



ALTERRA

WAGENINGEN UR

Kennisbehoefte en kennisbeschikbaarheid over de rol van uitspoeling van zware metalen uit de bodem in het landelijk gebied

L.T.C. Bonten
P.F.A.M. Römkens

Alterra-rapport 1701, ISSN 1566-7197



Kennisbehoefte en kennisbeschikbaarheid over de rol van uitspoeling van zware metalen uit de bodem in het landelijk gebied

**Kennisbehoefte en kennisbeschikbaarheid over de rol van
uitspoeling van zware metalen uit de bodem in het landelijk
gebied**

**L.T.C. Bonten
P.F.A.M. Römken**

Alterra-rapport 1701

Alterra, Wageningen, 2008

REFERAAT

Bonten L.T.C. & P.F.A.M. Römken, 2008. *Kennisbehoefte en kennisbeschikbaarheid over de rol van uitspoeling van zware metalen uit de bodem in het landelijk gebied*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1701. 40 blz.; 8 fig.; 3 tab.; 23 ref.

Dit rapport geeft een overzicht van de beschikbare kennis over zware metaalemissies naar het oppervlaktewater en geeft een inschatting van de bijdrage van landbouw aan deze emissies. De laatste jaren is veel vooruitgang geboekt betreffende kennis van zware metaalemissies. De belangrijkste huidige kennisleemtes zijn de invloed van redoxprocessen, de bijdrage van oppervlakkige afspoeling, de rol van waterbodems en het transport van DOC in de bodem. De directe belasting van het oppervlaktewater door de landbouw is gering. Wel zorgt de landbouwsector voor hoge zware metaalemissies naar de bodem. Uit modelberekeningen is gebleken dat uitspoeling van zware metalen uit deze bodems een belangrijke bijdrage kan leveren aan oppervlaktewateremissies. Uitspoeling zal in de toekomst toenemen doordat de huidige bodembelasting veel hoger is dan de uitspoeling.

Trefwoorden: emissies, landbouw, oppervlaktewater, uitspoeling, zware metalen.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice

© 2008 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Doelstelling	10
1.3 Leeswijzer	10
2 Definities en systeembeschrijving	11
2.1 Definities	11
2.2 Systeembeschrijving	12
3 Beleidskader	15
3.1 Beleidsvelden	15
3.2 Kennisvragen beleid	17
4 Kennis en kennisleemtes	19
4.1 Probleemdefinitie	19
4.2 Bronnen van zware metaalemissie naar het oppervlaktewater	22
4.3 Overzicht eerdere en lopende onderzoeken	23
4.4 Kennislacunes en wetenschappelijke vragen	29
5 Bijdrage van landbouw	31
5.1 Bijdrage uitspoeling uit het landelijk gebied aan oppervlaktewaterbelasting	31
5.2 Bijdrage landbouw aan huidige bodembelasting	33
5.3 Verhouding bodembelasting en uitspoeling naar het oppervlaktewater	34
Literatuur	37

Samenvatting

De doelstelling van dit rapport is drieledig:

- een overzicht geven van de beschikbare kennis en de belangrijkste kennisleemtes betreffende emissies van zware metalen naar het oppervlaktewater;
- aangeven wat de rol is van de belasting van het oppervlaktewater door zware metalen in de diverse relevante beleidsvelden;
- inschatten van de bijdrage van de landbouwsector is aan de belasting van het grond- en oppervlaktewater met zware metalen.

Uit de kennisinventarisatie volgt dat op verschillende, vooral technische, deelaspecten veel vooruitgang is geboekt. Verder is uit modelberekeningen, waarin veel van deze deelaspecten geïntegreerd zijn, gebleken dat uitspoeling van zware metalen uit landbouwbodems een belangrijke bijdrage kan leveren aan de totale belasting van het oppervlaktewater. Er zijn echter nog een aantal belangrijke kennisleemtes die ervoor zorgen dat ten eerste het beeld van uitspoeling niet volledig is en dat verder de doorvertaling van huidige kennis naar beleidsconsequenties lastig is. De belangrijkste wetenschappelijke kennisleemtes zijn de invloed van redox-processen in vooral veen- en kleigronden, de bijdrage van oppervlakkige afspoeling, de rol van waterbodems en het transport van DOC in de bodem.

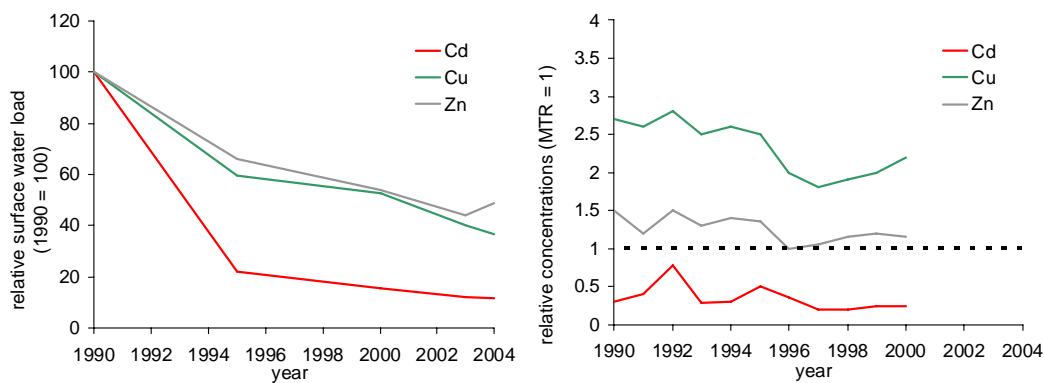
Voor het beleid geldt verder dat er behoefte is aan inzicht in de bijdrage van de verschillende antropogene en natuurlijke bronnen aan de emissies naar het oppervlaktewater, onderbouwing van de huidige modelberekeningen van uitspoeling om te zorgen voor draagvlak voor beleid, en inzicht te hebben in effectiviteit van mogelijke maatregelen en effecten van aanpalend beleid. Het overzicht geeft verder aan dat een groot aantal beleidsvelden, waaronder bodembeleid, mestbeleid, veevoederbeleid en klimaatbeleid, van invloed zijn op de uitspoeling van zware metalen. De afstemming tussen deze beleidsvelden ontbreekt echter nagenoeg.

De bijdrage van landbouw aan de emissie van zware metalen naar grond- en oppervlaktewater is niet eenduidig vast te stellen. De directe belasting door de landbouw is, mogelijk met uitzondering van oppervlakkige afspoeling, gering. Wel zorgt de landbouwsector voor emissies van zware metalen naar de bodem, die op korte of lange termijn zullen uitspoelen naar het grond- en oppervlaktewater. Van de huidige oppervlaktewateremissie is tussen 2% (lood) en 60% (nikkel) afkomstig van uitspoeling uit het landelijk gebied. Van de huidige bodembelasting in het landelijk gebied wordt tussen 9% (lood) en 90% (koper) veroorzaakt door landbouw. Tenslotte geldt dat voor alle zware metalen de huidige bodembelastingen veel hoger zijn dan de huidige uitspoeling waardoor de uitspoeling in toekomst zal toenemen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In grote delen van Nederland overschrijden de concentraties van zware metalen in het oppervlaktewater de geldende normen (=MTR) (VROM, 2004). Door waterschappen en provincies is getracht deze concentraties te verlagen door de emissies van puntbronnen (o.a. lozingen, overstorten van rioleringen, afvalwaterzuiveringsinstallaties) te verminderen. Echter, deze vermindering heeft slechts geleid tot een geringe daling van de concentraties in het oppervlaktewater, zoals onderstaande figuur laat zien.



Figuur 1.1 Emissies van puntbronnen naar het oppervlaktewater (links) en gemiddelde concentraties in het oppervlaktewater (rechts) van de zware metalen cadmium (Cd), koper (Cu) en zink (Zn).

Hierop is vooral vanuit waterschappen aangegeven dat de waargenomen normoverschrijdingen mogelijk veroorzaakt worden door uitspoeling vanuit (landbouw)bodems. Modelberekeningen door Alterra (Römkens et al., 2003; Bonten et al., 2004, 2006) ondersteunen deze hypothese.

De problematiek van zware metalen lijkt hiermee op de fosfaatproblematiek waar ook een eerdere sanering van puntbronnen niet tot gewenste daling van concentraties in het oppervlaktewater leidde en de bodem een belangrijke bron van emissie bleek te zijn. Vergelijkbaar met fosfaat geldt dat ook voor veel zware metalen de landbouw, via bemesting, een belangrijke bron van de belasting van de bodem is. Behalve landbouw zijn zware metalen in de bodem ook afkomstig van andere menselijke bronnen (industriële atmosferische deposities, verkeer), maar ook van van nature in de bodem aanwezige zware metalen.

Tot dusver is er vooral vanuit het waterbeleid (mn. waterschappen) als de directe probleemhebbers aandacht geweest voor de problematiek van zware metalen in het oppervlaktewater. Modelberekeningen geven echter aan dat de bijdrage via uitspoeling uit landbouwbodems aan de belasting van het oppervlaktewater

belangrijk is. De mate van uitspoeling is direct gekoppeld aan de historische en huidige belasting van de bodem die in hoge mate veroorzaakt wordt door landbouw.

Vanuit het ministerie van LNV, binnen het BO-cluster Mineralen en Milieukwaliteit, is daarom gevraagd een overzicht te geven van de stand van zaken van onderzoek en kennis over zware metaalbelasting van het oppervlaktewater en meer specifiek aan te geven wat de bijdrage van landbouw aan deze belasting is.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van deze notitie is drieledig:

- aangeven wat de rol is van de belasting van het oppervlaktewater door zware metalen in de diverse relevante beleidsvelden. Doordat de zware metalen in de bodem voor een belangrijk deel afkomstig zijn uit mest, vormt dit een direct raakvlak tussen meerdere beleidsvelden (o.a. waterbeleid, bodembeleid, mestbeleid, veevoederbeleid). We geven hier een overzicht van deze beleidsvelden, evenals de wijze waarop deze beleidsvelden bedoeld of onbedoeld emissies van zware metalen kunnen beïnvloeden en wat de belangrijkste vragen zijn die beantwoord moeten worden om beleid met betrekking tot zware metaalemissies te ontwikkelen;
- in kaart brengen van beschikbare kennis en kennisleemtes betreffende emissies van zware metalen vanuit bodems in het landelijk gebied naar het oppervlaktewater (en grondwater);
- inschatten van de bijdrage van de landbouwsector aan de belasting van het grond- en oppervlaktewater met zware metalen.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 staat een kader met daarin de belangrijkste processen, compartimenten en begrippen in relatie tot oppervlaktewateremissies van zware metalen. De beleidsvelden die van invloed zijn op de belasting van het oppervlaktewater door zware metalen staan in hoofdstuk 3. Daarbij geven we een overzicht van deze beleidsvelden, de wijze waarop deze beleidsvelden bedoeld of onbedoeld emissies van zware metalen kunnen beïnvloeden en wat de belangrijkste vragen zijn die beantwoord moeten worden om beleid met betrekking tot zware metaalemissies te ontwikkelen. Hoofdstuk 4 bevat een overzicht van de huidige kennis, lopende onderzoeken en kennisleemtes over emissies van zware metalen. Daarnaast gaan we in op de vraag welke metalen mogelijk een probleemstof zijn en wat de belangrijkste bronnen van oppervlaktewateremissies van zware metalen zijn. Tenslotte, in hoofdstuk 5 staat een overzicht van de bijdrage van de landbouwsector aan de huidige en toekomstige belasting van de bodem en het oppervlaktewater.

2 Definities en systeembeschrijving

In dit hoofdstuk staan de definities van enkele belangrijke termen. Verder bevat dit hoofdstuk een systeembeschrijving met de relaties tussen de verschillende compartimenten en processen.

2.1 Definities

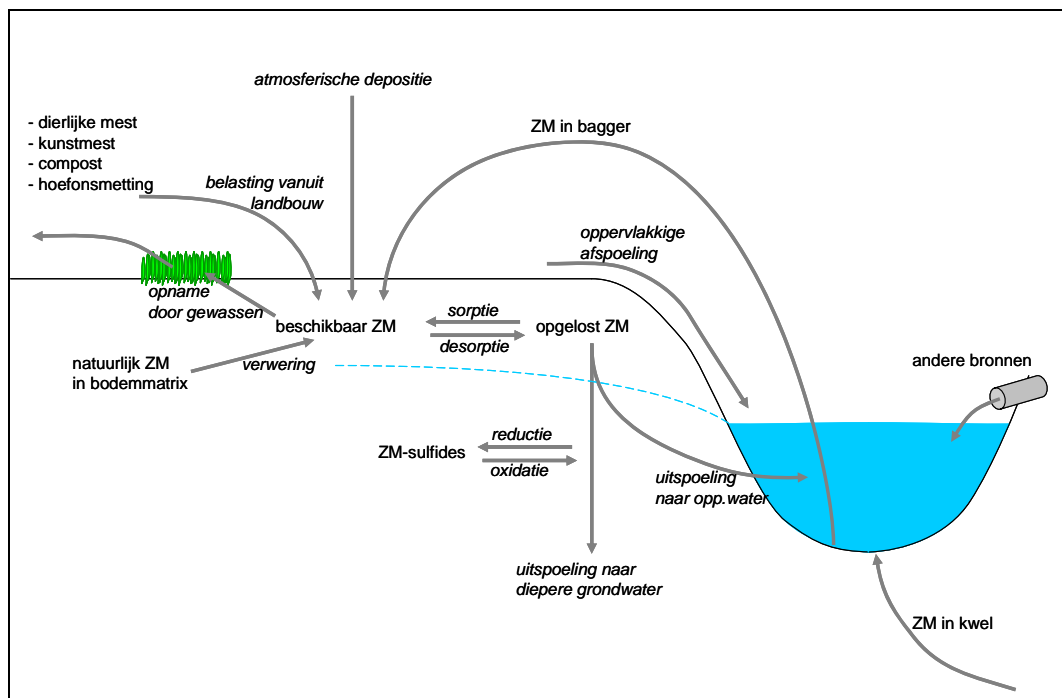
- zware metalen Theoretisch slaat de term zware metalen op metalen met een hoog atoomgewicht. Criteria die worden gebruikt variëren van een dichtheid tussen 3.5 en 7 gr cm⁻³. Deze definitie heeft echter geen enkele procesmatige of fysiologische betekenis. In de praktijk wordt de term zware metalen vooral gebruikt voor toxische metalen en worden metalen als zilver, goud en ook zware radioactieve elementen als uranium hier niet mee bedoeld (deze laatste kunnen overigens wel zeer toxisch zijn). Relatief lichte metalen als chroom, koper, nikkel en zink en het metalloïde arseen worden in de praktijk vanwege hun toxiciteit weer wel tot de zware metalen gerekend ofschoon zowel koper als zink daarnaast ook essentiële voedingsstoffen zijn voor mens, plant en dier. De belangrijkste zware metalen met betrekking tot de grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit zijn chroom (Cr), nikkel (Ni), koper (Cu), zink (Zn), arseen (As), cadmium (Cd), tin (Sn), barium (Ba), kwik (Hg) en lood (Pb);
- beschikbare hoeveelheid Met de term beschikbare hoeveelheid worden de metalen in de bodem bedoeld die beschikbaar zijn voor uitspoeling en/of opname door planten of bodemorganismen. Beschikbaarheid is geen eenduidig begrip, omdat de beschikbare hoeveelheid voor uitspoeling anders is dan die voor plantopname. Daarom wordt er meestal een operationele definitie gehanteerd, gerelateerd aan een meet- of extractiemethode. Onderscheid wordt hierbij meestal gemaakt tussen direct beschikbaar, zoals gemeten met peilbuis, keramische cup of CaCl₂-extractie en potentieel beschikbaar zoals gemeten met een extractie met zwak zuur (bv. 0,43 M HNO₃) of chelator (bv. EDTA);
- totale hoeveelheid Met de term totale hoeveelheid wordt de totale hoeveelheid metalen in de bodem aangeduid. Veel bodemmineralen bevatten van nature ook zware metalen. Deze metalen zijn voor een deel niet beschikbaar voor uitspoeling of opname omdat ze fysiek ingesloten zitten in bodemmineralen. Dit niet-beschikbare deel plus het beschikbare deel vormt daarmee de totale hoeveelheid. Methoden om de totale hoeveelheid te meten zijn XRF of een extractie met HF. In de praktijk (onder andere volgens Wet Bodembescherming) wordt vaak een extractie met koningswater ('Aqua Regia' of 'AR') gebruikt. Deze is echter minder krachtig dan XRF of HF en levert daarom een lager gehalte op, wat we aanduiden met de term "pseudo-totaal". Voor metalen als cadmium is dit verschil echter klein (< 5%), maar voor elementen als chroom en nikkel kan het verschil tussen totaal en pseudo totaal aanzienlijk zijn (> 20%);
- sorptie Met sorptie wordt de binding van stoffen aan zogenaamde 'reactieve' bodembestanddelen bedoeld. De belangrijkste bodembestanddelen zijn:

organische stof, klei en ijzer- en aluminium(hydr)oxiden. De verdeling van metalen in oplossing en gesorbeerde metalen wordt aangeduid met de term sorptie-evenwicht.

- retentie Een deel van de zware metalen die uit- of afspoelen naar het oppervlaktewater komt uiteindelijk niet in de meetbare afvoer terecht. Dit verschil tussen belasting en afvoer wordt aangeduid met de term retentie. Voor zware metalen zal sedimentatie en binding aan de waterbodem de belangrijkste oorzaak van retentie zijn. Het optreden van retentie betekent echter niet dat de zware metalen tot in het oneindige in het oppervlaktewatersystemen achterblijven. In veel gebieden wordt de waterbodem gebaggerd, waarbij de hieraan gesorbeerde zware metalen uit het oppervlaktewatersysteem verdwijnen. Daarnaast kan in snelstromende systemen transport van het sediment optreden waarbij de zware metalen uit het systeem worden verwijderd. Bij het bepalen van de afvoer van zware metalen wordt dit sedimenttransport echter meestal niet meegenomen.

2.2 Systeembeschrijving

Om iets te kunnen zeggen over de beschikbare en noodzakelijke kennis over uitspoeling van zware metalen is het noodzakelijk eerst een beschrijving te geven van de verschillende processen die een rol spelen. In onderstaande figuur staan daarom de relevante bronnen en processen en hun onderlinge relaties.



Figuur 2.1 Bronnen en processen van uitspoeling van zware metalen naar het oppervlaktewater

Toelichting figuur

Antropogene bijdrage

Zware metalen in de bodem zijn deels van nature in de bodem aanwezig, maar kunnen ook afkomstig zijn van menselijke bronnen. De belangrijkste menselijke bronnen zijn dierlijke mest (mn. Cu en Zn), kunstmest (mn. Cd), hoefontsmettingsmiddelen (mn. Cu) en atmosferische depositie (tegenwoordig minder belangrijk). Een gedeelte van de metalen wordt weer opgenomen en afgevoerd via landbouwgewassen.

Natuurlijke bronnen van metalen

Metalen die in diverse bodemmineralen voorkomen, kunnen door verwerking van deze mineralen beschikbaar komen voor uitspoeling en opname door gewassen. Deze metalen leveren daarmee een bijdrage aan zowel de voorraad beschikbare metalen in de bovengrond als via kwel vanuit de ondergrond aan de oppervlaktewaterbelasting.

Sorptie en rol van DOC

Het sorptie-evenwicht tussen metalen in oplossing en metalen die gesorbeerd zijn aan bodembestanddelen als organische stof, klei en aluminium- en ijzerhydroxiden bepaalt uiteindelijk de concentratie van metalen in het uitspoelende water. Dit sorptie-evenwicht is afhankelijk van de samenstelling van zowel de bodem als het grondwater/bodemvocht. Hierbij zorgen hogere gehalten aan sorberende bestanddelen voor lagere concentraties in oplossing. Verder zorgt een hogere pH voor een sterkere binding en dus ook lagere concentraties in oplossing. Zware metalen in oplossing kunnen daarnaast binden aan opgelost organisch stof (DOC) en andere complexerende stoffen (bijvoorbeeld chloride voor cadmium), wat de totale concentratie in oplossing verhoogt.

Transport en afspoeling

Transport van opgeloste metalen naar het oppervlaktewater en diepere grondwater vindt plaats via uitspoelend grondwater, waarbij gedurende het transport steeds weer sorptie en desorptie van metalen optreedt. Bij zeer zware regenval kan er direct transport van regenwater over het bodemoppervlak naar het oppervlaktewater optreden (oppervlakkige afspoeling). Hierbij worden bodemdeeltjes en de hieraan gesorbeerde zware metalen meegenomen die het oppervlaktewater extra belasten.

Effecten van oxidatie en reductie

Onder de grondwaterspiegel kunnen anaerobe omstandigheden voorkomen waardoor zware metalen vastgelegd worden in de vorm van slecht oplosbare sulfides. Anderzijds kunnen oxiderende omstandigheden (bv. in geval van drainage) leiden tot het vrijkomen van zware metalen vanuit van nature voorkomende zwavelverbindingen (mn. arseen in pyriet).

Waterbodems

Een deel van de uit- en afspoelende metalen zal binden aan de waterbodem, die vaak rijk is aan organische stof en waarin reducerende omstandigheden heersen. Wanneer

waterbodem als bagger op de kant wordt gezet, komen de metalen weer terug in de bodem. Daarnaast kan er in oppervlaktewateren met een sterke stroming transport van de waterbodem optreden waarbij de zware metalen worden afgevoerd.

3 Beleidskader

In dit hoofdstuk staat welke beleidsvelden van invloed zijn op de belasting van het oppervlaktewater door zware metalen. Het bevat een overzicht van deze beleidsvelden, de wijze waarop deze beleidsvelden bedoeld of onbedoeld emissies van zware metalen kunnen beïnvloeden en wat de belangrijkste vragen zijn die beantwoord moeten worden om beleid met betrekking tot zware metaalemissies te ontwikkelen.

3.1 Beleidsvelden

Een groot aantal beleidsterrein heeft direct of indirect een relatie met uitspoeling van zware metalen. Het gaat hierbij om beleidsterreinen die zich bezig houden:

- waterkwaliteit (normstelling, emissiebeleid);
- bodemkwaliteit;
- bodembelasting (mestbeleid, veevoederbeleid, emissiebeleid);
- waterkwantiteit;
- klimaat;
- ruimtelijke ordening.

Deze verschillende beleidsterreinen hebben elk hun eigen doelstelling en kunnen daardoor aanvullend, maar ook conflicterend zijn.

Waterkwaliteit

Het waterkwaliteitsbeleid is in hoge mate richtinggevend voor de te hanteren normen voor zware metalen in het oppervlaktewater. Daarbij is de EU regelgeving, met name Kader Richtlijn Water (EU, 2000) op termijn sturend. Verder geldt dat emissiebeleid voor lozingen en bouwmetalen bepalend is voor het reguleren van andere bronnen van zware metalen in het oppervlaktewater. Dit is daarmee mede bepalend voor de relatieve bijdrage van uitspoeling aan de totale belasting van het oppervlaktewater.

Bodemkwaliteit

De kwaliteit van de bodem wordt geregeld via het Besluit Bodemkwaliteit (per 1 juli 2008 in werking; VROM, 2007). De in dit besluit opgenomen normen zijn vooralsnog niet gerelateerd aan normen voor oppervlaktewaterkwaliteit. Wel is zo dat de zgn. Maximale Waarden in dit besluit getoetst worden aan normen voor grondwaterkwaliteit, maar niet voor oppervlaktewaterkwaliteit (Spijker et al., 2008). Het Besluit Bodemkwaliteit is verder wel richtinggevend voor de belasting van de bodem via regulering van bagger en grondverzet.

Bodembelasting

De mestwetgeving is sturend voor de belasting van de bodem via mest (mn. voor de metalen Cu en Zn, in relatie tot dierlijke mest, en Cd via kunstmest). De mestwetgeving is echter niet gebaseerd op maximaal toelaatbare gehalten aan metalen

in de mest, maar die van N en P. Dit in tegenstelling tot het BOOM besluit (Besluit Overige Organische Meststoffen, tegenwoordig onderdeel van het Uitvoeringsbesluit Meststoffen) dat juist de vracht aan metalen in overige organische meststoffen (oa. compost en slib) reguleert aan de hand van maximaal toegestane gehalten van zware metalen.

De huidige gehalten van zware metalen in de mest worden vooral bepaald door de EU richtlijnen aangaande de toegestane gehalten van zware metalen in veevoeder (EU, 2005) en in additieven (EU, 2003). Deze richtlijn is voornamelijk gebaseerd op diergezondheid en als zodanig niet gebaseerd op milieueffecten als accumulatie in de bodem en uitspoeling naar watersysteem. Wel is een correctie (verlaging) van de toegestane gehalten in 2003 doorgevoerd, gebaseerd op de wens om tot een lagere emissie naar de bodem te komen.

Voor de belasting van de bodem geldt verder dat het beleid mbt. emissies naar de lucht van grote invloed is en is geweest. Zo heeft het verbod op lood in autobrandstoffen geleid tot een zeer grote afname van de loodbelasting van de bodem. Op regionale schaal hebben emissie-maatregelen oa. in de Kempen geleid tot een zeer sterke afname van de cadmium- en zinkbelasting.

Voor koper tenslotte geldt dat het gebruik van kopersulfaat als hoefontsmettingsmiddel een belangrijke bijdrage levert aan de bodembelasting met koper (Boer et al., 2005). Hierbij geldt echter dat volgens de wetgeving kopersulfaat-oplossingen met concentraties boven een bepaalde waarde, moeten worden afgevoerd als chemisch afval. In de praktijk echter blijkt dat handhaving van deze wetgeving veelal te kort schiet en wordt de kopersulfaatoplossing uit voetbaden aan de mest toegediend en zo ook aan de bodem.

Waterkwantiteit en klimaat

Behalve het waterkwaliteitsbeleid heeft ook het waterkwantiteitsbeleid invloed op de uitspoeling van zware metalen. Vooral in grote delen van “laag”-Nederland wordt de grondwaterstand gereguleerd, waarbij onder andere peilbesluiten belangrijk zijn om maaiveldvaling tegen te gaan. Hierbij speelt ook het klimaatbeleid een rol aangezien maaiveldvaling voor een belangrijk deel het gevolg is van oxidatie van veen, wat leidt tot vrijkomen van het broeikasgas CO₂. De gevolgen van de regulering van de grondwaterstand op uitspoeling zijn niet altijd duidelijk, omdat twee tegengestelde processen optreden. Ten eerste leidt een verhoging van de grondwaterstand tot uitspoeling uit meer oppervlakkig gelegen bodemlagen. In deze bodemlagen zijn de gehalten zware metalen meestal hoger, waardoor dit leidt tot een hogere uitspoeling. Anderzijds resulteert een grondwaterstandverhoging tot een vermindering van de afbraak van organische stof, dat het belangrijkste sorptieoppervlak voor zware metalen is. Voor zand- en kleigronden speelt het tweede proces een veel geringere rol, waardoor grondwaterstandverhoging in zand- en kleigronden meestal leidt tot een hogere uitspoeling.

Ruimtelijke ordening

Veel ingrepen in de ruimtelijke ordening leiden tot een verandering van de hydrologie en daarmee tot een verandering van de uitspoeling van zware metalen. Te denken valt onder andere aan drainage bij nieuwe wijken in veengebieden, herverkaveling en verandering van waterlopen in landbouwgebieden, vernatting bij natuurontwikkeling, etc.

3.2 Kennisvragen beleid

Bronnen

Emissies naar het oppervlaktewater zijn afkomstig van verschillende bronnen. Om maatregelen te kunnen selecteren, is het nodig om deze bronnen goed te kennen. In het bijzonder voor LNV is het nodig de bijdrage van landbouw te kennen en te weten in welke mate de landbouw zorgt voor verdere oplading van de bodem.

Natuurlijke achtergrondbelasting

Zware metalen komen van nature al in de bodem voor, wat leidt tot een bepaalde ‘natuurlijke’ concentratie in grond- en oppervlaktewater. De vraag is nu in hoeverre de historische, huidige en toekomstige bodembelasting leidt tot een extra verhoging bovenop die natuurlijke belasting en in hoeverre de natuurlijke concentraties in het water al voor opvulling van de huidige normen zorgen. Idealiter zijn normen voor grond- en oppervlaktewater afgestemd op de natuurlijke concentraties (die kunnen variëren per land en zelfs regio!). En verder moet ook duidelijk zijn welk proces of handeling (aanvoer van mest bijvoorbeeld) op termijn (of nu al) leidt tot een significante verhoging ten opzichte van de natuurlijke concentraties. Indien door dit handelen normoverschrijdingen voorkomen, kunnen bijvoorbeeld emissiemaatregelen ervoor zorgen dat normoverschrijdingen beperkt blijven.

Verder kunnen de achtergrondconcentraties door autonome ontwikkelingen veranderen. Bijvoorbeeld, verzilting door bodemdaling of zeespiegelstijging zorgt voor hogere concentraties in het bodemvocht (denk bijv. aan verzilting door bodemdaling, klimaatverandering) Het is zaak de invloed van dergelijke ontwikkeling op uitspoeling te schatten.

Draagvlak

Modelberekeningen laten zien dat uitspoeling vanuit bodems in het landelijk gebied een belangrijke bijdrage levert aan de totale belasting. De onzekerheid in de resultaten van deze berekeningen zijn echter groot en vooral de waterbeheerders zijn zich van deze onzekerheid bewust. Deze onzekerheid verkleint het draagvlak dat nodig is voor maatregelen voor een vermindering van de huidige en/of toekomstige uitspoeling. Het is nodig de onzekerheid in de modeluitkomsten te verkleinen en het draagvlak te vergroten onder andere door met veldgegevens de berekeningen te onderbouwen of te verbeteren.

Maatregelen

Om emissies naar het oppervlaktewater te verminderen zijn een groot aantal maatregelen in beeld. De effectiviteit van veel van deze maatregelen is echter onvoldoende bekend. Om maatregelen te selecteren en effecten te bepalen, moet de relatie tussen bronnen, belasting en waterkwaliteit bekend zijn (bron-pad-effect analyse). Verder geldt voor veel maatregelen dat de tijdsperiode waarin maatregelen leiden tot veranderingen in de waterkwaliteit groot kan zijn. Voor de selectie van maatregelen is het dan ook nodig om deze reactietijd van de verschillende maatregelen te kennen.

Naast gerichte maatregelen zal beleid van andere beleidsvelden ook de uitspoeling beïnvloeden. Bijvoorbeeld; een vermindering van het kunstmestgebruik als gevolg van het mestbeleid zorgt tevens voor lagere bodembelasting en daarmee uitspoeling van cadmium; vernatting in het kader van anti-verdrogingsbeleid leidt tot een grotere uitspoeling van zware metalen. In gebieden waarbij de huidige oppervlakte-waterkwaliteit net iets lager is dan de norm kunnen dit soort maatregelen ervoor zorgen dat de norm net wel overschreden wordt (en andersom natuurlijk ook). Het is dan ook nodig om de belangrijkste effecten van aanpalend beleid op oppervlaktewateremissie te kunnen schatten.

Tenslotte geldt dat het vaststellen van concrete maatregelen op lokaal/regionaal niveau nog erg lastig is omdat de huidige modellen bedoeld zijn voor berekeningen op landelijke schaal. Het gevolg is dat het huidige modelinstrumentarium niet gebruikt kan worden om veel maatregelen op lokaal/regionaal niveau te verwerken.

4 Kennis en kennisleemtes

In dit hoofdstuk staat een overzicht van bestaande kennis en kennisleemtes over de belasting van het oppervlaktewater door uit- en afspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied.

Hierbij wordt ingegaan op de volgende vragen:

1. voor welke zware metalen komen normoverschrijdingen in het oppervlaktewater voor;
2. wat zijn de bronnen van zware metalen in het oppervlaktewater in het landelijk gebied;
3. wat is bekend c.q. welk onderzoek is/wordt er gedaan aan uitspoeling van zware metalen;
4. wat zijn de belangrijkste kennisleemtes over uit- en afspoeling van zware metalen uit bodems en welke wetenschappelijke vragen moeten er beantwoord worden om deze kennisleemtes in te vullen.

4.1 Probleemdefinitie

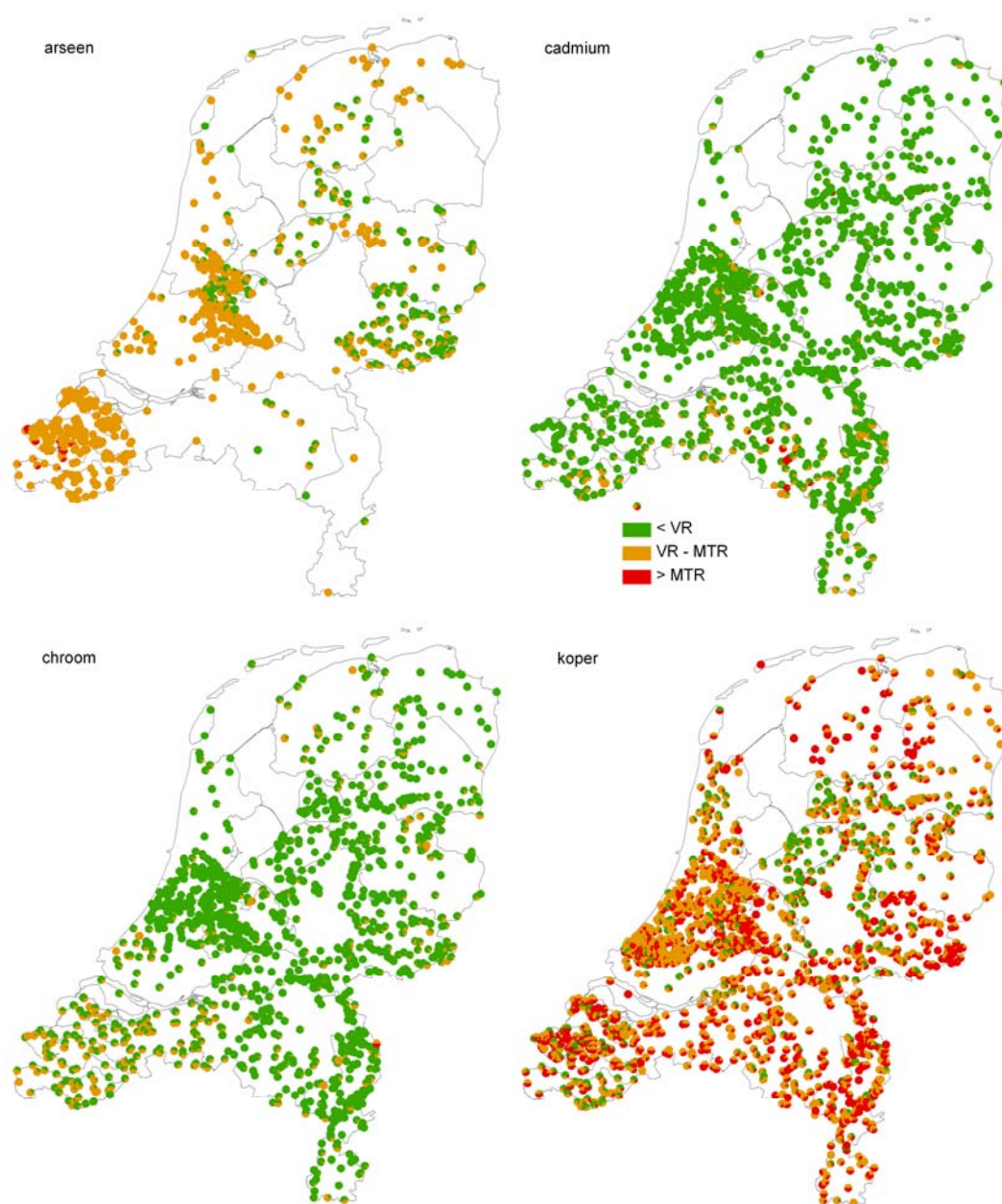
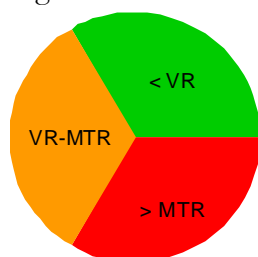
Voor de metalen koper, nikkel en zink worden grootschalig normoverschrijdingen in het oppervlaktewater waargenomen. De geldende norm voor oppervlaktewaterkwaliteit is het zgn. Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR) dat is afgeleid op basis van ecotoxicologische data (VROM, 2004). De MTR-waardes en de waardes voor het zogenaamd Verwaarloosbaar Risico (VR) staan in onderstaande tabel.

Tabel 4.1 Normen voor zware metalen in oppervlaktewater

metaal	VR ($\mu\text{g/l}$)	MTR ($\mu\text{g/l}$)
arsen (As)	1,3	32
cadmium (Cd)	0,4	2
chrom (Cr)	2,4	84
koper (Cu)	1,1	3,8
kwik (Hg)	0,07	1,2
nikkel (Ni)	4,1	6,3
lood (Pb)	5,3	220
zink (Zn)	12	40

In onderstaande figuren staan voor de periode 2000-2005 de resultaten van metingen van concentraties in het oppervlaktewater. Voor elk meetpunt staat in een taartdiagram weergegeven welk deel van de metingen lager is dan het verwaarloosbaar risico ($< \text{VR}$), tussen VR en de norm (VR-MTR) en welk deel de norm overschrijdt ($> \text{MTR}$).

Legenda



Figuur 4.1 Metingen van concentraties van arseen (linksboven), cadmium (rechtsboven), chroom (links onder) en koper (rechtsonder) in het oppervlaktewater voor periode 2000-2005. Fractie metingen kleiner dan VR (groen), tussen VR en MTR (oranje) en groter dan MTR (rood).



Figuur 4.1 (vervolg) Metingen van concentraties van kwik (linksboven), nikkel (rechtsboven), lood (links onder) en zink (rechts onder) in het oppervlaktewater voor periode 2000-2005. Fractie metingen kleiner dan VR (groen), tussen VR en MTR (oranje) en groter dan MTR (rood).

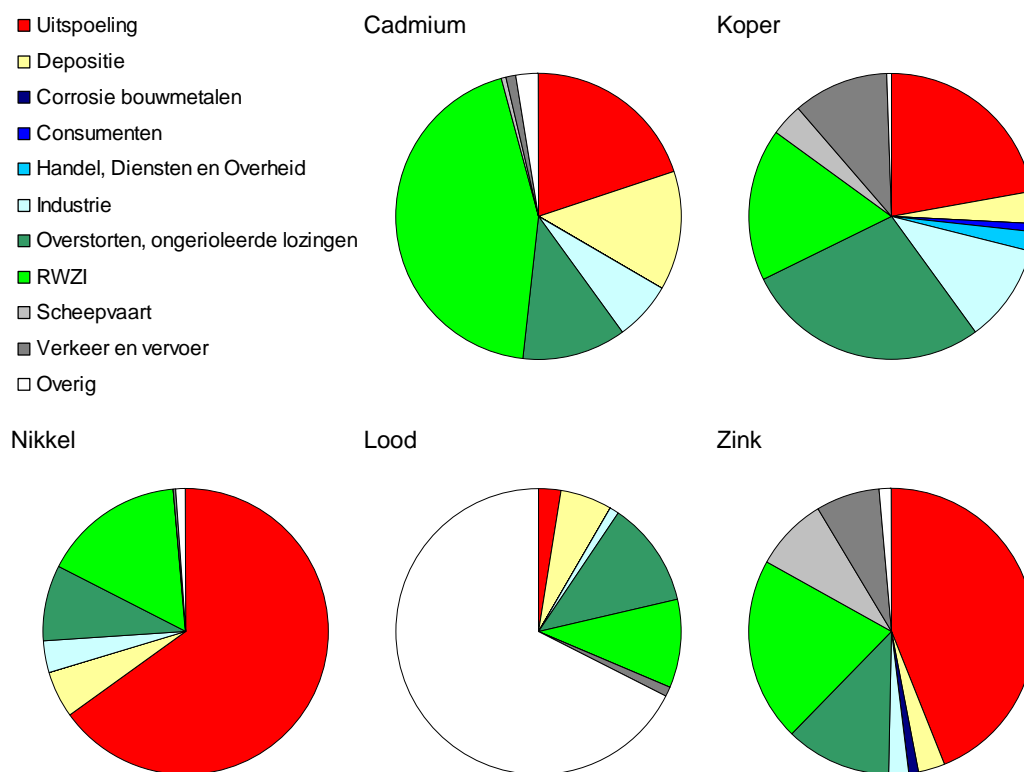
Uit bovenstaande figuren volgt:

- voor koper komen normoverschrijdingen voor in geheel Nederland met uitzondering van de IJsselmeerpolders;
- voor nikkel komen vooral overschrijdingen in Noord-Brabant, Oost-Nederland en het Westland voor;
- voor zink komen overschrijdingen voor in Noord-Brabant en in delen van Zuid-Holland en Utrecht;

- voor cadmium komen alleen in de Dommel overschrijdingen voor als gevolg van grensoverschrijdende emissies van zinksmelterijen in Vlaanderen;
- voor arseen, chroom, lood en kwik worden niet of nauwelijks overschrijdingen waargenomen.

4.2 Bronnen van zware metaalmissie naar het oppervlaktewater

In onderstaande figuren staan de belangrijkste bronnen van emissies van Cd, Cu, Ni, Pb en Zn. In deze figuren zijn emissies naar kustwateren, het IJsselmeer, de randmeren en de Zeeuwse wateren niet meegenomen. Aanvoer vanuit het buitenland is ook niet meegenomen in deze figuren. De directe emissies van de landbouw zijn verwaarloosbaar klein en daarom niet in deze figuren weergegeven.



Figuur 4.2 Relatieve bijdrage van bronnen van zware metalen aan oppervlaktewaterbelasting op landelijk niveau (bron: ERC 2007, uitspoeling Bonten & Groenenberg, 2008c).

Uit de figuur blijkt dat voor de metalen nikkel en zink uitspoeling de belangrijkste emissiebron is op landelijk niveau. Voor cadmium en koper zijn RWZI's, overstorten en ongerioleerde lozingen de belangrijkste bron; uitspoeling is voor deze metalen echter ook een belangrijke bron. Voor lood zijn de jacht en sportvisserij (=categorie overig) de belangrijkste bronnen van oppervlaktewateremissies. Uitspoeling speelt hierbij nauwelijks een rol. Lokaal en regionaal kunnen de bijdrages van de verschillen sterk afwijken van landelijke verdeling. Een geregionaliseerde weergave van de emissie is weergegeven in paragraaf 5.1.

Binnen de Emissieregistratie wordt uitspoeling aan de doelgroep landbouw toegekend. Echter de bron uitspoeling betreft niet alleen uitspoeling uit landbouwbodems maar ook uit natuurbodems. Verder geldt dat metalen die uitspoelen uit landbouwbodems niet noodzakelijkerwijs afkomstig zijn van landbouwactiviteiten. Hoofdstuk 5 gaat daarom uitgebreider in op de bijdrage van landbouw aan de belasting van het oppervlaktewater met zware metalen.

4.3 Overzicht eerdere en lopende onderzoeken

Hieronder staat een overzicht van eerder uitgevoerd en lopend onderzoek met betrekking tot uitspoeling van zware metalen in het landelijk gebied. Tevens wordt aangegeven op welke gebieden er nog belangrijke kennisleemtes zijn.

Bronnen van bodembelasting

Belangrijke aanvoerposten van metalen zijn de aanvoer via dierlijke mest (Cu, Zn) en kunstmest (Cd), voetbaden (Cu), atmosferische depositie (Cd, Pb tot medio jaren 80), compost, slib (bagger). Daarnaast zijn er lokaal mogelijk belangrijke specifieke bronnen als loodhagel uit de jacht, corrosie van zinkhoudende hoogspanningsleidingen en koperhoudende leidingen van spoorwegen.

Op landelijke schaal zijn deze fluxen redelijk tot goed bekend. Door het CBS en Milieu- en Natuurplanbureau wordt via landelijke inventarisaties en op basis van gebruikcijfers van mest/kunstmest de jaarlijkse belasting van de bodem (in ton/jaar) voor Nederland berekend, evenals de ontwikkeling gedurende de laatste 25 jaar. Omdat ook perceelsgewijs bijgehouden is (MINAS) hoeveel mest er per jaar per perceel is aangevoerd, zijn mestvrachten in theorie redelijk nauwkeurig om te zetten in vrachten aan vooral koper en zink. Dit gebeurt via de verhouding tussen stikstof en metalen die voor de meeste mestsoorten bekend is. Veranderingen in de samenstelling van mest, onder andere door veranderingen in de toegestane hoeveelheid koper en zink in veevoer heeft uiteraard een effect op deze verhouding en daarmee op de berekende aanvoer. In de huidige cijfers is wel een correctie doorgevoerd voor de vermindering van koper en zink in diervoer (vanaf 2003) maar deze correctie is niet onderbouwd door metingen in mest (Delahaye et al., 2003). Omdat voor koper en zink de aanvoer via dierlijke mest verreweg (> 80%) het grootste deel van de totale aanvoer vormt is deze onzekerheid erg belangrijk. Om deze onzekerheid te verkleinen vindt in 2008 onderzoek plaats naar de gehalten aan de belangrijkste metalen (Cu, Cd, Zn, Ni, Cr, As, Hg en Pb) in runder- en varkensdrijfmest evenals in vaste kippenmest. Een vergelijking met de bestaande referentiedata (Driessen en Roos, 1998) moet aantonen of de gehalten in mest inderdaad gedaald zijn als gevolg van de afname van de gehalten aan zink en koper in veevoer.

Een andere belangrijke bijdrage aan de belasting van de bodem (en de onzekerheid daarvan) is de mate waarin het koperhoudende afval uit hoefontsmettingsbaden in mest verwerkt wordt. Het totale geschatte gebruik van kopersulfaat in voetbaden komt overeen met 30 – 50 % van de totale kopervracht uit mest (Boer et al., 2005),

maar specifieke data ontbreken (wanneer en in welke concentraties wordt dit aan mest toegevoegd?). De bijdrage van deze post op regionale schaal is daarmee onduidelijk. Mogelijk levert het onderzoek aan de kopergehalten in mest in 2008 enig inzicht in de mate van het gebruik van koper in voetbaden. Indien deze gehalten namelijk sterk variëren en afwijken (dwz. hoger zijn dan de bestaande data uit 1998) van de bekende data is dat een reden om aan te nemen dat kopersulfaat op grote schaal (illegaal) via de mest wordt geloosd.

Momenteel wordt door ASG (Animal Science Group van WUR) onderzoek verricht naar het optimaliseren van de voeding van dieren. Enerzijds met het doel te komen tot een verlaging van de emissie naar de bodem en anderzijds met als doel de Cu- en Zn-voorziening voor dieren te optimaliseren (reduceren overschot in voeding, behouden van diergezondheid). Daarnaast vindt op bedrijfsniveau (door o.a. CLM, ASG en BLGG) onderzoek plaats aan balansen van Cu, Zn en Cd. De resultaten (oa. Boer en Hin, 2003) tonen inderdaad aan dat deze balansen in veel gevallen positief zijn wat per definitie uiteindelijk leidt tot een accumulatie in de bodem. Regulering van de aanvoer via voer (koper en zink) en het gebruik van koper in voetbaden speelt hierbij een cruciale rol. Modelmatig wordt vooral onderzoek gedaan naar de opname-efficiëntie van metalen uit voer en de gehalten van metalen in organen, vlees en andere producten (oa. RIVM, Rikilt en Alterra).

Afvoer via gewassen

Naast aanvoer van metalen speelt ook de afvoer via gewassen een belangrijke rol in totale zware metaalbalans. Afvoercijfers (berekend uit de metaalgehalten in gewassen vermenigvuldigd met oogstcijfers in ton gewas/ha) worden voor gras en maïs jaarlijks gemeten op landelijke en regionale schaal door BLGG. De kopergehalten in het gewas vertonen daarbij een beperkte variatie (6 tot 9 mg/kg op droge stof basis) en zijn niet of nauwelijks afhankelijk van het bodemtype of het gehalte aan koper in de bodem. Dit bleek ook uit de analyse van bestaande data uit de 80-er jaren (door Alterra). Uit deze analyse bleek dat ook gehalten van de metalen Pb, Hg, As en Ni nauwelijks variëren (Römkens et al., 2008).

Zinkgehalten in gras en maïs (en overige belangrijke akkerbouwgewassen) blijken wel gecorreleerd aan bodemgehalten en zuurgraad. Verder geldt dat de afvoer van zink via gewas een duidelijk effect heeft op de zinkbalans van de bodem (de Vries et al., 2004). Voor koper echter is de afvoerpost ten opzicht van de aanvoerpost veel kleiner, omdat de gehalten in gewassen lager zijn (Groenenberg et al., 2006).

Voor cadmium en lood zijn landelijk gezien geen recente data verzameld en zijn de schattingen voor veel gewassen gebaseerd op data uit de 80-er jaren. Recent (2004-2006) zijn door Alterra data voor gras voor cadmium en lood in zowel de Kempen als in het Veenweidegebied gemeten (Rietra & Römkens, 2007a, 2007b). De gehalten aan lood bevestigen dat de vermindering van atmosferische depositie heeft geleid tot beduidend lagere gehalten aan lood in gras. Data uit de 80-er jaren voor lood zijn daarmee voor veel gewassen dus niet meer relevant omdat deze voornamelijk door atmosferische depositie zijn gestuurd.

Metingen aan de kwaliteit van gewassen worden alleen routinematig verricht, maar worden wel verzameld en opgeslagen in de KAP database (Kwaliteitsprogramma Agrarische Producten). Voor cadmium en lood zijn daarin gegevens opgenomen over de gehalten in plantaardige (en dierlijke) producten. Voor gras en maïs verricht BLGG routinematig onderzoek aan de gehalten aan Cu en Zn. Voor beide geldt dat er geen directe koppeling tussen locatie en product bestaat.

Tenslotte wordt door Alterra modelmatig onderzoek aan de hele keten (van gehalten in voer tot aan veranderingen in de bodem en/of grondwater) uitgevoerd met toepassing op landelijke schaal. Uit deze laatste onderzoeken blijkt onder andere dat voor de meeste metalen de huidige aanvoer (veel) groter is dan de huidige afvoer via gewassen of uitspoeling, waardoor gehalten van zware metalen in de toekomst verder toenemen (Bonten et al., 2007).

Sorptie/desorptie

Sorptie en desorptie van zware metalen aan bodem en bodembestanddelen zijn al decennialang onderwerp van studie door vele onderzoeksgroepen. Algemeen en praktisch toepasbare modellen voor sorptie zijn echter pas meer recent ontwikkeld. In het laatste decennium zijn geavanceerde mechanistische modellen voor sorptie van zware metalen toepasbaar gemaakt voor toepassing op veldschaal. In het bijzonder modellen voor de binding aan opgelost en vaste organische stof zijn sterk verbeterd (o.a. NICA-Donnan model, ontwikkeld door vakgroep Bodemkwaliteit van Wageningen Universiteit). Modellen voor binding aan andere oppervlakken zoals ijzer-, aluminium- en mangaanoxiden zijn minder goed ontwikkeld. Deze oppervlakken zijn vooral belangrijk voor sorptie in de ondergrond. Door onder andere Alterra (Bonten et al., 2008a) en ECN (Dijkstra et al., 2004) worden de mechanistische modellen toegepast voor voorspelling van sorptie van zware metalen in bodemmonsters. Verder worden deze modellen reeds toegepast voor het afleiden van normen tbv. het Besluit Bodemkwaliteit (Spijker et al., 2008). Hieruit blijkt dat de gebruikte modellen goede resultaten geven voor de metalen Cd, Cu en Zn. Voor Ni en Pb zijn de voorspellingen nog onvoldoende voor toepassing. Voor overige metalen zijn de modellen nog niet grootschalig op bodemmonsters getest en het is niet bekend hoe goed deze modellen presteren. Momenteel wordt in het bijzonder gewerkt aan een verbetering van de bestaande modellen en ontwikkeling van modellen voor binding van opgelost organisch stof aan de bodem.

Mechanistische modellen geven inzicht in de bindingswijze van zware metalen, maar zijn relatief ingewikkeld en daardoor soms moeilijk te gebruiken in berekeningen van transport en uitspoeling, vooral bij toepassing op regionale en nationale schaal. Daarom wordt vaak gebruik gemaakt van regressievergelijkingen die een verband geven tussen sorptie van een stof en bodemeigenschappen. Door Alterra zijn op basis van metingen aan een groot aantal monsters regressievergelijkingen afgeleid voor Cd, Cu, Ni, Pb en Zn (Römkens et al., Alterra-rapport 305). Deze vergelijkingen zijn voornamelijk toepasbaar voor de bovengrond. Voor toepassing in de ondergrond zijn deze regressievergelijkingen recentelijk verbeterd (Bonten en Groenenberg, 2008). Door TNO zijn met behulp van mechanistische model-

berekeningen regressievergelijkingen afgeleid voor sorptie van As, Cd, Cu, Ni en Zn in de ondergrond (Griffioen en Venema, 1999).

Van nature voorkomende metalen

In bodems komen van nature zware metalen die deels beschikbaar zijn voor uitspoeling. Een modelstudie door Alterra berekent dat in grote delen van Nederland de achtergronduitspoeling grotendeels de totale uitspoeling bepaalt, vooral in gebieden met een lage grondwaterstand (Bonten et al., 2008b). In dit onderzoek zijn schattingen gemaakt van de gehalten beschikbare metalen op basis van monsters van de ondiepe ondergrond (0.5–1 m –mv). Deze gehalten in de ondiepe ondergrond kunnen worden gezien als natuurlijke achtergrondgehalten. Op basis van deze achtergrondgehalten in de bodem en natuurlijke concentraties van zware metalen in het grondwater zijn schattingen is de achtergronduitspoeling van zware metalen naar het oppervlaktewater berekend.

Verder onderzoek naar gehalten zware metalen en de relatie met geologische historie en bodemeigenschappen wordt vooral verricht door Universiteit Utrecht (o.a. Spijker, 2005). Uit deze studies blijkt dat het totale aluminiumgehalte in de bodem (op basis van HF-extractie of XRF-metingen) een goede voorspeller is voor de natuurlijke gehalten van zware metalen. Landsdekkende informatie over het aluminiumgehalte is echter niet beschikbaar waardoor gebruik hiervan in landsdekkende studies (bv. STONE) beperkt is.

Redoxprocessen

De redoxtoestand van de bodem, (= de mate waarin er nog zuurstof in de bodem voorkomt) en veranderingen daarin hebben een grote invloed op de mobiliteit van zware metalen. Oxidatie van pyriet (FeS) leidt tot het vrijkomen van in dit pyriet aanwezige zware metalen, in het bijzonder arseen en mogelijk nikkel. Uit onderzoek van TNO blijkt dat dit proces vooral in de kustgebieden van belang is (Gunnink et al., 2003).

Het omgekeerde proces (sulfaatreductie) leidt tot vastlegging van zware metalen in de vorm van slecht oplosbare sulfideverbindingen. Onderzoek hiernaar is slechts uitgevoerd voor een beperkt aantal kleigronden in de uiterwaarden (Schröder, 2005). Daarnaast is er bij RIZA (Vink & Meeussen, 2007) een model ontwikkeld (BioChem) waarmee de invloed van redoxpotentiaal op de bodemchemie berekend kan worden. Dit model is vergelijkbaar met de mechanistische sorptiemodellen zoals beschreven bij “sorptie/desorptie” inclusief een empirische inschatting van de redoxpotentiaal.

Over het effect van de redoxtoestand op de mobiliteit van zware metalen in andere bodemtypen is relatief weinig bekend. Vooral voor veengronden heeft redox mogelijk een belangrijke rol spelen. Modelberekeningen door Alterra (Bonten en Brus, 2006) laten zien dat vastlegging van metalen bij reducerende omstandigheden, kan leiden tot een 75% lagere uitspoeling. Niet bekend is echter of deze vastlegging daadwerkelijk optreedt en, zo ja, onder welke omstandigheden deze optreedt.

Transport van metalen in de bodem

Transport van opgeloste metalen in het grondwater verschilt in principe niet van transport van andere opgeloste stoffen zoals nitraat of fosfaat. Voor modellering van het transport zijn diverse modellen beschikbaar (o.a. SWAP, Modflow/MT3D).

Omdat tijdens het transport van zware metalen voortdurend sorptie en desorptie optreedt, is een koppeling tussen watertransportmodellen en sorptie/desorptie-modellen essentieel. Voor de meeste modellen zijn hierbij regressievergelijkingen voor sorptie gekoppeld aan hydrologische modellen (o.a. model voor huidige uitspoelingberekeningen). Bij Alterra is momenteel een model beschikbaar waarbij uitvoer van het hydrologische model SWAP gekoppeld is aan een reactief transportmodel waarbij voor de sorptie-evenwichten gebruik wordt gemaakt van mechanistische modellen.

Een aantal metalen bindt sterk aan DOC, waardoor de snelheid van het DOC-transport maatgevend is voor het transport van metalen. Er is echter weinig bekend over het reactief transport (lees: sorptie) van DOC. Verder geldt dat er nog slechts weinig onderzoek is gedaan naar het voorspellen van DOC-concentraties in de bodem. Bij Wageningen Universiteit worden momenteel mechanistische modellen ontwikkeld om sorptie van DOC te voorspellen. Deze modellen zijn echter nog niet geschikt voor praktische toepassingen.

Oppervlakkige afspoeling

Afspoeling van bodemdeeltjes met daaraan gesorbeerde zware metalen levert mogelijk een belangrijke bijdrage aan de totale belasting van het oppervlaktewater. Aanwijzingen hiervoor zijn de sterk verhoogde concentraties van zware metalen die soms worden waargenomen direct na zeer zware buien.

Voor nutriënten wordt geschat dat afspoeling tot wel 50% van de totale belasting van het oppervlaktewater kan uitmaken. Voor zware metalen is dit hoogstwaarschijnlijk niet anders. Voor nutriënten wordt momenteel door Alterra in opdracht van LNV (BO-cluster Mineralen en milieukwaliteit) onderzoek naar de bijdrage van afspoeling uitgevoerd. Voor zware metalen wordt momenteel bij dit onderzoek aangesloten.

Uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater

Door Alterra zijn diverse modelstudies uitgevoerd om een inschatting te maken van de uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied op nationale schaal (Römkens et al., 2003; Bonten et al., 2004, 2006). Deze berekeningen tonen aan dat uitspoeling een belangrijk aandeel heeft in de totale belasting van het oppervlaktewater met zware metalen. De berekende bijdrage van uitspoeling aan de totale belasting varieert van 20% voor cadmium tot meer dan 40% voor nikkel. De berekende vrachten en concentraties zijn getoetst aan stoffenbalansen opgesteld door waterschappen voor vijf regio's in Nederland. Uit deze vergelijking blijkt dat de modelberekeningen op regionale schaal een redelijke schatting van de uitspoeling geven. Door de grote onzekerheden in de stoffenbalansen is een toetsing op deelstroomgebied- of polderniveau echter nog niet mogelijk.

Verder wordt door Alterra in opdracht van VROM de uitspoeling van zware metalen gemeten op 5 locaties met verschillend bodemtype. Dit project heeft als doel de afzonderlijke componenten van het huidige modelinstrumentarium te toetsen en zo uiteindelijk de gebruikte modellen te verbeteren. Dit onderzoek loopt tot 2009.

Daarnaast zijn door TNO op basis van metingen in een beperkt aantal stroomgebieden schattingen gedaan van de uitspoeling uit zandgebieden in Nederland. Deze schattingen zijn vergelijkbaar met de resultaten van de berekeningen van Alterra (van Gijlswijk & Korenrump, 2003).

Op regionale schaal is recentelijk door Alterra, TNO en VITO een studie uitgevoerd naar uitspoeling van zware metalen in de Belgische en Nederlandse Kempen (Kroes et al., 2008). Hierbij is gebruik gemaakt van meer gedetailleerde modellen en informatie dan bij de landelijke modelberekeningen. De variatie van oppervlakte-waterconcentraties van zink en cadmium in de in tijd werd hierin goed voorspeld.

Waterbodem/baggeren

Er is tot dusver weinig onderzoek verricht naar de invloed van het verspreiden van bagger op de uitspoeling van zware metalen. Wel zijn er enkele modelstudies uitgevoerd naar de mogelijke effecten van het verspreiden van bagger op de gehalten van zware metalen in de bodem, het meest recent in het kader van het “Besluit Bodemkwaliteit” (van Noort et al., 2006).

Een ander mogelijk belangrijk, maar tot dusver niet onderzocht aspect, is de rol van de waterbodem bij de retentie van zware metalen. Waterbodems bevatten meestal een grote hoeveelheid reactieve bestanddelen als organische stof en lutumdeeltjes, waaraan uitspoelende zware metalen zich kunnen hechten. Dit leidt dan tot een verlaging van de concentraties van zware metalen in het oppervlaktewater. Het verspreiden van bagger resulteert dan in het rondpompen van zware metalen in het bodem-oppervlaktewatersysteem.

In snelstromende sloten en beken, vooral in het zuiden en oosten van Nederland, kan er door de sterke stroming transport van de waterbodem en hieraan gebonden zware metalen optreden. Bij de meeste studies naar zware metalen in het oppervlaktewater wordt slechts gekeken naar zware metalen in de opgeloste fase en wordt transport van de waterbodem/sediment niet bestudeerd. In een studie naar balansen van cadmium en zink in de Vlaamse en Nederlandse Kempen bleek echter dat tot 20% van de zware metalen via transport van de waterbodem wordt afgevoerd (Soresma, 2006).

Biobeschikbaarheid

De uiteindelijke en daadwerkelijke effecten van zware metalen op organismen in het oppervlaktewater worden bepaald door de beschikbaarheid van deze metalen voor organismen, de zogenaamde biobeschikbaarheid. Door binding van zware metalen aan zwevend materiaal of opgelost organisch koolstof zijn concentraties, zoals bepaald bij oppervlaktewaterkwaliteitsmetingen, niet altijd een goede voorspeller voor effecten op organismen. Naast binding kunnen ook andere elementen in het

water de biobeschikbaarheid verhogen of verlagen (bijv. calcium beperkt de opname van cadmium door organismen).

Biobeschikbaarheid wordt in de huidige beoordeling van de oppervlaktewaterkwaliteit niet meegenomen; zware metaalconcentraties worden getoetst aan normen voor totale concentraties (rekening houdend met zwevend stof) of opgeloste concentraties. Voor de Kaderrichtlijn Water zal voor prioritaire stoffen (cadmium, nikkel en lood) biobeschikbaarheid ook niet worden meegenomen. Wel is de norm voor cadmium afhankelijk van de hardheid van het water, omdat calcium van grote invloed is op de toxiciteit van cadmium. Biobeschikbaarheid wordt voor cadmium dus indirect meegenomen.

Voor niet-prioritaire stoffen (overige zware metalen) zal bij de 1e-lijnstoetsing biobeschikbaarheid niet worden meegenomen. Bij overschrijding van de normen kan er bij een 2^e-lijnsbeoordeling wel gekeken worden naar biobeschikbaarheid. Hiervoor zijn verschillende modellen en instrumenten beschikbaar of in ontwikkeling. De belangrijkste ontwikkeling is het gebruik van BLM-modellen (Biotic Ligand Model). In deze modellen wordt voor wat betreft toxische effecten rekening gehouden met temperatuur, pH, binding aan opgelost organisch materiaal en de invloed van andere stoffen in het water. Voor koper en zink zijn deze BLM modellen het verst ontwikkeld (Zwolsman en de Schampelaere, 2007).

4.4 Kennislacunes en wetenschappelijke vragen

Uit bovenstaand overzicht volgt dat de afgelopen jaren veel onderzoek is verricht en kennis is ontwikkeld over emissies van zware metalen naar het oppervlaktewater. Er zijn echter nog een aantal aspecten waaraan tot op heden nog geen of zeer weinig onderzoek is verricht, maar die van grote invloed zijn op emissies van zware metalen.

1. het effect van reducerende omstandigheden die vooral in veen- en kleigronden kunnen zorgen voor het vastleggen van zware metalen, wat leidt tot een lagere uitspoeling. Zo is het niet goed bekend wat de invloed is van de variatie in redoxomstandigheden in de bodem op de mobiliteit van zware metalen. Verder is niet bekend of de effecten van de (wisselende) redoxcondities te voorspellen zijn op basis van huidige beschikbare data. Dit laatste is vooral van belang voor veengebieden en enkele kleigebieden waar de huidige modelberekeningen hoge uitspoelingsvrachten berekenen.
2. de bijdrage van oppervlakkige afspoeling, die vooral bij zeer zware buien voorkomt. Momenteel wordt hiertoe in opdracht van LNV veldonderzoek verricht in combinatie met onderzoek naar oppervlakkige afspoeling van nutriënten.
3. het effect van metaal-transport door DOC. Weinig is bekend over welke parameters de concentraties van DOC in de bodem bepalen en wat de sorptie en

transportsnelheid van DOC bepaald. De huidige beschikbare kennis is nog zeer theoretisch en nauwelijks praktisch toepasbaar.

4. de invloed van (reactieve) waterbodems op de uitspoeling en de rol van baggeren op de zware metaalbalansen.
5. de beschikbaarheid van data. Vooral gegevens over de gehalten zware metalen in de (ondiepe) ondergrond zijn nauwelijks beschikbaar. Verder geldt dat gegevens over de huidige belasting van de bodem, zoals gehalten van zware metalen in mest, vaak matig onderbouwd zijn. Tenslotte geldt dat het huidige modelconcept en de resultaten van de huidige modelberekeningen nog nauwelijks getoetst zijn aan meetgegevens van de oppervlaktewaterkwaliteit

5 Bijdrage van landbouw

Op de vraag ‘wat is de bijdrage van de landbouw aan de oppervlaktewaterbelasting met zware metalen’ is geen eenduidig antwoord mogelijk. De reden hiervoor is dat landbouw alleen zorgt voor een indirecte belasting van het oppervlaktewater, namelijk via uitspoeling uit de bodem. De directe belasting van het oppervlaktewater door de landbouw is klein hoewel oppervlakkige afspoeling mogelijk wel een directe bijdrage levert. Deze laatste is echter nog onvoldoende gekwantificeerd.

De huidige belasting van de bodem door de landbouw, vooral voor de metalen cadmium, koper en zink, heeft geen directe relatie met de huidige uitspoeling uit de bodem. De reden hiervoor is dat het transport van metalen door de bodem, van het moment dat ze op de bodem komen totdat ze uitspoelen naar het oppervlaktewater, een (zeer) traag proces is. Een mogelijke uitzondering vormt oppervlakkige afspoeling, waarbij opgebrachte metalen direct afspoelen naar het oppervlaktewater. De bijdrage van oppervlakkige afspoeling aan de belasting is echter tot dusver niet daadwerkelijk gemeten (zie ook paragraaf 4.4).

De huidige uitspoeling naar het oppervlaktewater is daarom gekoppeld aan de historische belasting van de bodem (en uiteraard de bodemsamenstelling) terwijl de huidige bodembelasting dus van invloed is op de toekomstige belasting

In de navolgende paragrafen wordt ingegaan op de volgende punten:

- de relatieve bijdrage van uitspoeling uit landbouw- en natuurgebieden aan totale emissies naar het oppervlaktewater;
- de bijdrage van landbouw aan de huidige bodembelasting;
- de verhouding tussen de huidige bodembelasting en de huidige uitspoeling. Dit geeft toekomstige ontwikkeling aan.

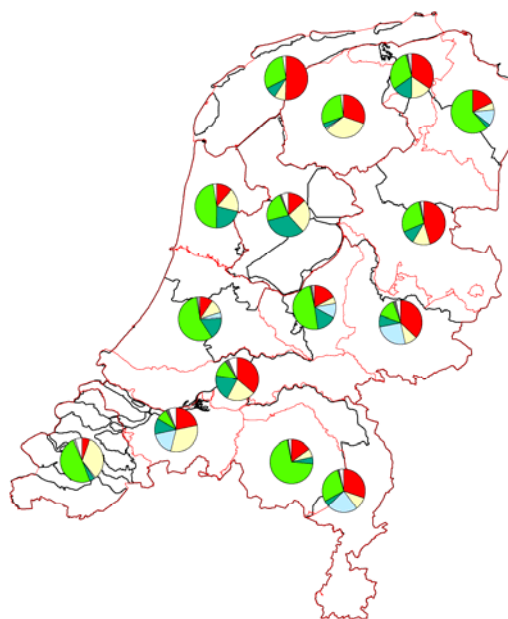
5.1 Bijdrage uitspoeling uit het landelijk gebied aan oppervlaktewater-belasting

In Figuur 4.2 in hoofdstuk 4 is reeds op landelijk niveau de relatieve bijdrage van diverse bronnen weergegeven. In onderstaande figuren zijn regionaal de relatieve bijdrages van diverse bronnen aan de belasting van het oppervlaktewater weergegeven.

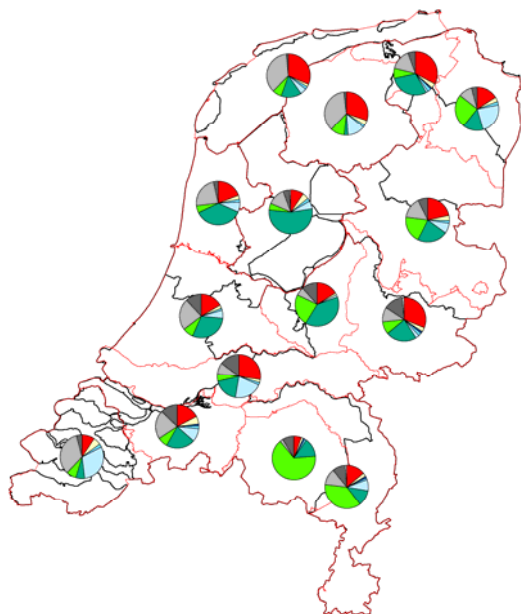
Legenda



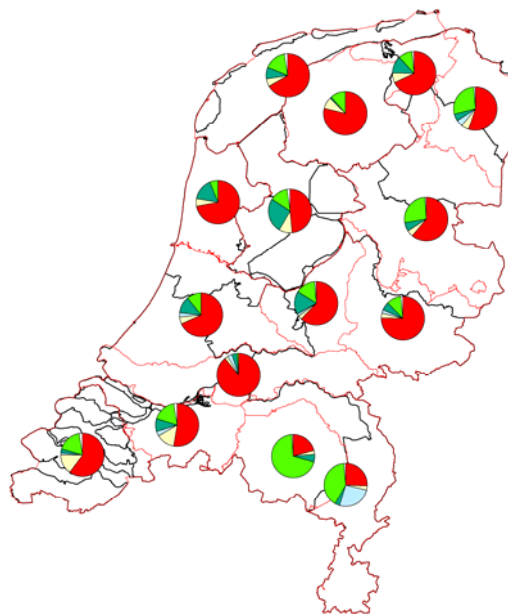
Cadmium



Koper



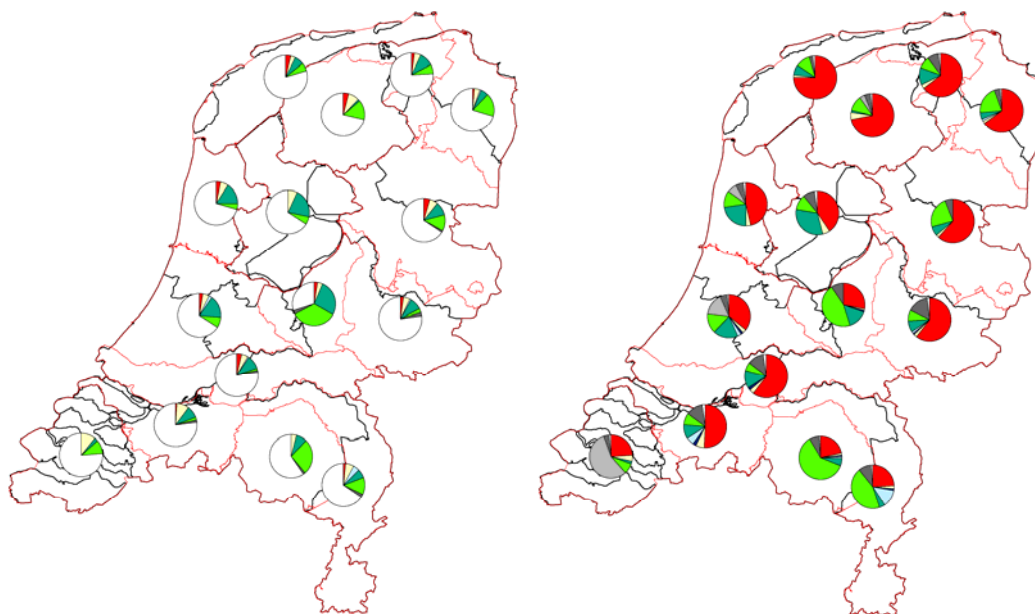
Nikkel



Figuur 5.1 Relatieve bijdrage van bronnen van cadmium, koper en nikkel aan emissies naar het oppervlaktewater op regionaal niveau (bron: ERC 2007, uitspoeling Bonten et al, 2008c).

Lood

Zink



Figuur 5.1 (vervolg) Relatieve bijdrage van bronnen van lood en zink aan emissies naar het oppervlaktewater op regionaal niveau (bron: ERC 2007, uitspoeling Bonten et al, 2008c).

Voor de meeste regio's geldt dat de bijdrages van de verschillende bronnen overeenkomen met de landelijke cijfers. Vooral in de zuidelijke regio's is de bijdrage van uitspoeling soms veel lager dan de bijdrage gebaseerd op landelijke cijfers.

5.2 Bijdrage landbouw aan huidige bodembelasting

De bijdrage van de landbouw aan de huidige bodembelasting bepaalt in welke mate de landbouw bijdraagt aan de toekomstige emissies naar het oppervlaktewater via uitspoeling. In onderstaande tabel zijn voor cadmium, koper, nikkel, lood en zink de belastingen van landbouwgronden weergegeven.

Tabel 5.1 Belasting van landbouwgrond met zware metalen (ton/jr)

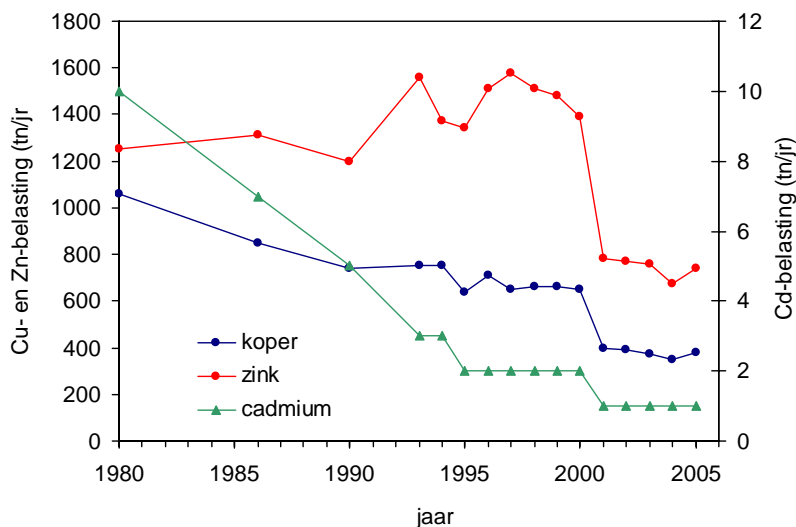
	(kunst)mest minus gewasopname	atmosferische depositie	andere bronnen	totale netto belasting
cadmium	1	1	< 1	2
koper	390	20	237	647
nikkel	48	30	4	82
lood	7	18	50	75
zink	770	80	110	960

bron: data 2005, CBS Statline databank

Uit bovenstaande tabel volgt dat, met uitzondering van lood, de belasting via bemesting de belangrijkste bron van bodembelasting is. Voor lood is de jacht de belangrijkste bron. Voor koper geldt verder het gebruik van kopersulfaat als hoefontsmettingsmiddel een belangrijke bron van koperbelasting is (in post 'andere bronnen').

Cadmium is voor een groot deel afkomstig uit fosfaatkunstmest, als gevolg van hoge gehalten aan cadmium in sommige fosfaatertsen. Zink en koper bevinden zich vooral in dierlijke mest en zijn voor een groot deel afkomstig uit veevoederadditieven en (voor zink) de gehalten in gras en maïs.

De mestwetgeving (o.a. beperking fosfaatkunstmest) en gewijzigde normen voor koper en zink in veevoer hebben geleid tot veranderingen in de belasting van bodem. Voor cadmium, koper en zink zijn de bruto-belastingen door dierlijke mest en kunstmest weergegeven voor de periode 1980-2005.



Figuur 5.2. Bodembelasting van landbouwgronden met Cd, Cu en Zn door dierlijke mest en kunstmest voor de periode 1980-2005 (bron Milieubalans 2006).

De daling in de cadmiumbelasting is enerzijds het gevolg van een verminderde aanwending van fosfaatkunstmest en anderzijds van het gebruik van fosfaatkunstmest met lagere gehalten cadmium. De belasting van koper en zink zijn vooral sterk gedaald in het jaar 2001 door een verlaging van de gehalten koper en zink in veevoer.

5.3 Verhouding bodembelasting en uitspoeling naar het oppervlaktewater

Het neerslagoverschot zorgt ervoor dat zware metalen uit de bodem worden getransporteerd naar het oppervlaktewater of het diepere grondwater. De verhouding tussen de huidige uitspoeling uit de bodem en huidige belasting van de bodem geeft aan of de uitspoeling in toekomst toe zal nemen of af zal nemen. In onderstaande tabel zijn voor de metalen cadmium, koper, nikkel, lood en zink de huidige belasting van de landbouwgrond en de huidige uitspoeling uit landbouwgronden weergegeven.

Tabel 5.2 Belasting en uitspoeling van/uit landbouwgronden voor zware metalen (ton/jr)

	netto-bodembelasting	uitspoeling	verhouding belasting:uitspoeling
cadmium	2	0,08	25
koper	647	9,0	72
nikkel	82	18	4,6
lood	75	1,1	68
zink	960	96	10

Uit bovenstaande tabel volgt dat voor alle metalen de huidige bodembelasting van landbouwgronden vele malen hoger is dan de huidige uitspoeling. Dit betekent dat de uitspoeling bij ongewijzigde bodembelasting in de toekomst zal toenemen. In 2008 zullen door Alterra modelberekeningen worden uitgevoerd die een schatting geven van de mate waarin en de snelheid waarmee de uitspoeling toe zal nemen.

Literatuur

Boer, M. & K.J. Hin, 2003. *Zware metalen in de melkveehouderij : resultaten en aanbevelingen vanuit het project 'Koeien & Kansen'*, CLM-rapport 587-2003.

Boer M., A. Kool, F. van der Schans, 2005. *Gebruik van kopersulfaat in voetbaden - De overschotten lopen uit de klauwen*, CLM-rapport 627-2006.

Bonten, L.T.C., P.F.A.M. Römkens & G.B.M. Heuvelink, 2004. *Uitspoeling van zware metalen in het landelijk gebied, modellering van uitspoeling op regionale schaal: modelaanpak, resultaten modelberekeningen en modelvalidatie*, Alterra-rapport 1044.

Bonten, L.T.C. & D.J. Brus, 2006. *Belasting van het oppervlaktewater in het landelijk gebied door uitspoeling van zware metalen. Modelberekeningen t.b.v. emissieregistratie 2006 en invloed van redoxcondities*. Alterra-rapport 1340.

Bonten, L.T.C., J.E. Groenenberg & P.F.A.M. Römkens, 2007. *EU-Soil Strategy; Deelproject V: Risk Assessment voor zware metalen*, Alterra-rapport 1541.

Bonten, L.T.C., J.E. Groenenberg, L. Weng & W.H. van Riemsdijk, 2008a. *Use of speciation and complexation models to estimate heavy metal sorption in soils*. Geoderma, in press.

Bonten, L.T.C., B. van der Grift & J. Klein, 2008b. *Achtergrondbelasting van het oppervlaktewater met zware metalen ten gevolge van uitspoeling uit de bodem*. Alterra-rapport 1636.

Bonten, L.T.C. & J.E. Groenenberg, 2008c. *Uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied. Modelberekeningen tbv emissieregistratie 2008*, Alterra-rapport.

CBS, *Statline databank*, www.cbs.nl

Delahaye R., P.K.N. Fong, M. van Eerdt, K.W. van der Hoek, C.S.M. Olsthoorn, 2003. *Emissie van zeven zware metalen naar landbouwgrond*, CBS.

De Vries, W., P.F.A.M. Römkens & J.C.H. Voogd, 2004. *Prediction of the long term accumulation and leaching of zinc in Dutch agricultural soils: a risk assessment study*, Alterra-rapport 1030.

Dijkstra, J.J., Meeussen, J.C.L. & Comans, R.N.J., 2004. *Leaching of heavy metals from contaminated soils: An experimental and modeling study*. Environ. Sci. Technol., 38: 4390-4395.

EU, 2000. *Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid*, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L 327/1.

EU, 2003. *Richtlijn 70/524/EEG betreffende toevoegingsmiddelen in de diervoeding*, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L 187/11.

EU, 2005. *Richtlijn 2005/87/EG van de Commissie inzake ongewenste stoffen in diervoeding, wat lood, fluor en cadmium*, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L 318/19.

Griffioen, J. & Venema, P., 1999. *Een geïntegreerd transportmodel voor grondwaterkwaliteit. Deelrapport 5: Modelbenadering voor sorptie van sporenelementen aan bodembestanddelen*. NITG 99-156-B, TNO, Utrecht.

Groenenberg, J.E., P.F.A.M. Römkens & W. de Vries, 2006. *Prediction of the long term accumulation and leaching of copper in Dutch agricultural soils: a risk assessment study*, Alterra-rapport 1278.

Gunnink J.L., R.N. Nieuwenhuis, S. Postma, L. Stax, 2003. *Raamplan voor bodembeheer bij van nature verhoogde arseengehalten*, SKB-rapport SV-611.

Kroes J.G., L.T.C. Bonten, P. Groenendijk & B. van der Grift, 2008. *Dynamische modellering van cadmium- en zinktransport in het stroomgebied van de Keersop; Bijdrage aan een grondwatermodel voor de Vlaamse en Nederlandse Kempen*, Alterra-rapport 1643.

Noort, P. van, C. Cuypers, A. Wintersen, D. de Zwart, W.J.G.M. Peijnenburg, L. Posthuma, B.J. Groenenberg & J. Harmsen, 2006. *Beslissen over bagger op bodem. Deel 2. Onderbouwing stofgedragmodellering en voorspelde landbodemconcentraties na verspreiding bagger op land*, RIVM rapport 711701045.

Rietra, R.P.J.J. & P.F.A.M. Römkens, 2007a. *Cadmium en zink in de bodem en landbouwgewassen in de Kempen 2006; Vervolgonderzoek voor de gewassen schorseneer, waspeen en prei*, Alterra-rapport 1422.

Rietra, R.P.J.J. & P.F.A.M. Römkens, 2007b, *Actief bodembeheer Toemaakdeken; Risico's van bodemverontreiniging voor de kwaliteit van veevoer en de gehalten aan lood en cadmium in orgaanvlees in het Veenweidegebied*, Alterra-rapport 1433.

Römkens P.F.A.M, L.T.C Bonten, R.P.J.J. Rietra, J. E Groenenberg, A.C.C. Plette & J. Bril, 2003. *Uitspoeling van zware metalen uit landbouwgronden; Schatting van de bijdrage van uitspoeling uit landbouwgronden aan de belasting van het oppervlaktewater: modelaanpak en resultaten*, Alterra-rapport 791.

Römkens, P.F.A.M., J.E. Groenenberg, R.P.J.J. Rietra, & W. de Vries, 2008. *Onderbouwing LAC2006-waarden en overzicht van bodem-plant relaties ten behoeve van de Risicotoolbox; een overzicht van gebruikte data en toegepaste methoden*, Alterra-rapport 1442.

- Schröder, T.J., 2005. *Solid-solution partitioning of heavy metals in floodplain soils of the rivers Rhine and Meuse: Field sampling and geochemical modelling*. proefschrift Wageningen Universiteit.
- Soresma, 2006. *Water- en stoffenbalansen voor drie beken in de het grensgebied van de Vlaamse en Nederlandse Kempen*, Soresma-rapport 124950115/kla.
- Spijker, J., 2005. *Geochemical patterns in the soils of Zeeland. natural variability versus anthropogenic impact*. proefschrift Universiteit Utrecht.
- Spijker, J., R. Comans, J. Dijkstra, B.J. Groenenberg, A. Verschoor, 2008. *Uitloging van grond. Zijn maximale waarden beschermend voor het grondwater? Fase 1: modelmatige verkenning*. RIVM rapport 711701077.
- Van Gijlswijk, R.N. & R.H.J. Korenromp, 2003. *Metal fluxes from leaching of sandy soils in agricultural catchments in the Netherlands*, TNO-report R2003/448.
- Vink, J.P.M. & J.C.L. Meeussen, 2006. *BIOCHEM-ORCHESTRA: A tool for evaluating chemical speciation and ecotoxicological impacts of heavy metals on river flood plain systems*, Environ. Poll. 148(3), 833-841.
- VROM, 2004. *Regeling Milieukwaliteitseisen gevaarlijke stoffen oppervlaktewateren*, Stcrt., 247.
- VROM, 2007. *Besluit Bodemkwaliteit*, Stb., 469.
- Zwolsman, J.J.G. & K. de Schampelaere, 2007. *Biologische beschikbaarheid en actuele risico's van zware metalen in het oppervlaktewater*, STOWA rapport 2007-12.

