

**Emissieschattingen Diffuse bronnen
Emissieregistratie**

**Uitspoeling van zware
metalen uit landbouw- en
natuurbodems**

Versie mei 2016

De gepresenteerde methode voor emissieberekening van de genoemde emissieoorzaken in deze factsheet is actueel, maar vanaf 2017 worden de nieuwe emissiecijfers niet meer toegevoegd. Ga voor de meest recente emissiecijfers naar de website van EmissieRegistratie (www.emissieregistratie.nl).

Uitspoeling van zware metalen uit landbouw- en natuurbodems

1 Omschrijving emissiebron

Historische en huidige belasting van de bodem met zware metalen door atmosferische depositie en bemesting heeft geleid tot een verhoging van de gehalten van zware metalen in de bodem. Deze zware metalen van antropogene bronnen leiden samen met van nature in de bodem aanwezige metalen tot emissies naar het grond- en oppervlaktewater. Deze factsheet beschrijft de wijze waarop de emissies van de zware metalen cadmium, koper, nikkel, lood en zink naar het oppervlaktewater worden gekwantificeerd. De emissies worden toegekend aan de doelgroep landbouw.

2 Toelichting berekeningswijze

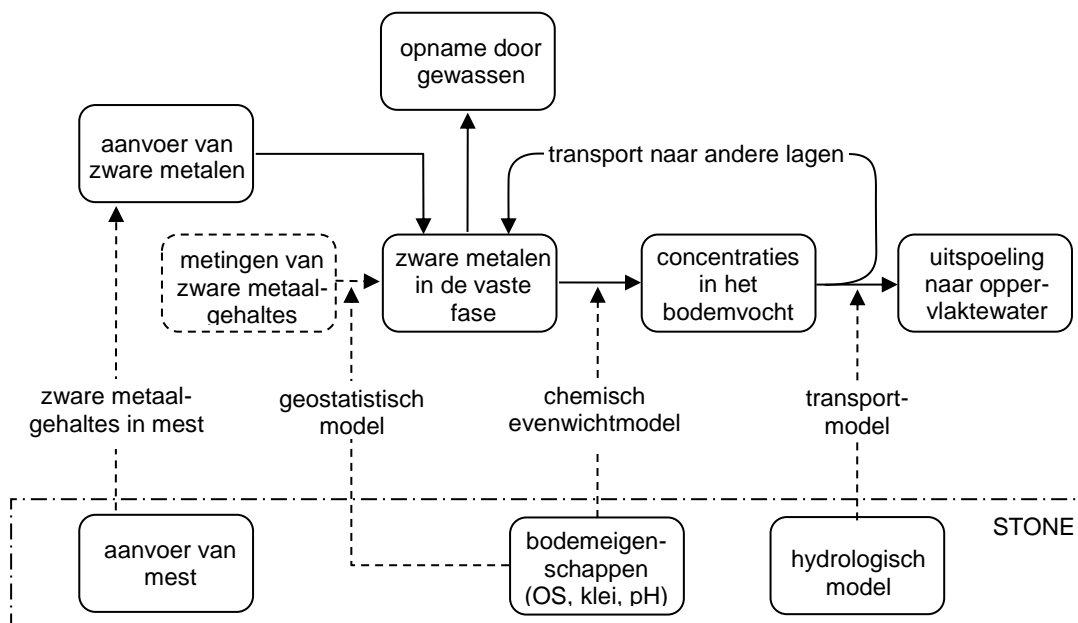
De emissies worden berekend met een model dat opgebouwd is uit drie delen: een geostatistisch model voor schatting van de huidige metaalgehalten in de bodem, een chemisch evenwichtmodel voor schatting van de concentraties in het bodemvocht en het model STONE voor schematisering van de bodemeigenschappen, berekening van de hydrologie en de aanvoer van mest. De bepaling van emissies verloopt derhalve anders dan de bepaling van andere diffuse bronnen, waar emissies meestal worden bepaald als product van een emissieverklarende variabele en een emissiefactor.

In het rapport van Renaud et.al., (2015 **Error! Reference source not found.**) wordt de berekeningswijze uitgebreid beschreven. In deze factsheet volgt een korte beschrijving.

STONE wordt ten behoeve van de EmissieRegistratie slechts eens in de drie jaar gedraaid. In de tussenliggende jaren worden de getallen van het voorgaande jaar gekopieerd. STONE is voor het laatst in 2014 gedraaid en genereerde toen cijfers over de periode t/m 2013. De cijfers voor 2014 zijn gekopieerd van 2013.

3 Uitspoelingsmodel

Het model dat gebruikt wordt voor de berekening van de uitspoeling is schematisch weergegeven in figuur 1 [1].



Figuur 1. Schematische weergave van het model voor uitspoeling van zware metalen.

Startpunt van de berekening van de uitspoeling van zware metalen zijn de gehalten van zware metalen in de bodem in het jaar 2000. Daarna worden de metaalgehalten doorgerekend op basis van aan- en afvoer van metalen via depositie, mest, uitspoeling en gewasafvoer. Voor de berekening van de uitspoeling van zware metalen is Nederland onderverdeeld in 6 405 eenheden, de zogenaamde STONE-plots. Op basis van verschillen in achtergrondconcentraties van metalen in het grondwater zijn deze plots verder opgedeeld in 15.385 eenheden [2]. Aan deze eenheden zijn zware metaalgehalten toegekend met behulp van een geostatistisch model op basis van relaties tussen bodemeigenschappen en zware metaalgehalten. Bij toekenning van de gehalten wordt rekening gehouden met de regionale variatie in deze gehalten (zie [14]). De methode voor berekening van de regionale variatie in gehalten staat beschreven in Bonten & Brus [17]. Voor de diepere ondergrond (gemiddeld beneden 0,7 m-mv) worden achtergrondgehalten in de bodem en achtergrondconcentraties in het grondwater gebruikt [3,4].

Het chemisch evenwichtmodel dat gebruikt wordt voor de berekening van de concentraties in het bodemvocht is een niet-lineaire sorptie-isotherm waarbij de sorptieconstante afhankelijk is van de bodemeigenschappen [5].

De schematisering van de bodemeigenschappen is afkomstig van het model STONE [6] dat gebruikt wordt voor de berekening van de emissie van N en P naar het oppervlaktewater.

De aanvoer van metalen naar de bodem in het model bestaat uit aanvoer via dierlijke mest en kunstmest en aanvoer via atmosferische depositie.

De aanvoer via dierlijke mest en kunstmest wordt berekend door de aanvoer van mest te vermenigvuldigen met de gehalten van metalen in mest. Voor de aanvoer van mest worden de resultaten van het model MAMBO gebruikt dat ook wordt gebruikt voor de aanvoer van nutriënten in STONE [7]. De metaalgehalten in mest zijn gebaseerd op metingen: voor de periode 1990 t/m 1999 zijn de gehalten conform Driessen & Roos (1996) [8] gebruikt, voor de jaren 2000 en verder zijn de gehalten uit Römken & Rietra (2009) [9] gebruikt. Een overzicht van de gehalten per mestsoort is weergegeven in tabel 1. Voor de aanvoer van metalen via kunstmest zijn de gehalten uit De Vries et al. (in prep.) [10] gebruikt. Er wordt vanuit gegaan dat de gehalten in kunstmest constant zijn in de tijd en er wordt geen onderscheid gemaakt voor verschillende typen.

Tabel 1: Gehalten van zware metalen in dierlijke mest (mg/kg d.s.).

	cadmium	koper	nikkel	lood	zink
	periode 1990-2000				
rund	0.23	42	14.3	14.0	156
varken	0.45	413	21.0	16.7	662
pluimvee	0.21	75	13.9	14.3	354
	periode 2000-2010				
rund	0.25	135	4.5	4.8	198
varken	0.35	404	9.2	5.6	952
pluimvee	0.20	78	3.3	6.3	266

Voor de aanvoer via atmosferische depositie worden voor het betreffende jaar de depositieschattingen van de EmissieRegistratie gebruikt [11].

De opname van zware metalen door gewassen wordt berekend door de gewasopbrengst [10] te vermenigvuldigen met gehalten aan zware metalen in de gewassen [12]. De zware metaalgehalten van gewassen worden berekend op basis van metaalgehalten in de bodem en de bodemeigenschappen.

Voor de uiteindelijke berekening van de uitspoeling wordt evenals voor nutriënten gebruik gemaakt van de hydrologie berekend met het model STONE voor twee weersomstandigheden:

- Werkelijk weerjaar: hierbij wordt gebruik gemaakt van weersgegevens van het jaar waarin de emissie heeft plaatsgevonden. De op deze wijze berekende emissie geeft een schatting van de werkelijke emissie.
- Klimaat gecorrigeerd jaar: in deze correctiemethode worden 30 model runs uitgevoerd met een weerreeks van 30 jaar (de klimaatreeks van 1981-2010). In de opeenvolgende runs wordt steeds een opeenvolgend jaar als startjaar gekozen. De eerste jaren worden aan het einde van de reeks

toegevoegd, waardoor een nieuwe reeks van 30 jaar ontstaat. De resultaten van deze 30 runs kunnen worden gemiddeld en de verdeling van de resultaten verschaft informatie over de bandbreedte van de resultaten als gevolg van weervariatie. De op deze wijze berekende emissie geeft geen schatting van de werkelijke emissie, maar geeft de mogelijkheid om jaren met elkaar te vergelijken. Trends zijn beter zichtbaar met deze gegevens.

Het uiteindelijke resultaat van de berekening is een kwantificering van de emissies van cadmium, koper, nikkel, lood en zink naar het oppervlaktewater.

Op de publiek toegankelijke website van de EmissieRegistratie zijn alleen de emissies van de werkelijke weerjaren te vinden. Deze factsheet geeft de nationale totalen voor beiden.

4 Maatregelen en effecten

Effecten van emissiereducerende maatregelen op de uitspoeling van zware metalen worden indirect meegenomen. Maatregelen die van invloed zijn op de hoeveelheid mest die wordt aangewend of van invloed zijn op de hydrologie worden verdisconteerd via de invoergegevens vanuit STONE [7]. Maatregelen die van invloed zijn op de gehalten van zware metalen in mest worden impliciet meegenomen doordat de zware metaalgehalten in mest gebaseerd zijn op metingen.

5 Emissies

De berekende emissies op landelijke schaal zijn weergegeven in tabel 2. Hierbij is onderscheid gemaakt naar landbouw en natuur op basis van het landgebruik volgens de STONE schematisatie.

Tabel 2: Uitspoeling van metalen in ton/jaar voor het werkelijk weerjaar.

	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014
	Totaal						
cadmium	0.60	0.95	1.03	0.71	0.83	0.78	0.78
koper	12.3	17.8	19.9	13.2	16.6	15.9	15.9
nikkel	29.9	43.4	50.3	34.3	40.7	38.3	38.3
lood	1.79	2.54	2.87	1.90	2.29	2.18	2.18
zink	124	201	219	146	176	167	167
	Landbouw						
cadmium	0.55	0.82	0.92	0.63	0.75	0.69	0.69
koper	11.3	15.5	18.2	12.1	15.4	14.6	14.6
nikkel	27.6	38.8	45.6	31.2	37.2	34.8	34.8
lood	1.58	2.11	2.51	1.68	2.04	1.91	1.91
zink	111	170	193	130	158	148	148
	Natuur						
cadmium	0.06	0.12	0.11	0.07	0.09	0.08	0.08
koper	0.98	2.30	1.70	1.08	1.23	1.27	1.27
nikkel	2.30	4.63	4.69	3.02	3.50	3.46	3.46
lood	0.21	0.43	0.36	0.22	0.26	0.27	0.27
zink	13.0	30.6	25.5	16.3	18.6	18.8	18.8

Doordat de emissies voor de jaren 1990 en 1995 op een andere wijze zijn berekend dan de emissies voor de overige jaren, zijn deze schattingen niet geschikt voor een analyse van de trend.

De uit- en afspoeling voor het klimaat gecorrigeerd weerjaar geeft geen schatting van de werkelijke emissie, maar geeft een range van de spreiding van de mogelijke belasting naar het oppervlaktewater weer. In tabel 3 is voor de peiljaren de gemiddelde waarde van deze verdeling weergegeven. Deze tabel laat voor de jaren 2000 t/m 2014 zien dat de emissies van alle zware metalen nauwelijks veranderen. Dit is ook verwacht, omdat de totale bodembelasting en de totale uitspoeling relatief klein zijn ten opzichte van de voorraad metalen in de bodem. Veranderingen zullen pas na tientallen jaren zichtbaar zijn. Alleen voor koperuitspoeling wordt een kleine toename berekend.

Tabel 3: Gemiddelde uitspoeling van metalen in ton/jaar voor het 'klimaat gecorrigeerd weerjaar'.

	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014
	Totaal						
cadmium	-	-	0.85	0.84	0.84	0.84	0.84
koper	-	-	16.5	16.9	17.2	17.5	17.5
nikkel	-	-	41.0	40.8	40.7	40.7	40.7
lood	-	-	2.37	2.36	2.36	2.36	2.36
zink	-	-	180	180	180	180	180

6 Verdeling compartimenten

De berekende emissies zijn emissies naar oppervlaktewater vanuit het landelijk gebied (landbouw (open teelten) en natuur). De emissies gaan voor 100% direct naar het oppervlaktewater.

7 Emissieroutes via riool naar water

Emissies naar water vinden voor 100% plaats door middel van directe emissies op oppervlaktewater.

8 Regionalisatie

Het gebruikte model geeft een geregionaliseerde verdeling van emissies. Echter, veel van de afwateringseenheden in de EmissieRegistratie zijn kleiner dan het minimumareaal waarop het gebruikte model nog betrouwbare uitkomsten geeft. Daarom worden individuele afwateringseenheden geclusterd tot grotere eenheden [13] en daarna verdeeld over de afwateringseenheden.

Hierbij wordt ook rekening gehouden met het feit dat het model geen uitspoeling berekent voor oppervlaktewater en stedelijk gebied. De uitkomsten van het uitspoelingsmodel zijn dus niet volledig landsdekkend. Dit houdt in dat voor een afwateringseenheid die geheel uit oppervlaktewater bestaat, geen uit- en afspoeling berekend wordt.

Bij de clustering van de ER afwateringseenheden zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd [13]:

1. Uitsluiting: voor afwateringseenheden die volledig uit water (boezem) en/of stedelijk gebied bestaan moet geen uit- en afspoeling berekend worden;
2. Grootte: alle afwateringseenheden kleiner dan 50 km² worden geclusterd met een minimale grootte van 50 km²;
3. Hydrologische relaties: de geclusterde afwateringseenheden moeten samen een nieuwe hydrologische eenheid vormen;
4. Ruimtelijke diversiteit: de te clusteren afwateringseenheden worden zoveel mogelijk onderling geclusterd, zodat de ruimtelijke diversiteit zo groot mogelijk blijft.

Elke afwateringseenheid binnen een cluster krijgt vervolgens dezelfde uitspoeling in g/ha.

9 Opmerkingen/wijzigingen ten opzichte van voorgaande jaren

In 2014 zijn de volgende wijzigingen doorgevoerd:

De berekeningen die in 2012 voor de EmissieRegistratie zijn uitgevoerd, zijn met een nieuwe versie van het STONE model (STONE 2.4) doorgerekend. Deze wijkt op een aantal onderdelen af van de versie (STONE 2.3) waarmee voorheen de EmissieRegistratie berekeningen zijn uitgevoerd (zie factsheet 'Uit- en afspoeling nutriënten door landbouw- en natuurbodems').

Een uitgebreide beschrijving van de wijzigingen is opgenomen in [14].

Originele factsheet:

Bonten, L.T.C. (Alterra) en Groenenberg, J.E. (Alterra). Uitspoeling van zware metalen uit landbouw- en natuurbodems, oktober 2009.

De factsheet wordt jaarlijks geüpdate.

10 Betrouwbaarheid en verbeterpunten

Aan elk onderdeel van de emissieberekening is een betrouwbaarheid toegekend. De volgende betrouwbaarheidspercentages zijn hierbij gehanteerd: 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 100%, 200% en 400%. Een betrouwbaarheid van 1% wil zeggen dat het desbetreffende onderdeel zeer betrouwbaar is; een betrouwbaarheid van 400% betekent een grote onzekerheid in het desbetreffende onderdeel. Alle percentages ertussen geven van laag naar hoog een steeds kleinere betrouwbaarheid en een grotere onzekerheid. Voor elk van de onderdelen is de betrouwbaarheid ingeschat door een groep experts. Hierbij zijn onder andere de volgende punten in overweging genomen:

- Metingen: zijn er metingen beschikbaar? Om hoeveel metingen gaat het? Zijn ze recent, realistisch en representatief? Hoe groot is de variatie?
- Als er geen metingen voorhanden zijn: is er veel literatuur of zijn er andere informatiebronnen beschikbaar?
- Als de emissie d.m.v. een model wordt verkregen: wat is de schaal van het model en is het model gevalideerd?
- Aannames: moeten er veel aannames gedaan worden en hoe groot zijn die?
- Regionalisatie: geeft de EVV een goed beeld van de ruimtelijke verdeling van de bron? Hoe groot is de variatie van de emissie in de ruimte en kan deze variatie door de EVV wel goed over Nederland verdeeld worden?
-

Onzekerheidsbron	Toepassing op landelijke schaal	Toepassing voor individuele ER-gebieden
Hydrologie (gelijk aan nutriënten)	25%	100%
Modelschematisering (gelijk aan nutriënten)	10%	50%
Metaalgehalten bodem in referentiejaar	25%	25%
Belasting metalen bodem (bemesting, depositie en opname)	5%	5%
Achtergrondbelasting (concentraties dieper dan GLG)	10%	100%
Berekening concentraties in bodemvocht	50%	50%
Totale onzekerheid	63%	160%

De betrouwbaarheidspercentages van de emissieschattingen zijn geschat op basis van expert judgement. Dit expert judgement is gebaseerd op toetsing en onzekerheidsschattingen van delen van de modelketen en op een beperkte toetsing van de volledige modelketen. Voor de hele modelketen zijn de resultaten van de berekening van de emissies beperkt getoetst aan stoffenbalansen van zware metalen [15]. Op grote schaal lijken de uitkomsten in overeenstemming met de stoffenbalansen. Daarnaast is de volledige modelketen uitgebreid getoetst voor één stroomgebied (Bonten et al., 2012 [18]). Voor de afzonderlijke modelonderdelen is een toetsing aan veldmetingen uitgevoerd [16]. Een overzicht van alle factoren die de onzekerheid van emissie bepalen is opgenomen in Renaud et al. [14] en in onderstaande tabel. Deze tabel laat zien dat de onzekerheid voor de emissies op landelijk schaal tussen 50% en 100% is. Op regionale schaal zijn de uitkomsten minder betrouwbaar, de onzekerheid wordt ingeschat op circa 160%.

11 Reacties

Voor vragen naar aanleiding van dit document kan contact worden opgenomen met Luc Bonten, Alterra (luc.bonten@wur.nl) of Janneke Klein, Deltares (janneke.klein@deltares.nl).

12 Referenties

- [1] Bonten L.T.C., J.E. Groenenberg, 2009: Uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied. Modelberekeningen voor de emissieregistratie 2009, Alterra-rapport 1882.
- [2] Bonten L.T.C., B. van der Grift, J. Klein, 2008: Achtergrondbelasting van het oppervlaktewater met zware metalen t.g.v. uitspoeling uit de bodem. Alterra-rapport 1636.
- [3] Klein, J. 2011. Zware metalen in grondwater. Deltares-rapport 1204148-003.
- [4] Klein, J. 2012. Memo Aanvulling op rapport 'Zware metalen in grondwater' – verwijderen uitschieters, Deltares, Utrecht.
- [5] Römken, P.F.A.M., J.E. Groenenberg, L.T.C. Bonten, W. de Vries & J. Bril. 2004. Derivation of partition relationships to calculate Cd, Cu, Ni, Pb and Zn solubility and activity in soil solutions. Alterra-rapport 305.
- [6] Wolf J., Beusen A.H.W., Groenendijk P., Kroon T., Rötter R., van Zeijts H., The integrated modeling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands, *Env. Modelling & Software*, 18 (2003), pp. 597-617.
- [7] MAMBO (niet gepubliceerd).
- [8] Driessen J.J.M., en A.H. Roos, 1996. Zware metalen, organische microverontreinigingen en nutriënten in dierlijke mest, compost, zuiveringsslib, grond en kunstmeststoffen. RIKILT-DLO rapport 96.14, Wageningen.
- [9] Römken, P.F.A.M. & R.P.J.J. Rietra, 2009: Zware metalen en nutriënten in dierlijke mest in 2008; Gehalten aan Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As, N en P in runder-, varkens- en kippenmest Alterra-rapport 1729.
- [10] Vries, W. de, J. Kros & G. Velthof. INITIATOR2: Instrument voor een integrale milieuanalyse van de gevolgen van aanpassingen in de landbouw. Berekening van de emissies van ammoniak, broeikasgassen, fijn stof en geur en de accumulatie, uit- en afspoeling van koolstof, stikstof, fosfaat, basen en zware metalen. Alterra-rapport in prep.
- [11] Duyzer, J.H. R.A.J. Plant, A. Bleeker, 2002. Bepaling van emissies naar water door atmosferische depositie. TNO-MEP rapport R2002/268, Utrecht.
- [12] Römken, P.F.A.M., J.E. Groenenberg, R.P.J.J. Rietra, J.E. Groenenberg & W. de Vries, 2008. Onderbouwing LAC2006-waarden en overzicht van bodem-plant relaties ten behoeve van de Risicotoolbox; een overzicht van gebruikte data en toegepaste methoden. Alterra-rapport 1442.
- [13] Peereboom, I., 2005. Opschaling STONE resultaten ten behoeve van ERC. RIZA werkdokument 2005.068x.
- [14] Renaud, L.V., Bonten, L.T.C., Groenendijk, P., Groenenberg, B.J., 2015. Berekening van uit- en afspoeling van nutriënten- en zware metalen ten behoeve van de EmissieRegistratie 2013. Alterra-rapport 2638.
- [15] Bonten L.T.C., 2008. Toetsing van modelberekeningen van uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied. Alterra-rapport 1637.
- [16] Bonten L.T.C., 2009: Uitspoeling van zware metalen uit landbouwbodems, Toetsing van modelberekeningen middels veldmetingen. Alterra-rapport 1883.
- [17] 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.

- [18] L.T.C. Bonten, J.G. Kroes, P. Groenendijk, B. van der Grift, 2012. Modeling diffusive Cd and Zn contaminant emissions from soils to surface waters. *J. Contam. Hydrol.*