



ALTEERRA

WAGENINGEN UR

Toetsing van modelberekeningen van uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied

L.T.C. Bonten

Alterra-rapport 1637, ISSN 1566-7197



Toetsing modelberekeningen van uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijke gebied

In opdracht van RIZA.

Toetsing van modelberekeningen van uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied

L.T.C. Bonten

Alterra-rapport 1637

Alterra, Wageningen, 2007

REFERAAT

Bonten, L.T.C., 2007. *Toetsing van modelberekeningen van uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1637. 38 blz.; 8 fig.; 6 tab.; 8 ref.

Modelberekeningen van de uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied zijn getoetst aan de uitspoeling op basis van stoffenbalansen van oppervlaktewatersystemen. Uit de toetsing blijkt dat uitspoeling volgens modelberekeningen niet systematisch afwijkt van uitspoeling op basis van stoffenbalansen. Dit betekent dat de modelberekeningen op grote schaalniveaus (landelijk niveau) een redelijke schatting geven van de uitspoeling. Door de grote onzekerheden in de stoffenbalansen was een toetsing op kleine schaalniveaus (b.v. polders) niet mogelijk. Retentie bleek een grote onbekende factor in de relatie tussen uitspoeling en uiteindelijke concentraties in het oppervlaktewater.

Trefwoorden: zware metalen, uitspoeling, landelijk gebied, toetsing, stoffenbalansen

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
2 Methode	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Gebruikte stoffenbalansen	11
2.2.1 Hoogheemraadschap Rijnland	14
2.2.2 Hoogheemraadschap Delfland	15
2.2.3 Waterschap Peel en Maasvallei	16
2.2.4 Waterschap Rijn en IJssel	17
2.2.5 Vecht/Zwarte Water	19
2.3 Berekeningsmethoden uitspoeling	20
2.3.1 Uitspoeling op basis van stoffenbalans	20
2.3.2 Uitspoeling op basis van modelberekeningen	21
3 Resultaten en discussie	23
3.1 Vergelijking modelberekeningen en stoffenbalansen	23
3.2 Discussie	25
3.2.1 Vergelijking van de modelberekeningen met stoffenbalansen	25
3.2.2 Onzekerheden in stoffenbalansen	26
3.2.3 Verschillen in uitgangspunten van stoffenbalansen en modelberekeningen	26
4 Conclusies en aanbevelingen	27
Literatuur	29
Bijlage 1 Stoffenbalansen en modelberekeningen van uitspoeling.	31

Samenvatting

De afgelopen jaren zijn verschillende modelberekeningen uitgevoerd met als doel een schatting te geven van de uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied naar het oppervlaktewater. Uit al deze studies volgde dat uitspoeling een belangrijke bijdrage levert aan de totale belasting van het oppervlaktewater. Echter deze berekeningen zijn tot dusver niet getoetst aan metingen van de oppervlaktewaterkwaliteit.

Tegelijkertijd overschrijden in veel gebieden in Nederland de concentraties van zware metalen de geldende normen voor oppervlaktewaterkwaliteit. Dit noodzaakt tot beleid en maatregelen ten aanzien van uitspoeling. Om dit beleid en maatregelen te onderbouwen zijn voldoende gevalideerde modellen nodig. De huidige beschikbare modellen zijn nu nauwelijks gevalideerd.

De doelstelling van deze studie is tweeledig. Het eerste doel is om de modelberekeningen op basis van STONE en partitierelaties te toetsen aan metingen van concentraties en/of vrachten. Het tweede doel is om aan te geven voor welke bodemtypes, hydrologische omstandigheden etc. de modelberekeningen een goede voorspelling geven en voor welke condities het model verbetering behoeft.

De modelresultaten kunnen niet direct vergeleken worden met metingen van zware metaalconcentraties in het oppervlaktewater doordat andere bronnen dan uitspoeling en processen in het oppervlaktewater ook de concentraties beïnvloeden. Daarom zijn de modelresultaten getoetst aan stoffenbalansen voor vijf gebieden in Nederland. Op basis van deze stoffenbalansen is de uitspoeling van zware metalen berekend als de sluitpost van de stoffenbalans. Voor elk deelgebied waarvoor een stoffenbalans beschikbaar is, zijn modelvoorspellingen van de uitspoeling berekend voor hetzelfde jaar als waarvoor de stoffenbalans is opgesteld. De aldus verkregen uitspoelingsvrachten van beide methodes zijn met elkaar vergeleken.

Uit de vergelijking tussen uitspoeling volgens modelberekeningen en stoffenbalansen volgt dat er geen grote systematische afwijkingen tussen de resultaten van beide methodes zijn. Echter, de onzekerheden in de stoffenbalansen zijn dusdanig groot, dat het niet mogelijk is om de resultaten van de modelberekeningen voor individuele deelgebieden te toetsen. Verder kan door deze grote onzekerheden ook niet worden aangegeven onder welke omstandigheden de modelberekeningen een goede voorspelling geven. Tenslotte is gebleken dat vooral retentie een grote onbekende factor is in stoffenbalansen.

1 Inleiding

Doelstelling

De doelstelling van deze studie is tweeledig. In de eerste plaats worden de huidige modelberekeningen van metaaluitspoeling naar het oppervlaktewater op basis van STONE en partitierelaties getoetst door deze te vergelijken met de uitspoeling op basis van stoffenbalansen voor oppervlaktewatersystemen. Een directe toetsing van de berekende uitspoeling aan metingen van de oppervlaktewaterkwaliteit is niet mogelijk, omdat er naast uitspoeling ook andere bronnen van zware metalen zijn.

Verder zal, indien mogelijk, worden aangegeven voor welke gebieden, bodemtypes en/of hydrologische omstandigheden de modelberekeningen een goede voorspelling van de uitspoeling geven en voor welke omstandigheden dit niet het geval is. Een van de verwachtingen hierbij is dat anaerobe omstandigheden in vooral veen- en kleigebieden ervoor zorgen dat de modelberekeningen de daadwerkelijke uitspoeling kunnen overschatten.

Achtergrond

De afgelopen jaren zijn diverse modelberekeningen uitgevoerd waarbij met steeds verbeterde modellen de uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied is voorspeld (Römkens et al., 2003; Bonten et al., 2004; Bonten & Brus, 2006). De resultaten van deze modelberekeningen vormen de basis voor de post uitspoeling zoals opgenomen in de Emissieregistratie. Uit deze berekeningen volgt dat, vooral voor koper, nikkel en zink, uitspoeling een belangrijke bijdrage levert aan de belasting van het oppervlaktewater. Verder geldt dat de zware metaalconcentraties in het oppervlaktewater, eveneens vooral koper, nikkel en zink, in veel gebieden in Nederland de geldende normen overschrijden. Hieruit volgt dat beleid en maatregelen die ten doel heeft de oppervlaktewaterkwaliteit te verbeteren, niet voorbij kunnen gaan aan de uitspoeling van zware metalen uit de bodem.

Echter, een zwak punt in deze modelberekeningen is dat de resultaten van de berekeningen tot dusver nooit getoetst zijn. Zo wordt in een verkennende studie door STOWA (Schipper, 2006) aanbevolen de huidige modelberekeningen te toetsen aan stoffenbalansen van zware metalen in het oppervlaktewater. Alterra is hierom door RIZA gevraagd om de huidige modelberekeningen te toetsen aan bij waterschappen beschikbare stoffenbalansen van zware metalen.

Globale aanpak

Om de modelberekeningen te toetsen zijn voor vijf gebieden in Nederland stoffenbalansen van zware metalen in het oppervlaktewater verzameld. Op basis van deze stoffenbalansen wordt de uitspoeling van zware metalen berekend als de sluitpost van de stoffenbalans. Voor elk deelgebied waarvoor een stoffenbalans beschikbaar is, worden modelvoorspellingen van de uitspoeling berekend voor hetzelfde jaar als waarvoor de stoffenbalans is opgesteld. De aldus verkregen uitspoelingsvragen van beide methodes worden met elkaar vergeleken.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de methode voor de vergelijking tussen uitspoeling op basis van stoffenbalansen en uitspoeling op basis van de modelberekeningen weergegeven. Hierbij wordt een overzicht gegeven van de gebieden waarvoor stoffenbalansen van zware metalen beschikbaar zijn (paragraaf 2.2) en de methodes voor de berekening van de uitspoeling op basis van zowel stoffenbalansen (paragraaf 2.3.1) als op basis van modelberekeningen (paragraaf 2.3.2). In hoofdstuk 3 worden de uitspoelingsvrachten volgens beide methodes vergeleken. Tenslotte zijn in hoofdstuk 4 de conclusies van dit onderzoek en verdere aanbevelingen weergegeven.

2 Methode

2.1 Inleiding

Het toetsen van modelberekeningen wordt idealiter uitgevoerd door de resultaten van de berekeningen direct te vergelijken met meetgegevens. Voor de uitspoelingsberekeningen betekent dit dus een vergelijking met metingen van concentraties van zware metalen in het oppervlaktewater.

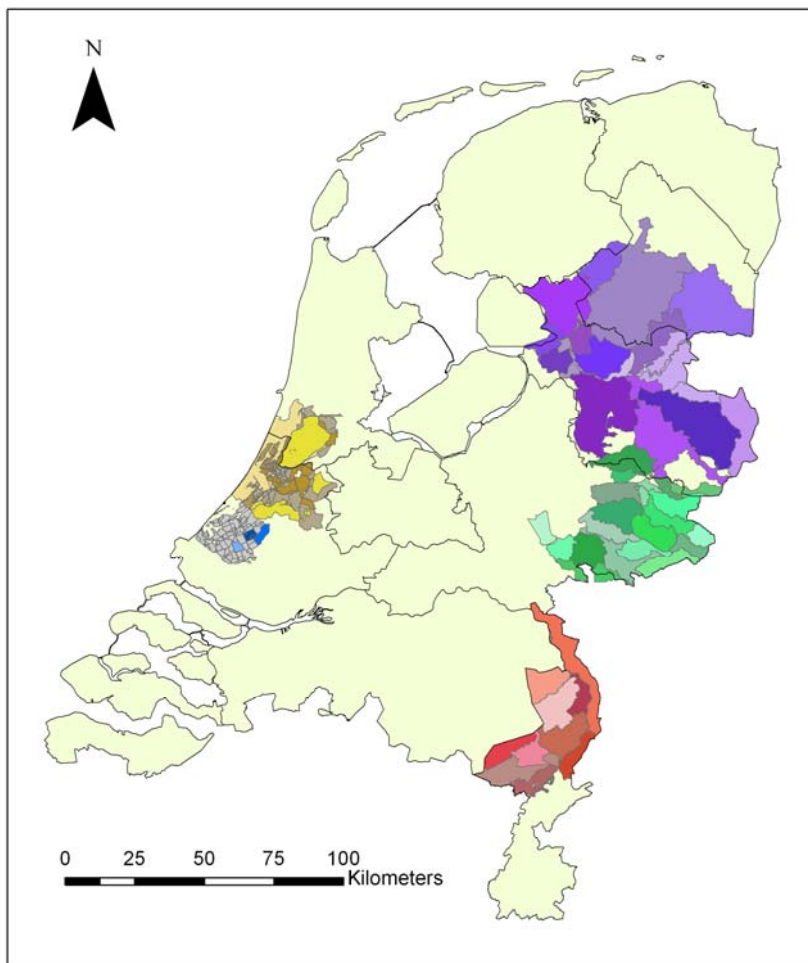
Echter concentraties van zware metalen in het oppervlaktewater variëren sterk in plaats en tijd, terwijl de gebruikte modellen een gemiddelde uitspoeling over een langere periode (één jaar) en over grotere ruimtelijke eenheden (STONE-plots) geven. Daarnaast zijn er ook andere bronnen van zware metalen, zoals RWZI's en depositie, die oppervlaktewaterkwaliteit beïnvloeden. Tenslotte kunnen er nog verschillende processen in het oppervlaktewatersysteem (water, waterbodembodem en slootkanten) plaatsvinden (mn. retentie) die concentraties van zware metalen verlagen (of verhogen).

Om deze redenen wordt er in deze studie gebruik gemaakt van stoffenbalansen van zware metalen voor oppervlaktewatersystemen, waaruit de uitspoeling wordt afgeleid. Het voordeel van het gebruik van stoffenbalansen is dat deze evenals de modelberekeningen betrekking hebben op grotere gebieden en een langere tijdsduur bestrijken. Het nadeel van het gebruik van stoffenbalansen is dat uitspoeling niet direct gemeten wordt maar een afgeleide term is met bijbehorende grotere onnauwkeurigheden. De in dit onderzoek gebruikte stoffenbalansen zijn afkomstig van studies uitgevoerd door onder andere waterschappen.

In paragraaf 2.2 wordt een overzicht gegeven van de gebruikte stoffenbalansen en de algemene kenmerken van elke stoffenbalans. In paragraaf 2.3 wordt uitgelegd op welke wijze de uitspoeling volgens de stoffenbalansen en volgens de modellen is berekend. Tevens wordt in deze paragraaf uitgebreidere aandacht geschonken aan het begrip retentie, dat van grote invloed is op de relatie tussen uitspoeling en de uiteindelijke concentraties in het oppervlaktewater.

2.2 Gebruikte stoffenbalansen

De methode voor de berekening van de uitspoeling van zware metalen uit de bodem naar het oppervlaktewater wordt getoetst aan de uitspoeling zoals die volgt uit stoffenbalansen voor een aantal oppervlaktewatersystemen. Onderstaande figuur geeft een overzicht van de deelgebieden waarvoor stoffenbalansen zijn opgesteld.



Figuur 2.1 Gebieden met stoffenbalansen voor zware metalen in het oppervlaktewater gebruikt voor toetsing van modelberekeningen

De deelgebieden zijn onderdeel van vijf verschillende studies naar stoffen in het oppervlaktewater:

- water- en stoffenbalansen in Hoogheemraadschap van Rijnland;
- stoffenbalansen voor drie polders en het boezemgebied van Hoogheemraadschap van Delfland;
- stoffenbalansen voor Waterschap Peel en Maasvallei;
- bronnenanalyse voor probleemstoffen in het beheersgebied van Waterschap Rijn en IJssel;
- problemen mbt. de waterkwaliteit en oorzaken hiervan in het stroomgebied Vecht/Zwarte Water.

In Tabel 2.1 zijn de belangrijkste kenmerken van de vijf stoffenbalansen weergegeven. De verschillende gebieden en de stoffenbalansen die voor die gebieden zijn opgesteld worden in meer detail besproken in paragrafen 2.2.1 t/m 2.2.5.

Tabel 2.1 Kenmerken stoffenbalansen

	Rijnland	Delfland	Peel en Maasvallei	Rijn en IJssel	Vecht/Zwarte water
stoffen ¹	Cu, Ni, Zn, N, P	Cu, Ni, Zn, Pb, N, P, Cl	Cu, Ni, Zn	Cu, Zn, N, P	Cu, Ni, Zn, N, P, PAK, bestrijdingsmiddelen
balansjaar	2000	2005	2004	2004 t/m 2006	1997
aantal deelgebieden	5	4	10	20	16
bronnen in balans	- ongerioleerde lozingen - RWZI's - overstorten - slijtage banden - slijtage wegdek - slijtage bovenleiding - strooizout - atmosferische depositie - corrosie bouwmetalen - vuurwerk - jacht	- RWZI's - overstorten - afspoeling verhard opp. - atmosferische depositie - corrosie kassen (Zn)	- ongerioleerde lozingen - RWZI's - overstorten - som verkeer - overige (niet specifiek benoemde) bronnen	- ongerioleerde lozingen - RWZI's - overstorten - som verkeer - atmosferische depositie - corrosie kassen (Zn) - vuurwerk - antifouling boten (Cu)	- ongerioleerde lozingen - RWZI's - overstorten - slijtage banden - slijtage wegdek - slijtage bovenleiding - lekkage motorolie - atmosferische depositie - corrosie bouwmetalen - vuurwerk - antifouling boten
berekening bronnen	gebiedsspecifiek (conform ERC systematiek)	ERC	ERC + data van RWZI's	ERC + data van RWZI's	gebiedsspecifiek (conform ERC systematiek)
opmerkingen	- oorspronkelijk 76 deelgebieden geaggregeerd tot 5 eenheden obv. bodemtype en hydrologie	- 3 polderbalansen en 1 boezembalans; - bergingsterm in balans	- meting aan-/afvoer en concentraties niet altijd op gelijke locatie; - in enkele gebieden meetpunt voor afvoer = meetpunt voor aanvoer; - onttrekking door landbouw niet in balans	- afvoer niet bekend voor benedenstreams gelegen gebieden; - data van RWZI's voor periode 2005-2006	

¹ vetgedrukt zijn de stoffen die gebruikt zijn voor de toetsing van de modelberekeningen

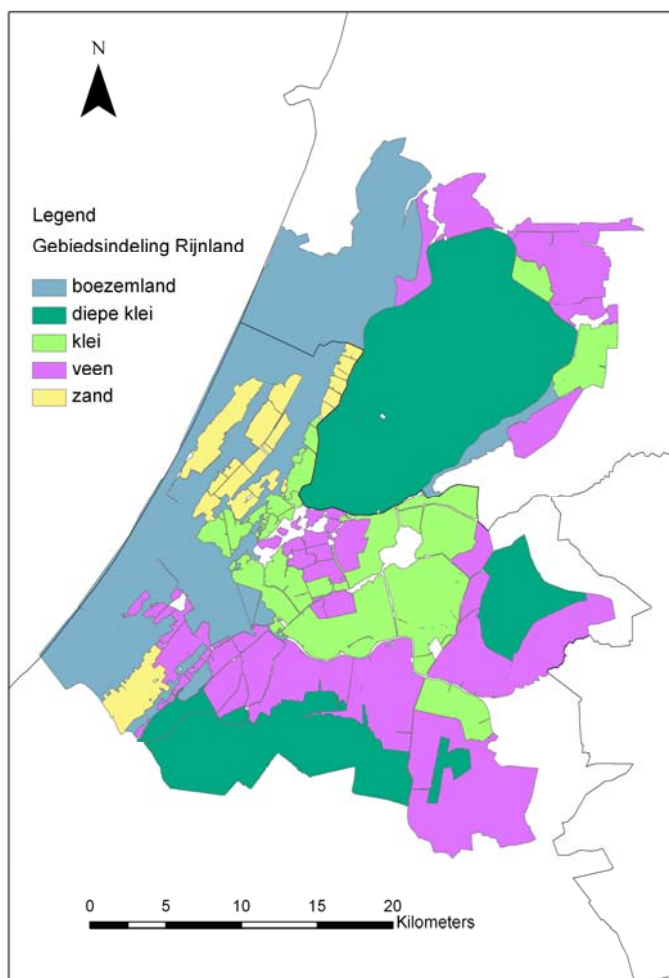
2.2.1 Hoogheemraadschap Rijnland

Door Hoogheemraadschap Rijnland is in 2006 een rapport gepubliceerd met daarin waterbalansen en stoffenbalansen van nutriënten en de metalen koper, nikkel en zink (Faassen et al., 2006). Het doel van dit rapport was om inzicht te krijgen in de belasting en de stofstromen binnen het beheersgebied van Rijnland.

Voor de water- en stoffenbalansen is het beheersgebied van Rijnland ingedeeld in 76 eenheden die geclusterd zijn tot vijf typen gebieden op basis van overeenkomsten in hydrologie en bodemtype. Deze indeling is weergegeven in Figuur 2.2. Behalve balansen over deze gebieden, zogenaamde polderbalansen, zijn er ook balansen over het boezemsysteem, waarbij de polderbalansen als input dienen. Voor de toetsing van de uitspoelingsberekeningen zijn alleen de polderbalansen gebruikt. De balansen zijn opgesteld voor het jaar 2000.

Voor zware metalen bestaan de balansposten uit de emissies van diverse bronnen naar het oppervlaktewater en de zware metalen die worden af- of aangevoerd met water dat wordt uitgeslagen cq. ingelaten. Voor het schatten van de emissies is gebruik gemaakt van emissiefactoren en emissieverklarende variabelen. Deze methode is vergelijkbaar met de methode die wordt gebruikt voor de landelijke Emissieregistratie, met dien verstande dat voor de balansen van Rijnland gebruik is gemaakt van regiospecifieke data. In de rapportage van de balansen wordt ervan uitgegaan dat 30% van de zware metaalbelasting van het oppervlaktewatersysteem achterblijft voordat het gemaal bereikt wordt, dwz. de retentie is 30%.

De vrachten aanvoer en afvoer van zware metalen via ingelaten of uitgeslagen water is gebaseerd op waterdebieten en gemeten concentraties van zware metalen in het ingelaten/uitgeslagen water. Deze concentraties worden vooral in het uitgeslagen water slechts een beperkt aantal keren per jaar gemeten, waardoor de onzekerheden in de uitgeslagen vrachten relatief groot zijn.

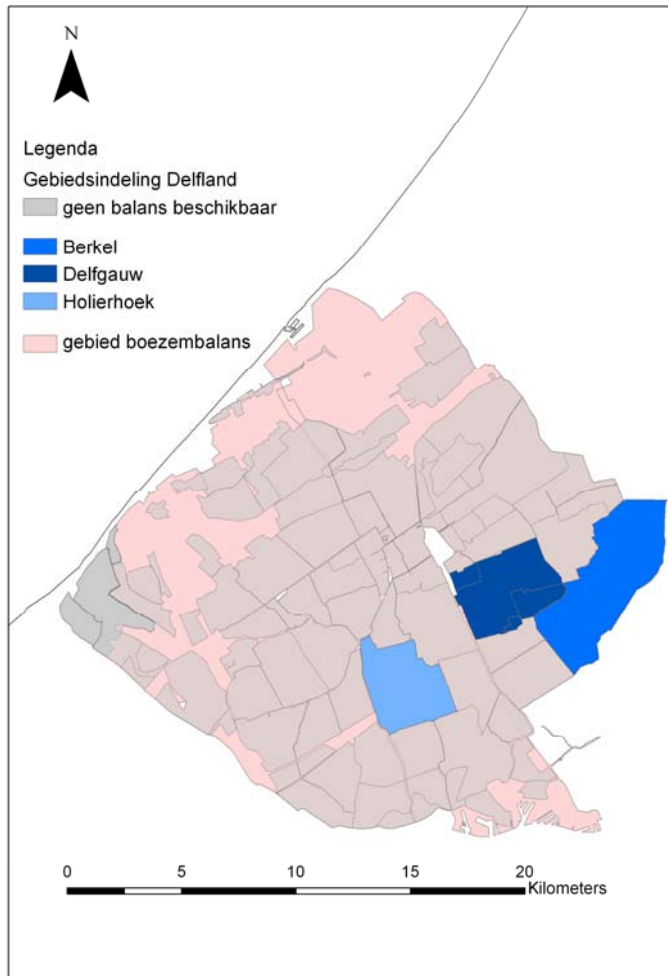


Figuur 2.2 Gebiedsindeling Hoogheemraadschap van Rijnland

2.2.2 Hoogheemraadschap Delfland

Door Hoogheemraadschap van Delfland zijn in 2007 balansen van nutriënten, chloride en de metalen koper, nikkel, lood en zink opgesteld voor het boezemsysteem en drie polders in het beheersgebied van het hoogheemraadschap. Deze balansen zijn bij het gereedkomen van dit rapport nog niet gepubliceerd. De drie polders en het gebied waarover de boezembalans is opgesteld zijn weergegeven in Figuur 2.3. De balansen zijn opgesteld voor het jaar 2005.

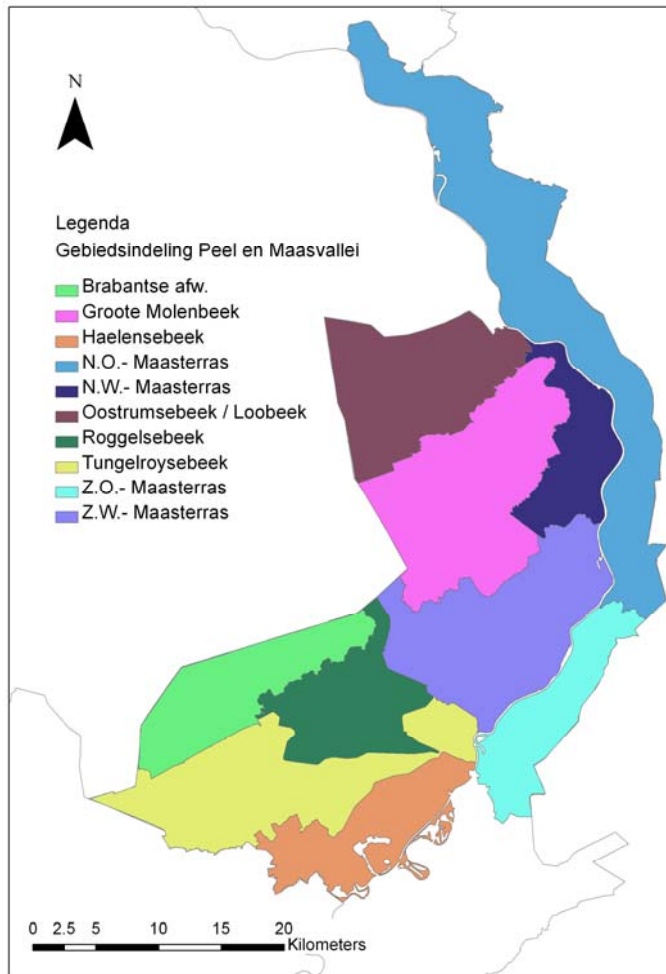
Voor het opstellen van de balansen is voor zware metalen gebruik gemaakt van cijfers van de emissieregistratie en metingen van debieten en concentraties in het ingelaten en uitgeslagen water. Verder is er in de balansen een bergingsterm opgenomen om rekening te houden met waterberging en berging van stoffen in het water voor de periode waarover de balans is opgesteld.



Figuur 2.3 Gebiedsindeling Hoogheemraadschap van Delfland

2.2.3 Waterschap Peel en Maasvallei

Door het waterschap Peel en Maasvallei zijn in 2007 balansen opgesteld voor onder andere de zware metalen koper en zink. Deze balansen zijn opgesteld voor het jaar 2004. De deelgebieden waarover balansen zijn opgesteld zijn weergegeven in Figuur 2.4.



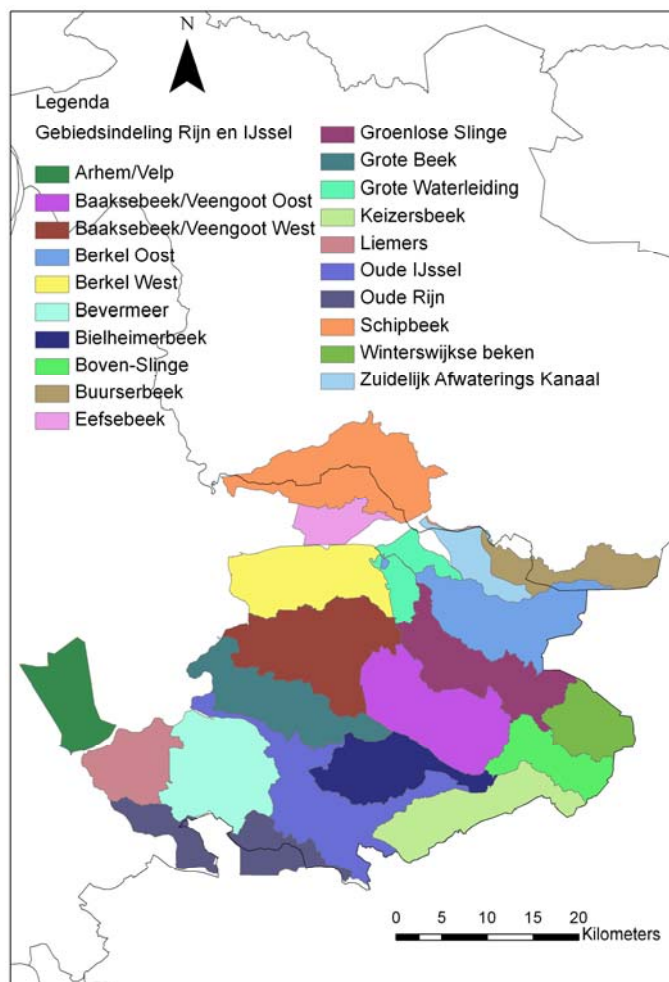
Figuur 2.4 Gebiedsindeling Waterschap Peel en Maasvallei

De balansen zijn gebaseerd op data van Emissieregistratie, metingen en schattingen van debieten en concentraties en gegevens afkomstig van RWZI's. De onzekerheid voor wat betreft de aanvoer en afvoer van stoffen is voor diverse deelgebieden erg groot doordat concentraties en debieten niet op hetzelfde punt zijn bepaald en/of doordat meetpunten van concentraties niet bij de instroom dan wel uitstroom gelegen zijn. In enkele gevallen zijn gegevens van een meetpunt gebruikt voor zowel de kwaliteit van het instromende water als voor de kwaliteit van het uitstromende water. Verder geldt nog dat in het beheergebied van Waterschap Peel en Maasvallei gedurende de zomer er relatief veel water door de landbouw onttrokken kan worden. Deze post is echter niet in de stoffenbalans opgenomen.

2.2.4 Waterschap Rijn en IJssel

Door Waterschap Rijn en IJssel is in 2007 een analyse uitgevoerd met betrekking tot puntbronnen en diffuse bronnen van probleemstoffen in het beheersgebied van het waterschap. Deze analyse heeft tot doel om het inzicht in de bronnen van

oppervlakteverontreinigingen te vergroten om uiteindelijk een bijdrage te leveren aan beleid en het formuleren van maatregelen. De analyse is uitgevoerd voor nutriënten, koper, zink en enkele organische stoffen. Op basis van deze analyse kunnen voor een aantal deelgebieden balansen van deze stoffen worden opgesteld. Doordat de afvoer van stoffen geen onderdeel is van de studie kunnen alleen balansen worden opgesteld voor stroomopwaarts gelegen gebieden, waarvan de afvoer tevens aanvoer is voor andere deelgebieden in het waterschap. De analyse van bronnen is opgenomen in een rapport (Hoenderboom, 2007). Dit rapport was op bij het schrijven van dit rapport nog niet gepubliceerd. Alle deelgebieden die binnen het waterschap worden onderscheiden zijn weergegeven in Figuur 2.2.



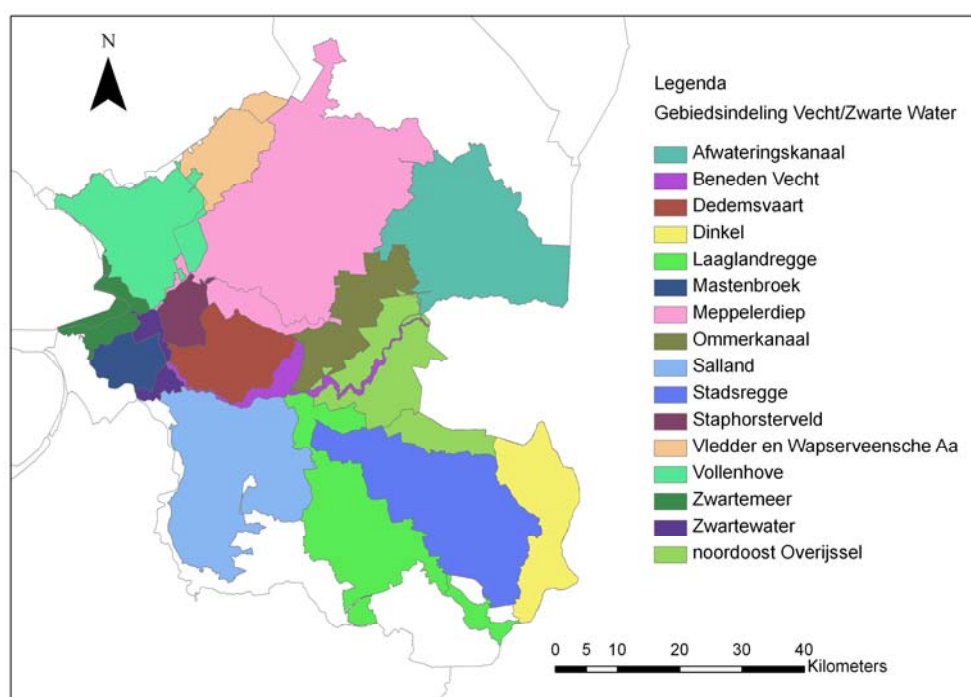
Figuur 2.5 Gebiedsindeling Waterschap Rijn en IJssel

De balansen die opgesteld zijn aan de hand van de bronnenanalyse hebben betrekking op de periode 2004 t/m 2006. De bronnenanalyse is gebaseerd op de Emissieregistratie, cijfers van RWZI's en metingen van debieten en concentraties. De gegevens van de Emissieregistratie zijn afkomstig van ERC 2004. De gegevens voor de belasting door RWZI's heeft betrekking op de periode 2005-2006.

Voor het jaar 2006 kunnen er geen modelberekeningen van de uitspoeling worden uitgevoerd, omdat er nog geen STONE-hydrologie voor dat jaar beschikbaar is. Bij berekening van de uitspoeling is er daarom gebruikt gemaakt van een langjarige gemiddelde hydrologie.

2.2.5 Vecht/Zwarte Water

Voor de gebieden die afwateren op het Zwarte Meer (verder aangeduid als: Vecht/Zwarte Water) zijn balansen opgesteld van nutriënten, PAK, bestrijdingsmiddelen en de metalen koper, nikkel en zink in het oppervlaktewater. Deze balansen zijn onderdeel van een studie, uitgevoerd door De Straat Milieuadviseurs bv, met als doel de waterkwaliteitsproblemen binnen het gebied in kaart te brengen en de achterliggende oorzaken van deze problemen te bepalen. Het studiegebied behoort tot de beheersgebieden van de waterschappen Reest en Wieden, Velt en Vecht, Groot Salland en Regge en Dinkel en van Rijkswaterstaatdirectie Oost-Nederland. De onderverdeling van het gebied Vecht/Zwarte Water is weergegeven in Figuur 2.6.



Figuur 2.6 Gebiedsindeling Vecht/ Zwarte Water

De balansen hebben betrekking op het jaar 1997. Voor zware metalen bestaan de balansposten uit de emissies van diverse bronnen naar het oppervlaktewater en de zware metalen die worden aangevoerd vanuit het bovenstrooms gebied en afgevoerd naar benedenstrooms gebied. Voor het schatten van de emissies is gebruik gemaakt van emissiefactoren en emissieverklarende variabelen. Deze methode is vergelijkbaar met de methode die wordt gebruikt voor de landelijke Emissieregistratie, met dien

verstande dat voor de balansen van Vecht/Zwarte Water gebruik is gemaakt van regio-specifieke data. In de studie door De Straat Milieuadviseurs wordt voor emissies vanuit het landelijk gebied (afspoeling landelijk gebied, meemesten sloten, uitspoeling glastuinbouw en verspreide huishoudelijke lozingen) een retentie van 50% gehanteerd. Hierboven op is voor elk deelgebied nog apart de retentie voor alle bronnen berekend. In onderhavig rapport wordt daarentegen gebruik gemaakt van slechts één retentiefactor voor alle bronnen samen (zie paragraaf 2.3.1).

2.3 Berekeningsmethoden uitspoeling

2.3.1 Uitspoeling op basis van stoffenbalans

Berekeningsmethode

De uitspoeling op basis van stoffenbalansen voor oppervlaktewatersystemen wordt berekend als sluitpost van de balans. Deze balans heeft de volgende vorm:

$$afvoer = aanvoer + overige bronnen + uitspoeling$$

waarbij *afvoer* het transport van zware metalen met water het deelgebied uit (uitgeslagen water of afvoer naar benedenstroomse gebieden); *aanvoer* is de aanvoer vanuit bovenstroomse gebieden of aanvoer via inlaat water; *overige bronnen* zijn alle bronnen van zware metaalbelasting van het oppervlaktewater in het deelgebied met uitzondering van uitspoeling; *uitspoeling* is de uitspoeling van zware metalen uit de bodem naar het oppervlaktewater.

In werkelijkheid zal echter niet de volledige belasting door aanvoer en bronnen ook weer worden afgevoerd uit het oppervlaktewatersysteem. Een gedeelte van de zware metalen blijft achter in het systeem door onder andere binding aan de waterbodem. Dit proces wordt retentie genoemd. Indien rekening wordt gehouden met de retentie ziet de balans er als volgt uit:

$$afvoer + retentie = aanvoer + overige bronnen + uitspoeling$$

oftewel,

$$afvoer = (aanvoer + overige bronnen + uitspoeling) \cdot (1 - retentiefactor)$$

Hierbij geeft de retentiefactor (waarde tussen 0 en 1) aan welk deel van de oppervlaktewaterbelasting door retentie in het systeem achterblijft. De uitspoeling kan dan als volgt worden berekend:

$$uitspoeling = \frac{afvoer}{1 - retentiefactor} - aanvoer - overige bronnen$$

Retentie

Retentie betekent dat een gedeelte van de stoffen in het oppervlaktewatersysteem achterblijft, of althans niet in de meetbare afvoer terecht komt. Voor zware metalen zal sedimentatie en binding aan de waterbodem de belangrijkste oorzaak van retentie zijn. In principe heeft de retentiefactor een waarde tussen 0 en 1. Een waarde kleiner dan 0 kan ook voor komen en betekent dat er nalevering uit de waterbodem of erosie van de waterbodem optreedt.

De daadwerkelijke waarde van de retentiefactor kan verschillen tussen afzonderlijke gebieden en ook tussen de diverse bronnen. Zo zal de retentie voor kleine gebieden met snelstromend water meestal kleiner zijn dan voor grotere gebieden met traag stromend water. Verder zal de retentie van zware metalen afkomstig van bronnen met veel vaste bezinkbare deeltjes groter zijn dan zware metalen die direct in opgeloste vorm het oppervlaktewater belasten.

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 ook uit het systeem verdwijnen. In de meeste stoffenbalansen is baggeren echter niet als balanspost opgenomen. Daarnaast kan in snelstromende systemen ook transport van het sediment optreden waarbij de ook dan de zware metalen uit het systeem worden verwijderd. Bij het bepalen van de afvoerterm in de stoffenbalansen wordt dit sedimenttransport echter niet meegenomen.

Bij het opstellen van de balansen door de waterschappen wordt meestal uitgegaan van een retentie van 30% of 50% (retentiefactor = 0,3 of 0,5). Deze waarden van 30 en 50% zijn meestal arbitrair gekozen. Hogere of lager waarden komen mogelijk ook voor. In dit rapport zal de uitspoeling voor zowel een retentie van 30% als van 50% worden berekend.

Onzekerheden

De onzekerheid in de uitspoeling op basis van massabalansen wordt bepaald door de onzekerheid in de aanvoerterm, afvoerterm, overige bronnen en de retentiefactor. Omdat de uitspoeling berekend wordt als een verschilterm, geldt dat indien dit verschil relatief klein is ten opzichte van de overige termen, de onzekerheid in de uitspoeling erg groot is. Voor een aantal gebieden is de onzekerheid in de verschiltermen dermate groot dat een negatieve uitspoeling wordt berekend.

2.3.2 Uitspoeling op basis van modelberekeningen

Verschillen tov emissieregistratieberekeningen

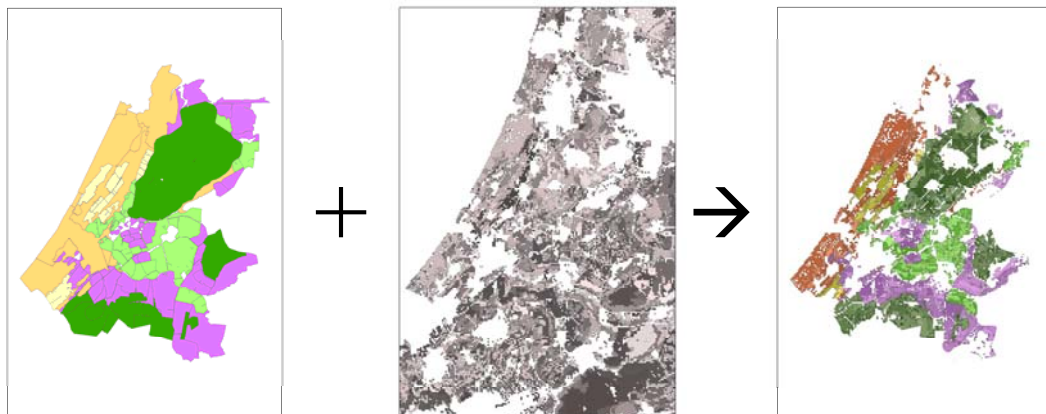
Het doel van dit onderzoek is het toetsen van modelberekeningen van de uitspoeling van zware metalen uit het landelijk gebied naar het oppervlaktewater. Voor toepassing op landelijke schaal zijn de resultaten van dit soort modelberekeningen opgenomen in de Emissieregistratie. Voor deze studie is een vergelijkbare aanpak

gebruikt voor de berekening van de uitspoeling, echter met een aantal verschillen ten opzichte van de berekeningen ten behoeve van de emissieregistratie. Deze verschillen zijn:

- **ruimtelijk schematisatie** De uitspoeling zoals opgenomen in ERC is een gemiddelde waarde voor relatief grote ruimtelijke eenheden. In dit rapport wordt een gebiedspecifieke uitspoeling berekend (zie ook hieronder ‘Berekeningsmethode’);
- **hydrologie** Voor de ERC-berekeningen is uitgegaan van een langjarig gemiddelde hydrologie. In dit rapport wordt de hydrologie gebruikt voor hetzelfde jaar als waarvoor ook de betreffende stoffenbalansen zijn opgesteld;
- **gehalten ondergrond** Bij de ERC-berekening is uitgegaan van gehalten en concentraties in de ondergrond zoals opgenomen in Alterra-rapport 1340 (Bonten & Brus, 2006). In dit rapport wordt gebruik gemaakt van de verbeterde schematisatie van achtergrondgehalten zoals opgenomen in Alterra-rapport 1636 (Bonten et al, 2008)

Berekeningsmethode

Om te komen tot een regiospecifieke schatting van metaaluitspoeling wordt er een overlay gemaakt van de gebiedsindeling van een waterschap met de indeling van Nederland in STONE-plots. Onderstaande figuur geeft dit voor Hoogheemraadschap Rijnland weer.



Figuur 2.7 Overlay van gebiedsindeling in waterschap met STONE-plots. HH Rijnland als voorbeeld.

Vervolgens is voor elke STONE-plot in een deelgebied de metaaluitspoeling naar het oppervlaktewater berekend. Tenslotte is de uitspoeling van alle plots in het deelgebied gesommeerd, wat de totale uitspoeling binnen het deelgebied oplevert.

3 Resultaten en discussie

3.1 Vergelijking modelberekeningen en stoffenbalansen

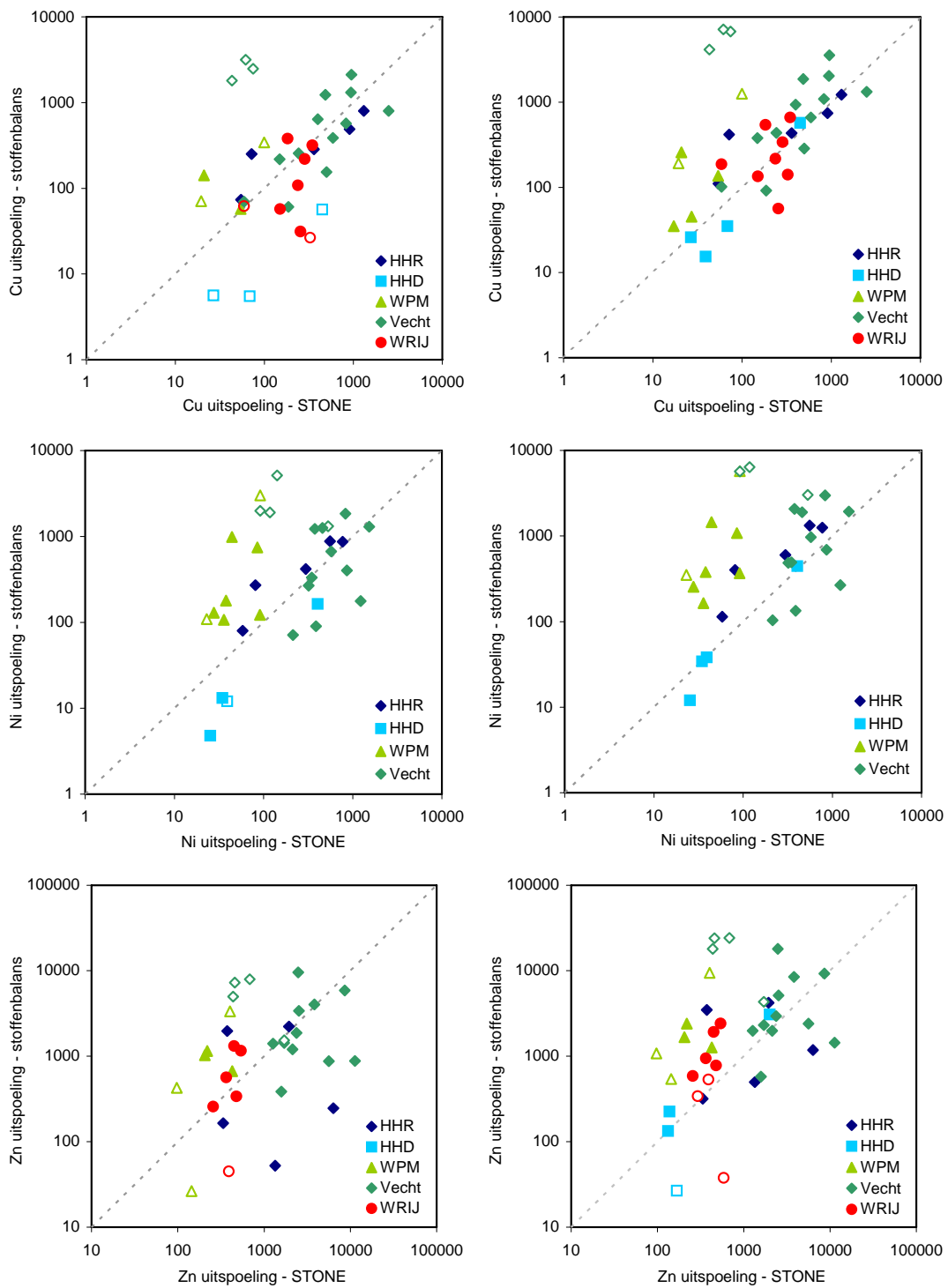
In Figuur 3.1 is per metaal de uitspoeling op basis van de massabalans uitgezet tegen de uitspoeling op basis van modelberekeningen. Voor een aantal punten geldt dat de onzekerheid in de uitspoeling op basis van de stoffenbalans zeer groot is. Deze punten zijn als open symbolen weergegeven. De onzekerheid is als zeer groot beschouwd indien:

- de uitspoeling slechts een geringe bijdrage levert aan de totale belasting van het oppervlaktewater (criterium: uitspoeling $< 0.2 \times$ totale belasting). Omdat de berekende uitspoeling op basis van stoffenbalansen kleiner is bij een retentiefactor van 0,3 dan bij 0,5, worden bij retentie=0,3 meer punten als zeer onzeker beschouwd;
- een belangrijk deel van de stoffen in het systeem afkomstig is van de bovenstroomse aanvoer en slechts door het systeem heen wordt getransporteerd (criterium: aanvoer $> 0.8 \times$ afvoer). Dit doet zich vooral voor in stroomafwaarts gelegen gebieden.

Stoffenbalansen en modelberekeningen van de uitspoeling zijn voor alle deelgebieden en metalen in tabelvorm weergegeven in Bijlage 1. Voor een aantal gebieden wordt op basis van de stoffenbalans een negatieve uitspoeling berekend, vooral bij een retentiefactor van 0,3. Omdat de figuren logaritmische assen hebben kunnen deze punten niet weergegeven worden in de figuren. Deze negatieve waarden zijn wel weergegeven in de tabellen in Bijlage 1.

Op basis van Figuur 3.1 en de tabellen in Bijlage 1 kan het volgende worden gesteld:

- de overeenkomsten tussen uitspoeling obv. modelberekeningen en obv. massabalansen zijn het grootst voor koper (gem. afwijking is factor 3);
- voor nikkel en zink zijn de overeenkomsten tussen beide methodes kleiner (gem. afwijking is factor 7 en 4,5 respectievelijk);
- de gebieden met grote onzekerheden in de massabalansen (open symbolen) laten in het algemeen de grootste afwijkingen van de 1:1-lijn zien;
- de uitspoeling op basis van de massabalansen is gemiddeld iets groter dan volgens de modelberekeningen. Dit zou kunnen betekenen dat de modelberekeningen de uitspoeling onderschatten;
- voor een aantal gebieden volgt uit de massabalansen een negatieve uitspoeling, indien een retentiefactor van 0,3 gehanteerd wordt (niet zichtbaar in figuren, zie tabellen in Bijlage 1);
- voor West-Nederland (Rijnland en Delfland) komen de uitspoelingskrachten van beide methodes meer overeen dan voor Oost-Nederland (Rijn en IJssel, Vechtgebied en Peel en Maasvallei), in het bijzonder bij een retentiefactor van 0,5.



Figuur 3.1 Uitspoeling obv. massabalansen voor een retentiefactor van 30% (links) en 50% (rechts) versus uitspoeling obv STONE voor de metalen koper (boven), nikkel (midden) en zink (onder). Open symbolen zijn gebieden waarbij de onzekerheden in de uitspoeling obv. massabalansen zeer groot zijn. Onderbroken lijn is 1:1 lijn, waarbij uitspoelingskrachten volledig overeenkomen. Uitspoeling in kg/jr.

3.2 Discussie

3.2.1 Vergelijking van de modelberekeningen met stoffenbalansen

Het doel van dit onderzoek was tweeledig. Ten eerste het toetsen van de modelberekeningen aan onafhankelijk verkregen uitspoelingsvrachten en ten tweede aan te geven voor welke regio's en/of bodemtypes de modelberekeningen niet voldoen.

Ten aanzien van de eerste doelstelling laten de figuren zien dat de verschillen tussen de uitspoelingsvrachten volgens beide methodes relatief groot zijn. Deze verschillen kunnen veroorzaakt worden door ten eerste onzekerheden in de modelberekeningen, maar ook door onzekerheden in de stoffenbalansen en/of verschillen in de uitgangspunten van beide methodes. Toetsing van de modelberekeningen is alleen mogelijk indien de onzekerheden in de stoffenbalansen relatief klein zijn en de uitgangspunten (zie paragraaf 3.2.3) voor beide methodes gelijk zijn. Alleen dan kan een vergelijking tussen uitspoelingsvrachten volgens beide methodes meer inzicht verschaffen in de onzekerheden en fouten in de modelberekeningen. En pas dan kan ook voldaan worden aan de tweede doelstelling, namelijk aangeven voor welke omstandigheden de modelberekeningen wel of niet voldoen.

Echter, de onzekerheden in de stoffenbalansen blijken relatief groot te zijn en verder blijken ook de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de beide berekeningsmethodes niet helemaal gelijk te zijn. Dit betekent dat de daadwerkelijke betrouwbaarheid van de modelberekeningen moeilijk is vast te stellen aan de hand van de beschikbare stoffenbalansen. In paragraaf 3.2.2 en 3.2.3 worden de achtergronden van de onzekerheden in de stoffenbalansen en de verschillen in de uitgangspunten verder besproken.

Wel kan worden gesteld dat de modelberekeningen op zijn minst een redelijke schatting geven van de uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied. Dit volgt in de eerste plaats uit het feit dat de modelberekeningen nauwelijks systematisch afwijken van de uitspoeling op basis van de stoffenbalansen (de modellen voorspellen een iets lagere uitspoeling, wat verklaard kan worden doordat uitspoeling uit het stedelijk gebied bij de modelberekeningen niet en bij de balansen wel wordt meegenomen, zie ook paragraaf 3.2.3). Dit betekent dat de modelberekeningen in elk geval op grote schaalniveaus redelijk betrouwbaar zijn. Voor kleine schaalniveaus (bv. polders) kan vanwege de grote onzekerheden in de stoffenbalansen geen uitspraak worden gedaan. Verder vertonen, vooral bij een retentie van 50%, de uitspoelingsvrachten volgens beide methodes een duidelijk verband. Dit verband is het sterkst bij koper.

Ten aanzien van de tweede doelstelling geldt, zoals eerder vermeld, dat door de grote onzekerheden van de stoffenbalansen er geen gebieden, bodemtypes etc. aangewezen kunnen worden waarvoor de modelberekeningen niet voldoen. Zo werd onder andere verwacht dat anaerobe omstandigheden in natte gebieden er toe zouden leiden dat de modelberekeningen de daadwerkelijke uitspoeling kunnen overschatten.

Dit volgt echter niet uit de vergelijking tussen stoffenbalansen en modelberekeningen. De overeenkomsten tussen uitspoelingsvrachten volgens beide methodes zijn juist het grootst in laaggelegen West-Nederland.

3.2.2 Onzekerheden in stoffenbalansen

De onzekerheden in de uitspoelingsvrachten op basis van de stoffenbalansen zijn voor de meeste gebieden helaas groot. De belangrijkste redenen hiervoor zijn:

- voor een groot aantal gebieden, vooral in Oost-Nederland bleek het niet mogelijk een voldoende sluitende waterbalans op te stellen. Een sluitende waterbalans is een belangrijke voorwaarde voor een kwalitatief goede stoffenbalans;
- de vrachten van zware metalen die een deelgebied in- en uitstromen zijn meestal gebaseerd op een klein aantal metingen van concentraties, waardoor de fouten in geschatte in- en uitstromende vrachten groot kunnen zijn;
- voor een aantal deelgebieden zijn de meetpunten voor debieten of concentraties niet gelegen op het daadwerkelijk in- of uitstroompunt van dat deelgebied;
- debietmetingen en concentratiemetingen zijn niet altijd op gelijke tijdstippen en/of gelijke locaties uitgevoerd;
- de retentie van stoffen in de deelsystemen is een relatief onbekend en mogelijk erg variabel proces.

Gelet op het bovenstaande kan worden verwacht dat de onzekerheden in de stoffenbalansen kleiner zullen zijn voor gebieden met een meer gereguleerd waterbeheer, zoals in laag-Nederland. Dit volgt ook uit het feit dat de verschillen tussen de uitspoelingsvrachten volgens beide methodes het kleinst zijn voor de gebieden in laag-Nederland.

3.2.3 Verschillen in uitgangspunten van stoffenbalansen en modelberekeningen

Naast de onzekerheden in de vrachten geldt de uitgangspunten van beide methodes niet helemaal gelijk zijn. Namelijk, bij de uitspoeling op basis van stoffenbalansen wordt ook uitspoeling uit bodems in het stedelijk gebied meegenomen, terwijl de modelberekeningen alleen betrekking hebben op het landelijk gebied. Dit verschil zou er toe moeten leiden dat de modelberekeningen in algemeen lager zullen uitvallen dan de uitspoelingsvrachten op basis van stoffenbalansen, hetgeen ook blijkt uit de vergelijking tussen beide methodes.

4 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

De eerste doelstelling van deze studie was de huidig beschikbare modellen voor de berekening van uitspoeling van zware metalen uit de bodem op basis van STONE en partitierelaties te toetsen aan stoffenbalansen van zware metalen voor oppervlaktewatersystemen.

Echter de onzekerheden in de stoffenbalansen bleken dermate groot, dat het niet mogelijk was om de resultaten van de modelberekeningen voldoende te toetsen.

Wel kan meer in het algemeen het volgende worden gesteld:

- Uit de vergelijking tussen uitspoeling volgens modelberekeningen en stoffenbalansen volgt dat er geen grote systematische afwijkingen tussen de resultaten van beide methodes zijn. Dit betekent dat de modelberekeningen op grote schaalniveaus op zijn minst een redelijke schatting van de uitspoeling geven. Voor kleine gebieden zoals polders zijn de onzekerheden in de stoffenbalansen te groot om te modelberekeningen te toetsen;
- De uitspoeling volgens de stoffenbalansen is gemiddeld iets hoger dan volgens de modelberekeningen. Een mogelijk verklaring hiervoor is dat bij de stoffenbalansen uitspoeling uit het stedelijk gebied wel wordt meegenomen en bij de modelberekeningen niet;
- De retentie van stoffen in het oppervlaktewatersysteem blijkt zeer sterk de relatie tussen uitspoeling naar het oppervlaktewater en uitstroom uit een stroomgebied te bepalen. De daadwerkelijke waarde van de retentiefactor is onbekend en hoogstwaarschijnlijk sterk variabel tussen verschillende gebieden, metalen en bronnen van metalen. Wel geldt dat de beste overeenkomsten tussen beide methodes gevonden worden bij een retentie van 50%. Bij retentie van 30% geven de stoffenbalansen voor veel gebieden negatieve waarden voor uitspoeling.

De tweede doelstelling van dit onderzoek was om aan te geven voor welke bodemtypes, landgebruik, regio's de modelberekening een goede of geen goede voorspelling van de uitspoeling geven. Door de grote onzekerheden in de stoffenbalansen is het echter niet mogelijk aan te geven onder welke omstandigheden de modelberekeningen wel dan wel geen goede voorspelling geven van de daadwerkelijke uitspoeling.

Aanbevelingen

Met de huidig beschikbare stoffenbalansen is het niet mogelijk om de modelberekeningen van uitspoeling adequaat te toetsen. Het verdient daarom aanbeveling om in toekomstig onderzoek enkele gebieden in laag Nederland en enkele gebieden in hoog Nederland te selecteren en voor deze gebieden de stoffenbalansen gedetailleerd in kaart te brengen. Hierbij zal vooral veel aandacht

moeten worden besteed aan de in- en uitstroom van zware metalen uit het betreffende gebied. Voor uitspoeling van nutriënten lopen er diverse onderzoeken waarbij wellicht kan worden aangesloten.

In deze studie is gebleken dat retentie een grote onbekende factor is in stoffenbalansen. Om hier meer grip op te krijgen is meer inzicht nodig in de achterliggende processen die retentie bepalen. Zulke processen zijn o.a. sedimentatie, sorptie aan sedimenten, sedimenttransport en verwijdering van zware metalen door baggerwerkzaamheden.

Literatuur

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, Wageningen.

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

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

De Straat Milieuadviseurs bv, 2004, *De waterkwaliteit in het stroomgebied Vecht/Zwarte Water. Problemen, oorzaken en situatie 2015 bij ongenoemd beleid*. De Straat, Delft.

Faassen E., R. Bakkum, M. van Duin, B. Verhoeven, H. Gerrits. 2006. *Stoffenbalansen Rijnland voor chloride, stikstof, koper, nikkel en zink. Basisrapport implementatie Europese Kaderrichtlijn Water*, Hoogheemraadschap van Rijnland.

Hoenderboom, A., *Terug naar de bron. Bronnenanalyse van probleemstoffen 2004-2006*, Waterschap Rijn en IJssel, *in concept*.

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/RIZA-rapport 2003.018, Wageningen.

Schipper, P.M.N., 2006, *Inventarisatie kennisbehoefte en kennisontwikkeling. Diffuse belasting oppervlaktewater met zware metalen*. rapport 2006-09, STOWA, Utrecht.

Bijlage 1 Stoffenbalansen en modelberekeningen van uitspoeling.

Tabel A.1 Stoffenbalansen en uitspoeling Hoogbeemraadschap Delfland (in kg/jr)

	Berkel	Delfgauw	Holierhoek	boezems
koper				
AWZI	9	0	0	0
afspoeling verhard	48	21	30	813
depositie	11.7	19	8.3	397
inlaat	2.4	6.1	9.7	70
wegzijging	-7.2	-8.4	-6.3	-151
berging	-2.4	-0.4	-1.3	-478
afvoer	44	27	25	752
uitspoeling (R=0.3)	5.5	5.6	-2.4	57
uitspoeling (R=0.5)	35	26	15	573
uitspoeling STONE	69	27	39	448
nikkel				
AWZI	8.4	0	0	0
afspoeling verhard	21	9.2	14	300
depositie	0	0	0.6	3.7
inlaat	6.0	0	32	119
wegzijging	-4.2	-1.6	-6.7	-48
berging	4.6	3.9	7.3	118
afvoer	33	11	39	445
uitspoeling (R=0.3)	13	5	12	163
uitspoeling (R=0.5)	34	12	38	445
uitspoeling STONE	35	25	39	405
zink				
glastuinbouw	39	10	2.2	579
AWZI	60	0	0	0
afspoeling verhard	677	302	448	9735
depositie	0	0	8.3	80
inlaat	16	61	82	355
wegzijging	-66	-43	-54	-1030
berging	-29	3.1	-14	-252
afvoer	429	212	223	5755
uitspoeling (R=0.3)	-57	-13	-131	-804
uitspoeling (R=0.5)	226	133	27	3073
uitspoeling STONE	138	133	168	2008

Tabel A.2 Stoffenbalansen en uitspoeling Hoogbeemraadschap Rijnland (in kg/jr)

	boezemland	diepe klei	klei	veen	zand
koper					
overstort en regenriool	87	43.3	30.7	36	8.6
directe depositie	12	3	7.1	17	0.3
verkeer	9	19.7	8.1	16	1.7
lozingen	7	16	6.4	15	2.2
bouwmetalen	5	4.8	1.7	7	0.7
overige bronnen	51	26.1	18	29	5.1
AWZI	0	1.2	4.7	4	0
inlaat	35	143	10	35	3
infiltratie	-24	0	0	-2	-1
wegzijging	-17	0	-1	-14	-1
afvoer	291	741	260	443	65
uitspoeling (R=0.3)	251	800	286	489	73
uitspoeling (R=0.5)	417	1224	434	742	110
uitspoeling STONE	363	1857	6834	51	80
nikkel					
overstort en regenriool	32	50.7	15	32	4.1
directe depositie	18	4.6	11	27	0.4
verkeer	1.4	3	1.3	3	0.3
lozingen	0.6	1.4	0.6	1	0.2
bouwmetalen	0	0	0	0	0
overige bronnen	0	0	0	0	0
AWZI	0	0.7	1	2	0
inlaat	39	177	11	37	3
infiltratie	-18	-0.1	0	-2	-1
wegzijging	-17	0	-1	-19	-1
afvoer	229	782	319	666	60
uitspoeling (R=0.3)	271	880	417	870	80
uitspoeling (R=0.5)	402	1327	599	1251	114
uitspoeling STONE	274	548	700	58	84
zink					
overstort en regenriool	939	807	359	606	98
directe depositie	47	0	28	69	0
verkeer	291	611	253	529	53
lozingen	0	18	0	0	3
bouwmetalen	476	763	285	738	45
overige bronnen	199	123	88	146	19
AWZI	0	0	20	0	0
inlaat	106	445	30	99	8
infiltratie	-140	-0.2	-1	-25	-5
wegzijging	-120	0	-3	-75	-3
afvoer	2638	3492	778	1633	268
uitspoeling (R=0.3)	1971	2222	52	246	165
uitspoeling (R=0.5)	3478	4217	497	1179	318
uitspoeling STONE	1195	1884	5604	323	381

Tabel A.3 Stoffenbalansen en uitspoeling Vecht-studie (in kg/jr)

	Afw.- kanaal	Beneden Vecht	Dedems- vaart	Dinkel	Laagland- regge	Masten- broek	Meppeler diep	NO Over- ijssel	Ommer- kanaal	Salland	Stads- regge	Stap- horster- veld	Vledder/ Vollen- hove	Zwarte Meer	Zwarte Water
	koper														
RWZI	118	16	0	36	178	0	90	6	18	26	190	0	17	8	18
overstort en regenriool	20	2	4	12	17	3	24	10	5	19	72	2	8	1	10
verkeer	5	0	1	2	5	1	6	2	1	5	14	0	2	0	2
lozingen	3	2	4	4	100	1	7	13	140	8	12	1	2	0	0
directe depositie	3	1	2	0	2	1	5	2	1	2	2	1	19	4	2
overige bronnen	13	1	13	7	24	1	118	4	4	34	52	2	105	26	28
aanvoer	139	4019	163	681	1173	12	248	344	23	17	173	5	18	8165	6761
afvoer	482	4090	283	919	2526	55	1265	1128	314	525	920	56	228	7477	6984
uitspoeling (R=0.3)	388	1802	218	570	2110	60	1309	1232	256	639	798	70	155	2477	3157
uitspoeling (R=0.5)	663	4139	379	1095	3553	92	2032	1876	435	939	1324	102	285	6749	7147
uitspoeling STONE	591	43	149	827	956	187	941	487	243	399	2504	59	499	75	62

Tabel A.3 (vervolg) Stoffenbalansen en uitspoeling Vecht-studie (in kg/jr)

	Afw.- kanaal	Beneden Vecht	Dedems- vaart	Dinkel	Laagland- regge	Masten- broek	Meppeler diep	NO Over- ijssel	Ommer- kanaal	Salland	Stads- regge	Stap- horster- veld	Vledder/ Vollen- hove	Zwarte Meer	Zwarte Water
	nikkel														
RWZI	85	16	0	53	92	0	49	2	23	19	466	0	18	7	11
overstort en regenriool	11	5	2	3	4	6	7	11	2	8	44	4	5	1	11
verkeer	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	2	0	0	0	0
lozingen	0	0	0	0	11	0	1	1	3	5	1	0	0	0	0
directe depositie	4	1	2	0	2	1	6	2	1	2	3	1	25	5	2
overige bronnen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aanvoer	224	7253	274	831	2864	13	229	344	39	52	507	6	2	8965	9314
afvoer	508	6485	382	1481	2998	77	1111	1128	280	530	2002	57	158	9879	7868
uitspoeling (R=0.3)	401	1990	267	1228	1309	90	1295	1252	331	670	1837	71	176	5135	1901
uitspoeling (R=0.5)	692	5695	486	2074	3022	134	1930	1896	491	973	2981	103	267	10780	6397
uitspoeling STONE	860	92	321	375	530	389	1531	457	346	573	830	214	1225	142	118

Tabel A.3 (vervolg) Stoffenbalansen en uitspoeling Vecht-studie (in kg/jr)

	Afw.- kanaal	Beneden Vecht	Dedems- vaart	Dinkel	Laagland- regge	Masten- broek	Meppeler diep	NO Over- ijssel	Ommer- kanaal	Salland	Stads- regge	Stap- horster- veld	Vledder/ Vollen- hove	Zwarte Meer	Zwarte Water
	zink														
RWZI	1039	157	0	334	1813	0	681	24	294	232	4134	0	275	67	163
overstort en regenriool	256	60	34	131	187	31	330	157	69	220	1091	18	77	7	134
verkeer	147	11	34	64	143	16	178	48	42	145	423	10	58	8	61
lozingen	3	2	4	5	38	1	8	19	173	9	13	1	2	0	0
directe depositie	13	2	7	1	8	3	19	6	5	7	9	3	72	16	8
overige bronnen	56	4	13	24	54	6	67	18	16	55	160	4	22	3	23
aanvoer	1438	27434	691	4895	9109	42	1306	710	130	162	1172	19	14	32476	34352
afvoer	2678	22847	1550	4890	14655	339	5931	3059	1354	1891	7732	1021	981	28366	29410
uitspoeling (R=0.3)	874	4969	1431	1531	9584	385	5884	3387	1207	1871	4044	1405	881	7945	7274
uitspoeling (R=0.5)	2404	18024	2317	4325	17959	579	9273	5135	1981	2952	8462	1988	1442	24154	24080
uitspoeling STONE	5614	437	1712	1710	2482	1582	8591	2537	2133	2383	3824	1265	11317	681	456

Tabel A.4 Stoffenbalansen en uitspoeling Waterschap Peel en Maasvallei (in kg/jr)

	Brabantse afwatering	Groote Molenbeek	Haelense beek	N.O.- Maasterras	Oostrumse beek/ Loobeek	Roggelse beek	Tungelroyse beek	Z.O.- Maasterras	Z.W.- Maasterras
koper									
overstort en regenriool	14	10	7.4	12	4.4	0.9	0.7	4.3	3.4
RWZI	34	0	212	219	496	0	661	0	1862
verkeer	22	32	23	28	6.5	3.8	1.5	3.1	6.9
overige bronnen	19	23	13	15	5.0	2.5	1.1	3.0	4.2
aanvoer	59	77	176	1676	103	441	224	220	81
afvoer	202	138	170	1605	330	242	189	211	183
uitspoeling (R=0.3)	142	57	-188	343	-143	-103	-618	71	-1695
uitspoeling (R=0.)	257	136	-91	1260	45	35	-510	191	-1591
uitspoeling STONE	21	54	37	100	27	17	58	19	37
nikkel									
overstort en regenriool	3.1	2.1	1.7	2.8	0.9	0.2	0.2	0.9	0.7
RWZI	2.9	0	3.2	38	66	0	131	0	2154
verkeer	0.8	1.1	0.7	1.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3
overige bronnen	5.6	4.5	4.5	3.1	0.9	0.6	0.3	0.9	1.2
aanvoer	25	88	308	3793	117	184	357	493	34
afvoer	101	589	348	4791	819	220	428	423	241
uitspoeling (R=0.3)	107	745	179	3006	985	129	122	109	-1845
uitspoeling (R=0.)	164	1082	378	5744	1453	255	366	351	-1708
uitspoeling STONE	36	85	38	92	44	28	91	23	56

Tabel A.4 (vervolg) Stoffenbalansen en uitspoeling Waterschap Peel en Maasvallei (in kg/jr)

	Brabantse afwatering	Groote Molenbeek	Haelense beek	N.O.- Maasterras	Oostrumse beek/ Loobek	Roggelse beek	Tungelroyse beek	Z.O.- Maasterras	Z.W.- Maasterras
zink									
overstort en regenriool	44	30	24	41	13	2.6	2.3	13	10
RWZI	135	0	588	1022	1278	0	2748	0	5256
verkeer	163	232	138	175	46	26	13	29	76
overige bronnen	76	67	47	40	13	9.1	4.0	10	15
aanvoer	163	502	1451	10541	632	1223	2806	1162	224
afvoer	1125	1051	1072	10616	2195	901	2234	1148	1073
uitspoeling (R=0.3)	1026	670	-717	3347	1153	26	-2383	426	-4048
uitspoeling (R=0.)	1669	1270	-104	9414	2407	541	-1106	1083	-3435
uitspoeling STONE	205	426	148	402	220	144	482	97	245

Tabel A.5 Stoffenbalansen en uitspoeling Waterschap Rijn en IJssel (in kg/jr)

	Baakseb./ Veengoot Oost	Berkel Oost	Biel- heimerb.	Boven- Slinge	Buurser- beek	Gr'lose Slinge	Keizers- beek	Winters- wijkse beken
koper								
overstort en regenriool	14	12	18	5.2	3.5	6.4	8	14
verkeer	6.9	6.9	21	10	6.9	17	6.9	3.4
AWZI	6.6	27	3.2	0	0	0	11	21
direkte depositie	1.6	4.0	2.2	1.9	0.8	2.0	1.2	1.1
overige bronnen	2.6	2.8	3.0	1.2	1.0	1.8	1.7	2.0
aanvoer	0	489	211	63	260	136	3.3	94
afvoer	44	602	222	211	209	190	288	136
uitspoeling (R=0.3)	31	318	60	219	27	109	379	57
uitspoeling (R=0.5)	56	662	187	339	146	217	543	135
uitspoeling STONE	255	346	59	285	327	238	184	151
zink								
overstort en regenriool	50	57	59	15	19	40	42	39
verkeer	54	54	161	81	54	135	54	27
AWZI	98	129	38	0	0	0	69	104
direkte depositie	7.3	18	9.7	8.5	3.4	9.0	5.4	5.1
overige bronnen	0.4	0	0.5	0	0	0.1	0.2	0
aanvoer	0	1727	660	274	1099	581	23	398
afvoer	124	2199	635	660	854	772	1059	581
uitspoeling (R=0.3)	-33	1157	-21	565	45	339	1320	258
uitspoeling (R=0.5)	38	2414	342	943	533	780	1925	590
uitspoeling STONE	585	539	294	363	390	477	450	256