



---

# Berekening van uit- en afspoeling van nutriënten- en zware metalen ten behoeve van de EmissieRegistratie 2013

Leo Renaud, Luc Bonten, Piet Groenendijk en Bert Jan Groenberg



ALTERRA  
WAGENINGEN UR

---



---

# Berekening van uit- en afspoeling van nutriënten- en zware metalen ten behoeve van de EmissieRegistratie 2013

Leo Renaud, Luc Bonten, Piet Groenendijk en Bert Jan Groenberg

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door Deltares/Ministerie van Economische Zaken, in het kader van de EmissieRegistratie (projectnummer 5241106-01).

Alterra Wageningen UR  
Wageningen, juni 2015

---

Alterra-rapport 2638  
ISSN 1566-7197


---

Renaud, L.V., L.T.C. Bonten en P. Groenendijk, 2015. *Berekening van uit- en afspoeling van nutriënten- en zware metalen ten behoeve van de EmissieRegistratie 2013*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2638. 62 blz.; 18 fig.; 24 tab.; 43 ref.

In het kader van de nationale en internationale verplichting om de emissies en belasting van oppervlaktewater te rapporteren, is de uit- en afspoeling van nutriënten en zware metalen uit het landelijk gebied berekend. Met het landelijke emissiemodel STONE en STONE-ZM zijn de emissies naar het oppervlaktewater doorgerekend. Voor het bepalen van een gemiddelde verwachting van de uit- en afspoeling is de klimaatreeksmethode toegepast om de grote effecten van de dynamiek in het weer te filteren.

Trefwoorden: EmissieRegistratie, uit- en afspoeling, belasting oppervlaktewater, zware metalen, nutriënten, stikstof, fosfor, water, waterkwaliteit, landbouw, STONE, klimaatreeks, emissies

Dit rapport is gratis te downloaden van [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra) (ga naar 'Alterra-rapporten' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

 2015 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl), [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra). Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2638 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Jan Roelsma

---

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
	1.1 Achtergrond	7
	1.2 Probleemstelling	7
	1.3 Doelstelling	7
	1.4 Projectresultaat	7
	1.5 Werkwijze	8
<b>2</b>	<b>Model en uitgangspunten</b>	<b>9</b>
	2.1 Uitspoelingsmodel STONE	9
	2.2 Herschaling naar LGN6	12
	2.3 Samenvoegen van de bemesting per fosfaatklasse	13
	2.4 Bemesting en depositie	14
	2.5 Neerslagoverschot	16
	2.6 Waterafvoer naar oppervlaktewater	18
	2.7 Gewasopname	19
	2.8 Toepassingsmogelijkheid van de resultaten	20
<b>3</b>	<b>Emissies berekend bij gemeten weer</b>	<b>22</b>
	3.1 Emissies nutriënten	22
	3.1.1 Veranderingen ten opzichte van de ER2010	22
	3.1.2 Landelijke uit- en afspoeling nutriënten	25
	3.2 Emissies zware metalen	27
	3.2.1 Landelijke uitspoeling van zware metalen	27
	3.2.2 Bodembelasting met ZM	27
<b>4</b>	<b>Weereffect gecorrigeerde emissies</b>	<b>30</b>
	4.1 Methode van de weereffect gecorrigeerde berekening	30
	4.2 Wijzigingen ten opzichte van ER2010	31
	4.3 Weereffecten gecorrigeerde landelijke uitspoeling nutriënten	33
	4.4 Weereffecten gecorrigeerde landelijke uitspoeling zware metalen	34
<b>5</b>	<b>Onzekerheden</b>	<b>36</b>
	5.1 Onzekerheid STONE-model	36
	5.2 Onzekerheidsanalyse ZM uitspoeling	42
	<b>Literatuur</b>	<b>46</b>
	<b>Bijlage 1 Overzicht van de rekensessie voor de EmissieRegistratie 2013</b>	<b>49</b>
	<b>Bijlage 2 Uit- en afspoeling van N en P per landgebruiksvorm</b>	<b>50</b>
	<b>Bijlage 3 Disclaimer voor gebruik van resultaten in regionale studies</b>	<b>53</b>
	<b>Bijlage 4 Overzicht aangeleverde resultaten van Stone2.4 voor ER2013</b>	<b>54</b>
	<b>Bijlage 5 Vergelijking met vorige versie van de EmissieRegistratie per landgebruiksvorm</b>	<b>55</b>
	<b>Bijlage 6 Berekening aanvoer van metalen</b>	<b>58</b>

---

# Samenvatting

In de EmissieRegistratie worden voor enkele jaren, peiljaren genoemd, de emissies naar bodem, water en lucht van circa 350 beleidsrelevante stoffen en stofgroepen vastgesteld. Om te kunnen voldoen aan nationale en internationale rapportages over emissies en belasting van oppervlaktewater, is het gewenst om de inhoud van de Landelijke EmissieRegistratie periodiek aan te vullen en eventueel te verbeteren. Een van deze bronnen is de uit- en afspoeling van nutriënten en zware metalen naar het oppervlaktewater uit het landelijk gebied. De uit- en afspoeling van nutriënten wordt berekend met het nationale modelinstrumentarium STONE (Wolf *et al.*, 2003). De uit- en afspoeling van zware metalen wordt met het model STONE-ZM versie 2012 berekend, dat gebruikmaakt van de schematisering en gegevens (hydrologie, bodemschematisering en mestgegevens) van STONE. Voor deze studie zijn de berekeningen tot en met 2013 uitgevoerd met STONE 2.4, dat ook gebruikt is voor de EMW2012.

Voor de peiljaren van de EmissieRegistratie zijn de emissies op twee manieren gekwantificeerd:

- De gerealiseerde emissies zijn berekend met de gemeten weergegevens van het jaar waarin de emissie heeft plaatsgevonden. Deze emissies verschillen van jaar tot jaar door veranderingen in de mestgiften en toedieningsvoorschriften en door de invloeden van het weer.
- De gemiddelde verwachting van de emissie is voor een klimaatreeks berekend via een eenvoudige vorm van Monte Carlo-simulaties. De op deze manier berekende emissies voor de peiljaren verschillen voornamelijk door veranderingen in de mestgiften en toedieningsvoorschriften, omdat het effect van het weer nagenoeg is uitgeschakeld.

De berekende emissies zijn samengevat in Tabel 1 en 2.

**Tabel 1**

*Uit- en afspoeling voor de peiljaren in kton/jaar, berekend met gemeten weergegevens.*

	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
N-afspoeling	1.885	0.299	0.541	0.274	0.373	0.514	0.314	0.622	0.920
N-uitspoeling	62.202	59.099	83.721	88.193	46.941	53.214	47.087	53.012	41.341
P-afspoeling	0.282	0.024	0.038	0.022	0.044	0.056	0.040	0.047	0.040
P-uitspoeling	4.145	3.383	4.288	5.072	3.348	3.779	3.770	4.590	3.551

**Tabel 2**

*Gemiddelde verwachting van de uit- en afspoeling voor de peiljaren in kton/jaar, berekend met de klimaatreeks (1981-2010).*

	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
N-afspoeling	1.947	1.520	1.221	0.952	0.795	0.652	0.641	0.604	0.583
N-uitspoeling	73.614	79.103	80.530	73.248	57.844	49.695	48.987	48.513	47.692
P-afspoeling	0.307	0.264	0.115	0.118	0.086	0.037	0.038	0.039	0.040
P-uitspoeling	4.335	4.396	4.214	4.123	4.055	3.914	3.897	3.871	3.855

De uit- en afspoeling van zowel stikstof als fosfor varieert als gevolg van verschillen in het weer van jaar tot jaar (Tabel 1). De met de klimaatreeks berekende verwachte uitspoeling van stikstof neemt tot 1995 toe en neemt daarna af en de afspoeling neemt vanaf 1985 continu af (Tabel 2). Voor fosfor zien we voor de op deze manier berekende uit- en afspoeling vanaf 1985 een vrijwel continue daling.





---

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

In de EmissieRegistratie ([www.emissieregistratie.nl](http://www.emissieregistratie.nl)) worden de emissies naar bodem, water en lucht van circa 350 beleidsrelevante stoffen en stofgroepen vastgesteld voor specifieke peiljaren. Om te kunnen voldoen aan nationale en internationale rapportages over emissies en belasting van oppervlaktewater, worden de emissiecijfers regelmatig aangevuld en verbeterd. Een van deze bronnen is de uit- en afspoeling van nutriënten en zware metalen uit het landelijk gebied naar het oppervlaktewater, waaronder de landbouwgronden. Deze bron is moeilijk rechtstreeks te meten en moet daarom met modellen worden geschat.

## 1.2 Probleemstelling

De actuele emissiecijfers voor de uit- en afspoeling van de nutriënten stikstof en fosfor en de zware metalen cadmium, koper, nikkel, lood en zink zijn nog niet berekend voor de jaren 2011, 2012 en 2013.

## 1.3 Doelstelling

De doelen van de STONE-berekeningen ten behoeve van de EmissieRegistratie voor de uit- en afspoeling van nutriënten en zware metalen uit het landelijk gebied zijn:

- Berekenen van de emissiecijfers van de uit- en afspoeling van nutriënten en zware metalen voor de jaren 2011, 2012 en 2013.
- Doorvoeren van verbeteringen in de rekenmethode:
  - het herscalen van het landgebruik naar LGN6 voor de nutriëntenbelasting;
  - het samenvoegen van de bemestingscijfers van de fosfaatklasse 'onbekend' en fosfaatklasse 'hoog' (vergelijking van het WOG-WOD model en het MAMBO STONE model, Groenendijk *et al.*, 2014).
- Actualiseren van de berekende uit- en afspoeling van de jaren tot en met 2013 met de hierboven voorgestelde verbeterde berekeningen.
- Berekenen van de belasting van de bodem met zware metalen voor de peiljaren t/m 2013.

## 1.4 Projectresultaat

De volgende resultaten zijn geleverd aan de EmissieRegistratie:

- De uit- en afspoeling van stikstof en fosfor voor de jaren 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2011, 2012 en 2013. De som van uit- en afspoeling van cadmium, koper, nikkel, lood en zink voor de jaren 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2011, 2012 en 2013 (dus niet 1985) alsook de bodembelasting van deze metalen. Aanvullend zijn ook de voor weereffecten gecorrigeerde emissies van stikstof, fosfor en zware metalen gegeven (zie hoofdstuk 3). De emissies van nutriënten en zware metalen door uit- en afspoeling worden berekend op landelijke en regionale schaal. De emissies op nationaal niveau zijn onderverdeeld in emissies vanuit landbouwgrond en vanuit natuur(grond). Voor nutriënten worden de emissies uit landbouwgrond verder onderverdeeld in grasland, maisland en akkerbouw.

De regionalisatie gebeurt voor afwateringseenheden zoals eerder gedefinieerd voor de EmissieRegistratie (Peereboom, 2005).

- 
- Voor zowel nutriënten als zware metalen een ER-factsheet waarin de modelberekeningen worden beschreven.
  - Het voorliggende rapport, met aandacht voor de verklaring van de verschillen met de berekeningen uit 2011 en beschrijving van de doorgevoerde verbeteringen in de berekeningsmethode.

## 1.5 Werkwijze

Voor de peiljaren van de EmissieRegistratie zijn de emissies op twee manieren gekwantificeerd:

- De gerealiseerde emissies zijn berekend met de gemeten weergegevens van het jaar waarin de emissie heeft plaatsgevonden. Deze emissies verschillen van jaar tot jaar door veranderingen in de mestgiften en toedieningsvoorschriften en door de invloeden van het weer.
- De gemiddelde verwachting van de emissie is voor een klimaatreeks berekend via een eenvoudige vorm van Monte Carlo-simulaties. De op deze manier berekende emissies voor de peiljaren verschillen voornamelijk door veranderingen in de mestgiften en toedieningsvoorschriften, omdat het effect van het weer nagenoeg is uitgeschakeld.

De uit- en afspoeling van nutriënten wordt berekend met het nationale modelinstrumentarium STONE (<http://www.stone.alterra.nl/>) (Wolf *et al.*, 2003). De uit- en afspoeling van zware metalen wordt met het model STONE-ZM versie 2012 berekend. Dit model gebruikt de schematisering en gegevens (hydrologie, bodemschematisering en mestgegevens) van STONE. Voor de Evaluatie Mestwetgeving 2012 is STONE aangepast (STONE 2.4). De emissies naar het oppervlaktewater voor de EmissieRegistratie 2013 zijn met deze nieuwste versie berekend.

---

## 2 Model en uitgangspunten

### 2.1 Uitspoelingsmodel STONE

STONE is ontwikkeld om op nationale schaal effecten van mestbeleid (rekenvarianten van dierlijke mest- en kunstmestgiften) zichtbaar te maken voor verschillende combinaties aan bodemgebruik, grondsoort en hydrologische omstandigheden. Hiervoor is Nederland opgedeeld in 6405 ruimtelijke eenheden of plots. Elke plot kan beschouwd worden als een unieke eenheid die volledig homogeen is wat betreft hydrologie, bodemtype en bodemgebruiksvorm.

Van iedere plot worden de water- en nutriëntenbalans en de emissie naar grond- en oppervlaktewater berekend.

Het landgebruik in STONE is gebaseerd op LGN 3+ met opnamen tussen 1995 en 1999 (De Wit *et al.*, 1999). In STONE wordt met de volgende arealen landbouwgrond gerekend. Deze blijven volgens het STONE-concept voor de toekomst ongewijzigd (Tabel 3).

---

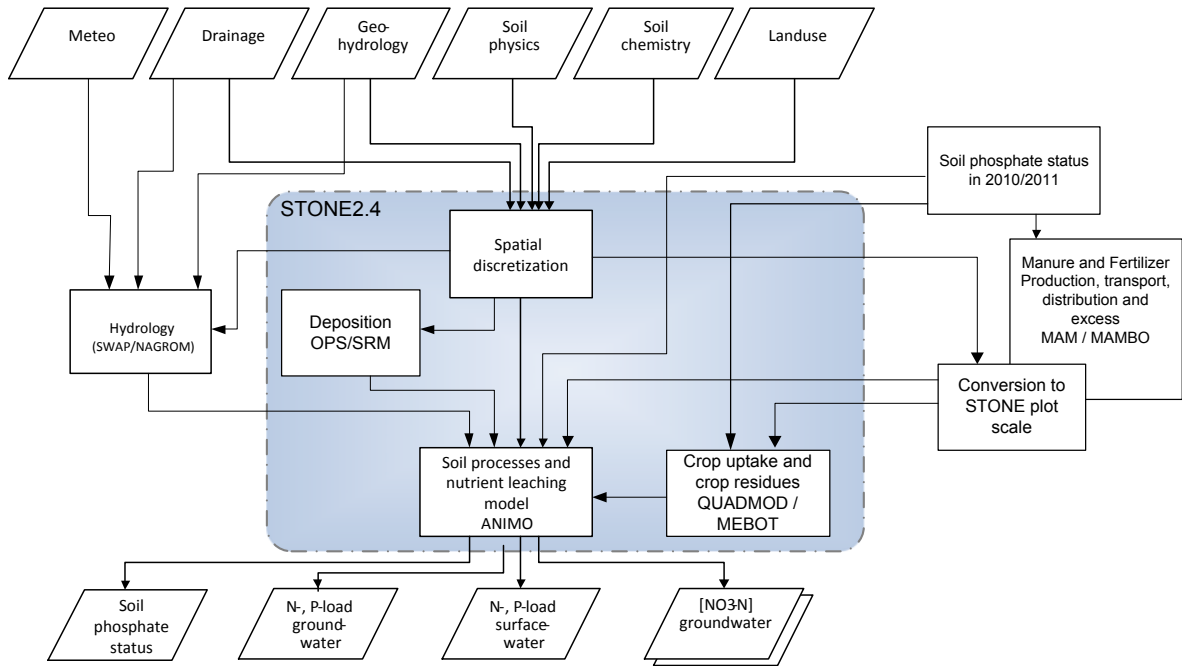
Tabel 3

*Arealen landbouwgrond en natuurgrond die in STONE worden onderscheiden (1000 ha).*

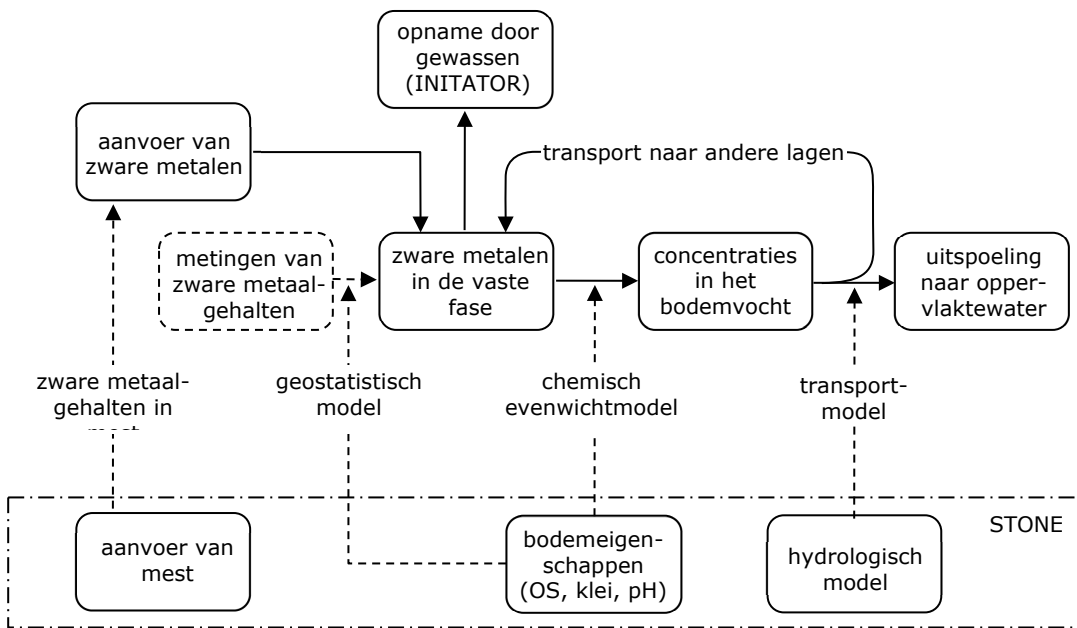
	Zand	Klei	Veen	Löss	Totaal
Akker- en tuinbouw	234	463	35	14	746
Gras	430	318	227	10	984
Snijmais	177	33	9	3	221
Natuur	608	200	38	10	855
Totaal	1448	1014	309	36	2808

Het STONE-instrumentarium bestaat uit een aantal afzonderlijke modelcomponenten. De modellen QUADMOD (de Ruijter *et al.* 2010) en MEBOT zijn gebruikt om de nutriëntenafvoer door gewasopbrengsten te berekenen als functie van de aanvoer en het ANIMO-model berekent de uit- en afspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Voor toepassing van ANIMO binnen STONE is informatie van data en van andere modellen nodig. De structuur van STONE met aanleverende modellen en databestanden is weergegeven in Figuur 1. Voor de uit- en afspoeling van zware metalen is de structuur van modellen en databestanden weergegeven in Figuur 2.

De hydrologische modelberekeningen (neerslag en verdamping) gebeuren met de gekoppelde modellen SWAP (topstelsel) en NAGROM (diepe grondwater) en vinden buiten STONE plaats (Van Bakel *et al.*, 2008). Er is geen terugkoppeling als bijvoorbeeld door een afnemende N-gift de gewasproductie en daarmee de gewasverdamping terugloopt.



**Figuur 1** Schematische weergave van het STONE-instrumentarium (blauwe gebied) met aanleverende modellen en databestanden.



**Figuur 2** Schematische weergave van het instrumentarium met aanleverende modellen en databestanden voor berekening van de uit- en afspoeling van zware metalen.

In Tabel 4 is een overzicht gegeven van alle input voor STONE, of deze input wordt aangepast, de herkomst van deze gegevens en als deze worden aangepast, in welke paragraaf ze staan beschreven.

**Tabel 4**

*Overzichtstabel invoer STONE.*

	<b>Herkomst</b>	<b>Aanpasbaar</b>	<b>Paragraaf</b>
Meteo	KNMI	ja	2.5; 4.2
Drainage	Redesign STONE	nee	-
Geohydrologie	Redesign STONE	nee	-
Bodemfysica	Redesign STONE	nee	-
Bodemchemie	Redesign STONE	nee	-
Landgebruik	Redesign STONE	nee	2.2
Depositie	OPS/SRM	ja	2.4
Gewasopname	QUADMOD/MEBOT	ja	2.7
Mestgegevens	MAMBO	ja	2.4
Gehalten ZM in mest	-	ja	3.2.2
Gewasopname ZM	INITIATOR	nee	-
Initiële ZM gehalten	-	nee	-

De mestgiften zijn berekend met het MAM-modelinstrumentarium van het LEI voor de periode 1986 tot en met 2005 en met MAMBO-model voor de jaren 2006 en daarna. Deze uitkomsten worden na conversie (in verband met de ruimtelijke schematisering), direct als invoer voor STONE gebruikt. Het model MAMBO is de opvolger is van het MAM-model (Vrolijk *et al.*, 2008).

De mestgiften uit MAM/MAMBO worden per gewas-bodemcombinatie aangeleverd in kilogrammen mest, stikstof en fosfaat. De mestgiften (in kilogram) worden per gewas-bodemcombinatie per gemeente geconverteerd naar giften in kilogram per hectare op de STONE-plots. De mestgift wordt zo goed mogelijk doorgegeven, maar door verschil in ruimtelijke schematisering tussen de gemeenten in MAMBO en de plots in STONE, kan er verschil optreden per cluster van plots met een gelijke mineraal- en grondgebruikscombinatie. Voor 90% van de bijna 100 combinaties is de afwijking enkele procenten. Voor een enkele combinatie is de procentuele afwijking groter, dit gaat dan veelal over giften van maar enkele kilo's per ha.

Binnen STONE worden drie groepen landbouwgewassen gehanteerd, namelijk gras, snijmais en akker- en tuinbouw. Grasland en snijmais zijn unieke grondgebruiksvormen, maar de grondgebruiksvorm akker- en tuinbouw is samengesteld uit een reeks gewassen en gewasgroepen. De procentuele verdeling van de gewassen binnen de grondgebruiksvorm akker- en tuinbouw wordt voor het verleden afgeleid uit de Meitellingen en CBS-statistieken. Voor toekomstvoorspellingen wordt verondersteld dat de verdeling constant blijft vanaf het laatste jaar dat het heden karakteriseert. Echter, door de differentiatie van de gebruiksnormen aan de hand van de fosfaattoestand van de bodem, wordt per fosfaatklasse voor een STONE-plot een andere verdeling van akker- en tuinbouwgewassen berekend door MAMBO. Bij de eventuele overgang van een akker- en tuinbouwplot naar een hogere of lagere fosfaatklasse verandert daarmee ook het gemiddelde bouwplan – de verdeling van akker- en tuinbouwgewassen – van de betreffende akker- en tuinbouwplot.

## 2.2 Herschaling naar LGN6

Een van de verbeterpunten die in 2014 is doorgevoerd, is het herschalen van het landgebruik. STONE is in 2001 geschematiseerd met het landgebruik van 1999 volgens LGN3+. Door het gekozen modelconcept blijft het landgebruik in STONE onveranderd in de loop van de tijd. Maar het landgebruik verandert in werkelijkheid voortdurend. Daarom is besloten om de huidige STONE-resultaten voor de EmissieRegistratie te herschalen naar het Landelijk Grondgebruikbestand Nederland versie 6 (LGN6) (Hazeu *et al.*, 2010).

Hiervoor is per geclusterde afwateringseenheid bepaald wat het areaal grondgebruik is voor akkerbouw, gras, mais en natuur. Vervolgens is met behulp van de LGN6-kaart per geclusterde afwateringseenheid bepaald wat het nieuwe areaal grondgebruik is. In de analyse van de aggregatie van de af- en uitspoelingscijfers is vervolgens per geclusterde afwateringseenheid het nieuwe areaaloppervlak toegekend volgens LGN6.

In Tabel 5 is een overzicht gegeven van de arealen landbouw en natuurgrond volgens LGN3+ en na de herschaling naar LGN6.

Tabel 5

*Arealen landbouwgrond en natuurgrond die in STONE worden onderscheiden (1000 ha) volgens LGN3+ en na herschaling met LGN6.*

	LGN3+	LGN6	Vershil
Akker- en tuinbouw	746	671	-75
Gras	984	1077	93
Snijmais	221	255	34
Natuur	855	518	-337
Totaal	2808	2522	-286

Het gevolg van deze herschaling is dat de berekende vrucht in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  op geclusterde afwateringseenheid per grondgebruiksvorm identiek is, maar dat na areaal gewogen middeling de landelijke cijfers gaan veranderen. Het effect van deze verandering ligt in de ordegrootte van 10% (zie paragraaf 5.2 Betrouwbaarheden STONE-model).

## 2.3 Samenvoegen van de bemesting per fosfaatklasse

In het 4e nitraatactieprogramma is vanaf 2010 de fosfaatgebruiksnorm afhankelijk van de fosfaattoestand (Tabel 6). In STONE 2.4 wordt de fosfaatgift dan ook gerelateerd aan de gesimuleerde fosfaattoestand van de bodem. Bovendien is in STONE 2.4 de opname van fosfaat door het gewas afhankelijk van de fosfaattoestand.

Tabel 6

*Fosfaatgebruiksnormen voor de jaren in het 4de Actieprogramma, gedifferentieerd naar de fosfaattoestand van de bodem in kg ha<sup>-1</sup>.*

Grasland					
PAL-waarde	Categorie	2010	2011	2012	2013
<27	Laag	100	100	100	100
27-50	Neutraal	95	95	95	95
>50	Hoog	90	90	85	85
Bouwland					
Pw-waarde	Categorie	2010	2011	2012	2013
<36	Laag	85	85	85	85
36-55	Neutraal	80	75	70	65
>55	Hoog	75	70	65	55

In STONE2.4 (Groenendijk *et al.*, 2013) is een methode ingevoerd voor bodemfosfaat afhankelijke mestgiften, zoals deze in 2010 van kracht is geworden. Op basis van de cijfers van DienstRegelingen was bekend wat de areaalverdeling is van de klassen 'laag', 'gemiddeld', 'hoog' en 'onbekend'. In STONE2.4 kwam de klasse 'onbekend' niet voor en werd de bemesting van deze klasse naar rato van het areaal verdeeld over de drie andere klassen. In de verdere analyse van de verschillen tussen WOG-WOD en MAMBO-STONE (Groenendijk *et al.*, 2014) kwam naar voren dat deze keuze voor het toekennen van bemesting in de fosfaatklasse 'onbekend' leidde tot ongewenste artefacten. Daarom is besloten om in nieuwe studies een andere verdeelsleutel te hanteren en de klasse 'onbekend' niet te verdelen over de drie andere klassen, maar samen te voegen met de klasse 'hoog'.

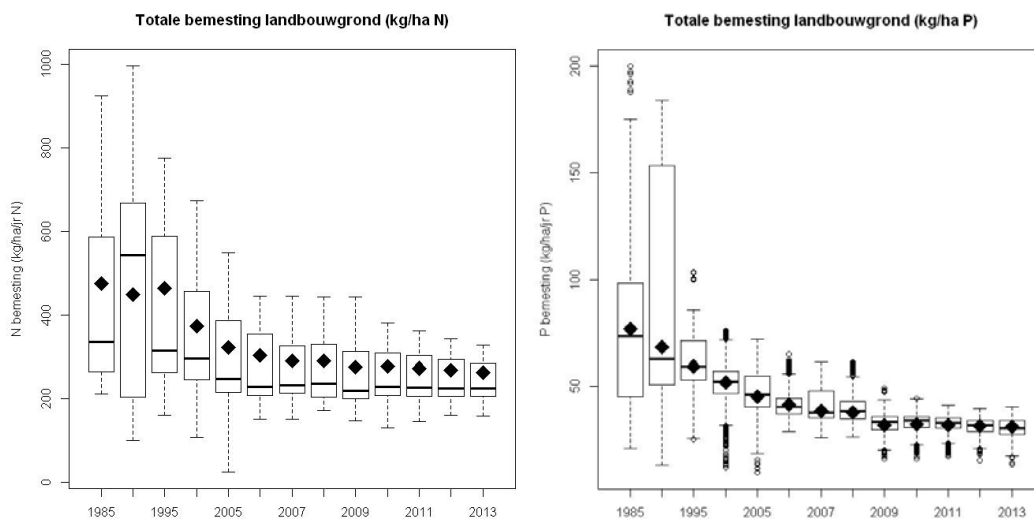
Aangezien voor de EmissieRegistratie het STONE-model alleen wordt gebruikt als diagnose van de milieubelasting, is ook de noodzaak om met verschillende fosfaatklassen te rekenen overbodig. Dit in tegenstelling tot de EMW, waar STONE voornamelijk wordt gebruikt als prognose naar de toekomst. Daarom zijn voor de EmissieRegistratie de mestfiles van de vier fosfaatklassen areaal-gewogen gemiddeld tot één mestfile, zodat de totale door MAMBO berekende bemesting wordt gebruikt voor de STONE-invoer. Door deze wijziging zijn de mestgiften vanaf 2010 opnieuw samengesteld.

## 2.4 Bemesting en depositie

De in STONE gebruikte mestgegevens voor 2013 zijn ten behoeve van de EmissieRegistratie 2014 met het model MAMBO (Vrolijk *et al.*, 2009) berekend door het LEI. De gegevens van gebruik aan mest en meststoffen gebruikt in MAMBO zijn in overeenstemming met de jaarlijkse rapportage over de ontwikkeling van de Mestmarkt (Luesink *et al.*, 2011). Deze gegevens worden door MAMBO vertaald naar mestgiften voor gewas-bodemcombinaties en worden rechtstreeks doorgegeven als invoer voor STONE.

Het LEI heeft de mestgegevens voor de jaren 2011 en 2012 niet doorgerekend. Daarom zijn de mestgegevens voor die jaren lineair geïnterpoleerd tussen 2010 en 2013.

In Figuur 3 is de totale stikstof- en fosfaatbemesting in boxplots weergegeven voor de peiljaren.



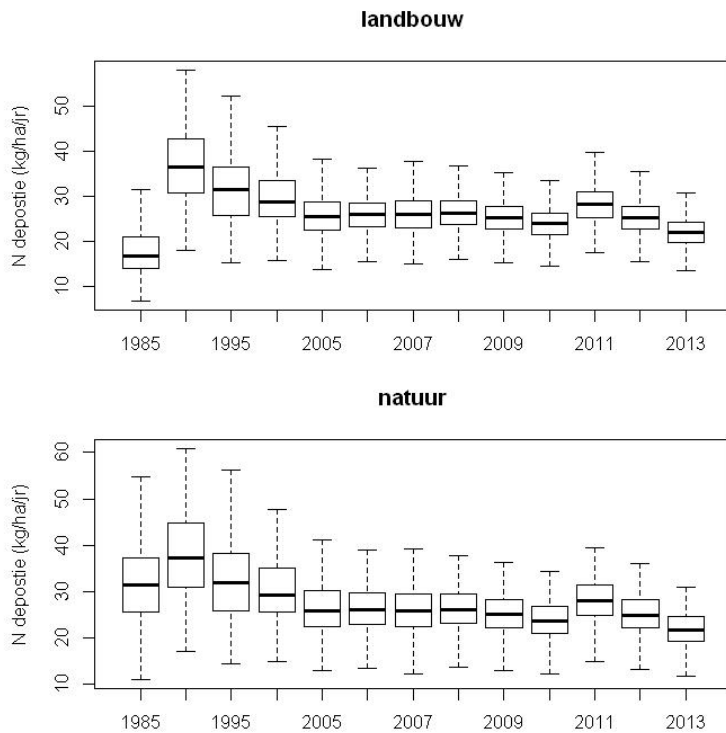
**Figuur 3** Boxplots<sup>1</sup> van de jaarlijkse N- en P-bemesting ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$ ) voor de peiljaren. De diamantjes zijn het areaal-gewogen gemiddelde.

<sup>1</sup> In een boxplot volgend de John Tukeys-methode zijn van boven naar beneden de volgende waarden gegeven:

- De onderste en bovenste lijnen aan het einde van de verticale stippellijnen (de 'whiskers') strekken zich uit van de onder- resp. bovengrens van de box tot maximaal 1,5 keer de breedte van de box (de interkwartielafstand, IKA). De whiskers eindigen in een waargenomen waarde.
- Een box met als bovengrens het 3<sup>e</sup> kwartiel, in het midden de mediaan en als ondergrens het 1<sup>e</sup> kwartiel, waarbij
  - het 1<sup>e</sup> kwartiel de getalswaarde is die de laagste 25% van de getalswaarden onderscheidt van de hogere waarden;
  - de mediaan de getalswaarde die het midden van de set aangeeft;
  - het 3<sup>e</sup> kwartiel de getalswaarde die de hoogste 25% van de getalswaarden onderscheidt van de lagere waarden.
- Data die meer dan  $1,5 \cdot \text{IKA}$  van de einden van de doos verwijderd liggen, worden als uitschieters beschouwd, deze zijn weergegeven als rondjes.



De stikstofdepositie was tot op heden niet in overeenstemming met de stikstofdepositie op het oppervlaktewater zoals dat voor de EmissieRegistratie wordt gerapporteerd. Daarom is voor deze studie eenmalig voor de periode 1986-2008 volgens dezelfde methode als de stikstofdepositie op het oppervlaktewater de stikstofdepositie voor het landelijk gebied bepaald (Artikel Jan Aben, 2013). Voor de jaren 2009-2013 zijn geen nieuwe OPS-berekeningen uitgevoerd, daarom zijn de depositiecijfers van het jaar 2008 gekopieerd naar de volgende jaren waarbij is gecorrigeerd voor de landelijke trend die door het compendium voor de leefomgeving wordt gerapporteerd (Figuur 4).



**Figuur 4** Boxplots van de jaarlijkse stikstofdepositie ( $kg \cdot ha^{-1} \cdot jr^{-1}$ ) voor de peiljaren voor landbouwgronden en natuurgebieden.

De depositie van 1985 komt nog uit de WaterSysteemVerkenningen (Boers *et al.*, 1997). Deze is berekend met het OPS/SRM-model van het RIVM. De stikstofdepositie wordt voor het jaar 1985 toegediend in de vorm van een natte en droge depositie per PAWN-district. Bij het redesign van STONE (Kroon *et al.*, 2001) zijn correctiefactoren voor de natte en droge depositie geïntroduceerd, om deze om te zetten naar depositie per plot.

## 2.5 Neerslagoverschot

Het neerslagoverschot is van grote invloed op de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor.

De variatie in het neerslagoverschot is de belangrijkste factor voor de variatie in de belasting naar het oppervlaktewater.

De hydrologie ten behoeve van STONE wordt gesimuleerd met model SWAP (Kroes *et al.*, 2003).

Voor de berekeningen zijn de volgende meteorologische gegevens gebruikt:

- Neerslag. Dagelijkse neerslaggegevens van de 15 KNMI-districten zijn gebruikt (KNMI, 2001). Deze zijn toegekend aan de plots die binnen de districten liggen (Kroon *et al.*, 2001).
- Verdamping. Als basis zijn de gegevens van 6 stations gebruikt waarvan dagelijkse gegevens op internet beschikbaar zijn. De referentiegewasverdamping volgens Makkink (ETref) is berekend uit de beschikbare zonneshijnduur conform Van Bakel *et al.* (2007). De aldus berekende ETref is toegekend aan de plots binnen 6 geschematiseerde gebieden.
- Temperatuur. Analogoos aan de verdamping zijn de gegevens van 6 stations gebruikt waarvan dagelijkse gegevens op internet beschikbaar zijn. De temperaturen zijn toegekend aan de plots binnen de 6 geschematiseerde gebieden.

In Figuur 5 is de ligging van de neerslagstations en de 15 KNMI-districten weergegeven.



**Figuur 5** Overzichtskarta van de neerslagstations en 15 KNMI-districten.

Voor elke STONE-plot die is toegekend aan een van de 15 KNMI-districten is de hydrologie berekend.

---

In Tabel 7 is een overzicht gegeven van het neerslagoverschot voor de peiljaren 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 en 2010 t/m 2013. Het neerslagoverschot is de hoeveelheid neerslag minus de bodem- en gewasverdamping, zoals deze is berekend door SWAP zonder en met herschalen van het grondgebruik naar LGN6.

---

**Tabel 7**

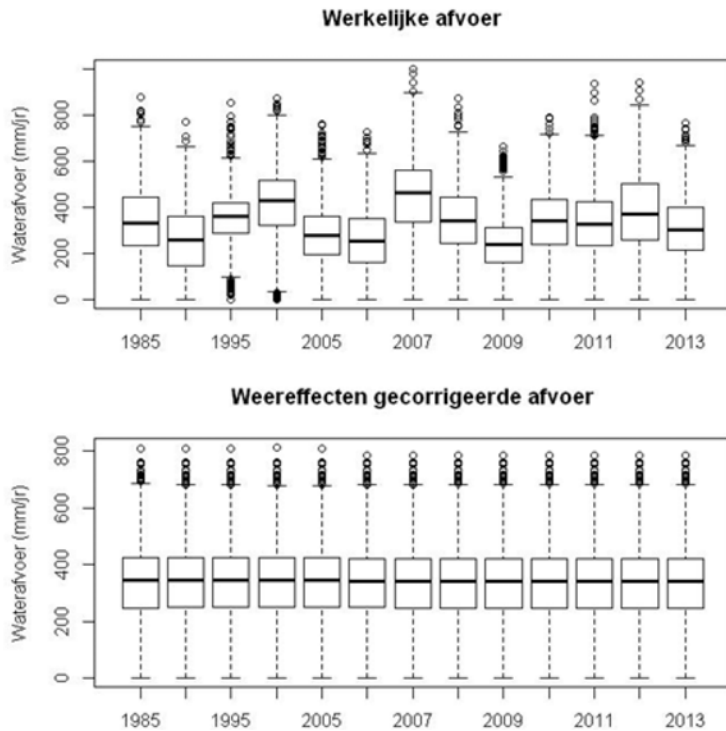
*Het gemiddelde neerslagoverschot (neerslag-, bodem- en gewasverdamping) voor de peiljaren 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 en 2010 t/m 2013 (mm/jaar) met herschalen naar LGN6.*

Jaar	LGN6		
	Landbouwgebieden	Natuurgebieden	Landelijk gebied
1985	363	291	348
1990	295	232	282
1995	284	222	271
2000	449	384	435
2005	287	218	273
2010	355	305	345
2011	363	300	350
2012	411	319	392
2013	316	254	304

## 2.6 Waterafvoer naar oppervlaktewater

De hydrologische simulaties die nodig zijn om de uit- en afspoeling te berekenen, zijn uitgebreid met de gemeten weergegevens voor de jaren 2011, 2012 en 2013 conform de methodiek die voor de EmissieRegistratie in de afgelopen jaren is gehanteerd. De rekensessies zijn uitgebreid (Bijlage 1) en opnieuw doorgerekend. De meteorologische invoerbestanden voor de overige sessies zijn niet gewijzigd ten opzichte van de voorgaande jaren waarin ER-berekeningen zijn uitgevoerd.

De uit- en afspoeling zijn met het hydrologische model Swap versie 3.2.26 uitgerekend. De verdeling van de berekende waterafvoer en de weereffect gecorrigeerde waterafvoer van de geclusterde afwateringseenheden is voor de peiljaren van de ER in Figuur 6 gepresenteerd in boxplots.



**Figuur 6** Waterafvoer (mm/jaar) voor de peiljaren

De berekende mediane waterafvoer met de werkelijke weerjaren laat duidelijk een grillig beeld zien. De mediane waarden voor de peiljaren variëren van 191 mm in het jaar 2009 tot 436 mm in het jaar 2007.

In de weereffecten gecorrigeerde methode laat de mediane waterafvoer een gelijkmatig patroon zien die schommelt tussen de 303 en 306 mm per jaar. Deze kleine variatie in mediane afvoer komt doordat in het najaar van 2006 het telen van een vanggewas verplicht is geworden na snijmaïs op zand, waardoor de gewasverdamming vanaf 2006 met ongeveer ruim 4 mm is toegenomen en de bodemverdamming met ruim 2 mm is afgenomen.

## 2.7 Gewasopname

De gewasgroei en daarmee de stikstof- en fosfaatopname door het gewas wordt in STONE berekend door de gewasmodules van QUADMOD voor gras en mais en door MEBOT voor de akker- en tuinbouwgewassen. De stikstof- en fosfaatopname zijn afhankelijk van de hoeveel droge-stofproductie van de plant.

In deze gewasgroeimodellen zitten bepaalde trendfactoren die afhankelijk van bepaalde omstandigheden, zoals het weer, de gewasgroei kunnen bevorderen of temperen.

Deze trendfactoren zijn bijgewerkt t/m 2013 aan de hand van CBS-cijfers voor de totale gewasopbrengst in droge stof en daarmee de gewasopname van stikstof en fosfor.

Voor de akker- en tuinbouwgewassen zijn gewasopbrengsten van de gewassen aardappelen, bieten en tarwe genomen. Voor gras de gewasopbrengsten van gras beweid en onbeweid en voor mais de gewasopbrengst van snijmais. De gewasopbrengsten zijn geaggregeerd naar de 4 gewasregio's, zeeklei, rivierklei, zuidelijk zand en veen die in de gewasmodules QUADMOD en MEBOT worden gehanteerd.

De trendfactor geeft de maximale gewasopname aan ten opzichte van een referentieperiode. De referentieperiode is het gemiddelde van de jaren 2005-2009.

In Tabel 8 is een overzicht gegeven van de trendfactoren per gewasregio.

Tabel 8

*Trendfactoren voor de maximale gewasopname per gewas en gewasregio.*

Gewas	Gewasregio	2010	2011	2012	2013
tarwe	zeeklei	1.10	0.95	1.03	1.08
	rivklei	1.00	0.84	1.01	1.02
	zuid zand	0.91	0.83	0.92	0.93
	veen	0.99	0.88	0.99	0.97
suikerbiet	zeeklei	1.51	1.55	1.56	1.54
	rivklei	1.24	1.45	1.43	1.52
	zuid zand	1.26	1.41	1.35	1.35
	veen	1.25	1.36	1.34	1.31
aardappel	zeeklei	1.10	1.11	1.12	1.06
	rivklei	1.12	1.27	1.19	1.12
	zuid zand	1.11	1.22	1.11	1.10
	veen	1.26	1.36	1.37	1.21
gras beweid	zeeklei	1.06	1.06	1.01	1.11
	rivklei	1.06	1.06	1.01	1.11
	zuid zand	1.01	1.00	0.95	1.04
	veen	1.20	1.21	1.15	1.26
gras onbeweid	zeeklei	1.06	1.06	1.01	1.11
	rivklei	1.06	1.06	1.01	1.11
	zuid zand	1.01	1.00	0.95	1.04
	veen	1.20	1.21	1.15	1.26
mais	zeeklei	1.53	1.47	1.45	1.48
	rivklei	1.14	1.18	1.18	1.14
	zuid zand	1.21	1.27	1.27	1.23
	veen	1.21	1.18	1.19	1.08

Uit Tabel 8 valt op te maken dat het verloop in de tijd grillig is en er geen trend zit in de gewasopname van de verschillende gewassen. Waar tarwe in het jaar 2011 een relatief lage gewasopbrengst heeft, heeft vooral de groep aardappel juist een hogere gewasopbrengst. De verschillen tussen de jaren voor gras en mais zijn beduidend kleiner dan voor de akker- en tuinbouwgewassen.

---

## 2.8 Toepassingsmogelijkheid van de resultaten

De uit- en afspoeling van nutriënten en zware metalen zijn berekend met het STONE-instrumentarium. Dit is een modelinstrument dat ontwikkeld en getoetst is voor ex-ante-evaluaties op landelijke schaal voor de rijksoverheid. De schematisering van Nederland en de behorende data zijn gericht op deze nationale toepassingen.

STONE schat de emissies van verschillende bodem-water-plant-combinaties op landelijke schaal. De afwateringseenheden in de EmissieRegistratie zijn kleiner dan het minimumareaal waarop STONE nog betrouwbare uitkomsten kan geven. Daarom zijn voor de EmissieRegistratie individuele afwateringseenheden geclusterd tot grotere eenheden (Peereboom, 2005) en daarna verdeeld over de afwateringseenheden met een gelijke waarde gebaseerd op de grotere eenheden. De betrouwbaarheid voor deze grotere eenheden is niet bekend, waardoor de visualisatie een schijnnaauwkeurigheid kan geven.

Ook wordt rekening gehouden met het feit dat STONE geen uit- en afspoeling berekent voor stedelijk gebied en transport/omzetting in het oppervlaktewater. De uitkomsten van STONE zijn dus niet vlakdekkend. Dit houdt in dat voor een afwateringseenheid die geheel uit oppervlaktewater of stedelijk gebied bestaat, geen uit- en afspoeling uit het landelijk gebied wordt berekend.

Bij de clustering van de ER-afwateringseenheden zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

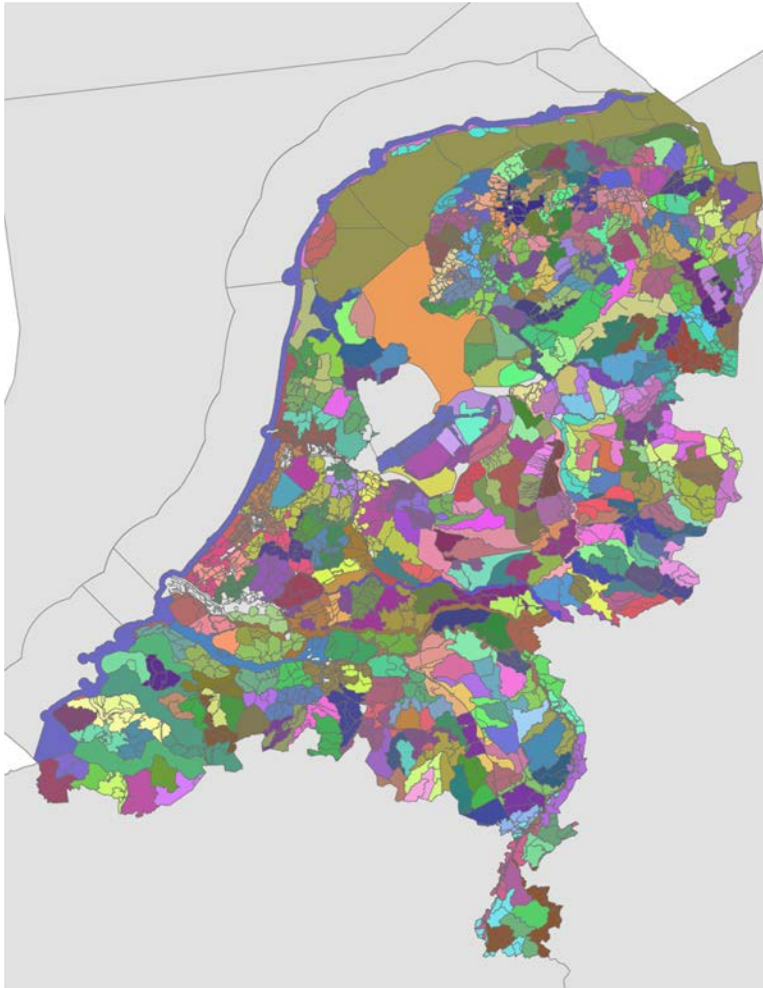
1. Uitsluiting. Voor afwateringseenheden die volledig uit water (boezem) en/of stedelijk gebied bestaan, moet geen uit- en afspoeling berekend worden.
2. Grootte. Alle afwateringseenheden kleiner dan 50 km<sup>2</sup> worden geclusterd tot een minimale grootte van 50 km<sup>2</sup>.
3. Hydrologische relaties. De geclusterde afwateringseenheden moeten samen een nieuwe hydrologische eenheid vormen.
4. Ruimtelijke diversiteit. De te clusteren afwateringseenheden worden zo veel mogelijk onderling geclusterd, zodat de ruimtelijke diversiteit zo groot mogelijk blijft.

Aan elke afwateringseenheid binnen zo'n cluster wordt dezelfde gemiddelde uit- en afspoeling in kg.ha<sup>-1</sup> toegekend.

De ER bevat de uit- en afspoeling op het gedetailleerdere schaalniveau van 352 geclusterde afwateringseenheden. In Figuur 7 is een kaartje weergegeven van de geclusterde afwateringseenheden. Binnen de geclusterde afwateringseenheden zijn de contouren van de afzonderlijke afwateringseenheden te zien.

De betrouwbaarheid van de uitkomsten op het niveau van de afwateringseenheden is nog niet vastgesteld. De kans bestaat dat de uitkomsten van STONE in bepaalde gebieden (sterk) kunnen afwijken van de werkelijkheid. Een analyse van de studie ex ante KRW en Landbouw (Van der Bolt *et al.*, 2008), waarbij omgerekende STONE-resultaten zijn vergeleken met oppervlaktewaterconcentraties, laat voor kleinere ruimtelijke eenheden een beduidend grotere onzekerheid zien (zie hoofdstuk 5.1).

Bijlage 3 bevat, omdat STONE ontwikkeld en getoetst is voor gebruik op landelijke schaal, een disclaimer voor gebruik van de ER-data op regionale schaal. Het overzicht van de aan de EmissieRegistratie geleverde data staat in Bijlage 4.



**Figuur 7**    *Overzicht van de geclusterde afwateringseenheden met de contouren van de afzonderlijke afwateringseenheden.*

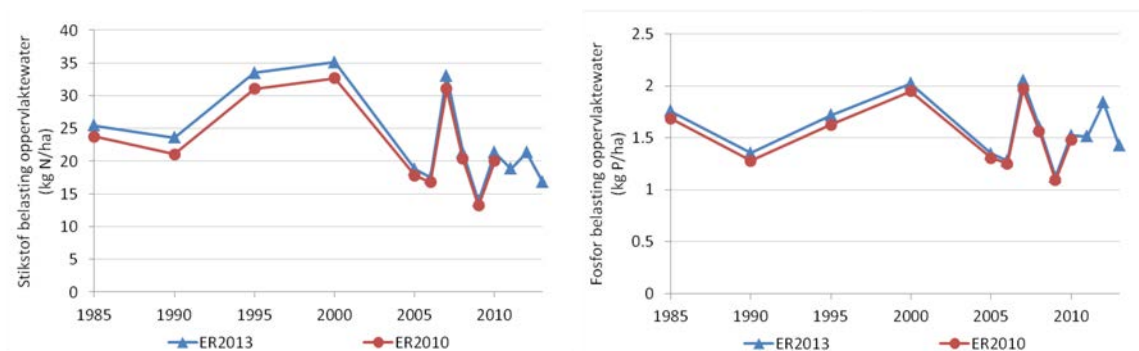
# 3 Emissies berekend bij gemeten weer

## 3.1 Emissies nutriënten

### 3.1.1 Veranderingen ten opzichte van de ER2010

De berekende uit- en afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater verschillen ten opzichte van de rekenresultaten uit 2011. Deze zijn voornamelijk het gevolg van de herschaling van het grondgebruik van LGN3+ naar LGN6.

Deze wijzigingen resulteren op landelijk niveau in een stijging van de stikstofbelasting van het oppervlaktewater (Figuur 8).



**Figuur 8** De landelijke belasting van het oppervlaktewater van N- en P-totaal in  $kg \cdot ha^{-1}$  voor de peiljaren volgens de ER2013 en ER2010.

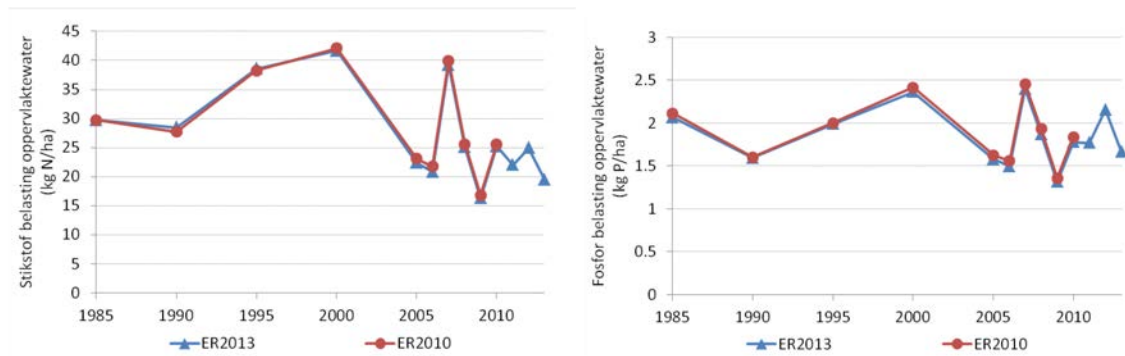
De landelijk gemiddelde stijging bedraagt voor stikstof zo'n  $1.6 kg \cdot ha^{-1}$  voor de peiljaren 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 t/m 2010 en dat komt neer op een stijging van bijna 6.7%. Deze stijging is het gevolg van de herschaling van het grondgebruik van LGN3+ naar LGN6.

De stijging van de landelijke fosforbelasting van  $0.06 kg \cdot ha^{-1}$  voor dezelfde peiljaren betekent een stijging van 3.7% die ook voornamelijk wordt veroorzaakt door de herschaling van het grondgebruik.

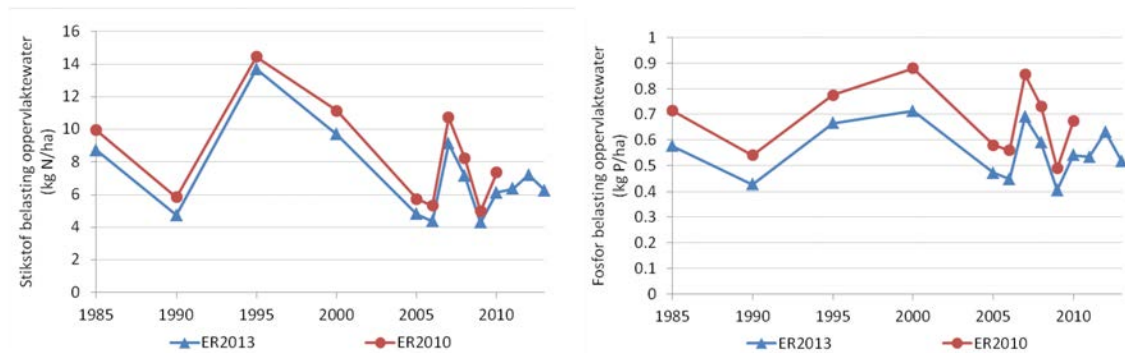
Naast de herschaling van het grondgebruik is ook het samenvoegen van de mestfiles voor de verschillende fosfaatklassen aangepast. Het effect van deze aanpassing is voor stikstof zeer gering. Het effect op de landelijke gemiddelde stikstof af- en uitspoeling in  $kg \cdot ha^{-1}$  is voor de peiljaren 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 t/m 2010 een stijging van 0.2%. Het effect voor fosfor is relatief gezien wat groter, 1.3% van de totale stijging van de landelijke fosforbelasting in  $kg \cdot ha^{-1}$  van 3.7% is het gevolg van de aanpassing van het samenvoegen van de mestfiles.



In Figuur 9 en 10 zijn de stikstof- en fosforbelasting weergegeven met de huidige berekeningen en die uit 2010 voor respectievelijk de cultuur- en natuurgronden in Nederland.



**Figuur 9** De belasting van het oppervlaktewater van N- en P-totaal voor cultuurgronden in  $kg \cdot ha^{-1}$  voor de peiljaren volgens de ER2013 en ER2010.



**Figuur 10** De belasting van het oppervlaktewater van N- en P-totaal voor natuurgronden in  $kg \cdot ha^{-1}$  voor de peiljaren volgens de ER2013 en ER2010.

De stikstof- en fosforbelasting voor de cultuurgronden verschillen niet of nauwelijks met die uit 2010, terwijl de daling van de natuurgronden duidelijk zichtbaar is. Deze daling voor natuurgronden komt doordat een aantal uitspoelingsgevoelige natuurplots zijn verdwenen door de herschaling. In het LGN6 zijn deze uitspoelingsgevoelige gronden niet meer gekarakteriseerd als natuurplots. Dat dan door de herschaling naar LGN6 toch een stijging van de totale landelijke belasting in  $kg \cdot ha^{-1}$  is te zien, komt doordat het areaal natuurgronden volgens LGN6 met bijna 40% is afgenomen. Natuurgronden hebben een relatief lage belasting. Dit zorgt voor een kleiner areaal met lage belasting, waardoor de landelijk gemiddelde belasting toeneemt.

In Tabel 9 is een overzicht gegeven van de landelijke stikstof- en fosforvracht naar het oppervlaktewater, berekend met de huidige en vorige versie.

**Tabel 9**

*Landelijke N-vracht en P-vracht (Mkg=10<sup>6</sup> kg) bij de vorige (ER2010) en de nieuwe (ER2013) berekeningen; berekend met gemeten weergegevens voor de peiljaren.*

IJKjaar	NtotAfvoer_Mkg			PtotAfvoer_Mkg		
	ER2010	ER2013	Vershil	ER2010	ER2013	Vershil
1985	66.6	64.1	-3.7%	4.74	4.43	-6.53%
1990	59.1	59.4	0.5%	3.58	3.41	-4.96%
1995	87.1	84.3	-3.2%	4.56	4.33	-5.19%
2000	91.6	88.5	-3.5%	5.47	5.09	-6.84%
2005	50.0	47.3	-5.4%	3.67	3.39	-7.55%
2006	47.1	44.0	-6.5%	3.51	3.22	-8.36%
2007	87.2	83.3	-4.5%	5.53	5.16	-6.59%
2008	57.0	53.8	-5.5%	4.39	4.05	-7.86%
2009	37.1	34.9	-5.9%	3.06	2.83	-7.68%
2010	56.2	53.7	-4.5%	4.16	3.83	-7.73%
2011		47.4			3.81	
2012		53.6			4.64	
2013		42.3			3.59	

Wat opvalt, is dat de belasting per ha toeneemt en dat de totale vracht afneemt.

Dit is het gevolg van de herschaling van het grondgebruik. Zoals vermeld in Tabel 3 en Tabel 5 is het totale oppervlak van landbouw- en natuurgebieden afgenomen van 2808 kha naar 2522 kha, waardoor de totale vracht vanuit landbouw- en natuurgebieden afneemt.

### 3.1.2 Landelijke uit- en afspoeling nutriënten

Ondanks dat de stikstofbemesting van 2010 t/m 2013 elk jaar met ruim 5kg.ha<sup>-1</sup> afneemt, is te zien in Tabel 10 en 11 dat de belasting in 2012 weer iets toeneemt ten opzichte van het jaar daarvoor. Dit is te verklaren doordat het neerslagoverschot in 2012 50 mm groter is dan in 2011, waardoor er meer water met een hoge concentratie uitspoelt. Ditzelfde geldt ook voor de fosforbelasting.

Tabel 10

*Uit- en afspoeling van N en P (kg.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> N of P) voor de berekening met gemeten weergegevens voor de peiljaren 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 t/m 2013; landelijke cijfers (landbouw en natuur).*

Peiljaar	Ntot_ Afspoeling (kg.ha <sup>-1</sup> .jr <sup>-1</sup> N)	Ntot_ Uitspoeling (kg.ha <sup>-1</sup> .jr <sup>-1</sup> N)	Ntot_ af+uitspoeling (kg.ha <sup>-1</sup> .jr <sup>-1</sup> N)	Ptot_ Afspoeling (kg.ha <sup>-1</sup> .jr <sup>-1</sup> P)	Ptot_ Uitspoeling (kg.ha <sup>-1</sup> .jr <sup>-1</sup> P)	Ptot_ af+uitspoeling (kg.ha <sup>-1</sup> .jr <sup>-1</sup> P)
1985	0.75	24.69	25.44	0.11	1.64	1.76
1990	0.12	23.46	23.57	0.01	1.34	1.35
1995	0.21	33.23	33.44	0.02	1.70	1.72
2000	0.11	35.00	35.11	0.01	2.01	2.02
2005	0.15	18.63	18.78	0.02	1.33	1.35
2006	0.24	17.23	17.48	0.02	1.26	1.28
2007	0.18	32.86	33.04	0.02	2.03	2.05
2008	0.08	21.29	21.37	0.01	1.60	1.61
2009	0.16	13.70	13.85	0.02	1.11	1.12
2010	0.20	21.12	21.32	0.02	1.50	1.52
2011	0.12	18.69	18.81	0.02	1.50	1.51
2012	0.25	21.04	21.29	0.02	1.82	1.84
2013	0.37	16.41	16.77	0.02	1.41	1.43

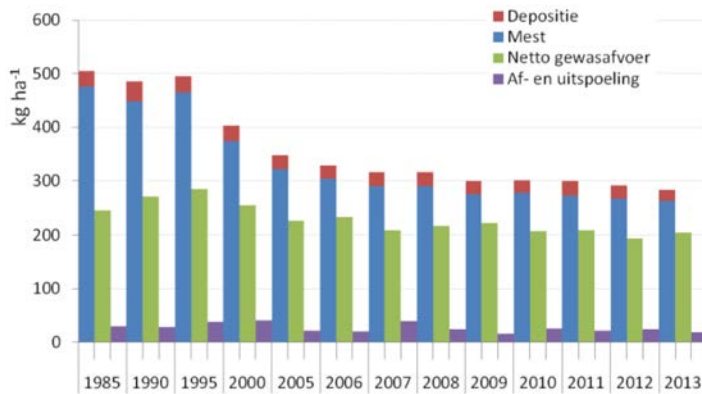
Tabel 11

*Uit- en afspoeling van N en P (10<sup>6</sup> kg.jr<sup>-1</sup> N of 10<sup>6</sup> kg.jr<sup>-1</sup> P) voor de berekening met het gemeten weergegevens voor de peiljaren 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 t/m 2013; landelijke cijfers (landbouw en natuur).*

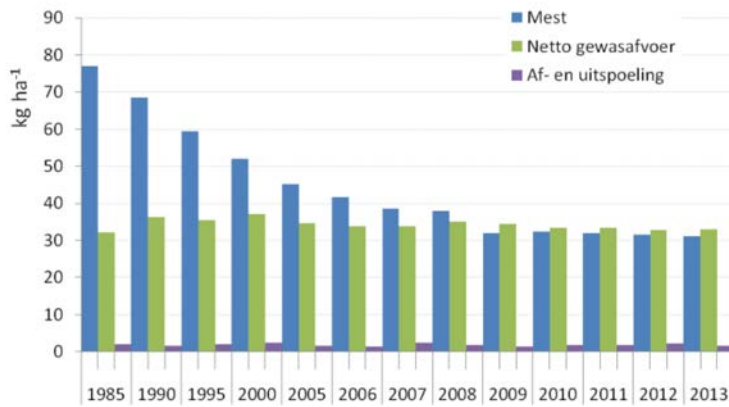
Peiljaar	Ntot Afspoeling (10 <sup>6</sup> kg.jr <sup>-1</sup> N)	Ntot Uitspoeling (10 <sup>6</sup> kg.jr <sup>-1</sup> N)	Ntot Af+Uitspoeling (10 <sup>6</sup> kg.jr <sup>-1</sup> N)	Ptot Afspoeling (10 <sup>6</sup> kg.jr <sup>-1</sup> P)	Ptot Uitspoeling (10 <sup>6</sup> kg.jr <sup>-1</sup> P)	Ptot Af+Uitspoeling (10 <sup>6</sup> kg.jr <sup>-1</sup> P)
1985	1.88	62.20	64.09	0.28	4.14	4.43
1990	0.30	59.10	59.40	0.02	3.38	3.41
1995	0.54	83.72	84.26	0.04	4.29	4.33
2000	0.27	88.19	88.47	0.02	5.07	5.09
2005	0.37	46.94	47.31	0.04	3.35	3.39
2006	0.62	43.42	44.04	0.04	3.18	3.22
2007	0.46	82.79	83.26	0.05	5.12	5.16
2008	0.21	53.63	53.84	0.02	4.03	4.05
2009	0.39	34.51	34.91	0.04	2.79	2.83
2010	0.51	53.21	53.73	0.06	3.78	3.83
2011	0.31	47.09	47.40	0.04	3.77	3.81
2012	0.62	53.01	53.63	0.05	4.59	4.64
2013	0.92	41.34	42.26	0.04	3.55	3.59

In Bijlage 2 is een overzicht gegeven van de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor voor de landgebruiksvormen akkerbouw, grasland, snijmaïs en natuur.

In Figuur 11 en 12 is een overzicht gegeven van de stikstof- en fosforbronnen zoals bemesting en depositie, de netto gewasafvoer en belasting naar het oppervlaktewater. Voor fosfaat wordt de depositie op nul gesteld.



**Figuur 11** Stikstof- en fosforbronnen als bemesting en depositie (alleen voor stikstof), netto gewasafvoer en belasting van het oppervlaktewater in  $kg \cdot ha^{-1}$ .



**Figuur 11** Stikstof- en fosforbronnen als bemesting en depositie (alleen voor stikstof), netto gewasafvoer en belasting van het oppervlaktewater in  $kg \cdot ha^{-1}$ .

**Tabel 12**

De bemesting, depositie, netto gewasafvoer en af- en uitspoeling van stikstof en fosfor voor de peiljaren.

Peiljaar	Stikstof				Fosfor		
	Bemesting ( $kg \cdot ha^{-1}$ )	Depositie ( $kg \cdot ha^{-1}$ )	Netto gewasafvoer ( $kg \cdot ha^{-1}$ )	Af- en uitspoeling ( $kg \cdot ha^{-1}$ )	Bemesting ( $kg \cdot ha^{-1}$ )	Netto gewasafvoer ( $kg \cdot ha^{-1}$ )	Af- en uitspoeling ( $kg \cdot ha^{-1}$ )
1985	476	30	247	30	77	32	2.1
1990	449	36	271	28	69	36	1.6
1995	465	31	285	39	59	35	2.0
2000	374	29	256	42	52	37	2.4
2005	322	25	228	22	45	35	1.6
2006	304	26	233	21	42	34	1.5
2007	290	26	209	39	39	34	2.4
2008	290	26	217	25	38	35	1.9
2009	275	25	223	16	32	34	1.3
2010	278	24	207	25	32	33	1.8
2011	272	28	209	22	32	33	1.8
2012	267	25	194	25	32	33	2.2
2013	262	22	205	19	31	33	1.7

## 3.2 Emissies zware metalen

### 3.2.1 Landelijke uitspoeling van zware metalen

Onderstaande tabel geeft de uit- en afspoeling van zware metalen vanuit de bodem naar het oppervlaktewater voor de peiljaren 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2011, 2012 en 2013. De tabel toont zowel de totale uit- en afspoeling als de uit- en afspoeling voor natuur en landbouwgronden afzonderlijk.

Tabel 13

*Landelijke uitspoeling van zware metalen (ton/jr), totale uit- en afspoeling en uit- en afspoeling vanuit landbouw en natuur.*

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
<i>totaal</i>								
Cd	0.60	0.95	1.03	0.71	0.83	0.82	0.90	0.78
Cu	12.3	17.8	19.9	13.2	16.6	17.0	19.4	15.9
Ni	29.9	43.4	50.3	34.3	40.7	40.1	44.4	38.3
Pb	1.79	2.54	2.87	1.90	2.29	2.32	2.65	2.18
Zn	124	201	219	146	176	176	200	167
<i>landbouw</i>								
Cd	0.55	0.82	0.92	0.63	0.75	0.73	0.80	0.69
Cu	11.3	15.5	18.2	12.1	15.4	15.7	17.8	14.6
Ni	27.6	38.8	45.6	31.2	37.2	36.6	40.4	34.8
Pb	1.58	2.11	2.51	1.68	2.04	2.04	2.32	1.91
Zn	111	170	193	130	158	157	177	148
<i>natuur</i>								
Cd	0.06	0.12	0.11	0.07	0.09	0.08	0.10	0.08
Cu	0.98	2.30	1.70	1.08	1.23	1.27	1.54	1.27
Ni	2.30	4.63	4.69	3.02	3.50	3.48	4.03	3.46
Pb	0.21	0.43	0.36	0.22	0.26	0.27	0.33	0.27
Zn	13.0	30.6	25.5	16.3	18.6	19.1	22.7	18.8

Bovenstaande tabel laat zien dat er grote verschillen kunnen zijn in de uit- en afspoeling tussen de verschillende jaren. Deze verschillen worden voornamelijk veroorzaakt door klimatologische verschillen tussen de verschillende jaren. Veranderingen in de genormaliseerde uitspoeling zijn gering voor zware metalen (zie paragraaf 4.4).

Doordat er geen aanpassingen zijn in de methode, zijn er voor zware metalen geen verschillen voor de jaren 2010 en eerder tussen uitspoeling zoals is berekend in 2011 en zoals weergegeven in dit rapport.

### 3.2.2 Bodembelasting met ZM

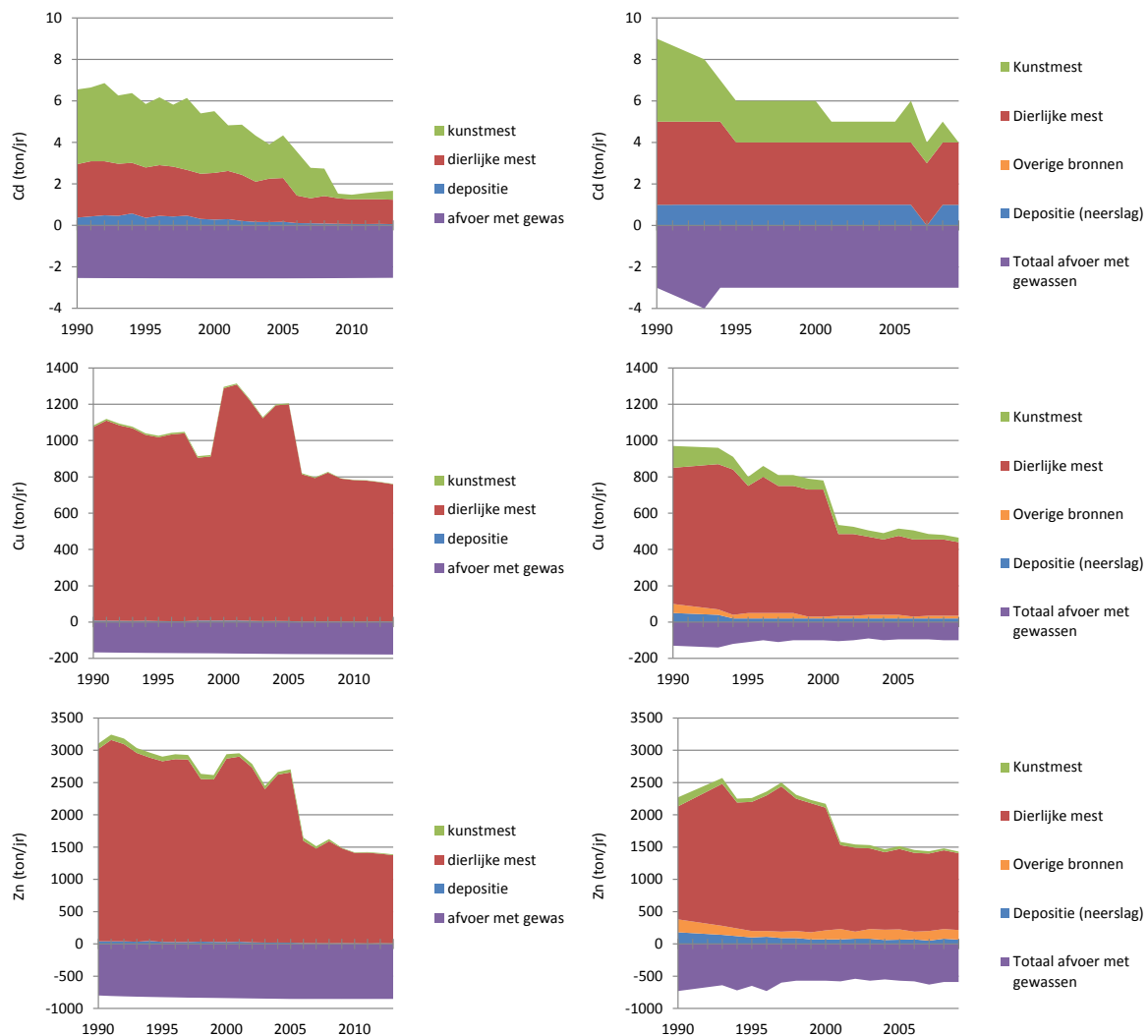
In eerdere versies van de EmissieRegistratie werden voor de belasting van de bodem met zware metalen de berekeningen van het CBS gebruikt. Echter, het CBS is per 2010 gestopt met de berekening van de bodembelasting met zware metalen. Daarnaast werden voor de berekening van de uit- en afspoeling van zware metalen gegevens voor bodembelasting gebruikt die met een andere methode zijn berekend dan de methode van het CBS.

Voor de huidige versie van de EmissieRegistratie wordt nu dezelfde methode gebruikt voor de bodembelasting zelf als voor de bodembelasting ten behoeve van de uitspoelingsberekeningen. Op deze wijze zijn de gegevens voor de bodembelasting en uitspoeling consistent. Deze methode is dezelfde methode die ook in eerdere versies is gebruikt voor de berekening van de uit- en afspoeling.

In deze paragraaf wordt ingegaan op de verschillen tussen de huidige methode van berekening van de bodembelasting en de methode van het CBS.

Het belangrijkste verschil tussen beide methoden is dat bij de CBS-methodiek de gehalten zware metalen werden geschat op basis van forfaitaire gehalten van ZM in veevoer. In de bodembelasting zoals deze gebruikt is voor de uitspoelingsberekeningen, zijn de gehalten ZM in mest gebaseerd op metingen in mest. Een beschrijving van de methodiek is opgenomen in Bijlage 6. Een ander verschil is dat in de CBS- statistiek nog een post overige bronnen is opgenomen. Voor de uitspoelingsberekeningen zijn deze bronnen (o.a. organische bodemverbeteraars en bestrijdingsmiddelen) verwaarloosd, omdat de bijdrage van deze bronnen op landelijke schaal klein en geografisch zeer heterogeen is (Delahaye *et al.*, 2003).

In onderstaande figuur zijn de bodembelasting van cadmium, koper en zink op landbouwgronden conform CBS en conform uitspoelingsberekeningen weergegeven. In de CBS-statistieken is de belasting op natuurgebieden niet berekend. Daarom is in deze figuur ook alleen de belasting op landbouwgrond weergegeven. In Tabel 14 is de totale belasting op zowel landbouw- als natuurgebieden opgenomen. De verschillen zijn klein doordat voor natuurgebieden depositie de enige bron van zware metalen is.



**Figuur 13** Belasting van landbouwgronden met Cd, Cu en Zn (ton/jr). Links zoals gebruikt voor de uitspoelingsberekeningen voor de periode 1990-2013. Rechts volgens CBS-statistieken voor de periode 1990-2009 (CBS, 2009).

Figuur 13 laat zien dat er met name voor koper relatief grote verschillen zijn tussen belasting uit dierlijke mest uit de CBS-statistieken en zoals gebruikt voor de uitspoelingsberekeningen. De belangrijkste oorzaak hiervoor is dat in de CBS-statistiek een verlaging van het Cu-gehalte in veevoer is doorgevoerd. Het Cu-gehalte in mest is echter niet afgenomen (Römkens & Rietra, 2009). Ervaringen uit de praktijk laten ook zien dat het kopergebruik in de veehouderij niet is afgenomen (mond. mededeling Animal Science Group).

Andere verschillen zijn de hogere depositie in de CBS-cijfers. Echter, het is niet bekend wat de achterliggende bronnen van de depositiecijfers in de CBS-statistieken zijn. Ten slotte verschillen de afvoer van metalen met gewassen, waarbij vooral de CBS een grotere variatie tussen de jaren laat zien. Voor beide methoden is de afvoer via gewassen gebaseerd op gewasopbrengsten en metaalgehalten in gewassen. Voor zowel de gehalten als de opbrengsten verschillen echter de broncijfers, wat de oorzaak is van de verschillen tussen de afvoercijfers.

In onderstaande tabel is de bodembelasting met zware metalen voor de peiljaren weergegeven. Tevens is de afvoer van zware metalen met gewassen en de netto-belasting weergegeven.

**Tabel 14**

*Landelijke bodembelasting van zware metalen (ton/jr). Totale belasting op landbouw- en natuurgebieden, afvoer met gewassen en netto-belasting.*

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
<i>depositie</i>								
Cd	0.45	0.43	0.33	0.21	0.08	0.07	0.08	0.07
Cu	10.0	6.7	9.8	6.6	3.2	2.8	4.3	3.5
Ni	1.7	1.6	1.3	1.2	0.6	0.6	0.7	0.4
Pb	14.2	12.1	11.2	6.6	1.9	1.8	2.2	1.6
Zn	48.4	36.9	33.4	24.0	11.2	7.4	11.9	9.4
<i>dierlijke mest</i>								
Cd	2.57	2.43	2.25	2.11	1.19	1.20	1.19	1.18
Cu	1066	1013	1280	1194	779	776	766	756
Ni	157.3	148.3	41.8	39.1	23.3	23.4	23.1	22.9
Pb	152.5	143.4	52.5	49.2	22.6	23.0	22.9	22.7
Zn	2979	2799	2842	2637	1400	1407	1387	1367
<i>kunstmest</i>								
Cd	3.60	3.06	2.97	2.05	0.22	0.29	0.36	0.43
Cu	9.0	8.2	7.5	5.5	2.0	2.1	2.2	2.2
Ni	8.5	7.1	7.0	4.8	0.4	0.5	0.7	0.9
Pb	32.2	33.5	27.4	22.0	17.3	17.0	16.7	16.3
Zn	83	72	69	48	8	10	11	13
<i>afvoer met gewassen</i>								
Cd	2.87	2.88	2.89	2.88	2.87	2.87	2.86	2.86
Cu	178	181	184	187	189	189	190	190
Ni	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4
Pb	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7
Zn	810	836	850	864	864	864	863	863
<i>netto-belasting</i>								
Cd	3.76	3.04	2.67	1.48	-1.38	-1.30	-1.23	-1.18
Cu	907	846	1113	1019	595	592	583	572
Ni	152.1	141.6	34.7	29.7	8.8	9.1	9.1	8.8
Pb	157.3	147.3	49.5	36.1	0.0	0.1	0.0	-1.1
Zn	2301	2071	2094	1845	556	560	546	525

# 4 Weereffect gecorrigeerde emissies

## 4.1 Methode van de weereffect gecorrigeerde berekening

Het doel van deze weereffect gecorrigeerde berekening is het maken van een onderscheid in de effecten van bodemoverschotten (bemesting + depositie - gewasopname) en effecten van de variatie in het weer. De hydrologie bepaalt in grote mate de hoeveelheid uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater. In de jaren met een groot neerslagoverschot is de belasting van het oppervlaktewater ook groot en wanneer het neerslagoverschot klein is, zijn ook de vrachten naar het oppervlaktewater klein. Door deze variatie is het moeilijk om trends als gevolg van het mestbeleid vast te stellen. Om de variatie als gevolg van de variabiliteit van het weer uit te filteren, wordt de 'klimaatreeks-methode' toegepast. Het principe van deze nieuwe methode (Renaud *et al.*, 2012) is een aanpassing van de methode die Hoffmann & Johnsson (2000) gebruikten in hun schatting van de stikstofemissie met uitspoeling vanuit landbouwgronden naar de Oostzee.

Het KNMI berekent om de 10 jaar langjarige gemiddelden ('normalen') voor een groot aantal KNMI-stations. Voor de karakterisering van het huidige klimaat wordt het langjarig gemiddelde van 1981-2010 gebruikt. Aangezien een groot aantal biologische en chemische processen die de uitspoeling van stoffen beïnvloeden niet-lineair is, wordt eerst een berekening uitgevoerd met verschillende weerjaren en wordt achteraf de uitspoeling berekend voor een bepaald jaar als de 'uitspoeling bij langjarig gemiddeld weer' door de resultaten te middelen. De methode is schematisch weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15

*Schematische weergave van de rekenwijze met 30 weerreeksen voor de berekening van uitspoeling bij langjarig gemiddeld weer.*

Bemesting, depositie, gewasopname	1981	1982	1983	.	.	2008	2009	2010
Weerreeks (neerslag, verdamping, temperatuur)								
1	1981	1982	1983	.	.	2008	2009	2010
2	2010	1981	1982	.	.	2007	2008	2009
3	2009	2010	1981	.	.	2006	2007	2008
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
28	1984	1985	1986	.	.	1981	1982	1983
29	1983	1984	1985	.	.	2010	1981	1982
30	1982	1983	1984	.	.	2009	2010	1981
Verzameling van 30 waarden voor de uitspoeling in jaar	1981	1982	1983	.	.	2008	2009	2010

Voor een bepaald jaar zijn als resultaat van de simulaties 30 waarden beschikbaar. Van deze 30 waarden wordt niet alleen het gemiddelde berekend, maar ook de mediaan, percentielwaarden en het minimum en maximum. Deze range geeft de spreiding weer van de mogelijke belasting naar het grond- en oppervlaktewater op basis van de gebruikte klimaatreeks.

De methode gaat uit van het principe 'eerst rekenen, dan middelen' en biedt inzicht in de mogelijke variatie van de uitspoeling als gevolg van weersvariatie. De trendlijn die geconstrueerd kan worden met de resultaten van de rekenkundig gemiddelden per bemestingsjaar, is te beschouwen als het resultaat van de trend in bemesting + depositie - gewasopname.



## 4.2 Wijzigingen ten opzichte van ER2010

In de ER2010 is voor de weereffect gecorrigeerde emissie de klimaatreeks 1971-2000 gebruikt. Sinds de vorige ER is de klimaatreeks aangepast en met tien jaar opgeschoven, zodat de nieuwe klimaatreeks nu de jaren 1981-2010 bevat.

De nieuw klimaatreeks laat een duidelijke toename zien van de hoeveelheid neerslag en van de verdamping. Het is in die periode natter geworden en warmer. In Tabel 16 is het effect van de verschillende klimaatreeksen weergegeven voor de waterbalanstermen.

**Tabel 16**

*Waterbalanstermen van de klimaatreeksen 1971-2000 en 1981-2010 in mm.*

	1981-2010	1971-2000	Vershil
Neerslag	845.38	795.62	49.76
Irrigatie	4.67	5.12	-0.45
Infiltratie	17.51	18.6	-1.09
Kwel	93.74	93.75	-0.01
Gewasverdamping	-290.41	-279.6	-10.81
Interceptieverdamping	-75.38	-73.19	-2.19
Bodemverdamping	-145.21	-138.96	-6.25
Run-off	-11.28	-9.36	-1.92
Drainage	-335.11	-310.49	-24.62
Wegzijing	-101.75	-101.58	-0.17
Bergingsverandering	-1.75	0.06	-1.81

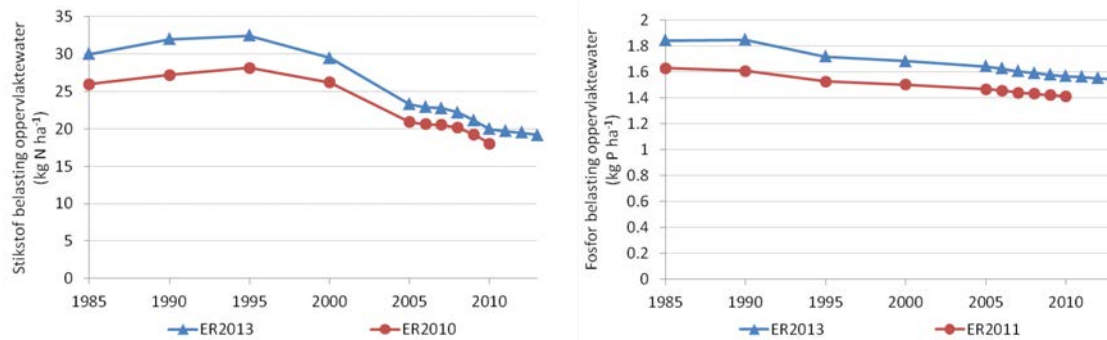
In Tabel 16 is duidelijk te zien dat er in de periode 1981-2010 bijna 50 mm per jaar meer neerslag is gevallen dan in de periode 1971-2000. Daarnaast is de totale verdamping toegenomen met bijna 20 mm. Dit heeft tot gevolg dat de uit- en afspoeling met ruim 24 mm is toegenomen. Verder zijn ook de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) een stuk hoger komen te liggen. Het is in de laatste periode dus een stuk natter geworden. In Tabel 17 zijn de GHG en GLG weergegeven voor het totale landelijke gebied, landbouwgebieden en natuurgebieden.

**Tabel 17**

*Gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand voor het totale landelijke gebied, landbouwgebied en natuurgebied in cm beneden maaiveld.*

	Klimaatreeks 1981-2010		Klimaatreeks 1971-2000	
	GHG	GLG	GHG	GLG
Totaal landelijk gebied	-69.0	-153.5	-81.2	-163.6
Landbouwgebieden	-61.1	-143.8	-68.6	-150.4
Natuurgebieden	-87.2	-175.7	-110.0	-193.8

In Figuur 14 is de gemiddelde stikstof- en fosforbelasting naar het oppervlaktewater weergegeven voor Nederland met de oude en de nieuwe berekeningen.



**Figuur 14** De gemiddelde landelijke belasting van het oppervlaktewater van N- en P-totaal in  $kg \cdot ha^{-1}$  voor de peiljaren volgens de klimaatreeks van 1971-2000 en 1981-2010.

In Figuur 14 is te zien dat de landelijke belasting van het oppervlaktewater met de huidige klimaatreeks duidelijk hoger ligt dan met de oude klimaatreeks gebruikt voor de ER2010. De nieuwe cijfers zijn voor stikstof voor alle peiljaren gemiddeld 13% hoger en voor fosfor 12% hoger. Deze stijging heeft twee oorzaken. Ten eerste de herschaling naar het landgebruik van LGN6 en ten tweede doordat de nieuwe klimaatreeks duidelijk een stuk natter is dan de vorige. De waterafvoer is toegenomen van 310 mm naar 335 mm, waardoor ook de hoeveelheid opgeloste stikstof en fosfaat zal toenemen. Wel is dezelfde trend te zien van de ontwikkeling in de tijd.

In Tabel 18 is het overzicht gegeven van de landelijke stikstof- en fosforvrucht naar het oppervlaktewater voor de oude en nieuwe berekeningen. De in Figuur 14 zichtbare veranderingen in de voor weereffecten gecorrigeerde uit- en afspoeling zijn in Tabel 18 niet terug te zien. Dit komt omdat het totale areaal landelijk gebied volgens LGN6 kleiner is dan volgens LGN3.

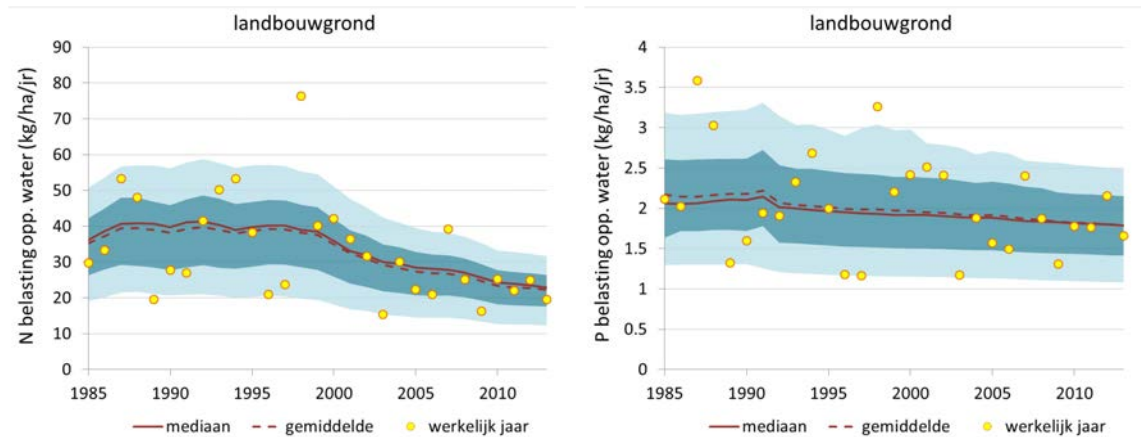
**Tabel 18**

*Landelijke N-vracht en P-vracht ( $Mkg=10^6$  kg) voor de vorige (ER2010) en de nieuwe (ER2013) berekeningen voor de peiljaren berekend volgens de voor weereffecten gecorrigeerde klimaatreeksmethode.*

Jaar	NtotAfvoer_Mkg			PtotAfvoer_Mkg		
	ER2010	ER2013	Vershil	ER2010	ER2013	Vershil
1985	72.9	75.6	3.7%	4.58	4.64	1.4%
1990	76.4	80.6	5.5%	4.52	4.66	3.1%
1995	79.0	81.8	3.4%	4.29	4.33	0.9%
2000	73.5	74.2	0.9%	4.22	4.24	0.5%
2005	58.7	58.6	-0.1%	4.12	4.14	0.4%
2006	57.8	57.7	-0.3%	4.09	4.10	0.1%
2007	57.6	57.3	-0.5%	4.05	4.04	-0.1%
2008	56.5	55.9	-1.1%	4.02	4.01	-0.2%
2009	54.0	53.3	-1.4%	3.99	3.98	-0.3%
2010	50.5	50.3	-0.4%	3.97	3.95	-0.4%
2011		49.6			3.94	
2012		49.1			3.91	
2013		48.3			3.89	

## 4.3 Weereffecten gecorrigeerde landelijke uitspoeling nutriënten

In Figuur 15 is de stikstof- en fosforbelasting naar het oppervlaktewater weergegeven voor landbouwgronden volgens de weereffect gecorrigeerde methode. Hierin zijn weergegeven de mediaan en het gemiddelde in bruin, de 25- en 75-percentielen als band om de mediaan in donkerblauw en de 5- en 95-percentielen als band om de mediaan in lichtblauw. De gele stippen zijn de resultaten met het werkelijke weer voor dat jaar.



**Figuur 15** De stikstofbelasting (links) en de fosforbelasting (rechts) ( $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ ) naar het oppervlaktewater op landbouwgronden berekend met de klimaatreeks. De donkere band omvat 25 tot 75% van de uitkomsten, de lichte band omvat 5 tot 95% van de rekenresultaten.

De resultaten van de weereffecten gecorrigeerde berekeningen voor het totale landelijk gebied zijn weergegeven in Tabel 19 en Tabel 20.

**Tabel 19**

*Uit- en afspoeling van N en P ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$  N of P) van de voor weereffecten gecorrigeerde berekeningen voor de peiljaren; landelijke cijfers (landbouw en natuur).*

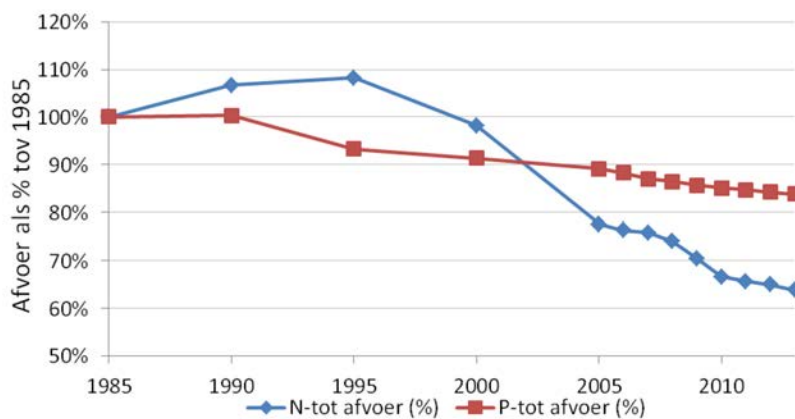
Peil- Jaar	Meteo- jaar	Ntot_ Afspoeling ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$ N)	Ntot_ Uitspoeling ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$ N)	Ntot_ af+uitspoeling ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$ N)	Ptot_ Afspoeling ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$ P)	Ptot_ Uitspoeling ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$ P)	Ptot_ af+uitspoeling ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$ P)
1985	1981-2010	0.77	29.22	29.99	0.12	1.72	1.84
1990	1981-2010	0.60	31.40	32.00	0.10	1.74	1.85
1995	1981-2010	0.48	31.96	32.45	0.05	1.67	1.72
2000	1981-2010	0.38	29.07	29.45	0.05	1.64	1.68
2005	1981-2010	0.32	22.96	23.27	0.03	1.61	1.64
2006	1981-2010	0.30	22.58	22.89	0.04	1.59	1.63
2007	1981-2010	0.28	22.48	22.76	0.03	1.58	1.60
2008	1981-2010	0.27	21.93	22.20	0.02	1.57	1.59
2009	1981-2010	0.26	20.88	21.14	0.01	1.56	1.58
2010	1981-2010	0.26	19.72	19.98	0.01	1.55	1.57
2011	1981-2010	0.25	19.44	19.70	0.02	1.55	1.56
2012	1981-2010	0.24	19.25	19.49	0.02	1.54	1.55
2013	1981-2010	0.23	18.93	19.16	0.02	1.53	1.55

Tabel 20

Uit- en afspoeling van N en P ( $10^6 \text{ kg.jr}^{-1} \text{ N}$  of  $10^6 \text{ kg.jr}^{-1} \text{ P}$ ) van de voor weereffecten gecorrigeerde berekeningen voor de peiljaren; landelijke cijfers (landbouw en natuur).

IJK- Jaar	Meteo- jaar	Ntot Afspoeling ( $10^6 \text{ kg.jr}^{-1} \text{ N}$ )	Ntot Uitspoeling ( $10^6 \text{ kg.jr}^{-1} \text{ N}$ )	Ntot Af+Uitspoeling ( $10^6 \text{ kg.jr}^{-1} \text{ N}$ )	Ptot Afspoeling ( $10^6 \text{ kg.jr}^{-1} \text{ P}$ )	Ptot Uitspoeling ( $10^6 \text{ kg.jr}^{-1} \text{ P}$ )	Ptot Af+Uitspoeling ( $10^6 \text{ kg.jr}^{-1} \text{ P}$ )
1985	1981-2010	1.95	73.61	75.56	0.31	4.33	4.64
1990	1981-2010	1.52	79.10	80.62	0.26	4.40	4.66
1995	1981-2010	1.22	80.53	81.75	0.12	4.21	4.33
2000	1981-2010	0.95	73.25	74.20	0.12	4.12	4.24
2005	1981-2010	0.79	57.84	58.64	0.09	4.05	4.14
2006	1981-2010	0.76	56.90	57.67	0.09	4.01	4.10
2007	1981-2010	0.70	56.64	57.33	0.07	3.98	4.04
2008	1981-2010	0.68	55.25	55.93	0.06	3.95	4.01
2009	1981-2010	0.66	52.62	53.27	0.04	3.94	3.98
2010	1981-2010	0.65	49.69	50.35	0.04	3.91	3.95
2011	1981-2010	0.64	48.99	49.63	0.04	3.90	3.94
2012	1981-2010	0.60	48.51	49.12	0.04	3.87	3.91
2013	1981-2010	0.58	47.69	48.27	0.04	3.86	3.89

In Figuur 16 zijn de resultaten van de voor weereffecten gecorrigeerde berekende stikstof- en fosforbelasting gegeven als relatieve veranderingen ten opzichte van het uitgangsjaar 1985. Voor stikstof is de afvoer na 28 jaar afgenomen met 36% en voor fosfor is de afvoer afgenomen met 16%. Deze veranderingen zijn in belangrijke mate het gevolg van de verminderde mestgiften, de toegenomen stikstof-gebruiksefficiëntie van gewassen en de afnemende bodemvoorraden.



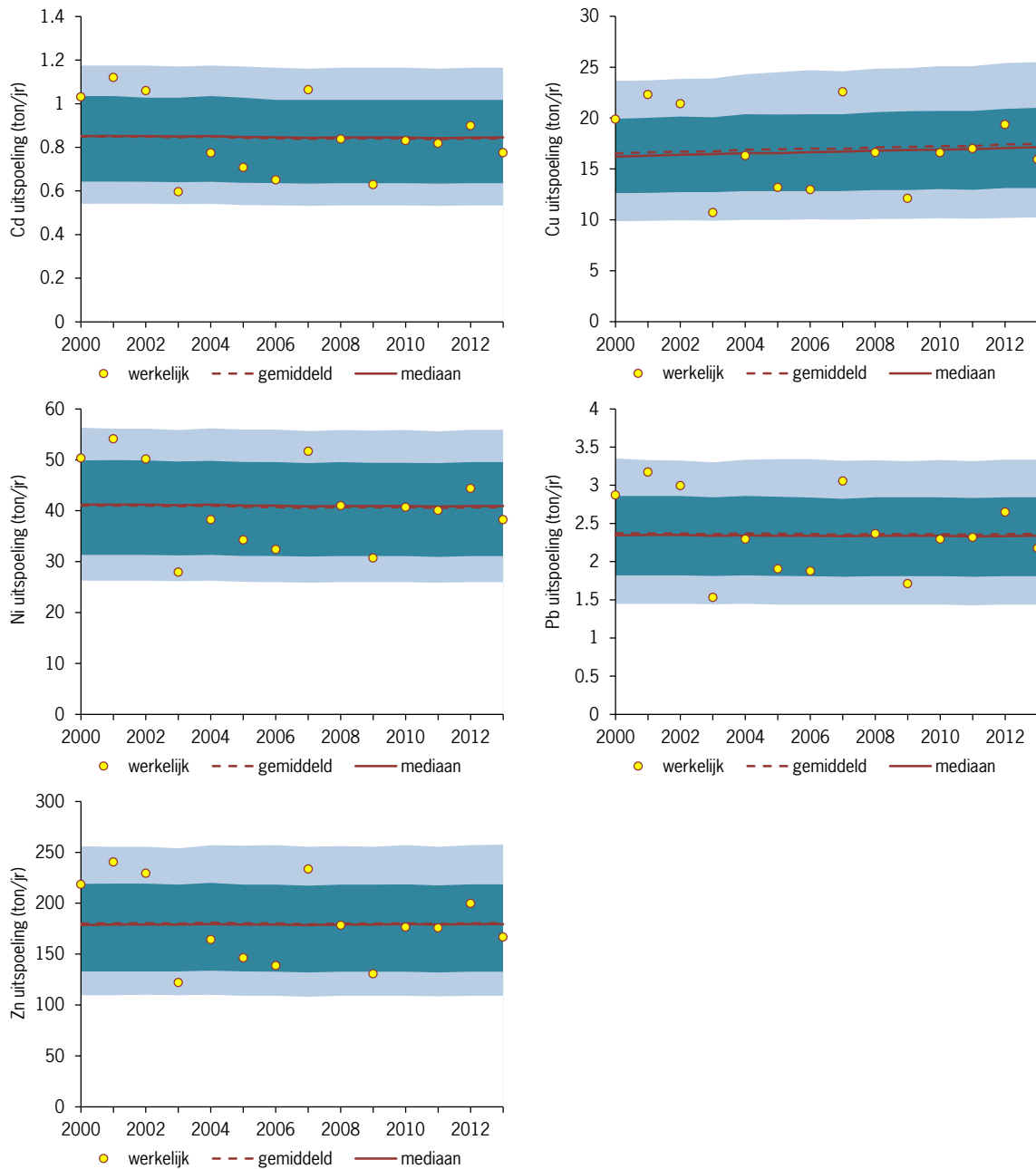
**Figuur 16** De afvoer van N- en P-totaal als functie van de tijd uitgedrukt in % ten opzichte van de afvoer in 1985.

#### 4.4 Weereffecten gecorrigeerde landelijke uitspoeling zware metalen

Veranderingen in de uitspoeling van zware metalen zijn afhankelijk van de variaties in hydrologie tussen de verschillende jaren en veranderingen van de hoeveelheid zware metalen in de bodem. Voor de verschillen tussen individuele jaren zijn vooral de variaties in hydrologie van belang. In drogere jaren is de uitspoeling lager en in nattere jaren hoger.

De hoeveelheid neerslag voor de jaren 2012 (878 mm in De Bilt) en 2011 (909 mm) was hoger dan voor de jaren 2010 (825 mm, laatste jaar van vorige uitspoelingsberekeningen) en 2013 (827 mm). Ook de uitspoeling van ZM is voor de jaren 2011 en 2012 hoger dan voor 2010 en 2013.

Voor zware metalen zijn de bandbreedtes in oppervlaktewaterbelasting weergegeven in onderstaande figuur. Voor metalen is het startpunt van de klimaatreeksberekeningen het jaar 2000, omdat dit ook het startpunt is voor de normale uitspoelingsberekeningen. Voor de jaren 1990 t/m 1999 is hierbij een soort terugrekenmethode gehanteerd die niet geschikt is voor de analyse van trends.



**Figuur 17** Bandbreedte als gevolg van weersvariatie van de landelijke emissies van zware metalen vanuit bodems naar het oppervlaktewater (ton/jr). De lichtblauwe banden geven de minimum- en maximumwaarden aan, de donkerblauwe banden geven de 25- en 75-percentielen aan.

Bovenstaande figuur laat zien dat er nauwelijks een trend is in de uit-/afspoeling van zware metalen. Alleen voor koper is er een licht stijgende trend zichtbaar. De oorzaak van de kleine veranderingen is de sterke binding van metalen aan de bodem waardoor er een sterk dempende werking is van veranderingen in de bodembelasting. Pas op langere termijn zullen veranderingen in de uit-/afspoeling duidelijker zichtbaar zijn.

---

# 5 Onzekerheden

## 5.1 Onzekerheid STONE-model

### Algemeen

Over de toepassing van STONE-resultaten op een schaal die gedetailleerder is dan de landelijke schaal bestaat al lange tijd discussie. In 2006 is een disclaimer opgesteld om gebruikers te attenderen op mogelijke artefacten (zie Bijlage 1). Inmiddels zijn verbeteringen doorgevoerd en wordt gewerkt met een nieuwe versie van STONE. De essentie van de waarschuwing uit 2006 is nog steeds geldig: STONE is ontwikkeld voor landelijke toepassing en voor de regionale schaal is de betrouwbaarheid niet gegarandeerd.

In de systematiek van de EmissieRegistratie worden betrouwbaarheidspercentages toegekend aan gemeten, berekende of geschatte emissies. Hierbij wordt een classificatie gebruikt met onbetrouwbaarheids- of onzekerheidsklassen. De volgende klassen worden onderscheiden: 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 100%, 200% en 400%. Toekenning van klasse 1 aan een bron wil zeggen dat de betrouwbaarheid van het getal groot is en er weinig onzekerheid bestaat over het getal. Daarentegen betekent de toekenning van klasse 400% dat de omvang van de bron erg onzeker is. Bij het toekennen van klassen wordt een aantal overwegingen in acht genomen:

- Is het emissiegetal gebaseerd op metingen, periode en frequentie van metingen? Zijn ze recent, realistisch en representatief? Is aan de metingen nog extra informatie toegevoegd alvorens een emissiegetal kon worden berekend (bv. metingen van concentraties gecombineerd met berekende waterstromen)?
- Is er literatuur over de emissiecijfers met getallen voor vergelijkbare situaties?
- Als modellen worden ingezet voor de berekening van de emissie: wat zijn de informatiebronnen van het model, wat is hun schaal, wat zijn de betrouwbaarheden van de model-input, is het model gevalideerd?
- Aannames in emissiecijfers door het op- en neerschalen in tijd en ruimte van onderliggende informatie, of het interpoleren en extrapoleren om gaten in tijdreeksen te vullen.
- Regionalisering: geeft de Emissie Verklarende Variabele (EVV) een goed beeld van de bron? Is de ruimtelijke verdeling van de EVV goed vast te stellen?

Om de onzekerheden van emissieberekeningen door STONE vast te stellen, is het nodig om eerst goed te begrijpen wat de inhoudelijke en wiskundige achtergrond is van rekenregels voor het combineren van onzekerheden. Vervolgens moeten de onzekerheden van de modelinvoer en de onzekerheid van het procesmodel worden afgeleid of worden geschat. Verder is informatie nodig over hoe de fouten voortplanting in de modelketen plaatsvindt.

Om de regels van fouten voortplanting te kunnen begrijpen, werken we een voorbeeld uit: Stel dat de emissie wordt berekend door de functie  $E = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$  met  $E$  als emissie en  $x_i$  ( $i=1, k$ ) als variabelen en parameters die invloed uitoefenen op de emissie en als we aannemen dat de verdelingsfuncties van de fouten in  $x_i$  normaal verdeeld zijn, niet onderling gecorreleerd en relatief klein zijn t.o.v. de waarde van  $x_i$ , dan geldt voor de variantie van de schattingfout van de emissie:

$$\sigma_E^2 = \sum_i \sigma_{x_i}^2 \times \left( \frac{df}{dx_i} \right)^2$$

We hebben te maken met:

- Additieve foutenberekening
- Multiplicatieve foutenberekening
- Foutenberekening van geschakelde niet-lineaire processen

---

Voor additieve fouten wordt de variantie van de schattingsfout gegeven door de som van de varianties. Stel dat de emissie door een model wordt berekend door  $E = X + Y + Z$ , dan wordt de variantie van de schattingsfout gegeven door:

$$(\sigma_E)^2 = (\sigma_X)^2 + (\sigma_Y)^2 + (\sigma_Z)^2$$

Voor een multiplicatieve foutenberekening wordt geadviseerd om met relatieve fouten te rekenen. Stel dat de emissie door een model wordt berekend door  $E = X \times Y \times Z$ , dan wordt de variantie van de schattingsfout gegeven door:

$$\left(\frac{\sigma_E}{E}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_X}{X}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_Y}{Y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_Z}{Z}\right)^2$$

Voor de schatting van de schattingsfout van modellen met geschakelde, niet-lineaire processen wordt een Monte Carlo-onzekerheidsanalyse aanbevolen. STONE is zo'n model en het advies om Monte Carlo-analyses uit te voeren is zeker op STONE van toepassing. Echter, een dergelijke analyse past niet binnen het bestek van dit rapport.

Met STONE als landelijk model zijn dan wel geen onzekerheidsanalyses uitgevoerd, maar wel zijn voor onderdelen of speciale gebiedstoepassingen dergelijke analyses uitgevoerd:

- Groenenberg, J.E.; C. van der Salm, E. Westein, P. Groenendijk (2000). *Gevoeligheidsanalyse en beperkte onzekerheidsanalyse van het model ANIMO*. Alterra-rapport 200. <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/312936>.

Dit rapport geeft aan dat de onzekerheden in bodemoverschotten, het fosfaatbindend vermogen van de bodem en de parameterisering van de organische stofkringloop sterk bepalend zijn voor de onzekerheid van de berekende N- en P-vrachten naar het oppervlaktewater.

- Bijlsma R., P. Groenendijk, P. Boers and M. Blind (2006) *Uncertainty assessment on the nutrient concentration in the Regge catchment, Vecht River basin, the Netherlands, Institute of Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA), Lelystad, The Netherlands and Alterra, Wageningen, The Netherlands, November 2006*. [http://harmonirib.geus.info/xpdf/d7-4\\_vecht\\_final.pdf](http://harmonirib.geus.info/xpdf/d7-4_vecht_final.pdf).

Dit artikel geeft aan dat de combinatie van onzekerheden van verschillende informatiebronnen een compenserend effect kan hebben bij de bepaling van de totale onzekerheid. De onzekerheid in kwelconcentraties draagt nauwelijks bij aan de totale onzekerheid van de N- en P-vrachten.

Plausibiliteitsanalyses en validaties van STONE geven eveneens inzicht in de kwaliteit van de resultaten:

- Overbeek G.B.J., A.H.W. Beusen, P.C.M. Boers, G.J. van den Born, P. Groenendijk, J.J.M. Grinsven, T. Kroon, H.G. van der Meer, H.P. Oosterom, P.J.T.M. van Puijenbroek, J. Roelsma, C.J.W. Roest, R. Rotter, A. Tiktak en S. van Tol (2002). *Plausibiliteitsdocument STONE 2.0. Globale verkenning van de plausibiliteit van het model STONE versie 2.0 voor de modellering van uit -en afspoeling van N en P*. [http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=rivmp:19742&type=org&disposition=inline&ns\\_nc=1](http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=rivmp:19742&type=org&disposition=inline&ns_nc=1) Aangegeven is dat STONE voor landelijke toepassingen plausibel wordt geacht. Voor de toepassing op een meer gedetailleerde schaal wordt voorbehoud gemaakt en gesteld dat de resultaten niet altijd plausibel zijn.
- Salm, C. van der, L.J.M. Boumans, D.J. Brus, B. Kempen en T.C van Leeuwen (2011). *Validatie van het nutriëntenemissiemodel STONE met meetgegevens uit het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) en de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK)*. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. WOt-werkdocument 228. <http://edepot.wur.nl/172611>.

De uitkomsten van het model STONE zijn gevalideerd op gemeten concentraties in drains en grondwater uit LMM (Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid) en gemeten fosfaatophoping volgens LSK (Landelijke Steekproef Kaarteenheden). Voor de validatie is gebruikgemaakt van een in 2008 ontwikkeld protocol. Uit de validatie komt naar voren dat op nationale schaal de gemiddelde door STONE gesimuleerde nitraatconcentraties in grondwater en drainwater goed overeenkomen met de metingen. De gesimuleerde DOC-concentraties in grondwater en drainwater en de fosfaatconcentraties in het grondwater wijken sterker af van de metingen. Tevens bleek uit de validatie op LSK dat de verdeling van P over boven- en ondergrond afwijkt van de metingen. Voor deze stoffen is dus een verdere verbetering van het model en/of de parametrisatie gewenst. De mismatch van het

landgebruik zoals in de STONE-schematisering is aangenomen met het werkelijke landgebruik was een van de redenen voor afwijkingen tussen berekende en gemeten nitraatconcentraties in regio's.

Een gedetailleerde onzekerheidsanalyse van STONE met een Monte Carlo-techniek ligt buiten het bestek van de EmissieRegistratie en daarom worden op basis van expert judgement en resultaten van deel-analyses schattingen gegeven. Voor de bepaling van de onzekerheid van het totale modelsysteem kiezen we voor het identificeren van een aantal belangrijke onzekerheidsbronnen. Vervolgens zijn deze onzekerheidsbronnen gecombineerd met de rekenregels.

### Onzekerheid modelinvoer

STONE heeft verschillende bronnen als modelinvoer. De vijf belangrijkste bronnen van onzekerheid voor het STONE-model zijn: bemesting, hydrologie, organische stofgehalte in de bodem, fosfaatgehalte in de bodem en modelschematisering (bodem, landgebruik). Deze worden hieronder toegelicht.

Voor bemesting worden berekeningen uitgevoerd met MAMBO. MAMBO baseert zich op bedrijfscijfers en indien nodig worden cijfers ontleend aan grotere ruimtelijke eenheden (kunstmest). In het rapport 'Bemesten met het gebruiksnormenstelsel' van Van der Ham *et al.* (2009) staan gegevens over de spreiding van mestgiften.

Tabel 21

*Bemesting in zeven regio's met stikstof en fosfaat (2006).*

	Gemiddelde	Stand.afw.
<i>Stikstof in dierlijke mest, kg/ha/jaar</i>		
Noordelijk zandgebied	229	34
Noordelijk klei- en veengebied	241	40
Oostelijk zandgebied	235	32
Zuidelijk zandgebied	257	57
Rivierkleigebied	238	32
Westelijk veenweidegebied	236	36
Lössgebied	202	34
<b>Gemiddeld voor Nederland</b>	<b>236</b>	<b>40</b>
<i>Stikstof totaal (werkzaam in dierlijke mest plus kunstmest, kg/ha/jaar)</i>		
Noordelijk zandgebied	217	38
Noordelijk klei- en veengebied	244	43
Oostelijk zandgebied	225	33
Zuidelijk zandgebied	223	66
Rivierkleigebied	225	45
Westelijk veenweidegebied	227	50
Lössgebied	188	49
<b>Gemiddeld voor Nederland</b>	<b>223</b>	<b>46</b>
<i>Fosfaat totaal, kg/ha/jaar</i>		
Noordelijk zandgebied	97	17
Noordelijk klei- en veengebied	100	20
Oostelijk zandgebied	96	14
Zuidelijk zandgebied	98	25
Rivierkleigebied	97	17
Westelijk veenweidegebied	95	22
Lössgebied	80	15
<b>Gemiddeld voor Nederland</b>	<b>96</b>	<b>19</b>

Bron: LEI Informatienet, geciteerd in Van der Ham *et al.* (2009).

De bemesting in het zuidelijke zandgebied heeft de grootste standaardafwijking. De variatiecoëfficiënt (standaardafwijking/gemiddelde) is maximaal 30% voor stikstof en 25% voor fosfaat. Bij opschaling naar landelijk niveau schatten we onzekerheid in als 10%.



Voor de hydrologie ontlenen we gegevens aan het rapport van Van Bakel *et al.* (2008). In de plausibiliteitsanalyse is o.a. gekeken naar de berekende Gemiddeld Hoogste en Laagste Grondwaterstand en de gemeten waarden zoals ze gevonden zijn in klimaatrepresentatieve peilbuizen. Het absolute verschil in berekende en gemeten GHG-waarden bedraagt gemiddeld 6 cm, terwijl de standaarddeviatie 89,4 cm bedraagt. Voor het absolute verschil in GLG-waarden wordt 14 cm berekend, terwijl de standaarddeviatie 77,7 cm bedraagt. Ook een vergelijking met stambuizen leverde gemiddelde absolute verschillen en standaarddeviaties met dezelfde orde van grootte. De standaarddeviaties zijn behoorlijk groot en omdat waterstromen en grondwaterstanden sterk sturend zijn voor de N- en P-belasting van het oppervlaktewater, werkt deze onzekerheid sterk door in de totale onzekerheid. In het onderzoek van Massop *et al.* (2005) bleek dat de neerslag in STONE systematisch 4% lager is dan de werkelijke neerslag en dat de verdampingsreductie in het SWAP-model (als preprocessor voor STONE) kleiner is dan men in werkelijkheid vindt. Gevonden werd ook dat fouten in de verdamping duidelijke consequenties hebben voor de berekening van de N- en P-vracht naar het oppervlaktewater. Een toename van de waterafvoer met 20% (bv. bij een fout in de verdamping van 50 mm) leidt tot een toename van de N-vracht met ca. 15% en een toename van de P-vracht met ca. 30%. Geconcludeerd kan worden dat onzekerheden in de hydrologie ertoe leiden dat de resultaten voor een gedetailleerde ruimtelijke schaal erg onzeker zijn, maar dat voor grotere gebieden (provincies, landelijk) de hydrologie niet een oorzaak van grote afwijkingen hoeft te zijn. Daarom wordt de onzekerheid op landelijke schaal ingeschat als 25% en regionaal als 100%.

Het organische stofgehalte van de bodem speelt een rol bij de mineralisatie van de stikstof en fosfor in de bodem en beïnvloedt daarmee de nalevering en achtergrondbelasting. In 2010 werd ontdekt dat het organische stofgehalte van de akkerbouw-bodemprofielen in de bodemdatabase systematisch een factor 1.5 tot 2 te hoog is. Dit kan een behoorlijke invloed hebben op de berekening van de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen met GeoPEARL (enkele factoren onderschatting). Recentelijk is onderzoek gedaan naar de oorzaken en de manier waarop dit verbeterd kan worden. Dit onderzoek (Hoogland *et al.*, in voorbereiding) geeft tevens inzicht in de onzekerheid van de cijfers in het STONE-model, omdat de organische stofgehalten medebepalend zijn voor mineralisatie en denitrificatie in de bodem. Onderstaande tabel geeft een indruk van de gemiddelde waarden en de vergelijking van de organische stof-kaart met de metingen in de Landelijke Steekproef Kaarteenheden.

Tabel 22

*Organische stof in de bodem op verschillende diepten.*

Diepte (cm)	Gemiddelde O.S.-gehalte (%)				Root Mean Squared Error van O.S. gehalte (%)			
	Zand	Klei	Veen	Leem	Zand	Klei	Veen	Leem
15	5.20	5.29	21.24	3.29	5.97	9.08	15.62	1.43
45	4.14	4.30	19.50	1.35	8.98	14.22	20.22	0.72
80	2.55	6.32	25.80	1.05	9.30	14.54	19.38	0.45
120	2.12	7.36	24.90	1.03	8.52	13.89	10.72	0.58

De RMSE is een maat voor de verschillen tussen de kaartwaarden en de metingen. De RMSE-waarden liggen veelal in dezelfde orde van grootte als de gemiddelde waarden. Echter, wanneer we deze onzekerheid combineren met het effect van dergelijke afwijkingen op de met STONE berekende N- en P-uitspoeling, zien we een demping van het effect optreden (Groenenberg *et al.*, 2000). De onzekerheid in organische stofgehalte werkt vooral door in de N-uitspoeling en heeft op de P-uitspoeling weinig effect. Voor de uiteindelijke onzekerheidsschatting (Tabel 23) wordt voor de N-vrachten voor de landelijke toepassing een onzekerheid van 10% en voor de regionale toepassing een onzekerheid van 25% toegekend.

Het fosfaatgehalte van de toplaag van de bodem is vaak sterk bepalend voor de ondiepe uitspoeling en de oppervlakkige afspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater. De fosfaatophoping in de bovengrond zoals berekend met STONE wordt sterk beïnvloed door veronderstellingen over het historische landgebruik. In STONE is het landgebruik statisch: dat wil zeggen het verandert niet in de tijd. Maispercelen hebben vanaf de jaren zeventig grote hoeveelheden mest te verwerken gehad en

---

laten hoge fosfaatgehalten zien en voor graspercelen wordt de fosfaattoestand onderschat, omdat de afwisseling met mais niet wordt meegenomen. Globale cijfers laten zien dat landelijke gemiddelde waarden goed overeenkomen met metingen, maar een analyse van de mismatch van STONE-resultaten met praktijkcijfers voor de gedetailleerde schaal ontbreekt. Deze onzekerheid werkt vooral door in de P-uitspoeling en heeft op de N-uitspoeling weinig effect. Voor de uiteindelijke onzekerheidsschatting (Tabel 23) wordt voor de P-vrachten voor de landelijke toepassing een onzekerheid van 10% en voor de regionale toepassing een onzekerheid van 25% toegekend.

Depositie kent een temporele en ruimtelijke variabiliteit, met een onzekerheid als gevolg. Daarnaast spelen ook de onzekerheid van waarnemingen en de monitoringsmethode een rol. Echter, binnen het geheel van STONE is depositie een beperkte bron voor de af- en uitspoeling vanuit de bodem naar het oppervlaktewater (Groenendijk *et al.*, 2013). Daarom is een laag percentage (5%) aangehouden voor depositie op de bodem als onzekerheidsfactor.

De schematisering van STONE waarbij voor Nederland 6405 unieke rekeneenheden zijn onderscheiden, leidt tot afwijkingen. Een analyse van onzuiverheden door het elimineren van combinaties met kleine oppervlakten is gegeven in Kroon *et al.* (2000). Kroon *et al.* (2000) stellen dat de zuiverheid van de STONE-kaart t.o.v. de geclassificeerde basiskaarten ongeveer 85-90% is. Hierbij wordt vermeld dat uitgegaan is van de landgebruiksopname van 1998 (LGN3+). De onzuiverheid van de basiskaarten voegt extra onzekerheid toe aan de schematisering. Van de bodemkaart en de Gt-kaart is bekend dat deze voor 65-75% zuiver zijn. Deze onzekerheid werkt door in de berekening van N- en P-vrachten op regionale schaal, en minder op de landelijke schaal. Voor de uiteindelijke onzekerheidsschatting (Tabel 23) wordt voor de landelijke toepassing een onzekerheid van 10% en voor de regionale toepassing een onzekerheid van 50% toegekend.

De gewasopname heeft invloed op het N- en P-overschot dat achterblijft in de bodem. Het procesmodel binnen STONE is ANIMO voor bodemprocessen en uitspoeling en QUADMOD/MEBOT voor gewasopname. Naarmate de gewasopname hoger is, is het overschot lager en ook de uitspoeling lager. Bij de berekening van de gewasopname wordt rekening gehouden met het gewas, het jaartal (droog of nat jaar), de mestgiften, de trends in productiecijfers en de conditie van de bodem (fosfaattoestand, N-leverend vermogen van de bodem). Het effect van mestgiften is al meegenomen bij de onzekerheidsschatting van het effect van bemesting. Het additionele effect van de andere factoren op de doorwerking in onzekerheid van N- en P-uitspoeling wordt geschat op 5% voor de landelijke toepassing en 10% voor de regionale toepassing. Misschien dat dit effect te laag is ingeschat en zou ook resp. 10 en 25% kunnen gelden. Echter, we verwachten niet dat de totale onzekerheid hierdoor een klasse hoger zou uitkomen.

#### Procesmodel

Behalve de modelinvoer voegen ook de procesformulering en het afleiden (literatuur, ijking) van parameters onzekerheid toe aan het uiteindelijke resultaat. STONE wordt geijkt op gemeten nitraatconcentraties in zandgronden. Voor de ijking van N- en P- af- en -uitspoeling naar oppervlaktewater zijn geen directe ijkinggegevens voorhanden en kunnen alleen conclusies getrokken worden uit toetsingen aan gemeten concentraties op verschillende schaalniveaus. Als het procesmodel fout gekalibreerd is, leidt dit tot een systematische fout en doet de ruimtelijke schaal niet ter zake. Voor de uiteindelijke onzekerheidsschatting (Tabel 23) wordt zowel voor de landelijke toepassing als de regionale toepassing een onzekerheid van 25% toegekend

#### **Combineren onzekerheidsbronnen modelinvoer**

Zoals hierboven is beschreven, is het voor onzekerheidsbeschouwingen belangrijk om de toepassingschaal te benoemen. Aangezien STONE wordt gebruikt voor meerdere doelen, gaan we in de onderstaande kwantificering uit van twee ruimtelijke schalen. Hierbij hanteren we de klasse-indeling volgens MEWAT.

Voor de emissieregistratie zijn uitspoelingen berekend bij reëel weer. Daarnaast zijn ook schattingen gemaakt van de uitspoeling bij langjarig gemiddeld weer. Als we uitgaan van de resultaten voor reëel weer, hoeft de onzekerheid als gevolg van weersvariatie niet te worden meegenomen. Als we de uitspoeling berekend voor langjarig gemiddeld zouden willen toepassen op een bepaald individueel jaar, zouden we deze onzekerheidsbron wel mee moeten rekenen.

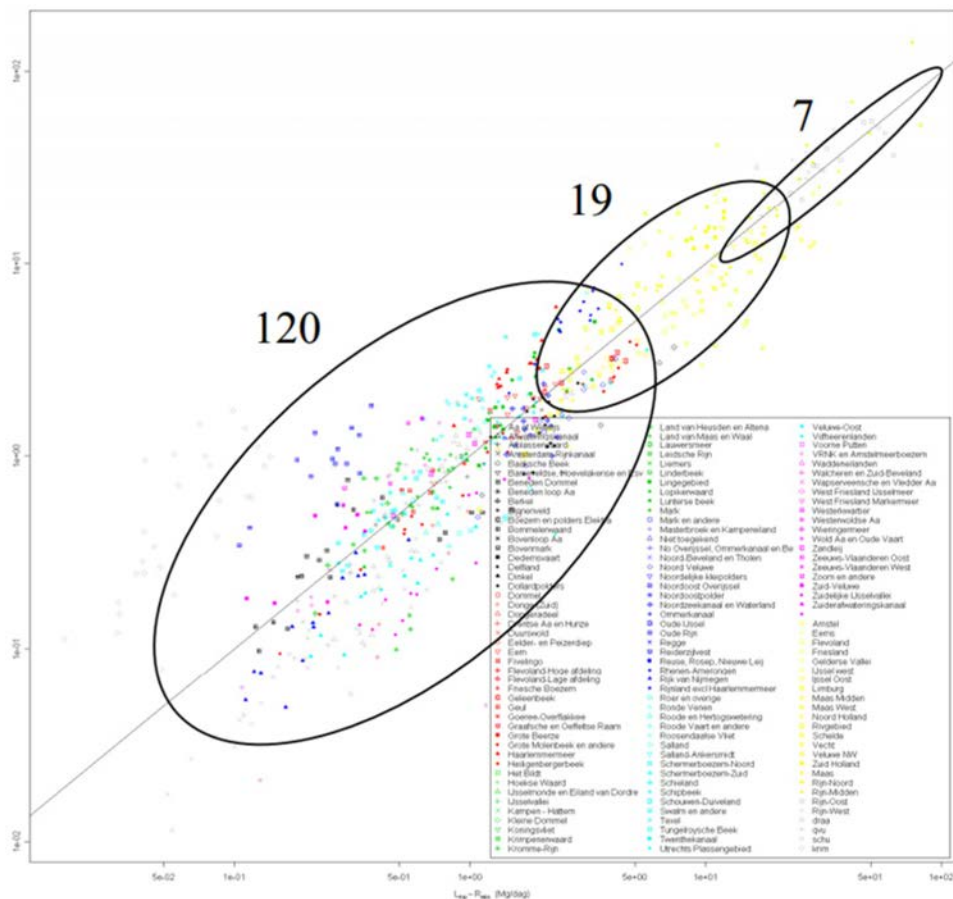
De totale onzekerheid wordt geschat met de rekenregel voor multiplicatieve fouten en wordt uitgedrukt met een range. De ondergrens en de bovengrens worden ontleend aan de klasse-indeling die in de EmissieRegistratie wordt gehanteerd. Het resultaat van de toepassing op landelijke schaal is 41% en wordt weergegeven met de grenzen waarin deze waarde valt (25-50%). Voor individuele ER-gebieden is de onzekerheid 131% (100-200%).

**Tabel 23**

*Indicatie van onzekerheden in de uit- en afspoeling van nutriënten berekend met STONE2.4.*

Onzekerheidsbron	Toepassing op landelijke schaal	Toepassing voor individuele ER-gebieden
Bemesting	10%	25%
Hydrologie	25%	100%
Bodem (o.a. organische stof en fosfaattoestand) en landgebruikskaarten	10%	25%
Depositie	5%	10%
Gewasopname	5%	10%
Achtergrondbelasting (concentraties dieper dan GLG)	10%	50%
Modellschematisering (overlays kaarten en indeling in rekeneenheden)	10%	50%
Procesmodel	25%	25%
Totale onzekerheid (benaderd met rekenregel voor multiplicatieve fouten)	25% - 50%	100% - 200%

De toepassing voor kleinere ruimtelijke eenheden dan de individuele ER-gebieden laat een beduidend grotere onzekerheid zien. Dit volgt ook uit een analyse van Ex-ante KRW en Landbouw (Van der Bolt *et al.*, 2008) waarbij omgerekende STONE-resultaten zijn vergeleken met oppervlaktewaterconcentraties. In onderstaande figuur zijn de gemeten en berekende vrachten in verschillende stroomgebieden weergegeven. Er zijn drie ovalen weergegeven. Op de x-as en de y-as staan gemeten en berekende concentraties logaritmisches weergegeven. De cijfers duiden op het aantal stroomgebieden, waarbij vanuit de 120 beschouwde stroomgebieden is opgeschaald. Naarmate de vrachten voor grotere stroomgebieden worden beschouwd, vlakken de afwijkingen van de individuele meetpunten uit. Bij een vergelijking van berekeningen met individuele metingen voor kleine gebieden is de mismatch vaak groter dan voor grotere gebieden, omdat voor grotere de 'toevallige' fouten elkaar meer compenseren.



**Figuur 18** Gemeten en berekende concentraties van stroomgebieden

## 5.2 Onzekerheidsanalyse ZM uitspoeling

**De belangrijkste bronnen die een bijdrage leveren aan de onzekerheid van de uitspoeling van zware metalen zijn:**

- bodemschematisatie;
- hydrologie;
- zware metaalgehalten in referentiejaar (2000);
- ZM-concentraties in ondiep grondwater;
- bodembelasting met zware metalen (mestaanwending, gehalten in mest, depositie);
- partitierelaties tussen zware metalen in bodem en zware metalen in bodemvocht/grondwater.

***De belangrijkste bronnen van de onzekerheid worden hieronder beschreven. Op basis van expert judgement wordt een schatting gegeven van de bijdragen van deze bronnen aan de onzekerheid van de berekende uitspoeling op het schaalniveau van de EmissieRegistratie en voor de landelijke schaal.***

### *Bodemschematisatie*

Voor het berekenen van de uitspoeling van zware metalen is de bodemschematisatie van invloed op (i) de berekende gehalten zware metalen in de bodem in het referentiejaar 2000 en (ii) de berekende concentraties in het bodemvocht in evenwicht met het metaalgehalte in de bodem.

Metaalgehalten in de bovengrond van de bodem in het referentiejaar worden geschat in twee stappen. In de eerste stap wordt een generiek metaalgehalte in de bovengrond geschat op basis van landgebruik (landbouw of natuur) en een regressierelatie die het metaalgehalte relateert aan het organische stofgehalte, het kleigehalte en de pH. In de tweede stap worden regionale verschillen in metaalgehalten meegenomen met behulp van regionale informatie over metaalgehalten door middel

---

van geostatistische methoden ('kriging'). In een volgende stap worden de metaalgehalten als functie van de diepte geschat door middel van een regressierelatie, met als verklarende variabelen het metaalgehalte in de bovengrond en de bodemeigenschappen organische stofgehalte, kleigehalte en pH. In zowel de regressierelaties voor de bovengrond als voor de relaties voor het metaalgehalte met de diepte zijn alle regressiecoëfficiënten positief. Dat betekent dat de berekende metaalgehalten toenemen met organische stofgehalte, kleigehalte en pH. Een overschatting van een van deze bodemeigenschappen in de bodemschematisatie leidt dus tot een overschatting van het metaalgehalte in het referentiejaar.

Concentraties van metalen in het bodemvocht worden berekend op basis van regressierelaties die de concentratie in oplossing relateren aan metaalgehalten in de bodem en de bodemeigenschappen organische stofgehalte, kleigehalte en pH. De coëfficiënten voor deze relatie zijn, uitgezonderd voor het metaalgehalte, alle negatief. De concentratie in oplossing neemt dus af met toenemend organische stofgehalte, aandeel klei en de pH.

De berekende uitspoeling van metalen op een bepaalde diepte is direct gerelateerd aan de berekende concentratie in oplossing. Voor de berekening van de uitspoeling in het referentiejaar zijn de effecten voor het berekenen van het metaalgehalte in de bodem en voor het berekenen van de concentratie in oplossing tegengesteld. Een hoger organische stofgehalte resulteert in een hogere schatting van het metaalgehalte in de bodem. Bij de berekening van de metaalconcentratie in oplossing leidt een hoger metaalgehalte tot een hogere schatting van de metaalconcentratie in oplossing. Het hogere gehalte organische stof leidt echter tot een lagere schatting van de metaalconcentratie in oplossing. Het totale effect van onzekerheden in de bodemschematisatie op de berekende uitspoeling van zware metalen is dus minder dan additief.

De onzekerheid in de uitspoeling in de jaren na het referentie jaar wordt in de tijd meer en meer bepaald door de onzekerheid in de regressierelatie voor het berekenen van de concentratie in oplossing. Een systematische overschatting van het organische stofgehalte zoals gevonden voor akkerbouwprofielen zal leiden tot een onderschatting van de uitspoeling van zware metalen, met name voor de metalen koper en lood, welke sterk binden aan organische stof. De berekende uitspoeling van metalen naar het oppervlaktewater over de periode van de huidige berekeningen van de EmissieRegistratie vertoont nauwelijks een trend. Dat betekent dat de uitspoeling met name bepaald wordt door het gehalte metalen in de bodem in het referentiejaar. Veranderingen in het metaalgehalte in de bodem en de onzekerheden daarin, hebben dus nauwelijks invloed op de berekende emissie naar het oppervlaktewater binnen het tijdframe van de Emissie Registratie.

De bijdrage aan de onzekerheid door bodemschematisatie wordt niet apart gekwantificeerd, maar zijn opgenomen in de onzekerheid van de metaalgehalten in de bodem en bij de berekening concentraties metalen in bodemvocht.

#### *Hydrologie*

De berekende uitspoeling van metalen is waarschijnlijk met name gevoelig voor de verdeling van de laterale uitstroming van water over de diepte van het profiel. De metaalgehalten in de bovengrond zijn het hoogst en nemen af met de diepte, behalve voor nikkel, dat voornamelijk geogeen is. Een overschatting van de GHG zal daarom leiden tot een overschatting van de uitspoeling van zware metalen. De onzekerheid is naar verwachting in dezelfde orde grootte als voor de nutriënten.

#### *Gehalten zware metalen in de bodem*

Zoals bij de bodemschematisatie is beschreven, worden de metaalgehalten geschat door middel van regressierelaties en kriging. Uit een vergelijking tussen berekende concentraties voor verschillende dieptes in vijf bodemprofielen (zand, klei en veen) met metingen blijkt dat de geschatte gehalten in de bovengrond goed overeenkomen met de metingen (Bonten, 2009). De gehalten in de bovengrond (met uitzondering van nikkel) zijn voor een belangrijk deel antropogeen. De berekende concentraties voor de ondergrond zijn veel minder goed, dit is waarschijnlijk te wijten aan regionale verschillen in metaalgehalten in de klei, welke niet meegenomen worden in het model.

Voor de berekening van de uitspoeling wordt uitgegaan van het geochemisch reactief metaalgehalte en niet van het totale metaalgehalte in de bodem. De reactieve metaalgehalten worden uit de

---

totaalgehalten geschat met behulp van regressierelaties die de reactieve metaalgehalten relateren aan totaalgehalten en bodemeigenschappen (organische stofgehalte, kleigehalte en pH) (Römkens *et al.*, 2004). Dit resulteert in additionele onzekerheid in de brekende concentraties in oplossing. Door gebruik te maken van gemeten reactieve gehalten in bovengrond en ondergrond uit de Geochemische Bodematlas van Nederland (Mol *et al.*, 2012) kan deze onzekerheid mogelijk verkleind worden.

#### *Zware metaalconcentraties in het ondiepe grondwater*

Voor de berekening van de uitspoeling beneden de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) wordt gebruikgemaakt van metingen van de concentraties in het grondwater. Dit is nauwkeuriger dan het berekenen van de concentraties op basis van gehalten in de vaste fase van de bodem, omdat regionale verschillen in concentraties als gevolg van verschillen in geologische oorsprong zo beter worden meegenomen (Bonten en Groenenberg, 2009). De concentraties in het grondwater zijn statistisch gekarakteriseerd voor de verschillende geotop-gebieden (Klein, 2011). In een aanvullende notitie (Klein, 2012) zijn de concentraties voor een aantal geotop-gebieden opnieuw vastgesteld waarbij uitschieters door lokale verontreiniging uit de analyse zijn weggelaten om zo een meer representatieve concentratie voor het gebied te krijgen. De variatie in de concentraties van de metalen is substantieel met een factor 2-10 tussen het 25- en 75-percentiel. Het gaat hier echter om variatie in concentraties over verschillende meetpunten. De onzekerheid op het schaalniveau van de EmissieRegistratie zal veel kleiner zijn, omdat hierbinnen ook een behoorlijke spreiding te verwachten is. Verder wordt de bijdrage van de onzekerheid in de concentraties in het grondwater aan de onzekerheid in de uitspoeling naar het oppervlaktewater bepaald door de relatieve bijdrage van de uitspoeling uit de bodem beneden de GLG aan de totale uitspoeling. In het algemeen is deze bijdrage beperkt.

#### *Bodembelasting met zware metalen*

De belasting van de bodem op landbouwgronden wordt met name bepaald door bemesting. De belasting van koper en zink is voor het overgrote deel het gevolg van de bemesting met dierlijke mest. Cadmium is voor een belangrijk deel afkomstig uit fosfaatkunstmest.

De belasting is het product van de hoeveelheid mest die op het land gebracht wordt en de gehalten metalen in de mest. De opgebrachte hoeveelheden mest zijn berekend met MAMBO en gebaseerd op bedrijfscijfers (zie onzekerheid modelinvoer STONE). De variatiecoëfficiënt voor N en P is maximaal 30 en 25% respectievelijk.

De metaalgehalten in mest zijn gebaseerd op twee studies waarin de metaalgehalten in mest gemeten zijn. De eerste studie is uit 1996 (Driessen en Roos, 1996), de tweede uit 2008 (Römkens en Rietra, 2008). De gehalten koper en zink in 2008 zijn in sommige gevallen sterk gestegen t.o.v. 1996 en significant verschillend. De gehalten voor de overige metalen (welke onderdeel zijn van de EmissieRegistratie) zijn gelijk gebleven. Er zijn geen gegevens van metaalgehalten in mest in andere jaren. Dit betekent dat er een behoorlijke onzekerheid is in de belasting van koper en zink in de tijd. Uit de cijfers van 2008 blijkt een grote spreiding in de koper en zinkgehalten over de monsters. Deze zijn waarschijnlijk terug te voeren op verschillen in bedrijfsvoering. De variatie in gehalten tussen verschillende regio's in Nederland bleek echter klein te zijn. De variatie is niet gekwantificeerd. Uit de modelberekeningen blijkt dat er nauwelijks een trend is in de metaaluitspoeling in de periode waarvoor de berekeningen van de EmissieRegistratie uitgevoerd zijn. Dat betekent dat de uitspoeling met name bepaald wordt door de gehalten metalen in de bodem in het referentiejaar. Onzekerheden in de belasting hebben op korte termijn (< 10 jaar) nauwelijks invloed op de berekening van de uitspoeling. Daarom wordt, ondanks de substantiële onzekerheid in belasting, toch een lage onzekerheid van de belasting op de uitspoeling aangenomen.

#### *Berekeningen concentraties metalen in bodemvocht*

De concentraties van de metalen in oplossing worden berekend uit het (reactief) metaalgehalte in de bodem en bodemeigenschappen, namelijk organische stofgehalte, kleigehalte pH en opgelost organisch koolstof (DOC) met behulp van partitierelaties. Dit zijn regressievergelijkingen die de concentratie in oplossing relateren aan het reactief metaalgehalte en de bodemeigenschappen. De relaties zijn afgeleid voor een grote dataset met de belangrijkste bodemtypes in Nederland (Bonten en Groenenberg, 2008). In een recente studie is aangetoond dat dergelijke regressievergelijkingen een vergelijkbare betrouwbaarheid hebben als meer mechanistische 'multisurface'-modellen (Groenenberg,

2012) voor de voor (Nederlandse) bodems meest relevante range in pH (4-7). Evaluatie van dergelijke modellen op onafhankelijke data (data die niet gebruikt zijn voor het afleiden van de partitierelaties) laten zien dat het betrouwbaarheidsinterval van de voorspelling van de concentratie in oplossing ruwweg een ordegrootte is (factor 10) (Bonten, 2009; Groenenberg *et al.*, 2012). Uit een onzekerheidsanalyse van dergelijke partitierelaties bleek dat de onzekerheid toe te schrijven is aan de restvariantie van de regressievergelijking en niet aan de onzekerheid in de coëfficiënten van de regressievergelijking. Dit betekent dat de regressievergelijkingen niet verbeterd kunnen worden door uitbreiding van de dataset waarop de regressievergelijkingen afgeleid worden (Römkens *et al.*, 2003).

Naast de onzekerheid in de partitierelatie wordt de onzekerheid in de berekende uitkomsten ook bepaald door de onzekerheden in de gebruikte bodemeigenschappen. De onzekerheden als gevolg van onzekerheden in het organische stofgehalte, het kleigehalte en pH zijn beschreven bij de onzekerheden als gevolg van de bodemschematisatie. De concentratie DOC is niet opgenomen in de bodemschematisatie en wordt geschat uit partitierelaties met als verklarende variabelen organische stof en pH (Bonten, 2009). De relatie heeft een hoge verklaarde variantie ( $R^2 = 0.82$ ), maar de onzekerheid is niet gekwantificeerd. Naar verwachting is de spreiding in DOC-concentraties hoog.

De substantiële onzekerheid van de partitierelaties betekent dat de berekening van de concentratie in oplossing een belangrijke bijdrage heeft in onzekerheid van de berekende uitspoeling van metalen naar het oppervlaktewater. Het is echter niet zo dat onzekerheid van een ordegrootte leidt tot een dergelijke grote onzekerheid in de uitspoeling op het ruimtelijke schaalniveau van de EmissieRegistratie. De onzekerheid van een ordegrootte geldt voor een berekening op puntniveau. Voor een bepaalde ruimtelijke eenheid zal de onzekerheid zeker kleiner zijn, omdat de verwachting is dat binnen zo'n eenheid zowel afwijkingen naar boven als naar beneden zullen voorkomen die elkaar voor een groot deel uitmiddelen. Om de onzekerheid op gebiedsniveau te kwantificeren, moet een onzekerheidsanalyse op gebiedsniveau uitgevoerd worden.

In onderstaande tabel zijn de hierboven besproken onzekerheden weergegeven, zowel voor de toepassing van de resultaten op landelijke schaal als voor de individuele ER-gebieden.

**Tabel 24**

*Indicatie van onzekerheden in de belasting van zware metalen berekend met STONE-ZM.*

Onzekerheidsbron	Toepassing op landelijke schaal	Toepassing voor individuele ER-gebieden
Hydrologie (gelijk aan nutriënten)	25%	100%
Modellschematisering (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%
<b>Totale onzekerheid</b>	<b>63%</b>	<b>160%</b>

---

# Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors en T. Kroon, 2008. *Actualisatie Hydrologie voor STONE 2.3; Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets*. (Eng: Updating the hydrology component in STONE 2.3; Adjusting boundary conditions and parameters, linking NAGROM and SWAP, and plausibility test) WOt-rapport 57, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (MNP), Wageningen, Alterra.
- Bakel, P.J.T. van, T. Kroon, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors, H.Th.L. Massop & D.J. Walvoort, 2007. *Reparatie Hydrologie voor STONE 2.1; Beschrijving reparatie-acties, analyseresultaten en beoordeling plausibiliteit*. Werkdocument 81. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen, december 2007.
- Bierkens, M.F.P. 1996. Foutenanalyse in waterbalansstudies. DLO-Staring Centrum, Wageningen, Rapport 460.
- Boekel, E.M.P.M. van, P. Bogaart, L.P.A. van Gerven, T. van Hattum, R.A.L. Kselik, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, P.E.V. van Walsum en F.J.E. van der Bolt, 2012. Evaluatie Landbouw en KRW, deelrapportage in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2012. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 2326.
- Bonten, L.T.C., B. van der Grift en J. Klein, 2007. Achtergrondbelasting van het oppervlaktewater met zware metalen t.g.v. uitspoeling uit de bodem. Alterra-rapport 1636, Wageningen.
- Bonten, L.T.C., 2009. Uitspoeling van zware metalen uit landbouwbodems. Toetsing van modelberekeningen middels veldmetingen. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1883.
- Bonten, L.T.C. en J.E. Groenenberg. Uitspoeling van zware metalen uit bodems in het landelijk gebied; Modelberekeningen voor de emissieregistratie 2009. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1882.
- CBS, 2009. Statline-database Zware metalen op landbouwgrond, geraadpleegd op 11-12-2014.
- Delahaye, R., P.K.N. Fong, M.M. van Eerdt, K.W. van der Hoek & C.S.M. Olsthoorn, 2003. Emissie van zeven zware metalen naar landbouwgrond. Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg, the Netherlands.
- De Ruijter, F.J. en J.G. Conijn, 2010. Quadmod-parametrisatie van de P-respons van grasland, akkerbouw- en groentegewassen in Nederland. Wageningen, Plant Research International, rapport 370.
- De Wit, A.J.W., Th.G.C. van der Heijden en H.A.M. Thunnissen, 1999. Vervaardiging en nauwkeurigheid van het LGN3- grondgebruiksbestand. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 663.
- 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.
- Groenenberg, J.E., J.J. Dijkstra, L.T.C. Bonten, W. de Vries en R.N.J. Comans 2012. Evaluation of the performance and limitations of empirical regression models and process based multisurface models to predict trace element solubility in soils. Environ Pollut 168:98-107.



- 
- Groenendijk, P.; Renaud, L.V.; Schoumans, O.F.; Schroder, J.J.; Koeijer, T.J. de; Luesink, H.H.,  
Vergelijking van het WOG-WOD model en het MAMBO-STONE model : berekende en gesimuleerde  
nitraatconcentraties in de zandgebieden. Alterra Wageningen UR, 2014 (Alterra-rapport 2549).
- Groenendijk, P., L. Renaud, O. Schoumans, H. Luesink, G. Kruseman, MAMBO- en STONE-resultaten  
van rekenvarianten. Evaluatie Mestwetgeving 2012: deelrapport Ex-ante milieu. Wageningen,  
Alterra, Alterra-Rapport 2317.
- Ham, A. van den, J.G. de Hoop, J.W. Reijs, H. Prins, S.R.M. Janssens, J.C.J. Groot en W.C. van Cooten  
(2009) Bemesten met het Gebruiksnormenstelsel; Strategieën, knelpunten en  
oplossingsrichtingen. LEI Rapport 2009-030.
- Hazeu, G.W.; Schuiling, C.; Dorland, G.J. van; Oldengarm, J.; Gijsbertse, H.A. Landelijk  
Grondgebruiksbestand Nederland versie 6 (LGN6) : vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik.  
Alterra, 2010 (Alterra-rapport 2012).
- Hoffman, M.; Johnsson, H. (2000) Nitrogen Leaching from Agricultural Land in Sweden. Model  
Calculated Effects of Measures to Reduce Leaching Loads. *Ambio*, Vol. 29 (2), pp. 67-73.
- Klein, J. 2011. Zware metalen in grondwater. rapport 1204148-003, Deltares, Utrecht; Klein, J. 2012.  
Memo Aanvulling op rapport 'Zware metalen in grondwater' - verwijderen uitschieters, Deltares,  
Utrecht.
- Kroes, J.G., C.W.J. Roest, P.E. Rijtema en L.J. Locht, 1990, *De invloed van bemestingsscenario's op de  
afvoer van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater system in Nederland*. Rapport 55, DLO  
Staring Centrum, Wageningen.
- Kroes, J.G. en J.C. van Dam (eds.), 2003. *Reference Manual SWAP version 3.0.3*. Report 773, Alterra,  
Wageningen.
- Kroon, T., P. Finke, I. Peereboom, A Beusen, 2001. Redesign STONE, de nieuwe schematisatie voor  
STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische  
parameters. RIZA rapport 2001.017, Lelystad.
- Luesink, H.H., P.W. Blokland en J.N. Bosma, 2011. Monitoring Mestmarkt 2010,  
achtergronddocumentatie. Den Haag, LEI, Rapport 2011-048.
- Massop, H.Th.L., P.J.T. van Bake!, T. Kroon, J.G. Kroes, A. Tiktak & W. Werkman., 2005. Op zoek naar  
de ware neerslag en verdamping. Toetsing van de met met STONE 2. 1 -instrumentarium  
berekende verdamping aan literatuurgegevens en aan regionale waterbalansen, en de  
gevoeligheid van het neerslagoverschot op de uitspoeling van nutriënten. Wageningen, Alterra,  
Alterra-rapport 1158.
- Mol, G, Spijker, J., van Gaans, P, Römkens P, 2012. Geochemische bodematlas van Nederland.  
Wageningen, Wageningen Academic Publishers. 275 p.
- Peereboom, I., 2005. Opschaling STONE resultaten ten behoeve van ERC. RIZA werkdokument  
2005.068x.
- Renaud, L.V., J. Roelsma en P. Groenendijk, 2004. *User's guide of the ANIMO 4.0 nutrient leaching  
model*. Report 224, Alterra, Wageningen, 154 pp.
- Renaud, L.V., 2014. Factsheet t.b.v. Emissieschattingen Diffuse bronnen. Uit- en afspoeling N en P  
van landbouw- en natuurbodems, versie december 2014.
- Renaud, L.V., Bonten, L.T.C., Van der Bolt, F.J.E., 2012. Actualisatie Landelijke Emissieregistratie  
2011. Uit- en afspoeling nutriënten en zware metalen. Alterra-rapport 2329.

- 
- Römkens, P.F.A.M., Bonten, L.T.C., Rietra, R.P.J.J., Groenenberg, J.E., Plette, A.C.C., Bril, J., 2003. Uitspoeling van zware metalen uit landbouwgronden; schatting van de bijdrage van uitspoeling uit landbouwgronden aan de belasting van het oppervlaktewater: modelaanpak en resultaten. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 791.
- Römkens PFAM, Groenenberg JE, Bonten LTC, de Vries W, Bril J. 2004. Derivation of partition relationships to calculate Cd, Cu, Ni, Pb and Zn solubility and activity in soil solutions. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 305.
- Römkens PFAM, Rietra RPJJ. 2008. Zware metalen en nutriënten in dierlijke mest in 2008. Alterra. Wageningen, Alterra-rapport 1729.
- Römkens, 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.
- Römkens, 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.
- Stone-regionale emissies van Nutriënten, 2007. Internet adres (dd. 22-mei-2009)  
<http://www.stone.alterra.nl/>
- Van der Hauw, 2013. Water- en stofbalansen: betrouwbaar of drijfzand? *Stromingen* 19 (2) 25-35.  
<http://www.grontmij.nl/MediaCenter/Nieuwsarchief/Documents/Water%20en%20stofbalansen%20betrouwbaar%20of%20drijfzand.pdf>
- Vermooten, J.S.A., L. Vasak, J. Griffioen, G.T. Klaver, R.W. Vernes en H.J.T. Weerts, 2005. Afbakening van het topsysteem voor kartering van de reactiviteit van de Nederlandse ondergrond. TNO-rapport NITG 05-121-A.
- 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.
- Vrolijk, H.C.J., P.W. Blokland, F. Bouma, W. Dol, H. Luesink, G. Kruseman en L. Mokveld, 2009. MAMBO: Design principles, model structure and data use, LEI, The Hague. Concept.
- Willems, W.J., A.H.W. Beusen, L.V. Renaud, H.H. Luesink, J.G. Conijn, G.J. v.d. Born, J.G. Kroes, P. Groenendijk, O.F. Schoumans en H. v.d. Weerd, 2008. *Prognose milieugevolgen van het nieuwe mestbeleid*. Achtergrondrapport Evaluatie Meststoffenwet 2007. Milieu en Natuur Planbureau, Rapport nr. 5000124002/2007.
- Woestenburg, M. en T.P. van Tol-Leenders, 2011. Sturen op schoon water: eindrapportage project Monitoring Stroomgebieden. Alterra, Wageningen.
- Wolf, J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter en H. van Zeijts, The integrated modeling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands, *Environmental Modelling & Software*, 18 (2003), pp. 597-617.
- Jan Aben, Artikel Ndeposition\_bijdrage\_Jan\_Aben\_28mei2013.

# Bijlage 1    Overzicht van de rekensessie voor de EmissieRegistratie 2013

Overzicht van de hydrologische rekensessie voor EmissieRegistratie 2013					
Gemeten weer			Klimaatreeks		
Rekenjaar	jaar	opmerking	Rekenjaar	jaren	opmerking
2001	2001		2001	1981-2010	
2002	2002		2002	1981-2010	
2003	2003		2003	1981-2010	
2004	2004		2004	1981-2010	
2005	2005		2005	1981-2010	
2006	2006	Vanggewas	2006	1981-2010	Vanggewas
2007	2007	Vanggewas	2007	1981-2010	Vanggewas
2008	2008	Vanggewas	2008	1981-2010	Vanggewas
2009	2009	Vanggewas	2009	1981-2010	Vanggewas
2010	2010	Vanggewas	2010	1981-2010	Vanggewas
2011	2011	Vanggewas	2011	1981-2010	Vanggewas
2012	2012	Vanggewas	2012	1981-2010	Vanggewas
2013	2013	Vanggewas	2013	1981-2010	Vanggewas

## Bijlage 2 Uit- en afspoeling van N en P per landgebruiksvorm

Tabel B2.1

*Uit- en afspoeling van stikstof en fosfor in Mkg per landgebruiksvorm voor de berekening met gemeten weergegevens.*

Jaar	Landgebruik	NtotAfsp	NtotUitsp	NtotAfvoer	PtotAfsp	PtotUitsp	PtotAfvoer
		Mkg	Mkg	Mkg	Mkg	Mkg	Mkg
1985	akkerbouw	0.216	18.686	18.902	0.014	1.407	1.421
1990	akkerbouw	0.044	14.924	14.968	0.001	0.977	0.978
1995	akkerbouw	0.072	22.281	22.353	0.004	1.340	1.344
2000	akkerbouw	0.054	31.385	31.439	0.003	1.734	1.737
2005	akkerbouw	0.061	20.153	20.214	0.012	1.186	1.198
2006	akkerbouw	0.095	19.826	19.921	0.005	1.141	1.146
2007	akkerbouw	0.086	33.299	33.386	0.004	1.856	1.861
2008	akkerbouw	0.060	21.199	21.259	0.004	1.404	1.408
2009	akkerbouw	0.119	14.633	14.751	0.007	0.990	0.998
2010	akkerbouw	0.099	22.349	22.448	0.007	1.380	1.387
2011	akkerbouw	0.075	19.554	19.629	0.005	1.344	1.350
2012	akkerbouw	0.036	22.095	22.131	0.003	1.651	1.654
2013	akkerbouw	0.266	17.026	17.292	0.005	1.278	1.283
1985	gras	1.442	29.456	30.899	0.258	2.067	2.325
1990	gras	0.240	27.753	27.993	0.021	1.732	1.753
1995	gras	0.425	38.675	39.099	0.031	2.015	2.046
2000	gras	0.204	41.092	41.295	0.018	2.460	2.478
2005	gras	0.288	19.515	19.803	0.029	1.625	1.654
2006	gras	0.485	17.331	17.816	0.029	1.560	1.589
2007	gras	0.359	35.045	35.403	0.038	2.347	2.385
2008	gras	0.138	23.846	23.984	0.017	1.974	1.991
2009	gras	0.173	14.845	15.018	0.024	1.367	1.391
2010	gras	0.381	22.815	23.196	0.044	1.808	1.852
2011	gras	0.219	19.717	19.936	0.032	1.795	1.826
2012	gras	0.574	22.726	23.300	0.043	2.214	2.256
2013	gras	0.619	17.461	18.079	0.032	1.729	1.761
1985	mais	0.079	9.702	9.781	0.004	0.380	0.384
1990	mais	0.008	13.977	13.986	0.001	0.454	0.455
1995	mais	0.030	15.700	15.730	0.003	0.589	0.591
2000	mais	0.008	10.706	10.715	0.001	0.511	0.512
2005	mais	0.009	4.798	4.807	0.001	0.295	0.297
2006	mais	0.020	4.019	4.040	0.003	0.251	0.254
2007	mais	0.009	9.737	9.746	0.002	0.557	0.559
2008	mais	0.004	4.900	4.904	0.001	0.344	0.345
2009	mais	0.025	2.897	2.922	0.005	0.226	0.231
2010	mais	0.016	4.901	4.917	0.003	0.313	0.316
2011	mais	0.004	4.545	4.549	0.001	0.356	0.358
2012	mais	0.004	4.468	4.471	0.001	0.400	0.401
2013	mais	0.009	3.647	3.656	0.001	0.279	0.280

Jaar	Landgebruik	NtotAfsp	NtotUitsp	NtotAfvoer	PtotAfsp	PtotUitsp	PtotAfvoer
		Mkg	Mkg	Mkg	Mkg	Mkg	Mkg
1985	natuur	0.148	4.358	4.506	0.007	0.290	0.297
1990	natuur	0.007	2.444	2.451	0.000	0.220	0.221
1995	natuur	0.014	7.065	7.080	0.001	0.343	0.344
2000	natuur	0.008	5.010	5.018	0.001	0.368	0.369
2005	natuur	0.015	2.475	2.491	0.002	0.242	0.243
2006	natuur	0.016	2.246	2.262	0.001	0.229	0.231
2007	natuur	0.011	4.712	4.723	0.001	0.356	0.357
2008	natuur	0.009	3.686	3.695	0.001	0.304	0.305
2009	natuur	0.075	2.139	2.214	0.004	0.206	0.209
2010	natuur	0.018	3.149	3.167	0.002	0.278	0.279
2011	natuur	0.015	3.271	3.286	0.002	0.274	0.276
2012	natuur	0.009	3.723	3.732	0.001	0.325	0.326
2013	natuur	0.027	3.207	3.234	0.002	0.266	0.267

Tabel B2.2

*Uit- en afspoeiing van stikstof en fosfor in Mkg per landgebruiksvorm voor de weereffecten gecorrigeerde berekeningen.*

Jaar	Landgebruik	NtotAfsp	NtotUitsp	NtotAfvoer	PtotAfsp	PtotUitsp	PtotAfvoer
		Mkg	Mkg	Mkg	Mkg	Mkg	Mkg
1985	akkerbouw	0.349	21.036	21.385	0.026	1.448	1.474
1990	akkerbouw	0.176	19.993	20.169	0.034	1.345	1.379
1995	akkerbouw	0.213	24.014	24.227	0.031	1.370	1.401
2000	akkerbouw	0.175	26.996	27.171	0.026	1.389	1.414
2005	akkerbouw	0.193	22.659	22.852	0.028	1.368	1.397
2006	akkerbouw	0.175	23.151	23.326	0.037	1.369	1.405
2007	akkerbouw	0.158	23.711	23.869	0.024	1.370	1.394
2008	akkerbouw	0.162	23.758	23.919	0.023	1.370	1.393
2009	akkerbouw	0.144	22.089	22.234	0.007	1.369	1.375
2010	akkerbouw	0.144	19.796	19.940	0.007	1.360	1.367
2011	akkerbouw	0.148	19.759	19.907	0.008	1.355	1.363
2012	akkerbouw	0.147	20.092	20.239	0.009	1.348	1.357
2013	akkerbouw	0.146	19.897	20.043	0.011	1.341	1.351
1985	gras	1.463	36.150	37.613	0.274	2.174	2.448
1990	gras	1.275	35.657	36.932	0.225	2.066	2.291
1995	gras	0.958	39.665	40.622	0.080	2.038	2.118
2000	gras	0.728	34.219	34.947	0.088	2.013	2.100
2005	gras	0.560	24.841	25.401	0.053	1.974	2.027
2006	gras	0.553	23.952	24.505	0.048	1.953	2.001
2007	gras	0.501	23.452	23.953	0.038	1.937	1.975
2008	gras	0.480	22.291	22.770	0.033	1.925	1.958
2009	gras	0.477	21.729	22.206	0.027	1.918	1.945
2010	gras	0.474	21.408	21.882	0.027	1.906	1.932
2011	gras	0.456	20.958	21.414	0.026	1.898	1.924
2012	gras	0.422	20.313	20.736	0.026	1.885	1.910
2013	gras	0.404	19.867	20.271	0.025	1.880	1.905
1985	mais	0.056	11.534	11.590	0.003	0.425	0.428
1990	mais	0.041	19.180	19.221	0.003	0.691	0.694
1995	mais	0.026	12.537	12.563	0.003	0.508	0.511
2000	mais	0.024	7.918	7.943	0.003	0.423	0.426
2005	mais	0.020	6.456	6.476	0.003	0.414	0.417
2006	mais	0.015	5.927	5.943	0.003	0.390	0.393
2007	mais	0.016	5.624	5.640	0.003	0.372	0.374
2008	mais	0.015	5.395	5.410	0.003	0.362	0.364
2009	mais	0.014	5.018	5.032	0.002	0.357	0.359
2010	mais	0.013	4.756	4.769	0.002	0.351	0.354
2011	mais	0.014	4.528	4.542	0.002	0.347	0.349
2012	mais	0.014	4.363	4.377	0.002	0.341	0.343
2013	mais	0.013	4.220	4.233	0.002	0.338	0.340
1985	natuur	0.079	4.895	4.974	0.004	0.288	0.292
1990	natuur	0.028	4.273	4.300	0.001	0.294	0.295
1995	natuur	0.025	4.314	4.339	0.002	0.297	0.299
2000	natuur	0.024	4.115	4.139	0.002	0.298	0.300
2005	natuur	0.022	3.888	3.910	0.002	0.298	0.299
2006	natuur	0.022	3.872	3.894	0.002	0.298	0.300
2007	natuur	0.022	3.850	3.872	0.002	0.298	0.300
2008	natuur	0.022	3.808	3.830	0.002	0.298	0.299
2009	natuur	0.021	3.779	3.801	0.002	0.297	0.299
2010	natuur	0.021	3.734	3.755	0.002	0.297	0.298
2011	natuur	0.022	3.741	3.764	0.002	0.297	0.299
2012	natuur	0.022	3.745	3.766	0.002	0.297	0.299
2013	natuur	0.020	3.708	3.728	0.002	0.297	0.299

---

## Bijlage 3 Disclaimer voor gebruik van resultaten in regionale studies

*Disclaimer op te nemen op de ER website, liefst automatisch zichtbaar voorafgaand aan downloaden !!*

### Disclaimer

De data van de diffuse bronnen zijn berekend met het STONE-instrumentarium. Dit is een modelinstrument dat ontwikkeld en getoetst is voor ex-ante-evaluaties voor de rijksoverheid. De schematisering van Nederland en de behorende data-input voor STONE zijn gericht op deze nationale toepassingen.

De betrouwbaarheid van de uitkomsten op het niveau van afwateringsheden is nog niet vastgesteld. De kans bestaat dat de uitkomsten van STONE in bepaalde gebieden (sterk) kunnen afwijken van de werkelijkheid. Een studie om de bruikbaarheid van STONE op dergelijke, meer onderscheidende schaalniveaus te onderbouwen, ontbreekt; wel wordt geprobeerd om in de Evaluatie Landbouw en KRW met de waterbeheerders hier stap voor stap meer inzicht in te krijgen.

Als u bevestigt dat u notie heeft genomen van deze opmerking over de toepassingsmogelijkheden van deze ER-data kunt u deze downloaden.

---

## Bijlage 4    Overzicht aangeleverde resultaten van Stone2.4 voor ER2013

Bestandsnaam	Inhoud
Rapport Actualisatie Landelijke EmissieRegistratie 2013	Dit rapport met aandacht voor de verklaring van de verschillen met de berekeningen uit 2011 en beschrijving van de doorgevoerde verbeteringen in de berekeningsmethode.
Factsheet ER2013 uit en afspoeling Nutrienten landbouw.pdf	Factsheet met de uit- en afspoeling van nutriënten door landbouw- en natuurbodems waarin de modelberekeningen worden beschreven.
Factsheet_uitspoeling_ZM_ER2013.pdf	Factsheet met de uitspoeling van zware metalen uit landbouw- en natuurbodems waarin de modelberekeningen worden beschreven.
vrachtenER2013_dec_2014.xls -AE	Vrachten per afwateringseenheid berekend met gemeten weergegevens voor de peiljaren 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 t/m 2013: resultaten Stone2.4: vrachten in kg per afwateringseenheid: AE, AE_N_uit, AE_P_uit, AE_N_af, AE_P_af
vrachtenER2013_dec_2014.xls -Landuse	Vrachten stikstof en fosfor per landgebruiksvorm naar het oppervlaktewater berekend met gemeten weergegevens en weereffecten gecorrigeerd voor de peiljaren 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 t/m 2013. Zie Bijlage 5.
Vrachten_AE.xlsx	Vrachten per afwateringseenheid berekend met gemeten weergegevens voor de peiljaren 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 t/m 2013: resultaten Stone2.4: vrachten in kg per afwateringseenheid: AE, AE_Cd, AE_Cu, AE_Ni, AE_Pb, AE_Zn
Uitspoeling landelijk.xlsx	Landelijke vrachten zware metalen met werkelijke meteo voor de peiljaren 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 t/m 2013: landelijke uitspoeling in ton/jaar
bodembelasting_ZM.xlsx	Landelijke bodembelasting van zware metalen op landbouw- en natuurbodems in ton/jr
Disclaimer STONE-ER-C versie5.doc	Zie Bijlage 3



---

## Bijlage 5    Vergelijking met vorige versie van de EmissieRegistratie per landgebruiksvorm

In deze bijlage wordt een vergelijking gegeven van de rekenresultaten zoals die zijn berekend voor de EmissieRegistratie 2010 en EmissieRegistratie 2013 met STONE2.4 voor de vier landgebruiksvormen akkerbouw, grasland, snijmaïs en natuur.

De landelijke daling van de stikstofbelasting gemiddeld voor de peiljaren is 4.2% en voor fosfor is de daling gemiddeld 6.9%. Deze daling is vooral het gevolg van een lager areaal natuur.

In Tabel B5.1 is per landgebruiksvorm de vracht naar het oppervlaktewater berekend voor ER2010 uitgezet tegen de vracht berekend met STONE2.4 voor ER2013.

Wanneer onderscheid wordt gemaakt naar landgebruiksvorm is daling van de belasting van stikstof en fosfor het gevolg van een lager akkerbouwareaal. Het areaal is afgenomen met 10% en daarmee zijn ook de vrachten met 10% afgenomen. Voor grasland is het areaal toegenomen met 9%, en ook de stikstof- en fosforvracht zijn daarmee met 9% afgenomen. Ditzelfde geldt ook voor snijmaïs. Het areaal snijmaïs is toegenomen met 15% en de vrachten zijn daarmee ook toegenomen met 15%. Het areaal natuur is met 40% afgenomen, maar de gemiddelde vrachten voor stikstof en fosfor zijn iets meer afgenomen, respectievelijk 48% en 51%. Deze extra afname van de vrachten van stikstof en fosfor komt doordat de gemiddelde drainageflux is afgenomen, waardoor minder stikstof en fosfor uitspoelt naar het oppervlaktewater. De afname van deze drainageflux komt doordat bij de herschaling naar het grondgebruik van LGN6 natuurplots zijn verdwenen met een hoge drainageflux.

Tabel B5.1

*N-afvoer en P-afvoer (Mkg=10<sup>6</sup> kg) per landgebruiksvorm met de gemeten weergegevens voor de peiljaren bij de vorige (ER2010) en de nieuwe (ER2013) berekeningen.*

Jaar	Landgebruik	N-totaal afvoer in Mkg			P-totaal afvoer in Mkg		
		ER2010	ER2013	Vershil	ER2010	ER2013	Vershil
1985	akkerbouw	21.3	18.9	-11.1%	1.66	1.42	-14.5%
1990	akkerbouw	16.5	15.0	-9.3%	1.15	0.98	-14.9%
1995	akkerbouw	24.3	22.4	-8.1%	1.53	1.34	-12.3%
2000	akkerbouw	34.7	31.4	-9.4%	2.02	1.74	-14.1%
2005	akkerbouw	22.8	20.2	-11.3%	1.42	1.20	-15.4%
2006	akkerbouw	22.6	19.9	-11.9%	1.36	1.15	-16.0%
2007	akkerbouw	37.0	33.4	-9.8%	2.16	1.86	-13.7%
2008	akkerbouw	23.8	21.3	-10.8%	1.66	1.41	-15.3%
2009	akkerbouw	16.6	14.8	-10.9%	1.18	1.00	-15.2%
2010	akkerbouw	24.2	22.4	-7.2%	1.62	1.39	-14.6%
2011	akkerbouw		19.6			1.35	
2012	akkerbouw		22.1			1.65	
2013	akkerbouw		17.3			1.28	
1985	gras	28.3	30.9	9.1%	2.15	2.32	8.0%
1990	gras	25.9	28.0	8.0%	1.62	1.75	7.9%
1995	gras	36.2	39.1	8.2%	1.87	2.05	9.6%
2000	gras	38.0	41.3	8.8%	2.28	2.48	8.5%
2005	gras	18.2	19.8	8.9%	1.52	1.65	8.5%
2006	gras	16.5	17.8	8.3%	1.47	1.59	7.9%
2007	gras	32.3	35.4	9.5%	2.19	2.38	9.0%
2008	gras	21.9	24.0	9.4%	1.84	1.99	8.1%
2009	gras	13.8	15.0	9.1%	1.29	1.39	8.2%
2010	gras	21.4	23.2	8.4%	1.70	1.85	8.7%
2011	gras		19.9			1.83	
2012	gras		23.3			2.26	
2013	gras		18.1			1.76	
1985	mais	8.5	9.8	15.3%	0.31	0.38	23.4%
1990	mais	11.7	14.0	19.5%	0.35	0.46	30.2%
1995	mais	14.2	15.7	10.4%	0.50	0.59	18.1%
2000	mais	9.5	10.7	13.2%	0.41	0.51	24.2%
2005	mais	4.1	4.8	15.9%	0.23	0.30	27.5%
2006	mais	3.5	4.0	16.8%	0.20	0.25	28.5%
2007	mais	8.6	9.7	13.1%	0.45	0.56	24.0%
2008	mais	4.2	4.9	16.3%	0.26	0.35	30.4%
2009	mais	2.5	2.9	14.8%	0.18	0.23	25.6%
2010	mais	4.4	4.9	12.5%	0.25	0.32	25.3%
2011	mais		4.5			0.36	
2012	mais		4.5			0.40	
2013	mais		3.7			0.28	
1985	natuur	8.5	4.5	-47.0%	0.61	0.30	-51.3%
1990	natuur	5.0	2.5	-50.9%	0.46	0.22	-52.3%
1995	natuur	12.4	7.1	-42.7%	0.66	0.34	-48.1%
2000	natuur	9.5	5.0	-47.3%	0.75	0.37	-51.0%
2005	natuur	4.9	2.5	-49.2%	0.50	0.24	-50.9%
2006	natuur	4.6	2.3	-50.3%	0.48	0.23	-51.8%
2007	natuur	9.2	4.7	-48.5%	0.73	0.36	-51.3%
2008	natuur	7.0	3.7	-47.4%	0.63	0.30	-51.3%
2009	natuur	4.3	2.2	-47.9%	0.42	0.21	-49.9%
2010	natuur	6.3	3.2	-49.6%	0.58	0.28	-51.5%
2011	natuur		3.3			0.28	
2012	natuur		3.7			0.33	
2013	natuur		3.2			0.27	

Tabel B5.2

*N-afvoer en P-afvoer (Mkg=10<sup>6</sup> kg) per landgebruiksvorm berekend voor de ER2010 en voor de ER2013 met de weereffecten gecorrigeerde methode.*

Jaar	Landgebruik	NtotAfvoer_Mkg			PtotAfvoer_Mkg		
		ER2010	ER2013	Stijging	ER2010	ER2013	Stijging
1985	akkerbouw	22.8	21.4	-6.3%	1.59	1.47	-7.2%
1990	akkerbouw	21.3	20.2	-5.2%	1.50	1.38	-8.0%
1995	akkerbouw	25.7	24.2	-5.7%	1.52	1.40	-8.1%
2000	akkerbouw	29.6	27.2	-8.2%	1.54	1.41	-8.0%
2005	akkerbouw	24.9	22.9	-8.3%	1.52	1.40	-8.1%
2006	akkerbouw	25.4	23.3	-8.1%	1.53	1.41	-8.2%
2007	akkerbouw	26.0	23.9	-8.1%	1.52	1.39	-8.2%
2008	akkerbouw	26.1	23.9	-8.3%	1.52	1.39	-8.3%
2009	akkerbouw	24.3	22.2	-8.7%	1.50	1.38	-8.2%
2010	akkerbouw	21.3	19.9	-6.5%	1.49	1.37	-8.1%
2011	akkerbouw		19.9			1.36	
2012	akkerbouw		20.2			1.36	
2013	akkerbouw		20.0			1.35	
1985	gras	31.9	37.6	18.0%	2.11	2.45	16.0%
1990	gras	32.0	36.9	15.3%	1.94	2.29	17.9%
1995	gras	35.4	40.6	14.7%	1.83	2.12	15.8%
2000	gras	30.5	34.9	14.6%	1.81	2.10	16.1%
2005	gras	22.0	25.4	15.3%	1.75	2.03	16.1%
2006	gras	21.2	24.5	15.4%	1.72	2.00	16.1%
2007	gras	20.7	24.0	15.8%	1.70	1.98	16.0%
2008	gras	19.7	22.8	15.7%	1.69	1.96	16.0%
2009	gras	19.2	22.2	15.7%	1.68	1.94	16.0%
2010	gras	19.0	21.9	14.9%	1.67	1.93	15.5%
2011	gras		21.4			1.92	
2012	gras		20.7			1.91	
2013	gras		20.3			1.90	
1985	mais	9.6	11.6	20.5%	0.32	0.43	31.7%
1990	mais	15.5	19.2	23.6%	0.52	0.69	33.6%
1995	mais	10.4	12.6	20.5%	0.38	0.51	35.1%
2000	mais	6.5	7.9	23.1%	0.31	0.43	35.9%
2005	mais	5.2	6.5	25.6%	0.30	0.42	37.5%
2006	mais	4.7	5.9	26.5%	0.28	0.39	38.2%
2007	mais	4.5	5.6	26.2%	0.27	0.37	38.2%
2008	mais	4.3	5.4	25.6%	0.26	0.36	38.4%
2009	mais	4.0	5.0	24.6%	0.26	0.36	38.5%
2010	mais	3.8	4.8	25.5%	0.25	0.35	39.5%
2011	mais		4.5			0.35	
2012	mais		4.4			0.34	
2013	mais		4.2			0.34	
1985	natuur	8.6	5.0	-41.9%	0.56	0.29	-47.4%
1990	natuur	7.6	4.3	-43.2%	0.56	0.30	-46.9%
1995	natuur	7.5	4.3	-42.0%	0.56	0.30	-46.4%
2000	natuur	7.0	4.1	-40.7%	0.56	0.30	-46.1%
2005	natuur	6.6	3.9	-40.7%	0.56	0.30	-46.1%
2006	natuur	6.5	3.9	-40.5%	0.56	0.30	-46.1%
2007	natuur	6.5	3.9	-40.4%	0.56	0.30	-46.0%
2008	natuur	6.5	3.8	-40.6%	0.55	0.30	-46.1%
2009	natuur	6.4	3.8	-40.9%	0.55	0.30	-46.1%
2010	natuur	6.4	3.8	-41.2%	0.55	0.30	-46.2%
2011	natuur		3.8			0.30	
2012	natuur		3.8			0.30	
2013	natuur		3.7			0.30	

# Bijlage 6 Berekening aanvoer van metalen

## Kunstmest en dierlijke mest

De aanvoer van metalen via kunstmest en dierlijke mest is berekend door het gehalte van zware metalen in verschillende soorten mest te vermenigvuldigen met de aanvoer van de diverse soorten mest per STONE-plot. Voor de aanvoer van mest zijn de resultaten van het model Mambo gebruikt. Deze aanvoer is dezelfde als die wordt gebruikt voor de berekening van de uitspoeling van N en P met STONE.

Door veranderingen in beleid en in voerpraktijken veranderen de gehalten in van metalen in dierlijke mest in de tijd. Voor de periode 1990 t/m 1999 zijn daarom de gehalten zoals gepubliceerd in Driessen & Roos (1996) gebruikt, zie Tabel B6.1. Voor de jaren 2000 en verder zijn de gehalten uit Römken & Rietra (2009) gebruikt, zie Tabel B6.2. Een overzicht van de gehalten per mestsoort is hieronder weergegeven. Voor de aanvoer van metalen via kunstmest zijn de gehalten uit De Vries *et al.* (in prep.) gebruikt (zie Tabel B6.3).

Tabel B6.1

*Gehalten van zware metalen in mest volgens Driessen en Roos (1996).*

	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
rund	0.23	42.00	14.33	14.00	156.00
varken	0.45	413.33	21.00	16.67	662.33
pluimvee	0.21	74.50	13.85	14.25	353.50

Tabel B6.2

*Gehalten van zware metalen in mest volgens Römken en Rietra (2009).*

	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
rund	0.25	135.00	4.50	4.80	198.00
varken	0.35	404.00	9.20	5.60	952.00
pluimvee	0.20	78.00	3.30	6.30	266.00

Tabel B6.3

*Gehalten van metalen in N en P kunstmeststoffen (mg metaal/kg N of P).*

	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
P <sup>1)</sup>	105.2	178.4	257.6	21.0	2242
N <sup>2)</sup>	0.36	8.4	-	84	25

<sup>1)</sup> pers. comm EFMA (European Fertilizer Management Association)

<sup>2)</sup> De Vries *et al.* (in prep.)

## Overige bronnen

Voor de aanvoer van zware metalen via depositie zijn de schattingen uit de EmissieRegistratie gebruikt. De aanvoer van metalen via andere bronnen als organische bodemverbetersaars en bestrijdingsmiddelen wordt verwaarloosd, omdat op landelijke schaal de bijdrage van deze bronnen klein en geografisch zeer heterogeen is (Delahaye *et al.*, 2003)

### Berekening afvoer door gewasopname

De netto afvoer van metalen met oogst van het gewas is berekend door de opbrengst (de Vries *et al.*, in prep.) te vermenigvuldigen met het gehalte in de oogstbare delen van het gewas:

$$Me_{opn} = Y \cdot \frac{Me_{plant}}{1000} \quad (1)$$

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

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

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

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

Voor Cd en Zn konden in het algemeen goede relaties afgeleid worden. Voor Cu en zijn de relaties in het algemeen slechter. De coëfficiënten voor vergelijking 2 staan in Tabel B6.4 t/m B6.6

Voor Ni en Pb in alle gevallen en voor Cd, Cu en Zn wanneer er geen goede relatie voor het metaalgehalte in de plant bestaat, gebruiken we het mediane gewasgehalte. Deze staan vermeld in Tabel B6.7 en B6.8.

Tabel B6.4

Coëfficiënten voor het berekenen van cadmiumgehalten in gewassen.

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

Tabel B6.5

Coëfficiënten voor het berekenen van kopergehalten in gewassen.

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

**Tabel B6.6***Coëfficiënten voor het berekenen van zinkgehalten in gewassen.*

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

**Tabel B6.7***Mediane concentraties in overige akkerbouwgewassen (mg/kg).*

	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
zand	0.34	5.9	0.7	0.63	64
klei	0.11	11.3	0.7	0.26	83
veen	0.4	8.3	0.7	1.33	79

**Tabel B6.8***Mediane metaal concentraties in bos en natuur (mg/kg).*

	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
loofbomen	0.3	10	1.0	5	10
sparren	0.3	10	1.0	5	10
dennen	0.3	10	1.0	5	10
heide	0.15	10	1.0	2	10



---

Alterra Wageningen UR  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)

Alterra-rapport 2638  
ISSN 1566-7197



---

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---





To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Alterra Wageningen UR  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 317 48 07 00  
[www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)

Alterra-rapport 2638  
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

