



ALTERRA

WAGENINGEN UR

# Bronnen van nutriënten in het landelijke gebied

Analyse van de bijdrage van landbouw aan oppervlaktewaterkwaliteit met STONE 2.3 resultaten

E.M.P.M. van Boekel  
L.V. Renaud  
F.J.E. van der Bolt  
P. Groenendijk



Alterra-rapport 1816, ISSN 1566-7197

Bronnen van nutriënten in het landelijke gebied



## **Bronnen van nutriënten in het landelijke gebied**

**Analyse van de bijdrage van landbouw aan oppervlaktewaterkwaliteit met  
STONE 2.3 resultaten**

**E.M.P.M. van Boekel**

**L.V. Renaud**

**F.J.E. van der Bolt**

**P. Groenendijk**

**Alterra-rapport 1816**

**Alterra, Wageningen, 2008**

## REFERAAT

Van Boekel, E.M.P.M., L.V. Renaud, F.J.E. van der Bolt, en P. Groenendijk, 2008. *Bronnen van nutriënten in het landelijke gebied; Analyse van de bijdrage van de landbouw aan oppervlaktewaterkwaliteit met STONE 2.3 resultaten*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1816. 53 blz.; 3 fig.; 10 tab.; 29 ref.

De bijdrage van de bronnen van stikstof en fosfor in het landelijke gebied aan de belasting op het oppervlaktewater is geanalyseerd met resultaten van STONE 2.3. De onderlinge verhouding van bijdragen aan de belasting van oppervlaktewater is bepaald door brontermen uit te schakelen en vervolgens te bepalen welke vermindering in uitspoeling optreedt ten opzichte van de referentieberekening. De actuele bijdrage van de bron landbouw blijkt kleiner dan tot nu toe is aangenomen. De bijdrage van de bron bodem en lokaal ook de bijdrage van de bron kwel kunnen niet worden verwaarloosd. De resultaten geven richtingen aan. Door de verworven inzichten kan gerichter worden gezocht naar maatregelen om de Kaderrichtlijn Water te implementeren.

Trefwoorden: Bronnen, landelijke gebied, landbouw, bemesting, nutriënten, oppervlaktewaterkwaliteit, maatregelen, Kaderrichtlijn Water.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl) (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra vestrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op [www.boomblad.nl/rapportenservice](http://www.boomblad.nl/rapportenservice).

© 2008 Alterra  
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland  
Tel.: (0317) 480700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

# Inhoud

Samenvatting .....	7
1 Inleiding	13
2 Bronnen van nutriënten in Nederland	17
2.1 Emissieregistratie (ER-C)	18
2.2 Afbakening	18
3 Werkwijze	19
3.1 Bronnen	19
3.2 Varianten	20
3.3 Referentie	21
3.4 Realisatie	21
4 Resultaten	25
4.1 Landelijk	25
4.2 Grondsoort	27
4.3 Bijdrage bronnen in Nederland	30
5 Plausibiliteit	33
5.1 Plausibiliteit	33
6 Discussie	37
7 Conclusies	41
Literatuur .....	43
Bijlage 1 STONE.....	47
Bijlage 2 . Van STONE 2.1.1 naar STONE 2.3.....	49



## Samenvatting

Verontreinigende stoffen vinden via lozingen, rioolwater-overstorten, de bodem of de lucht hun weg naar het oppervlaktewater. De Kaderrichtlijn Water (KRW) vraagt, en het milieubeleid is er op gericht, dit probleem zoveel mogelijk bij de bron aan te pakken. Waterbeheerders zijn de afgelopen decennia in staat gebleken om puntbronnen effectief aan te pakken met de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (WVO). Daardoor vormen momenteel vaak de diffuse bronnen de voornaamste oorzaak van de vervuiling van het water. Dat geldt ook voor stikstof (N) en fosfor (P) die onder andere door landbouwkundig gebruik in het milieu komen. Voor de realisatie van het Derde nitraatactieprogramma wordt door de sector landbouw al een inspanning geleverd. Insteek van de overheid is dat in 2009 de stikstofgebruiksnormen dusdanig in de mestwetgeving zijn vastgelegd dat op termijn aan de doelstelling van de nitraatrichtlijn wordt voldaan (<50 mg NO<sub>3</sub> in het bovenste grondwater) en dat in 2015 voor fosfor evenwicht tussen bemesting en gewasafvoer is bereikt. De evaluatie mestwetgeving in 2007 (EMW2007) geeft aan dat het met bemestingsmaatregelen mogelijk is de doelen van de nitraatrichtlijn nagenoeg gemiddeld te halen. Uiteraard is dit afhankelijk van de gebiedsgrootte waarover wordt gemiddeld. Daarbinnen vinden overschrijdingen en onderschrijdingen plaats. Om verdergaande doelen te realiseren, niet alleen naar grondwater maar ook naar oppervlaktewater, moeten aanvullende maatregelen worden geselecteerd. Een gebiedsgericht maatregelenpakket i.e. regionaal maatwerk is nodig omdat de bijdrage van de verschillende bronnen per regio verschilt en omdat de effecten van maatregelen regionaal en lokaal sterk kunnen variëren. Om voor de belangrijkste bronnen van verontreiniging adequate maatregel pakketten op te kunnen stellen en om deze qua kosteneffectiviteit te kunnen vergelijken is het essentieel dat de bijdrage van de bronnen goed bekend is, ook voor de diffuse bronnen.

Doel van deze studie is het onderscheiden van de bijdragen van de verschillende diffuse bronnen (atmosferische depositie, kwel, bodem en landbouw) in het landelijke gebied aan de emissie van nutriënten naar het oppervlaktewater in Nederland, waarbij gebruik gemaakt wordt van het STONE-instrumentarium zoals deze is ingezet voor de ex-ante analyses van de evaluatie mestwetgeving in 2007.

### ***Bijdragen bronnen***

Nationaal gezien vormt de aanvoer van nutriënten uit het buitenland de grootste bron voor de rivieren, kustwateren en Noordzee. Echter, voor de kleinere (zoete) oppervlaktewateren bepalen de binnenlandse bronnen de waterkwaliteit. De landbouw wordt in verschillende analyses benoemd als de grootste bron van stikstof en fosfor in het regionale watersysteem. Deze schattingen van de bijdrage van de bronnen zijn gebaseerd op de emissieregistratie (ER-C). De emissies van de bron landbouw in de ER-C zijn resultaten van het rekeninstrumentarium STONE. Deze rekenresultaten zijn echter de resultante van de bronnen atmosferische depositie, kwel, bodem(toestand) en landbouw. Deze bronnen bepalen de uitspoeling van nutriënten vanuit de bodem naar het oppervlaktewater in het landelijke gebied.



## **Resultaten**

Om de bijdragen van de bronnen atmosferische depositie, kwel, bodem(toestand) en landbouw te kwantificeren is in 2007 een verkenning uitgevoerd naar de bijdrage van de verschillende diffuse bronnen in het landelijk gebied aan de emissie van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater (van der Bolt et al., 2007). Bij deze studie is gebruik gemaakt van de verouderde STONE 2.1.1 en zijn 'oude' inschattingen van toekomstige bemestingsniveaus gehanteerd. In de huidige studie zijn met het 'nieuwe' STONE-instrumentarium (STONE 2.3), zoals toegepast voor de Evaluatie Mestwetgeving 2007, berekeningen uitgevoerd waarbij de verschillende diffuse bronnen (atmosferische depositie, landbouw, bodem en kwel) afzonderlijk dan wel in combinatie zijn geëlimineerd. Daardoor wordt inzicht verkregen in de bijdrage van deze verschillende diffuse bronnen van nutriënten in het landelijke gebied. Er zijn twee varianten onderscheiden: 'historie' en 'actueel'. Bij de eerste wordt de bijdrage vanuit de bodem berekend exclusief de bijdrage door de oplading van de bodem als gevolg van landbouwkundig gebruik met grote mestgiftten die in het verleden heeft plaatsgevonden. De oplading van de bodem door de landbouw wordt dus bij het aandeel van de landbouw geteld. In de tweede situatie wordt de bijdrage van de bronnen anno nu bepaald waarbij de bodemvoorraad als een zelfstandig gegeven wordt beschouwd en wordt de oplading van de bodem door de overige bronnen aan de bodem toegerekend.

Omdat de bijdrage van de afzonderlijke bronnen aan de emissie naar het oppervlaktewater moeilijk is te bepalen via metingen, wordt de bijdrage van de landbouw aan het oppervlaktewatersysteem soms gelijkgesteld aan de 'instroom': de bijdrage van de bemesting aan de belasting op het bodemsysteem. Om de validiteit van deze benadering te toetsen is de bijdrage aan de immissie in het bodem-waterplant-systeem berekend als variant 'instroom'.

In tabel S1 is de procentuele bijdrage van de bronnen aan de belasting van het oppervlaktewater in Nederland voor de periode 2001-2015 voor de benaderingen 'instroom', 'historie' en 'actueel' weergegeven.

*Tabel S1 Procentuele berekende bijdrage van bronnen aan de belasting van het oppervlaktewater in Nederland voor de periode 2001-2015 voor de benaderingen 'instroom', 'historie' en 'actueel'*

	Stikstof			Fosfor		
	instroom	historie	actueel	instroom	historie	actueel
<b>Depositie</b>	8	7 - 21	6 - 13	0	0-23	0-0
<b>Landbouw</b>	91	28 - 40	28 - 35	98	16 - 39	16 - 17
<b>Kwel</b>	1	10 - 16	3 - 3	2	8 - 30	3 - 3
<b>Bodem</b>		43	57		43	81

### **Stikstof**

De actuele bijdrage van de landbouw vormt volgens de berekeningen met STONE 2.3 een beperkt deel van de emissie uit het landbouwkundig gebruikt deel van het landelijke gebied. De berekende bijdrage van de landbouw is voor stikstof voor de variant 'actueel' 28-35 % voor de variant 'historie' 28-40 %, dat wil zeggen inclusief de bijdrage aan het opladen van de bodem. De grootste bijdrage is afkomstig uit de bron bodem. De bijdrage van deze bron is als gevolg van de landbouw tussen 1941

en 2000 en de kwel toegenomen van 43 % voor de variant ‘historie’ naar 57 % voor de variant ‘actueel’. Depositie en kwel leveren kleinere bijdragen.

Het toetsen van de resultaten is lastig omdat de bijdrage van de bronnen op nationale of regionale schaal niet kan worden gemeten. Een vergelijking aan op regionale schaal uitgevoerde bronnenanalyses in veengebieden duidt erop dat de bijdrage uit de bodem in deze studie redelijk goed wordt geschat. De indruk bestaat dat voor kleigebieden deze bron nog steeds wordt overschat. De bijdrage van de landbouw lijkt daardoor in kleigronden te worden onderschat.

### *Fosfor*

De actuele bijdrage van de bron ‘landbouw’ aan de emissie van fosfor bedraagt ongeveer de helft van de historische bijdrage: 16-17 % resp. 16-39 %. Maatregelen gericht op de bron landbouw hebben een beperkt effect op de diffuse belasting van het oppervlaktewater uit het landelijke gebied wanneer deze maatregelen niet ook de bron bodem beïnvloeden. De oplading van de bodem die in het verleden heeft plaatsgevonden maakt dat de bijdrage van de bodem fors is toegenomen en in de actuele situatie de grootste bijdrage levert aan de emissie van fosfor naar het oppervlaktewater. De bijdrage van de bodem in veengronden lijkt redelijk overeen te komen met de resultaten van de bronnenanalyses op regionale schaal. Voor kleigronden is de bijdrage uit de bodem qua orde van grootte met de bijdrage zoals die in regionale analyses is gevonden te hoog. Hierbij moet echter wel rekening worden gehouden met de hoge P-concentratie in het kwelwater voor het regionale gebied. De bijdrage van landbouw aan de emissie van fosfor in veen- en kleigronden lijken redelijk te worden benaderd.

### *Verschillen met STONE 2.1.1*

Van der Bolt et al. (2007) hebben gebruik gemaakt van een eerdere versie van STONE (STONE 2.1.1) met bemestingsscenario’s van EMW 2004. De resultaten van die studie gaven een eerste indicatie van de bijdrage van de bronnen. In deze studie is gebruik gemaakt van een verbeterde versie van de hydrologie en van een verbeterde versie van het STONE-model (STONE 2.3). De variatie in de bijdragen van de bronnen blijkt hierdoor te zijn toegenomen en de berekende bijdrage van de landbouw sluit beter aan bij de resultaten van eerdere balansstudies (tabel S2).

*Tabel S2 Procentuele berekende bijdrage van bronnen aan de belasting van het oppervlaktewater in Nederland voor de periode 2001-2015 voor de benaderingen ‘instroom’, ‘historie’ en ‘actueel’ voor beide STONE-versies.*

	Historie		Actueel	
	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3
<b>Stikstof</b>				
<i>Depositie</i>	5 – 7	7 – 21	4 – 7	6 – 13
<i>Landbouw</i>	27 – 29	28 – 40	23 – 26	28 – 35
<i>Kwel</i>	11 – 14	10 – 16	3 – 5	3 – 3
<i>Bodem</i>	55	43	69	57
<b>Fosfor</b>				
<i>Depositie</i>	0 – 8	0 – 23	0 – 1	0 – 0
<i>Landbouw</i>	44 – 55	16 – 39	25 – 25	16 – 17
<i>Kwel</i>	17 – 24	8 – 30	3 – 3	3 – 3
<i>Bodem</i>	27	43	74	81

Het opvallendste verschil tussen de beide STONE-versies is de range van de bijdrage van de diverse bronnen. De range voor de STONE 2.3 is groter dan voor STONE 2.1.1. Dit geldt zowel voor stikstof als voor fosfor. Dat is een logisch gevolg van de gerealiseerde aanpassingen in STONE 2.3 waardoor verschillen in eigenschappen tussen de plots groter zijn geworden.

Het grootste verschil tussen beide versies is de bijdrage van de bodem voor zowel de historische als de actuele variant. De bijdrage van de bodem voor stikstof neemt voor beide varianten af met 12%, terwijl de bijdrage voor fosfor met respectievelijk 16% voor de variant 'historie' en 7% voor de variant 'actueel' toeneemt.

### ***Conclusies***

De in deze studie gevolgde werkwijze is bruikbaar voor een globale schatting van de bijdrage van de bronnen. De resultaten van deze studie geven een indicatie van de bijdrage van de diffuse bronnen in het landelijke gebied voor de actuele situatie en voor de historie. Daarmee wordt het mogelijk gericht maatregelen te zoeken die ertoe leiden dat de diffuse belasting van het oppervlaktewater met nutriënten uit het landelijke gebied wordt gereduceerd.

Verondersteld is dat de STONE-berekeningen de nutriëntenstromen voor landelijke toepassing voldoende nauwkeurig beschrijven voor het meest gangbare landbouwkundige gebruik. Met alle beperkingen en onzekerheden die in de onderliggende rapporten zijn vermeld, wordt in deze studie verondersteld dat de gesimuleerde absolute vrachten en concentraties op nationale schaal plausibel zijn. Voor een regionale toepassing van STONE om de bijdrage van bronnen te bepalen zal eerst via toetsing moeten worden bepaald of de resultaten van dit instrument op beoogde regionale schaal overal verantwoord zijn te gebruiken.

Aanbevolen wordt om voor de onderbouwing van de implementatie van de Kaderrichtlijn Water deze exercitie te herhalen wanneer nieuwe kennis en data en een nieuwe versie van het STONE rekeninstrument beschikbaar zijn (bijvoorbeeld aanpassingen in de geochemische parametrisering van de ondergrond).

De resultaten van deze studie laten zien dat de bijdrage aan de emissie naar het oppervlaktewater niet gelijk is aan de bijdrage aan de instroom in het systeem. Deze (te) simpele methode is niet geschikt om de bijdragen van bronnen aan de emissie naar het oppervlaktewater te schatten.

De in deze studie berekende directe bijdrage van landbouw als één van de diffuse bronnen in het landelijke gebied voor de emissie van nutriënten naar het oppervlaktewater is kleiner dan in eerdere verschenen bronnenanalyses voor Nederland op basis van de emissieregistratie is geschat, ook wanneer de door de landbouw veroorzaakte bijdrage aan de bodem wordt meegeteld.

De verschillen worden veroorzaakt doordat de bijdrage van de bronnen 'landbouw' en 'natuur' zoals opgenomen in de emissieregistratie zijn opgebouwd uit de bijdragen van de bronnen depositie, landbouw, kwel en bodem. De ER-C bevat niet de emissies uit de landbouw maar de emissies uit het landbouwkundig gebruikte deel van het landelijke gebied.

De berekende bijdrage van de sector landbouw met de 'nieuwe' versie van STONE komt voor veengronden goed overeen met de bronnenanalyses op regionale schaal, voor de 'oude' versie was deze aan de hoge kant. Voor de kleigronden is de bijdrage van de landbouw aan de stikstofbelasting naar het oppervlaktewater voor beide STONE versies te laag, de bijdrage aan de P-belasting komt voor zowel de 'oude' als 'nieuwe' STONE aardig goed overeen.

De bijdrage van de bron 'bodem' is aanzienlijk. Dat wordt mede veroorzaakt door de oplading van de bodemvoorraad als gevolg van landbouwkundige activiteiten in het verleden. De bijdrage van kwel en atmosferische depositie zijn op landelijke schaal kleiner. De bijdrage van kwel kan lokaal groot zijn. Om de doelen van de Kaderrichtlijn Water te realiseren moeten naast maatregelen gericht op de emissie uit de landbouw ook maatregelen gericht op de andere (diffuse) bronnen in het landelijke gebied worden verkend, het is daarbij noodzakelijk de bronnen en maatregelen op regionaal niveau onderbouwd te kunnen kwantificeren. Om de belasting uit het (landbouwkundig gebruikte deel van het) landelijke gebied te reduceren zouden vooral ook maatregelen gericht op de bron bodem nader onderzocht moeten worden.



# 1 Inleiding

## *Achtergrond*

De Kaderrichtlijn Water (KRW) vraagt ecologische en chemische doelen te stellen, om perspectiefvolle maatregelen te selecteren, en om deze in stroomgebiedbeheersplannen vast te leggen om de geformuleerde doelen te realiseren. Verontreinigende stoffen vinden via riool, bodem of lucht hun weg naar het water. De Kaderrichtlijn Water vraagt, en het milieubeleid is er op gericht dit probleem bij de bron aan te pakken. Waterbeheerders zijn de afgelopen decennia in staat gebleken om puntbronnen effectief aan te pakken met de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (WVO). Daardoor vormen momenteel de diffuse bronnen de voornaamste oorzaak van de vervuiling van het water. De aanpak van diffuse bronnen is qua inhoud, instrumentarium, proces, organisatie en betaalbaarheid veel complexer dan de aanpak van puntbronnen. Deze complexiteit laat onverlet dat vergaande terugdringing van de milieubelasting door diffuse bronnen nodig is voor de realisatie van de KRW-doelstellingen.

In het KRW-traject op weg naar maatregelenpakketten voor de stroomgebiedbeheersplannen zullen voor alle bronnen maatregelen moeten worden gedefinieerd waarna op basis van uitvoerbaarheid, kosteneffectiviteit en rendement van de maatregelen de maatregelen maatschappelijk worden geprioriteerd. Het is noodzakelijk de bijdragen van de bronnen en de mogelijke maatregelen per bron goed in beeld te hebben om de juiste keuzes te maken. Wanneer de maatschappelijke kosten voor uitvoering van de maatregelen onevenredig groot blijken te zijn, kan de EU worden gevraagd de termijn voor realisatie van de doelen te verlengen en kunnen uiteindelijk mogelijk de doelen worden aangepast.

De nutriënten stikstof (N) en fosfor (P) zijn geïdentificeerd als probleemstoffen. Deze nutriënten komen ook door landbouwkundig gebruik in het milieu; de Nederlandse landbouwsector gaat weliswaar efficiënt om met meststoffen, maar door de hoge intensiteit van produceren zijn de emissies per oppervlakte-eenheid echter aanzienlijk. Voor de realisatie van het Derde nitraatactieprogramma wordt door de sector landbouw al een aanzienlijke inspanning geleverd. Uit de ex ante evaluatie van de KRW (Van der Bolt et al., 2008) blijkt dat het terugdringen van de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater echter een moeilijke opgave blijft. Na invoering van diverse maatregelen lijken de vastgestelde GEP-nutriëntenormen nog niet overal te zullen worden gerealiseerd.

Om eutrofiëring tegen te gaan en de realisatie van de ecologische doelen dichterbij te brengen zullen effectieve maatregelen moeten worden geselecteerd. Een gebiedsgericht maatregelenpakket is hierbij nodig omdat de bijdrage van de verschillende bronnen per regio verschilt en om regionaal maatwerk te kunnen leveren. Conform de eisen van de Kaderrichtlijn Water zal de kosteneffectiviteit een belangrijke rol spelen bij de selectie van maatregelen.

Om voor de belangrijkste bronnen van verontreiniging maatregelpakketten op te kunnen stellen en qua kosteneffectiviteit te kunnen vergelijken is het essentieel dat de bijdrage van de bronnen goed bekend is.

De aanvoer uit het buitenland vormt voor de rivieren en Noordzee verreweg de grootste bron. Voor de kleinere (zoete) oppervlaktewateren bepalen de binnenlandse bronnen de waterkwaliteit. De landbouw wordt gezien als een belangrijke bron van de nutriënten stikstof en fosfor. In 2007 is een verkenning uitgevoerd naar de bijdrage van de verschillende diffuse bronnen in het landelijk gebied aan de emissie van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater (Van der Bolt et al., 2007). De studie geeft een eerste indicatie van de bijdrage van de verschillende diffuse bronnen, waardoor het mogelijk wordt om gericht maatregelen te zoeken die er toe leiden dat de diffuse belasting van het oppervlaktewater met nutriënten uit het landelijk gebied wordt gereduceerd.

### ***Doel***

Onderscheiden van de bijdragen van de verschillende diffuse bronnen (atmosferische depositie, kwel, bodem en landbouw) in het landelijke gebied aan de emissie van nutriënten naar het oppervlaktewater in Nederland, waarbij gebruik gemaakt wordt van het STONE-instrumentarium (bijlage 1) zoals deze is ingezet voor de ex-ante analyses van de evaluatie mestwetgeving in 2007.

### ***Werkwijze***

Met het STONE-instrumentarium (versie STONE 2.3) zijn berekeningen uitgevoerd waarbij de verschillende diffuse bronnen (atmosferische depositie, landbouw, bodem en kwel) afzonderlijk dan wel in combinatie zijn geëlimineerd om inzicht te krijgen in de bijdrage van de verschillende diffuse bronnen van nutriënten in het landelijke gebied.

Daarbij zijn twee varianten onderscheiden waarop de bijdrage van de bronnen wordt bepaald:

#### *1. Historie:*

Bepalen van de bijdrage van de “historie vanaf 1941”; dit levert de bijdrage van de verschillende bronnen ten opzichte van een “relatief ongestoorde toestand”.

Bij deze variant wordt de oplading van de bodem door de bronnen landbouw, atmosferische depositie en kwel bij het aandeel van deze andere geteld.

#### *2. Actueel:*

Bepalen van de bijdrage van de bronnen in het landelijke gebied aan de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater op dit moment. De bijdrage van de bronnen aan de oplading van de bodem in het verleden wordt nu dus niet in de bijdrage van de bronnen meegenomen; de bijdrage van de bodem wordt als een zelfstandige bron beschouwd (inclusief de oplading die door andere bronnen heeft plaatsgevonden).

Omdat het effect van oplading van de bodem door de bronnen landbouw, atmosferische depositie en kwel tot 2000 hierin wordt meegenomen zullen de bijdragen van deze bronnen kleiner zijn dan bij de eerste variant.

De eerste benadering geeft inzicht in de totale bijdrage van de verschillende bronnen inclusief de historie. De tweede benadering geeft een indicatie welke de maximaal te bereiken effecten zijn wanneer de verschillende bronnen (onmiddellijk) volledig worden gesaneerd.

### ***Afbakening***

Deze studie betreft een nadere verkenning naar de bijdrage van de verschillende diffuse bronnen in het landelijke gebied aan de emissie van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater. In 2007 is een nieuwe Evaluatie van de Mestwetgeving (EMW 2007) verschenen: de verbeteringen in het model, de data en de schematisering die hierin zijn gerealiseerd zijn gebruikt om de bijdragen van de diffuse bronnen in het landelijke gebied aan de emissie naar het oppervlaktewater opnieuw te bepalen.

### ***Leeswijzer***

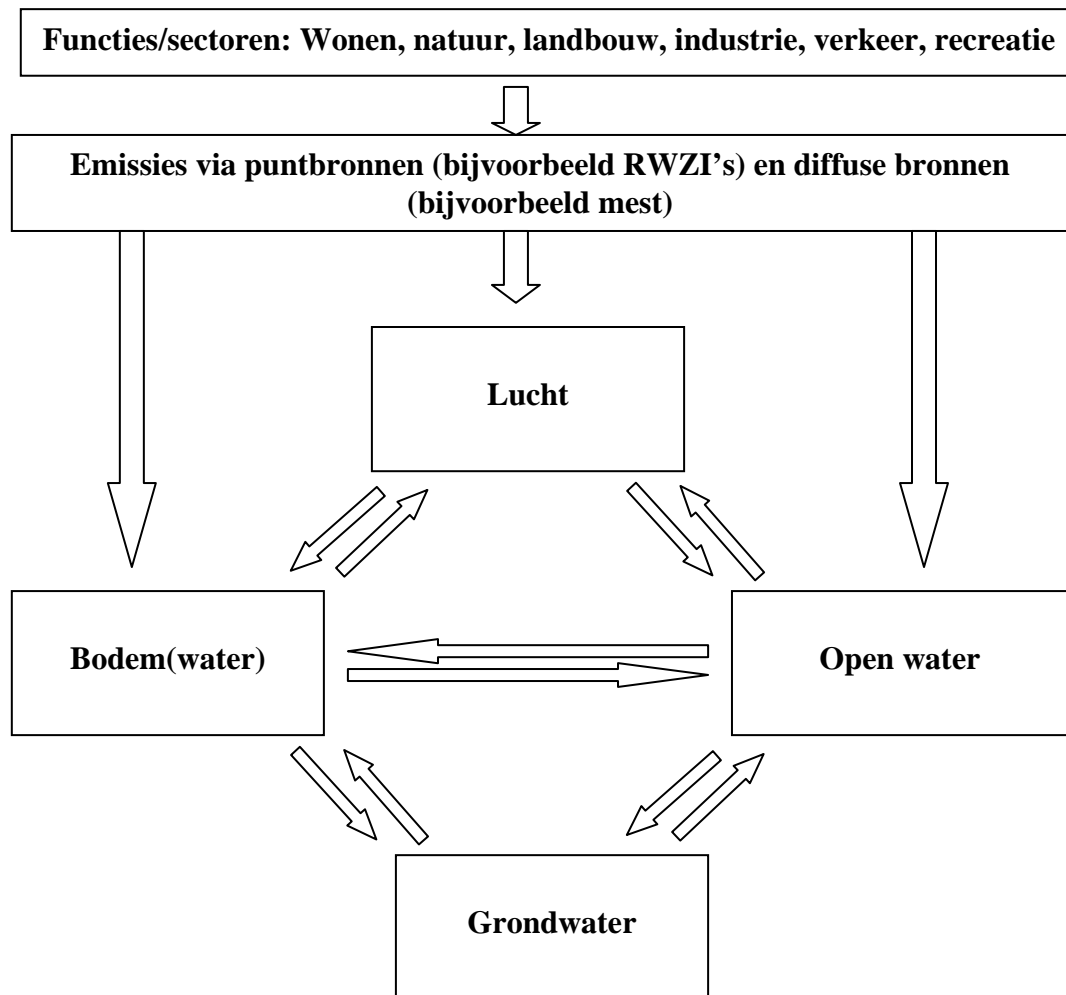
In hoofdstuk 2 worden de bijdragen van de verschillende bronnen in Nederland beschreven. In hoofdstuk 3 wordt de werkwijze onderbouwd en uitgelegd. Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten. In hoofdstuk 5 wordt de plausibiliteit van de rekenresultaten nagegaan. De discussie over werkwijze en resultaten staat in hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 geeft de conclusies.





## 2 Bronnen van nutriënten in Nederland

Veelal worden bronnen opgevat als functies/sectoren die emitteren naar het milieu. Bronnen kunnen rechte reeks emitteren naar de milieucompartimenten lucht, bodem, grond- en oppervlaktewater (Figuur 1). Daarnaast vindt uitwisseling plaats tussen deze milieucompartimenten waardoor de compartimenten ook als bron voor een ander milieucompartiment kunnen fungeren. Wanneer een deel van het systeem in beschouwing wordt genomen, wordt niet de daadwerkelijke bron geïdentificeerd maar wordt een ander (deel van een) milieucompartiment als bron genomen (bijvoorbeeld atmosferische depositie kan bestaan uit een natuurlijke depositie verhoogd met emissies van de functies/sectoren verkeer, landbouw, industrie etc.).



Figuur 1 Transportroutes tussen bronnen en milieucompartimenten.

Om de (bijdrage van de) functies/sectoren te identificeren moet het systeem in zijn geheel worden beschouwd. Het kan daarbij zo zijn dat door vertragende eigenschappen van een milieucompartiment dit milieucompartiment als een aparte bron moet worden beschouwd waarvoor specifieke maatregelen moeten worden overwogen. Wanneer een deel van het milieusysteem wordt beschouwd zullen snel andere milieucompartimenten als bron (moeten) worden beschouwd.

## **2.1 Emissieregistratie (ER-C)**

Alle stofstroom- en bronnenanalyses maken gebruik van de ER-C. De betrouwbaarheid van de in de emissieregistratie opgenomen cijfers is niet bekend en verschilt waarschijnlijk sterk voor de verschillende bronnen. De bijdragen van de bronnen landbouw en natuur in de emissieregistratie zijn ontleend aan de uitkomsten van STONE (bijlage 1). In STONE bepalen de bronnen atmosferische depositie, landbouw, kwel en (voorraad in de) bodem de emissies naar het oppervlaktewater. Omdat STONE niet specifiek de bijdrage van de sector landbouw als bron berekent maar de som van de bijdragen van alle diffuse bronnen in het landbouwkundig gebruikte deel van het landelijke gebied geeft, hebben de bronnen landbouw en natuur in ER-C en in beide bronnenanalyses een andere lading dan bijvoorbeeld de bronnen industrie of RWZI's.

## **2.2 Afbakening**

De indeling in de besproken bronnenanalyses blijkt in essentie gebaseerd op gebruiksfuncties maar is niet eenduidig (depositie is bijvoorbeeld het gevolg van emissie naar de lucht van huishoudens, industrie, landbouw en verkeer; RWZI's worden bijvoorbeeld gevoed door huishoudens, industrie en recreatie). Het is noodzakelijk voor bronnenanalyses het beschreven systeem, de onderscheiden bronnen en de relaties tussen de bronnen helder te definiëren om de herkomst en betrouwbaarheid van de vrachten vast te kunnen leggen en de bijdrage van de bronnen te bepalen. Pas dan kunnen (kosten)effectieve brongerichte maatregelen worden geïdentificeerd en geselecteerd.

Deze studie is gericht op het onderscheiden van de bijdragen van de diffuse bronnen binnen het landbouwkundige deel van het milieusysteem dat door STONE wordt beschreven. Onderscheiden bronnen zijn de sector landbouw, en de emissies uit de milieucompartimenten atmosfeer, bodem en (diep) grondwater. De bijdragen van puntbronnen (RWZI's, industriële lozingen) in het landelijke gebied komen rechtstreeks in het oppervlaktewater en zijn niet meegenomen. De bijdragen van achterliggende bronnen (zoals ook de sector landbouw) aan de milieucompartimenten atmosfeer, bodem en grondwater zijn niet meegenomen. De relaties tussen de milieucompartimenten bodem, grond- en oppervlaktewater worden bepaald door transport-, omzettings- en vastleggingprocessen en verschillen in ruimte en tijd. Daarom worden de bijdragen van de bronnen in deze studie bepaald met modellen die deze relaties beschrijven.

### 3 Werkwijze

Om de bijdrage van de verschillende diffuse bronnen in het landbouwkundig gebruikte deel van het landelijke gebied te kwantificeren zijn met STONE versie 2.3 verschillende varianten doorgerekend. De gevoeligheid van de N- en P-belasting van het oppervlaktewater voor de verschillende bronnen is bepaald door steeds één of meer bronnen gelijk aan nul te stellen. Door de veranderingen in de belastingen van het oppervlaktewater te relateren aan de afwezige bronnen en deze veranderingen uit te drukken in de verandering in procenten ten opzichte van de belasting in de uitgangssituatie kan de relatieve bijdrage van de afzonderlijke bronnen worden bepaald. Door de bronnen in verschillende combinaties te elimineren worden de verschillende terugkoppelmechanismen in de relaties tussen de bronnen (via transport, processen en vastlegging) meegenomen. Als gevolg van de niet-lineaire processen resulteert dit in een range van bijdragen voor de bronnen

#### 3.1 Bronnen

In deze studie zijn de volgende bronnen van diffuse belasting in het landelijke gebied onderscheiden:

- Atmosferische depositie
- Landbouw
- Bodem
- Kwel

Afhankelijk van doel en/of begrenzing van het systeem zijn andere indelingen in bronnen mogelijk:

- De bijdrage van de bronnen kan bijvoorbeeld conform de werkwijze voor de ER-C worden uitgesplitst naar het landbouwkundig gebruikte deel van het landelijke gebied ('landbouw') en het deel van het landelijke gebied met natuur ('natuur'). In deze studie is alleen het landbouwkundig gebruikte deel van het landelijke gebied onderzocht.
- De bijdrage van de bron bodem kan bestaan uit 1) opslag in of vrijkomen uit organische stof, 2) opslaan in of uitlogen uit het bodemcomplex. De grootte van de bijdrage is afhankelijk van de eigenschappen van de bodem en sedimentlagen, waaronder de a priori aanwezige (initiële, natuurlijke, achtergrond) voorraden aan nutriënten en de door menselijke activiteit toegevoegde voorraden. In deze studie zijn deze processen in de bodem niet als afzonderlijke bronnen onderscheiden. Wel is onderscheid gemaakt in de bijdrage van de bodem als gevolg van de verschillende bronnen.
- De bijdrage van infiltratie uit het oppervlaktewater is niet meegenomen omdat de bijdrage van deze bron langjarig op landelijk niveau verwaarloosbaar klein is. Bovendien zijn de concentraties in het infiltrerende oppervlaktewater niet tijdafhankelijk bekend waardoor een praktisch probleem bestaat en de onzekerheid voor deze kleine bron groot zal zijn.

- De bijdragen van puntbronnen (RWZI's, industriële lozingen) in het landelijke gebied komen rechtstreeks in het oppervlaktewater en zijn niet meegenomen.

### 3.2 Varianten

De bijdrage van de bronnen is bepaald zowel voor (1) de immissie in het bodem-water-plant systeem (de variant 'instroom') als voor (2 en 3) de berekende emissies uit het bodem-water-plant systeem naar het oppervlaktewatersysteem.

1. bij **'instroom'** wordt de aanvoer van de bronnen op de rand van het beschouwde bodem-water-plant systeem berekend en wordt de doorwerking naar het oppervlaktewatersysteem niet berekend. Deze variant is in deze studie meegenomen omdat deze werkwijze regelmatig wordt gehanteerd om de bijdrage van bronnen te schatten bij gebrek aan data/kennis. In deze studie is deze benadering vergeleken met de resultaten van de beide emissiemethoden.

De bijdrage van de bronnen aan de emissie naar het oppervlaktewater is voor twee varianten berekend: de varianten 'historie' en 'actueel'.

2. **'Historie'** geeft inzicht in de bijdrage van de verschillende bronnen ten opzichte van de bijdragen in een relatief ongestoorde referentiesituatie. De bronnen worden vanaf het eerste rekenmoment uitgeschakeld, i.e. in 1941. Eerst wordt de oppervlaktewaterbelasting in 2000 berekend (zonder de bijdrage van uitgeschakelde bronnen). Vervolgens worden de bijdragen van de verschillende bronnen berekend voor de verschillende rekenperioden in de toekomst. De berekende bijdrage van een bron is daarom inclusief de bijdrage van de betreffende bron aan de oplading van de bodem.
3. In **'actueel'** is de bijdrage van een bron bepaald wanneer een bron 'nu' (dat wil zeggen rekentechnisch na 2000) wordt uitgeschakeld. Daarmee wordt inzicht geboden in het maximale milieueffect dat ten aanzien van maatregelen gericht op een bron is te halen. De bijdrage van de bronnen aan de oplading van de bodem in het verleden wordt nu dus niet in de bijdrage van de bronnen meegenomen; de bijdrage van de bodem wordt als een zelfstandige bron beschouwd (inclusief de oplading die door andere bronnen heeft plaatsgevonden). Voor deze berekeningen wordt uitgegaan van de situatie in 2000 zoals die met STONE (met meenemen van alle bronnen) is berekend waarna de bijdragen van de bronnen voor verschillende perioden in de toekomst wordt berekend.

Of sprake is van een immissie of een emissie wordt bepaald door de locatie in het systeem. Om de bijdrage van de bronnen in het landbouwkundig gebruikte deel van het landelijke gebied te bepalen worden de belastingen op dit systeem beschouwd als inkomende vrachten i.e. immissies en worden de belasting uit dit systeem naar het oppervlaktewater beschouwd als uitstromende vrachten i.e. emissies.

De bijdragen van de bronnen wordt voor alle varianten voor dezelfde tijdsperioden 2001-2015, 2016-2030, 2031-2045 en 2046-2060 vastgesteld. De bijdragen van de bronnen is bepaald als de gemiddelde bijdrage over de perioden.

### **3.3 Referentie**

De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van het toekomstscenario 2015AT-20% uit de EMW 2007. Deze variant wordt gezien als een realistische benadering voor het mestbeleid zoals dat thans is geformuleerd (LNV, 2007). De gebruiksnorm voor werkzame stikstof is zo bepaald dat het milieudoel voor grondwater in 2015 (50 mg/l nitraat) wordt gehaald. De fosfaatgebruiksnorm voor grasland en bouwland/maïs moet resulteren in evenwichtsbemesting in 2015. Deze variant is uitgebreid beschreven in het rapport van Willems et al. (2008).

Verondersteld is dat deze STONE-berekeningen de nutriëntenstromen voor landelijke toepassing voldoende nauwkeurig beschrijven voor het meest gangbare landbouwkundige gebruik. In bijlage 2 worden de belangrijkste aanpassingen in STONE 2.3 beschreven. Met alle beperkingen en onzekerheden die in de onderliggende rapporten zijn vermeld, wordt in deze studie verondersteld dat de gesimuleerde absolute vrachten en concentraties op nationale schaal plausibel zijn, zodat in dit rapport kan worden geconcentreerd op het doel van deze studie: inzicht krijgen in de relatieve bijdrage van de bronnen aan de emissie naar het oppervlaktewater.

### **3.4 Realisatie**

Per bron wordt beschreven hoe daar in de berekeningen mee is omgegaan.

#### ***Depositie***

In STONE wordt gebruikt gemaakt van depositiecijfers van het RIVM en het MNP. Deze zijn afgeleid op basis van een meetnet voor berekeningen van de atmosferische depositie, industriële activiteiten, brandstofverbruik, NH<sub>4</sub>-emissie uit de landbouw en grensoverschrijdende emissies. De N-depositie is in STONE 2.3, anders dan voorgaande versies, gedefinieerd per plot. Natuurplots hebben een hogere depositie dan landbouwplots. De P-depositie is onder normale omstandigheden te verwaarlozen en is daarom op nul gesteld. De depositie kan eenvoudig worden uitgeschakeld door ook aan de natte en droge stikstofdepositie de waarde nul toe te kennen.

#### ***Landbouw***

Zonder mestgiften is geen duurzame landbouwkundige productie mogelijk. In de analyse is daarom naast het uitschakelen van bemesting ook verondersteld dat de functie (grondgebonden) landbouw niet aanwezig is.

De bijdrage van de landbouw is berekend door het land braak te laten liggen i.e. door 1) geen mest toe te dienen, door 2) geen grondbewerking uit te voeren, en door 3) geen gewas af te voeren. Aan alle mestgiften (kunstmest en dierlijke mest) en aan de beweidingsintensiteit is de waarde 0 toegekend en het landgebruik in landbouwplots is omgezet naar onbemest grasland (in STONE 'natuur'). Hierbij is de atmosferische depositie voor landbouwgrond die wordt omgezet in onbemest grasland (natuur) gelijk gehouden aan de atmosferische depositie op de landbouwplots. Daardoor blijft op nationaal niveau de totale hoeveelheid atmosferische depositie gelijk en blijven de resultaten van de varianten vergelijkbaar. Onbemest grasland wordt niet beweid of gemaaid zodat geen gras wordt afgevoerd en de bodem niet actief wordt uitgemijnd (de gewasresten blijven in het systeem).

### ***Kwel***

De bijdrage van de kwel (afkomstig uit het regionale grondwatersysteem) is afhankelijk van de opwaartse kwelflux zoals die in de hydrologische modellen is berekend op 13 m diepte en van de concentratie. Bij de start van de berekeningen in 1941 wordt het bodemsysteem geïnitieerd op basis van een geschatte kwelbelasting (de bodem is door de kwelfluxen al honderden jaren lang opgeladen, in deze periode kunnen de kwelfluxen sterk zijn veranderd). Om een correcte uitgangssituatie te creëren bij het uitschakelen van de kwel moet hier rekening mee worden gehouden. In deze studie is, in tegenstelling tot de studie uit 2007, de initialisatie niet aangepast (de oplading van het bodemsysteem door de kwelstroom voor de periode voor 1941 is niet aangepast). Het effect hiervan op de uiteindelijke resultaten wordt in deze studie niet nader toegelicht. De concentraties van het kwelwater zijn na 1941 voor zowel stikstof als fosfor verwaarloosbaar klein ( $=1 \cdot 10^{-6}$  mg/l) gemaakt. De kwelfluxen zelf zijn niet aangepast omdat daardoor ook de simulatie van de grondwaterstand en de afvoer naar oppervlaktewater zou veranderen.

### ***Bodem***

De bijdrage van de bodem kan niet eenvoudig op nul worden gezet. Daarom is de bijdrage van de bodem bepaald als restpost nadat alle andere bronnen zijn uitgeschakeld. Voor de bijdrage van de bron bodem kan hierdoor geen range worden berekend.

### ***Historie en actueel***

Voor de variant 'historie' worden de bronnen vanaf 1941 uitgeschakeld, het jaar waarin de STONE-berekeningen starten. Voor de variant 'actueel' worden de bronnen vanaf 2001 uitgeschakeld. Voor beide varianten zijn met een interval van 15 jaar de stofbalansen tot 2060 berekend. Deze stofbalansen zijn opgesteld voor het volledige in STONE doorgerekende bodemprofiel (13 meter diep).

### ***Bijdragen bronnen***

Voor de bronnen atmosferische depositie, landbouw, kwel en bodem zijn voor de verschillende varianten de totale vrachten naar het oppervlaktewater berekend en omgezet naar de procentuele bijdrage. Dat is gedaan op nationaal niveau en voor de bodemgroepen zand, klei en veen.

Gegeven het doel waarvoor STONE is opgezet en de toetsen die zijn uitgevoerd is dit mogelijk. Voor een regionale toepassing van STONE om de bijdrage van bronnen te bepalen zal eerst via toetsing moeten worden bepaald of de resultaten van dit instrument op beoogde regionale schaal overal verantwoord zijn te gebruiken.





## 4 Resultaten

De bijdragen van de bronnen worden eerst op landelijk niveau geanalyseerd. Daarna worden deze bijdragen uitgesplitst naar de grondsoorten zand-, klei- en veen.

### 4.1 Landelijk

#### *Stikstof*

De bijdragen aan de emissies berekend voor de ‘instroom’ in het bodem-water-plant systeem komen niet overeen met de bijdragen van de bronnen berekend voor de belasting op het oppervlaktewater met de varianten ‘historie’ of ‘actueel’ (Tabel 1). De bijdrage van kwel aan de emissies is voor ‘actueel’ en vooral voor ‘historie’ veel groter dan voor ‘instroom’ omdat de kwel voor een groot deel door de waterlopen wordt afgevangen. De bijdrage van de landbouw aan de emissie is voor ‘actueel’ en ‘historie’ veel kleiner dan voor ‘instroom’ omdat een aanzienlijk deel van de meststoffen door de gewassen worden opgenomen en niet in het oppervlaktewater terecht komen. Deze resultaten tonen aan dat, als gevolg van de waterstromen en de niet-lineaire omzetting- en vastleggingprocessen, schatten van de bijdrage van de bronnen via de ‘instroom’ in het systeem voor nutriënten niet valide is: de bijdrage aan de emissie kan voor zowel N als P niet zonder meer gelijk worden gesteld aan de bijdrage aan de immissie.

Tabel 1 Procentuele berekende bijdrage van bronnen aan de belasting van het oppervlaktewater in Nederland voor de periode 2001-2015 voor de benaderingen ‘instroom’, ‘historie’ en ‘actueel’

	Stikstof			Fosfor		
	instroom	historie	actueel	instroom	historie	actueel
<b>Depositie</b>	8	7 - 21	6 – 13	0	0-23	0-0
<b>Landbouw</b>	91	28 - 40	28 – 35	98	16 - 39	16 - 17
<b>Kwel</b>	1	10 - 16	3 – 3	2	8 - 30	3 - 3
<b>Bodem</b>		43	57		43	81

De bijdrage van de bronnen depositie, landbouw en voornamelijk kwel is voor de variant ‘actueel’ kleiner dan voor de variant ‘historie’, de bijdrage van de bron bodem is echter groter voor de variant ‘actueel’. Het verschil tussen de benaderingen ‘historie’ en ‘actueel’ is dat bij ‘historie’ de bijdrage van de verschillende bronnen die voor oplading van de bodem hebben gezorgd bij de betreffende bron is verdisconteerd, en dat bij ‘actueel’ de bodemvoorraad als een zelfstandig gegeven wordt beschouwd. Voor stikstof is de bijdrage van de landbouw aan de oplading van de bodem beperkt. Dit wordt veroorzaakt door de opname van beschikbaar stikstof in de bouwvoor; het merendeel van de toegediende stikstof wordt via het gewas afgevoerd.

## **Fosfor**

Ook voor fosfor zijn de bijdragen aan de emissie verschillend van de bijdragen aan de instroom. De bron landbouw veroorzaakt bijna volledig de instroom (Tabel 1).

Opvallend is dat de bijdrage van de depositie aan de P-uitspoeling naar het oppervlaktewater groter dan nul blijkt te kunnen zijn waar de bron absoluut nul is. Dit wordt veroorzaakt doordat bij afwezigheid van landbouw (en dus bemesting) er ook geen stikstof via deze bron in het systeem komt waardoor de gewasgroei en de gewasopname van de vegetatie sterk kunnen afnemen met als gevolg dat de berekende relatieve bijdrage aan de P-uitspoeling toeneemt.

De actuele bijdrage van de landbouw is ongeveer gelijk aan de minimale historische bijdrage (absoluut is de bijdrage aan de emissie van P lager dan de actuele bijdrage van landbouw aan de emissie van stikstof). De range voor de historische bijdrage voor landbouw is veel groter dan voor de actuele bijdrage. De bijdrage van kwel is in de actuele variant veel kleiner dan in de variant 'historie'. De oplading van de bodem die heeft plaatsgevonden maakt dat de bijdrage van de bodem in de actuele situatie de grootste bijdrage levert aan de emissie van fosfor naar het oppervlaktewater.

### **Verschillen met STONE 2.1.1**

De bijdragen van de verschillende bronnen aan de 'instroom' is voor beide versies van het STONE-model ongeveer gelijk. De bijdrage van de bronnen aan de emissie naar het oppervlaktewater is zowel voor stikstof als voor fosfor verschillend (Tabel 2).

*Tabel 2* Procentuele berekende bijdrage van bronnen aan de belasting van het oppervlaktewater in Nederland voor de periode 2001-2015 voor de benaderingen 'instroom', 'historie' en 'actueel' voor beide STONE-versies.

Stikstof	Historie		Actueel	
	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3
Depositie	5 – 7	7 – 21	4 – 7	6 – 13
Landbouw	27 – 29	28 – 40	23 – 26	28 – 35
Kwel	11 – 14	10 – 16	3 – 5	3 – 3
Bodem	55	43	69	57

Fosfor	Historie		Actueel	
	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3
Depositie	0 – 8	0 – 23	0 – 1	0 – 0
Landbouw	44 – 55	16 – 39	25 – 25	16 – 17
Kwel	17 – 24	8 – 30	3 – 3	3 – 3
Bodem	27	43	74	81

Het opvallendste verschil tussen de beide STONE-versies is de range van de bijdrage van de diverse bronnen. De range voor de STONE 2.3 is groter dan voor STONE 2.1.1. Dit geldt zowel voor stikstof als voor fosfor.

Dat is een logisch gevolg van de gerealiseerde aanpassingen (bijlage 2) waardoor verschillen in eigenschappen tussen de plots groter zijn geworden.

Het grootste verschil tussen beide versies is de bijdrage van de bodem voor zowel de historische als de actuele variant. De bijdrage van de bodem voor stikstof neemt voor beide varianten af met 12%, terwijl de bijdrage voor fosfor met respectievelijk 16% voor de variant ‘historie’ en 7% voor de variant ‘actueel’ toeneemt.

Voor beide STONE-versies is de bijdrage van kwel voor de oplading van de bodem voor stikstof en fosfor aanzienlijk. Voor fosfor is de bijdrage van de landbouw ook behoorlijk groot. De bijdrage van de landbouw aan de stikstofbelasting voor STONE 2.3 is groter dan voor STONE 2.1.1, de bijdrage aan de fosforbelasting is voor STONE 2.3 juist fors lager. De door Van der Bolt et al. (2007) geconstateerde verbeterpunten (bijdrage van de bodem aan de stikstofbelasting in kleigronden verlagen, de stikstofbelasting in veengronden verhogen) zijn als binnen het pakket van aanpassingen in STONE 2.3 doorgevoerd.

## 4.2 Grondsoort

### *Zandgronden*

De bijdrage van de landbouw aan de ‘instroom’ in het systeem via bemesting is voor zandgronden groot. De bijdrage van (hoog in het bodemprofiel toegediende) mest aan de emissie naar het oppervlaktewater voor de varianten ‘historie’ en ‘actueel’ is veel kleiner dan de bijdrage volgens de benadering ‘instroom’. De bijdrage van de bodem aan de emissie naar het oppervlaktewater is conform de verwachting voor de variant ‘actueel’ groter dan voor de variant ‘historie’.

*Tabel 3* Procentuele berekende bijdrage van bronnen aan de stikstofbelasting van het oppervlaktewater in **zandgronden** voor de periode 2001-2015 voor de benaderingen ‘instroom’, ‘historie’ en ‘actueel’ voor beide STONE-versies.

Stikstof	instroom		historie		actueel	
	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3
<b>Depositie</b>	16	9	10 - 12	9 - 24	8 - 11	7 - 16
<b>Landbouw</b>	83	90	35 - 36	38 - 53	27 - 30	38 - 46
<b>Kwel</b>	1	1	13 - 36	8 - 16	5 - 7	4 - 4
<b>Bodem</b>			42	28	59	44

*Tabel 4* Procentuele berekende bijdrage van bronnen aan de fosforbelasting van het oppervlaktewater in **zandgronden** voor de periode 2001-2015 voor de benaderingen ‘instroom’, ‘historie’ en ‘actueel’ voor beide STONE-versies.

Fosfor	instroom		historie		actueel	
	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3
<b>Depositie</b>	0	0	0-11	1 - 40	0-1	0 - 0
<b>Landbouw</b>	99	99	65 - 83	18 - 57	20 - 21	17 - 18
<b>Kwel</b>	1	1	2 - 65	6 - 44	2 - 3	3 - 3
<b>Bodem</b>			14	36	79	79

Er zijn duidelijke verschillen zichtbaar tussen de ‘oude’ en ‘nieuwe’ STONE t.a.v. de bijdrage van de landbouw en bodem. Opvallend hierbij zijn de verschillen tussen stikstof en fosfor. De bijdrage van de landbouw aan de stikstofbelasting met de STONE 2.3 neemt voor beide varianten toe met ruim 10%, de bijdrage van de bodem neemt met bijna 15% af. Voor fosfor neemt de bijdrage van de landbouw voor de variant ‘historie’ fors af (bijna 25%), de bijdrage van bodem aan de P-belasting neemt toe met ruim 20%. Voor de variant ‘actueel’ zijn de verschillen tussen beide STONE-versies beperkt.

### ***Kleigronden***

Ook voor de kleigronden is de bijdrage van landbouw aan de ‘instroom’ in het systeem via de bemesting veel groter dan de bijdrage van de landbouw aan de N- en P-belasting naar het oppervlaktewater (Tabel 5 en Tabel 6).

*Tabel 5* Procentuele berekende bijdrage van bronnen aan de stikstofbelasting van het oppervlaktewater in **kleigronden** voor de periode 2001-2015 voor de benaderingen ‘instroom’, ‘historie’ en ‘actueel’ voor beide STONE-versies

Stikstof	instroom		historie		actueel	
	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3
<b>Depositie</b>	10	8	3 – 5	6 – 16	2 – 5	6 – 11
<b>Landbouw</b>	87	91	9 – 12	15 – 23	8 – 12	15 – 19
<b>Kwel</b>	2	1	11 – 14	10 – 15	1 – 3	2 – 2
<b>Bodem</b>			74	61	86	74

*Tabel 6* Procentuele berekende bijdrage van bronnen aan de fosforbelasting van het oppervlaktewater in **kleigronden** voor de periode 2001-2015 voor de benaderingen ‘instroom’, ‘historie’ en ‘actueel’ voor beide STONE-versies.

Fosfor	instroom		historie		actueel	
	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3
<b>Depositie</b>	0	0	0 – 5	0 – 6	0 – 1	0 – 0
<b>Landbouw</b>	97	96	26 – 32	13 – 19	17 – 17	13 – 14
<b>Kwel</b>	3	4	33 – 37	11 – 16	3 – 3	3 – 3
<b>Bodem</b>			34	70	81	84

De verschillen tussen de beide STONE-versies zijn groot voor de bijdrage van de diffuse bronnen aan de P-belasting voor de variant ‘historie’. De bijdrage van de bodem aan de P-belasting verdubbeld van 34% naar 70%. De bijdrage van kwel en landbouw nemen hierdoor fors af met respectievelijk 23% en 11%. Voor de variant ‘actueel’ zijn de verschillen beperkt. De verschillen tussen de STONE-versies voor de N-belasting zijn kleiner. De bijdrage van de bodem neemt voor beide varianten af met ongeveer 10%, de bijdrage van de landbouw neemt toe met bijna 10%. Voor zowel STONE 2.3 als voor STONE 2.1 is de bijdrage van de bodem aan de N-belasting behoorlijk groot (> 60%).

### ***Veengronden***

Conform de verwachting is de bijdrage van landbouw aan de ‘instroom’ in het systeem veel groter dan de bijdrage van landbouw aan de N- en P-belasting van het oppervlaktewater (Tabel 7 en Tabel 8).

*Tabel 7* Procentuele berekende bijdrage van bronnen aan de stikstofbelasting van het oppervlaktewater in **veengronden** voor de periode 2001-2015 voor de benaderingen ‘instroom’, ‘historie’ en ‘actueel’ voor beide STONE-versies

Stikstof	instroom		Historie		actueel	
	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3
<b>Depositie</b>	10	7	2 – 5	2 – 16	1 – 5	3 – 9
<b>Landbouw</b>	88	92	50 – 53	23 – 35	44 – 47	24 – 30
<b>Kwel</b>	2	1	9 – 14	15 – 22	2 – 5	7 – 7
<b>Bodem</b>			34	49	49	62

*Tabel 8* Procentuele berekende bijdrage van bronnen aan de fosforbelasting van het oppervlaktewater in **veengronden** voor de periode 2001-2015 voor de benaderingen ‘instroom’, ‘historie’ en ‘actueel’ voor beide STONE-versies.

Fosfor	instroom		historie		actueel	
	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3	STONE 2.1.1	STONE 2.3
<b>Depositie</b>	0	0	1 – 9	0 – 31	0 – 1	0 – 0
<b>Landbouw</b>	98	98	51 – 61	20 – 51	40 – 41	20 – 20
<b>Kwel</b>	2	2	6 – 15	5 – 35	2 – 3	2 – 2
<b>Bodem</b>			27	45	58	79

Ook voor de veengronden is er een duidelijk verschil tussen de beide STONE-versies. Deze wijkt echter af in vergelijking met de zand- en kleigronden.

De bijdrage van de bodem als bron voor de P-belasting voor zowel de variant ‘historie’ als voor de variant ‘actueel’ neemt toe (15-20%). Dit geldt echter ook voor de N-belasting. Voor de zand- en kleigronden nam deze juist af.

De bijdrage van de landbouw voor beide nutriënten neemt met meer dan 15% af, terwijl voor de zand- en kleigronden de bijdrage toeneemt.

Van der Bolt et al. (2007) hebben geconcludeerd dat de bijdrage van de bodem voor de stikstofbelasting in kleigronden wordt overschat, en dat voor de veengronden de bijdrage van de bodem juist wordt onderschat. Met STONE 2.3 wordt in de kleigronden een lagere bijdrage van de bodem berekend, in de veengronden een hogere. Voor veengronden heeft het aanpassen van de hydrologie en de mineralisatie van de bodem tot de verbeteringen geleid. De verbeteringen in STONE 2.3 hebben het beoogde effect.

Met de ‘oude’ STONE is verkend welke STONE-plots de grootste uitspoeling hebben: dat blijken de lichte klei- en zavelbodems te zijn die vaak zijn gedraineerd. Deze plots hebben een snelle uitspoeling en zijn daardoor het meest gevoelig voor de emissie van nutriënten naar het oppervlaktewater.

De grote bijdrage van de bodem in kleigronden en de sterke verschuiving tussen de bijdragen van de bronnen duiden er op dat een belangrijk deel van de belasting uit de ondergrond afkomstig is. Hiervoor zijn twee oorzaken te noemen:

1. Bij het tot stand komen van STONE versie 2 is de geochemische schematisering gebaseerd op een studie van Griffioen et al(2000). Deze informatie is door Kroon et al (2001) verder verwerkt tot invoer voor STONE voor de lagen dieper dan 1 m – mv. Nadere inspectie leert dat aan veel geologische eenheden een onrealistisch hoog organisch stofgehalte en aluminium- en ijzergehalte is toegekend. Vooral onder klei/zavel bovengronden komen organisch stofrijke lagen voor waarin mineralisatie optreedt op het moment dat bodemlucht in deze lagen kan binnentreden. TNO Bouw en Ondergrond heeft in 2006 een studie uitgevoerd om op basis van de meest actuele gegevens de parameterisering van de ondergrond te verfijnen en te actualiseren. Het resultaat hiervan wordt beschreven in Van Boekel, 2008, in press).
2. Het model kent één eerste orde afbraakconstante van de organische stof in de diepere ondergrond die in heel Nederland gelijk is voor zand en klei. Voor de natuurlijk aanwezige stof geldt voor klei een lagere waarde. Dit is een bekend artefact in het model dat nog moet worden opgelost.

Bovenstaande oorzaken als gevolg van de schematisering en parameterisering van de ondergrond komen vooral aan het licht in de snel uitspoelende (gedraineerde) zaveln en lichte kleien en zijn daardoor vooral zichtbaar in de zeekleigebieden. De bijdrage van de bron bodem aan de emissie van stikstof naar het oppervlaktewater lijkt voor de kleigronden te worden overschat waardoor de relatieve bijdrage van landbouw en andere bronnen wordt onderschat.

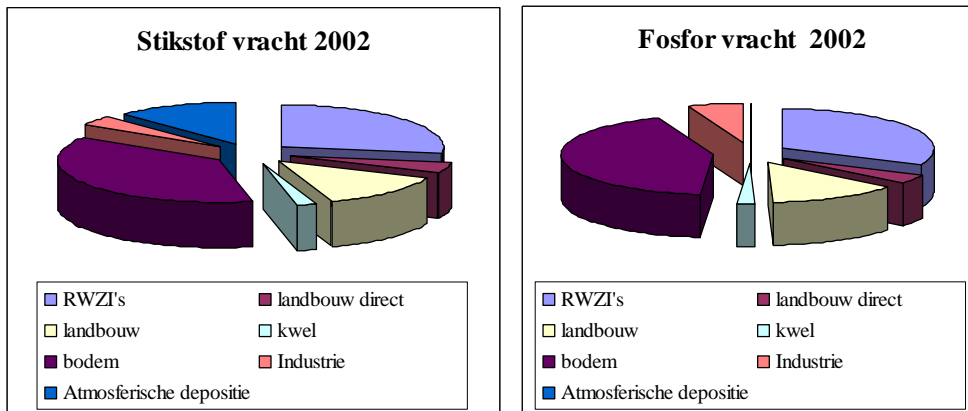
De P-vastlegging in de bodem is voor zowel de ‘oude’ en ‘nieuwe’ STONE het grootst voor zandgronden. Voor STONE 2.1.1 is de P-vastlegging het kleinst voor veengronden, voor STONE 2.3 is deze het kleinst voor kleigronden. Vooral voor kleigronden is er een groot verschil tussen beide STONE-versies zichtbaar. Voor STONE 2.1.1 is de P-vastlegging in de bodem bijna 50%, terwijl in STONE 2.3 dit ‘maar’ 13% is.

### **4.3 Bijdrage bronnen in Nederland**

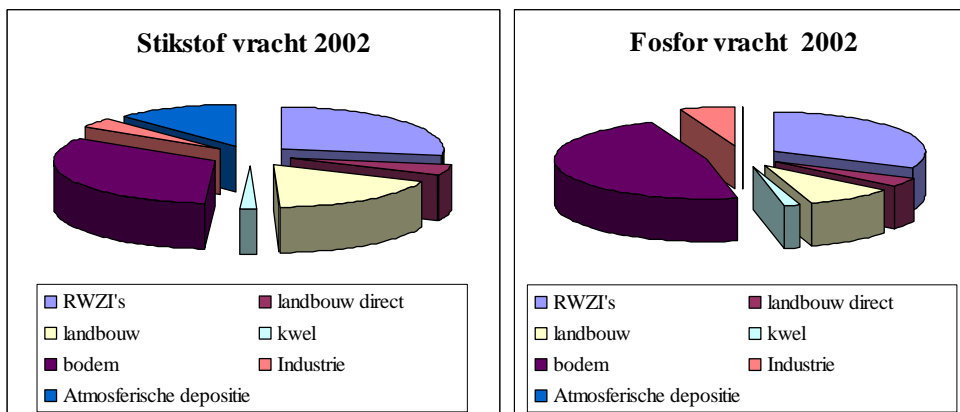
Met de gevolgde werkwijze kan de bijdrage van de bron landbouw zoals opgenomen in de emissieregistratie worden uitgesplitst naar de bronnen depositie, landbouw, kwel en bodem.

In de vorige studie (Van der Bolt et al. 2007) is gebruik gemaakt van ‘oude’ inschattingen van toekomstige bemestingsniveaus en van een verouderde STONE versie (zoals toegepast voor EMW 2004). De resultaten van deze studie geven dan ook een eerste indicatie van de bijdrage van de diffuse bronnen in het landbouwgebied.

De berekende relatieve bijdragen van deze bronnen voor van de ‘Actuele’ variant zijn gebruikt om de resultaten van Fraters et al (2004) verder onder te verdelen. In Figuur 2 zijn de resultaten gegeven van de vorige studie met STONE 2.1.1, in Figuur 3 zijn de resultaten van deze studie weergegeven.



*Figuur 2 Stikstof en fosforbelasting van de zoete watersystemen in Nederland in 2002 (data Fraters et al 2004) voor de bron landbouw verder uitgesplitst met de resultaten van deze studie.*



*Figuur 3 Stikstof en fosforbelasting van de zoete watersystemen in Nederland in 2002 (data Fraters et al 2004) voor de bron landbouw verder uitgesplitst met de resultaten van deze studie.*

De verschillen tussen de beide STONE-versies zijn in de vorige paragraaf besproken. Voor de ‘Actuele’ variant is de bron landbouw uitgeschakeld door 1) de bemesting op nul te zetten, 2) geen grondbewerking uit te voeren en 3) geen gewas af te voeren. Daardoor wordt een indruk van het maximale effect van brongerichte maatregel ‘saneren van de bron landbouw’ verkregen. De bijdrage van de actuele bron landbouw is veel kleiner dan door Fraters et al op basis van de ER-C is gesuggereerd. De bijdrage van de bodem, die natuurlijk ook mede door de landbouw is opgeladen, is aanzienlijk en vraagt om specifieke maatregelen.





## 5 Plausibiliteit

De emissies van puntbronnen zijn voor stikstof en fosfor goed te meten. De bijdrage van diffuse bronnen is moeilijker (lokaal) te meten. Op regionaal en nationaal niveau zijn uitsluitend schattingen te maken met eenvoudige dan wel meer differentiërende modellen. Op perceelsniveau is de emissie naar het oppervlaktewater vanuit het bodem-water-plant systeem alleen direct te meten bij percelen met een ondoorlatende onderrand en met drainbuizen die goed zijn te bemonsteren.

Om de plausibiliteit van de resultaten van deze verkenning te toetsen worden de resultaten van lokale en regionale studies waarin veel is gemeten vergeleken met de uitkomsten van deze rekenexercitie. Stofbalansen op lokale en regionale schaal in Nederland zijn gepubliceerd voor:

- De DOVE-projecten (Den Pol, Waardenburg, Vlietpolder)
- Vier poldergebieden (Lopikerwaard, Bergambacht, Rozendaal en De Vier Noorderkoggen)
- DOVE-veen met modellen (Vlietpolder)

Voor een beschrijving van de resultaten uit de diverse lokale en regionale studies wordt verwezen naar het eerdere verschenen rapport (Van der Bolt et al., 2007).

### 5.1 Plausibiliteit

Geprobeerd is de resultaten van de lokale en regionale bronnenanalyses te gebruiken om de resultaten van deze studie te toetsen. Dat blijkt lastig omdat in de verschillende studies verschillende bronnen zijn onderscheiden. Bij de regionale studies is bijvoorbeeld atmosferische depositie niet onderscheiden als bron. Dit is opgelost door voor de vergelijking de bijdrage van atmosferische depositie samen te voegen met de bijdrage van de bodem. Daarnaast hebben de studies betrekking op verschillende schalen: de data voor Bergambacht en Rozendaal hebben betrekking op polders en deze studie is landelijk. Er kunnen grote verschillen in de bijdragen van bronnen optreden als gevolg van de specifieke (lokale/regionale) omstandigheden (kwel, veentype, ontwatering, bedrijfsvoering, etc.). Deze lokale/regionale verschillen blijken uit de verschillen in balansen voor deze gebieden, wel/geen kwel, wel/geen infiltratie en wel/geen bagger als bron. Omdat voornamelijk voor de veengebieden meer bronnenanalyses zijn gepleegd wordt de plausibiliteit van de resultaten van deze studie daaraan getoetst, de werkwijze van de andere studies maakt dat daarvoor de variant 'historie' moet worden gebruikt (Tabel 9).

Tabel 9 De procentuele bijdrage van de bronnen aan de belasting op het oppervlaktewater in veengebieden voor de verschillende studies.

Stikstof	Vlietpolder	Bergambacht	Rozendaal	Historie	
				STONE 2.1.1	STONE 2.3
Depositie	8	nb	nb	2 - 5	2 - 16
Landbouw	37	28	32	50 - 53	23 - 35
Kwel	na	32	39	9 - 14	15 - 22
Bodem	57*	36	29	36-39*	51-65*

Fosfor	Vlietpolder	Bergambacht	Rozendaal	Historie	
				STONE 2.1.1	STONE 2.3
Depositie	3	nb	nb	1-9	0-31
Landbouw	47	23	28	51 - 61	20 - 51
Kwel	na	47	40	6 - 15	5 - 35
Bodem	47*	28	32	28-36*	45-76*

na = niet aanwezig; nb = niet bepaald, i.e. ondergebracht bij bodem;

\* Depositie is voor het vergelijken opgeteld bij de bijdrage van de bodem

De bijdrage van de bronnen verschilt bijzonder tussen Bergambacht, Rozendaal enerzijds en de studie met de ‘oude’ en ‘nieuwe’ STONE-instrumentarium anderzijds. Dit is zowel het geval voor stikstof als voor fosfor. De verschillen worden veroorzaakt door de grotere bijdrage van kwel in Bergambacht en Rozendaal vergeleken met deze studie. Een grotere bijdrage van kwel resulteert automatisch in een kleinere bijdrage van de andere bronnen. Gerelateerd aan de andere studies lijkt daarom de bijdrage van de bron bodem voor STONE 2.1.1 voor veen aan de lage kant. Met STONE 2.3 is de bijdrage van de bron bodem beter in overeenstemming met de verwachtingen. Op basis van de kwel kan echter moeilijk een conclusie worden getrokken omdat die zeer sterk lokaal is bepaald. De bijdrage van landbouw lijkt in deze studie, waarin gerekend is met STONE 2.3, goed overeen te komen met de bronnenanalyse van Vlietpolder, Bergambacht en Rozendaal. De bijdrage van landbouw met het ‘oude’ STONE-instrumentarium is hoger dan in de deze studies als gevolg van de kleinere bijdrage van de kwel en de (te) kleine bijdrage van de bron bodem.

Voor het toetsen van de plausibiliteit van de berekeningen voor de kleigronden kan niet gebruik gemaakt worden van de resultaten van de studie uitgevoerd voor Noorderkoggen (lichte klei/zavelpolder). Dit is het gevolg van de hoge P-concentraties in de kwel.

Wanneer de balans voor de Noorderkoggen toch wordt vergeleken met de historie voor de kleigronden zijn er duidelijke verschillen te zien tussen de bronnen van stikstof en fosfor (Tabel 10).

Tabel 10 De procentuele bijdrage van de bronnen aan de belasting op het oppervlaktewater in kleigebieden voor de polder Noorderkoggen.

Stikstof	Noorderkoggen	Historie	
		STONE 2.1.1	STONE 2.3
Depositie		3-5	6-16
Landbouw	58	9-12	15-23
Kwel	19	11-14	10-15
Bodem	23	74	61

Fosfor	Noorderkoggen	Historie	
		STONE 2.1.1	STONE 2.3
Depositie		0-5	0-6
Landbouw	18	26-32	13-19
Kwel	61	33-37	11-16
Bodem	21	34	70

De verschillen tussen stikstof- en fosforbalans is inderdaad het gevolg van de hoge bijdrage van kwel als bron voor de P-belasting. Voor stikstof komt de bijdrage van kwel redelijk overeen. De bijdrage van landbouw voor de N-belasting is voor beide STONE-versies te laag, de bijdrage van landbouw met de ‘nieuwe’ STONE is hoger dan met de ‘oude’ versie. Door de lagere bijdrage van de landbouw is de bijdrage van de bodem voor beide versies fors hoger.

De bijdrage van landbouw voor de P-belasting komt met de ‘nieuwe’ STONE goed overeen, voor de ‘oude’ versie wordt de bijdrage van landbouw licht overschat. De bijdrage van de bodem lijkt echter voor de ‘nieuwe’ versie aan de hoge kant te zijn. Dit wordt veroorzaakt door de hoge bijdrage van kwel aan de P-belasting.

Bij de resultaten wordt geconcludeerd dat de grote bijdrage van de bodem in kleigronden en de sterke verschuiving tussen de bijdragen van de bronnen er op duiden dat een belangrijk deel van de belasting uit de ondergrond afkomstig is. Het is dan ook van belang dat er aandacht besteed wordt aan de schematisering en parameterisering van de (ondiepe) ondergrond en dan in het bijzonder in kleigebieden. Door een betere schatting van de initiële voorraden in de bodem en door gebruik van in de diepte gedifferentieerde afbraakconstanten voor organische stof zal de relatieve bijdrage van de bodem aan de emissie van stikstof voor de kleigronden waarschijnlijk lager uitvallen dan hier is gepresenteerd. Dat betekent dat de bijdrage van de bron landbouw voor stikstof waarschijnlijk iets groter zal zijn dan nu berekend.

Aanbevolen wordt deze exercitie om de bijdrage van de bronnen te bepalen regelmatig met nieuwe kennis en data te herhalen voor de onderbouwing van de decernota's Implementatie KRW.



## 6 Discussie

Deze studie is een nadere verkenning naar de bijdrage van de verschillende diffuse bronnen in het landelijke gebied aan de emissie van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater. Daarbij is gebruik gemaakt van het STONE-instrumentarium (STONE 2.3), zoals deze is ingezet voor de ex-ante analyses van de evaluatie mestwetgeving in 2007. De gevolgde werkwijze levert een indicatie van o.a. de actuele bijdrage van de bron landbouw.

### ***Bronnenanalyse***

Niet alle bronnen in het landbouwgebied zijn in deze studie meegenomen, denk aan bagger, aan infiltratie uit waterlopen, directe slootkwel.

- De bron bagger kan in een steady-state benadering op langere termijn mogelijk worden verwaarloosd (in dat geval heb je het over een soort kringloop vanuit het water naar het land en terug minus de verliezen naar de atmosfeer), op kortere termijn kan bagger lokaal waarschijnlijk grote invloeden hebben op de waterkwaliteit.
- De bijdrage van de bron infiltratie blijkt uit eerder uitgevoerde studies niet groot te zijn, ook hier is sprake van een kringloop maar nu met een kortere periode, de stoffen die tijdens droogte/aanvoer infiltreren worden 's winters weer afgevoerd naar het oppervlaktewater.

De in deze studie gevolgde werkwijze is bruikbaar om de bijdrage van de bronnen te kwantificeren. De gevolgde werkwijze geeft een indruk van het 'overall effect' van de verschillende bronnen en voldoet daarmee aan de doelstelling van de studie: het kwantificeren van de bijdragen van de bronnen in het landelijke gebied. Landbouw heeft bijvoorbeeld grote verschuivingen in bodemprocessen tot gevolg waardoor uitspoeling van N en/of P afkomstig uit andere bronnen kan worden vergroot of verkleind. De gehanteerde werkwijze volgt niet het pad van de mestdeeltjes die uit- of afspoelen. Wanneer inzicht nodig is hoe de verschillende bronnen elkaar beïnvloeden zou in het uitspoelingsmodel ANIMO een methode gebouwd kunnen worden waarmee de herkomst van de nutriënten kan worden geadmistreerd ('virtuele C<sup>14</sup>/N<sup>15</sup>-methode'). De laatste werkwijze maakt het mogelijk de interacties tussen de processen in de bodem beter te begrijpen en daarmee het model, de parameterwaarden en de resultaten te verbeteren waardoor de effecten van maatregelen beter kunnen worden onderbouwd maar ook maakt de verkregen kennis het mogelijk om maatregelen te optimaliseren.

### ***Verbeteren STONE***

Het bepalen van de bijdrage van de bronnen met STONE is een recent ontwikkelde toepassing (Van der Bolt et al. 2007). Om de bijdrage van deze bronnen beter te kunnen kwantificeren moet een aantal aanpassingen worden gerealiseerd:

- Betere schatten van kwelfluxen en kwelconcentraties.

- De diepte van de bodemprofielen nader specificeren zodat de geohydrologische eigenschappen beter worden doorvertaald in de relatie tussen grondwater en oppervlaktewater.
- Verbeteren van de initiële schatting van de toestand van de bodem dieper dan 1 m – mv. ten aanzien van het organisch stofgehalte, de fosfaatvoorraad en P-verzadigingsgraad
- Afbraakconstanten voor organisch materiaal in de ondergrond specificeren voor verschillende geologische eenheden.
- Verbeteren van het gewasopnameconcept voor laagbelaste systemen
- Invoeren van gewasrotaties

Deze aanpassingen van model, schematisering en parameters konden niet worden uitgevoerd voor de nieuwe Evaluatie van de Mestwetgeving (EMW 2007).

Voor de voorbereiding op berekeningen voor EMW 2007 zijn in STONE een aantal verbeteringen doorgevoerd. De eerste indruk is dat de verbeterde versie van STONE leidt tot een verbeterde schatting van de bijdragen van de bronnen in het landbouwgebied. Toch zijn verdere aanpassingen denkbaar. Door een betere schatting van de initiële voorraden in de bodem en door gebruik van in de diepte gedifferentieerde afbraakconstanten voor organische stof zal de relatieve bijdrage van de bodem aan de emissie van stikstof voor zand- en kleigronden waarschijnlijk lager uitvallen dan in deze studie is gepresenteerd. Dat betekent dat de bijdrage van de bron landbouw voor stikstof (behalve wellicht voor veengronden) waarschijnlijk iets groter zal zijn dan nu berekend. Een betere schatting van de initiële P-voorraden in de bodem over de verschillende bodemgebruikvormen (betere inschatting reactiviteit organische stof en verdeling van mineraal-P en organisch-P in mest) zal echter voor fosfor leiden tot een grotere bijdrage van de bron bodem en tot een lagere bijdrage van de bron landbouw. De grootte van deze veranderingen hangt af van de doorwerking van de aanpassingen en zal verschillen voor de varianten.

Bij de studie is gebruik gemaakt van de meest recente STONE 2.3. Aanbevolen wordt om de exercitie te herhalen wanneer nieuwe kennis en data en/of een nieuwe versie van STONE beschikbaar zijn.

### ***Gebruik van de bronnenanalyse***

STONE is ontwikkeld voor evaluaties van mestbeleid op landelijke schaal. Daarom bestaat de invoer niet uit de meest gedetailleerde gegevens, en wordt gebruik gemaakt van 6405 geschematiseerde rekeneenheden. Bij deze schematisatie is rekening gehouden met gewas, bodem, waterhuishouding, geohydrologie etc. De bemestingsniveaus voor gras, maïs en overig bouwland worden voor de 31 LEI-regio's vastgesteld. STONE levert een schatting van de emissie naar grond- en oppervlaktewater voor de rekeneenheden. De rekenresultaten van STONE zijn in overeenstemming met het doel waarvoor dit instrument is opgezet en getoetst: het landelijke niveau. Het zwaartepunt heeft daarbij gelegen op de nitraatconcentraties in het bovenste grondwater. De belasting naar het oppervlaktewater heeft minder aandacht gekregen maar is als gevolg van de Kaderrichtlijn Water wel uitermate relevant.

De vraag op welk schaalniveau STONE nog verantwoord kan worden toegepast voor belasting op het oppervlaktewater is momenteel nog onderwerp van studie.

De bijdrage van de landbouw is berekend door het land braak te laten liggen i.e. door geen mest toe te dienen, door geen grondbewerking uit te voeren, en door geen gewas af te voeren. Deze "geen landbouwvariant" heeft het nadeel dat in het model ANIMO de gewasopname reageert op de verandering van beschikbaarheid van nutriënten waarbij het model (nog) niet alle terugkoppelmechanismen meeneemt. De gewasopname in ANIMO en de omzettingsprocessen in de bodem zijn ontwikkeld en geparametriseerd voor hoogbelaste landbouwsystemen en moeten nog voor laagbelaste landbouwkundige systemen worden getoetst. Resultaten van dergelijke varianten moeten met enig voorbehoud worden geïnterpreteerd. In een studie van Kros et al (2005) wordt geconcludeerd dat ANIMO de nutriëntenbeschikbaarheid in natte veengebieden (natuur) niet slechter beschrijft dan het specifiek voor laagbelaste systemen ontwikkelde model SMART (Kros, 2002). Dat geeft enig vertrouwen voor gebruik van ANIMO in laagbelaste systemen en biedt perspectief voor aanpassingen. Het is wenselijk ANIMO te toetsen en te verbeteren aan (nog te verzamelen) metingen in laagbelaste percelen, bijvoorbeeld in natuurgebieden of uitmijnprouven.

De bijdrage van de bronnen is in deze studie uitgedrukt in procenten van de totale belasting in de betreffende periode. Omdat de totale belasting in de tijd verandert kan de relatieve bijdrage van een bron toenemen terwijl deze absoluut is afgenomen (en omgekeerd). Daarom wordt aanbevolen voor analyses van veranderingen in de tijd zowel relatieve bijdragen als de absolute belasting te presenteren. Dat geldt zowel voor de bijdrage van bronnen als voor de effecten maatregelen.

### ***Varianten***

Goed definiëren van varianten is essentieel om vragen adequaat te kunnen beantwoorden. De in deze studie gehanteerde variant 'geen landbouw' gaat uit van het volledig afwezig zijn van de functie (grondgebonden) landbouw: 1) geen bemesting, 2) geen grondbewerking en 3) geen gewasafvoer zodat het land braak ligt. Hierdoor worden ook nauwelijks of geen nutriënten afgevoerd. Er zijn ook varianten mogelijk waarbij de bemesting verder wordt verlaagd of voor fosfor zelfs wordt uitgeschakeld maar waarbij wel landbouwkundig wordt geproduceerd. Dergelijke varianten hebben in essentie betrekking op de maatregelen lagere bemestingsniveaus dan de gebruiksnormen en/of uitmijnen. Het zijn 'bemestingsvarianten' waarbij de functie landbouw in een bepaalde vorm blijft bestaan. Met de variant 'geen landbouw' wordt de bijdrage van de bron landbouw geschat, met de 'bemestingsvarianten' wordt het effect van een vorm van landbouw met lage input aan nutriënten in het systeem verkend. Omdat de landbouw niet alleen nutriënten aanvoert maar ook nutriënten afvoert kan het zo zijn dat bemestingsvarianten gericht op uitmijnen een positiever milieueffect hebben dan stoppen van de functie landbouw. Landbouw met lage nutriënteninput en een optimale gewasafvoer gericht op uitmijnen is een maatregel om de voorraad in de bodem en daarmee de belasting op het oppervlaktewater uit deze bron zo snel mogelijk te reduceren.



De bijdragen van de bronnen variëren in de tijd. Dat leidt tot de vraag of je kosteneffectieve maatregelen moet zoeken voor een langjarig (zomer)gemiddelde toestand of juist voor extreme situaties. Dit hangt o.a. weer af van de ecologische doelen die binnen de KRW worden nagestreefd

## 7 Conclusies

De gevolgde werkwijze is bruikbaar voor de globale schatting van de bijdrage van de bronnen. De resultaten van deze studie geven een indicatie van de bijdrage van de diffuse bronnen in het landelijke gebied voor de actuele situatie en voor de historie. Daarmee wordt het mogelijk gericht maatregelen te zoeken die ertoe leiden dat de diffuse belasting van het oppervlaktewater met nutriënten uit het landelijke gebied wordt gereduceerd. Aanbevolen wordt om voor de onderbouwing van de implementatie van de Kaderrichtlijn Water deze exercitie te herhalen zodra nieuwe kennis en data en een nieuwe versie van het STONE rekeninstrument beschikbaar zijn (bijvoorbeeld aanpassingen in de geochemische parametrisering van de ondergrond). Ook kan de methode voor het schatten van de bijdrage van bronnen worden verfijnd zodat artefacten als gevolg van onlogische randvoorwaarden niet meer voorkomen (bijv. bemesting uitschakelen en desondanks landbouw bedrijven).

Van der Bolt et al. (2007) hebben gebruik gemaakt van een eerdere versie van STONE (STONE 2.1.1) met bemestingsscenario's van EMW 2004. De resultaten van die studie gaven een eerste indicatie van de bijdrage van de bronnen. In deze studie is gebruik gemaakt van een verbeterde versie van de hydrologie en van een verbeterde versie van het STONE-model (STONE 2.3). De variatie in de bijdragen van de bronnen blijkt hierdoor te zijn toegenomen en de berekende bijdrage van de landbouw sluit beter aan bij de resultaten van eerdere balansstudies. De berekende bijdrage van de sector landbouw aan de nutriëntenbelasting met de 'nieuwe' versie van STONE komt voor veengronden goed overeen met bronnenanalyses op regionale schaal. Voor kleigronden is de bijdrage van de landbouw aan de stikstofbelasting naar het oppervlaktewater nog steeds te laag, de bijdrage aan de P-belasting komt aardig overeen.

De resultaten van beide studies laten zien dat de bijdrage aan de emissie naar het oppervlaktewater niet gelijk is aan de bijdrage aan de instroom in het systeem. Deze (te) simpele methode is niet geschikt om de bijdragen van bronnen aan de emissie naar het oppervlaktewater te schatten.

De in deze studie berekende directe bijdrage van landbouw als één van de diffuse bronnen in het landelijke gebied voor de emissie van nutriënten naar het oppervlaktewater is kleiner dan in eerdere verschenen bronnenanalyses voor Nederland op basis van de emissieregistratie is geschetst, ook wanneer de door de landbouw veroorzaakte bijdrage aan de bodem wordt meegeteld. Dat wordt veroorzaakt doordat de bijdrage van de bronnen 'landbouw' en 'natuur' zoals opgenomen in de emissieregistratie zijn opgebouwd uit de bijdragen van de bronnen depositie, landbouw, kwel en bodem. De ER-C bevat niet de emissies uit de landbouw maar de emissies uit het landbouwkundig gebruikte deel van het landelijke gebied.

De bijdrage van de bron 'bodem' is aanzienlijk. Dat wordt mede veroorzaakt door de oplading van de bodemvoorraad als gevolg van landbouwkundige activiteiten in het verleden. De bijdrage van kwel en atmosferische depositie zijn op landelijke schaal kleiner. De bijdrage van kwel kan lokaal groot zijn.

Om de doelen van de Kaderrichtlijn Water te realiseren moeten naast maatregelen gericht op de emissie uit de landbouw ook maatregelen gericht op de andere (diffuse) bronnen in het landelijke gebied worden verkend, het is daarbij noodzakelijk de bronnen en maatregelen op regionaal niveau onderbouwd te kunnen kwantificeren. Om de belasting uit het (landbouwkundig gebruikte deel van het) landelijke gebied te reduceren zouden vooral ook maatregelen gericht op de bron bodem nader moeten worden onderzocht. Hierbij kan o.a. gedacht worden aan uitmijnen van de bodem via een vorm van landbouw met lagere bemestingsniveaus dan de gebruiksnormen.

## Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, T. Kroon, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors, H. Th. L. Massop en D.J.J. Walvoort, 2007. *Reparatie Hydrologie voor STONE 2.1. Beschrijving reparatie-acties, analyse resultaten en beoordeling plausibiliteit*. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen. WOT Werkdocument 81.
- Bakel, P.J.T. van, H. Th. L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, M.J.H. Pastoors & T. Kroon, 2008. *Actualisatie hydrologie voor STONE 2.3. Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets*. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen. WOT Rapport 57.
- Berge, H.F.M. ten, J.C.M. Withagen, F.J. de Ruijter, M.J.W. Jansen and H.G. van der Meer, 2000. *Nitrogen responses in grass and selected field crops. QUADMOD parameterization and extensions for STONE-application*. Plant Research International, Wageningen. PRI report 24.
- Beusen, A.H.W., Schotten, C.C.G., Roelsma, J. en Groenendijk, P., 2004. *STONE 2.1, technische documentatie, versie 1.0*. RIVM, Bilthoven. Intern IMP rapport 04/04.
- Beusen, A.H.W. & P. Heuberger, 2007. *Calibratie van STONE 2.3 met LMM gegevens*. Milieu en Natuur Planbureau, Bilthoven. Intern Rapport
- Bo1t, F.J.E. van der, H.P. Oosterom, R.F.A. Hendriks en P. Groenendijk, 2007. *Bronnen van nutriënten in het landelijke gebied. De bijdrage van de landbouw aan oppervlaktewaterkwaliteit in perspectief*. Alterra, Wageningen. Alterra-rapport 1483.
- Evert, F.K. van, H.F.M. ten Berge, H.G. van der Meer, B. Rutgers, A.G.T. Schut & J.J.M.H. Ketelaars, 2003. *FARMMIN: Modeling Crop-Livestock Nutrient Flows*. In: Annual Meetings Abstract, November 2-6, 2003, Denver, CO. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI (on CD).
- Fraters, B. P.H. Hotsma, V.T. Langenberg, T.C. van Leeuwen, A.P.A. Mol, C.S.M. Olsthoorn C.G.J. Schotten en W.J. Willems, 2004. *Agricultural practice and water quality in the Netherlands in the 1992-2002 period. Background information for the third EU Nitrates Directive Member States report*. De Bilt, RIVM. RIVM-report 500003002/2004
- Heinen, M. 2003. *A simple denitrification model? Literature review, sensitivity analysis, and application*. Alterra Green World Research, Wageningen. Alterra rapport 690.
- Hendriks, R.F.A., 1991. *Afbraak en mineralisatie van veen: literatuuronderzoek*. DLO-Staring Centrum, Wageningen. SC-rapport 199.
- Hendriks, R.F.A., 1993. *Nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in veenweidegebieden*. DLO-Staring Centrum, Wageningen. SC-rapport 251.
- Hendriks, R.F.A., R. Kruijne, J. Roelsma, K. Oostindie, H.P. Oosterom en O.F. Schoumans, 2002. *Berekening van de nutriëntenverliezen van het oppervlaktewater vanuit landbouwgronden in vier poldergebieden. Analyse van de bronnen*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 408.

- Hendriks, R.F.A., D.J.J. Walvoort and M.H.J.L. Jeuken, 2006 (in prep). *Evaluation of SWAP and ANIMO for simulating nutriënt loading of surface water for a peat land area. Calibration, validation, and system and scenario analysis for a study area in the Vlietpolder*. Report 619, Alterra, Wageningen.
- Griffioen, J., D.J. Huisman, J.H.A. Bosch, F.D. de Lang en H.J.T. Weerts, 2000. *Geologische parametrisatie van de Nederlandse ondergrond ten behoeve van het STONE-model*. NITG-TNO, Delft.
- Groenendijk, P., H.P. Oosterom, J. Roelsma, 2001. *Implementatie van QUADMOD voor gewasopname in STONE*. Intern rapport, Alterra, Wageningen.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud and J. Roelsma, 2005. *Prediction of Nitrogen and Phosphorus leaching to groundwater and surface waters; Process descriptions of the ANIMO4.0 model*. Alterra, Wageningen. Alterra report 983.
- Kroon, T., P. Finke, I. Peereboom en A. Beusen, 2001. *Redesign STONE. De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters*. Lelystad, RIZA. RIZA-rapport 2001.017
- Kros, J., P. Groenendijk, J.P. Mol-Dijkstra, H.P. Oosterom, G.W.W. Wamelink, 2005. *Vergelijking van SMART2SUMO en STONE in relatie tot de modellering van de effecten van landgebruikverandering op de nutriëntenbeschikbaarheid*. Wageningen, MNP. WOT-rapport 13.
- Kros, J., 2002. *Evaluation of biogeochemical models at local and regional scale*. Wageningen, Wageningen University, PhD thesis.
- Overbeek, G.B.J.; Beusen, A.H.W.; Boers, P.C.M.; Born, G.J. van den; Groenendijk, P.; Grinsven, J.J.M. van; Kroon, T.; Meer, H.G. van der; Oosterom, H.P.; Puijenbroek, P.J.T.M. van; Roelsma, J.; Roest, C.W.J.; Rötter, R.; Tiktak, A.; Tol, S. van, 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)*. RIVM, Bilthoven. RIVM rapport 718501001/2002.
- Plette, S., C. van Beek en C. van der Salm, 2004. *Mest en oppervlaktewater. Een synthese van de 3 DOVE projecten t.b.v. de evaluatie meststoffenwet 2004*. RIZA werkrapport, nr 2004.092x
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat 2006. *Water in Beeld en Water in Cijfers*. [www.waterinbeeld.nl](http://www.waterinbeeld.nl)
- Rötter, R., J.J.M. van Grinsven, P. Boers, A.H.W. Beusen en O. Oenena, 2001. *De status van het rekeninstrumentarium STONE versie 2.0*. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruirnte, Wageningen. Alterra-Rapport 378.
- Schoumans, O.F., R. van den Berg, A.H.W. Beusen, G.J. van den Born, L. Renaud, J. Roelsma, P. Groenendijk, 2004. *Quick scan van de milieukundige effecten van een aantal voorstellen voor gebruiksnormen. Rapportage in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2004*. Alterra, Wageningen. Alterra rapport 730.6.
- Schoumans, O.F., L.V. Renaud, H.P. Oosterom en P. Groenendijk, 2004. *Lot van het fosfaatoverschot*. Alterra, Wageningen. Alterra rapport 730.5.

Schröder J.J., H.F.M. Aarts, J.C. van Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof, B. Fraters & W.J. Willems, 2005. *Limits to the use of manure and mineral fertilizer in grass and silage maize production in The Netherlands, with special reference to the EU Nitrates Directive*. Plant Research International, Wageningen. PRI-report 93.

Schreuder, R., Dijk, W. van, Asperen, P. van, Boer, J. de, Schoot, J.R. van der, 2008. *MEBOT 1.01: beschrijving van milieu- en bedrijfsmodel voor de open teelten*. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad. PPO-rapport 373.

Willems W.J., A.H.W. Beusen, L.V. Renaud, H.H. Luesink, J.G. Conijn, H.P. Oosterom, G.J. van den Born, J.G. Kroes, P. Groenendijk, O.F. Schoumans, 2005. *Nutriëntenbelasting van bodem en water: verkenning van de gevolgen van het nieuwe mestbeleid* Milieu en Natuur Planbureau, Bilthoven, MNP rapport 500031003.

Willems, W.J., A.H.W. Beusen, L.V. Renaud, H.H. Luesink, J.G. Conijn, G.J. van den Born, J.G. Kroes, P. Groenendijk, O.F. Schoumans en H. van de Weerd, 2008. *Verkenning milieugevolgen van het nieuwe mestbeleid. Achtergrondrapport Evaluatie Meststoffenwet 2007*. Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven. PBL rapport 500124002.



## Bijlage 1 STONE

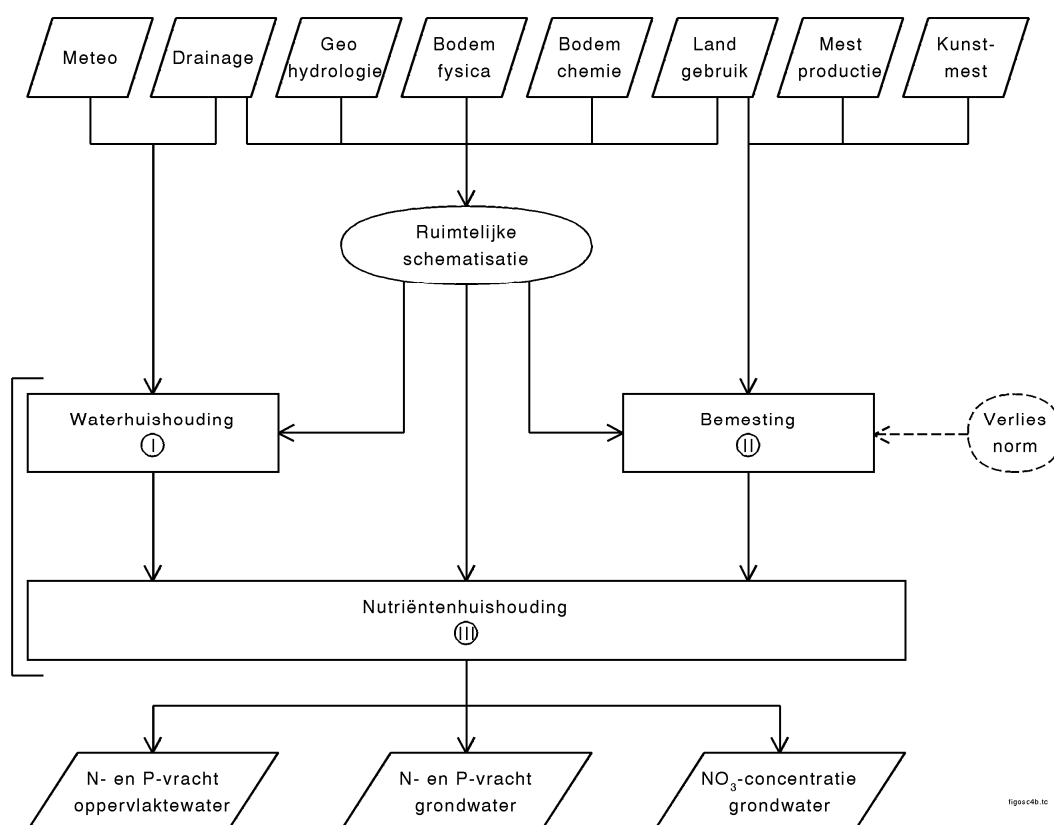
STONE is een modelinstrument dat er op gericht is om op nationale schaal de effecten van nationaal of Europees landbouw- en milieubeleid en van ontwikkelingen in de landbouwsector op de uitspoeling van stikstof en fosfaat naar het grond- en oppervlaktewater te kwantificeren. STONE is een interdepartementaal consensusinstrument dat ontwikkeld is door voornamelijk Alterra, RIZA en RIVM. De ontwikkeling van STONE is gestart vanuit de modellen en gegevens uit de Watersysteemverkenning (1994) en vond grotendeels plaats in de periode 1997 – 2000. Het modelinstrumentarium bestaat uit een aantal componenten, te weten een mestverdelingsmodule CLEAN van het RIVM, een N-depositiemodule OPS/SRM van het RIVM, een bodem-N- en -P-kringloop- en N- en P-emissie-module ANIMO van Alterra en een ruimtelijke schematisatie van Nederland door RIZA. In 2000 is de eerste release (STONE 1.3; Beusen et al, 2000) ingezet voor de Nationale milieuverkenningen 5 (MV5) (Overbeek et al, 2001). De kennis en ervaringen opgedaan bij deze toepassing hebben tot een groot aantal aanpassingen geleid. Dit heeft geresulteerd in een nieuwe release van STONE (versie 2.0). De belangrijkste veranderingen in STONE waren: (1) nieuwe module voor de berekening van de gewasproductie en de stikstof- en fosfaatopname (QUADM0D; Ten Berge et al, 2000); (2) nieuwe modules voor de berekening van denitrificatie en mineralisatie van organische stof; (3) nieuwe ruimtelijke schematisatie van Nederland (Kroon et al, 2001). Voor meer informatie over de historische ontwikkeling en de functionaliteit van STONE, zie Rötter et al (2001).

Van origine was het modelinstrumentarium STONE ontwikkeld voor het doorrekenen van varianten van stikstof- en fosfaatgebruiksnormen, zoals deze in de eerste en tweede fase van het mestbeleid werden opgelegd voor de verschillende landgebruiksvormen. Door de invoering van de nieuwe meststoffenwet, met daaraan gerelateerd het MINAS-systeem, was de mestverdelingsmodule CLEAN niet meer volledig geschikt om de verliesnormen die voor fosfaat en stikstof op bedrijfsniveau gelden, te vertalen naar mestgiften voor stikstof en fosfaat. Er is daarom in deze studie een voorbewerking toegepast om deze verliesnormen te vertalen naar de stikstof- en fosfaatgebruiksnormen in CLEAN. Met name bij de graasveehouderij deed dit probleem zich voor. Deze problematiek heeft er toe geleid dat er veel aandacht is besteed aan de methodiek om voor graasveehouderijbedrijven de juiste bemestingcijfers aangeleverd te krijgen naar de bemestingsmodule CLEAN. Hiervoor is het model FARMMIN van Plant Research International ingeschakeld (Van Evert et al, 2003).

In 2000/2001 is met STONE versie 2.0 een plausibiliteittoets uitgevoerd (Overbeek et al, 2001). Tijdens een workshop in juni 2001 is STONE versie 2.0 door een breed forum van onderzoekers, beleidsanalisten en onderzoeksmanagers van RIVM, RIZA en Wageningen-UR geschikt verklaard voor beleidsondersteuning, zoals bijvoorbeeld deze inzet van STONE ten behoeve van de evaluatie van de Meststoffenwet in 2002.



Voor het berekenen van de belasting van grond- en oppervlaktewateren met stikstof en fosfaat in Nederland, wordt Nederland opgedeeld in 6405 landeenheden, zgn. plots genoemd. Een plot is een unieke combinatie van voornamelijk geologie, hydrologie, bodemtype en landgebruiksvorm. Elke plot kan worden beschouwd als een unieke, homogene eenheid binnen Nederland, die echter niet uit een aansluitend gebied bestaat. De plotgrootte varieert van 25 tot 21.762 ha met een mediaanwaarde van 287.5 ha. Deze ruimtelijke schematisatie van Nederland is beschreven door Kroon et al (2001). Onderstaande figuur geeft een schematische weergave van het huidige modelinstrumentarium van STONE met de belangrijkste deelmodellen en datainstroom- en dataoutput-bestanden.



### Modelinstrumentarium

I: SWAP met voorberwerking NAGROM/LGM

II: CLEAN met voorberwerking FARMMIN (waarvan QUADMOT onderdeel uitmaakt) en in combinatie met OPS/SRM voor N depositie

III: ANIMO in combinatie met QUADMOT met aansturingsschil GONAT

*Figuur Schematische weergave van STONE met de belangrijkste datastromen en modellen*

## Bijlage 2 . Van STONE 2.1.1 naar STONE 2.3

### *Inleiding*

De analyse in het rapport “Bronnen van nutriënten in het landelijke gebied. De bijdrage van landbouw aan oppervlaktewaterkwaliteit in perspectief” van Van der Bolt et al (2007) is voornamelijk gebaseerd op STONE versie 2.1.1 Deze versie is ontwikkeld en toegepast voor de “Quick scan van de milieukundige effecten van een aantal voorstellen voor gebruiksnormen in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2004 (Schoumans et al., 2004). Na STONE versie 2.1.1 is STONE 2.2 ontwikkeld en toegepast in de verkenning van de gevolgen van het mestbeleid in 2005 (Willems et al., 2005) en STONE versie 2.3 in 2007 (Willems et al., 2008; Groenendijk et al., in prep.). Deze bijlage beschrijft de belangrijkste veranderingen in STONE van de twee modelversies.

### ***STONE 2.1.1→STONE 2.2***

#### *Depositie*

Door de Werkgroep Onderbouwing Gebruiksnormen en in de ex-ante berekeningen 2004 met STONE werden verschillende cijfers gehanteerd. In STONE 2.2 zijn cijfers voor de depositie gebruikt die consistent zijn met Milieu- Compendium.

#### *Inspectie implementatie QUADMOD-module in STONE*

Een inspectie van de uitgangspunten van de gewasopname module QUADMOD implementatie is uitgevoerd. Dit resulteerde in enkele aanpassingen:

- De berekening van N-leverend vermogen van de bodem is gecorrigeerd. Het begrip NLV in STONE bleek een andere betekenis te hebben dan in QUADMOD.
- De berekening van de gewasopname van niet, gedeeltelijk en geheel beweid grasland in afhankelijkheid van het aantal grootvee-eenheden was in STONE 2.1.1 afhankelijk van het aantal GVE's. Besloten is het beweidingspercentage op 40% en het maai-percentage op 60% in te stellen.
- Een inspectie van de rekenprocedure van bruto-opname en netto-opname door grasland is uitgevoerd en een fout werd geconstateerd bij de omrekening van Quadmod-uitvoer naar ANIMO-invoer. Deze “bug” is gecorrigeerd.

#### *Afstemming op werkingscoëfficiënten elders in de STONE-keten*

De aannames tav werkingscoëfficiënten voor de berekening van gewasopname op basis van de NwDose-variabele (effectieve N-gift) is consistent gemaakt met de aannames in Mest en Ammoniakmodel van het LEI door middel van het inlezen van een resultaat-bestand van MAM en het achterwege laten van de eigen STONE-berekening.

### *Gewasopname - reductie als gevolg van N-deficit*

Bij lagere mestgiftten in de toekomst bleek dat de door ANIMO gesimuleerde mineraal N-voorraad in de bodem te klein was om aan de vraag voor gewasopname van maïs en bouwland te voldoen. De gewasopname vraag wordt berekend door QUADMODO. Bij nadere inspectie bleek dat de timing van kunstmestgiftten niet optimaal was en dat een deel van de kunstmest niet voor het gewas beschikbaar kwam door uitspoeling of denitrificatie. Door de tijdstippen waarop kunstmest gegeven wordt dichter bij de opname periode te kiezen gaat minder stikstof verloren en kan beter aan de vraag worden voldaan. Ondanks deze ingreep kan niet worden voorkomen dat op natte gronden een deel van de kunstmest verloren gaat en dat aan het einde van het groeiseizoen een tekort van mineraal N optreedt. Dit heeft als gevolg dat de vooraf ingeschatte opname niet wordt gerealiseerd en dat het N-overschot (N-gift minus opname) hoger is dan verondersteld bij de berekening van de mestaanwending.

### *Denitrificatie*

Voor STONE 2.1.1 is geconcludeerd dat de vochtresponsfunctie van denitrificatie in zandgronden gecalibreerd dient te worden op meetgegevens. Hiervoor worden de metingen uit het LMM gebruikt. De vochtresponsefunctie wordt beschreven met een lineair verband tussen de waterverzadigingsgraad (WFPS) en de relatieve denitrificatiesnelheid, als de waterverzadigingsgraad een bepaalde drempelwaarde overschrijdt. Onder de drempelwaarde is de denitrificatie nul en boven de drempelwaarde verloopt de relatieve waarde naar 1 bij WFPS=1. In STONE 2.1.1 is aan de hand van enkele metingen uit het LMM de waarde op 0.5 gesteld, dit bleek een te drastische aanpassing. Nadat meerdere gegevens van het LMM bekeken zijn en ook de grondwaterstanden in de calibratieprocedure zijn betrokken, is geconcludeerd dat 0.7 een beter getal is voor de drempelwaarde in deze functie. Het getal 0.7 ligt midden in de range van door Heinen (2003) aangeduide waarden voor deze vochtresponsfunctie.

### *Aanpassing P-kunstmest in periode voor 1985*

Een eerste vergelijking van de P-verzadigingstoestand van de bodem (Schoumans et al. 2004) wees uit dat de gemiddelde frequentieverdeling van STONE resultaten goed overeen komt met de frequentieverdeling van LSK waarnemingen, maar dat STONE de P-verzadiging onder maïs overschat en onder gras onderschat. Waarschijnlijk is dit een gevolg van de veronderstelling van een permanent grondgebruik in STONE, terwijl in de praktijk rotatie en vruchtwisseling wordt toegepast. De in 1986 aanwezige P-voorraad in de bodem is enigszins aangepast door in de periode 1941-1985 de P-kunstmestgiftten anders te verdelen over gras en maïs.

### *P-afspoeling in ANIMO*

In de post-processing procedure van de uitspoelingsmodule ANIMO werd een foutje geconstateerd in de berekening van P-belasting door oppervlakkige afspoeling. Dit is gecorrigeerd. Controle wees uit dat deze "bug" nagenoeg geen effect had op eindresultaat.

### ***STONE2.2→STONE2.3***

Een aantal wijzigingen zijn in bijlage 1 van het rapport van Willems et al., (2008) beschreven. De meest uitgebreide beschrijving wordt gegeven in het rapport van Groenendijk et al., (2008; in prep.). ***Nieuwe versie hydrologie berekend met SWAP en NAGROM***

De hydrologie in STONE is verbeterd met een combinatie van het NAGROM/MOZART model. Het resultaat is een simulatie van grondwaterstanden, waterstromen en vochtgehalten in de bodem van alle STONE eenheden. Van de beschrijving van de hydrologie voor STONE 2.1 is verslag gedaan door Van Bakel *et al.*, 2007. Geconstateerd werd dat aanpassingen in de hydrologische simulaties wenselijk zijn. De berekening van de hydrologie voor STONE 2.3 is gerapporteerd door Van Bakel *et al.*, 2008. Aanpassingen zijn aangebracht t.a.v.:

Onderwerp	Aangebrachte wijziging	Motief
Meteogegevens	Gebruik van dagwaarden i.p.v. neergeschaalde decadecijfers	Betere traceerbaarheid van modelinvoer, beter recht doen aan regionale patronen van neerslag
Bodemfysische parameters Landgebruik	Gebruik van de StaringReeks uit 1994 i.p.v. StaringReeks uit 2003. <ul style="list-style-type: none"><li>• De groep “natuur” is opgesplitst in natuurlijk gras, heide, loofbos, sparrenbos en dennenbos;</li><li>• Aan een aantal akkerbouw en maisplots is het kenmerk “nat: toegekend. Hiervoor zijn andere bewortelings- en verdampings-reductieparameters</li></ul>	StaringReeks 2003 bevat fouten <ul style="list-style-type: none"><li>• Hydrologie voor STONE wordt ook gebruikt voor studies waarin ingezoomd wordt op natuur</li><li>• Natte plots gaven een onrealistisch lage verdamping te zien.</li></ul>
Verdampings-eigenschappen	<ul style="list-style-type: none"><li>• Verloop van de bodembedekking van gras en akkerbouw is bijgesteld (gras: zaagtand i.v.m. maaien; akkerbouw Clevering &amp; Van Bakel, 2006)</li><li>• Verloop in de tijd van LAI en bodem-bedekkingsgraad van maïs en akkerbouw</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Verdamping in vorige versie van STONE was te hoog.</li><li>• Afstemming met opnamepatroon in nutriëntenmodel</li></ul>
Lekweerstand	de lekweerstand van systemen 1, 2, 3 zijn opnieuw berekend	Nieuwe informatie beschikbaar voor geohydrologische parameters (Massop et al., in voorber.)
Ontwaterings bases	ontwateringsbasis van de systemen 1, 2 en 3 (primair, secundair, tertiair) en het kenmerk voor buisdrainage zijn aangepast	Nieuwe informatie beschikbaar

Geconstateerd is dat er een discrepantie bestaat tussen de op basis van de hydrologie voor STONE2.1 berekende indeling in droge/natte zandgronden en de wettelijk vastgestelde verdeling. Ook na verbetering van de hierboven genoemde punten zullen er enige verschillen blijven bestaan. In de nabewerking van resultaten zullen de milieuparameters (nitraat in grondwater; N- en P-belasting van oppervlakte water) voor zowel de wettelijk vastgestelde (aangewezen) natte/droge zandgronden als voor de volgens STONE\_invoer natte/droge zandgronden worden gepresenteerd.

#### ***Definitie van diepte toedeling gewasresten***

Geconstateerd is dat in de modelketen de informatie over de dikte van de zone waarin de gewasresten terecht komen niet consistent werd verwerkt. Deze dikte is in de modelketen van belang bij:

- De toekenning van de organische stof in de bodem aan de verschillende pools/fracties aan het begin van de initialisatie-run in 1941.
- De definitie van het aantal bodemlagen waarin de ondergrondse gewasresten terecht komen.
- De definitie van de diepte waarop in ANIMO de “drought-stress transfer-function” en de “depth transfer function” voor de afbraaksnelheid van organische stof werkzaam zijn en de bovenkant van de laag waarvoor de ingevoerde C/N-quotienten in het bestand “SOIL.INP” worden gehanteerd bij de toekenning van N-gehalten aan de organische stof.

Op enkele plaatsen zijn de modelcodes aangepast om er voor te zorgen dat de diepte van toedeling van gewasresten op verschillende plaatsen in de modelketen wordt verwerkt. Deze diepte was niet afgestemd met het patroon van wateropname in de bodem. In het SWAP-model wordt uitgegaan van een dynamische ontwikkeling van de worteldiepte en voor de verwerking van deze informatie is een directe koppeling tussen SWAP, de nutriëntenopname-module QUADMOD en de uitspoelingsmodule ANIMO noodzakelijk. Dit is niet aan de orde binnen STONE.

#### ***Fosfaatophoping in de bodem***

De fosfaatvoorraad in de bodem is in belangrijke mate bepalend voor de belasting van oppervlaktewater op korte en de middel lange termijn. Schoumans (2004) toonde aan dat de landelijk gemiddelde P-ophoping goed is beschreven met STONE, maar dat de verdeling binnen regio's of per gewasgroep verbetering behoeft. Onder grasland worden te lage waarden berekend en onder maïs wordt de P-ophoping duidelijk overschat. Dit verschijnsel is ook geconstateerd bij STONE 2.1.1. De aangebrachte verandering in P-kunstmestgiften was echter onvoldoende om in de geconstateerde discrepantie te voorzien.

In een nadere analyse bleek dat de plots waarop vanaf 1971 maïs wordt verbouwd en waar voor 1971 akkerbouw plaats vond, ook in de periode 1941-1970 al duidelijk hogere dan gemiddelde mestgiften hebben ontvangen.

Tabel B1 Mediane fosfaatvoorraad in de laag van 0-50 cm in LSK en STONE (kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

	Maïs		Gras		Bouwland	
	LSK	STONE	LSK	STONE	LSK	STONE
Klei	5528	11983	4869	4566	4880	5329
Zand	6143	10104	4633	5534	4442	5112
Veen	3919	7141	5084	3830	3922	4914
Löss	5696	5481	4914	6487	5590	5296

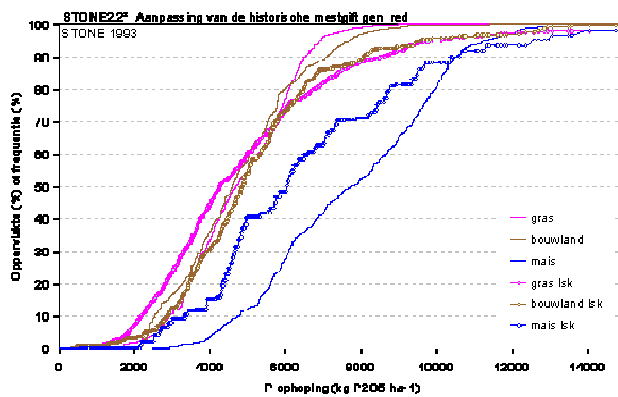
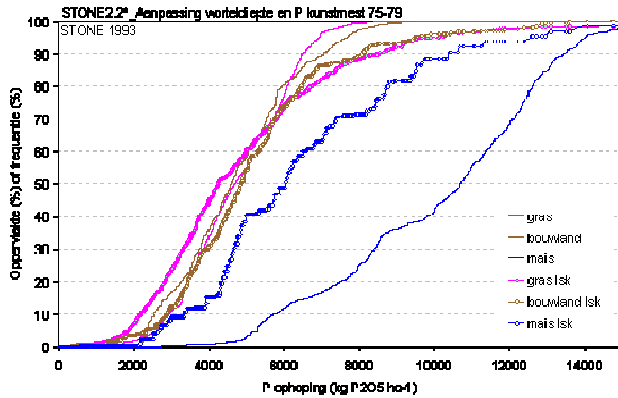
Bij maïsgronden berekent STONE een hogere fosfaatvoorraad dan is waargenomen in de Landelijke Steekproef Kaarteenheden. Dit geldt voor alle grondsoorten. Op graspercelen wordt de P ophoping onderschat op klei en veen en overschat op zand en löss. Bij bouwland is op alle bodemtypen, m.u.v. löss, sprake van een lichte overschatting van de P ophoping.

Gelet op de grote verschillen (STONE factor 1,6-2,2 hoger) is besloten om alleen bij maïsgronden de voorraad terug te brengen. Daartoe zijn diverse opties met wijziging van bemesting aan de hand gras/maïs areaalverhoudingen in verschillende concentratiegebieden uitprobeerde. De opties zijn gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- gras en maïs komen op melkveebedrijven in een rotatie voor;
- in het verleden is uitgegaan van een introductie van snijmaïs in 1971. Echter, niet alle maïs is in 1971 plotseling in Nederland verschenen, maar het areaal is geleidelijk toegenomen over een periode van circa 10 jaar, waarbij de maïs het eerst in de mestoverschotgebieden werd geteeld.

Het eindresultaat in termen van de P-ophoping van de verschillende opties verschilden niet veel van elkaar. Uiteindelijk is geconcludeerd dat hiermee de gewenste reductie in P-ophoping onder maïs niet was te realiseren.

Op basis van LSK is alleen voor maïs een reductie van de dierlijke mest toegepast. Bij controle met de landelijke CBS-mestcijfers bleek dat deze aanpassing een gering effect heeft op het nationale overschot, omdat snijmaïs slechts een beperkt deel van het landbouwareaal uitmaakt. Figuur B1.1 toont de cumulatieve verdeling van de fosfaatvoorraad voor- en na de aanpassing voor snijmaïs.



Figuur B1.1 Fosfaatvoorraad in de toplaag van landbouwgrond in 1993 volgens STONE en LSK, voor correctie (bovenste Figuur) en na correctie voor de historische mestgift op snijmaïs (onderste Figuur).

### Verloop van P-overschotten van grasland op veengronden

In de studie van Willems *et al.*, (2005) met STONE 2.2 is geconstateerd dat bij evenwichtsbemesting bij veengronden met gras het P-overschot in de loop van de tijd toeneemt en dat het P-overschot oscillaties gaat vertonen die gerelateerd lijken te zijn aan het weerjaar. Bij de simulatie met een weerreeks waarin het jaar 1985 continue werd toegepast bleek het P-overschot een nog meer dan bij de variabele een stijgende tendens te vertonen. Inspectie wees uit dat:

- dit verschijnsel doet zich met name voor bij natte veengronden
- in deze natte veengronden wordt de minerale P-voorraad uitgeput en treedt accumulatie op van organisch gebonden P
- na verloop van jaren daalt de minerale P-concentratie tot onder de 0.1 mg/L P en treedt een reductie op van de gewasopname
- omdat in toekomst-scenario's vanaf een bepaald jaar de mestgift op hetzelfde niveau blijft en de gewasopname wordt gereduceerd neemt de P-accumulatiesnelheid toe.

Op basis van informatie van twee projecten (Veenweide; DOVE-Veen) zijn proefruns uitgevoerd voor de veengronden, met een bijstelling van de parameters voor veengronden. Dit betreft:

- HUFROS: de verdeling van het afbraakproduct van verse organische stof over de humus/biomassa pool en de DOP-pool. In STONE staat deze parameter op 0.5 ingesteld. Op basis van ervaring in de genoemde veenprojecten is deze parameter op 0.9 gezet;
- De afbraaksnelheid van de humus/biomassa-pool in de wortelzone. In STONE staat deze parameter op  $0.01 \text{ yr}^{-1}$ . In de veenprojecten stond deze parameter op  $0.02 \text{ yr}^{-1}$ .
- Het Opgehaalde van de humus/biomassa-pool in de wortelzone. De C/P-ratio stond staat in STONE op 100 ingesteld. Op grond van informatie van Rob Hendriks blijkt deze parameter enorm te kunnen variëren voor verschillende veentypen en herkomst van veengronden. In de proefruns is de C/P-ratio op 150 ingesteld.

Het resultaat van deze bijstelling is dat de mineralisatie van P in veengronden groter wordt waardoor er meer minerale P beschikbaar komt voor gewasopname. In bijna alle veenplots met grasland is er nu voldoende P beschikbaar voor opname. Het vreemde gedrag van het P-overschot is daarmee bijna uitgedempt. In 15 plots signaleren we nog steeds een tekort aan minerale P om aan de vraag van gewasopname te voldoen. Dit zijn zeer natte veengronden die in de praktijk voor beheerslandbouw gebruikt worden en waarvoor het de vraag is of de gebruiksnormen relevant zijn.

Bij de proefruns kan aan de gewasvraag worden voldaan en vindt geen reductie van de opname plaats. Toch zien we dat de minerale P-voorraad afneemt en de organische P-voorraad toeneemt. In twintig jaar tijd is de hoeveelheid minerale P in oplossing gedaald van 0.4 naar 0.2 kg/ha. Het is te verwachten dat bij extrapolatie na 2030 na enkele tientallen jaren de minerale P-concentratie zodanig laag zou worden dat er toch weer reductie van de opname gaat plaatsvinden.

#### ***Toedeling van dierlijke mest aan fracties***

Geconstateerd is dat bij de toedeling van dierlijke mest aan organische fracties in ANIMO meer fosfaat in de organische pools terecht kwam dan je op grond van STONE-invoer (DM-file) zou verwachten. Dit heeft consequenties voor de P-beschikbaarheid voor gewasopname in schrale situaties en voor de fosfaatophoping in de bodem. De procedure voor toedeling van dierlijke mest aan de fracties is meer dan tien jaar geleden voor de WSV-studie ontwikkeld en is bij de vorming van STONE overgenomen. De procedure ging in eerste instantie alleen uit van stikstof. Fosfaat is er later aan toegevoegd.

In de invoerbestanden wordt er doorgaans van uitgegaan dat het aandeel organisch gebonden-P 10% bedraagt van de hoeveelheid fosfaat in dierlijke mest. Uit de balansen van een mestscenario, opgesteld aan de hand van ANIMO-resultaten blijkt dat de aanvankelijk ingestelde verhouding  $P_{\text{min}} : P_{\text{org}} = 9 : 1$  niet wordt gerealiseerd door GONAT.



Dit wordt veroorzaakt doordat de module in STONE alleen gebaseerd is op stikstof en de onderverdeling in Ne en Nr. P- is volgend aan de hand van de fractiedefinitie. In de materiaaldefinitie van ANIMO wordt voor de organische P-fractie een vuistregel gehanteerd van P-fractie = 0.1 \* N-fractie. Deze vuistregel (N/P-ratio=10) is opgesteld in de WSV-studie.

Bij de verbetering van de berekening van mestfracties is uitgegaan van de set parameters voor afbraaksnelheden, assimilatiefactoren en N-gehaltes zoals tot STONE2.2 is gehanteerd. De toedeling van de mest over de fracties is gewijzigd. Om recht te doen aan de variabele N/P-ratio's in mest zijn extra fracties toegevoegd, met gelijke N-gehaltes, afbraaksnelheden en assimilatiefactoren maar met een N/P-ratio van 50 i.p.v. 10.

	Fractie 1	Fractie 2	Fractie 3	Fractie 4	Fractie 5	Fractie 6
N-gehalte	0.12	0.07	0.02	0.12	0.07	0.02
P-gehalte	0.012	0.007	0.002	0.0024	0.0014	0.0004
Vaste deel	$(1-\psi)f_1$	$(1-\psi)f_2$	$(1-\psi)f_3$	$(1-\psi)f_4$	$(1-\psi)f_5$	$(1-\psi)f_6$
Opgeloste deel (Dissolved)	$\psi f_1$	$\psi f_2$	$\psi f_3$	$\psi f_4$	$\psi f_5$	$\psi f_6$

Het opgeloste deel is per fractie een vast aandeel van de toegewezen fractie. Verder zijn de fracties 1 en 4 op 0 gesteld bij een N-gehalte van de het organische deel van dierlijke mest kleiner dan 0.07. Bij een N-gehalte groter dan 0.07 worden de fracties 3 en 6 op 0 gesteld. Verder zijn de volgende voorwaarden gehanteerd:

<p><b>N-gehalte org. deel dierlijke mest &lt; 0.07:</b>  <i>N-gehalte</i> = 0.07 <math>f_2</math> + 0.02 <math>f_3</math>;  <i>N-gehalte</i> = 0.07 <math>f_5</math> + 0.02 <math>f_6</math>  <i>(N/P<sub>Fractie5</sub> - N/P<sub>Mestgift</sub>)</i> : <i>N/P<sub>Fractie5</sub></i> = <math>f_2</math> : <math>f_5</math>;  <i>(N/P<sub>Fractie6</sub> - N/P<sub>Mestgift</sub>)</i> : <i>N/P<sub>Fractie6</sub></i> = <math>f_3</math> : <math>f_6</math></p>	<p><b>N-gehalte org. deel dierlijke mest &gt; 0.07:</b>  <i>N-gehalte</i> = 0.12 <math>f_1</math> + 0.07 <math>f_2</math>;  <i>N-gehalte</i> = 0.12 <math>f_4</math> + 0.07 <math>f_5</math>  <i>(N/P<sub>Fractie4</sub> - N/P<sub>Mestgift</sub>)</i> : <i>N/P<sub>Fractie4</sub></i> = <math>f_1</math> : <math>f_4</math>;  <i>(N/P<sub>Fractie5</sub> - N/P<sub>Mestgift</sub>)</i> : <i>N/P<sub>Fractie5</sub></i> = <math>f_2</math> : <math>f_5</math></p>
---	---

De laatste parameter kan worden afgeleid uit het aandeel *Ne* in de organische N-gift in dierlijke mest. Hiertoe zijn een reeks rekenexperimenten uitgevoerd met een spreadsheet. Bij een bepaald N-gehalte van de dierlijke mest blijkt het *Ne* een lineair verband te zijn met de factor  $\psi$ .

<b>N-gehalte org. deel dierlijke mest &lt; 0.07</b>		
N-gehalte	0.02	$Ne = 0.6976 \psi + 0.0647 \rightarrow \psi = 1.4335 Ne - 0.0927$
	0.03	$Ne = 0.6511 \psi + 0.1904 \rightarrow \psi = 1.5359 Ne - 0.2924$
	0.04	$Ne = 0.6278 \psi + 0.2533 \rightarrow \psi = 1.5929 Ne - 0.4035$
	0.05	$Ne = 0.6139 \psi + 0.2910 \rightarrow \psi = 1.6289 Ne - 0.4740$
	0.06	$Ne = 0.6046 \psi + 0.3162 \rightarrow \psi = 1.6540 Ne - 0.5230$
	0.07	$Ne = 0.5979 \psi + 0.3341 \rightarrow \psi = 1.6725 Ne - 0.5588$
<b>N-gehalte org. deel dierlijke mest &gt; 0.07</b>		
N-gehalte	0.08	$Ne = 0.5560 \psi + 0.3846 \rightarrow \psi = 1.7986 Ne - 0.6835$
	0.09	$Ne = 0.5233 \psi + 0.4238 \rightarrow \psi = 1.9109 Ne - 0.8099$
	0.10	$Ne = 0.4972 \psi + 0.4552 \rightarrow \psi = 2.0113 Ne - 0.9155$
	0.11	$Ne = 0.4758 \psi + 0.4809 \rightarrow \psi = 2.1017 Ne - 1.0107$
	0.12	$Ne = 0.4580 \psi + 0.5023 \rightarrow \psi = 2.1834 Ne - 1.0967$

De factor  $\psi$  kan worden vastgesteld door aan de hand van het N-gehalte de coëfficiënten van een lineaire relatie te berekenen d.m.v. interpolatie in bovenstaande tabel en vervolgens het  $N_e$ -getal in deze relatie in te vullen.

### ***N-leverend vermogen van de bodem onder maïs en akkerbouw***

Het N-leverend vermogen van de bodem onder maïs en overig bouwland werd tot en met STONE versie 2.2 geschat met een methode beschreven door Groenendijk et al., (2001). De basisgegevens uit deze methode zijn afgeleid voor grasland en bevatten impliciet coëfficiënten die betrekking hebben op de landbouwkundige praktijk rondom het jaar 2000. Het resultaat was dat de N-leverantie van maïs en akkerbouwgronden duidelijk werd overschat. In STONE 2.2 is dat fenomeen aangepakt door bij overschrijding van de variabele  $N_{bod}$  boven een bepaalde drempelwaarde deze  $N_{bod}$  opnieuw te berekenen. De drempelwaarde wordt als volgt geschat:

$$N_{bod} = 1/2 (N_{\text{gewasresten}} + N_e + N_r + N_{\text{dep}} + N_{\text{nan.hist}})$$

Hierin is  $N_{\text{gewasresten}}$  de N in gewasresten,  $N_{\text{dep}}$  de N-depositie en  $N_{\text{nan.hist}}$  de stikstof die vrijkomt uit nawerking uit historische mestgiften. Voor maïs is  $N_{\text{nan.hist}}$  op 40 kg ha<sup>-1</sup> gesteld en voor akkerbouw is  $N_{\text{nan.hist}}$  op 20 kg ha<sup>-1</sup> gesteld.

In STONE2.3 is de NLV berekening voor niet-grasland verbeterd door de N beschikbaarheid te schatten met behulp van de N depositie, de N afkomstig van organische mest en gewasresten van voorgaande jaren en de hoeveelheid N in de bodem aan het begin van het groeiseizoen. Vervolgens wordt met behulp van factoren aangegeven welk deel van die N beschikbaar is voor opname en welke deel uiteindelijk via het gewas geoogst kan worden (zie bijv. Schröder et al., 2005). De berekende NLV wordt dan als invoer gebruikt voor QUADMODO en de resultaten van QUADMODO worden dan op hun beurt als invoer gebruikt voor ANIMO.

Een aantal QUADMODO parameters van de akkerbouwgewassen zijn aangepast om een betere overeenkomst te verkrijgen met de aannamen die de Werkgroep Onderbouwing Gebruiksnormen (WOG) heeft gebruikt bij de afleiding van de gebruiksnormen

### ***Organische stofvoorraden in de ondergrond***

Bij toepassingen van STONE is geconstateerd dat de organische stofvoorraad dieper dan 1 m – mv een relatief grote bron van stikstof is. Uit de studie naar de Toetsdiepte van Nitraat en deskundigen ervaring blijkt dat dieper dan 1 m de organische stof meestal niet of slecht heel beperkt reactief is. Bij de vorming van STONE 2.0 is door Griffioen et al., (2000) een studie uitgevoerd om de geochemische parametrisering van de ondergrond in STONE af te leiden. Deze gegevens zijn door Kroon et al., (2001) verder bewerkt en in STONE ingebracht. De organische stof wordt bij de initialisatie toegedeeld aan pools en verder worden aan de pools omzettingssnelheden toegekend.

Door de schematisering van Kroon et al., (2001) komen onder veel kleigronden hoge organisch stofgehalten voor. Deze gehalten zijn ongeveer de helft van de gehalten van veengronden. In het model wordt deze organische stof voor een belangrijk deel aan veenfracties toegekend. In gedraineerde kleigronden komt de grondwaterstand regelmatig dieper dan 1 m – mv en wordt het veen in de diepere lagen “belucht”, waardoor afbraak van deze veenlagen optreedt. Dit leidt tot soms een onrealistische afname van de organische stofvoorraad

Drie parameters zijn aangepast om de uitputtingsnelheid van diepere organische stofvoorraden te verkleinen:

1. In ANIMO wordt de afbraaksnelheid van humus/biomassa onder de wortelzone gecorrigeerd voor de diepte met een “depth respons – factor” (Groenendijk et al., 2005). Deze factor wordt berekend volgens:

$$f_z = (1 - f_z^*)e^{-3(z-Z_r)} + f_z^*$$

Hierin is:

z: diepte (m)

Zr: dikte van wortelzone (m)

$f_z^*$ : waarde van  $f_z$  op oneindige diepte

In vorige versies van STONE was deze factor  $f_z^*$  op 0,5 gesteld. In de teststruns is deze factor op 0.1 gesteld.

2. Onder klei- en zandgronden komen lagen voor met een hoog organisch stofgehalte. Als het organisch stofgehalte hoger is dan 25% worden ze als veengrond gekenmerkt en als het organisch stofgehalte lager is dan 5% is het een niet-veengrond. Bij een organisch stofgehalte tussen 5 en 25% wordt het proportioneel met het organische stofgehalte aan humus/biomassa en veen toegedeeld. In STONE wordt veen opgesplitst in twee organische stoffracties: eenderde deel van deze fracties hebben een omzettingsconstante van 0.001 jr<sup>-1</sup>, een N-gehalte van 0.043 en een P-gehalte van 0.0001. Tweederde heeft een omzettingsconstante van 0.0383 jr<sup>-1</sup>, een N-gehalte van 0.028 en een P-gehalte van 0.0006. Deze indeling komt voort uit calibraties van ANIMO op veenprofielen door Hendriks (1991) en Hendriks et al., (1993). Omdat deze toedeling is gebaseerd op typische veengronden en we hier te maken hebben met veenlagen onder klei- en zandgronden is te verwachten dat de genoemde parametrisering niet één-op-één van toepassing hoeft te zijn voor deze diepere veenlagen. In de teststruns is de toedeling gewijzigd zodat tweederde wordt toegekend aan de fractie met de laagste afbraaksnelheid en eenderde wordt toegekend aan de fractie met de hoogste afbraaksnelheid.
3. Bij de vorming van STONE2.2 zijn assimilatie/dissimilatieverhoudingen van gewasresten aangepast, om in de wortelzone een hogere mineralisatie te bewerkstelligen. Deze aanpassing was gedaan om het verschil tussen de vraag van het gewas en de potentiële N-leverantie van de bodem te verkleinen. Voor STONE2.3 wordt de N-leverantie van de bodem voor maïs en akkerbouw op een nieuwe manier berekend. Door deze aanpassing van NLV-berekening vervalt de

reden om de assimilatie / dissimilatie-verhoudingen van maïs en akkerbouwgewasresten aan te passen. De verhoudingen zijn teruggezet op oorspronkelijke waarden.

### ***Werking van stikstof in dierlijke mest (aanpassing modelparameter)***

Voor de bepaling van de gewasopname in QUADMOD moet de werkzame hoeveelheid stikstof uit dierlijke mest worden bepaald (Nw-dose). Daarvoor worden in STONE werkingscoëfficiënten voor de verschillende stikstoffracties van dierlijke mest opgelegd welke zijn gebaseerd op veld- en modelonderzoek. Onderscheiden worden de fracties N-mineraal (Nm), N organisch (Norg; dit is de som van Ne ofwel de in het eerste jaar beschikbaar komende fractie en Nr de na 1 jaar beschikbaar komende N) en de N uit weidemest (Nwei).

Tabel 3.4 en Tabel 3.5 toont de waarden die in deze studie zijn gebruikt voor respectievelijk varkens/pluimveemest en rundveemest. Voor grasland is een toename verondersteld van de werking van de minerale fractie na 1986. Dit geldt ook voor weidemest. Voor bouwland en snijmaïs op zand- en lössgrond is aangenomen dat de werking van de minerale fractie tot 100% toeneemt vanaf 1996. Voor de organische fractie is sprake van een geleidelijke toename van 32% in 1986 tot 44% (bouwland) en 41% (snijmaïs) in 1996.

Bij snijmaïs en overig bouwland op kleigronden neemt de werkzaamheid veel later toe.

*Tabel Werking van stikstof in mest van varkens en pluimvee.*

Gewas	Bodem	N comp.	1986	1996	2006-2009	2009 - 2015
Grasland	Alle	Nm	80%	100%	100%	100%
		Norg	56%	56%	56%	56%
		Nwei	-	-	-	-
Bouwland	zand + löss	Nm	32%	100%	100%	100%
		Norg	33%	44%	44%	44%
Snijmaïs	zand + löss	Nm	32%	100%	100%	100%
		Norg	33%	41%	41%	41%
Bouwland	Klei	Nm	32%	39%	45%	58%
		Norg	33%	34%	34%	37%
Snijmaïs	Klei	Nm	32%	39%	45%	100%
		Norg	33%	33%	32%	41%

*Tabel Werking van stikstof in mest van rundvee.*

Gewas	Bodem	N comp.	1986	1996	2006-2009	2009 - 2015
Grasland	Alle	Nm	80%	100%	100%	100%
		Norg	20%	20%	20%	20%
		Nwei	0%	2%	14%	14%
Bouwland	Zand + löss	Nm	32%	100%	100%	100%
		Norg	17%	16%	16%	16%
Snijmaïs	Zand + löss	Nm	32%	100%	100%	100%

		Norg	17%	14%	14%	14%
Bouwland	Klei	Nm	32%	39%	45%	58%
		Norg	17%	16%	15%	15%
Snijmaïs	Klei	Nm	32%	39%	45%	100%
		Norg	17%	16%	14%	14%

Voor de ontwikkeling van de hogere werking van stikstof in dierlijke mest is de periode van mestuitrijden belangrijk. Na 1987 zijn er, zij het gefaseerd, regels voor de wijze en tijdstip van mesttoediening ingevoerd (minder in najaar en winter en meer in voorjaar en zomer). Voor grasland (alle grondsoorten) is aangenomen dat dierlijke mest vanaf 1996 geheel in voorjaar en zomer wordt uitgereden. Voor bouwland op zand en löss is uitgegaan van een volledige voorjaarstoepassing na 1996.

Bij snijmaïs en bouwland op kleigronden is aangenomen dat 35 % in het voorjaar en 65% in het najaar wordt aangewend. Na 2009 is bij bouwland de verdeling tussen voor- en najaar 50% - 50%. Voor snijmaïs op klei is echter uitgegaan van een volledige voorjaarstoediening na 2009, vandaar de hogere werking van de Nm fractie in de mest.

#### ***Nieuwe indeling van akker- en tuinbouwgewassen (aanpassing schematisering)***

De beschrijving van de N- en P-opname van bouwland in STONE 2.2 en eerdere versies was gebaseerd op 3 gewassen, te weten consumptieaardappelen, wintertarwe en suikerbieten. De arealen van deze drie gewassen zijn bekend per LEI gebied en per LEI grondsoort. Deze arealen worden vervolgens genomen om een verhouding van deze gewassen op plotniveau te krijgen. De andere bouwlandgewassen werden genegeerd.

De gewasopname van bouwland in een plot (op basis van QUADMED) berust op een gewogen gemiddelde gewasopname van deze drie gewassen. De uitspoeling naar grondwater en de af- en uitspoeling naar oppervlaktewater is de resultante van de N-gift, de gemiddelde N-opname en de N-levering van de grond. De beschrijving van de waterhuishouding (SWAP) was gebaseerd op de verdamping van aardappelen. De verdamping van wintertarwe en suikerbieten werd verondersteld gelijk te zijn aan die van aardappelen.

Omdat deze benadering in verband met de gebruiksnormen voor stikstof die gewasspecifiek zijn onvoldoende nauwkeurig geacht werd, is een nieuwe aanpak van bouwland (akker- en tuinbouwgewassen) ontwikkeld. Hiertoe zijn de AT-gewassen ingedeeld in 22 gewassen, waarbij 16 gewassen en 6 groepen van gewassen zijn onderscheiden (Tabel 3.3). Voor deze 22 gewassen zijn stikstofresponscurves afgeleid welke zijn gebaseerd op het model MEBOT (Schreuder *et al.*, 2008).

De hydrologie van bouwland is echter ongewijzigd gebleven en nog steeds gebaseerd op de verdamping van een aardappelgewas. Het is niet bekend welke fout hiermee wordt gemaakt.

*Tabel Indeling van akker- en tuinbouwgewassen en -gewasgroepen voor STONE2.3*

<b>Akkerbouw</b>		<b>Vollegrondsgroenten</b>	
1	Wintertarwe	11	Peen
2	Suikerbieten	12	Stamslaboon
3	Consumptieaardappelen	13	Kool
4	Zomergerst	14	Prei
5	Zetmeelaardappelen		
6	Pootaardappelen		
7	Korrelmaïs	15	Tulp
8	Zomertarwe	16	Lelie
9	Graszaad		
10	Zaaiuien		
		<b>Rest</b>	
		17	Groep Wintertarwe
		18	Groep Suikerbieten
		19	Groep Zomergerst
		20	Groep Stamslaboon
		21	Groep Prei
		22	Groep Tulp

#### **Calibratie aan nitraatconcentraties bij melkveehouderij op zand (1992-2002)**

In eerdere stadia van STONE (2.0, 2.1, 2.2) werd STONE globaal (visuele inspectie) ingeregeld op het verloop van de nitraatcurve van het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid (LMM) via de vochtresponscurve die de mate van denitrificatie bepaalt. Het gaat hierbij om de hoogte, niet om het verloop van de nitraatcurve in de tijd. Omdat voor STONE 2.3 de bedrijfsdata van LMM, zoals die bij MNP beschikbaar waren niet langer betrouwbaar geacht werden en nieuwe data op bedrijfsniveau niet beschikbaar waren (in verband met de vertrouwelijkheid van de gegevens) moest een nieuwe werkwijze worden gevonden.

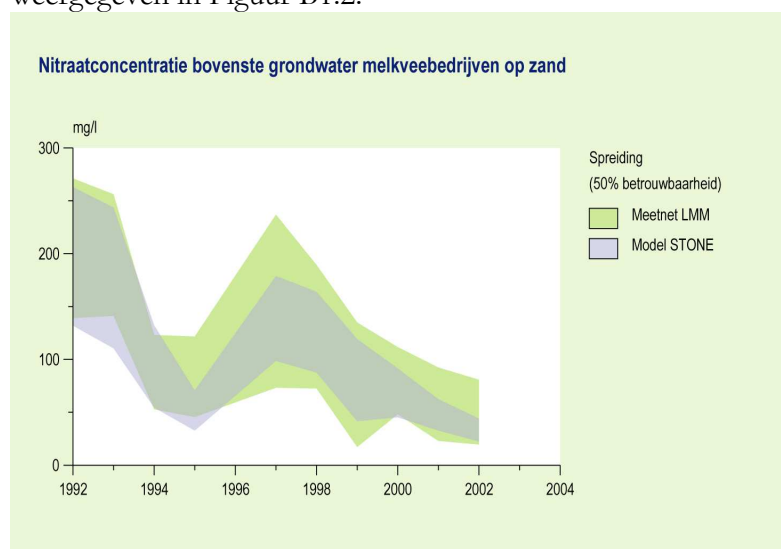
Omdat van de melkveebedrijven op zand in de periode 1992-2005 ieder jaar de nitraatconcentraties op de meeste bedrijven beschikbaar waren is gekozen voor kalibratie op deze bedrijven. Vanwege de beperkte beschikbaarheid van gewasinformatie (verdeling gras, maïs en bouwland) is voor de kalibratie gebruik gemaakt van de LMM gegevens over de jaren 1992 tot en met 2002. Door het uitvoeren van een groot aantal trekkingen uit STONE plots is het verloop van de nitraatconcentratie van melkveebedrijven op zand gesimuleerd. Hierbij is rekening gehouden met de verdeling van grondsoorten, gewassen en droogteklassen van de jaarlijks bemonsterde bedrijven zoals die in de LMM dataset voorkomen.

Voor de kalibratie zijn de volgende stappen gezet:

1. Alle STONE plots worden ingedeeld naar Gt (aantal 3), grondsoort (aantal 3) en gewas (aantal 3). In totaal worden zo 27 verschillende groepen onderscheiden;

2. Bereken de  $\text{NO}_3$  concentratie van de bovenste meter van het grondwater m.b.v. STONE: jaargemiddelde  $\text{NO}_3$  per plot
3. Maak een cumulatieve verdeling van de  $\text{NO}_3$  concentratie per plot, waarbij gewogen wordt naar het areaal van de plots;
4. Maak een “STONE-melkveebedrijf” door het uitvoeren van trekkingen uit bedrijfskenmerken (3 bodemsoorten, 3 Gt klassen, 3 gewassen). Dit wordt 3000 maal gedaan;
5. Er wordt getrokken uit de combinatie van stap 3 en stap 4: er worden zo ‘mengmonsters’ gemaakt net als bij LMM plaatsvindt. Dit wordt 500 maal gedaan;
6. Bereken voor elke trekking uit stap 5 de bedrijfsgemiddelde  $\text{NO}_3$  concentratie
7. Bepaal vervolgens de mediaan (50 percentiel), de 25 percentiel en de 75 percentiel van de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie;
8. Normaliseer de klasseverdelingen uit LMM en uit STONE door te delen door het aantal bedrijven voor LMM en door het aantal trekkingen (500) van de STONE uitkomsten;
9. Herhaal de stappen 2 t/m 8: hier in totaal 10 jaren;
10. Voer de stappen 2 t/m 9 uit voor de verschillende waarden van de Kalibratiefactor (K.F.). Deze is gevarieerd van 0,6 tot 0,8 met stappen van 0,01: in totaal zijn dit 21 runs;
11. Kies de waarden van de K.F. op basis van de run met het kleinste verschil tussen LMM en STONE uit stap 10.

Op basis van deze procedure is de drempelwaarde voor WFPS op 0,8 ingesteld. Dat is hoger dan in eerdere modelversies is gebeurd. Dit heeft als gevolg dat denitrificatie in de bodem pas bij hogere vochtgehalten optreed. In Groenendijk et al., 2008 is het milieueffect van de nieuwe kalibratie beschreven. Het uiteindelijke resultaat is weergegeven in Figuur B1.2.



*Figuur B1.2 Resultaten van de kalibratie van STONE aan LMM (melkveebedrijven op zandgrond). Weergegeven is het 50% betrouwbaarheidsinterval van de mediane nitraatconcentratie bij een kalibratiefactor van 0,8.*

Daaruit blijkt dat de spreiding in nitraatconcentratie in de jaren na 1994 steeds kleiner is dan de spreiding die uit de metingen blijkt. Mogelijk komt dat om dat de stikstofgiften zoals die in STONE worden ingevoerd uitgemiddeld zijn: de variatie die tussen bedrijven bestaat is op deze wijze klein geworden, terwijl die variatie bij de bedrijven waar wordt gemeten groter kan zijn.



