

**Emissieschattingen Diffuse bronnen
Emissieregistratie**

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

Versie december 2021

In opdracht van RIJKSWATERSTAAT – WVL
Uitgevoerd door Wageningen Environmental Research samen met DELTARES en RIVM

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 verhoogde gehalten van zware metalen in de bodem. Deze zware metalen afkomstig 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 14 zware metalen naar het oppervlaktewater worden gekwantificeerd voor zowel landbouw- als natuurbodems. Een uitgebreide beschrijving staat in Van der Bolt et al. [1]. De emissies worden toegekend aan de doelgroepen landbouw en natuur.

2 Toelichting berekeningswijze

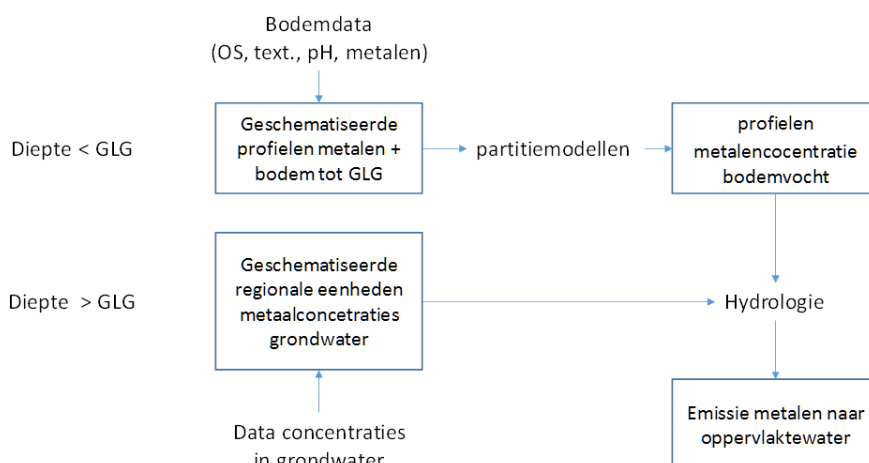
De uit- en afspoeling van zware metalen uit landbouw- en natuurgronden in de EmissieRegistratie zijn zo veel mogelijk gebaseerd op berekeningen met het Landelijk Waterkwaliteitsmodel [2,3]. LWKM gebruikt de resultaten van het landelijk hydrologisch model [4] en de mestverdeling berekend met INITIATOR [5]. De bepaling van emissies verloopt derhalve anders dan de bepaling van emissies uit andere diffuse bronnen, waar emissies meestal worden bepaald als product van een emissieverklarende variabele en een emissiefactor. In het rapport van Van der Bolt en Romkens (2021) worden de rekenwijze, de gebruikte data en de schematisering uitgebreid beschreven.

De meest in het oog springende verandering is de uitbreiding van de 5 tot nu toe in de EmissieRegistratie opgenomen zware metalen cadmium (Cd), lood (Pb), zink (Zn), koper (Cu) en nikkel (Ni) met de metalen barium (Ba), kobalt (Co), chroom (Cr), molybdeen (Mo), antimoon (Sb), vanadium (V) en uranium (U) en de elementen arseen (As) en seleen (Se).

In de hierna volgende tekst wordt gesproken over metalen, maar worden de 14 metalen en elementen bedoeld.

3 Uitspoelmodel

Het model waarmee de uit- en afspoeling van zware metalen wordt berekend is schematisch weergegeven in figuur 1.



Figuur 1. Schematische weergave berekening van de emissie van metalen vanuit de bodem naar oppervlaktewater.

Uitgangspunt is een scherpe overgang tussen aerobe en anaerobe omstandigheden. Deze beide situaties met geheel andere processen en resulterende concentraties vragen andere benaderingen: in het aerobe deel worden concentraties berekend via uitwisseling met de bodemvoorraad en in het anaerobe deel op basis van gemeten concentraties in het bovenste grondwater. De belangrijkste stappen voor de berekening zijn:

1. Bodemprofielen vormen de basis voor de berekening van de concentraties metalen in het bodemvocht. Essentiële bodemparameters voor deze berekening zijn organische stofgehalte, pH, textuur en ijzer- en aluminiumhydroxiden.
2. De concentraties aan metalen in het bodemvocht worden voor de bodemlagen tot 1 meter onder de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) berekend met partitiemodellen. De daarvoor benodigde metaalgehalten worden per bodemlaag berekend:
 - a. De achtergrondgehalten in de lagen boven 1m-GLG worden berekend op basis van het gehalte aan klei.
 - b. De gehalten zware metalen in de wortelzone/bouwvoor (0-20 cm-mv) worden per ruimtelijke eenheid afgeleid via regressie van metingen.
 - c. De metaalgehalten in de bodemlagen vanaf 20 cm-mv tot 1m-GLG worden afgeleid door combineren van de resultaten van de voorgaande 2 stappen en het verloop van bodemeigenschappen in de diepte.
3. Representatieve concentraties van metalen in het bovenste grondwater, de eerste meter grondwater beneden de GLG, worden afgeleid op basis van werkelijk gemeten concentraties tot 10m onder de grondwaterspiegel.
4. Vrachten aan metalen naar het oppervlaktewater worden berekend als de som van de berekende (tot GLG) dan wel geïnterpoleerde gemeten (dieper dan GLG) concentraties vermenigvuldigd met de voor het LWKM op basis van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) berekende waterfluxen.

4 Maatregelen en effecten

Effecten van emissiereducerende maatregelen op de uitspoeling van zware metalen worden indirect (via tijdafhankelijke invoerdata) 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 het LWKM. 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. Maatregelen die doorwerken op de atmosferische depositie werken impliciet door via de invoergegevens afkomstig uit de EmissieRegistratie.

Tabel 1. Gemiddelde jaarlijkse uit- en afspoeling (ton jaar-1) van zware metalen uit de bodem van landbouw- en natuurgebieden in Nederland naar het oppervlaktewater voor de periode 1990-2019.

Metaal	Nederland		Landbouw		Natuur	
	ER2013	ER2019	ER2013	ER2019	ER2013	ER2019
Arseen		15.4		11.8		3.6
Barium		538.0		415.6		122.4
Cadmium	0.8	3.7	0.7	2.0	0.1	1.7
Kobalt		7.7		6.0		1.7
Chroom		6.0		4.6		1.3
Koper	16.5	16.4	15.1	13.1	1.4	3.2
Molybdeen		18.7		16.4		2.3
Nikkel	40.0	26.2	36.5	20.7	3.6	5.5
Lood	2.3	0.8	2.0	0.6	0.3	0.2
Antimoon		1.4		1.2		0.3
Seleen		4.8		3.9		0.9
Uranium		0.4		0.3		0.1
Vanadium		16.4		12.6		3.8
Zink	176.0	76.4	155.4	55.2	20.9	21.2

5 Emissies

De voor Nederland berekende emissies staan in tabel 1. Hierbij is onderscheid gemaakt naar landbouw en natuur. De emissies voor de EmissieRegistratie 1990-2013 [6] zijn ook opgenomen.

Ten opzichte van de ER2013 zijn de berekende emissies voor koper vrijwel identiek. Voor cadmium worden voor de EmissieRegistratie 1990-2019 grotere emissies berekend. Voor zink en in mindere mate nikkel en lood zijn de emissies in deze nieuwe berekeningen gedaald. Een eenduidige verklaring voor deze verschillen is niet te geven doordat het instrumentarium in 2021 rigoureus is gewijzigd op vrijwel alle onderdelen zodat verschillen in de totale berekende emissie niet direct aan een of meerdere factoren te koppelen zijn. De resultaten van de EmissieRegistratie 1990-2019 zijn gebaseerd op actuele data en kennis, en zijn gevalideerd aan de metingen in het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid.

In de tabellen hieronder is de jaarlijkste afspoeling van zware metalen uit de bodem van landbouw- en natuurgebieden (Tabel 1), enkel landbouwgebieden (Tabel 3) en enkel natuurgebieden (Tabel 4) weergegeven voor de periode van 1990-2019.

Tabel 2. Jaarlijkse uit- en afspoeling (ton jaar-1) van zware metalen uit de bodem van landbouw- en natuurgebieden in Nederland naar het oppervlaktewater voor de periode 1990-2020.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019/2020*
	Totaal							
Arseen	12.6	16.9	19.6	13.1	15.6	18.6	11.2	13.6
Barium	403.3	637.7	684.8	453.7	541.7	663.5	410.3	440.7
Cadmium	1.9	6.2	4.7	2.6	3.3	4.4	2.7	2.2
Kobalt	5.3	9.0	10.2	6.1	7.4	9.8	5.7	6.4
Chroom	4.8	6.6	7.5	5.1	6.1	7.4	4.4	5.3
Koper	11.3	18.8	20.7	12.8	16.1	21.7	12.7	14.2
Molybdeen	25.3	23.4	23.5	13.9	16.2	18.1	11.9	13.4
Nikkel	18.7	30.4	33.7	20.9	25.8	33.9	19.8	22.3
Lood	0.6	1.0	1.0	0.7	0.8	1.0	0.6	0.6
Antimoon	1.7	1.8	1.8	1.2	1.3	1.5	0.9	1.1
Seleen	3.8	5.4	6.2	4.0	4.8	6.0	3.5	4.3
Uranium	0.3	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4
Vanadium	12.8	19.2	21.0	13.6	16.2	20.4	12.1	13.9
Zink	47.5	93.3	95.8	59.4	74.4	102.2	61.6	63.2

*2020 niet berekend maar doorgekopieerd uit 2019

Tabel 3. Jaarlijkse uit- en afspoeling (ton jaar-1) van zware metalen uit de bodem van landbouwgebieden in Nederland naar het oppervlaktewater voor de periode 1990-2020.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019/2020*
	Landbouw							
Arseen	9.6	12.8	15.0	10.0	12.0	14.4	8.5	10.5
Barium	311.8	489.4	532.5	348.5	419.3	518.6	312.1	339.5
Cadmium	0.9	2.4	2.2	1.5	2.1	3.0	1.9	1.5
Kobalt	4.1	6.9	8.0	4.7	5.8	7.8	4.3	5.0
Chroom	3.7	5.1	5.9	4.0	4.7	5.8	3.4	4.1
Koper	9.0	14.9	16.6	10.2	12.9	17.7	10.1	11.5
Molybdeen	22.1	20.3	20.7	12.2	14.3	16.1	10.4	11.8
Nikkel	14.8	23.8	26.8	16.3	20.4	27.2	15.5	17.8
Lood	0.4	0.7	0.7	0.5	0.6	0.7	0.4	0.5
Antimoon	1.3	1.4	1.5	0.9	1.1	1.2	0.7	0.9
Seleen	3.1	4.3	5.0	3.2	3.9	4.9	2.8	3.5
Uranium	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3
Vanadium	9.9	14.5	16.2	10.5	12.6	15.8	9.2	10.8
Zink	34.8	66.3	69.4	42.2	53.3	75.9	44.1	46.4

*2020 niet berekend maar doorgekopieerd uit 2019

Tabel 4. Jaarlijkse uit- en afspoeling (ton jaar-1) van zware metalen uit de bodem van natuurgebieden in Nederland naar het oppervlaktewater voor de periode 1990-2020.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019/2020*
	Natuur							
Arseen	2.9	4.1	4.6	3.1	3.6	4.2	2.7	3.1
Barium	91.4	148.3	152.3	105.2	122.4	144.8	98.2	101.2
Cadmium	1.0	3.9	2.5	1.1	1.2	1.3	0.9	0.7
Kobalt	1.2	2.1	2.1	1.4	1.6	2.0	1.3	1.4
Chroom	1.1	1.5	1.7	1.2	1.3	1.6	1.0	1.2
Koper	2.3	4.0	4.1	2.6	3.2	4.0	2.6	2.7
Molybdeen	3.2	3.1	2.7	1.7	1.9	2.0	1.6	1.6
Nikkel	3.9	6.6	7.0	4.5	5.4	6.7	4.3	4.5
Lood	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
Antimoon	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
Seleen	0.7	1.1	1.2	0.8	0.9	1.1	0.7	0.8
Uranium	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Vanadium	2.9	4.7	4.9	3.1	3.6	4.6	2.9	3.2
Zink	12.7	27.0	26.4	17.3	21.1	26.4	17.5	16.9

*2020 niet berekend maar doorgesloopt uit 2019

6 Verdeling compartimenten

De berekende emissies zijn emissies naar oppervlaktewater vanuit bodems met landgebruik 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

De plausibiliteit en de toepasbaarheid van de resultaten van het LWKM zijn respectievelijk beschreven in Van der Bolt et al. [2]: "Gegeven de beperkingen van de beschikbare invoerdata is geconcludeerd dat resultaten van LHM3.5.1 en de huidige versie van het LWKM toepasbaar zijn voor grotere gebieden: deelstroomgebieden en de meeste waterschappen. Vergelijken van resultaten van rekenvarianten kan op het niveau van de door PBL met de waterschappen voor de Nationale Analyse Waterkwaliteit gedefinieerde 'waterlichaamgebieden 2019' [7]. Daarbij moet voor sommige van deze gebieden rekening worden gehouden met grote afwijkingen ten opzichte van metingen."

Voor de ER 2020 zijn de emissies naar het oppervlaktewater, net als bij de nutriënten ruimtelijk geaggregeerd naar de 629 eenheden van de 'waterlichaamgebieden 2019' [7]. Vervolgens zijn deze resultaten voor zware metalen op basis van de arealen landbouw- en natuurbodems gesplitst naar de GAF90-eenheden van de Emissie Registratie. Voor de toepassing betekent dit dat de berekende emissies:

- Bruikbaar zijn voor Nederland en KRW-deelstroomgebieden
- Op het detailniveau van de 629 waterlichaamgebieden met de nodige voorzichtigheid kunnen worden toegepast.
- Beter niet kunnen worden toegepast op het detailniveau van de GAF90-eenheden.

Gegeven de vastgestelde toepasbaarheid van de resultaten van de eerste versie van het LWKM moeten gebruikers van de EmissieRegistratie zich goed bewust zijn van de betrouwbaarheid van de berekende vrachten. Lees voor gebruik van deze data zorgvuldig de volgende disclaimer.

Disclaimer

De disclaimer heeft betrekking op emissies naar oppervlaktewater door uit- en afspoeling van zware metalen via landbouw- en natuurgronden. Deze emissies horen bij het compartiment 'Belasting oppervlaktewater'. De disclaimer geldt voor alle binnen de emissieregistratie beschikbare jaren: 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2018 en 2019. Het gaat daarbij om de emissieoorzaken 'uitspoeling zware metalen natuurbodems' en 'afspoeling zware metalen natuurbodems'. Deze vallen binnen de doelgroep landbouw, subdoelgroep uit- en afspoeling landbouwbodems en de doelgroep natuur, subdoelgroep uit- en afspoeling natuurbodems.

De emissies van zware metalen door uit- en afspoeling van landbouw- en natuurgronden zijn in 2021 berekend met het Landelijke WaterKwaliteitsModel onderdeel zware metalen. Dit is een toepassing het Nationaal Watermodel dat in opdracht van de Rijksoverheid door kennisinstituten wordt doorontwikkeld voor gebruik in o.a. landelijke beleidsverkenningen en de EmissieRegistratie.

Ten behoeve van het gebruik in de Nationale analyse waterkwaliteit is een plausibiliteitsstoets uitgevoerd (Van der Bolt et al. 2020, Groenendijk 2020). Daarbij is onder andere geconstateerd dat de hydrologische invoergegevens verbetering behoeven en dat de resultaten van het LWKM toepasbaar zijn voor grotere gebieden: deelstroomgebieden en de meeste waterschappen.

Voor de ER2021 zijn de emissies naar het oppervlaktewater, net zoals bij de nutriënten, ruimtelijk geaggregeerd naar de eenheden van de 'waterlichaamgebieden 2019'. Dat is gedetailleerder dan het detailniveau waarop volgens bovenstaande inzichten de resultaten toepasbaar zijn. De onzekerheid in de uitkomsten op het niveau van GAF-afwateringseenheden is op dit moment nog onvoldoende bekend.

Wij vertrouwen erop dat u notie heeft genomen van deze opmerking over de toepassingsmogelijkheden van deze data.

9 Opmerkingen/wijzigingen ten opzichte van voorgaande jaren

Middels modelberekeningen zijn schattingen gemaakt van de landelijke emissie van zware metalen die via uit- en afspoeling uit de bodem en via grondwater bijdragen aan de belasting van het oppervlaktewater. Dergelijke schattingen zijn sinds 2003 regelmatig in het kader van de EmissieRegistratie gemaakt waarbij in de loop der jaren het modelinstrumentarium verschillende keren is verbeterd. De laatste aanpassing dateert echter al van 2008 waarna tot 2013 [6] met hetzelfde instrumentarium is gewerkt. Na een analyse van de gehanteerde modelconcepten en de gebruikte data is geconcludeerd dat de tot en met 2013 gebruikte werkwijze rigoureus kon worden verbeterd. Deze verbeteringen zijn doorgevoerd en de berekeningen voor de EmissieRegistratie 1990-2019 zijn met een volledig herziene versie van het instrumentarium doorgerekend. Een uitgebreide beschrijving van de wijzigingen is opgenomen in Van der Bolt et al. [1].

Originele factsheet: Bonten, L.T.C. en Groenenberg, J.E., 2009. *Uitspoeling van zware metalen uit landbouw- en natuurbodems*.

Deze factsheet wordt herzien wanneer de methodiek om de cijfers te berekenen wordt aangepast.

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. Een overzicht van alle factoren die de onzekerheid van emissie bepalen is opgenomen in Van der Bolt et al. [1]:

Tabel 5. Onzekerheidspercentages van verschillende inputbronnen van het LWKM bij verschillende detailniveaus van toepassing

Onzekerheidsbron	landelijke schaal	ER GAF90-eenheden
Bemesting zware metalen ¹	25%	100%
Hydrologie ²	25%	200%
landgebruik	10%	25%
Bodem	10%	25%
Bodemschematisering zware metalen	25%	100%
Depositie zware metalen	25%	50%
Gewasopname zware metalen	50%	50%
Concentraties bovenste grondwater	25%	100%
Procesmodel	25%	50%
Totale onzekerheid	25%	200%

¹Product van berekende aanwending en gemeten concentraties.

²Gebaseerd op de kwaliteit van LHM 3.5 beoordeeld voor waterkwaliteitsmodellering door Van der Bolt et al. 2020

Omdat de onzekerheden in de hydrologie voor de 629 'waterlichaamgebieden 2019' te verwaarlozen zijn, is de kwaliteit van de berekende emissies op het detailniveau van de 629 waterlichaamgebieden beoordeeld als:

- Goed voor As, Cd, Ni en Zn
- Voldoende voor Cr, Cu, Pb en Se
- Matig voor Ba, Co, Mo, Sb, U en V

11 Reacties

Voor vragen naar aanleiding van dit document kan contact worden opgenomen met Frank van der Bolt of Paul Romkens, WENR.

12 Referenties

- [1] Bolt F.J.E. van der en P.F.A.M. Römken (red.), L. Renaud, H. Bootsma, T.J. Brussée, G. Janssen, J. Qu. LWKM zware metalen. Emissieberekeningen voor de EmissieRegistratie 1990-2022. ([Link](#))
- [2] Bolt, F.J.E. van der, T. Kroon, P. Groenendijk, L.V. Renaud, J. van den Roovaart, C.M.C.M. Janssen, S. Loos, P. Cleij, A. van den Linden en A. Marsman 2020. Het Landelijk Waterkwaliteitsmodel: Uitbreiding van het Nationaal Water Model met waterkwaliteit ten behoeve van berekeningen voor nutriënten. Wageningen Environmental Research rapport 3005
- [3] Bolt, F.J.E. van der, E. van Boekel, W. Kuindersma, L. Renaud, P. Groenendijk, H. Kros, J. van de Roovaart, A. Marsman 2021. Het landelijk waterkwaliteitsmodel. Versie LWKM 1.2. Wageningen Environmental Research rapport in prep.
- [4] Pouwels, R., L.M.T. Bos-Burgering, G. Janssen, J.C. Hunink, A.A. Veldhuizen, F.J.E. van der Bolt, T. Kroon, 2018. Veranderingsrapportage LHM 3.5; ontwikkelingen ten behoeve van de waterkwaliteit. Deltares rapport 11202224-004-BGS.
- [5] Kros, H., J. van Os, J.C. Voogd, P. Groenendijk, C. van Bruggen, R. te Molder en G. Ros. Ruimtelijke allocatie van mesttoediening en ammoniakemissie; beschrijving mestverdelingsmodule INITIATOR versie 5. Wageningen Environmental Research, 2019.
- [6] Renaud, L.V., L.T.C. Bonten, P. Groenendijk en, J.E. Groenenberg, 2014. [Actualisatie Landelijke EmissieRegistratie 2015; Uit- en afspoeling nutriënten en zware metalen uit het landelijk gebied]. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport.
- [7] Gaalen, F. van, L. Osté en E. van Boekel, 2020. Nationale analyse waterkwaliteit. Onderdeel van de Delta-aanpak Waterkwaliteit. PBL-publicatienummer: 4002