedomineerd door sedimentatie. Figuur 3.21 is afkomstig uit dat rapport en laat een duidelijk profiel zien van het cadmiumgehalte. De start van de Industriële Revolutie is op een diepte van ongeveer 200 cm terug te vinden, die gedateerd is op een tijd rond 1850. De maximale waarde op een diepte van ongeveer 100 cm geeft de hoogtijdagen van de industrialisatie weer en is gedateerd op een tijd rond 1950.



Figuur 3.21: Variatie van het cadmiumgehalte met bemonsteringsdiepte in uiterwaardensediment van de Maas. De boorkern is gestoken in Ammerzoden, een locatie dicht bij de monding van de Maas (Bakker, 2006).

Uiterwaardensediment van de Maas laat, evenals bij de Rijn, verhoogde metaalconcentraties zien op een grotere diepte. Opvallend vanuit een vergelijking van het uiterwaardensediment van de Maas (figuur 3.21) met dat van de Rijn (figuur 3.11) is dat de piekwaarden van cadmium een factor 5 hoger zijn in de Maas dan in de Rijn, maar dat de huidige cadmiumwaarden vergelijkbaar zijn (voor beide rivieren rond 3-4 mg/kg).

Zolang deze sterk verontreinigde laag nog begraven blijft liggen onder de iets schonere toplaag, is de kans op heropname in de hoofdstroom klein. Ook nu geldt dat de risico's zullen toenemen bij extreme gebeurtenissen, of als de toplaag verwijderd wordt (bijv. bij herplaatsing (afgraving, baggeren) van het sediment).

3.3.3 Ontbrekende gegevens

Vanuit de rapportage voor de implementatie van de KRW binnen het Maasstroomgebied is de emissie van vooral zware metalen en nutriënten voor een belangrijk deel in kaart gebracht (figuren 3.13 en 3.14 en tabel 3.4). De informatie die hierbij nog ontbreekt, is de aanduiding van hotspots van industrie en RWZI's (of locaties met lozingen van afvalwater, al dan niet voorbehandeld) binnen het stroomgebied. Vanuit de literatuur is bekend, dat er veel verstedelijking en industrialisatie heeft plaatsgevonden langs de Maas, maar voor veel verontreinigingen is nog niet bekend in hoeverre deze gebieden nu significant bijdragen aan de emissie naar de Maas.

Over de kwaliteit van zwevend slib en sediment in het stroomgebied van de Maas is over het algemeen nog weinig bekend. Bemonstering en meting van de kwaliteit van zwevend stof vindt vanaf 2005 regelmatig plaats in het hele stroomgebied, maar hieruit zijn nog geen duidelijke aanduidingen van vervuilde sedimentbronnen naar voren

gekomen. Verder is er nog nauwelijks op grote schaal gekeken naar de kwaliteit van het riviersediment binnen de rivierbedding. Hierdoor is er niet bekend op welke locaties er verhoogde gehalten aan verontreinigingen in het sediment voorkomen en wanneer deze getransporteerd kunnen worden naar benedenstroomse gebieden.

4 Conclusies en aanbevelingen

De verschillende studies die voor het Rijn- en Maasstroomgebied zijn uitgevoerd, bepalen in sterke mate de hoeveelheid en vooral het soort informatie over bronnen en transportpaden die per stroomgebied weergegeven kunnen worden. De rapporten van de internationale commissies voor de Rijn en de Maas zijn een belangrijke informatiebron om een algemeen beeld te krijgen van bronnen en bijbehorende emissies van verontreinigingen voor het gehele stroomgebied. De focus van deze rapporten ligt op de emissie van nutriënten in de vorm van totaal-N en totaal-P en in mindere mate ook op zware metalen. Emissiegegevens van organische verontreinigingen zijn in deze rapporten niet opgenomen.

Bronnen voor verontreinigd slib en sediment zijn in minder mate onderzocht, vooral in het stroomgebied van de Maas. Het rapport van Heise & Förstner (2004) is voor de beoordeling van verontreinigde sedimenten in het Duitse deel van de Rijn zeer waardevol gebleken, waarbij overzichtelijk is gemaakt op welke locaties verontreinigd sediment aanwezig is. De risico's van de verontreinigde sedimenten zijn hierin echter nog niet gerelateerd aan het daadwerkelijke transport en verspreiding naar de benedenstroomse gebieden.

De monitoringgegevens van de Rijn en de Maas zijn ook belangrijke informatiebronnen om de variatie van de kwaliteit in oppervlaktewater en zwevend stof op een temporele en ruimtelijke schaal te beschouwen voor het hele stroomgebied. Voor het Nederlandse deel van de Rijn en de Maas is hier al redelijk uitgebreid naar gekeken. Uit deze gegevens kan geconcludeerd worden dat de Rijn en Maas zeer verschillend zijn wat betreft input van verontreinigingen. In de Rijn is er weinig variatie in de kwaliteit van het sediment en zwevend slib door het Nederlandse deel van het stroomgebied, terwijl er in de Maas een duidelijke afname van gehalten aan verontreinigingen is waar te nemen richting de monding.

Uiterwaardensediment kan ook als belangrijke bron van verontreinigd sediment in de hoofdstroom beschouwd worden. Hierbij is het de vraag wanneer dit sediment vrijkomt en met de hoofdstroom meegenomen zal worden. Diepteprofielen van metaalconcentraties in de uiterwaarden laten in beide rivieren zien dat de huidige metaalgehalten een stuk lager zijn dan zo'n 50 jaar geleden. Dit betekent dat onder de recente, schonere toplaag een sterk verontreinigde laag aan sediment terug te vinden is, waarmee na baggeren/uitgraven van de uiterwaarden zeker rekening gehouden moet worden.

Met behulp van de Gd-anomalie kunnen de emissies van RWZI's gevolgd worden; dit kan gebruikt worden om farmaceutische en andere in de emissie van RWZI's aanwezige producten te kwantificeren.

Nog enkele aandachtspunten wat betreft bronnen per stroomgebied:

Rijn

- In de Rijn zijn twee grote verstedelijkte en geïndustrialiseerde gebieden terug te vinden met een grote clustering aan industrieën en RWZI's. Dit is het Ruhrgebied en het havengebied van Rotterdam.

- De emissies van nutriënten en zware metalen in het Rijnstroomgebied zijn hoofdzakelijk afkomstig van diffuse bronnen. Totaal-N is hoofdzakelijk afkomstig van drainage en grondwater (landbouw) en in mindere mate ook van RWZI's. Emissie van totaal-P is grotendeels afkomstig van RWZI's.
- Sediment in het Duitse deel van de Rijn is op verschillende locaties verontreinigd met hoge gehalten aan zware metalen en organische verontreinigingen. Een duidelijke puntbron van HCB is in de omgeving van Rheinfelden te vinden. Zijrivieren leveren ook een belangrijke bijdrage.
- De kwaliteit van het zwevend slib uit bovenstroomse gebieden is voor het Nederlandse deel van de Rijn belangrijker dan de aanvoer van verontreinigingen in Nederland zelf.

Maas

- De emissie van nutriënten en zware metalen in het Maasstroomgebied wordt hoofdzakelijk bepaald door input vanuit diffuse bronnen en niet-behandeld afvalwater. Het aandeel van niet-behandeld afvalwater is grotendeels afkomstig vanuit het Waalse deel van de Maas. De emissie van totaal-N en totaal-P wordt ook nog beïnvloed door input vanuit de landbouw.
- In het Nederlandse deel van de Maas wordt de emissie van nutriënten en zware metalen vooral bepaald door uit- en afspoeling van landbouwgronden en door RWZI's. Emissie van veel organische verontreinigingen is afkomstig van atmosferische depositie (verbranding).
- De emissie van N wordt in het Maasstroomgebied bepaald door emissie uit de landbouw, behandeld afval water uit de RWZI's en onbehandeld afvalwater uit het Waalse gedeelte van de Maas. De bijdrage van de landbouw aan de totale emissie van totaal-P is het hoogst in de Franse en Nederlandse gedeeltes van de Maas, in het Waalse gedeelte wordt deze gedomineerd door onbehandeld afvalwater.
- De zware metalen Cu, Cd en Pb zijn afkomstig van stedelijk niet behandeld afvalwater en voor Hg, Ni en Zn zijn diffuse bronnen dominant. Incidenteel spelen puntbronnen een grote rol in de emissie van de zware metalen.
- De monitoringdata in Eijsden en Keizersveer laten zien dat puntbronnen de metaalconcentraties in het zwevende stof in het hele Nederlandse deel van de Maas sterk kunnen beïnvloeden. Om de negatieve effecten van deze puntbronnen af te laten nemen moeten monitoringdata snel na bemonstering beschikbaar zijn, zodat bij langdurige contaminatie door puntbronnen ingegrepen kan worden.
- Een sterke bijdrage van PAK's en PCB's in het Maasstroomgebied is afkomstig van de zijrivier de Sambre.
- De verontreinigingsgraad van zwevend stof en hoogwatersediment neemt af in het Nederlandse deel van de Maas.

Voor het verkrijgen van een compleet beeld van belangrijke bronnen en transportpaden in het stroomgebied van de Maas en de Rijn is het nodig om de eerder gemelde hiaten in te vullen. In de Rijn zal de focus moeten liggen op de emissie van de verschillende soorten verontreinigingen per deelstroomgebied of per producent om te achterhalen vanuit welke gebieden nog veel input geleverd wordt. De kwaliteit van het Rijnsediment in het Nederlandse deel van de rivier en het Maassediment in het hele stroomgebied zal daarbij ook beschouwd moeten worden, vergelijkbaar met de studie van Heise & Förstner (2004). Voor beide rivieren geldt dat er ook meer gedetailleerd

moet worden gekeken naar de emissie van organische verontreinigingen, doordat deze nog niet meegenomen is in de rapporten van de internationale commissies.

Naast het in kaart brengen van de locaties met sterk verontreinigd sediment en de locaties met belangrijke input van verontreinigingen, is het ook belangrijk om te kijken naar de daadwerkelijke bijdrage van deze verontreinigingen. Vragen die hierin meegenomen moeten worden:

- Wanneer wordt het verontreinigd sediment meegenomen (zowel in rivierbedding als uiterwaarden)?
- Op welke manier komt de verontreiniging in de rivier terecht?
- Hoe verhoudt de vracht van deze verontreinigingsbron zich tot de vracht van de bovenstroomse aanvoer en hoe mengen de verschillende bronnen zich?
- Waarom treedt algenbloei in de Maas bovenstrooms van Eijsden op gedurende de gehele zomerperiode en benedenstrooms van Eijsden alleen tijdens een korte periode in het voorjaar?

Beantwoording van bovenstaande vragen kan bijdragen aan de risicoanalyse van verontreinigd slib en sediment in de stroomgebieden van de Maas en de Rijn.

5 Verklarende woordenlijst

CTT	chemische toxiciteitstoets
ERC	emissieregistratiedatabase
HCB	hexachloorbenzeen
ICBR	Internationale Commissie voor de Bescherming van de Rijn
ICPMS	inductively coupled plasm mass spectrometry
IMC	Internationale Maascommissie
KRW	Kaderrichtlijn Water, zie EU (2000)
PAK	polycyclische aromatische koolwaterstoffen
PCB	polychloorbifenylen
PVC	polyvinylchloride
REE	rare earth elements (zeldzame aard elementen)
RWZI	rioolwaterzuiveringsinstallatie
SPM	suspended particulate matter: in dit rapport worden de begrippen ‘zwevend slib’ en ‘zwevend stof’ als synoniem gebruikt; analysemonsters van dit materiaal worden verzameld met een ‘overflow centrifuge’, waarmee ongeveer 400 g nat materiaal wordt verzameld met een flow snelheid van 1 m ³ /h en een efficiëntie voor vangst van deeltjes > 0.45 µm van ongeveer 90 % (getest met filters)

6 Referenties

AquaTerra (2007) *Report of meeting on measurement of suspended solids in the Meuse*, AquaTerra Integrated Project FP6, Deliverable R3.23.

Bakker, I.J.I. (2006) *The composition of suspended particulate matter during floodings of the river Meuse*. Master thesis Rijksuniversiteit Groningen en TNO Bouw en Ondergrond, Utrecht.

Bakker, I.J.I., Joziase, J., Klaver, G.T. (2008) *Variatie van de kwaliteit van zwevend stof en oppervlaktewater in het stroomgebied van de Maas*. TNO Bouw en Ondergrond, in prep.

CSO (2005a) *HVN en saneringsdoelstelling Maas en Rijntakken, deelrapport data-analyse*, CSO, CSO projectcode 05.W0210.00.

CSO (2005b) *Bodemzoneringskaart bedijkte Maas*. CSO, rapportnr. 99.419.

EU (2000) *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy (Water Framework Directive)*. Official Journal of the EC, L327

Heise and Förstner (2004) *Inventory of historical contaminated sediment in Rhine Basin and its tributaries*. Final report. Technical University Hamburg, Germany

ICBR (2003) *Bestandsaufnahme der Emissionen prioritärer Stoffe 2000*. Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn, bericht Nr. 134.

ICBR (2005) *Internationaal stroomgebiedsdistrict Rijn - Kenmerken, beoordeling van de milieueffecten van menselijke activiteiten en economische analyse van het watergebruik*. Rapportage aan de Europese Commissie inzake de resultaten van de inventarisatie conform de Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid.

IMC (2005) *Internationale stroomgebiedsdistrict Maas – Analyse, overkoepelend rapport*. Internationale Maas Commissie.

IMC (2007) *Internationale stroomgebiedsdistrict Maas – Rapport over de coördinatie van de toestand- en trendmonitoringprogramma's in het internationale stroomgebiedsdistrict Maas*. Internationale Maas Commissie.

Middelkoop, H. (2000) *Heavy-metal pollution of the river Rhine and Meuse floodplains in the Netherlands*. Netherlands Journal of Geosciences 79 (4), 411-428.

Passier, H.F., Frapporti, G. (2003) *Gegevensevaluatie sedimentonderzoek uiterwaard IJsseltoren*. Royal Haskoning, rapportnr. 9M4243/R00002/HfP/Rott1.

Schröder, T.J. (2005) *Solid-solution partitioning of heavy metals in floodplain soils of the rivers Rhine and Meuse*. Proefschrift Wageningen Universiteit, oktober 2005

Van Vliet, M.E., Passier, H.F., Nieuwenhuis, R.H., Rijnaarts, H.H.M. (2006a) *Herkomst stoffen in het Maasstroomgebied – managementsamenvatting*. TNO Bouw en Ondergrond, rapportnr. 2006-U-0096B.

Van Vliet, M.E., Passier, H.F., van der Grift, B., Brils, J., Joziassse, J., Schipper, P., Clement, P., van Lanen, P. (2006b) *Herkomst stoffen in het Maasstroomgebied – basisrapport*. TNO Bouw en Ondergrond, rapportnr. 2006-U-R0095B.

Vink, J.P.M. (1997) *Pesticide biotransformation and fate in heterogeneous environments*. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, september 1997

Vink, J., Klaver, G., Joziassse, J. (2007) *Scenario analyses Dommel – Impact of sedimentation in the Dommel flood plain on heavy metal availability and bioaccumulation in flora and fauna*. RWS RIZA rapport 2007.014