



ALTERRA

WAGENINGEN UR

EU Soil strategy

Deelproject V: Risk assessment voor zware metalen

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

Alterra-rapport 1541, ISSN 1566-7197



EU Soil strategy

Deelproject V: Risk assessment voor zware metalen

EU Soil strategy

Deelproject V: Risk assessment voor zware metalen

L.T.C. Bonten

J.E. Groenenberg

P.F.A.M. Römken

Alterra-rapport 1541

Alterra, Wageningen, 2007

REFERAAT

L.T.C. Bonten, J.E. Groenenberg, P.F.A.M. Römkens, 2007. *EU-Soil Strategy; Deelproject V: Risk Assessment voor zware metalen*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1541. 48 blz.; 15 fig.; 4 tab.; 16 ref.

In dit rapport worden door een koppeling van modellen met bestanden van bodemeigenschappen, landgebruik en hydrologische gegevens landsdekkende kaartbeelden gegenereerd van de huidige en toekomstige bodemkwaliteit. Toetsing van deze bodemkwaliteit aan verschillende vigerende normen laat een verschillende mate van normoverschrijding zien. De meeste normoverschrijdingen worden berekend voor toetsing aan referentiewaarden en normen voor oppervlaktewaterkwaliteit. Ondanks de verschillen tussen normen komen de gebieden waar normoverschrijdingen worden voorspeld overeen. Dat betreft vooral gebieden met een bekende verontreinigings situatie. De berekeningen voor de langere termijn laten zien dat de concentraties van alle metalen toenemen, waarbij de toename voor koper toename het grootst is. Het verder reduceren van de zware metaalgehalten in diervoer lijkt een effectieve optie om de belasting van de bodem te verlagen.

Trefwoorden: bodem, EU-Bodemrichtlijn, landbouw, risk assesment, zware metalen

ISSN 1566-7197

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

© 2007 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 Doelstelling	11
3 Data en modellen	13
3.1 Systeembeschrijving	13
3.2 Basisinformatie	15
3.3 Modellen	15
3.3.1 Bodem → bodemvocht/grondwater (→ opp. water)	16
3.3.2 Bodem → plant	16
3.3.3 Bodem → plant → dier	17
3.4 Normen	19
3.5 Ontwikkeling op langere termijn	21
4 Kaartbeelden	23
4.1 Basisinformatie	23
4.2 Huidige zware metaalgehalten in de bodem	23
4.3 Toetsing van de zware metaalgehalten in de bodem aan normen	25
4.3.1 Interventiewaarde	25
4.3.2 AW2000/referentie landbouw en natuur	27
4.3.3 Landbouw (LAC+)	29
4.3.4 Grondwater (streefwaarde ondiep)	32
4.3.5 Oppervlaktewater (MTR)	33
4.4 Ontwikkeling op lang termijn	36
4.5 Mate van accumulatie bij huidig landgebruik	38
5 Discussie en conclusie	43
Literatuur	45
 <i>Bijlagen</i>	
1 Bodemeigenschappen en landgebruik zoals toegepast in de berekening van de normoverschrijdingen en dynamische berekeningen	47

Samenvatting

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de methoden en data die beschikbaar zijn om de kwaliteit van de bodem en de invloed daarvan op de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater te kwantificeren. Deze bodemkwaliteit wordt hierbij getoetst aan vigerende normen voor bodem en grond- en oppervlaktewater. Echter het is niet de doelstelling van dit rapport om risicogebieden voor normoverschrijding aan te wijzen, maar om om de consequenties van de keuze voor een bodem- of waternorm (criterium) in beeld te brengen. Tenslotte wordt berekend wat de effecten van huidig bodemgebruik op de bodemkwaliteit over 30 en 100 jaar zullen zijn.

Door een koppeling van modellen met bestanden van bodemeigenschappen, landgebruik en hydrologische gegevens zijn landsdekkende kaartbeelden gegenereerd van de huidige en de toekomstige bodemkwaliteit. Deze bodemkwaliteit is vervolgens getoetst aan bestaande normen voor bodem (referentiewaarden, advieswaarden landbouw, interventiewaarden) en grond- en oppervlaktewater.

Toetsing aan de verschillende normen laat een verschillende mate van normoverschrijding zien. De meeste normoverschrijdingen worden berekend voor toetsing aan de referentiewaarden en de normen voor oppervlaktewaterkwaliteit. Bij toetsing aan de oppervlaktewaterkwaliteit zijn de verschillen tussen de diverse metalen groot. Ondanks de verschillen tussen de diverse normen en de diverse metalen komen de gebieden waar in de huidige situatie normoverschrijdingen worden voorspeld overeen. Dat betreft vooral gebieden met een bekende veelal historische verontreinigings situatie, zoals:

- de Kempen (Cd, Zn en Pb afkomstig van zinksmelters);
- de toemaakdekken in het veenweidegebied (Cu, Pb en in mindere mate Zn);
- de rivierkleigebieden met van nature voorkomend Ni;
- de natte (veen)gebieden voor wat betreft Cu, Ni en Zn in het oppervlaktewater.

De berekeningen voor de langere termijn laten zien dat de concentraties van alle metalen toenemen, waarbij voor koper deze toename het grootst is, zeker in (zand)gebieden waar veel drijfmest wordt uitgereden. Op de lange termijn (100 jaar) wordt voor deze gebieden een overschrijding van LAC2006 waarde berekend. Voor cadmium, zink en lood leidt de toename op de langere termijn slechts tot een beperkte overschrijding van de referentiewaarde in gebieden waar de huidige concentraties al relatief hoog zijn.

Omdat de berekeningen laten zien dat de aanvoer van zware metalen nog steeds (veel) groter is dan de afvoer, zijn tenslotte een aantal opties om de aanvoer van de metalen naar de bodem te reduceren besproken. Vooral een verdere verlaging van de zware metaalgehalten in diervoer lijkt een effectieve optie.

1 Inleiding

De huidige Nederlandse landbouw zorgt voor de introductie van een aantal ongewenste stoffen in de bodem. Gebruik van mest (dierlijk en kunstmest) leidt tot aanvoer van metalen als cadmium, koper en zink. Deze aanvoer kan, afhankelijk van landgebruik en bodemtype, leiden tot accumulatie van deze metalen in de bodem. Accumulatie van ongewenste stoffen is in de ontwerptekst van de Europese Bodemstrategie omschreven als een ongewenste ontwikkeling.

Het voorstel voor een EU Bodemstrategie is in september 2006 gepubliceerd (Europese Commissie, 2006). Deze bestaat uit twee verschillende delen namelijk een “Communication” deel waarin de achtergronden en uitgangspunten voor een Europees bodembeleid opgenomen zijn en een “Directive” deel. In het “Directive” deel (ook wel EU Bodemrichtlijn) worden de voorgestelde aanpak en de verplichtingen van de afzonderlijke lidstaten uiteengezet.

Deze documenten vormen, indien uiteindelijk goedgekeurd door het Europese parlement, de basis voor het Europese bodembeleid van de komende jaren. De basis van de EU Bodemrichtlijn wordt gevormd door een door de lidstaten zelf op te zetten beoordelingssysteem van bodemkwaliteit waarbij eigen criteria gebruikt kunnen worden om zogenaamde ‘Risk Areas’ (RAs) aan te wijzen. Dit zijn gebieden waar, volgens de criteria van de lidstaten zelf, de bodemkwaliteit onvoldoende is of wordt. Het is aan de lidstaten zelf om vervolgens maatregelen te treffen die moeten leiden tot een verbetering of handhaving van de bodemkwaliteit. In eerste instantie geldt de verplichting voor het aanwijzen van RAs voor de thema’s organische stof, verdichting, erosie, verzilting en aardverschuivingen.

Voor de thema’s bodemverontreiniging en afdichting zijn in principe andere benaderingen gekozen. Voor bodemverontreiniging geldt dat de lidstaten een zogenaamd status report moeten opstellen. Dat betekent dat de huidige en toekomstige situatie betreffende vervuiling (bronnen, niveaus etc.) voor wat betreft omvang en risico’s in beeld gebracht moet worden. Op dit moment is de tekst en daarmee de invulling echter niet eenduidig. Zo wordt landbouw als sector niet expliciet genoemd in het overzicht van ‘verontreinigende activiteiten’ (zie Bijlage 2 van de Directive). Daarentegen wordt wel weer expliciet gesteld dat activiteiten op lange termijn niet mogen leiden tot accumulatie van schadelijke stoffen of ongewenste effecten door schadelijke stoffen en dat bewuste introductie van schadelijke stoffen van de bodem daarom vermeden moet worden. In die zin valt landbouw dus wel onder de activiteiten die op kortere of langere termijn kunnen leiden tot ongewenste effecten. Dit als gevolg van de aanwezigheid van accumulerende stoffen als koper, zink en cadmium in (dierlijke en/of kunst)mest en daarnaast het voorkomen van onder andere resten van diergeneesmiddelen en hormonale (rest)stoffen in dierlijke mest.

In dit kader worden onder ongewenste effecten vooral effecten op ecologie, productkwaliteit en grond- en oppervlaktewater verstaan. Voor die laatste categorie (grond- en oppervlaktewater) geldt bovendien dat inzicht in de koppeling tussen bodemkwaliteit en de samenstelling van grond en oppervlaktewater van belang is om de bijdrage van de bodem aan de belasting van het water te kunnen kwantificeren. Dat is eens te meer belangrijk omdat in de Kaderrichtlijn Water ook eisen voor de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater met betrekking tot metalen opgenomen (gaan) worden. Omdat Nederland gekenmerkt wordt door relatief hoge grondwaterstanden en hoge emissie van onder andere koper en zink (uit mest) betekent dit dat de korte contactweg tussen bodem en water resulteert in een hoge bijdrage van de bodem aan de belasting (en daarmee de kwaliteit) van grond- en oppervlaktewater).

Om de link tussen landbouw en de huidige en toekomstige kwaliteit van de bodem in Nederland in beeld te brengen presenteren wij in dit rapport een aantal kaartbeelden. Deze geven weer in hoeverre de huidige en toekomstige bodemkwaliteit (na 30 en 100 jaar bij huidig beleid) zich verhoudt tot een aantal bodemnormen gebaseerd op de eerder omschreven relevante risico's. Dit betreft onder meer normen gerelateerd aan ecologische risico's, advieswaarden voor de bodem in relatie tot gewaskwaliteit en de (recent herziene) interventiewaarden. Ook zullen op basis van de bodemkwaliteit schattingen gemaakt worden van de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater. Deze schattingen kunnen vervolgens gekoppeld worden aan vigerende normen voor oppervlaktewater. Op die manier wordt een beeld gegeven welke bodemtypen en welke vormen van landgebruik nu en in de nabije toekomst aanleiding geven tot normoverschrijding en daarmee impliciet dus vallen in de categorie "vervuilende activiteit". Anders gesteld, deze methodiek kan ook de basis vormen voor het aanwijzen van Risk Areas voor metalen hoewel deze benadering op dit moment (nog) niet gevolgd wordt voor metalen. Nadrukkelijk wijzen we erop dat de hier gepresenteerde kaartbeelden niet bedoeld zijn om definitieve RAs aan te wijzen. Het gaat meer om het neerzetten van de methodologie volgens welke men tot het aanwijzen van RAs kan komen dan om de RAs zelf.

2 Doelstelling

Dit rapport is bedoeld om inzicht te geven in methoden die nu beschikbaar zijn om risico's van metalen in de bodem inzichtelijk te maken. Dat gebeurt in principe op landelijke schaal en de methodes kunnen daarom gebruikt worden om gebieden aan te wijzen die nu of in de toekomst niet meer aan bepaalde kwaliteitseisen voldoen. Het is echter niet de doelstelling van dit rapport om daadwerkelijk risicogebieden aan te wijzen, maar wel zullen de consequenties van de keuze voor een bodem- of waternorm (criterium) in beeld worden gebracht. Dit dient er niet alleen toe om regionaal maatregelen te kunnen nemen in die gebieden waar op termijn risico's ontstaan, maar ook om afwegingen te kunnen maken op het gebied van ruimtelijke ordening. Immers activiteiten die op de ene plaats (regio) mogelijk leiden tot risico's als gevolg van bepaalde eigenschappen van de bodem kunnen op andere bodemtypen (mits haalbaar uiteraard) wellicht wel duurzaam zijn. Duurzaam in deze context wil zeggen dat het landgebruik nu en op termijn niet leidt tot onaanvaardbare effecten. Deze onaanvaardbare effecten zijn hier gekoppeld aan overschrijdingen van daarvoor bestemde normen. Zo is bijvoorbeeld de productkwaliteit voor landbouwproducten voor menselijke consumptie direct te koppelen aan de warenwet die stelt dat voor cadmium en lood de gehalten in het product niet boven bepaalde grenzen mogen uitkomen.

Bij het toetsen van de huidige bodemkwaliteit kan daarbij onderscheid gemaakt worden tussen een directe toetsing van de huidige bodemkwaliteit aan bestaande normen (referentiewaarde volgens AW2000 of interventiewaarde) en een toetsing waarbij een norm in een eindproduct (grondwater, gewas) via bestaande modellen wordt omgerekend naar een maximaal aanvaardbaar gehalte in de bodem. Met andere woorden, hoe hoog mag het gehalte in de bodem zijn voordat bepaalde gewasnormen of grondwaternormen overschreden worden? Uiteindelijk kunnen deze berekende 'kritische' gehalten in de bodem ook weer vergeleken worden met de actuele (of berekende toekomstige) gehalten in de bodem. De mate van complexiteit en het aantal benodigde modellen om dergelijke terugreken modules te kunnen gebruiken is afhankelijk van het doel. Vooral de koppeling tussen bodemkwaliteit en (grond- en oppervlakte)waterkwaliteit is daarbij complex.

In dit rapport komt daarom aan de orde:

- Toetsen van huidige kwaliteit aan verschillende criteria: een relatief eenvoudige toetsing van de regionale bodemkwaliteit aan normen en voorstellen daartoe (o.a. LAC, referentie, achtergrond en interventiewaarde) en meer complexe benaderingen waarbij verschillende criteria (warenwetnormen, grondwaterconcentraties, MTR oppervlaktewater) gebruikt worden om terug te rekenen naar een kritisch gehalte in de bodem, dat uiteindelijk ook weer getoetst kan worden aan de huidige bodemkwaliteit.
- Modelleren van de ontwikkeling van bodemkwaliteit op langere termijn gevolgd door een zelfde toetsing aan normen. Hierbij wordt een dynamische aanpak gevolgd waarbij nagegaan wordt wat op termijn de overschrijding van een of

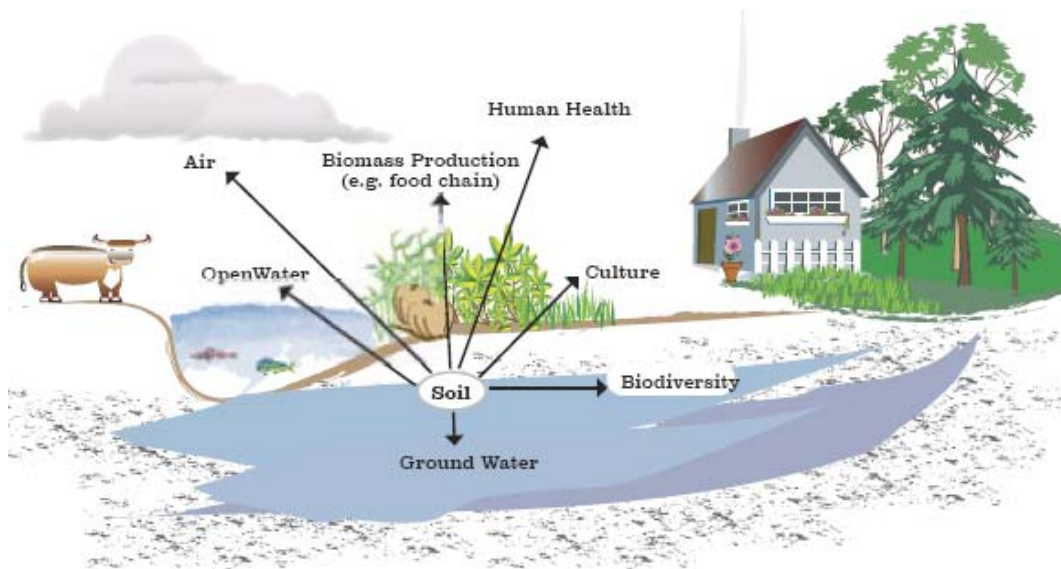
meerdere normen bij het huidige landgebruik is. Kritische factoren zijn dan uiteraard de hoogte van de gekozen norm (referentiewaarden zullen eerder overschreden worden dan interventiewaarden) en de tijds termijn die als periode gekozen wordt (overschrijding na 2000 jaar is beleidsmatig niet relevant, maar onduidelijk is welke termijn dan wel relevant zou kunnen zijn: 10, 25, 50, 100 jaar?). In dit rapport worden (arbitrair gekozen) termijnen van 30 en 100 jaar gebruikt.

- Analyse van de uitkomsten van de verschillende aanpakken. Is het beeld dat dan ontstaat consistent (leveren de verschillende toetscriteria eenzelfde beeld op?) of blijkt het zodanig verschillend dat we wellicht keuzen moeten gaan maken tussen de criteria (sommige normen zullen wellicht nooit overschreden worden terwijl andere wellicht niet al te relevant zijn). Tenslotte is ook de kwaliteit van de voorspelling en daarmee het kaartbeeld een criterium dat gebruikt kan worden om een methode al dan niet toe te passen.
- Evaluatie van de resultaten. Uiteindelijk is dit rapport bedoeld om inzicht te geven in de mate waarin landbouw in dit kader leidt tot ongewenste effecten. Deze methodiek is daarbij bij uitstek geschikt om uitspraken te doen op regionale schaal (dus niet op bedrijfsniveau) en daarmee passend in het raamwerk van de risk areas aanpak.

3 Data en modellen

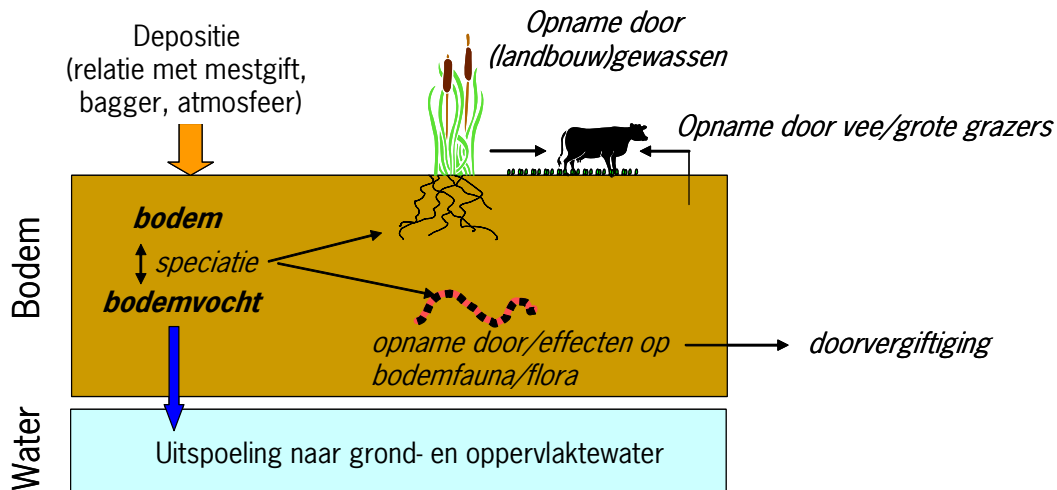
3.1 Systeembeschrijving

Kenmerkend van de gekozen aanpak is dat het een *systeembenadering* betreft. Centraal in de gedachte van de Bodemstrategie is het idee dat bodem de schakel vormt tussen menselijk handelen (in deze rapportage nadruk op landbouw) en de kwaliteit van water, lucht en de omgeving als geheel. Niet voor niets vormt figuur 1 (uit de toelichting bij de Bodemstrategie) de basis van bodembescherming in brede zin.



Figuur 1 Bodem als centrale “spil” in het systeem water, bodem, lucht (bron: Soil Protection, the story behind the strategy, <http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/soillight.pdf>)

Daarom is ook in dit rapport nadrukkelijk gekozen voor een aanpak waar bodem deel uitmaakt van een systeem van aan- en afvoer en contact met andere ‘media’ als planten, water systemen en organismen in de bodem zelf (zie figuur 2). Dit vereist uiteraard wel dat alle in figuur 2 onderscheiden bronnen, routes en processen op het gewenste schaalniveau gekarakteriseerd dienen te worden.



Figuur 2 Schematische weergave van de in deze studie onderscheiden bronnen, routes en processen

In dit rapport wordt namelijk onderscheid gemaakt tussen een toetsing van de actuele bodemkwaliteit en de toekomstige bodemkwaliteit. In dat laatste geval wordt de verandering in de gehalten in de bodem berekend als functie van aan- en afvoer naar en van de bodem conform de in figuur 2 onderscheiden fluxen. Deze worden hieronder toegelicht. Nadere uitleg over de gebruikte data en modellen zijn in paragraaf 3.2 en 3.3 te vinden.

In deze rapportage worden de volgende bronnen/routes en processen meegenomen:

1. Aan- en afvoer naar en van de bodem. Aanvoer via mest, kunstmest en atmosferische depositie, maar ook afvoer via gewas en uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater worden gekwantificeerd. Aanvoer van metalen via mest is daarbij berekend aan de hand van de jaarlijkse toedieningscijfers en de gehalten aan metalen in de mest zelf. Afvoer via gewassen wordt berekend aan de hand van de opname door het gewas zelf (zie ook paragraaf 3.3.2) en de afvoer van het gewas (oogstcijfers). Uitspoeling wordt eveneens berekend met behulp van modellen die op basis van bodemeigenschappen berekenen wat de concentratie in het bodemvocht is (uiteeraard rekening houdend met het gehalte in de bodem zelf). De methoden die daarvoor gebruikt worden staan toegelicht in paragraaf 3.3.1). Op die manier is het mogelijk de veranderingen in het bodemgehalte in de tijd voor elke onderscheiden regionale eenheid (zie paragraaf 3.5) te berekenen en vervolgens te vergelijken met de onderscheiden normen.
2. Opname door (landbouwhuis)dieren en bodemorganismen. Op basis van consumptiepatronen van dieren (hier m.n. runderen) en de beschikbaarheid van metalen in de bodem zelf kunnen risico's voor boven en ondergronds levende dieren gekwantificeerd worden. Daarbij komt ook het aspect van doorvergiftiging aan de orde. Dat is het fenomeen dat metalen accumuleren in de loop van de voedselketen (bijv. wormen eten grond, muizen eten wormen en valken eten muizen).

3.2 Basisinformatie

Risico's van zware metalen in de bodem zijn in veel gevallen afhankelijk van de eigenschappen en het gebruik van de bodem. Voor het toetsen van zware metaalgehalten aan normen en het tonen van 'risk areas' op landelijke schaal is daarom ook informatie over bodemeigenschappen en landgebruik op landelijke schaal vereist. Gekozen is om gebruik te maken van de bodemeigenschappen en landgebruikinformatie zoals beschikbaar in het model STONE (Kroon et al., 2001). In dit model is voor 6405 ruimtelijke eenheden voor alle benodigde gegevens voldoende informatie beschikbaar. Deze indeling 6405 eenheden is gemaakt op basis van verschillen in bodemtype, landgebruik en meteorologie. Daarnaast is in dit model ook hydrologische informatie beschikbaar, waardoor ook risico's van zware metalen in de bodem voor het grond- en oppervlaktewater kunnen worden weergegeven. Het nadeel van het gebruik van STONE is de relatief grove ruimtelijk resolutie, waardoor de getoonde kaartbeelden slechts een globaal overzicht geven van de ligging en grootte van de 'risk areas'. De kaartbeelden kunnen daarom niet gebruikt worden voor het daadwerkelijk aanwijzen van deze 'risk areas' of het definiëren van gebiedsgerichte maatregelen. Hiervoor zijn lokale of regionale studies met data op het betreffende schaalniveau noodzakelijk. In deze studie zijn de volgende gegevens gebruikt:

- organisch stofgehalte;
- kleigehalte;
- pH;
- landgebruik (in vier klassen: bouwland, maïs, intensief grasland en natuur);
- hydrologische fluxen (langjarig gemiddelde voor de periode 1971-2000).

Deze informatie is beschikbaar voor de afzonderlijke bodemlagen tot een diepte van 13 meter beneden maaiveld.

Voor de huidige gehalten van zware metalen in de bodem wordt gebruikt gemaakt van een studie van Bonten en Brus (2006). Hierbij zijn op landelijke schaal de gehalten van cadmium, koper, nikkel, lood en zink geschat op basis van een uitgebreide dataset van 6562 bovengrondmonsters en 452 ondergrondmonsters afkomstig van verschillende nationale en regionale meetnetten. Om vlakdekkende informatie te verkrijgen zijn de meetpunten geïnterpoleerd, waarbij rekening is gehouden met de verschillen in bodemeigenschappen en landgebruik. Op rekentechnische gronden is voor de toetsing aan normen voor grond- en oppervlaktewaterkwaliteit en voor de ontwikkeling op lange termijn een grovere schematisatie gebruikt.

3.3 Modellen

In deze paragraaf komen de verschillende modelconcepten (kort) aan de orde die zijn toegepast om de overdracht van metalen vanuit de bodem naar de onderscheiden compartimenten te beschrijven. Achtereenvolgens komen aan de orde:

1. relatie bodem – water (3.3.1)

2. relatie bodem – plant (3.3.2)
3. relatie bodem – plant – landbouwhuisdier (3.3.3)

3.3.1 Bodem → bodemvocht/grondwater (→ opp. water)

De overdracht van zware metalen van de bodem naar het grondwater wordt beschreven door middel van zogenaamde partitievergelijkingen. Deze vergelijkingen geven de relatie weer tussen het gehalte zware metalen in de vaste fase van de bodem en de concentratie in het bodemvocht, afhankelijk van verschillende bodemeigenschappen. Voor de metalen cadmium, koper, nikkel, lood en zink zijn op basis van laboratoriummetingen, vergelijkingen afgeleid met de volgende algemene vorm:

$$\log Me_{bodem} = n \log[Me]_{bodemvocht} + A_1 + A_2 \log org.stof + A_3 \log klei + A_4 pH \quad [1]$$

waarbij:

Me_{bodem}	= gehalte metaal in de vaste fase van de bodem (mg/kg)
$[Me]_{bodemvocht}$	= concentratie metaal in bodemvocht (µg/l)
$org.stof$	= organisch stofgehalte van de bodem (%)
$klei$	= kleigehalte van de bodem (%)
pH	= pH van het bodemvocht (-)
A_1-A_4	= regressiecoëfficiënten (-)

Deze vergelijkingen zijn uitgebreid beschreven in Römken et al. (2004). De met bovenstaande vergelijking berekende concentraties in het bodemvocht kunnen worden getoetst aan normen voor grondwaterkwaliteit.

Door de aldus berekende concentraties in het bodemvocht te koppelen aan het transport van grondwater naar het oppervlaktewater, is de belasting van het oppervlaktewater tengevolge van uitspoeling uit de bodem berekend. Een uitgebreide beschrijving van de rekenwijze voor uitspoeling van zware metalen vanuit bodems in het landelijk gebied naar het oppervlaktewater is opgenomen in Bonten & Brus (2006).

3.3.2 Bodem → plant

De opname van metalen door planten is een complex proces. Daarbij spelen niet alleen bodemchemische processen een rol (beschikbaarheid in de bodem, zie paragraaf 3.3.1) maar ook plantfysiologische processen. Het is bekend dat veel planten in staat zijn metalen selectief op te nemen (zgn. hyperaccumulatoren) of juist buiten te sluiten. Landbouwgewassen behoren meestal tot de categorie van planten die metalen in beperkte mate wel opnemen maar ook in staat zijn metalen buiten te sluiten. Daarbij kan onderscheid gemaakt worden tussen elementen als zink en koper die essentieel zijn voor een plant en metalen als cadmium, lood en arseen die voor zover bekend geen essentiële functie vervullen of zelfs toxisch zijn. Uit analyse van velddata is gebleken dat voor metalen als zink en cadmium (die of essentieel zijn of

lijken op elementen als calcium) een goede relatie bestaat tussen de chemische beschikbaarheid in de bodem (lees: de concentratie of activiteit in het poriewater) en het gehalte in de plant. Deze elementen worden min of meer in afhankelijkheid van de concentratie in de bodem opgenomen. Voor deze elementen kan op basis van bodemeigenschappen dan ook een goede relatie gelegd worden tussen bodem en gewas volgens een vergelijkbaar model als eerder gepresenteerd:

$$\log Me_{plant} = n \log Me_{bodem} + B_1 + B_2 \log org.stof + B_3 \log klei + B_4 pH \quad [2]$$

Voor cadmium en zink en in mindere mate ook voor koper en lood zijn relaties volgens vergelijking [2] afgeleid en uitgebreid beschreven in onder andere van Wezel et al. (2003), en voor gebiedsspecifieke toepassingen in Rietra et al. (2005) en Römken et al. (2005). Deze kunnen dus gebruikt worden om na te gaan bij welke combinatie van bodemeigenschappen een gewasnorm overschreden wordt. Wanneer een bepaalde norm voor het gewas gebruikt wordt als invoer kan voor elke gewenste combinatie van bodemeigenschappen (zoals die in de onderscheiden regionale eenheden voorkomen) een kritisch gehalte berekend worden:

$$\log Me_{bodem-krit.} = (\log Me_{plant} - (B_1 + B_2 \log org.stof + B_3 \log klei + B_4 pH)) / n \quad [3]$$

Dit kritische bodemgehalte kan dan vergeleken worden met het huidige (of berekende toekomstige) gehalte in de bodem. Wanneer het huidige of toekomstige gehalte boven dat van het kritische gehalte ligt bestaat de kans dat de productkwaliteit boven de daarvoor geldende norm ligt. Uiteraard is deze aanpak alleen mogelijk indien er een goede relatie tussen bodem en gewas bestaat. Voor metalen als arseen, kwik, nikkel en in veel gevallen ook lood kan op basis van bestaande gegevens geen goede relatie afgeleid worden en is deze methode dus niet toepasbaar. In die gevallen is de toetsing van de bodemkwaliteit eenvoudig een toetsing aan bestaande normen voor de genoemde metalen.

3.3.3 Bodem → plant → dier

De overdracht van metalen van bodem via voer naar dieren is in veel gevallen nog slecht gekwantificeerd. Niet in de laatste plaats omdat het meten van gehalten aan metalen in organen van dieren niet eenvoudig te herleiden is tot een bepaalde bodemkwaliteit. Orgaanvlees en andere dierlijke producten worden weliswaar regelmatig gekeurd, maar vaak is de herkomst van dergelijke producten niet aan een bepaald perceel of partij voer te koppelen. Daarnaast is ook de opname van metalen uit voer en aanhangende grond door dieren nog slechts beperkt onderzocht. Het is bekend dat verreweg het grootste deel (> 95%) van de door dieren ingenomen metalen via voer en grond het dier weer verlaat via urine en mest. Van de opgenomen metalen eindigt weer een groot deel in de nieren en lever. De overdracht naar producten als melk, eieren en vlees is zeer gering. Het meest kritisch bij de beoordeling van de bodemkwaliteit in het licht van diergezondheid en productkwaliteit is dan ook de opname in lever en nieren. Voor beide organen zijn productnormen (warenwet voor Cd en Pb) zodat via deze norm een kritisch

bodemgehalte berekend kan worden waarbij de interne orgaannorm overschreden wordt. Naast deze methode, die alleen toepasbaar is voor metalen waarvoor een interne kritisch norm bestaat (zoals de warenwet norm voor Cd en Pb) kan het kritische gehalte in de bodem afgeleid worden van de zogenaamde TDI: de toelaatbare dagelijkse inname (Tolerable Daily Intake). Deze is afgeleid van effect studies waarbij de maximale waarde is bepaald waarbij geen effecten op dieren kon worden vastgesteld. Ook voor deze TDI waarden geldt dat er nog veel discussie is over de betrouwbaarheid.

De totale inname (uit voer en bodem) vormt de basis waaruit de dagelijkse inname berekend wordt. De kritische dagelijkse inname wordt dan bereikt bij het eten van voer met het kritische plant gehalte ($Me_{p(crit)}$ in vergelijking [4]) en grond met een kritisch gehalte ($Me_{b(crit)}$).

$$Me_{p(crit)} \cdot I_p + Me_{b(crit)} \cdot I_b = TDI \quad [4]$$

Omdat het gehalte in de plant weer een functie is van het gehalte in de bodem, kan de TDI gekoppeld worden aan een kritisch gehalte in de bodem.

Voor de directe overdracht van Bodem en gewas naar dierlijk orgaan wordt vaak een BAF (BioAccumulatieFactor) toegepast die het verband aangeeft tussen de ingenomen hoeveelheid metaal en de uiteindelijke gehalten in het orgaan zelf. De relatie tussen het gehalte aan metaal in een dierlijk orgaan en in de bodem, uitgaande van begrazing inclusief grond inname kan worden weergegeven als:

$$Me_{do(crit)} = \left(\frac{Me_{p(crit)} \cdot I_p + Me_{b(crit)} \cdot I_b}{I_p + I_b} \right) \cdot BAF_{pd} \quad [5]$$

waarbij:

$Me_{do(crit)}$	= Norm voor metaalconcentratie in dierlijk orgaan (mg.kg^{-1})
BAF_{pd}	= Bioaccumulatiefactor van plant naar dierlijk orgaan (-)
I	= Hoeveelheid voer en/of grond die gegeten wordt (kg dag^{-1})

Vergelijking 5 is gebaseerd op de volgende veronderstellingen:

- De overdrachtsfactor van bodem naar dier is gelijke aan die van plant naar dier. Daardoor kan een gemiddelde concentratie in voer worden berekend op basis van de inname aan gras en de bijvraat aan grond.
- Er is een directe relatie tussen metaalgehalte in orgaanvlees of spiervlees en het metaalgehalte in voer (gebruik van een BAF_{pd}).
- De inname van metalen door andere oorzaken (voornamelijk veedrenking) is verwaarloosbaar.

De gebruikte waarden voor de BAF, TDI en I zijn gerapporteerd in van Weezel et al. (2003).

3.4 Normen

In dit rapport wordt de bestaande bodemkwaliteit getoetst aan een aantal normen en advieswaarden. Dat zijn achtereenvolgens:

1. de interventiewaarde
2. de generieke maximale waarden (op basis van Achtergrondwaarden 2000, tot voor kort ook wel “referentie”geheten)
3. de lokale maximale waarde voor landbouw (gelijk aan de LAC of de update daarvan, LAC2006)

In het kader van het besluit Bodemkwaliteit dat met ingang van 2007 in werking treedt zijn er een aantal wijzigingen opgetreden in het geldende normstelsel. De huidige interventiewaarde (IW) wordt weliswaar gehandhaafd (incl. status en noodzakelijke acties), maar de getalsmatige onderbouwing is deels veranderd. De IW zijn echter nog steeds gebaseerd op humane en ecologische risico's conform de bestaande beschermingscriteria. Een overzicht van de gebruikte IW staan in Tabel 2. Voor toepassing per onderscheiden eenheid wordt wel een bodemtype correctie toegepast op basis van de bodemeigenschappen per eenheid.

Voor een aantal stoffen waaronder de hier besproken metalen zijn de referentiewaarden aangepast op basis van de resultaten van het project Achtergrondwaarden 2000 (AW2000). Daarbij wordt geen onderscheid gemaakt naar het landgebruik (akkerbouw, grasland etc.), maar wel wordt een bodemtype correctie toegepast vergelijkbaar met de interventiewaarden.

Tabel 1 Normen voor bodemkwaliteit, interventiewaarde en “referentie”waarde (bij 10% OM en 25% lutum)

metaal	‘referentie’ waarde (mg/kg)	interventiewaarde (mg/kg)
cadmium	0,6	13
koper	40	190
nikkel	50	580
lood	30	100
zink	140	720

Ook zijn er nieuwe “Maximale Waarden” bepaald die voor een aantal functies de bovengrens van het optimaal functioneren van de bodem weergeven. Deze zijn zowel op landelijk (generiek) als lokaal (lokale maximale waarden) niveau. Voor landbouw betekent dit onder andere dat er voor de generieke toetsing gebruik gemaakt wordt van deze Maximale Waarden. Deze zijn getalsmatig gelijk aan de AW2000 waarden, er wordt dus geen onderscheid gemaakt naar gebruik (akkerbouw, grasland etc.).

Omdat het nieuwe bodembeleid gekenmerkt wordt door een verschuiving van het generieke naar het locatiespecifieke schaalniveau is voor de lokale maximale waarden voor de functie landbouw wel onderscheid gemaakt naar landgebruik en vindt er een berekening plaats die deels gebaseerd is op de eerder genoemde bodem – plant – dier relaties. Deze berekening is conform de rekenregels die in de nieuwe Risico Toolbox opgenomen zijn. Deze lokale maximale waarden zijn bodem specifiek. In deze studie

is echter gekozen om per landgebruikscategorie (grasland, akkerbouw en maïs) en bodemtype (zand, klei, veen) een maximale waarde te berekenen. De aldus berekende waarden staan in Tabel 2.

Tabel 2 Maximale waarden voor landbouwkundig gebruik

landgebruik	metaal	klei (mg/kg)	veen (mg/kg)	zand (mg/kg)
bouwland	cadmium	1	2	1
	koper	200	200	50
	nikkel	50	70	15
	lood	100	200	50
	zink	350	350	150
veevoeder	cadmium	2	2	1
	koper	150	150	50
	nikkel	50	70	15
	lood	200	200	100
	zink	350	350	150
grasland	cadmium	3	3	2
	koper	30	150	30
	nikkel	50	70	15
	lood	150	150	150
	zink	350	350	150

Grondwater

De berekende concentraties in het grondwater worden getoetst aan de geldende normen voor grondwaterkwaliteit, dat wil zeggen de streefwaardes voor ondiep grondwater en de interventiewaarde. In onderstaande tabel zijn deze waarden voor cadmium, koper, nikkel, lood en zink weergegeven.

In de toekomst zullen de normen voor grondwater mogelijk wijzigen in het kader van het nieuwe bodembeleid (zie normen voor bodem, zoals hierboven vermeldt). Op dit moment is niet duidelijk welke wijzigingen dit zullen zijn.

In de kaartbeelden (hoofdstuk 4) is alleen de toetsing aan de streefwaarde voor ondiep grondwater weergegeven, omdat dit de meest strenge norm is en er voor het landelijk gebied geen overschrijdingen van de interventiewaarden werden berekend. De toetsing vindt plaats aan de concentraties in het bodemvocht ter plaatse van het gemiddelde grondwaterstandniveau. In onderstaande tabel zijn de thans geldende streef- en interventiewaardes weergegeven.

Tabel 3 Normen voor grondwaterkwaliteit

metaal	streefwaarde ondiep ($\mu\text{g L}^{-1}$)	interventiewaarde ($\mu\text{g L}^{-1}$)
cadmium	0,4	6
koper	15	75
nikkel	15	75
lood	15	75
zink	65	800

Oppervlaktewater

Voor oppervlaktewaterkwaliteit gelden momenteel de eisen zoals gesteld in Regeling milieukwaliteitseisen gevaarlijke stoffen oppervlaktewateren (VROM, 2004). Deze normen zijn gelijk aan de MTR-niveaus van de Vierde Nota Waterhuishouding. Deze normen gelden voor totale concentraties in het oppervlaktewater waarbij rekening is gehouden met bepaalde hoeveelheid zwevend stof in het oppervlaktewater. In de nabije toekomst zullen deze normen vervangen worden door normen gesteld vanuit de Kaderrichtlijn Water. Voor een aantal stoffen (de zgn. prioritaire stoffen) zullen communautaire normen worden gesteld. Voor de zware metalen betreft dit cadmium, nikkel en lood. Voor de overige stoffen moeten op stroomgebiedniveau normen worden vastgesteld. De thans geldende normen zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4 Normen voor oppervlaktewaterkwaliteit

metaal	norm ($\mu\text{g L}^{-1}$ totaal)
cadmium	2
koper	3,8
nikkel	6,3
lood	220
zink	40

Bij toetsing aan de normen voor oppervlaktewaterkwaliteit dient te worden opgemerkt dat de berekende concentraties niet de concentraties in het oppervlaktewater zelf zijn maar de concentraties in het naar het oppervlaktewater uittredende grondwater. Een aantal factoren, die mogelijk van invloed zijn op de uiteindelijke concentraties in het oppervlaktewater, zijn niet meegenomen in de berekeningen. De belangrijkste factoren zijn vastlegging in de waterbodem, belasting via kwel vanuit de ondergrond en de bijdragen van andere bronnen (riooloverstorten, RWZI's, vergunde lozingen, verkeer, etc.).

3.5 Ontwikkeling op langere termijn

Voor de langere termijn is gekeken naar veranderingen in metaalgehalten in de bovengrond. De veranderingen zijn getoetst aan de referentiewaarden voor landbouw (AW2000). De verandering in metaalgehalten op langere termijn is landsdekkend berekend voor alle 6405 STONE plots voor een periode van 100 jaar. Resultaten zijn weergegeven voor 30 en 100 jaar. Uitgangspunt zijn de huidige metaalconcentraties (zie paragraaf 3.2).

De opzet voor de berekeningen is gelijk aan die gebruikt is voor het berekenen van Zink en Koper accumulatie en is in detail beschreven door De Vries et al. (2004) en Groenenberg et al. (2006). Veranderingen in metaalgehalten zijn berekend als het verschil tussen de netto input naar het veld minus gewasopname en uitspoeling uit de bovengrond. De gebruikte relevante aanvoertermen voor metalen in landbouwgronden zijn: aanvoer via drijfmest en kunstmest, atmosferische depositie, aanvoer

via compost en aanvoer door gebruik van bestrijdingsmiddelen. De aanvoer is gedurende 100 jaar constant gehouden op het huidige niveau.

De opname door het gewas is berekend als het product van de oogst (kg ha^{-1}) met de concentratie in oogstbare delen van het gewas (mg kg^{-1}). De metaalgehalten in het gewas zijn, waar mogelijk, berekend met bodem-plant relaties zoals beschreven in paragraaf 3.3.2. Deze rekenwijze beperkt zich tot de metalen Cd en Zn. In alle andere gevallen is gebruik gemaakt van de huidige mediane metaalgehalten in het gewas in Nederland (data: Landelijk IB bestand, Wiersma et al., 1985).

De uitspoeling uit de bovengrond is berekend met de gemiddelde waterflux uit de bovengrond naar diepere bodemlagen en oppervlaktewater zoals berekend met STONE en de concentratie metaal in het poriewater. De metaalconcentratie is berekend met een partitierelatie volgens vergelijking 1 in paragraaf 3.3.1.

4 Kaartbeelden

4.1 Basisinformatie

In Bijlage 1 is een overzicht te zien van de basisinformatie waarop toetsing aan normen en daaropvolgende indicatie van risicogebieden kan plaatsvinden. Dit betreft in de eerste plaats bodemeigenschappen die beschikbaarheid van mobiliteit van zware metalen bepalen (organische stof, klei en pH). Deze bodemeigenschappen zijn ook nodig voor het maken van de (landsdekkende) kaarten van zware metalen in de bodem (zie paragraaf 4.2). In geval van toetsing aan normen voor grond- en oppervlaktewaterkwaliteit, is ook de grondwaterstand van belang. Tenslotte is ook het landgebruik weergegeven, omdat verschillende vormen van landgebruik verschillende eisen stellen aan de kwaliteit van de bodem.

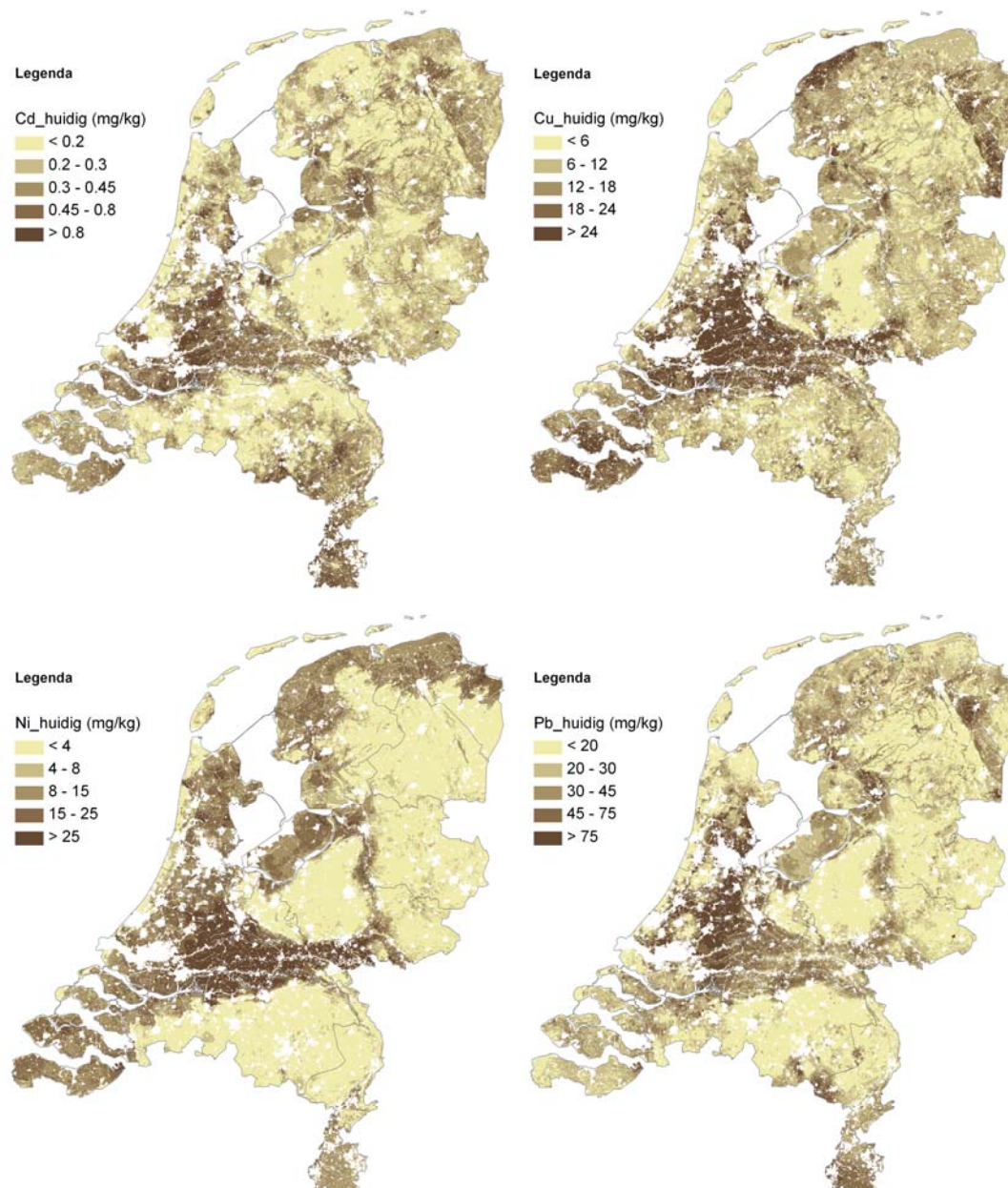
4.2 Huidige zware metaalgehalten in de bodem

In de figuren 3a t/m 3e zijn de huidige gehalten aan zware metalen (Cd, Cu, Ni, Pb en Zn) weergegeven. Deze vlakdekkende gehalten zijn berekend met behulp van gemeten gehalten in ruim 6500 locaties in combinatie met bodemeigenschappen. De methode volgens welke de gegevens zijn vertaald naar een vlakdekkende kaart zijn beschreven in Bonten & Brus (2006).

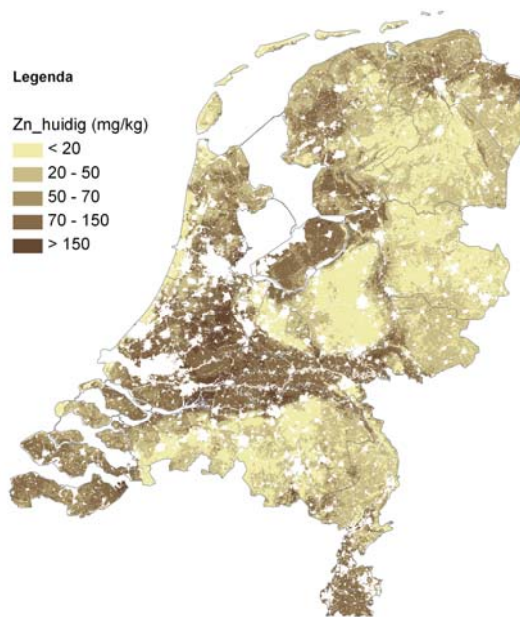
Ofschoon er verschillen bestaan tussen de verschillende elementen zijn er enkele gebieden waarin de gehalten hoger zijn dan elders. Vooral in de kleigronden en de veengronden zijn de gehalten hoger dan in de zandgronden in Oost-Nederland. Een uitzondering hierop vormt de bekende verontreiniging met cadmium en, in mindere mate, lood en zink in de Kempen. Ook het van nature verhoogde gehalte aan nikkel en zink in kleigronden (rivierengebied en langs de kust) is goed te zien. Dit laatste is geen of slechts ten dele een gevolg van menselijk handelen maar komt omdat de kleimineralen hogere natuurlijke gehalten aan met name nikkel en zink bevatten dan zanddeeltjes. De verhoogde gehalten in het westelijk veenweide gebied echter zijn wel voor een groot deel te wijten aan menselijke activiteiten (onder andere door het aanbrengen toemaakdekken).

Lokale bronnen van bodemverontreiniging komen op deze kaart niet zichtbaar naar voren (fabrieksterreinen, pompstations etc.). Een aparte opmerking betreft de uiterwaarden van de grote rivieren. Het is bekend dat in de uiterwaarden sterk verhoogde gehalten aan metalen (en andere verontreinigingen) voorkomen, maar vanwege het geringe aantal datapunten in deze specifieke, strikt begrensde (dijken) gebieden zijn deze niet als zodanig waarneembaar. Bovendien is de verontreiniging in de uiterwaarden vaak zeer heterogeen verdeeld en daarom moeilijk op een betrouwbare manier op het hier gepresenteerde schaalniveau weer te geven.

Uit figuren 3a-e blijkt dan ook dat de gehalten m.u.v. de al genoemde Kempen en het veenweidegebied (nog) niet sterk beïnvloed zijn door menselijk handelen.



Figuur 3a- d Gebalte aan cadmium, koper, nikkel en lood in de bodem (mg kg⁻¹)



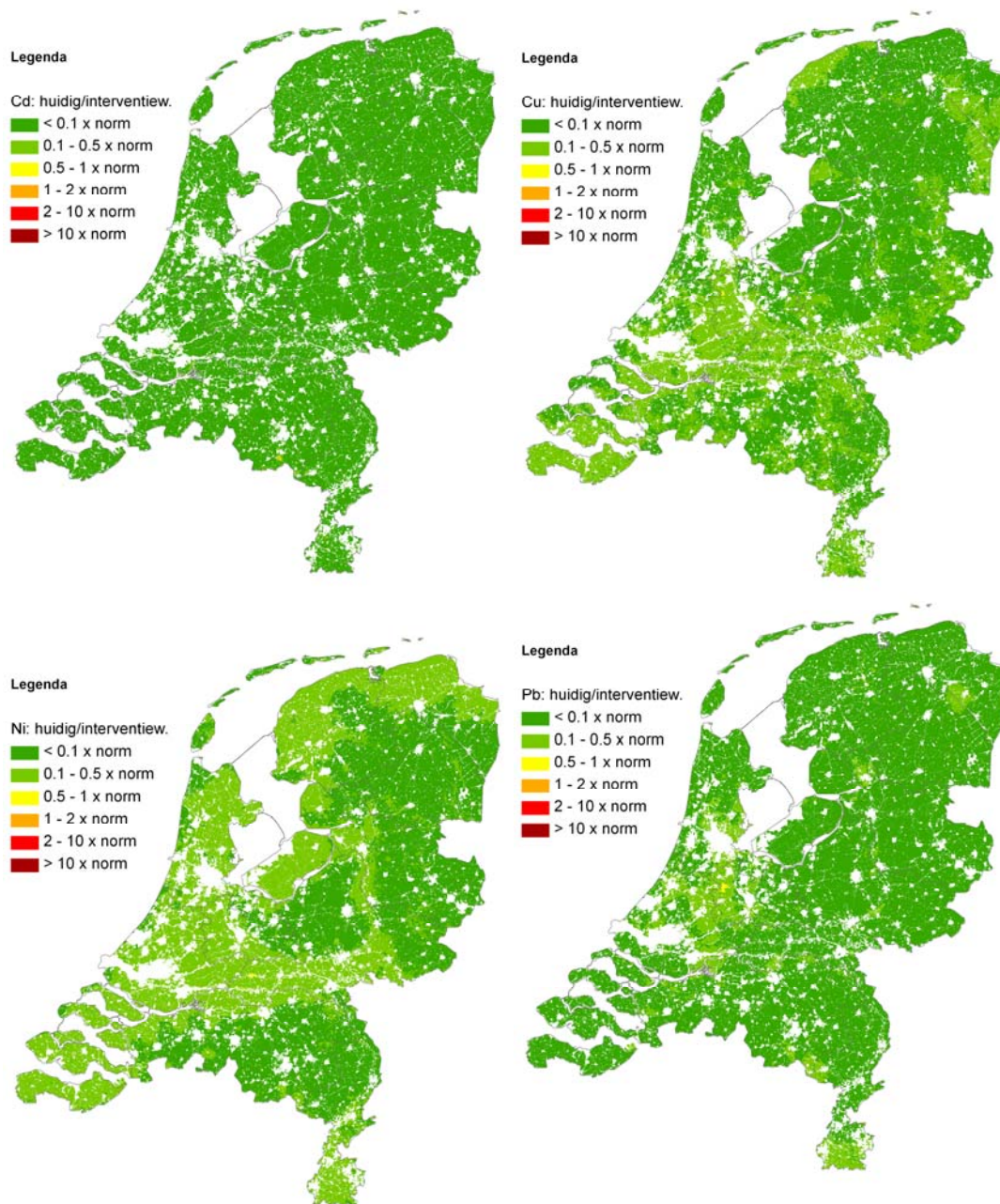
Figuur 3e Gebalte aan zink in de bodem (mg kg⁻¹)

4.3 Toetsing van de zware metaalgehalten in de bodem aan normen

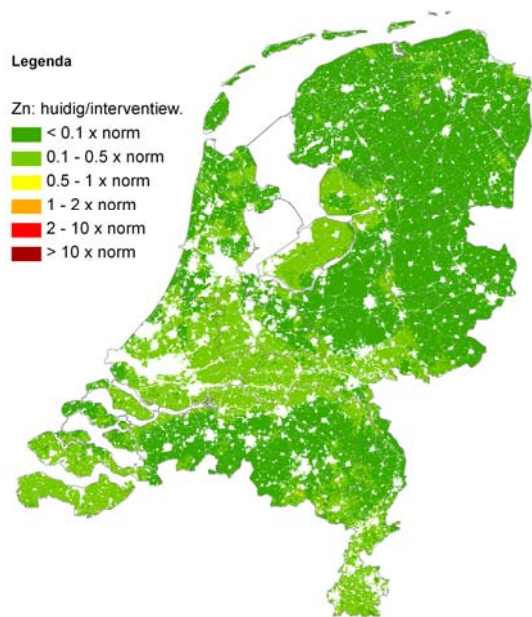
In onderstaande kaarten zijn de gehalten in de bovengrond en concentraties in het grondwater getoetst aan geldende normen voor bodemkwaliteit en waterkwaliteit. De bodemnormen zijn hierbij gecorrigeerd voor het organisch stof en kleigehalte van de bodem, zoals beschreven in de Circulaire Streef- en Interventiewaarden.

4.3.1 Interventiewaarde

In figuren 4a t/m 4e zijn de (totaal)gehalten aan metalen in de bodem uitgedrukt ten opzichte van de interventiewaarde rekening houdend met het bodemtype voor de betreffende eenheid (bodemtypecorrectie).



Figuur 4a-d Vergelijking van het huidige gehalte aan cadmium, koper, nikkel en lood met de interventievaarde

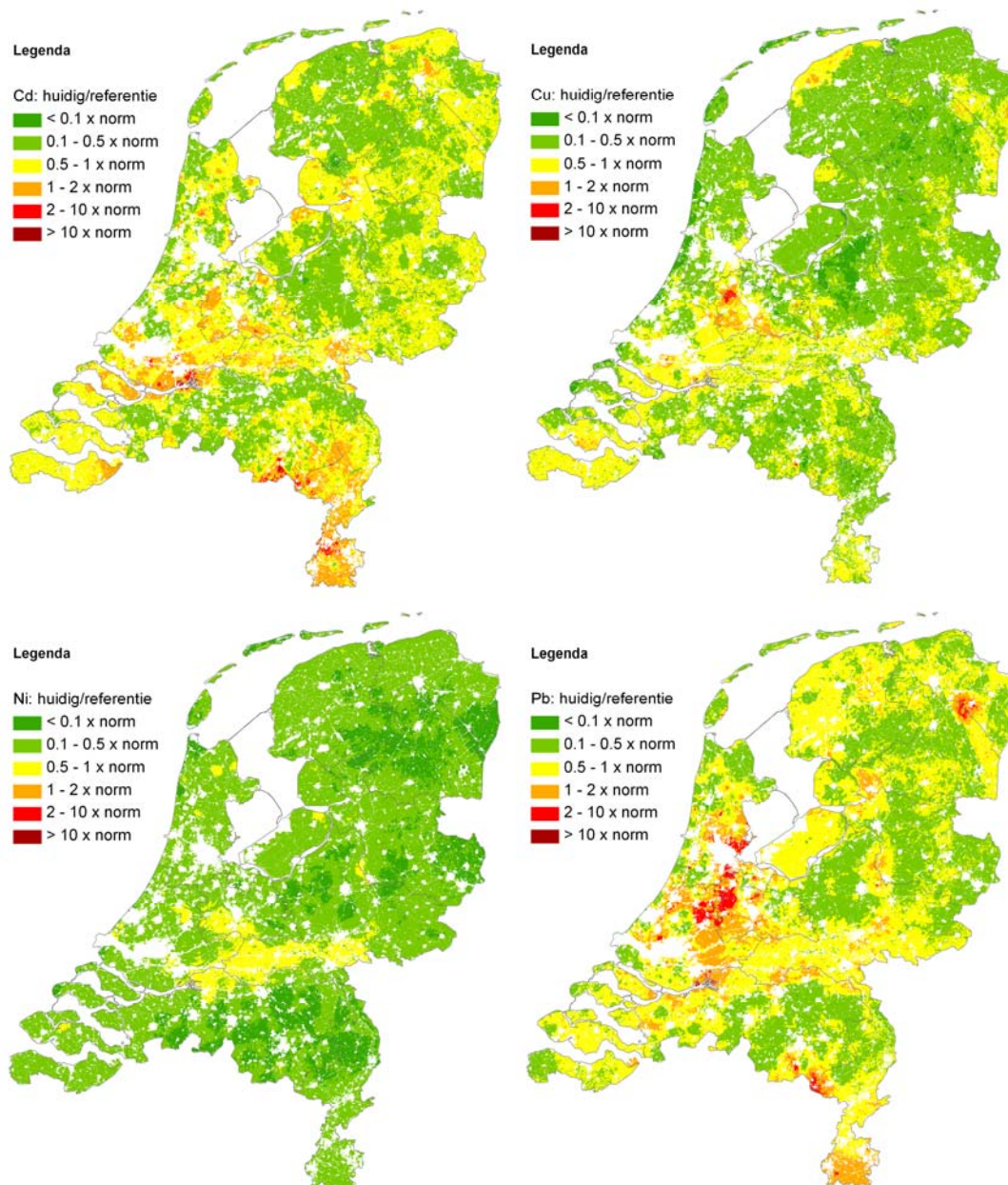


Figuur 4e Vergelijking van het huidige gehalte aan zink met de interventiewaarde

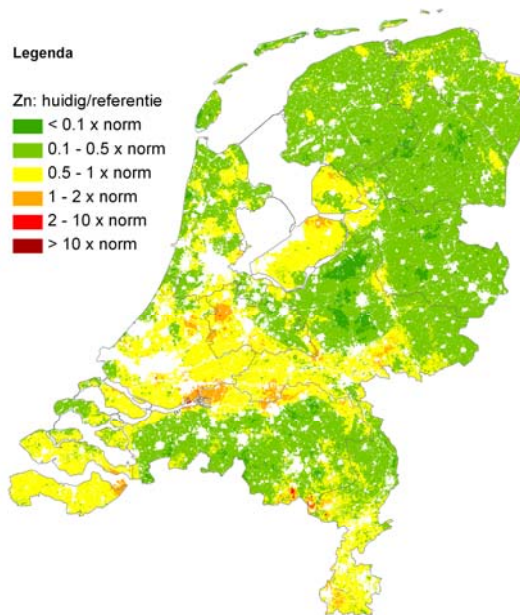
Uit figuren 4a-e blijkt dat op het gekozen schaalniveau in het landelijk gebied geen grootschalige overschrijdingen van de interventiewaarde berekend worden. Op een meer gedetailleerd schaalniveau en in lokale bodemonderzoeken zijn uiteraard wel overschrijdingen van de interventiewaarde vastgesteld. Dat geldt vooral voor de gehalten aan lood en koper in het veenweidegebied. Omdat in deze gebieden het geïnterpoleerde gehalte echter zeker niet gebiedsdekkend boven de interventiewaarde uitkomt, is dat op deze kaarten niet zichtbaar. Als gebied in zijn geheel is het veenweidegebied daarmee geen ‘probleemgebied’, maar dat neemt niet weg dat er op bedrijfsniveau zeker percelen met sterk verhoogde gehalten aan te wijzen zijn. De methodiek die hier is toegepast is daarom ook niet geschikt als indicator voor de bodemkwaliteit op perceelsniveau.

4.3.2 AW2000/referentie landbouw en natuur

In figuur 5a t/m 5e zijn de (totaal)gehalten aan metalen in de bodem uitgedrukt ten opzichte van de “generieke maximale waarden” afgeleid van de achtergrondwaarden (AW2000) rekening houdend met het bodemtype voor de betreffende eenheid (bodemtypecorrectie).



Figuur 5a-d Vergelijking van het huidige gehalte aan cadmium, koper, nikkel en lood met de generieke maximale waarden voor landbouw en natuur (referentiewaarden volgens AW2000)

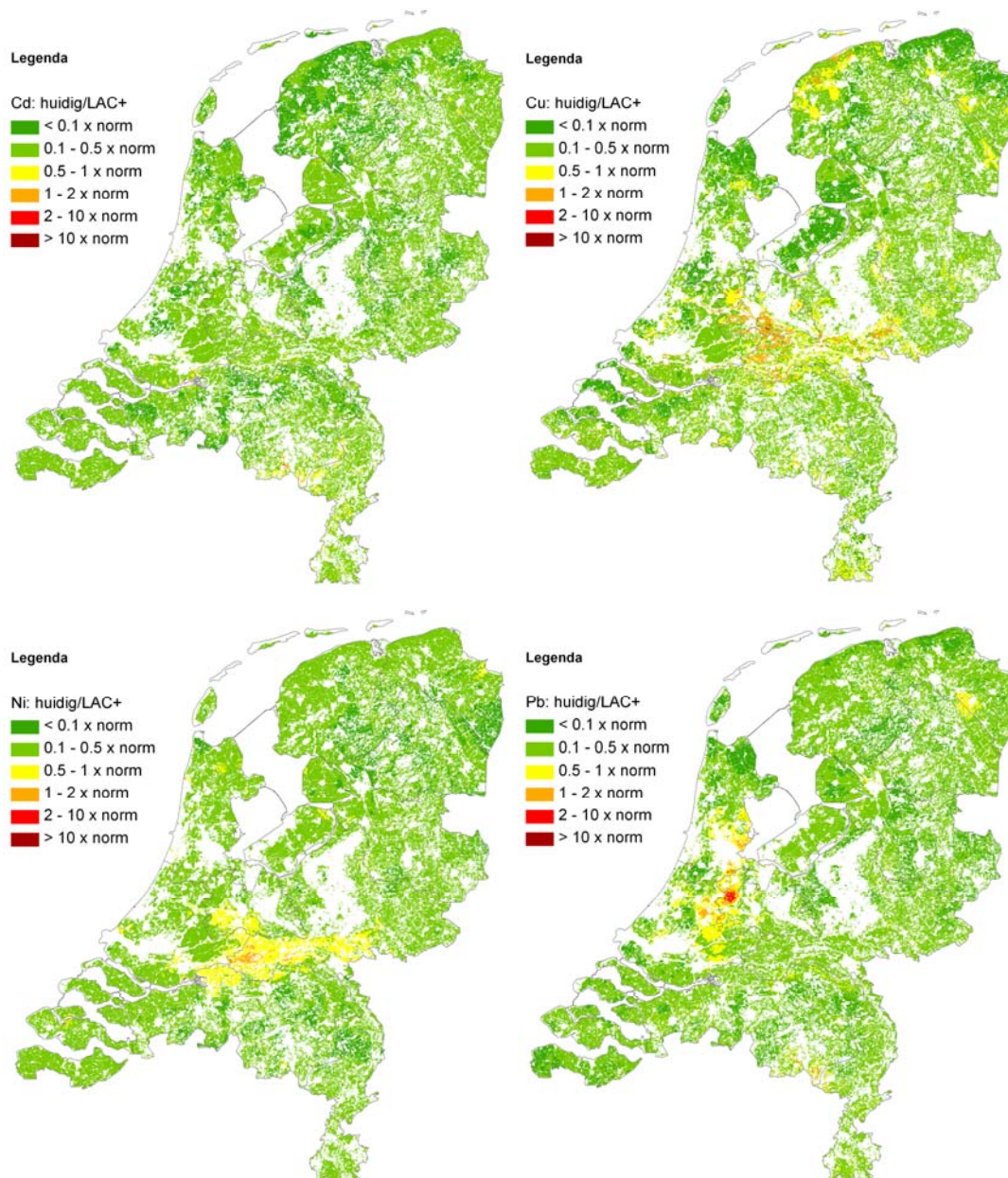


Figuur 5e Vergelijking van het huidige gehalte aan zink met de generieke maximale waarden voor landbouw en natuur (referentiewaarden volgens AW2000)

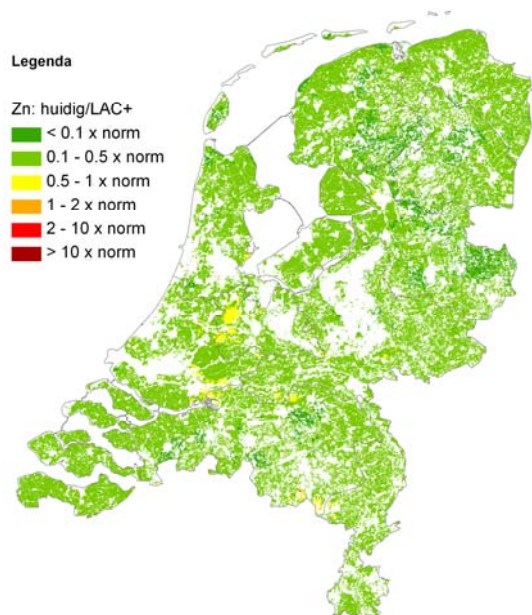
In tegenstelling tot de interventiewaarde blijkt dat de gehalten voor verschillende metalen landelijk vlakdekkend (op regionaal niveau) boven de generieke maximale waarden liggen. Dat is op zich niet verrassend omdat bij de afleiding van deze waarde het 95 percentiel is gekozen van alle waarnemingen. Dat betekent automatisch dat in een voldoende grote dataset, of zoals hier bij toepassing op landelijke schaal, ongeveer 5% van de waarnemingen of berekende waarden boven de generieke maximale waarde zal liggen.

4.3.3 Landbouw (LAC+)

In figuur 6a t/m 6e zijn de (totaal)gehalten aan metalen in de bodem uitgedrukt ten opzichte van de generieke advieswaarden voor landbouw (herziene LAC signaalwaarden volgens LAC2006) rekening houdend met het bodemtype.



Figuur 6a-d Vergelijking van het huidige gehalte aan cadmium, koper, nikkel en lood met de generieke LAC2006 waarden voor landbouw



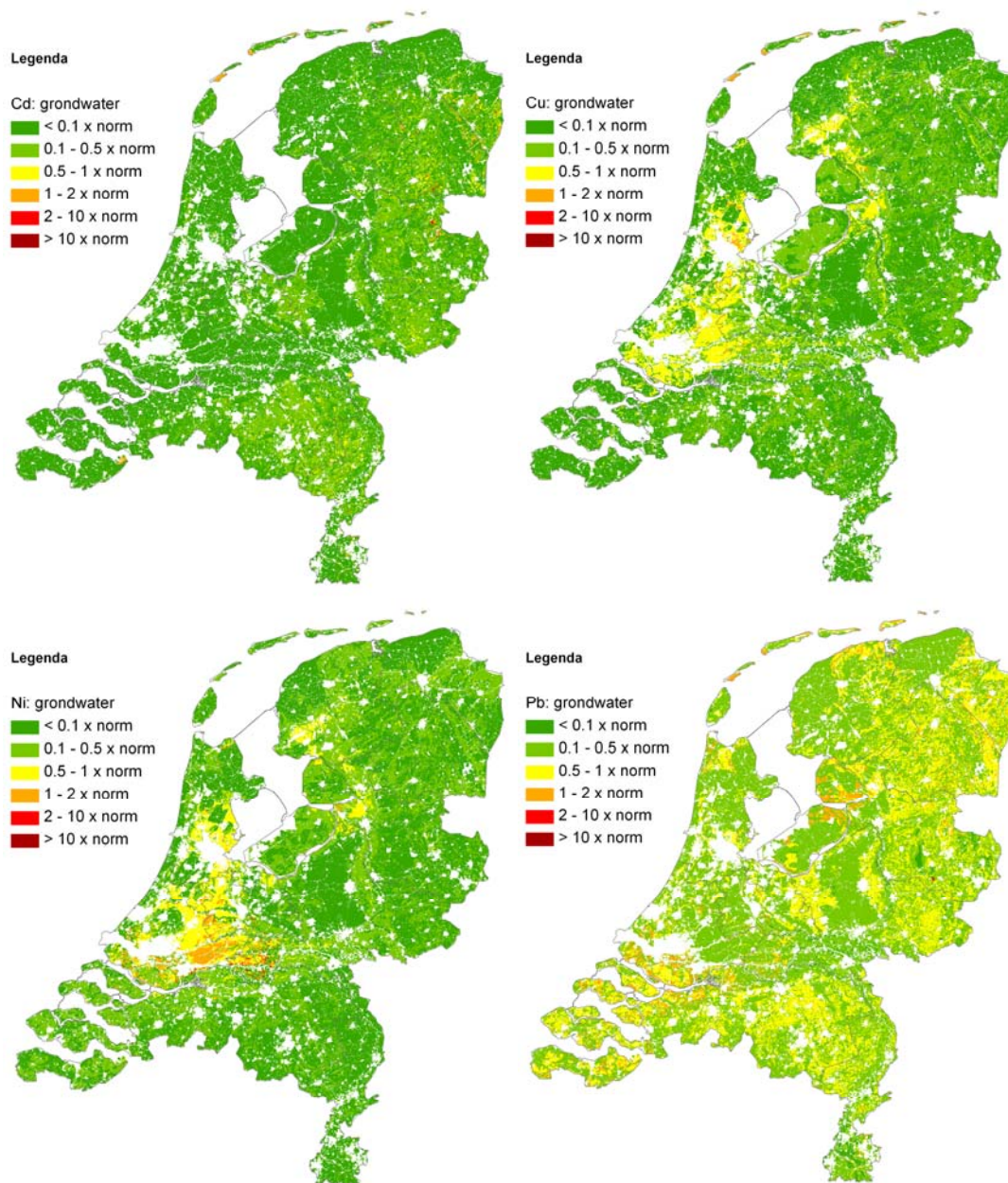
Figuur 6e Vergelijking van het huidige gehalte aan zink met de generieke LAC2006 waarden voor landbouw

De advieswaarden voor landbouw hebben, op generiek niveau, ook in het Besluit Bodemkwaliteit geen bindend normatief karakter maar dienen uitsluitend als indicator waarde voor de gebruiker (landbouwer). Lokaal kunnen ze door gemeenten gebruikt worden om ambitie niveaus voor landbouw vast te leggen. Daarmee liggen ze wat orde van grootte betreft tussen de achtergrondwaarden en de interventiewaarde in. De figuren laten zien dat er op dit moment (nog) geen sprake is van grootschalige regionale overschrijdingen van de LAC2006 waarde. Daarbij geldt echter hetzelfde voorbehoud als bij de interventiewaarde dat er lokaal zeker percelen zijn waarin metaalgehalten hoger liggen dan de advieswaarde. Zo zijn zeer hoge metaalgehalten gemeten (cadmium) in beekdalen in de Kempen (Römkens et al., 2006) terwijl ook in gebieden als de Krimpenerwaard (Groenenberg et al., 2003) en het Veenweidegebied (koper, lood; Rietra et al., 2007) percelen voorkomen waar de bodemkwaliteit niet optimaal is voor landbouw. Voor koper en lood is dat ook te zien op het kaartbeeld waar vooral de veengebieden ook op regionale schaal al boven de advieswaarde liggen. Voor koper geldt hierbij dat de advieswaarde voor grasland gebaseerd is op risico's voor schapen. Die zijn erg gevoelig voor koper waardoor de advieswaarde relatief streng (=laag) is.

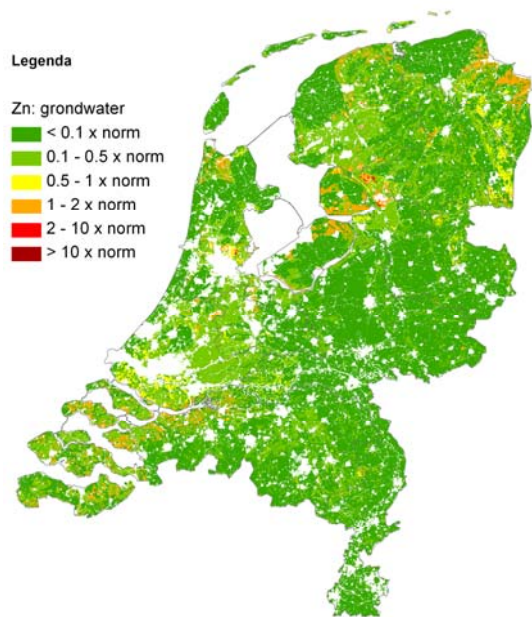
Een ander voorbehoud geldt voor cadmium in de Kempen. Op dit moment is het kaartbeeld gebaseerd op een zeer beperkt aantal datapunten uit de Kempen. Toch laat recent onderzoek (Rietra et al., 2004, 2005) dat de cadmiumverontreiniging voor dit gebied voor wat betreft landbouwkundige risico's niet extreem groot is. Uiteraard geldt voor extreem gevoelige gewassen die veel cadmium opnemen dat de gehalten in de bodems in de Kempen te hoog zijn om aan de warenwet te kunnen voldoen. Dat betreft echter maar een klein aantal gewassen (o.a. prei en schorseneer) die in het betreffende gebied op kleine schaal geteeld worden.

4.3.4 Grondwater (streefwaarde ondiep)

Naast toetsing op het gehalte in de bodem kunnen met behulp van transport modellen ook de gehalten in het grond- en oppervlaktewater berekend worden (zie ook Bonten en Brus, 2006). In figuren 7a t/m 7e staan de berekende waarden voor de metalen in het bovenste grondwater, relatief ten opzichte van de in Tabel 3 gegeven streefwaarden.



Figuur 7a-d Vergelijking van berekende huidige concentraties van cadmium, koper, nikkel en lood in het freatisch grondwater met de streefwaarde voor ondiep grondwater



Figuur 7e Vergelijking van berekende huidige concentraties van zink in het freatisch grondwater met de streefwaarde voor ondiep grondwater

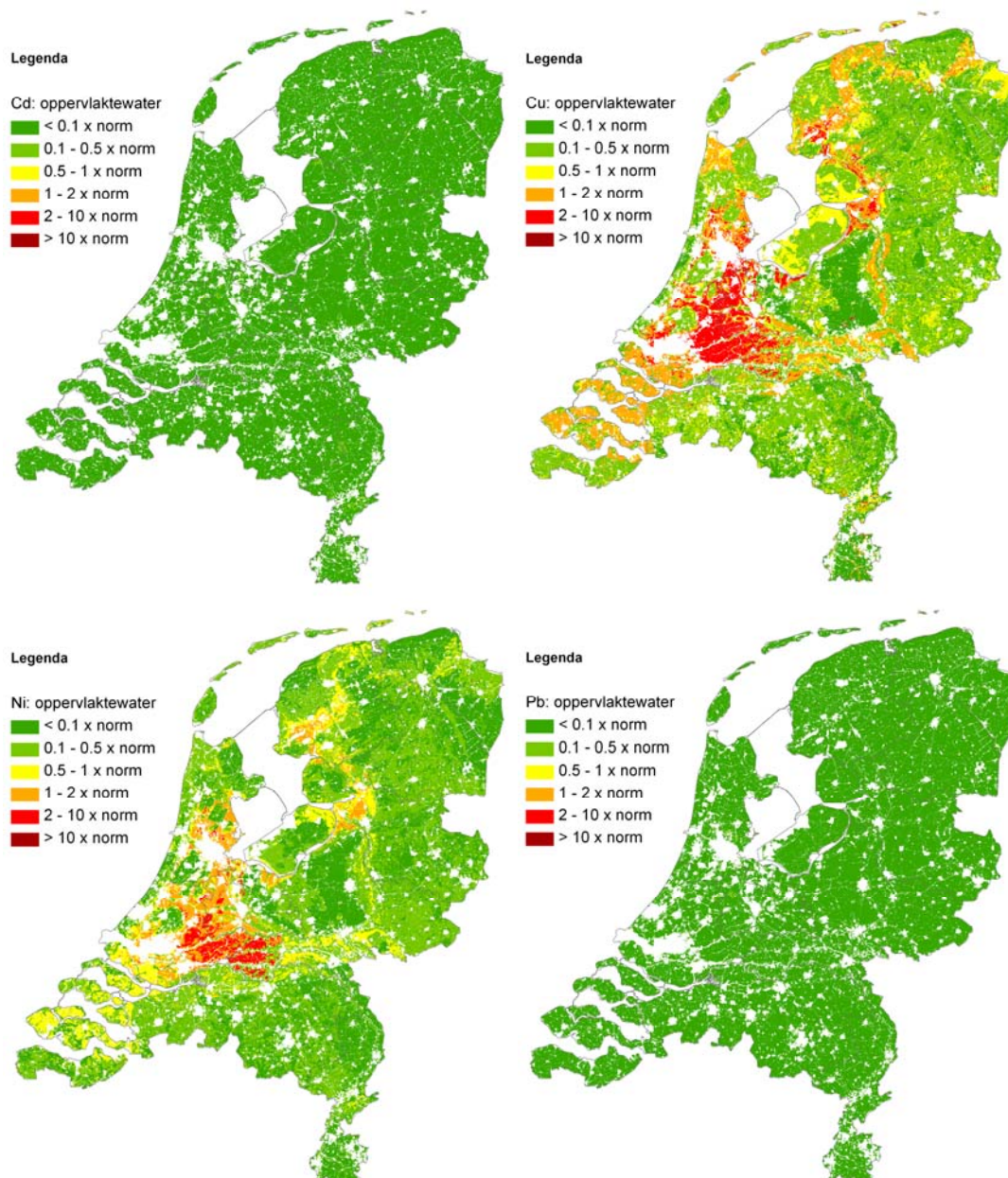
Het landelijke beeld laat zien dat er geen grootschalige overschrijdingen van de streefwaarde berekend worden. Toch zijn er voor alle metalen zeker kleinere (cadmium) of grotere regionale eenheden waar de streefwaarde overschreden wordt. Zeker voor cadmium en zink geldt dat onder natuur op zand (lage pH waarde) hoge concentraties aan opgeloste metalen berekend worden. Lokaal kan dat leiden tot hoge waarden wat ook is aangetoond in metingen van de concentraties in freatisch grondwater (Fraters et al., 2001).

De betrouwbaarheid van de berekende waarden voor de metalen in het bovenste grondwater is echter geringer dan die in de eerder gepresenteerde kaarten of de gehalten in het oppervlaktewater (zie paragraaf 4.3.5). Dat komt omdat voor de berekening van de gehalten in het grondwater gegevens nodig zijn van de metalen (in de bodem) in de (diepere) ondergrond (zeker in zandgronden). Op dit moment is de schematisatie van de bodemprofielen echter vaak gebaseerd op data van de eerste meter. Gehalten aan metalen in de vaste fase in de diepere ondergrond die nodig zijn om de concentratie te kunnen berekenen zijn daarom grotendeels gebaseerd op schattingen. Deze schattingen (per bodemtype) zijn weer gebaseerd op metingen in een aantal profielen (Römkens et al., 2004), maar ook die gaan slechts tot 120 cm diepte.

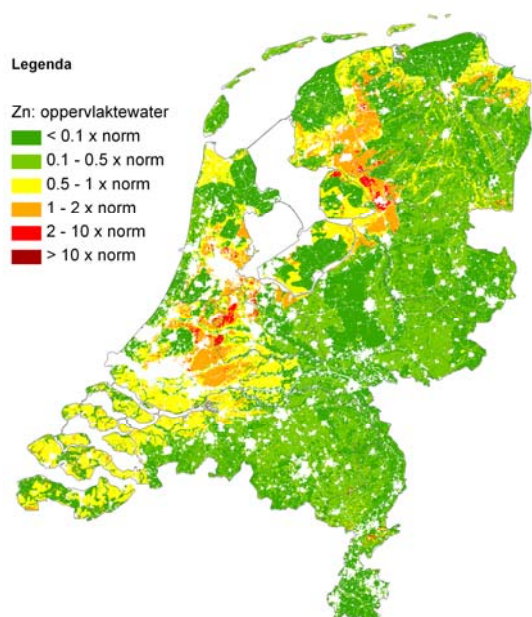
4.3.5 Oppervlaktewater (MTR)

In figuren 8a t/m 8e tenslotte staan de berekende waarden van de metalen in het uitstromende water dat naar het oppervlaktewater voert. Omdat in de hier toegepaste schematisatie alle fluxen vanuit elke bodemlaag richting oppervlaktewater bekend

zijn, is het mogelijk om uit de concentraties in de verschillende bodemlagen en de laterale fluxen uit die lagen een gewogen bodemgemiddelde concentratie in het uittrekkende water te berekenen.



Figuur 8a-d Vergelijking van berekende huidige concentraties van cadmium, koper, nikkel en lood in het lateraal uitspoelend grondwater met de MTR voor oppervlaktewater



Figuur 8e Vergelijking van berekende huidige concentraties van zink in het lateraal uitspoelend grondwater met de MTR voor oppervlaktewater

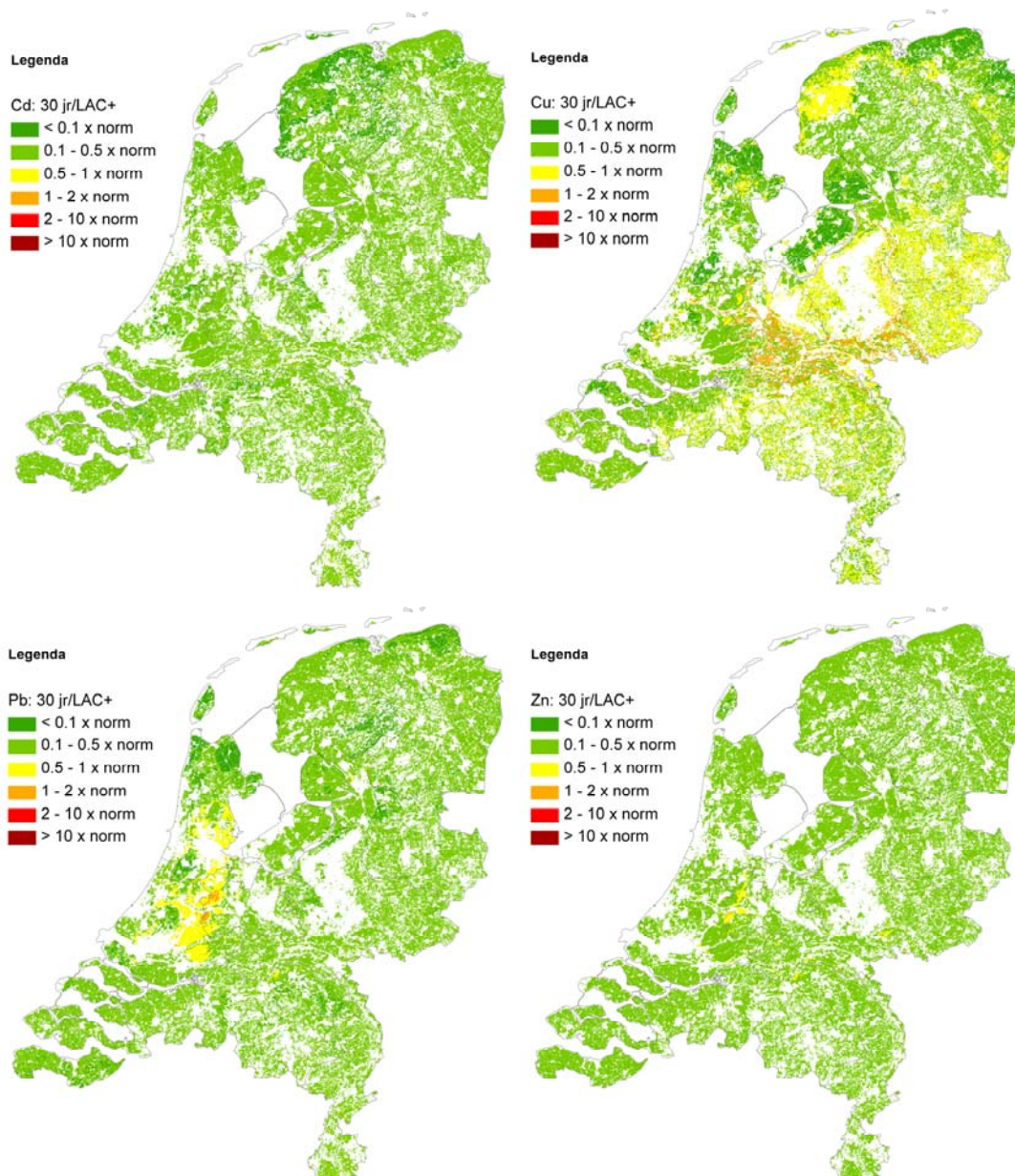
Uitspoeling van metalen naar het oppervlaktewater is voor Nederland een relevant proces. Vanwege de hoge grondwaterstand in een deel van het land (voornamelijk laaggelegen klei- en veengebieden) is de invloed van de door menselijk handelen beïnvloede bovengrond op het oppervlaktewater groot. Met name voor metalen als koper en zink die in grote hoeveelheden aangewend worden (via mest) kan dat leiden tot overschrijding van oppervlaktewaternormen. In de zandgebieden waar ook veel mest aangewend wordt, is de bijdrage van uitspoeling gering omdat de contactweg van bodem naar oppervlaktewater veel langer is. Het is nu nog niet geheel duidelijk in welke mate de natuurlijke achtergrondgehalten in de bodem in dergelijke laaggelegen gebieden al aanleiding geven tot normoverschrijding. Monitoren van concentraties in het oppervlaktewater in gebieden met en zonder intensieve veehouderij kan inzicht geven in de korte termijn invloed van het aanwenden van mest op de kwaliteit van oppervlaktewater. Zeker wanneer EU-brede normen uit de Kaderrichtlijn Water sturend gaan worden voor de beoordeling van de kwaliteit van oppervlaktewater is het essentieel aan te kunnen tonen dat in laaggelegen deltagebieden de invloed van de bodem en de daarin van nature voorkomende metalen groot is. In dergelijke systemen is vaak de ‘achtergrond’-concentratie van metalen in het water van nature al hoger.

4.4 Ontwikkeling op lang termijn

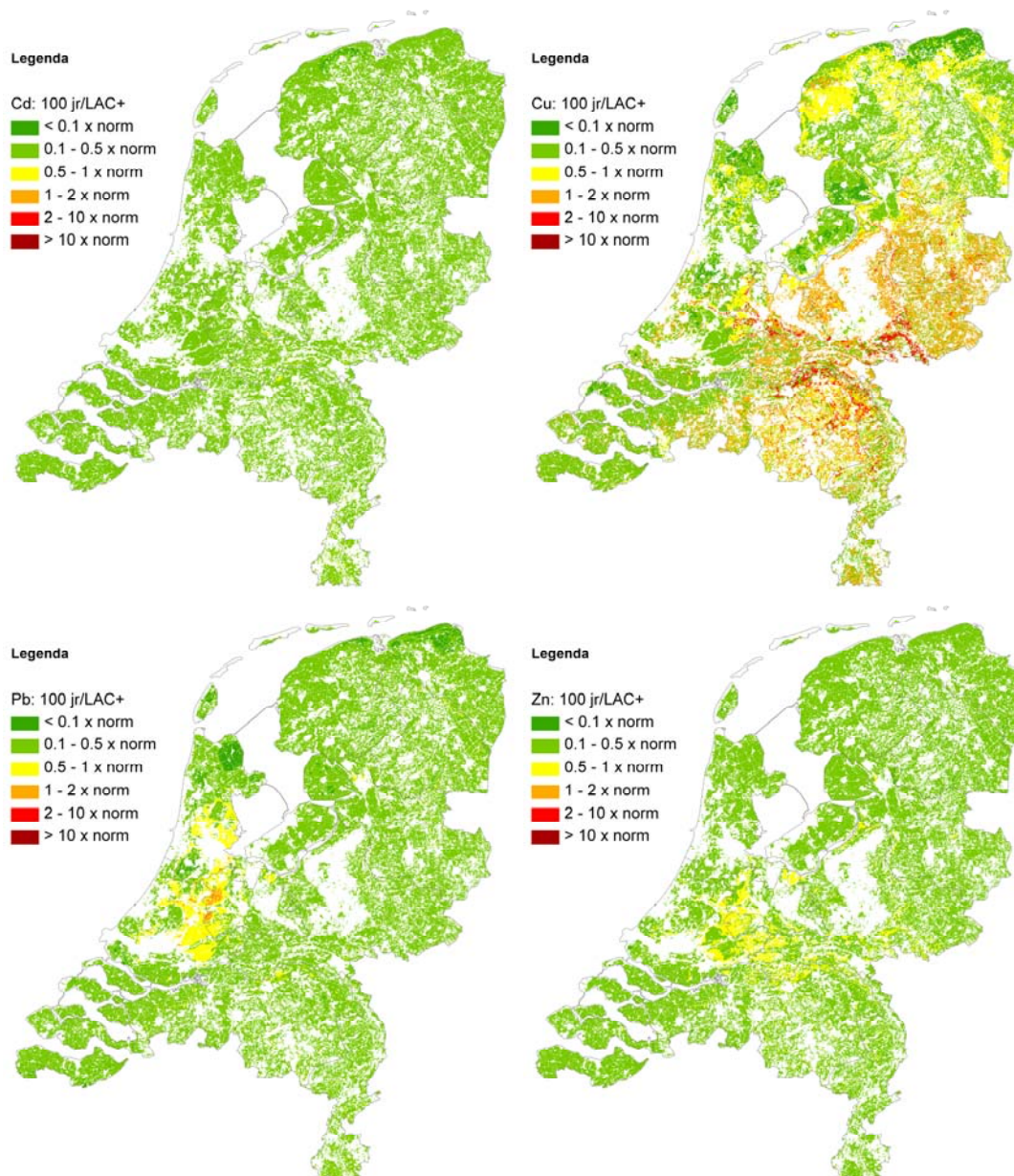
Naast de in paragraaf 4.3 geschetste beoordeling op basis van de huidige kwaliteit van bodem en grond- en oppervlaktewater is het mogelijk een evaluatie maken op basis van de te verwachten *verandering* in bodem- (en water)kwaliteit. In onderstaande kaarten zijn daarom de berekende gehalten na 30 (figuur 9) en 100 jaar (figuur 10) in de bovengrond getoetst aan de advieswaarde voor landbouw (LAC2006). Dit is alleen voor koper, zink, cadmium en lood gedaan. Voor deze elementen is namelijk redelijk goed bekend wat de opname via gewassen is. Voor nikkel zijn te weinig gegevens voorhanden om dergelijke dynamische berekeningen uit te kunnen voeren.

Door de grovere schematisatie die gebruikt is in de dynamische berekeningen op langere termijn zijn de regionaal voorkomende hoge gehalten van Cd, Pb en Zn in de Kempen weggevallen.

De resultaten in figuren 9 en 10 laten zien dat bij de huidige aanvoer van metalen via mest, atmosfeer en andere bronnen, voornamelijk de accumulatie van koper op termijn zal leiden tot grootschalige overschrijding van de LAC2006 waarden. Dat wil niet zeggen dat de aanvoer van de andere metalen niet tot accumulatie leidt (zie ook paragraaf 4.5) maar deze accumulatie heeft binnen een termijn van 100 jaar in ieder geval geen grootschalige overschrijdingen van de LAC2006 waarden tot gevolg. De figuren voor koper laten ook zien dat de accumulatie voornamelijk optreedt in de gebieden met intensieve veehouderij op de zandgronden in oostelijk en zuidoostelijk Nederland.



Figuur 9 Vergelijking van de gehalten over 30 jaar aan cadmium, koper, lood en zink met de lokale maximale waarden voor landbouw (LAC2006)

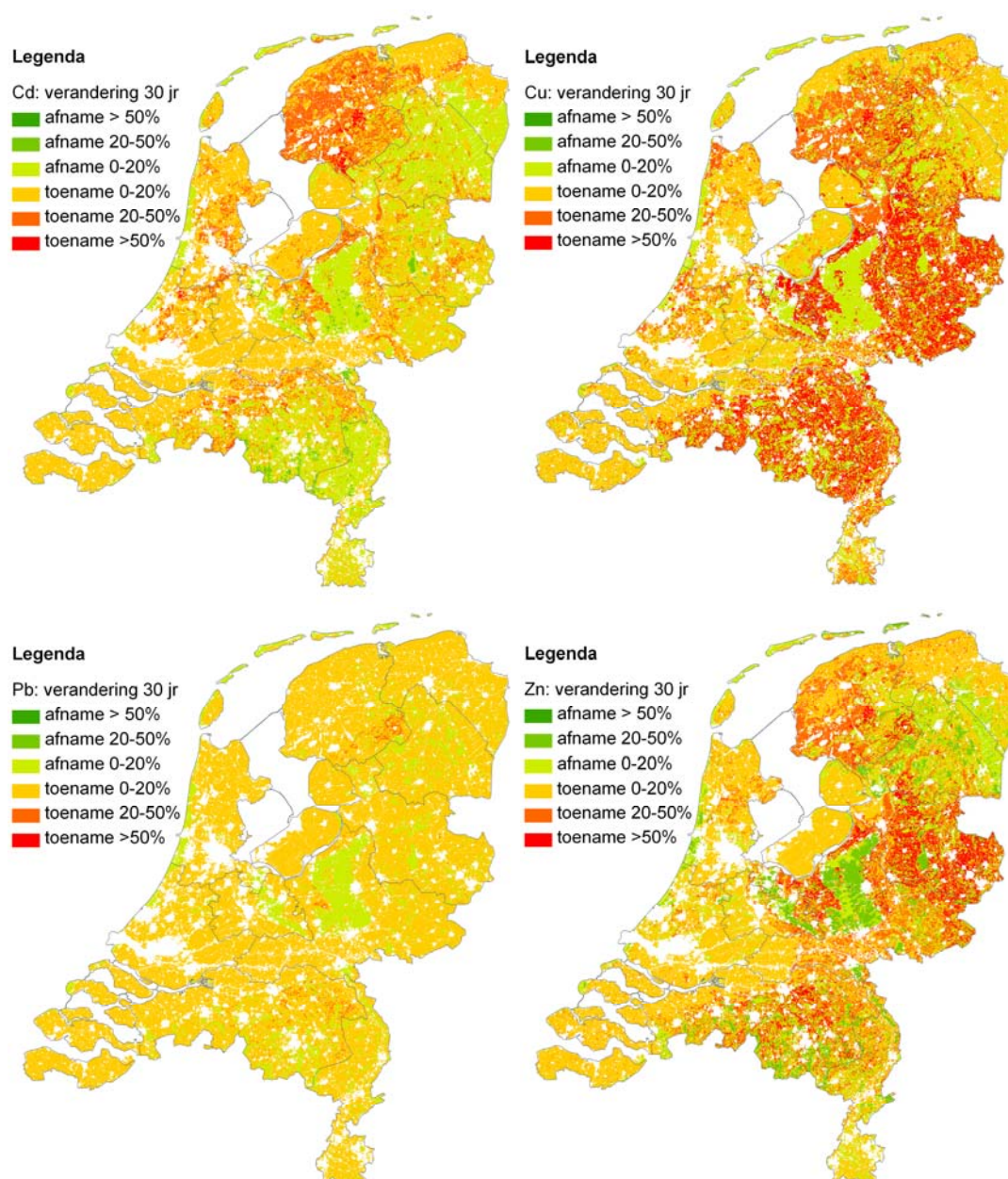


Figuur 10 Vergelijking van de gehalten over 100 jaar aan cadmium, koper, lood en zink met de lokale maximale waarden voor landbouw (LAC2006)

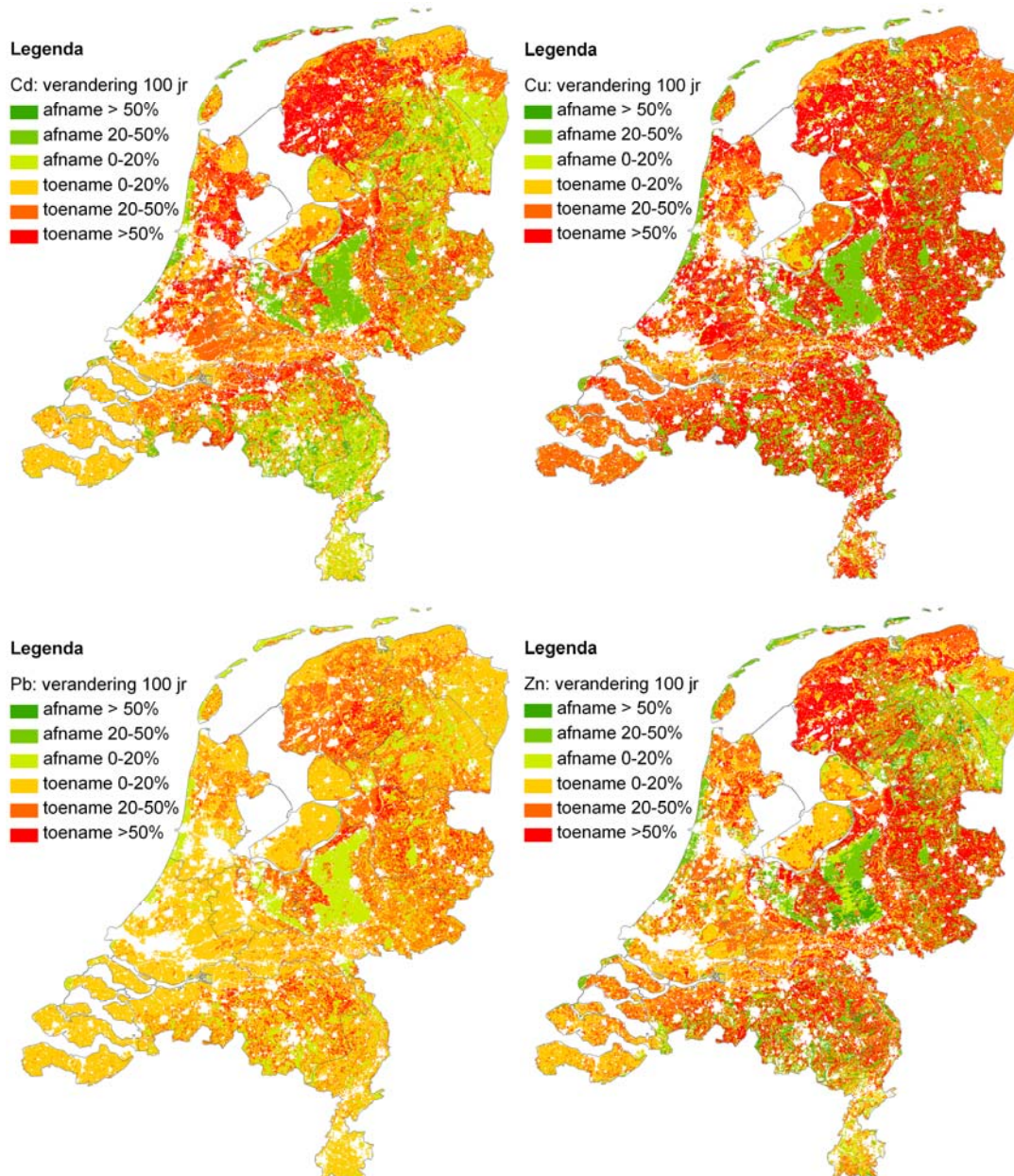
4.5 Mate van accumulatie bij huidig landgebruik

Naast een toetsing op de kwaliteit van de bodem en het grond- en oppervlaktewater is het van belang na te gaan waar en in welke mate metalen bij het huidige landgebruik accumuleren in de bodem. Accumulatie van schadelijke stoffen is namelijk als een ongewenste ontwikkeling omschreven in het voorstel voor de kaderrichtlijn bodem. In de figuren 11 en 12 is daarom de relatieve verandering van

het gehalte in de bodem weergegeven. Het berekende gehalte over 30 en 100 jaar is daarbij uitgezet tegen het huidige gehalte in de bodem.



Figuur 11. Relatieve verandering van het gehalte aan Cd, Cu, Pb en Zn in de bodem na 30 jaar.



Figuur 12 relatieve verandering van het gehalte aan Cd, Cu, Pb en Zn in de bodem na 100 jaar.

Uit figuren 11 en 12 blijkt dat niet alle metalen een zelfde trend vertonen en dat er ook gebieden zijn waar de metaalgehalten *afnemen*. Dat laatste is niet uitsluitend een gevolg van de daling van de aanvoer maar ook het gevolg van het feit dat uitspoeling (in zandgronden) zorgt voor een afvoer uit de bovengrond. Vooral alle metalen geldt dat in natuurgebieden onder bos de gehalten niet verder stijgen. De zuurgraad van de bodem onder bos op zand is dermate laag (vaak pH waarden lager dan 4.5) dat de aanvoer via de atmosfeer gecompenseerd wordt door afvoer via uitspoeling. Voor lood blijkt bovendien dat de accumulatie ook in de klei- en veengronden beperkt is (gemiddeld een stijging tussen 0 en 20% t.o.v. nu). Dit is het gevolg van de sterk

afgenomen belasting via de lucht. Vergeleken met de andere elementen, is de aanvoer van lood via mest (zowel dierlijk als kunstmest) beperkt.

Voor de overige metalen (incl. cadmium) in de gebieden met intensieve veehouderij geldt echter dat de accumulatie groot is ten opzicht van de huidige gehalten. Dierlijke mest (Cu, Zn) en kunstmest (Cd) zijn nog steeds de belangrijkste bronnen die ondanks reducties in de toegestane hoeveelheden in diervoeder (Cu en Zn) leiden tot accumulatie in een groot deel van Nederland. Hoewel dit met uitzondering van koper niet leidt tot normoverschrijding in de bodem, zal dit de uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater uiteraard niet ten goede komen.

5 Discussie en conclusie

Uit de hiervoor gepresenteerde figuren blijkt dat de verschillende normen een verschillende mate van normoverschrijding laten zien. Zo worden bij een toetsing aan de interventiewaarden geen normoverschrijding berekend. Dit is ook niet verbazingwekkend aangezien deze normen zijn afgeleid voor beoordeling van verontreinigingen in het bebouwde gebied en in mindere mate voor het landelijk gebied. Echter ook bij toetsing aan normen voor landbouw (LAC2006) worden slechts in een zeer gering aantal gebieden normoverschrijdingen berekend, en dan nog alleen in gevallen van bekende historische verontreiniging (o.a. Kempen, Veenweidegebied). De meeste normoverschrijdingen worden berekend voor toetsing aan de referentiewaarden en de normen voor oppervlaktewaterkwaliteit. Voor de toetsing aan de referentiewaarden voor bodem is dit niet verassend, aangezien deze normen zijn vastgesteld als het 95-percentiel van de achtergrondwaarden. Dit betekent dat in 5% van de gevallen een overschrijding plaatsvindt, wat goed overeenkomt met de gepresenteerde kaartbeelden. Bij toetsing aan de oppervlaktewaterkwaliteit zijn de verschillen tussen de verschillende metalen groot. Zo worden voor cadmium en lood geen overschrijdingen berekend, terwijl voor koper, nikkel en zink in een groot aantal gebieden een normoverschrijding wordt voorspeld.

Ondanks de verschillen tussen de diverse normen en de diverse metalen komen de gebieden waar normoverschrijdingen worden voorspeld vaak wel overeen. In het algemeen geldt dat het gebieden zijn met een bekende verontreinigings situatie, zoals

- de Kempen (cadmium, zink en lood afkomstig van zinksmelters);
- de toemaakdekken in het veenweidegebied (koper, lood en in mindere mate zink);
- de rivierkleigebieden met van nature voorkomend nikkel;
- de natte (veen)gebieden voor wat betreft koper, nikkel en zink in het oppervlaktewater.

De berekeningen voor de langere termijn laten zien dat de concentraties in de bodem van alle metalen in meer of mindere mate toenemen. Voor lood en cadmium heeft deze toename echter weinig invloed bij toetsing aan de locale maximale waarden voor landbouw (LAC2006).

Voor koper wordt een sterke toename berekend in gebieden met veeteelt waar veel drijfmest wordt uitgereden. De toename van koper in de bovengrond zorgt op de middellange termijn (30 jaar) voor een toename van het areaal met een metaalgehalte tussen 0,5 en 1 maal de LAC2006-waarde en op lange termijn (100 jaar) bij een gelijkblijvende belasting tot een overschrijding van de LAC2006-waarde in gebieden met een hoge toediening van drijfmest. In deze berekeningen is een mogelijk belangrijke aanvoerterm van Cu door hoefontsmettingsmiddelen (Boer et al., 2005) via drijfmest nog niet meegenomen omdat daarover nog onvoldoende kwantitatieve informatie beschikbaar is. Mogelijk wordt hierdoor de overschrijding in gebieden met rundveehouderij zelfs nog onderschat. Groenenberg et al (2006) laten zien met

scenario-berekeningen met een verminderde toediening van drijfmest dat de accumulatie vooral in grasland gereduceerd wordt.

Voor zink zorgt de toename in gehalten in de bovengrond op de lange termijn tot een toename van het areaal met een gehalte tussen 0,5 tot 1 keer de referentiewaarde in voornamelijk klei- en veengronden in gebieden waar de huidige concentraties relatief hoog zijn.

Toetsing aan de criteria voor grond- en vooral oppervlaktewater levert een groot aantal normoverschrijdingen op. Voor zink en koper treden die nu al veelvuldig op en dit zal in de toekomst, bij ongewijzigd beleid alleen nog maar verder toenemen. Dit is, ook met het oog op de inwerkingtreding van de verschillende EU directives op het gebied van grond- en oppervlaktewater, voor Nederland waarschijnlijk het grootste knelpunt.

De methode zoals hier uiteengezet en gebruikt om verschillende voorbeelden te berekenen is daarmee geschikt om de consequenties van de keuze van criteria voor de beoordeling van de bodem (en water)kwaliteit in beeld te brengen. De voorbeelden laten zien dat regionale verschillen groot zijn, en de impact van landgebruik op bodem en of water verschilt sterk per (en zelfs binnen een) regio. De koppeling van data en modellen om op landelijke schaal ontwikkelingen in de bodem en waterkwaliteit te berekenen, is daarnaast ook geschikt voor het evalueren van maatregelen zoals het reduceren van gehalten aan metalen in diervoeder en kunstmest. Maar de aanpak kent ook beperkingen zoals de toepassing op perceelsniveau waarvoor het model in de huidige vorm niet geschikt is. Uiteraard kunnen de gebruikte modellen met de juiste input (data) op perceelsniveau wel als zodanig ingezet worden, zonder opschaling naar een hoger ruimtelijk schaalniveau.

Literatuur

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

Boer, M., A. Kool, en F. van der Schans, 2005. Gebruik van kopersulfaat in voetbaden - De overschotten lopen uit de klauwen CLM. <http://www.clm.nl/publicaties/html/627.html>

De Vries, W. , P.F.A.M. Römkens en J.C.H. Voogd, 2004. Prediction of the long term accumulation and leaching of zinc in Dutch Agricultural soils: a risk assessment study. report 1030, Alterra, Wageningen.

Europese Commissie, 2006. Voorstel voor een Richtlijn van het Europees Parlement en de Raad tot vaststelling van een kader voor de bescherming van de bodem en tot wijziging van Richtlijn 2004/35/EG, COM(2006) 232.

Fraters, B., L.J.M. Boumans en H.P. Prins, 2001. Achtergrondconcentraties van 17 sporenmetalen in het grondwater van Nederland. rapport 711701017/2001, RIVM, Bilthoven.

Groenenberg, J.E., J.C.L. Meeussen en P.F.A.M. Römkens, 2003. Verificatie-onderzoek landbouw Krimpenerwaard, SV-027, SKB, Gouda.

Groenenberg, J.E., P.F.A.M. Römkens and W. De Vries, 2006. Prediction of the long term accumulation and leaching of copper in Dutch Agricultural soils: a risk assessment study. report 1278, Alterra, Wageningen.

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

Rietra, R.P.J.J., P.F.A.M. Römkens & J. Japenga, 2004. Cadmium en zink in bodem en landbouwgewassen in de Kempen. Onderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem en in gewas in de gemeente Cranendonck, rapport 974, Alterra, Wageningen.

Rietra, R.P.J.J., P.F.A.M. Römkens en J. Japenga, 2005. Cadmium en zink in de bodem en landbouwgewassen in de Kempen 2004; vervolgonderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem en in het gewas in de gemeente Cranendonck. rapport 1167, Alterra, Wageningen, Nederland.

Rietra, R.P.J.J. en P.F.A.M. Römken, 2007. Actief bodembeheer Toemaakdekken; Risico's van bodemverontreiniging voor de kwaliteit van veevoer en de gehalten aan lood en cadmium in orgaanvlees in het Veenweidegebied. rapport 1433, Alterra, Wageningen.

Römken, P.F.A.M., J.E. Groenenberg, L.T.C. Bonten, W. de Vries and J. Bril, 2004. Derivation of partition relationships to calculate Cd, Cu, Ni, Pb and Zn solubility and activity in soil solution samples. report 305, Alterra, Wageningen.

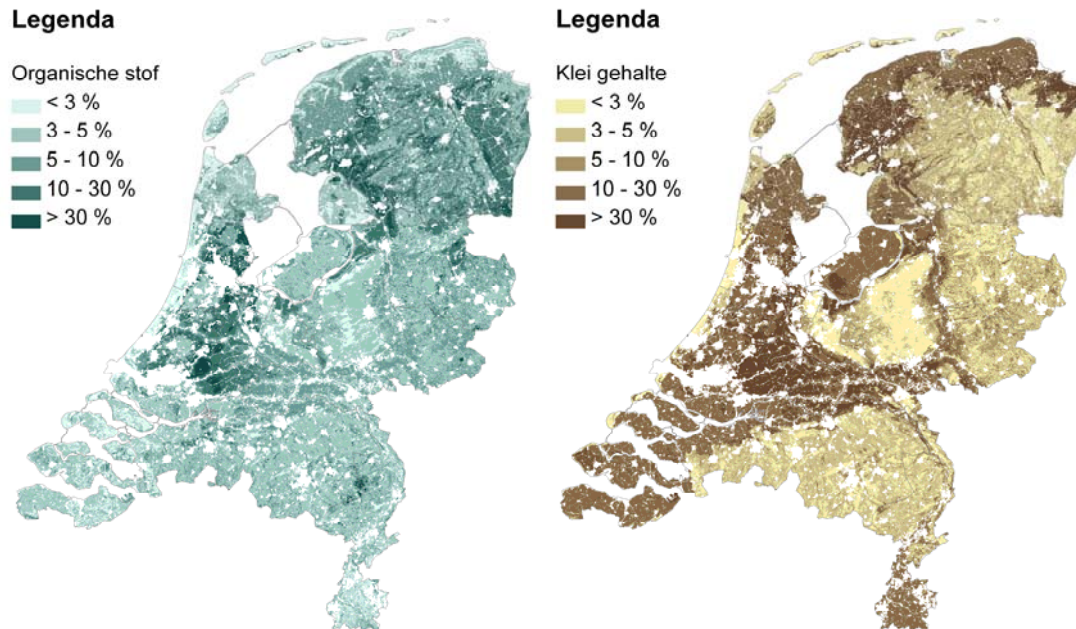
Römken, P.F.A.M., G.W. Schuur, J.P.A. Lijzen, R.P.J.J. Rietra en E.M. Dirven- van Breemen, 2005. Risico's van cadmium en lood in moestuinen in de Kempen. rapport 1129, Alterra, Wageningen, Nederland.

VROM, 2004. Regeling milieukwaliteitseisen gevaarlijke stoffen oppervlaktewateren, Staatscourant, 247.

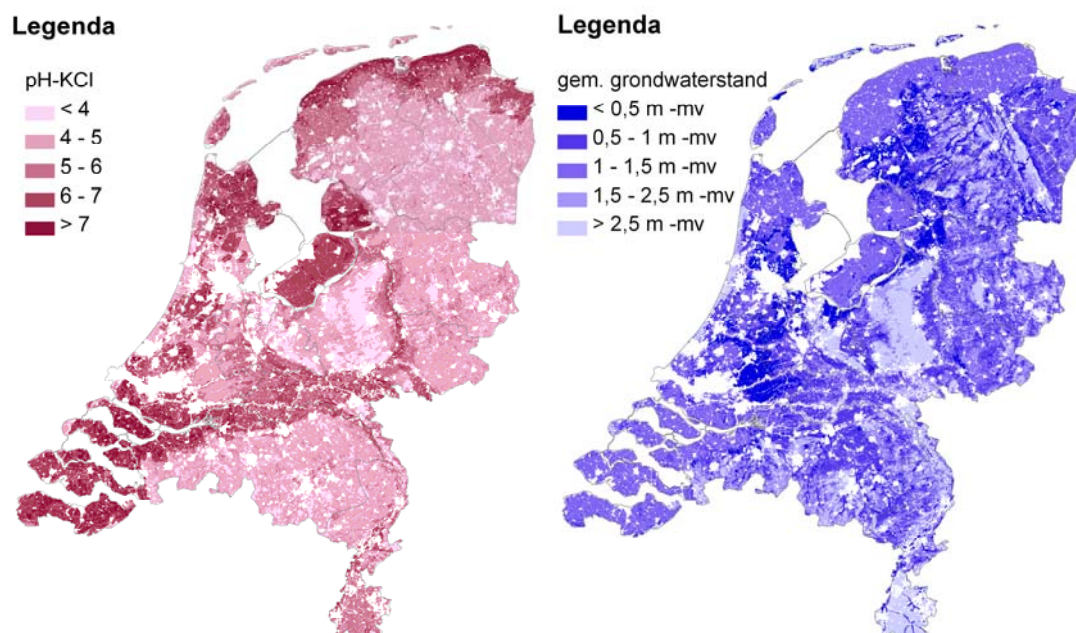
Wezel, A.P. van, W. de Vries, M. Beek, P.F.M. Otte, J.P.A., Lijzen, M. Mesman, P.L.A., van Vlaardingen, J. Tuinstra, M. van Elswijk, P.F.A.M. Römken, en L.T.C. Bonten, 2003. Bodemgebruikswaarden voor landbouw, natuur en waterbod. Technisch wetenschappelijke afleiding van getalswaarden. rapport 711701031/2003, RIVM, Bilthoven

Wiersma, D., B.J. van Goor en N.G. van der Veen, 1985. Inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in Nederlandse gewassen en bijbehorende gronden. rapport 8 -85. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (Gr.).

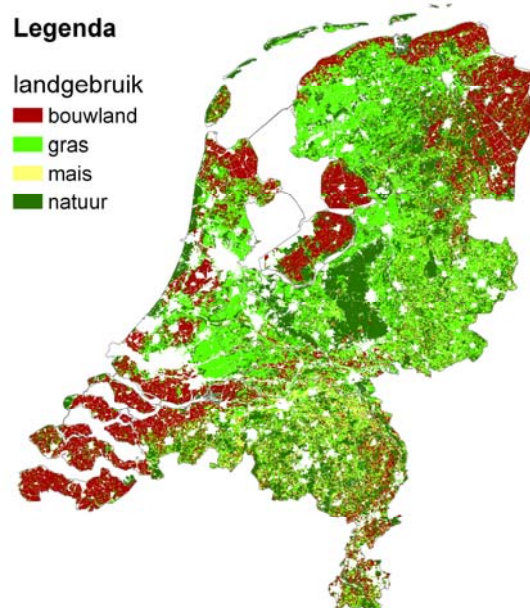
Bijlage 1 Bodemeigenschappen en landgebruik zoals toegepast in de berekening van de normoverschrijdingen en dynamische berekeningen



Figuur 13 Gebalte aan organische stof (links) en textuur (% < 2 μ m) (rechts)



Figuur 14 pH-KCl (links) en diepte tot het grondwater (rechts)



Figuur 15 Huidig landgebruik