WAGENINGEN UR
For quality of life

Mogelijkheden voor maatregelen en invloed van voorgenomen beleid m.b.t. nutriënten op de uitspoeling van zware metalen naar het oppervlaktewater

L.T.C. Bonten
J.E. Groenenberg
P.F.A.M. Römkens

Alterra-rapport 1818, ISSN 1566-7197

Mogelijkheden voor maatregelen en invloed van voorgenomen beleid mbt. nutriënten op de uitspoeling van zware metalen naar het oppervlaktewater

In opdracht van Ministerie van LNV, BO-05 cluster Mineralen en Milieukwaliteit.

Mogelijkheden voor maatregelen en invloed van voorgenomen beleid mbt. nutriënten op de uitspoeling van zware metalen naar het oppervlaktewater

L.T.C. Bonten
J.E. Groenenberg
P.F.A.M. Römkens

Alterra-rapport 1818

Alterra, Wageningen, 2009

REFERAAT

Bonten, L.T.C., J.E. Groenenberg & P.F.A.M. Römkens, 2009. *Mogelijkheden voor maatregelen en invloed van voorgenomen beleid m.b.t. nutriënten op de uitspoeling van zware metalen naar het oppervlaktewater.* Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1818. 41 blz.; 16 fig.; 12 tab.; 21 ref.

In veel oppervlaktewater in Nederland overschrijden de concentraties van zware metalen de geldende normen voor oppervlaktewaterkwaliteit. Een deel van deze metalen is afkomstig van zware metalen in mest, kunstmest en hoefontsmettingsmiddelen. Het doel van deze studie is om door middel van lange-termijn-modelberekeningen inzicht te geven in i) wat de mogelijkheden zijn voor maatregelen om de belasting van het oppervlaktewater met zware metalen te verminderen en ii) wat de effecten van voorgenomen maatregelen met betrekking tot nutriënten zijn. Uit de modelberekeningen volgt dat alleen de meest vergaande maatregelen leiden tot een "stand-still" van de uitspoeling naar het oppervlaktewater. Voor de overige scenario's neemt de uitspoeling op termijn toe.

Trefwoorden: zware metalen, uitspoeling, bodem, oppervlaktewater, varianten-analyse

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra vestrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.boomblad.nl/rapportenservice.

© 2009 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 verveelvoudigd 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.

[Alterra-rapport 1818/januari/2009]

Inhoud

Samenvatting 7

1 Inleiding 9

2 Varianten 11
2.1 Inleiding 11
2.2 Beschrijving varianten 11
2.3 Verdeling van metalen over Nederland 13
2.3.1 Verdeling mest over landbouwgronden 13
2.3.2 Gehaltes van zware metalen in mest 13
2.4 Aannames en beperkingen 16

3 Rekenmethode 19
3.1 Inleiding 19
3.2 Algemene modelbeschrijving 19
3.3 Verschillen tov. eerdere uitspoelingberekeningen 20
3.4 Berekening afvoer door gewasopname 21

4 Resultaten en discussie 23
4.1 Uitspoeling 23
4.2 Balansen 26
4.3 Gevolgen voor de KRW 31

5 Conclusies 33

Literatuur 35

Bijlage 1 Coefficienten voor berekening gewasopname 37
Bijlage 2 Mediane metaalgehalten van gewassen. 39
Bijlage 3 Bijdrage van bronnen aan belasting oppervlaktewater 41

Samenvatting

De Kaderrichtlijn Water (KRW) is een Europese richtlijn ter verbetering van waterkwaliteit en –kwantiteit. Wanneer het gaat om de waterkwaliteit staan tot dusver vooral nutriënten centraal, maar de KRW stelt ook eisen aan zware metalenconcentraties van het oppervlaktewater. Zware metalen in het oppervlaktewater zijn echter deels gerelateerd aan nutriënten omdat metalen, in het bijzonder cadmium, koper en zink, in dierlijke mest of kunstmest voorkomen. In veel oppervlaktewateren in Nederland overschrijden de concentraties van zware metalen de geldende normen voor oppervlaktewaterkwaliteit. Verder is voor de meeste gebieden in Nederland de huidige toevoer van metalen naar de bodem veel groter dan de huidige uitspoeling. Dit betekent dat de voorraad metalen in de bodem toeneemt waardoor op termijn de uitspoeling nog verder toeneemt.

Het doel van deze studie was om inzicht geven in i) wat de mogelijkheden zijn voor maatregelen om de uitspoeling van zware metalen te verminderen en ii) wat de effecten van maatregelen met betrekking tot nutriënten op de uitspoeling van zware metalen zijn. Doordat metalen sterk aan de bodem gebonden worden, bestaat er geen directe en onmiddellijke relatie tussen huidige bronnen van bodembelasting en uitspoeling. Veranderingen van de bodembelasting zullen daarom pas na enige tijd doorwerken in de uitspoeling uit de bodem. Hierom zijn lange termijn modelberekeningen gebruik om de relatie tussen bodembelasting, veranderingen daarin en uitspoeling van zware metalen te tonen.

Uit de modelberekeningen volgt dat:

- De huidige mestgift en de huidige gehaltes van zware metalen in mest leiden tot een sterke toename van de uitspoeling van cadmium, koper en zink vanuit bodems naar het oppervlaktewater. Deze toename is het grootst voor koper, gevolgd door zink en tenslotte cadmium;
- De reeds voorgenomen, op nutriënten gerichte, maatregelen conform de Evaluatie Mestwetgeving zijn onvoldoende om de toename van uitspoeling tot stilstand te brengen;
- De meest vergaande maatregelen leiden tot een "stand-still" voor wat betreft de uitspoeling naar het oppervlaktewater. De in de berekeningen meegenomen maatregelen zijn in dit geval generieke maatregelen conform de evaluatie mestwetgeving, halvering van koper en zink in veevoer, stopzetten van koper in hoefontsmettingsbaden en halvering van het cadmiumgehalte in P-kunstmest;
- De effecten van maatregelen op de uitspoeling zijn pas na enkele decennia duidelijk zichtbaar;
- Door maatregelen kan de landbouwsector een verdere verslechtering van de oppervlaktewaterkwaliteit mbt. zware metalen tegengaan. Een daadwerkelijke verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit lijkt echter alleen te realiseren door een vermindering van andere bronnen van zware metalen;

- De maatregelen hebben voor alle metalen duidelijke gevolgen voor de balansen van de bodem. De meest vergaande maatregelen leiden in zandgebieden tot een duidelijke daling van de hoeveelheden van cadmium en zink in de bodem terwijl de accumulatie voor koper duidelijk afneemt. In klei- en veengronden leiden deze maatregelen alleen voor zink tot een afname, maar wordt ook hier de accumulatie van cadmium en koper duidelijk verlaagd.

1 Inleiding

Achtergrond

De Kaderrichtlijn Water (KRW) is een Europese richtlijn ter verbetering van waterkwaliteit en –kwantiteit. Daarbij staan tot dusver nutriënten centraal wanneer het gaat om waterkwaliteit. De KRW stelt echter ook eisen aan zware metalenconcentraties van het oppervlaktewater. De belasting van het oppervlaktewater met zware metalen is echter gerelateerd aan de belasting door nutriënten omdat metalen in dierlijke mest of kunstmest voorkomen. Dit geldt voornamelijk voor de metalen cadmium (Cd), koper (Cu) en zink (Zn). Koper en zink zitten vooral in dierlijke mest en zijn afkomstig uit veevoer, veevoeradditieven en, voor koper, ook uit hoefontsmettingsmiddelen (Boer et al., 2006). Vanwege de Kaderrichtlijn Water worden reeds maatregelen genomen om de emissies van nutriënten naar het oppervlaktewater te verminderen (van der Bolt et al., 2008). Deze maatregelen zijn daarom dan ook van invloed op de bodembelasting met zware metalen.

In veel oppervlaktewateren in Nederland overschrijden de concentraties van zware metalen de geldende normen voor oppervlaktewaterkwaliteit (Bonten & Römkens, 2008). Modelberekeningen geven aan dat de uitspoeling van zware metalen uit de bodem een belangrijke bijdrage levert aan de belasting van het oppervlaktewater en daarmee aan de te hoge concentraties in het oppervlaktewater (Bonten & Groenenberg, 2008).

Verder is voor de meeste gebieden in Nederland de huidige toevoer van metalen naar de bodem veel groter dan de huidige uitspoeling (Bonten & Römkens, 2008). Dit betekent dat de voorraad metalen in de bodem toeneemt wat tot gevolg heeft dat op termijn de uitspoeling in deze gebieden nog verder toeneemt.

Voor die metalen waarvoor de landbouw een belangrijke bron is (Cd, Cu en Zn) wil LNV graag weten i) wat de mogelijkheden zijn voor maatregelen om de uitspoeling van zware metalen te verminderen en ii) wat de effecten van maatregelen met betrekking tot nutriënten op de uitspoeling van zware metalen zijn.

Doordat metalen sterk aan de bodem gebonden worden, bestaat er geen directe en onmiddellijke relatie tussen huidige bronnen van bodembelasting en uitspoeling. Veranderingen van de bodembelasting zullen daarom pas na enige tijd doorwerken in de uitspoeling uit de bodem. Hierdoor zijn lange termijn modelberekeningen nodig die de relatie tussen bodembelasting, veranderingen daarin en uitspoeling van zware metalen simuleren.

Doelstelling

Het doel van deze studie is om door middel van modelberekeningen inzicht te geven in de bijdrage van (veranderingen van) bronnen op de uitspoeling van zware metalen vanuit de bodem naar het oppervlaktewater. Hierbij wordt gekeken wat de gevolgen

zijn van voorgenomen maatregelen om nutriëntenemissies te reduceren en wat de mogelijkheden zijn voor maatregelen direct gericht op de vermindering van zware metaaluitspoeling zoals het verminderen van metalen in voer en het verbieden of reduceren van het gebruik van koper in hoefontsmettingsmiddelen.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat een overzicht van de verschillende mogelijke maatregelen. Daarnaast komen de gevolgen van deze maatregelen op de belasting van de bodem aan de orde evenals de uiteindelijk door te rekenen scenario's die bestaan uit een of meerdere maatregelen. In hoofdstuk 3 staat een kort overzicht van het gebruikte model en de aannames en beperkingen ten aanzien van de modelberekeningen. In hoofdstuk 4 staan de resultaten van de modelberekeningen en een bespreking van de scenario-analyses. Tenslotte bevat hoofdstuk 5 de belangrijkste conclusies van deze studie

2 Varianten

2.1 Inleiding

De belangrijkste bron voor koper en zink voor landbouwgronden is de aanvoer via mest (zie Tabel 2.1). Koper en zink in mest is voornamelijk afkomstig uit ruwvoer, voedingsconcentraten en minerale supplementen voor vee (Römkens et al., 2008). Koper en zink zitten van nature in ruwvoer, maar daarnaast worden deze metalen, welke beide essentiële nutriënten voor vee zijn, in grote hoeveelheden bijgevoerd ter bevordering van de groei en als antiwormmiddel. Een groot deel (>90%) van de door vee ingenomen metalen komt via faeces en urine uiteindelijk in de mest (Römkens et al., 2008). Koper wordt ook gebruikt als ontsmettingsmiddel in baden voor hoefontsmetting. In de praktijk worden de gebruikte koperbaden vaak in de mestput geloosd hetgeen leidt tot een forse extra belasting met koper (Boer et al., 2006). Deze laatste post is echter niet opgenomen in de huidige CBS cijfers (Tabel 2.1). Voor cadmium is naast dierlijke mest ook kunstmest (fosfaat kunstmest) een belangrijke bron van Cd voor de belasting van landbouwgrond.

Tabel 2.1 Belasting van landbouwgronden met zware metalen in 2006 (in ton/jr)

metaal	dierlijke mest	kunstmest	depositie	overige bronnen	totaal
Cu	435	50	20	20	525
Zn	1230	45	70	150	1495
Cd	3	2	1	0	5

data volgens CBS: statline.cbs.nl

Mogelijkheden om de aanvoer van metalen te reduceren, zijn onder meer het verminderen van koper en zink in voedseladditieven en mineralensupplementen en door het afschaffen van koper in voetbaden. Voor cadmium zijn er mogelijkheden tot vermindering van de aanvoer door gebruik te maken van P-kunstmeststoffen met lagere Cd gehaltes. Daarnaast zal de invoering van maximale N en P giften volgens de EMW leiden tot een verlaging van de mestgiften. Dit resulteert indirect ook tot een verminderde belasting met Cu, Zn en Cd.

2.2 Beschrijving varianten

Om na te gaan of het mogelijk is om via maatregelen in de landbouwsector de belasting van het oppervlaktewater met Cd, Cu en Zn te verminderen zijn een aantal scenario's doorgerekend. Deze scenario's zijn deels gebaseerd op reële bestaande of voorgenomen maatregelen. Dit betreft voornamelijk de wijzigingen in de mestgift en de veranderingen in de gehalten aan N en P op basis van de Evaluatie Mestwetgeving. De maatregelen die betrekking hebben op de gehalten aan metalen in voer en kunstmest zijn deels gebaseerd op aannames (mogelijke maatregelen) en de kwantitatieve uitwerking van de maatregelen berust daarom niet op reëel voorgenomen maatregelen. Zo is bij de vermindering van de gehalten koper en zink

in dit rapport niet gekeken naar de behoefte van dieren voor deze elementen. Uiteraard kan een verlaging aan de gehalten aan metalen in voer alleen doorgevoerd worden indien voldaan wordt aan de behoefte van de dieren. Het is echter, op basis van de huidige kennis zeer aannemelijk dat een belangrijke reductie van de aanvoer via voer mogelijk is.

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de scenario's zoals toegepast in dit rapport. Elk van de scenario's is voor 100 jaar doorgerekend.

1. Business as usual (BAU)
   Dit is een scenario waarbij de huidige mestgiften en metaalgehalten in mest constant gehouden worden gedurende de gehele periode
2. Evaluatie mestwetgeving (EMW)
   In dit scenario worden de mestgiften aangepast om te voldoen aan de mestwetgeving voor stikstof en fosfaat. Er is hierbij van uitgegaan dat gehalten N en P in dierlijke meststoffen gelijk blijven en dat de benodigde verminderingen in N en P giften bereikt worden door een vermindering van de mestgift. Voor N is er van uitgegaan dat de gebruiksnormen in 2009 gehaald worden. Voor fosfaat wordt uitgegaan van evenwichtsbemesting in 2015. De gehalten Cd, Cu en Zn zijn onveranderd. Dit scenario is verder gebruikt als basis voor de andere scenario's.
3. EMW+vermindering koper en zink in diervoeder
   In dit scenario is gerekend met een halvering van de gehalten Cu en Zn in diervoeders. Dit is vertaald naar een halvering van de Zn gehalten in mest, omdat het grootste deel van de zware metalen in diervoeders niet door door de dieren worden opgenomen (Underwood & Suttle, 1999). Voor Cu is aangenomen dat een deel van het koper afkomstig is van diervoeder en een ander deel afkomstig is uit voetbaden. In dit scenario is het gehalte koper in mest dat afkomstig is uit diervoeding gehalveerd, het deel afkomstig uit voetbaden is constant gehouden. De hoeveelheden toegediende mest zijn gelijk aan die in het scenario volgens de EMW.
4. EMW+vermindering Cd in fosfaatmeststoffen
   Het gehalte Cd in fosfaat-kunstmeststoffen, de grootste bron voor aanvoer van Cd, is met 80% verlaagd. De hoeveelheden toegediende mest zijn gelijk aan die in het scenario volgens de EMW
5. EMW + afschaffen van koper in hoefontsmettingsbaden. Het gehalte koper in diervoeding is onveranderd. Voor zink is dit niet van betekenis omdat zink niet in de hoefontsmettingsbaden aanwezig is. Dit scenario is daarom alleen voor koper van belang.
6. EMW+vermindering koper en zink in diervoeders+afschaffen koper in hoefontsmettingsbaden. Dit scenario omschrijft de maximaal mogelijke reductie van de aanvoer waarbij zowel de gehalten in voer als de aanvoer via koperbaden zijn gereduceerd. Dit scenario is alleen voor koper van belang, omdat zink niet in hoefontsmettingsbaden voorkomt.
7. Nul-belasting
   Dit is een theoretisch scenario waarbij de belasting tot nul is gereduceerd. Dit is van belang om te zien in welke mate de bodem zonder belasting nog bijdraagt

aan de belasting van het oppervlaktewater. Het stoppen van de aanvoer naar de bodem betekent immers niet dat de uitspoeling daarmee ook stopt.

2.3 Verdeling van metalen over Nederland

2.3.1 Verdeling mest over landbouwgronden

Voor de verdeling van mest over landbouwgronden in Nederland is gebruik gemaakt van het model INITIATOR2 (De Vries et al., in prep). Met dit model wordt een zo realistisch mogelijke verdeling van de mest over Nederland berekend. Als basis voor de berekeningen dient het bestand Geografische Informatie Agrarische Bedrijven (GIAB). GIAB bevat de locaties van de agrarische bedrijven in Nederland. Aan deze bedrijfslocaties zijn gegevens gekoppeld zoals bedrijfstype, diersoorten en dieraantallen, bedrijfsomvang (NGE, hectares) en gewasoppervlakte. Op basis van dieraantallen en staltype wordt de productie van mest berekend met de daarbij behorende excreties aan N en P en metalen. De verdeling van de mest gebeurt op basis van de mestruimte voor N en P per gemeente op basis van het landgebruik. In INITIATOR2 is het areaal landbouwgrond in Nederland ingedeeld naar bodem-gewas combinaties en mestregio. De indeling naar gewasgroepen is vooralsnog beperkt tot grasland, snijmaïs en overige gewassen. Voor het toekennen van arealen landbouwgrond per gewasgroep wordt uitgegaan van de informatie zoals aanwezig in STONE (zie paragraaf 3.2).

Schattingen van de aanvoer van effectieve organische stof via overige organische producten (schuimaarde, compost, champost, Zuiveringsslib en GFT-compost) naar bouwland zijn in INITIATOR2 gebaseerd op nationale schattingen van Velthof (2004) op basis van CBS data.

Voor de berekening van de hoeveelheid en verdeling van mest voor het Business As Usual (BAU) scenario is uitgegaan van de cijfers voor 2004. Voor het berekenen van de hoeveelheden en verspreiding van het scenario EMW is uitgegaan van de gebruiksnormen voor N en evenwichtsbemesting met P in 2015.

Voor de belasting als gevolg van atmosferische depositie is gebruik gemaakt van landsdekkende berekeningen voor atmosferische depositie door Bleeker (2004) voor het jaar 2000. De depositie is constant gehouden in de berekeningen.

2.3.2 Gehaltes van zware metalen in mest

Voor de berekening van de huidige bodembelasting is gebruik gemaakt van gemiddelde gehaltes van zware metalen in drie mestsoorten, namelijk runderdrijfmest, varkensmest en kippenmest. In voorgaande studies naar effecten van metaalbelasting van landbouwgronden (De Vries et al., 2004, Groenenberg et al., 2006 en Bonten et al., 2007) is uitgegaan van de gehaltes in mest zoals deze in 1996 bepaald zijn door Driessen en Roos (1996). Vanwege de aanscherping van maximale

gehalten Cu en Zn in diervoeders vanaf het jaar 2000 door middel van wetgeving op het gebied van toegestane hoeveelheden in diervoeding (EU-2004/C 50/01) zijn in genoemde studies de schattingen van koper- en zinkgehaltes in mest gereduceerd om voor deze verlaagde aanvoer te corrigeren. In 2008 zijn echter voor het eerst weer op landelijke schaal voor een groot aantal monsters mestgehalten gemeten (Römkens en Rietra, 2008). Uit deze blijkt echter dat de verwachte daling van metaalgehaltes niet of nauwelijks heeft plaatsgevonden. Zo blijkt dat de gehaltes voor Cu in varkensmest gelijk zijn gebleven t.o.v. 1996 en dat de gehaltes aan Cu in rundermest zelfs fors zijn gestegen (verdrievoudigd). De gehaltes aan Zn zijn zowel in runder- als varkensmest gestegen t.o.v. 1996. Gehaltes aan Cu en Zn in pluimveemest zijn beide wel gedaald. De gehaltes aan Cd zijn in alle drie de mestsoorten ongeveer gelijk gebleven. Voor deze studie zijn de gemiddelde gehaltes uit 2008 gebruikt (zie Tabel 2.2).

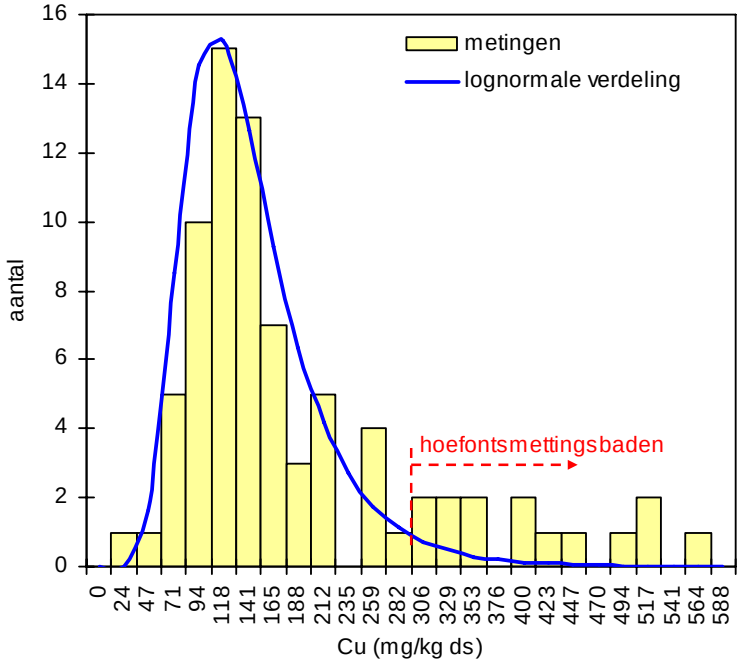
Tabel 2.2 Gemiddelde gehaltes van zware metalen in verschillende mestsoorten (mg/kg droge stof)

mesttype	Cd	Cu	Zn
runderdrijfmest	0.27	182	248
varkensdrijfmest	0.39	444	990
vaste kippenmest	0.22	86	297

Schatting bijdrage van hoefontsmettingsbaden aan Cu gehalten in runderdrijfmest

De afvoer van hoefontsmettingsbaden met kopersulfaat voor runderen via de mestput leidt tot een substantiële verhoging van de kopergehaltes in runderdrijfmest. Ofschoon er geen officiële gegevens over het gebruik van kopersulfaat in voetbaden bestaan, is de bijdrage hiervan op twee onafhankelijke manieren geschat. Enerzijds op basis van gegevens uit een enquête onder boeren (Boer et al., 2006) en anderzijds op basis van de data van zware metaalgehalten in mest uit het onderzoek van Römkens en Rietra (2008).

Uit de frequentieverdeling van de kopergehaltes in runderdrijfmest (Römkens en Rietra, 2008) blijkt dat in ongeveer 20% van de monsters zeer hoge gehaltes aangetroffen worden (zie Figuur 2.1). Het gemiddeld kopergehalte van alle mestmonsters (n = 80) bedraagt 182 mg/kg hetgeen ruim vier keer zo hoog is als dat data uit 1996 (Driessen en Roos, 1996).



Figuur 2.1 Verdeling van kopergehaltes in runderdrijfmest (vergelijking met verwachte aantallen bij lognormale verdeling)

De 20% zeer hoge gehaltes zijn waarschijnlijk het gevolg van het gebruik van kopersulfaat in hoefontsmettingsbaden en addities van koper aan voer. De data in Figuur 2.1 tonen aan dat er ook een piek ligt rond 128 mg/kg. Voor de berekeningen wordt nu aangenomen dat het gehalte van koper in rundermest tengevolge van het koper in het veevoer deze 128 mg/kg d.s. bedraagt. Het gebruik van koper in voetbaden leidt daarmee tot een verhoging van het gehalte met 54 mg/kg d.s. (het verschil tussen de 182 en 128 mg/kg).

Uit een enquête onder boeren van 'koeien voor kansen' blijkt dat op 40% van de bedrijven kopervoetbaden gebruikt worden voor hoefontsmetting . Het gemiddelde gebruik aan koper op de bedrijven met kopervoetbaden is 1,44 kg kopersulfaat ($CuSO_4.5H_2O$). Omgerekend naar Cu is dit gemiddeld 0,14 kg Cu per melkkoe. Uitgaande van een mestproductie van 26 ton mest/jaar per koe (De Vries et al., *in prep*) en een drogestofgehalte van 0,090 kg droge stof/kg mest, levert het gebruik van voetbaden gemiddeld een additionele stijging van 61 mg Cu/kg mest.

Beide schattingen leveren daarmee een (bijna) gelijke bijdrage van voetbaden aan de Cu concentratie in mest. Let wel, dit betreft slechts een aanname op basis van nu beschikbare data. Het daadwerkelijk gebruik van voetbaden en het effect daarvan op kopergehaltes in mest zijn nog steeds onderwerp van onderzoek (o.a. Smolders et al., 2008).

2.4 Aannames en beperkingen

De modelberekeningen voor de hier beschreven scenario's en maatregelen tonen de lange-termijn gevolgen voor uitspoeling van metalen van de bodem naar het oppervlaktewater. Naast de in dit rapport opgenomen maatregelen die vooral betrekking hebben op de bodembelasting, zijn er andere al dan niet autonome ontwikkelingen die de uitspoeling beïnvloeden. Hier volgt nu een korte bespreking van dergelijke ontwikkelingen die nu niet in de modelberekeningen zijn meegenomen. Hierbij komen ook de mogelijke gevolgen van deze ontwikkelingen aan de orde voor wat betreft het effect op de uitspoeling van zware metalen.

a. Klimaatveranderingen
Men verwacht dat klimaatveranderingen in Nederland leiden tot een toename van de temperatuur en de hoeveelheid neerslag. Vooral de stijging van de neerslaghoeveelheid kan leiden tot een toename van de uitspoeling van zware metalen. Daarnaast zullen in Nederland ook maatregelen genomen worden om deze extra hoeveelheid neerslag te kunnen verwerken. Sommige van deze maatregelen, bijvoorbeeld peilaanpassingen, hebben ook invloed op de uitspoeling van zware metalen. Generieke uitspraken over de orde van grootte van het effect op uitspoeling zijn echter niet mogelijk gezien de grote regionale verschillen in hydrologie en maatregelen.

b. Landgebruikveranderingen
Bij de modelberekeningen in dit rapport gaan we uit van een gelijkblijvend landgebruik gedurende de gehele periode. In de praktijk is het waarschijnlijk dat het landgebruik in een aantal gebieden echter verandert. Vooral het omzetten van landbouwgrond naar natuur of naar stedelijk gebied heeft een grote invloed op de bodembelasting, omdat in die gevallen de input van zware metalen via mest volledig stopt. Verder leiden landgebruikveranderingen vaak ook tot veranderingen in de hydrologie (vernatting of verdroging), hetgeen een effect heeft op de uitspoeling. Landgebruikveranderingen zijn echter vaak lokaal of regionaal van aard wat de effecten op landelijke schaal beperkt.

c. Depositie
In de modelberekeningen gaan we uit van een constante atmosferische depositie. In werkelijk zal deze in de meeste gevallen afnemen door emissiebeperkende maatregelen. Voor landbouwgronden heeft dit echter weinig effect, omdat de bijdrage van atmosferische klein is ten opzichte van het totaal. Voor natuurgebieden is depositie meestal de enige bron, waardoor de bodembelasting afneemt bij een verlaging van de atmosferische depositie.

d. Veranderingen van bodemeigenschappen
De bodemeigenschappen organische stofgehalte en zuurgraad zijn niet constant, maar kunnen veranderen onder invloed van het landgebruik en de veranderingen daarin. Ofschoon de huidige inzichten in de lange-termijnveranderingen van het organische-stofgehalte in de bodem nog uiteenlopen, laten recente model-berekeningen zien dat de gehaltes in de bodem van de meeste gronden vrijwel niet

veranderen (van der Bolt et al., 2008), Lokaal kan het organische-stofgehalte dalen, onder meer in de veenkoloniale gronden en in kleigronden langs de kust.

De zuurgraad wordt bij landbouwgronden meestal door middel van bekalking constant gehouden. In de meeste natuurgebieden is er in algemeen sprake van een lichte toename van het organisch stofgehalte en lokaal een sterke toename van de zuurgraad (vooral de aanleg van bos op voormalige landbouwgrond resulteert in een snelle verzuring). De toename van de zuurgraad leidt tot een afname van de sorptie en daarmee tot een toename van de uitspoeling.

e. Verandering van nutriëntgehaltes in mest.

In de scenario's voor de EMW is er van uitgegaan dat de doelstellingen voor N en P bereikt worden door aanpassing van de hoeveelheden aangewende mest. Er is geen rekening gehouden met aanpassingen in voer, bijvoorbeeld het geven van minder eiwitrijk voer, waarmee de gehaltes van nutriënten (hier N) verminderd kunnen worden om zo tot een lagere belasting te komen. Een verlaging van de gehalten van nutriënten heeft zeer waarschijnlijk geen invloed op het metaalgehaltes van mest. Wanneer dergelijke maatregelen gebruikt worden om de EMW-doelstellingen te halen zijn de in de berekeningen gebruikte metaalbelastingen te laag voor het EMW scenario.

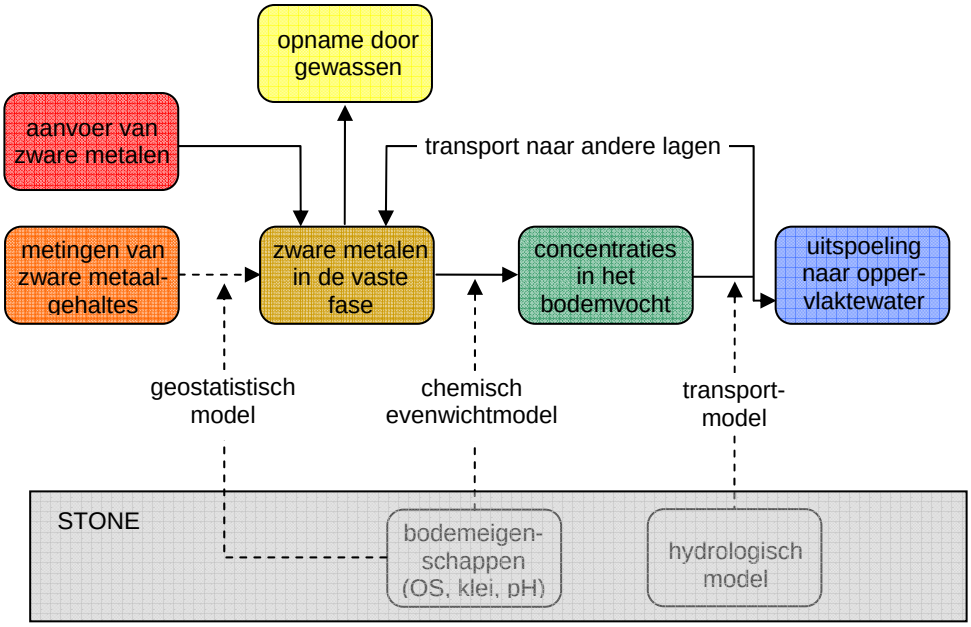
3 Rekenmethode

3.1 Inleiding

De berekening van de uitspoeling en gevolgen van maatregelen gebeurt met een model dat vrijwel gelijk is aan het model dat toegepast wordt om de uitspoeling voor de emissieregistratie te berekenen. Dit model is in detail beschreven in een aantal Alterra-rapporten (Bonten & Groenberg, 2008; Bonten et al. 2008; Bonten & Brus, 2006). In dit hoofdstuk beperken we ons daarom tot een algemene beschrijving van het model en gaan we kort in op de verschillen met het model voor de berekening ten behoeve van de emissieregistratie.

3.2 Algemene modelbeschrijving

In Figuur 3.1 staat een schema van het model voor de berekening van de uitspoeling en veranderingen daarin.



Figuur 3.1 Schematische weergave van het model voor de dynamische berekeningen van de uitspoeling van zware metalen uit de bodem naar oppervlaktewater.

De basis van de modelberekeningen zijn de gehaltes van zware metalen in de bodem. Het startpunt van de modelberekeningen is het jaar 2000. Voor het schatten van de gehaltes in 2000 is uitgegaan van recente metingen (uit de periode 1990-2005) van zware metaalgehaltes in de bodem. Deze gehaltes zijn met behulp van een geostatistisch model vertaald naar landsdekkende kaarten van de gehaltes van zware

metalen in de bodem. Veranderingen in het gehalte in de bodem vinden plaats door zowel aanvoer als afvoer van metalen.

De aanvoer van zware metalen komt voornamelijk door aanwending van (kunst- en dierlijke) mest, en daarnaast door het gebruik van andere organische bodemverbeteraars en atmosferische depositie. De aanvoer is voor de verschillende scenario's beschreven in hoofdstuk 2. Afvoer van metalen uit de bodem vindt voornamelijk plaats via gewasopname. Dit betreft zowel de opname door landbouwgewassen als door de natuurlijke vegetatie in natuurterreinen (zie ook paragraaf 3.4). Andere afvoerroutes zoals oppervlakkige afstroming zijn in de berekeningen niet meegenomen.

Uit de som van aanvoer en afvoer en transport door grondwater volgt een verandering in het gehalte in de bodem. Deze kan zowel positief zijn (stijging van het gehalte in de tijd) of negatief (daling). De daaruit volgende verandering in het totaalgehalte in de bodem dient uiteindelijk als basis voor de berekening van de concentraties aan zware metalen in het bodemvocht en grondwater. Dit gebeurt met chemische evenwichtrelaties op basis van de (nieuwe) gehaltes van zware metalen in de bodem en de bodemeigenschappen.

Het combineren van deze berekende concentraties in het bodemvocht en grondwater met de grondwaterstromen levert uiteindelijk de uitspoeling van metalen naar het oppervlaktewater op en het transport van metalen naar andere bodemlagen.

STONE

Voor de ruimtelijke schematisatie, schematisatie van de bodemprofielen en de hydrologie maken we gebruik van het model STONE (Kroon et al. 2001). Het model STONE is door Alterra in samenwerking met RIVM en RIZA ontwikkeld om de emissies van N en P naar het oppervlaktewater te berekenen. In dit model wordt het landelijk gebied in Nederland onderverdeeld in 6405 ruimtelijk eenheden. Dit zijn unieke combinaties van bodemtype, landgebruik en meteorologie. Voor elk van deze combinaties zijn bodemprofielen geschematiseerd tot een diepte van 13 m –mv op basis van het Bodemkundig Informatiesysteem. Elk van de onderscheiden lagen in de bodemprofielen zijn voorzien van fysische en chemische bodemeigenschappen. Voor elk van de 6405 eenheden is de hydrologie (grondwaterstromen) berekend op basis van de fysische bodemeigenschappen en meteorologische gegevens van de betreffende eenheid. Voor de berekeningen in dit project is gebruik gemaakt van de langjarig gemiddelde hydrologie van de periode 1971-2000 van STONE versie 2.3 (van Bakel et al. 2007).

3.3 Verschillen tov. eerdere uitspoelingberekeningen

De belangrijkste verschillen van dit model met het model zoals gebruikt voor de Emissieregistratie zijn de aanvoer van zware metalen (hoofdstuk 2), opname door gewassen (paragraaf 3.4) en het transport van zware metalen in een bodemprofiel.

Zo wordt voor de Emissieregistratie alleen de momentane uitspoeling berekend en niet de langjarige veranderingen daarin. Wel is het zo dat de uitspoeling zoals berekend met dit model voor het jaar 2000 grotendeels overeenkomt met die berekend voor de Emissieregistratie (Bonten & Groenenberg, 2008).

Een verder verschil is de wijze waarop concentraties van metalen in het diepere grondwater worden berekend. Voor de berekeningen voor de Emissieregistratie maken we gebruik van directe metingen van de concentraties in het grondwater voor dieptes beneden de gemiddeld laagste grondwaterstand (=GLG). Dit is nauwkeuriger dan het berekenen van deze concentraties op basis van gehaltes in de vaste fase, omdat regionale verschillen in concentraties als gevolg van verschillen in geologische oorsprong zo beter worden meegenomen. Voor langjarige berekeningen is het niet mogelijk om uit te gaan van deze gemeten concentraties omdat het aannemelijk is dat deze concentraties veranderen in de tijd door uitspoeling van metalen vanuit de bovengrond naar het diepere grondwater. Daarom gebruiken we bij de berekeningen in dit rapport de, in principe minder nauwkeurige, berekende concentraties.

3.4 Berekening afvoer door gewasopname

De netto afvoer van metalen met oogst van het gewas is berekend door de opbrengst te vermenigvuldigen met het gehalte in de oogstbare delen van het gewas:

$$Me_{opn} = Y \cdot \frac{Me_{plant}}{1000} \tag{1}$$

waarbij Me_{opn} is netto metaalafvoer met gewas ($g \cdot ha^{-1} \cdot jr$); Y is oogstopbrengst ($kg \cdot ha^{-1} \cdot jr^{-1}$); Me_{plant} is metaalgehalte in gewas ($mg \cdot kg^{-1}$).

De gehaltes metalen in gewassen zijn, indien voor gewas en metaal voorhanden, berekend met een bodem-plant relatie (Römkens et al., 2008) volgens:

$$\log(Me_{gewas}) = a + b \log OM + c \log klei + d \cdot pH + e \log Me_{bodem} \tag{2}$$

waarbij Me_{gewas} is metaalgehalte van het gewas ($mg \cdot kg^{-1}$); OM is organische stof gehalte in de bodem (%); $klei$ is kleigehalte van de bodem (%); pH is pH-KCl van bodem (-); Me_{bodem} is metaalgehalte van de bodem ($mg \cdot kg^{-1}$).

Voor Cd en Zn konden in het algemeen goede relaties afgeleid worden. Voor Cu en zijn de relaties in het algemeen slechter. De coëfficiënten voor vergelijking 2 staan in Bijlage 1.

Wanneer er geen goede relatie voor het metaalgehalte in de plant bestaat, gebruiken we het mediane gewasgehalte. Deze staan vermeld in Bijlage 2.

4 Resultaten en discussie

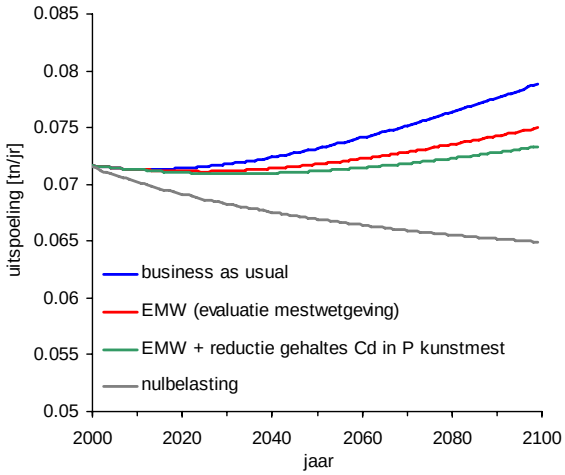
4.1 Uitspoeling

In onderstaande drie figuren staan de berekende landelijke uitspoeling voor Cd, Cu en Zn voor de verschillende scenario's voor de periode 2000-2100.

Cadmium

Uit Figuur 4.1 volgt dat de uitspoeling van cadmium voor geen van de scenario's sterk verandert. Alleen bij een nul-belasting daalt de uitspoeling licht. Voor de overige scenario's neemt de uitspoeling in de modelperiode licht toe met maximaal 10%. De extra reductie van cadmium in P kunstmest leidt nauwelijks tot een lagere uitspoeling dan bij uitvoering van de reeds geplande maatregelen in het kader van de Evaluatie Mestwetgeving.

De berekende toenames en afnames van de cadmiumuitspoeling zijn gering in verhouding tot een aantal grote onzekerheden in het model. Dit betekent dat in werkelijkheid ook voor meer scenario's een afname van de uitspoeling kan optreden (uitspoeling is onderschat), maar ook dat bij nulbelasting een toename kan optreden (uitspoeling is overschat).

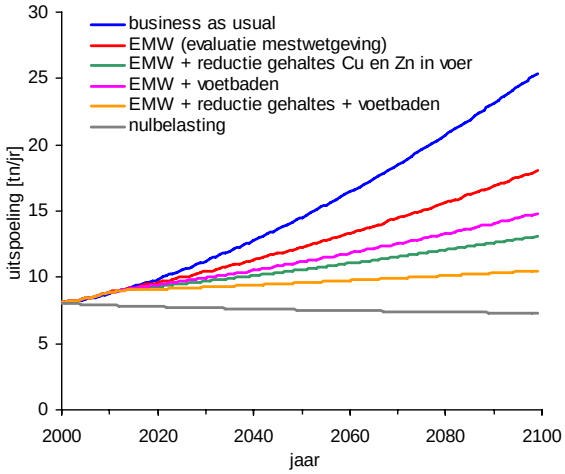


Figuur 4.1 Landelijke uitspoeling van cadmium voor de periode 2000 tot 2100 voor verschillende scenario's (N.B. y-as begint niet bij 0)

Koper

In Figuur 4.2 staat de landelijke uitspoeling van koper voor de verschillende scenario's In tegenstelling tot cadmium zien we voor koper wel grote verschillen voor de verschillende scenario's. Voor het 'business as usual' scenario neemt de uitspoeling met een factor drie toe gedurende de modelperiode. Voor de andere scenario's is de toename kleiner. De invoering van de op nutriënten gerichte maatregelen conform EMW resulteert echter nog steeds in een stijging van de uitspoeling met een factor 2. Evenals voor cadmium wordt ook voor koper alleen

een daling van de uitspoeling berekend voor het nul-belasting scenario. Alleen het meest stringente scenario (EMW én een reductie van koper in veevoer én geen koper in hoefontsmettingsbaden) leidt tot een bijna gelijkblijvende uitspoeling voor de periode 2015-2100. De kortstondige toename tot 2015 is het gevolg van feit dat pas in 2015 alle maatregelen zijn doorgevoerd.
Voor de overige scenario's geldt dat het terugdringen van het kopergehalte in veevoer een groter effect heeft dan het afschaffen van het gebruik van koper in hoefontsmettingsbaden. In deze figuur is echter geen onderscheid weergegeven in landbouwgrond die bemest wordt met runderdrijfmest (inclusief voetbaden) en landbouwgrond die bemest wordt met varkensmest.

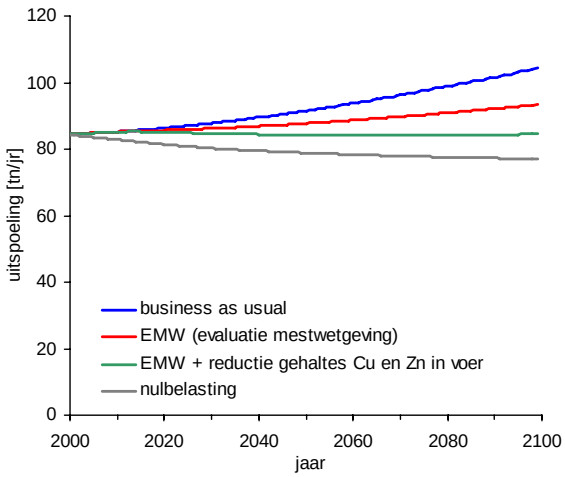


Figuur 4.2 Landelijke uitspoeling van koper voor de periode 2000 tot 2100 voor verschillende scenario's

Zink

De berekende effecten van de verschillende scenario's op de uitspoeling van zink zijn vergelijkbaar met die voor cadmium, alleen iets groter. Een belangrijk verschil met de metalen koper en cadmium is dat meerdere scenario's leiden tot een daling van de uitspoeling. Het scenario met de meest uitgebreide maatregelen (EMW én reductie zink in veevoer) leidt tot een zeer geringe daling van de uitspoeling. De toename in de uitspoeling voor het 'business as usual' scenario bedraagt circa 20% terwijl die voor het EMW scenario circa 10% bedraagt.

Evenals voor cadmium geldt ook voor zink dat de modelonzekerheden groot zijn ten opzichte van de berekende toenames en afnames van de uitspoeling. Voor die scenario's waar een kleine toename wordt berekend kan daarom in werkelijkheid ook een kleine afname optreden (en andersom).



Figuur 4.3 Landelijke uitspoeling van zink voor de periode 2000 tot 2100 voor verschillende scenario's

De hierboven weergegeven veranderingen van de uitspoeling zijn landelijke totalen. In de praktijk varieert de mestgift en daarmee de toevoer van metalen echter sterk per gewas en per bodemtype. Ook zijn de effecten van veranderingen in metaalbelasting verschillend voor de verschillende bodemtypes.

In Tabel 4.1 staan daarom de veranderingen in de uitspoeling uitgesplitst naar bodemtype terwijl in Tabel 4.2 de veranderingen per bodemgebruik zijn weergegeven. Anders dan in de figuren gaan we daarbij uit van een termijn van 30 jaar. De verandering betreft dus de stijging of daling in 2045 ten opzicht van die in 2015 (het jaar waarop alle maatregelen volledig zijn ingevoerd).

Tabel 4.1 Relatieve verandering in uitspoeling voor het jaar 2045 ten opzichte van 2015 voor de verschillende bodemtypes (verandering in %)

scenario	klei	veen	zand
		cadmium	
business as usual	4	6	4
EMW	3	4	2
EMW+reductie Cd in P kunstmest	2	3	2
nulbelasting	0	-1	0
		koper	
business as usual	21	40	65
EMW	14	25	35
EMW+voetbaden	10	16	27
EMW+reductie Cu in veevoer	6	10	17
EMW+voetbaden+veevoer	3	2	10
nulbelasting	-1	-3	0
		zink	
business as usual	5	5	19
EMW	3	3	12
EMW+reductie Zn in veevoer	1	0	7
nulbelasting	0	-1	3

Uit deze tabellen volgt dat de effecten het sterkst zijn in maïs en op zandgrond. Bij dit bodemtype en landgebruik zien we de grootste stijging in de uitspoeling alsook de grootste effecten van maatregelen. Hierbij moet worden opgemerkt dat mais voornamelijk op zandgronden wordt geteeld en het dus logisch is dat veranderingen bij maïsteelt ook zichtbaar zijn als gekeken wordt naar veranderingen bij zandgronden. De hoge uitspoeling van metalen bij maïsteelt is het gevolg van de hoge mestgiften. Na maïsteelt wordt de hoogste uitspoeling berekend voor overige akkerbouw, gevolgd door grasland en tenslotte natuur. Voor natuur worden logischerwijze geen effecten van maatregelen berekend, omdat de maatregelen die worden meegenomen in de berekeningen geen invloed hebben op atmosferische depositie, de enige bron van zware metaalbelasting voor natuurgebieden.

Tabel 4.2 Relatieve verandering in uitspoeling voor het jaar 2045 ten opzichte van 2015 voor de verschillende bodemgebruikvormen (verandering in %)

scenario	mais	akkerbouw (excl. mais)	grasland	natuur
		cadmium		
business as usual	10	5	2	0
EMW	7	0	0	0
EMW+reductie Cd in P kunstmest	6	0	0	0
nulbelasting	0	-1	-1	0
		koper		
business as usual	90	59	25	-1
EMW	45	38	21	-1
EMW+voetbaden	30	31	17	-1
EMW+reductie Cu in veevoer	21	19	10	-1
EMW+voetbaden+veevoer	8	13	7	-1
nulbelasting	-1	0	-1	-1
		zink		
business as usual	17	22	9	0
EMW	8	15	8	0
EMW+reductie Zn in veevoer	2	10	5	0
nulbelasting	0	4	2	0

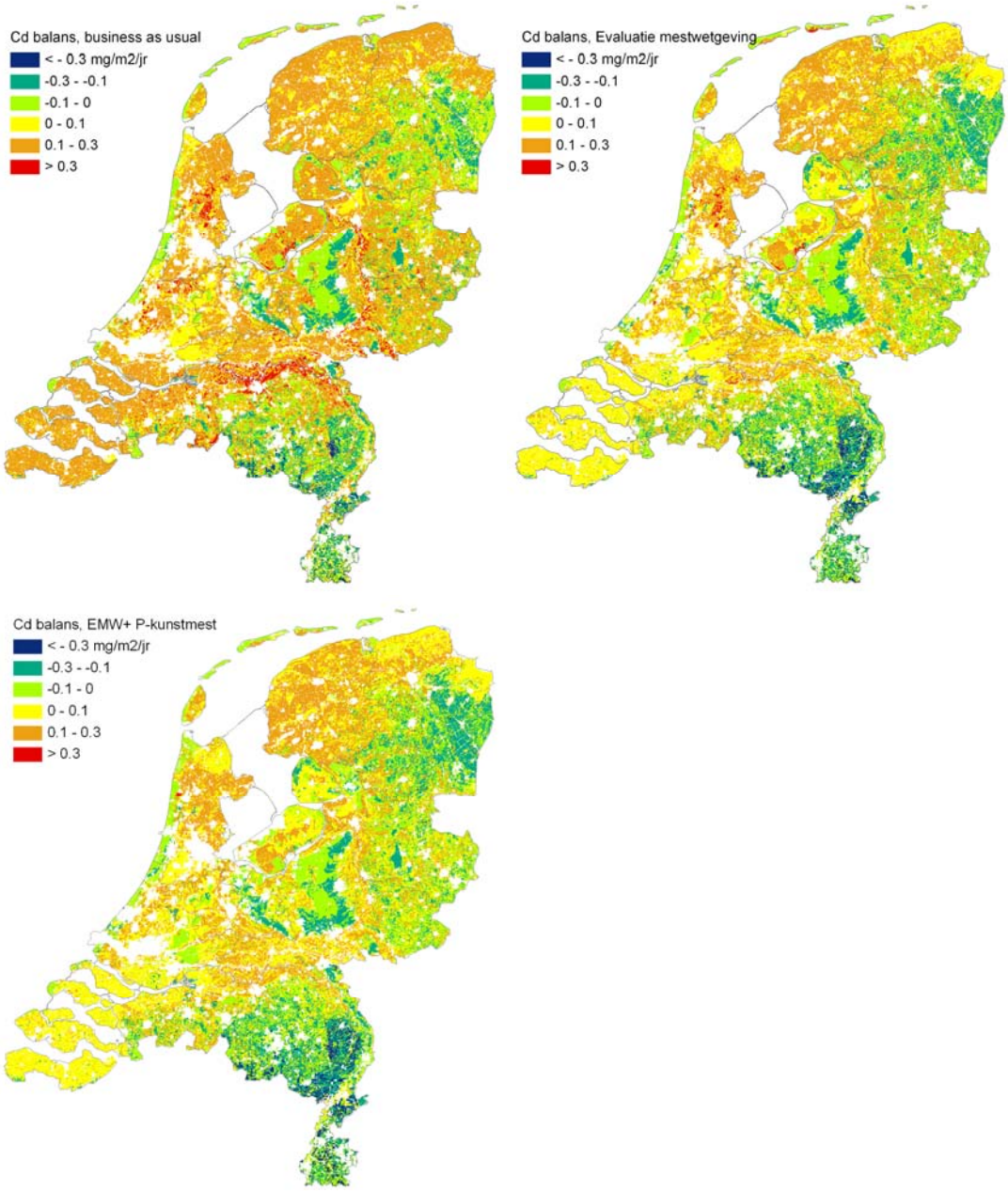
4.2 Balansen

Anders dan voor uitspoeling zijn de effecten op de metaalbalans (= aanvoer - afvoer - uitspoeling) duidelijker waarneembaar. Een positieve balans betekent ook dat de gehalten in de bodem en in het bodemvocht stijgen terwijl ze in geval van een negatieve balans uiteraard afnemen.

In Figuur 4.4 (cadmium), Figuur 4.5 (koper) en Figuur 4.6 (zink) staan de metaalbalansen voor de verschillende scenario's. De balansen hebben betrekking op het jaar 2030. De balans voor het "business as usual scenario" is nagenoeg gelijk aan de huidige situatie.

Cadmium

Figuur 4.4 geeft de bodembalansen van cadmium voor de scenario's "business as usual", evaluatie mestwetgeving en EMW plus reductie van Cd in P kunstmest.



Figuur 4.4 Cadmium balans van de bodem voor de verschillende scenarios voor het jaar 2030.

Voor het "business as usual" scenario zijn de balansen voor de meeste delen in Nederland positief hetgeen duidt op een voortgaande accumulatie van cadmium in de bodem. Een negatieve balans wordt berekend voor bijna alle natuurgebieden, het zuidwesten van Nederland en de veenkoloniale gebieden. De negatieve balans voor natuurgebieden komt doordat atmosferische depositie hier de enige (kleine) bron van bodembelasting is (dit geldt overigens ook voor de metalen koper en zink). In het

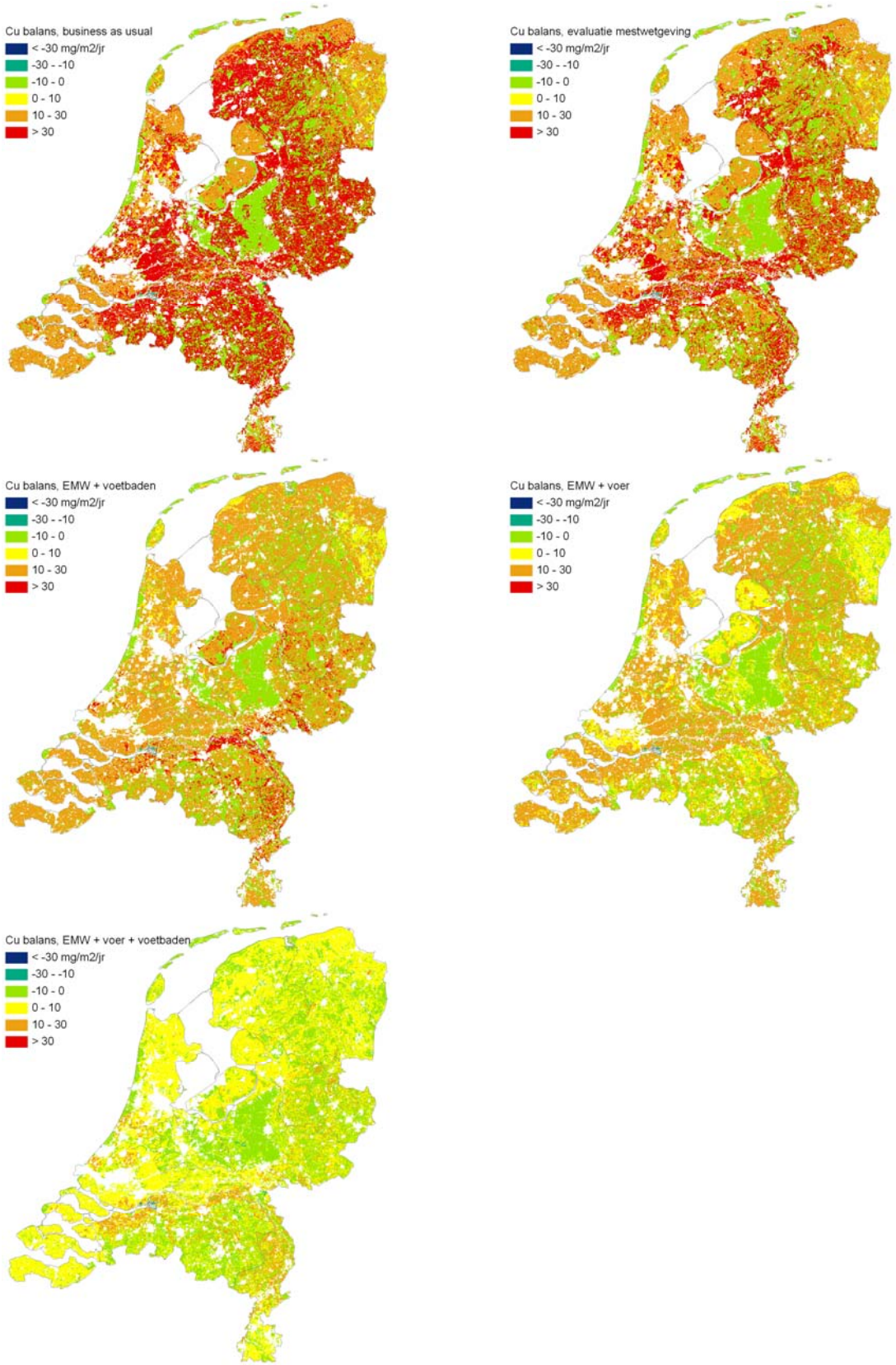
zuidwesten van Nederland is de belasting met cadmium in het verleden zeer hoog geweest (o.a. zinkfabrieken in de Kempen). De gehaltes in de bodem zijn hier hoger dan in vergelijkbare gebieden elders in Nederland. Deze hoge gehaltes leiden tot een uitspoeling die groter is dan de huidige belasting van de bodem. Dit wordt nog verstrekt door de hoge zuurgraad (lage pH) en lage kleigehalten in de bodem die zorgen voor een hoge concentratie in het bodemvocht. In de veenkoloniale gebieden is de mestgift relatief laag, omdat hier relatief weinig mais wordt verbouwd in vergelijking met andere zandgebieden.

De netto-balans voor landbouwgronden neemt duidelijk af na invoering van de maatregelen conform EMW. In de klei- en veengebieden blijft de balans echter positief waardoor de accumulatie doorgaat. Voor de zandgebieden wordt wel bijna overal een daling van de hoeveelheid cadmium in de bodem berekend. De vermindering van het cadmiumgehalte in fosfaatkunstmest heeft nauwelijks een extra effect ten opzichte van het EMW-scenario.

Koper

In Figuur 4.5 zijn de balansen voor koper weergegeven. In het "business as usual" scenario is de balans voor alle landbouwgebieden positief en vinden we alleen voor natuurgebieden een negatieve balans. In het algemeen hebben maatregelen in de berekeningen een duidelijk effect op de balans en leiden ze tot een steeds verdere verlaging van het koperoverschot voor landbouwgronden. Negatieve balansen voor een groot aantal gebieden treffen we echter pas aan bij het scenario met de meest uitgebreide maatregelen (EMW plus het afschaffen van kopervoetbaden plus vermindering van koper in veevoer). Figuur 4.5 toont echter dat er dan nog steeds landbouwgebieden zijn (mn. op kleigronden) waar de kopergehalten in de bodem ondanks de vergaande maatregelen stijgen.

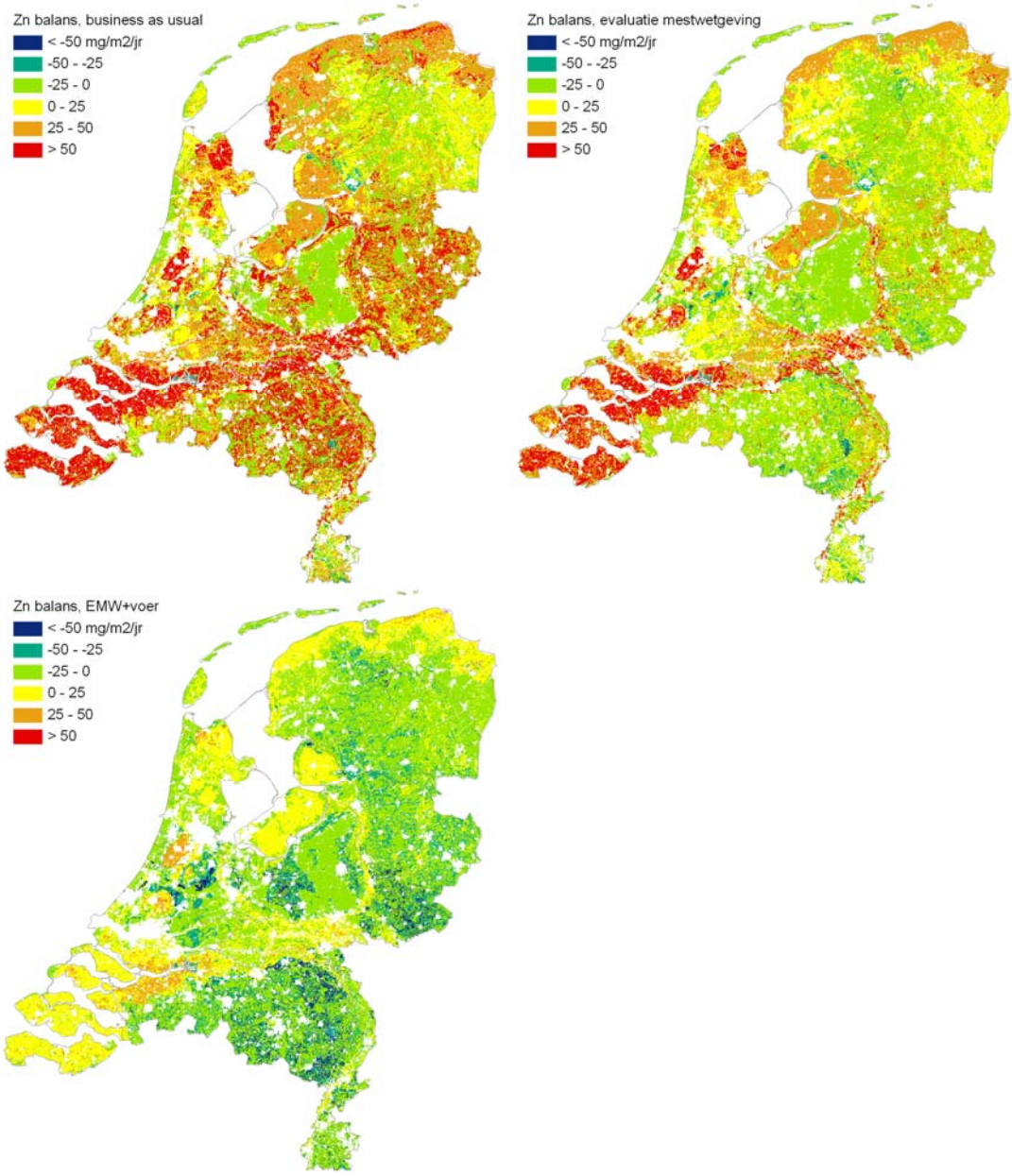
In tegenstelling tot cadmium zijn er voor koper geen grote verschillen tussen de verschillende delen van Nederland zichtbaar. De overschotten nemen iets eerder af in de zandgebieden en IJsselmeerpolders en blijven het hoogst in het noorden van Limburg, het Land van Maas en Waal en het noordwesten van Noord-Brabant.



Figuur 4.5 Koper balans van de bodem voor de verschillende scenarios voor het jaar 2030.

Zink

In Figuur 4.6 zijn de balansen voor zink weergegeven. In het algemeen zijn de effecten van maatregelen voor zink groter dan voor de andere metalen. In het "business as usual" scenario vinden we voor de meeste landbouwgebieden een overschot, terwijl in natuurgebieden een netto uitspoeling van zink optreedt. Het invoeren van maatregelen conform EMW leidt voor zink, meer dan voor koper, in de zandgebieden al tot een negatieve balans. Voor de klei- en veengebieden zijn de veranderingen nog niet duidelijk zichtbaar. Zelfs een halvering van de gehaltes van zink in veevoer leidt in de meeste klei- en veengebieden nog steeds tot kleine overschotten.



Figuur 4.6 Zink balans van de bodem voor de verschillende scnenarios voor het jaar 2030.

4.3 Gevolgen voor de KRW

Het doel van deze studie was om te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn van maatregelen in de landbouwsector op de (te) hoge emissies van zware metalen naar het oppervlaktewater. Daarbij maken we in deze studie onderscheid naar balansen in de bodem (accumulatie/afname van de gehalten in de bodem) en de uiteindelijke uitspoeling naar het oppervlaktewater.

Uit de berekeningen volgt dat geen van de maatregelen de uitspoeling in belangrijke mate vermindert ten opzichte van de huidige situatie. Dit geldt voor alle metalen, bodemtypes en landgebruikvormen. Dat neemt niet weg dat de toename van de uitspoeling wel behoorlijk afneemt indien een aantal maatregelen genomen wordt. In geval van "business as usual" of voorgenomen maatregelen conform EMW neemt de uitspoeling namelijk fors toe indien geen maatregelen worden genomen. Deze toename is het sterkst voor koper. De mate waarin deze stijging geremd wordt hangt echter sterk af van de gekozen maatregel. Voor de scenario's met de meest vergaande maatregelen wordt er op zijn best een "stand-still" berekend.

Uit de modelresultaten blijkt dat effecten van maatregelen op de uitspoeling pas zichtbaar worden op de lange termijn. Dit komt door de bufferende werking van de bodem. De sterke binding van zware metalen aan de bodem zorgt ervoor dat deze metalen pas na geruime tijd het oppervlaktewater bereiken. Een vermindering van de bodembelasting leidt dus ook pas na geruime tijd tot een vermindering van de uitspoeling. Dit wordt duidelijk geïllustreerd in de scenario's met een "nulbelasting". De totale uitspoeling bij stopzetten van aanvoer van metalen door landbouw daalt maar licht. In enkele gevallen, zoals voor zink in zandgronden (zie Tabel 4.1), neemt de uitspoeling zelfs nog enige tijd toe. Dit is het gevolg van een hoge bodembelasting in het verleden waardoor een grote hoeveelheid zware metalen in de bodem nog moet uitzakken naar het grondwater en vervolgens uitspoelen naar het oppervlaktewater.

In het kader van de KRW betekent dit dat de landbouwsector een verdere verslechtering van de chemische oppervlaktewaterkwaliteit voor metalen kan tegengaan of beperken. Deze berekeningen geven daarmee aan dat een daadwerkelijke verbetering, dat wil zeggen een verlaging van de emissies, alleen gerealiseerd kan worden door een reductie van andere bronnen.

5 Conclusies

Het doel van deze studie was om door middel van modelberekeningen verder inzicht geven in de effecten van maatregelen in de landbouw op de uitspoeling van zware metalen naar het oppervlaktewater. Hierbij wordt gekeken wat de gevolgen zijn van voorgenomen maatregelen om nutriëntenemissies te reduceren en wat de mogelijkheden zijn voor maatregelen direct gericht op de vermindering zware metaaluitspoeling.

Uit de modelberekeningen volgt dat:

- De huidige mestgift en de huidige gehaltes van zware metalen in mest leiden tot een sterke toename van de uitspoeling van cadmium, koper en zink vanuit bodems naar het oppervlaktewater. Deze toename is het grootst voor koper, gevolgd door zink en tenslotte cadmium;

- De reeds voorgenomen, op nutriënten gerichte, maatregelen conform de Evaluatie Mestwetgeving zijn onvoldoende om de toename van uitspoeling tot stilstand te brengen;

- De meest vergaande maatregelen leiden tot een "stand-still" voor wat betreft de uitspoeling naar het oppervlaktewater. De in de berekeningen meegenomen maatregelen zijn in dit geval generieke maatregelen conform de evaluatie mestwetgeving, halvering van koper en zink in veevoer, stopzetten van koper in hoefontsmettingsbaden en halvering van het cadmiumgehalte in P-kunstmest;

- De effecten van maatregelen op de uitspoeling zijn pas na enkele decennia duidelijk zichtbaar;

- Door maatregelen kan de landbouwsector een verdere verslechtering van de oppervlaktewaterkwaliteit mbt. zware metalen tegengaan. Een daadwerkelijke verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit lijkt echter alleen te realiseren door een vermindering van andere bronnen van zware metalen;

- De maatregelen hebben voor alle metalen duidelijke gevolgen voor de balansen van de bodem. De meest vergaande maatregelen leiden in zandgebieden tot een duidelijke daling van de hoeveelheden van cadmium en zink in de bodem terwijl de accumulatie voor koper duidelijk afneemt. In klei- en veengronden leiden deze maatregelen alleen voor zink tot een afname, maar wordt ook hier de accumulatie van cadmium en koper duidelijk verlaagd.

Literatuur

Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors & T. Kroon, 2007. Actualisatie Hydrologie voor Stone 2.3; Aanpassing randvoorwaardne en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets. Wageningen, Alterra, in prep.

Bleeker, A., 2004. Depositie van vier zware metalen op Nederland in 2000, 2010 en 2030. TNO rapport R 2004/22.

Boer, M., A. Kool, & F. van der Schans. 2006. Gebruik van kopersulfaat in voetbaden - De overschotten lopen uit de klauwen. CLM rapport no. 627. CLM, Culemborg.

Bolt F.J.E. van der, E.M.P.M. van Boekel, O.A. Clevering, et al., 2008. Ex-ante evaluatie KRW en landbouw; Effect van voorgenomen en potentieel aanvullende maatregelen op de oppervlaktewaterkwaliteit voor nutriënten. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1687.

Bonten L.T.C. & P.F.A.M. Römkens. 2008. Kennisbehoefte en kennisbeschikbaarheid over de rol van uitspoeling van zware metalen uit de bodem in het landelijk gebied, Alterra-rapport 1701, Alterra, Wageningen

Bonten L.T.C. & J.E. Groenenberg, 2008. Uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied; Modelberekeningen ten behoeve van Emissieregistratie 2008. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1695

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. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1340.

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

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

Driessen, J.J.M., & A.H. Roos, 1996. Zware metalen, organische microverontreinigingen en nutriënten in dierlijke mest, compost, zuiveringsslib, grond en kunstmeststoffen. Rapport 96.14, RIKILT-DLO, Wageningen.

EU. 2004. C 50/01 Lijst van toegestane toevoegingsmiddelen in diervoeders gepubliceerd krachtens artikel 9.T, onder b), van Richtlijn 70/524/EEG van de Raad betreffende toevoegingsmiddelen in de diervoeding. EU-Brussel.

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 report 1278. Alterra, Wageningen UR, the Netherlands.

Kroon, T., P.A. Finke, I. Peereboom & A.H.W. Beusen, 2001. Redesign STONE. De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters. RIZA-rapport 2001.017.

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

Römkens, P.F.A.M, S.W. Moolenaar, J.E. Groenenberg, L.T.C. Bonten & W. de Vries, 2008b. Copper and zinc in feed (additives): an essential burden? In: P. Schlegel, S. Durosoy and A.W. Jomgbloed (Eds.) Trace elements in animal production systems. Wageningen Academic Publishers

Römkens, P.F.A.M. & R.P.J.J. Rietra, 2008. Zware metalen en nutriënten in dierlijke mest in 2008; Gehalten aan Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As, N en P in runder-, varkens en kippenmest. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1729 (in prep)

Smolders, E.A.A., J.C. van Middelkoop & J.C. Verkaik, 2008. Beperking koper en zink op melkveebedrijven in Zuid-Nederland. Balansen en aanbevelingen. Koeien en Kansen rapportnr. 48, Animal Science Group, Lelystad.

Underwood, E.J. & N.F. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock, 3rd ed. New York, Academic Press.

Velthof, G.L., 2004. Achtergronddocument bij enkele vragen van de evaluatie Meststoffenwet 2004. Alterra, Alterra rapport 730.2 80 blz.

Vries, W. de, 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, Alterra, Wageningen UR.

Vries, W. de, J. Kros & G. Velthof. *INITIATOR2:* Instrument voor een integrale milieuanalyse van de gevolgen van aanpassingen in de landbouw Berekening van de emissies van ammoniak, broeikasgassen, fijn stof en geur en de accumulatie, uit- en afspoeling van koolstof, stikstof, fosfaat, basen en zware metalen. Alterra, Alterra-rapport in prep.

Bijlage 1 Coefficienten voor berekening gewasopname

Tabel A.1 Coëfficiënten voor het berekenen van cadmiumgehalten in gewassen

	a	b (OS)	c (klei)	d (pH)	e (Me)
Gras	1.45	0	0	-0.38	1.22
Mais	0.9	0	-0.32	-0.21	1.08
Aardappels	0.97	-0.41	-0.2	-0.21	0.81
Graan	0.22	-0.33	-0.04	-0.12	0.62
Suikerbiet	1.33	0	-0.13	-0.22	0.62
Overig graan	0.22	-0.33	-0.04	-0.12	0.62

Tabel A.2 Coëfficiënten voor het berekenen van kopergehalten in gewassen

	a	b (OS)	c (klei)	d (pH)	e (Me)
Gras	1.41	-0.65	0	-0.18	0.83
Mais	0.07	0	-0.11	0.06	0.19
Aardappels	0.22	0	0	-0.02	0.43
Graan	0.65	0	0	-0.03	0.16
Suikerbiet	0.73	0	0	-0.03	0.39
Overig graan	0.65	0	0	-0.03	0.16

Tabel A.3 Coëfficiënten voor het berekenen van zinkgehalten in gewassen

	a	b (OS)	c (klei)	d (pH)	e (Me)
Gras	2.19	0	-0.49	-0.15	0.47
Mais	1.35	-0.14	-0.25	-0.17	0.81
Aardappels	1.23	-0.07	-0.15	-0.09	0.34
Graan	1.32	0	-0.24	-0.06	0.45
Suikerbiet	2.69	-0.71	-0.37	-0.41	1.13
Overig graan	1.32	0	-0.24	-0.06	0.45

Bijlage 2 Mediane metaalgehalten van gewassen.

Tabel A.4 Mediane concentraties in overige akkerbouwgewassen (mg/kg)

	Cd	Cu	Zn
zand	0.34	5.9	64
klei	0.11	11.3	83
veen	0.4	8.3	79

Tabel A.5 Mediane metaal concentraties in bos en natuur (mg/kg)

	Cd	Cu	Zn
loofbomen	0.3	10	10
sparren	0.3	10	10
dennen	0.3	10	10
heide	0.15	10	10

afkomstig uit: de Vries et al., *in prep.*

Bijlage 3 Bijdrage van bronnen aan belasting oppervlaktewater

In onderstaande tabellen is de relatieve bijdrage van de verschillende bronnen aan de belasting van het oppervlaktewater voor de verschillende scenario's weergegeven. De getallen hebben betrekking op het jaar 2038.

Tabel A.6 Relatieve bijdrage van verschillende bronnen van cadmiumbelasting van het oppervlaktewater voor het jaar 2038 (in %)

Scenario	uitspoeling	depositie	bouw, industrie en consumenten	RWZI's en overstorten	verkeer en vervoer
business as usual	17	14	7	58	4
EMW (evaluatie mestwetgeving)	17	14	7	58	4
EMW + reductie Cd in P kunstmest	16	14	7	58	4
verbetering RWZI's	23	20	10	41	6
nulbelasting	16	14	7	59	4

Tabel A.7 Relatieve bijdrage van verschillende bronnen van koperbelasting van het oppervlaktewater voor het jaar 2038 (in %)

Scenario	uitspoeling	depositie	bouw, industrie en consumenten	RWZI's en overstorten	verkeer en vervoer
business as usual	20	3	12	37	28
EMW (evaluatie mestwetgeving)	18	3	12	38	29
EMW + voetbaden	17	3	12	39	29
EMW + reductie Cu in voer	16	3	12	39	30
EMW + voerreductie + voetbaden	16	3	12	39	30
verbetering RWZI	22	4	15	24	36
nulbelasting	13	3	13	40	31

Tabel A.8 Relatieve bijdrage van verschillende bronnen van zinkbelasting van het oppervlaktewater voor het jaar 2038 (in %)

Scenario	uitspoeling	depositie	bouw, industrie en consumenten	RWZI's en overstorten	verkeer en vervoer
business as usual	36	3	4	37	19
EMW (evaluatie mestwetgeving)	35	3	4	38	20
EMW + reductie Zn in voer	35	4	4	38	20
verbetering RWZI's	44	4	5	23	24
nulbelasting	33	4	4	39	20