



---

# Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren

Het aandeel van landbouw in de KRW-opgave, de kosten van enkele maatregelen en de effecten ervan op de uit- en afspoeling uit landbouwgronden

Piet Groenendijk, Erwin van Boekel, Leo Renaud, Auke Greijdanus, Rolf Michels en Tanja de Koeijer



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



---

# Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren

Het aandeel van landbouw in de KRW-opgave, de kosten van enkele maatregelen en de effecten ervan op de uit- en afspoeling uit landbouwgronden

Piet Groenendijk, Erwin van Boekel, Leo Renaud, Auke Greijdanus, Rolf Michels en Tanja de Koeijer

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research UR in opdracht van en gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken, Beleidsondersteunend Onderzoek.

Wageningen Environmental Research  
Wageningen, oktober 2016

---

Rapport 2749  
ISSN 1566-7197

---

Groenendijk, P., E. van Boekel, L. Renaud, A. Greijdanus, R. Michels, T. de Koeijer, 2016. *Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren; Het aandeel van landbouw in de KRW-opgave, de kosten van enkele maatregelen en de effecten ervan op de uit- en afspoeling uit landbouwgronden*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2749. 150 blz.; 30 fig.; 28 tab.; 89 ref.


Het doel van de Europese Kaderrichtlijn Water is duurzame bescherming van ecosystemen en watervoorraden. Een deel van de regionale waterlichamen voldoet nog niet aan de normen voor stikstof- en fosforconcentraties die behoren bij een goede ecologische toestand. Om af te wegen welke maatregelen kunnen bijdragen aan het realiseren van de KRW-doelen, is inzicht nodig in de herkomst van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater. In dit onderzoek is het aandeel van de landbouw in de overschrijding van de normen voor de stikstof- en de fosforconcentratie in regionale waterlichamen berekend met modellen. In deze analyse zijn verschillende brontermen onderscheiden die niet afzonderlijk te meten zijn (kwel, nalevering bodem, na-ijling uit overschotten in het verleden) en alleen met modellen zijn te berekenen.

Vervolgens zijn van een viertal maatregelen (vervanging uitspoelingsgevoelige gewassen in het zuidelijke zandgebied, bodemverbetering, verbetering nutriëntenbenutting en drainage) de effecten op de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor geschat. Ook zijn gevolgen voor het gebiedsgemiddelde financieel saldo geschat. Om te voldoen aan de normen voor stikstof- en fosforconcentraties in regionale waterlichamen, moet de uit- en afspoeling uit landbouwgronden landelijk gemiddeld met respectievelijk 12–17% en 12–38% worden verminderd, afhankelijk van de wijze waarop de uit- en afspoeling wordt vertaald naar een aandeel in de overschrijding van de concentratienormen. Tussen regio's doen zich grote verschillen voor.

Door een combinatie van de doorgerekende maatregelen lijkt in de zandgebieden een groot deel van de opgave voor reductie van de stikstofuitspoeling gerealiseerd te kunnen worden, terwijl de opgave voor het reduceren van de uit- en afspoeling van fosfor slechts voor een klein deel gerealiseerd kan worden met deze maatregelen. Voor fosfor zijn andere en/of aanvullende maatregelen nodig die voorkomen dat de opgehoopte voorraad fosfaat in de bovengrond kan uitspoelen naar het oppervlaktewater en/of maatregelen met een zuiverende werking in het oppervlaktewater.

Trefwoorden: Kaderrichtlijn Water, Oppervlaktewater kwaliteit, nutriëntenbronnen, maatregelen, stikstof, fosfaat, uitspoeling, kosten en baten

Dit rapport is gratis te downloaden van <http://dx.doi.org/10.18174/392093> of op [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research) (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

 2016 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl), [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research). Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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

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

---

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
	<b>Lijst met definities</b>	<b>15</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>19</b>
	1.1 Probleem en doel	19
	1.2 Leeswijzer	20
<b>2</b>	<b>Opzet van de studie</b>	<b>22</b>
	2.1 Werkwijze	22
	2.2 Beschrijving maatregelen	24
	2.2.1 Milieuvriendelijker gewasmix zuidelijk zandgebied	24
	2.2.2 Verbetering van de bodemstructuur	24
	2.2.3 Verbetering nutriëntenbenutting door plaatsing en timing van bemesting	24
	2.2.4 Aanleggen en aanpassen buisdrainage	25
<b>3</b>	<b>Opgave van landbouw voor de KRW</b>	<b>26</b>
	3.1 KRW-doelgat stikstof en fosfor	26
	3.1.1 Gebiedsindeling	27
	3.2 Verdeling van bronnen voor waterlichamen	29
	3.2.1 Nutriëntenbalansen	34
	3.3 Bronnen van N- en P-uitspoeling uit landbouw- en natuurgronden	35
	3.4 Aandeel van landbouw in de belasting van oppervlaktewater	41
	3.5 Opgave voor KRW	42
	1.1.1 Totale opgave	42
	1.1.2 Opgave voor de landbouw	42
<b>4</b>	<b>Effecten van maatregelen</b>	<b>50</b>
	4.1 Keuze van akker- en tuinbouwgewassen in het zuidelijke zandgebied	50
	4.1.1 Achtergrond	50
	4.1.2 Modelaanpak	51
	4.1.3 Resultaten gebiedsgemiddelde nitraatconcentraties en N- en P-uitspoeling	55
	4.1.4 Saldo-effectmaatregelen	57
	4.2 Verbetering bodemstructuur	58
	4.2.1 Achtergrond	58
	4.2.2 Modelaanpak	60
	4.2.3 Resultaten nitraatconcentraties en N- en P-uitspoeling	63
	4.2.4 Kosten en baten	64
	4.3 Verbetering nutriëntenbenutting door plaatsing en timing van bemesting	65
	4.3.1 Achtergrond	65
	4.3.2 Modelaanpak	67
	4.3.3 Resultaten nitraatconcentraties en N-uitspoeling	68
	4.3.4 Kosten en baten	69
	4.4 Aanleggen en aanpassen van drainage	72
	4.4.1 Achtergrond	72
	4.4.2 Modelaanpak	75
	4.4.3 Resultaten N- en P-uitspoeling	76
	4.4.4 Kosten en baten	81

---

<b>5</b>	<b>Vergelijking opgave met effecten maatregelen</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>Discussie</b>	<b>86</b>
6.1	Afleiding van de bronverdeling van nutriënten in het oppervlaktewater	86
6.1.1	Definities	86
6.1.2	Gebiedsindeling	87
6.1.3	Onderscheid in bronnen	87
6.1.4	Onzekerheden	88
6.2	Effecten van maatregelen	90
6.2.1	Verbetering bodemstructuur	90
6.2.2	Verbetering nutriëntenbenutting door plaatsing en tijdstip van bemesting	91
6.2.3	Regelbare drainage	92
6.3	Invloed van de mestmarkt op het realiseren van de nitraatdoelstelling door akkerbouw in het zuidelijke zandgebied	93
6.3.1	Achtergrond en aanpak	93
6.3.2	Gebiedsgemiddelde nitraatconcentraties in het zuidelijke zandgebied	94
6.3.3	Kosten en baten van bemesten naar mestsoort	94
<b>7</b>	<b>Conclusies</b>	<b>97</b>
7.1	Beantwoording onderzoeksvragen	97
7.2	Overige conclusies	101
	<b>Literatuur</b>	<b>102</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Grondwatertrappenkaart 1:500000</b>	<b>107</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Gebiedsindeling in rapportages van LMM-resultaten</b>	<b>108</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Stikstof- en fosforbalansen deelgebieden</b>	<b>109</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Relatieve bijdrage bronnen</b>	<b>117</b>
<b>Bijlage 5</b>	<b>Opgave regionale waterlichamen</b>	<b>123</b>
<b>Bijlage 6</b>	<b>Methodiek opgave</b>	<b>125</b>
<b>Bijlage 7</b>	<b>Notitie ter ondersteuning KRW-Rijn West aanpak Nutriënten</b>	<b>131</b>
<b>Bijlage 8</b>	<b>Aanpassingen van bodemfysische parameters voor het berekenen van effecten van verbetering bodemstructuur</b>	<b>147</b>

---

# Woord vooraf

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) heeft als doel de duurzame bescherming van ecosystemen en watervoorraden. Een deel van de regionale waterlichamen voldoet nog niet aan de normen voor stikstof- en fosforconcentraties die behoren bij een goede ecologische toestand. Verwacht wordt dat het generieke mestbeleid niet voor 2027 tot de voor de ecologische waterkwaliteit gewenste concentraties van nutriënten (en zware metalen) in het oppervlaktewater zal leiden. De diffuse belasting van het oppervlaktewater door uitspoeling uit landbouwgronden is een van de oorzaken van de overschrijding van de normen voor stikstof- en fosforconcentraties.

Het ministerie van Economische Zaken heeft medio 2015 opdracht verleend voor een onderzoek naar "Landbouw en KRW; de bijdrage van de landbouw aan de doelrealisatie van de KRW in regionale wateren en de effecten van mogelijke maatregelen". Het is van belang om het aandeel van de landbouw in de huidige overschrijding van normen voor stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater nader aan te duiden in termen van de belasting met stikstof (N) en fosfor (P) van het oppervlaktewater en de mate aan te geven van mogelijkheden voor een vermindering van de uit- en afspoeling van N en P uit landbouwgronden.

Bij de uitvoering van het onderzoek is gebruikgemaakt van gegevens, modellen en methoden die in lijn zijn met eerdere studies, zoals de rapportages in het kader van het Beleidsondersteunende Onderzoek (BO) Mineralen en Milieu, thema KRW en maatregelen van het Ministerie van LNV (2008; 2009; 2011)<sup>1</sup> en de rapportages voor de Evaluatie van de Meststoffenwet in 2012<sup>2</sup>. Daarnaast zijn in dit onderzoek de N- en P-concentraties uit het rapport "Waterkwaliteit nu en in de toekomst"<sup>3</sup> gebruikt.

Het onderzoek is begeleid door drs. ing. Sandra van Winden van het ministerie van Economische Zaken. Voorlopige resultaten zijn gerepresenteerd en bediscussieerd tijdens twee bijeenkomsten.

Augustus, 2016

De auteurs

---

<sup>1</sup> Alterra-rapport nr. 1687, 1987 en 2121

<sup>2</sup> Alterra-rapport nr. 2318, 2328

<sup>3</sup> Van Gaalen, F. van *et al.* (2015a), Waterkwaliteit nu en in de toekomst. Eindrapportage ex ante evaluatie van de Nederlandse plannen voor de Kaderrichtlijn Water, Den Haag: PBL. PBL-publicatienummer: 1727.





---

# Samenvatting

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) heeft als doel de duurzame bescherming van ecosystemen en watervoorraden. Ondanks een lichte verbetering van de kwaliteit van het regionale oppervlaktewater wordt verwacht dat de voor ecologische doelen gewenste nutriëntenconcentraties in 2027<sup>4</sup> nog overschreden zullen worden (Van Gaalen *et al.* 2015b). Voor een realistische afweging van maatregelen om de doelen van de KRW te halen, is inzicht nodig in het aandeel van landbouw in de overschrijding van de normen voor de concentraties van stikstof (N) en fosfor (P) in het oppervlaktewater. Deze normen zijn afgeleid<sup>5</sup> voor het realiseren van een gewenste ecologische kwaliteit. Daarnaast is ook inzicht nodig in de mate waarin aanvullende maatregelen in de landbouw kunnen bijdragen aan het verminderen van de N- en P-belasting van het oppervlaktewater. Om dit inzicht te krijgen, is onderzoek uitgevoerd met een aantal vragen als vertrekpunt:

1. Wat is het aandeel van de N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden in het totaal van de bronnen die de regionale wateren belasten met stikstof en fosfor?
2. Welk deel van de N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden is toe te schrijven aan de huidige agrarische bedrijfsvoering en wat is hiervan het aandeel in het totaal van de bronnen die de regionale wateren belasten met stikstof en fosfor?
3. Welke reductie van de totale nutriëntenbelasting van de regionale wateren is nodig om de doelen van de KRW te realiseren?
4. Welke reductie van de uit- en afspoeling<sup>6</sup> uit landbouwgronden is nodig om de doelen van de KRW voor de regionale wateren te realiseren?
5. Wat zijn de effecten van een aantal maatregelen op nitraatconcentraties in het grondwater en de uit- en afspoeling van N en P naar het oppervlaktewater?
6. Wat zijn de effecten van de maatregelen op de financiële saldi van landbouwpercelen en teelten?
7. In welke mate kunnen de maatregelen bijdragen aan de opgave om de uit- en afspoeling van N en P uit landbouwgronden te verminderen?

De opgave van de landbouw voor het verminderen van de uit- en afspoeling van N en P is stapsgewijs afgeleid:

1. Aan de hand van de beoordeling van de kwaliteit van regionale waterlichamen, zoals in januari 2016 door PBL is gepubliceerd (Van Gaalen *et al.* 2015b), is vastgesteld in welke mate de N- en P-concentraties de gestelde normen overschrijden.
2. Aan de hand van stroomgebiedskaarten is – voor zover mogelijk – voor elk van de regionale waterlichamen de begrenzing bepaald van het gebied waarbinnen de uitgespoelde nutriënten in het waterlichaam terecht komen (beïnvloedingsgebieden). Voor deze gebieden zijn stikstof- en fosforbalansen opgesteld op basis van informatie van EmissieRegistratie 2013, resultaten van het STONE-model en resultaten van vorige studies (aanvoer uit Duitsland en België door grensoverschrijdende beken).
3. De uit- en afspoeling van stikstof en fosfor uit landbouwgronden, zoals berekend met het STONE-model, is onderverdeeld in een aantal bronnen: depositie op landbouwgrond, bemesting, nalevering van de bodem uit in het verleden toegediende mest, nalevering van de bodem niet aan

---

<sup>4</sup> De Kaderrichtlijn Water schrijft voor dat de waterkwaliteit van de Europese wateren vanaf 2015 aan bepaalde eisen moet voldoen. Onder bepaalde voorwaarden kan dit ijkpunt 6 of zelfs 12 jaar worden uitgesteld ('fasering').

<sup>5</sup> Normen voor stikstof- en fosforconcentraties in regionale waterlichamen worden afgeleid door hoogheemraadschappen en waterschappen.

De verbetering van de waterkwaliteit in het algemeen en de aanpak van de KRW-opgave in het bijzonder zijn een gezamenlijke verantwoordelijkheid van Rijk, provincies, waterschappen, gemeenten en maatschappelijke organisaties. In de Waterwet is vastgelegd welke overheid voor welk deel van de KRW-opgave verantwoordelijk is.

<sup>6</sup> Zie lijst met definities.

---

bemesting gerelateerd<sup>7</sup>, kwelwater dat onder landbouwgrond in het bodemwater terecht komt en uitspoeling van in de zomer geïnfiltreerd oppervlaktewater.

4. Uit de verdeling van bronnen binnen landbouwgronden (3) en het aandeel van landbouwgronden in de totale nutriëntenbelasting van de regionale waterlichamen (2) is het aandeel berekend van door bemesting veroorzaakte uit- en afspoeling in het totaal van de N- en P-belasting van de waterlichamen. Bij bemesting wordt onderscheid gemaakt tussen kunstmest + dierlijke meststoffen zoals die nu worden toegediend en kunstmest + dierlijke meststoffen zoals die in het verleden werden gegeven.
5. Dit aandeel is vergeleken met de overschrijding van de N- en P-concentraties ten opzichte van de gestelde normen voor de waterlichamen. Hieruit is een percentage afgeleid voor de vermindering van de uit- en afspoeling van N en P uit landbouwgronden. Omdat hiervoor aannames gedaan moeten worden die aan discussie onderhevig kunnen zijn, zijn enkele opties voor deze aannames doorgerekend. De opties hebben betrekking op:
  - a. De vraag of alleen "actuele bemesting, na-ijling van bemesting in het verleden en de overige agrarische bronnen" als landbouwbron worden beschouwd, of dat ook de bronnen "depositie op landbouwgronden" en "nalevering van de bodem niet aan bemesting gerelateerd" als onderdeel worden gezien van de belasting van het oppervlaktewater door landbouw.
  - b. De vraag of de normen voor stikstof- en fosforconcentraties in het regionale oppervlaktewater volledig gerealiseerd moeten worden door vermindering van alle bronnen of alleen die bronnen die door maatregelen daadwerkelijk verminderd kunnen worden. Bij dit laatste is verondersteld dat de bijdrage door kwel en uit- en afspoeling uit natuurgronden niet is te beïnvloeden.
  - c. Beide opties zijn in combinatie met elkaar doorgerekend en de minimum- en maximumwaarde van de uitkomsten geven de bandbreedte aan.

Gemiddeld bedroeg in de periode 2010–2013 de uit- en afspoeling uit landbouwgronden naar het regionale oppervlaktewater 44.9 miljoen kilo stikstof per jaar en 3.65 miljoen kilo fosfor per jaar. De uit- en afspoeling uit landbouwgronden komt overeen met 54% van de totale stikstofaanvoer naar de regionale wateren. Van de totale fosforaanvoer naar de regionale wateren is 56% afkomstig van de uit- en afspoeling uit landbouwgronden. Het overige deel is afkomstig uit natuurgronden, RWZI's, depositie op het open water en aanvoer uit het buitenland via grensoverschrijdende beken.

#### *Bijdrage aan de bron 'uit- en afspoeling uit landbouwgronden'*

Vanuit het gezichtspunt van het landelijk gemiddelde van landbouwgronden is berekend dat de uit- en afspoeling van **stikstof** uit landbouwgronden voor 69% afkomstig is uit de bemesting. Hiervan wordt 64% toegeschreven aan de huidige landbouwpraktijk en 5% aan nalevering van in het verleden toegediende mest. Berekend is dat de uit- en afspoeling van **fosfor** uit landbouwgronden voor 49% afkomstig is uit de bemesting. De P-belasting is verder voor 42% afkomstig uit de nalevering uit bodemvoorraden die niet gerelateerd zijn aan bemesting en voor 9% uit kwel en inlaatwater.

#### *Bijdrage aan totale belasting*

Vanuit het gezichtspunt van het regionale oppervlaktewater (regionale waterlichamen) draagt de uit- en afspoeling uit de bemesting van landbouwgronden voor 37% bij aan de totale toevoer van **stikstof**. Verder draagt het inlaatwater voor 20%, de nalevering van de bodem niet gerelateerd aan bemesting voor 10%, de RWZI's voor 9%, de atmosferische depositie, de uit- en afspoeling uit natuurgronden beide voor 7% en 10% uit andere bronnen bij aan de totale toevoer van stikstof naar het regionale oppervlaktewater. Berekend is dat niet aan bemesting gerelateerde nalevering vanuit de bodem de voornaamste bron is van de **fosfor**belasting van het regionale oppervlaktewater (33%), gevolgd door de bemesting (18%), de RWZI's (15%), het inlaatwater (10%), de uit- en afspoeling uit natuurgronden (8%) en andere bronnen (16%).

---

<sup>7</sup> Bijvoorbeeld door oxidatie van veengronden, uitloging van ingepolderde zeekleigronden en verwerking van mineralen.

---

Tussen de regio's zijn grote verschillen berekend in de absolute en de relatieve bijdragen van bronnen aan de belasting van het regionale oppervlaktewater.

Berekeningen geven aan dat landelijk de totale toevoer van stikstof naar het regionale oppervlakte water met 24.1 miljoen kilo per jaar (29%) en de totale toevoer van fosfor met 2.3 miljoen kilo per jaar (36%) verminderd moet worden om aan de doelen voor stikstof- en fosforconcentraties in het regionale oppervlaktewater te voldoen.

*Opgave voor landbouw, gemiddeld*

De mate waarin de uit- en afspoeling uit landbouwgronden verminderd moet worden, hangt af van de bronnen die aan landbouw toegerekend worden en de vraag of de opgave proportioneel verdeeld wordt over alle bronnen of alleen over de bronnen die beïnvloedbaar zijn door landbouwkundig handelen (uit- en afspoeling door bemesting) en emissiebeperkende maatregelen (puntbronnen, overige bronnen). Afhankelijk van de keuze hierin moet de uit- en afspoeling van stikstof uit het totale areaal landbouwgronden met 5.3–7.6 miljoen kilo per jaar verminderd worden en voor fosfor met 0.44–1.38 miljoen kilo per jaar. Dit komt overeen met een reductie van landelijk gemiddeld 12–17% van de uit- en afspoeling van stikstof uit landbouwgronden en voor fosfor met een reductie van 12–38%.

*Opgave voor landbouw, regionaal*

De verschillen tussen de regio's zijn groot. In enkele beheergebieden van waterschappen zijn de N- en P-concentraties van de regionale waterlichamen beoordeeld als "goed" en is er geen opgave voor een vermindering van de N- en P-belasting (delen van Hunze en Aa's, delen van Reest en Wieden, delen van Groot Salland, delen van Vallei en Veluwe, delen van Rivierenland en delen van Zuiderzeeland).

In het Twentse deel van Vechtstromen, de zuidelijke waterschappen, de beheersgebieden van Waternet, Hollands Noorderkwartier en Delfland moet de uit- en afspoeling van **stikstof** uit landbouwgronden afhankelijk van de berekeningswijze met 20–40% worden verminderd.

Voor de berekening van de opgave voor het reduceren van de uit- en afspoeling van **fosfor** uit landbouwgronden (reductieopgave) leidt het wel of niet toerekenen van de bron "niet aan bemesting gerelateerde levering van de bodem"<sup>8</sup> aan landbouw tot duidelijke verschillen. Niet aan bemesting gerelateerde levering van de bodem kan een indirect gevolg zijn van landbouwkundige activiteiten (bijv. een deel van de depositie op landbouwgronden) of van waterbeheer gericht op het mogelijk maken van landbouwproductie (ontwatering, inpoldering). De toedeling van deze bron is daarmee afhankelijk van de definitie van wat onder landbouw wordt verstaan. De opgave voor de reductie van de uit- en afspoeling van fosfor uit landbouwgronden is voor de beide berekeningswijzen uitgewerkt (Tabel S1).

---

<sup>8</sup> Bijvoorbeeld door oxidatie van veengronden, uitloging van ingepolderde zeekleigronden en verwerking van mineralen.

**Tabel S1** Opgave voor reductie van de uit- en afspoeling van fosfor, gemiddeld voor de landbouwgronden in de beheersgebieden van hoogheemraadschappen en waterschappen, volgens twee berekeningswijzen.

Opgave	Hoogheemraadschappen en waterschappen (indeling 2010)	
	"niet aan bemesting gerelateerde levering van de bodem" wordt niet aan landbouw toegerekend	"niet aan bemesting gerelateerde levering van de bodem" wordt wel aan landbouw toegerekend
< 1%	Hunze en Aa's, Groot Salland, Rijn en IJssel, Zeeuwse eilanden, Zeeuws Vlaanderen	Hunze en Aa's, Zeeuwse eilanden, Zeeuws Vlaanderen
< 10%	Wetterskip Fryslân, Velt en Vecht, Regge en Dinkel, Reest en Wieden, Veluwe, Zuiderzeeland, De Stichtse Rijnlanden, Rivierenland, Hollandse Delta, Brabantse Delta	Velt en Vecht, Groot Salland, Rijn en IJssel, Veluwe
10 – 20%	Vallei en Eem, beheergebied van Waternet, Delfland, Schieland en Krimpenerwaard	Wetterskip Fryslân, Reest en Wieden, Zuiderzeeland, Rivierenland
20 – 40%	Noorderzijlvest, Hollands Noorderkwartier, Rijnland, De Dommel, Aa en Maas, Roer en Overmaas	Regge en Dinkel, De Stichtse Rijnlanden, Hollandse Delta, Brabantse Delta, Roer en Overmaas
40 – 70%	Peel en Maasvallei	Vallei en Eem, beheergebied van Waternet, Hollands Noorderkwartier, Schieland en Krimpenerwaard, De Dommel, Aa en Maas
> 70%		Noorderzijlvest, Delfland, Rijnland, Peel en Maasvallei

### Maatregelen

Voor een aantal maatregelen is onderzocht wat het effect is op de nitraatconcentraties<sup>9</sup> in het grondwater en de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater. Daarnaast is het gevolg voor het financieel saldo van de teelt of het bedrijf gebiedsgemiddeld in beeld gebracht. De maatregelen zijn:

1. Wijziging in het gebiedsgemiddelde bouwplan van akker- en tuinbouwgewassen (AT-gewassen) in het zuidelijke zandgebied door:
  - a. Vervangen van consumptieaardappelen, geteeld op de zandgronden in Noord-Brabant en Noord-Limburg, door een gewas met een kleiner stikstofoverschot;
  - b. Gedeeltelijk vervangen van een "late-oogst"-gewas door een "vroeg-oogst"-gewas met grotere effectiviteit van een vanggewas;
  - c. Systeeminnovatie door teelt uit de grond van prei, aardbei en andere tuinbouwgewassen.
2. Verbetering van de bodemstructuur door curatieve maatregelen (breken ploegzool), door preventieve maatregelen (aangepaste landbouwmachines, alleen grondbewerking bij optimale vochttoestand, verhogen organisch stofgehalte door aanvoer compost) en door een keuze voor dieper wortelende landbouwgewassen.
3. Verbetering van nutriëntenbenutting door betere plaatsing en timing van mestgiften, minder uitspoelingsgevoelige mestsoorten en maximale inzet van vanggewassen.
4. Aanpassing waterhuishouding van landbouwpercelen door:
  - a. Aanleg van regelbare buisdrainage in gronden met hoge grondwaterstanden;
  - b. Vervangen van bestaande buisdrainage door nieuwe regelbare buisdrainage;
  - c. Het toepassen van onderwaterdrainage in natte veengronden;
  - d. Het toepassen van met ijzerzand omhulde drains in zandige bloembollenpercelen in West-Nederland.

### Bouwplan in zuidelijk zandgebied

<sup>9</sup> Nitraat is een stikstofverbinding die in de bodem veel voorkomt en waarvoor in het grondwater de norm van 50 milligram per liter geldt. De som van de concentraties van ammonium, opgeloste organisch gebonden stikstof, nitriet en nitraat vormt de totaal stikstofconcentratie. Voor de uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater is de totaal stikstofconcentratie van belang.

---

Met een keuze voor een verandering van een gebiedsgemiddeld bouwplan van akker- en tuinbouwgewassen in het zuidelijke zandgebied kan de nitraatconcentratie in het grondwater onder de AT-gewassen gemiddeld met ca. 9–13 mg L<sup>-1</sup> worden verminderd. Deze maatregel leidt tot een reductie van 5–10% in de N-belasting van het oppervlaktewater en een reductie van enkele procenten in de uit- en afspoeling van fosfor.

#### *Bodemverbetering*

Door bodemverbeterende maatregelen kan de nitraatconcentratie in het grondwater met 7–10 mg L<sup>-1</sup> worden verminderd. Berekend is dat de uit- en afspoeling van stikstof met 7–26% kan worden verminderd. Het effect op de uit- en afspoeling van fosfor is onduidelijk. De belasting van het oppervlaktewater met fosfor wordt, sterker dan voor stikstof, in belangrijke mate bepaald door oppervlakkige afspoeling en ondiepe transportroutes. Deze transportroutes worden in de praktijk mede bepaald door extreme weersomstandigheden, de infiltratiecapaciteit van de bodem en de ruwheid van het maaiveld. Deze processen zijn moeilijk in rekenmodellen te beschrijven. Effecten van bodemverbetering, in combinatie met deze factoren, zijn onderwerp van lopend onderzoek.

#### *Nutriëntenbenutting*

De maximale inzet van vanggewassen in combinatie met een optimale timing en plaatsing van mestgiften kan gemiddeld in de daarvoor geteelde gewassen leiden tot een afname met 8–18 mg L<sup>-1</sup> van de nitraatconcentraties in het grondwater van zandgronden. De N-belasting van het oppervlaktewater uit zandgronden vermindert door deze maatregel met 12–23%. Voor de kleigronden wordt een kleiner effect berekend. Het effect op de uit- en afspoeling van fosfor is onduidelijk.

#### *Drainage*

Voor drainagemaatregelen zijn de volgende effecten op de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor berekend:

- De aanleg van drainbuizen in natte gronden leidt tot diepere grondwaterstanden in deze gronden. Daardoor neemt de denitrificatie af en neemt de uit- en afspoeling van stikstof met gemiddeld 33% toe. Door de diepere grondwaterstanden neemt de uit- en afspoeling van fosfor met 25% af.
- Het omzetten van bestaande buisdrainage met een vast peil naar een systeem met regelbare drainage, met gemiddelde hogere grondwaterstanden, leidt tot een vermindering van de uit- en afspoeling van stikstof van 27–35% ten opzichte van de uit- en afspoeling uit gronden met drains die niet regelbaar zijn. Voor de uit- en afspoeling wordt als gevolg van deze maatregel een toename berekend van 9–16% ten opzichte van de uit- en afspoeling uit gronden met niet-regelbare drains. Voor een beperkt deel van het areaal kleigronden met drainbuizen wordt berekend dat het installeren van regelbare drainage tot vermindering van de uit- en afspoeling van fosfor kan leiden. Voor de uit- en afspoeling van stikstof leidt de maatregel voor bijna het gehele areaal kleigronden met drainbuizen tot een vermindering.
- Berekend is dat onderwaterdrainage in veengronden leidt tot een vermindering van zowel de uit- en afspoeling van stikstof (24% reductie) als die van fosfor (11% reductie).
- Het installeren van met ijzerzand-omhulde drainbuizen in zandige bloembollenpercelen in het westelijke zandgebied lijkt een effectieve maatregel om de vaak hoge uit- en afspoeling van fosfor uit deze gronden te verminderen. In de onderhavige studie zijn de reductiepercentages van 60–90% voor de uit- en afspoeling van fosfor, zoals die in veldexperimenten is vastgesteld, opgeschaald naar de bloembollenteelt op zandgrond in de Duin- en Bollenstreek en in het Land van Zijpe. Voor beide gebieden blijkt de maatregel kosteneffectief te zijn.

---

### *Saldo-effecten*

De wijziging in het gebiedsgemiddelde bouwplan van akker- en tuinbouwgewassen in het zuidelijke zandgebied heeft een daling van het gebiedsgemiddelde<sup>10</sup> saldo tot gevolg:

- Door het vervangen van consumptieaardappelen door wintertarwe daalt het gebiedsgemiddelde saldo met ca. 800–900 €/ha.
- Het vervangen van late-oogst-gewassen door vroege-oogst-gewassen gevolgd door een vanggewas leidt tot een vermindering van het gebiedsgemiddelde saldo van ca. 650–675 €/ha.
- Systeeminnovatie door teelt uit de grond leidt tot een daling van het saldo met resp. 670–750 €/ha voor aardbeiteelt, 210–250 €/ha voor preiteelt en 2400–2800 €/ha voor de teelt van vollegrondsgroenten.

Bodemverbetering door het voorkomen en opheffen van bodemverdichting, de aanvoer van compost en de keuze voor dieper wortelende rassen kan tot een toename van het saldo leiden met ca. 225 €/ha voor akkerbouw op zandgrond. De berekening van het saldo-effect is onzeker door de ontwikkelingen in de mestafzetprijzen in de varkenshouderij en de intensieve melkveehouderij en het feit dat de veronderstelde opbrengststijging gedeeltelijk gebaseerd is op de langetermijneffecten van de werking van compost.

Het saldo-effect van een verbetering van de nutriëntenbenutting door betere plaatsing en timing van mest en een maximale inzet van vanggewassen laat zich eveneens moeilijk kwantificeren. De kosten voor mestopslag en voor loonwerk nemen toe en door preciezer bemesten kan bespaard worden op kunstmest.

De aanleg van nieuwe regelbare drainage of het vervangen van bestaande drainage door regelbare drainage kost ca. € 120–150 per ha per jaar. De kosten voor onderwaterdrainage in veengebieden bedragen ca. € 165 per ha per jaar en de kosten voor ijzer-omhulde drains in zandige bloembollengronden bedragen € 160–700 per ha per jaar, afhankelijk van de lokale omstandigheden en de schaal waarop de maatregel kan worden toegepast.

### *KRW-opgave en maatregelen*

Om in 2027 aan de normen voor de concentraties van **stikstof** (N) in het regionale oppervlaktewater te voldoen, dient in een aantal gebieden uit- en afspoeling uit landbouwgronden met 20–40% verminderd te worden t.o.v. het niveau dat voor 2027 is voorspeld bij continuering van de gebruiksnormen van het 5<sup>e</sup> Actieprogramma. Deze gebieden betreffen het Twentse deel van Vechtstromen, de zuidelijke waterschappen, Waternet, Hollands Noorderkwartier en Delfland. In de zandgebieden variëren de berekende reducties van de uit- en afspoeling van stikstof van 5–10% tot 15–25%. Deze reducties zijn een gevolg van een verbeterde benutting van stikstof als gevolg van verbeterde productieomstandigheden en nauwkeuriger bemesten. Door een combinatie van maatregelen lijkt in de zandgebieden een groot deel van de opgave voor reductie van de uit- en afspoeling van stikstof naar het regionale oppervlaktewater gerealiseerd te kunnen worden. Voor klei- en veengebieden wordt verwacht dat de maatregelen slechts gedeeltelijk zullen bijdragen aan het realiseren van de opgave.

---

<sup>10</sup> Omdat akkerbouwgewassen in rotatie worden geteeld is het saldo-effect van het vervangen van gewassen benaderd door saldoverschil van het areaal te vervangen gewas te delen door het gehele areaal akker- en tuinbouwgewassen. Dit geeft een gebiedsgemiddeld saldo per hectare.

---

De opgave voor het reduceren van de uit- en afspoeling van **fosfor** uit landbouwgronden lijkt slechts voor een beperkt deel gerealiseerd te kunnen worden met de onderzochte maatregelen. Ook door een combinatie van de maatregelen is de gewenste reductie niet te realiseren. Het uitgangspunt voor twee van de drie maatregelen was een verlaging van stikstofoverschotten op de bodembalans door een verbeterde nutriëntenbenutting. De in de bodem aanwezige fosfor bepaalt in grote mate de uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater. De maatregelen waarmee fosfaatoverschotten op de bodembalans worden verminderd sorteren wel enig effect, maar te weinig om daarmee de doelen te halen. In aanvulling op de deze maatregelen zijn maatregelen nodig die ingrijpen op transportroutes en/of maatregelen met een zuiverende werking in het oppervlaktewater.





---

# Lijst met definities

Bronnen	In deze studie: oorzaken van het vrijkomen van de stikstof en de fosfor die in het oppervlaktewater terecht komen.
Diffuse bronnen	Bronnen van verontreiniging die niet eenduidig op een bepaalde plek hun oorsprong hebben, maar over een groter gebied plaatsvinden. Voorbeelden zijn verontreinigingen afkomstig uit de landbouw en het verkeer die via atmosferische depositie en uit- en/of afspoeling van gronden het grond- en oppervlaktewater bereiken.
Stuurbare bronnen	Bronnen van verontreiniging waarvan de bronsterkte te beïnvloeden is door menselijk handelen. In deze studie wordt dit beperkt tot: waarvan de bronsterkte te beïnvloeden is door landbouwkundig handelen (uit- en afspoeling door bemesting) en emissiebeperkende maatregelen (puntenbronnen, overige bronnen).
Kaderrichtlijn Water	De Europese Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG) is in 2000 van kracht geworden en heeft als doel de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater in Europa te waarborgen. In Nederland vertaalt de Rijksoverheid de Kaderrichtlijn Water (KRW) in landelijke beleidsuitgangspunten, kaders en instrumenten. De minister van Infrastructuur en Milieu is eindverantwoordelijk voor de uitvoering van de KRW.
KRW-opgave	De Kaderrichtlijn Water heeft als doel dat alle wateren uiterlijk in 2027 een goede chemische en ecologische toestand hebben. De opgave houdt in dat alle overheden ernaar streven om de kwaliteit niet te laten verslechteren (stand-still) en zo veel mogelijk zinvolle maatregelen treffen om de kwaliteit te verbeteren.
KRW-waterlichaam	In de KRW is een groot deel van het oppervlaktewater aangewezen als waterlichaam. Een waterlichaam is een "onderscheiden oppervlaktewater van aanzienlijke omvang, zoals een meer, een waterbekken, een stroom, een rivier, een kanaal, een overgangswater of een strook kustwater". Voor deze wateren moet de toestand van het aquatisch ecosysteem beschreven worden.
Ecologische doelen	De KRW eist dat Nederland ecologische doelstellingen formuleert. In Nederland zijn 42 verschillende watertypen onderscheiden, waarvoor een beschrijving is gemaakt hoe ze er ecologisch uit zouden zien als er geen of slechts geringe menselijke invloed zou zijn geweest (referentie). Aan de hand van een maatlat wordt beoordeeld of de toestand van een water 'zeer goed' (de referentie), 'goed', 'matig', 'ontoereikend' of 'slecht' is. De KRW-norm ligt bij 'goed'.
Ecologische toestand	De beoordeling van de KRW is opgebouwd uit een groot aantal beoordelingen van chemische stoffen, fysisch-chemische parameters en het voorkomen van soorten van vier biologische groepen. De 'Ecologische Toestand' is opgebouwd uit de beoordelingen van de 'Biologische kwaliteit', de 'Algemene Fysisch-chemische kwaliteit', de 'Overig relevante verontreinigende stoffen' en 'Hydromorfologie'.
Stuurvariabelen	In deze studie worden hiermee Ecologische stuurvariabelen aangeduid. Dit zijn kenmerken waarmee de ecologische toestand is te karakteriseren. Voor chemische aspecten van waterkwaliteit zijn de zomergemiddelde concentraties van BZV, totaal-P, totaal N en Chloride van belang.
Regionaal oppervlaktewater	In deze studie worden de regionale waterlichamen soms aangeduid met "regionaal oppervlaktewater". De regionale wateren zijn vrijwel altijd in beheer bij waterschappen.

Beïnvloedingsgebied	Het gebied dat afwatert op een bepaald waterlichaam. Grenzen tussen beïnvloedingsgebieden zijn op te vatten als waterscheidingen.
Afwateringseenheid	Het gebied dat afwatert op een uitstroompunt. In hoog Nederland is "afwateringseenheid" meestal synoniem met "stroomgebied" of "deelstroomgebied". In laag Nederland wordt een polder of een groep polders aangeduid met "afwateringseenheid".
SGBP	Stroomgebiedbeheersplan. Stroomgebiedsbeheersplannen hebben een planperiode van zes jaar. De tweede planperiode is ingegaan op 1 januari 2016 en duurt tot en met 2021. De derde planperiode eindigt op 31 december 2027.
Doelgat	Het verschil tussen de huidige ecologische toestand van het oppervlaktewater en de toestand "goed". In deze studie is dit verder toegespitst op de mate van overschrijding van stikstof- en fosforconcentraties in de regionale waterlichamen.
Doelrealisatie	Mate waarin het gestelde doel bereikt wordt. In deze studie is dit verder toegespitst op de mate waarin het verschil tussen de huidige ecologische toestand en de toestand "goed" verkleind wordt.
Opgave voor landbouw	In deze studie: de mate waarin de uit- en afspoeling uit landbouwgronden verminderd moet worden om de ecologische toestand "goed" in het oppervlaktewater te kunnen bereiken.
Generiek mestbeleid	Het stelsel van gebruiksnormen en gebruiksvorschriften voor bemesting zoals dat van kracht is voor landbouwbedrijven.
Beleidsgebieden	In deze studie: de gebieden die in rapportages van het Landelijke Meetnet Effecten Mestbeleid worden onderscheid. In Bijlage 2 is zijn deze gebieden weergegeven op een kaart.
Agrarische bedrijfsvoering	In deze studie: Het landbouwkundig handelen dat leidt tot overschotten van stikstof en/of fosfor die op het veld en/of in de bodem achterblijven.
Mest	In deze studie is het begrip "mest" gekoppeld aan mestgift of bemesting en wordt er de som van kunstmest en dierlijke mest mee aangeduid.
Actuele bemesting	De toegediende mestgiften in het jaar waarin het berekende overschot, uitspoeling en/of toestand van de bodem wordt geëvalueerd.
Historische bemesting of bemesting in het verleden	De toegediende mestgiften de jaren voorafgaand aan het jaar waarin het berekende overschot, uitspoeling en/of toestand van de bodem wordt geëvalueerd. Het begrip historische bemesting wordt meestal gebruikt in de context van na-ijling van of nalevering uit in het verleden opgebouwde voorraden in de bodem.
Netto-gewasopname	Netto-gewasopname van stikstof is de hoeveelheid stikstof die door een gewas uit de bodem is opgenomen (bruto-gewasopname) minus de gewasresten (stoppels, blad, wortels) die na de oogst op het veld achterblijven. Netto-gewasopname is voor veel gewassen equivalent aan de afvoer van stikstof met oogstbare delen.
Overschot op de bodembalans	Het overschot op de bodembalans duidt op een balansbenadering voor de bodem en wordt berekend als aanvoer (bemesting + depositie + N-binding) minus afvoer (netto-gewasopname + aanwendingsemisatie).
Uit- en afspoeling	Met afspoeling wordt het transport van stikstofcomponenten (nitraat, ammonium, opgelost organisch gebonden N) en fosforcomponenten (opgelost mineraal P, opgelost organisch gebonden P) over het maaiveld aangeduid dat optreedt als gevolg van de oppervlakkige afstroming van water. Met uitspoeling naar het oppervlaktewater wordt het transport aangeduid van stikstof- en fosforcomponenten door de bodem naar het ondiepe grondwater en vanuit het ondiepe grondwater naar greppels, drainbuizen, perceelstoten, grotere watergangen, kanalen en beken. In dit rapport wordt de som van uit- en afspoeling beschouwd.
Retentie	De opname door planten en de afbraak, omzetting en vastlegging van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater en in sediment direct grenzend aan oppervlaktewater door biologische en chemische processen.

---

Saldo	Totale opbrengsten minus variabele kosten, dit zijn de kosten die gemaakt moeten worden om het gewas te kunnen telen en te oogsten. Het onderscheidt zich van de vaste kosten die ongeacht de teelt van een gewas even hoog blijven. Het gaat dan om kosten voor grond (pacht en rentekosten), eigen arbeid, afschrijvingen en rentekosten van machines en gebouwen.
Gebiedsgemiddeld saldo	Dit is het gemiddelde saldo per hectare voor het betreffende gebied op basis van het gewogen gemiddelde van de saldi per gewas in het betreffende gebied.

---



---

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleem en doel

In discussies met de Europese Commissie is de voortgang van de realisatie van doelen van de Kaderrichtlijn Water (KRW) onderwerp van gesprek. Ook bij de ontwikkelingen in de Nederlandse veehouderij wordt steeds meer aandacht gevraagd voor de relatie tussen gebruiksnormen en de kwaliteit van het oppervlaktewater. Landbouw is verantwoordelijk voor een deel van de overschrijding van normen voor nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater. Inzicht is gewenst in het aandeel van de landbouw in deze overschrijding.

Uit de analyse van de nutriëntengehalten op KRW-metlocaties voor heel Nederland (Van Duijnhoven *et al.* 2015) is geconcludeerd dat in de periode 2011–2013 de gemiddelde stikstof (N)-totaalconcentraties in het zomerhalfjaar in bijna 50% van de waterlichamen als 'goed' is te beoordelen. Voor de fosfor (P)-totaalconcentraties is dit percentage 45%. Er is een verbetering zichtbaar tussen de periode 2006–2008 en periode 2011–2013 voor 23% van de waterlichamen voor N-totaal en 25% voor P-totaal. Voor 8% van de waterlichamen is voor N-totaal een achteruitgang te zien en voor P-totaal is dit 7%.

Uit de rapportage van Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater (MNLSO) komt naar voren dat de waterkwaliteit ook in de landbouwspecifieke wateren aan het verbeteren is, maar dat er in de periode 2011 t/m 2014 op circa 40–60% van de meetlocaties nog niet aan de waterschapsnorm voor N-totaal of P-totaal wordt voldaan (Klein en Rozemeijer, 2015). Hoge concentraties en grote normoverschrijdingen van N-totaal komen verspreid over Nederland voor en overschrijdingen van de norm van P-totaal komen vooral in het westen van Nederland voor. De meerderheid van de MNLSO-locaties laat een neerwaartse trend in jaargemiddelde nutriëntenconcentraties zien. Deze trend is ook vastgesteld voor de zomer- en winterconcentraties afzonderlijk, voor de deelgebieden zand, klei en veen en voor verschillende meetperioden. Klein en Rozemeijer (2015) suggereren dat de dalende trend (verbetering van de waterkwaliteit in landbouwgebieden) een effect is van het mestbeleid.

Ondanks de lichte verbetering van de waterkwaliteit in landbouwgebieden (Van Gaalen *et al.* 2015b) wordt verwacht dat het generieke mestbeleid niet overal in 2027 zal leiden tot de voor de ecologische waterkwaliteit gewenste concentraties nutriënten in het oppervlaktewater. Deze verwachting is onlangs bevestigd in een rapport over de effecten van de gebruiksnormen van het 5<sup>de</sup> Nitraatactieplan op de uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater (Groenendijk *et al.* 2015). Uit dit rapport blijkt het effect van het 5<sup>e</sup> Actieprogramma op de stikstofvracht naar het oppervlaktewater beperkt is. In het westen van Nederland is slechts lokaal sprake van een afname, in Noord-Brabant en Oost-Groningen met enkele kilo's per jaar. Het 5<sup>e</sup> Actieprogramma heeft ook geen of slechts geringe effecten op de fosfaatvracht naar het oppervlaktewater (minder dan 0.1 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>) in vrijwel heel Nederland.

Behalve het inzicht in het aandeel van landbouw in de overschrijding van normen voor nutriëntenconcentraties in het regionale oppervlaktewater, is ook inzicht gewenst in de mate waarin maatregelen, aanvullend op maatregelen uit het mestbeleid, kunnen bijdragen aan het verminderen van de N- en P-belasting van het oppervlaktewater.

Bij afweging van maatregelen speelt kosteneffectiviteit een grote rol. Kosten en baten en eventuele afwentelingseffecten dienen goed bekend te zijn voordat maatregelen verplicht kunnen worden doorgevoerd of voordat ze aan de landbouwsector worden aangeboden in stimuleringskaders of anderszins. Van Gaalen *et al.* (2015b) concluderen dat een optimale mix van maatregelen de realisatie van KRW-doelen substantieel dichterbij kan brengen. Bij een optimaal pakket aan maatregelen zou de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater met 10–60% kunnen afnemen. Deze uitspraken zijn gebaseerd op een eenvoudige modelbenadering voor het risico op de uit- en afspoeling van fosfor uit

---

landbouwpercelen (Van der Salm *et al.* 2015). Verder concludeerden Van Gaalen *et al.* (2015) dat de effectiviteit van maatregelen afhankelijk is van de lokale situatie.

Het doel van dit project is:

- Kwantitatief inzicht geven in en informatie actualiseren ten aanzien van het aandeel van de landbouw in de overschrijding van normen voor nutriëntenconcentraties (2001–2013) in het regionale oppervlaktewater.
- Het kwantificeren van het effect van enkele maatregelen op de vermindering van nitraatconcentraties in het grondwater en de N- en P-belasting van het oppervlaktewater door landbouwgronden en het schatten van de kosten en baten van deze maatregelen op veldschaal<sup>11</sup> en op gebiedsschaal.

Om het onderzoek te structureren, is dit doel vertaald in de volgende onderzoeksvragen:

1. Wat is het aandeel van de N- en P-belasting van het oppervlaktewater door landbouwgronden in het totaal van de bronnen die de regionale wateren belasten met stikstof en fosfor?
2. Welk deel van de N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden is toe te schrijven aan de huidige agrarische bedrijfsvoering en wat is hiervan het aandeel in het totaal van de bronnen die de regionale wateren belasten met stikstof en fosfor?
3. Welke reductie van de totale nutriëntenbelasting van de regionale wateren is nodig om de doelen van de KRW te realiseren?
4. Welke reductie van de uit- en afspoeling uit landbouwgronden is nodig om de doelen van de KRW voor de regionale wateren te realiseren?
5. Wat zijn de effecten van een aantal maatregelen op nitraatconcentraties in het grondwater en de uit- en afspoeling van N en P naar het oppervlaktewater?
6. Wat zijn de effecten van de maatregelen op de financiële saldi van landbouwpercelen en teelten?
7. In welke mate kunnen de maatregelen bijdragen aan de opgave om de uit- en afspoeling van N en P uit landbouwgronden te verminderen?

## 1.2 Leeswijzer

De opzet van de studie wordt beschreven in hoofdstuk 2. Hierin wordt de methode uitgelegd waarmee de benodigde reductie van de uit- en afspoeling van stikstof (N) en fosfor (P) uit landbouwgronden is berekend om de N- en P-concentratiedoelen in regionale waterlichamen te realiseren. In het tweede deel van hoofdstuk 2 worden de doorgerekende maatregelen globaal beschreven.

Hoofdstuk 3 bevat de gehele afleiding en de resultaten van de opgave voor de landbouw op waterschapniveau in termen van reductiepercentages van N- en P-belasting van het oppervlaktewater.

In hoofdstuk 4 zijn de effecten van een viertal maatregelen beschreven. De eerste maatregel betreft een wijziging in de arealen van akkerbouwgewassen in het zuidelijke zandgebied. De tweede maatregel is het verbeteren van de bodemstructuur door het opheffen van bodemverdichting en de aanvoer van organische stof. De derde maatregel is de toepassing van technieken om de nutriëntefficiëntie te verhogen. Gedacht wordt aan o.a. bemestingstijdstippen die nog beter op de plantbehoefte zijn afgestemd en de inzet van groenbemesters. De vierde maatregel is het installeren van regelbare drainage op plaatsen waar voorheen nog niet gedraineerd werd en het vanuit de waterhuishouding gezien wel redelijk zou zijn, of het omzetten van conventionele drainage naar regelbare drainage.

In hoofdstuk 5 wordt het effect van de maatregelen vergeleken met de opgave van de landbouw ten aanzien van het reduceren van de N- en P-belasting van oppervlaktewater.

---

<sup>11</sup> Modelbedrijf, geen concreet bedrijf.

---

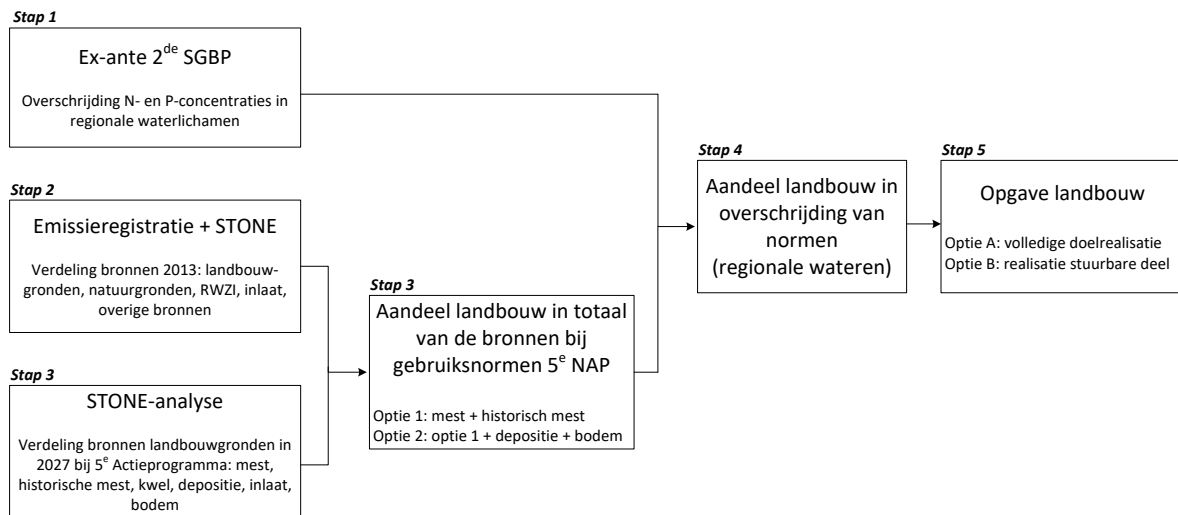
Hoofdstuk 6 bevat enkele discussies over o.a. de methode voor de afleiding van de verdeling van bronnen die het oppervlaktewater belasten, het vaststellen van de opgave voor de landbouw, de berekende effecten van maatregelen en de invloed van de mestmarkt op het realiseren van de nitraatdoelstelling in het zuidelijke zandgebied.

Ten slotte worden in hoofdstuk 7 conclusies getrokken en de antwoorden op de onderzoeksvragen samengevat.

## 2 Opzet van de studie

### 2.1 Werkwijze

De werkwijze voor het afleiden van de KRW-opgave voor de landbouw is schematisch weergegeven in Figuur 1. Hierin is een aantal stappen onderscheiden.



Figuur 1 Werkwijze voor het afleiden van de KRW-opgave voor de landbouw.

*Stap 1. Bepalen van verschil tussen normconcentraties volgens KRW en gemeten nutriëntconcentraties*

De normen voor N- en P-concentraties in de regionale waterlichamen zijn afkomstig van het waterkwaliteitsportaal ([www.waterkwaliteitsportaal.nl](http://www.waterkwaliteitsportaal.nl)). In het kader van de ex ante-analyses van de 2<sup>de</sup> Stroomgebiedbeheerplannen (Van Gaalen *et al.* 2015b) zijn voor de regionale waterlichamen N- en P-concentraties vastgesteld op basis van de metingen in de KRW-meetpunten. In deze studie is per waterlichaam een percentage vastgesteld waarmee de normconcentraties worden overschreden. Dit percentage wordt verder gebruikt als een getal voor de “overall” reductie van de N- en P-belasting van het oppervlaktewater die moet worden gerealiseerd om aan KRW-doelen te voldoen. Verondersteld wordt dat de concentraties proportioneel zullen afnemen met de daling van de vrachten. Deze reductie wordt beschouwd als de “overall” opgave voor de KRW. Het betreft dus een getal waar de reducties van alle bronnen samen toe moeten leiden.

*Stap 2. Berekening N- en P-vrachten voor de ruimtelijke eenheden waarvoor waterkwaliteit is beoordeeld aan normen*

Aan de hand van stroomgebiedskaarten is – voor zover mogelijk – voor elk van de regionale waterlichamen de begrenzing bepaald van het gebied waarbinnen de uitgespoelde nutriënten in het waterlichaam terechtkomen (beïnvloedingsgebieden). Het STONE-model is een ruimtelijk model voor de berekening van uit- en afspoeling van stikstof naar grond- en oppervlaktewater. Voor de ruimtelijke eenheden van het STONE-model is een overlay gemaakt met de kaart van beïnvloedingsgebieden van regionale waterlichamen. Per waterlichaam kan een stikstof- en fosforvracht uit de landbouwgronden en uit natuurgronden naar het waterlichaam worden berekend. Daarna is de informatie over de belasting van het oppervlaktewater uit landbouw- en natuurgronden gecombineerd met informatie over puntbronnen uit de EmissieRegistratie (o.a. overstorten, RWZI's, depositie op openwater, erfafspoeling, emissies uit glastuinbouw, etc.) en is met de KRW ECHO tool



---

(Kroes *et al.* 2011) een schatting gemaakt van de N- en P-concentraties in de waterlichamen. De aannames en rekenwijze worden verder toegelicht in paragraaf 3.2. Bij de berekening van concentraties met de KRW ECHO-tool wordt rekening gehouden met afbraak- en vastleggingsprocessen (retentie) in het oppervlaktewater.

#### *Stap 3. Toedeling van N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden naar verschillende bronnen*

Met het landsdekkende STONE-model (Groenendijk *et al.* 2013) is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden nader onder te verdelen in de bronnen depositie, actuele bemesting en bemesting in het verleden, nalevering van de bodem, kwelwater en uitspoeling van in de zomer geïnfilterd oppervlaktewater. De methode staat beschreven in Groenendijk *et al.* (2014). Tussen deze bronnen kan een verschuiving optreden naarmate de tijd voortschrijdt. Het effect van nalevering uit de bodem en door bemesting in het verleden zijn na-ijlingseffecten van de periode voor 2010 en deze brontermen nemen geleidelijk af in de tijd. Omdat deze studie ook inzicht wil geven in de mate waarin maatregelen kunnen bijdragen aan het verminderen van de overschrijding van normen voor N- en P-concentraties in het oppervlaktewater, is de onderlinge verdeling van bronnen die verantwoordelijk zijn voor de N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden in 2027 als uitgangspunt genomen. Het jaar 2027 geldt als uiterste datum voor de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) waarop alle Europese wateren een 'goede toestand' moeten hebben bereikt. De voorspelde N- en P-uitspoeling in 2027 uit studie met MAMBO en STONE van Groenendijk *et al.* (2015) is hiervoor als uitgangspunt genomen. Deze analyse levert informatie over de herkomst van de nutriënten van de nutriëntenuitspoeling in 2027.

#### *Stap 4. Vaststellen van het aandeel van de landbouw in de overschrijding van normen voor N- en P-concentraties in de regionale oppervlaktewateren*

Van de berekende concentraties in stap 1 wordt berekend welk deel uit welke bron afkomstig is. Uit stap 3 zijn de bijdragen uit aan landbouwgronden gerelateerde bronnen bekend en uit stap 2 is de bijdrage van de andere bronnen berekend. Deze bronverdeling wordt proportioneel toegepast op de procentuele overschrijding van de normen voor N- en P-concentraties in regionale oppervlaktewateren. Opgemerkt wordt dat bij de bron "inlaat vanuit grensoverschrijdende beken" geen rekening is gehouden met eventuele ontwikkelingen in bovenstroomse gebieden die in de toekomst tot lagere nutriëntenconcentraties (minder belasting door afwenteling) kunnen leiden.

#### *Stap 5. Vaststellen van opgave van de landbouw voor de Kaderrichtlijn Water*

Uit de procentuele overschrijding van de normen voor N- en P-concentraties in het regionale oppervlaktewater, gecombineerd met de verdeling van bronnen van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater, wordt de opgave van de landbouw voor de KRW berekend in termen van een procentuele streefreductie van de totale N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden. In deze benadering zitten discussiepunten die benaderd zijn door het formuleren van opties. Het eerste discussiepunt betreft de vraag of atmosferische depositie op landbouwbodems en de nalevering vanuit de landbouwbodem die niet aan bemesting kan worden toegeschreven (bijv. door veenafbraak en inpoldering van zeeleiggronden) als landbouwbronnen moeten worden gezien. Het tweede discussiepunt betreft de vraag of gestreefd zou moeten worden naar een volledig doelbereik of naar een mate van doelbereik waarbij de inspanning wordt afgestemd op de bijdrage van de bronnen exclusief achtergrondbelasting (kwel en infiltratie vanuit het oppervlaktewater) aan de normoverschrijding. Bij het in beeld brengen van de opgave voor de landbouw wordt in deze studie geen keuze gemaakt voor een van de opties, maar worden de consequenties van een eventuele keuze zichtbaar gemaakt door het presenteren van 2 x 2 sets aan resultaten voor de opgave.

#### *Doorrekenen van een aantal maatregelen*

In overleg met het ministerie van EZ zijn enkele maatregelen geselecteerd om door te rekenen. Een eerste maatregel betreft de teelt van gewassen in het zuidelijke zandgebied die minder gevoelig zijn voor de uitspoeling van nitraat. Behalve een opgave voor het verlagen van nitraatconcentraties is er voor de landbouw in het zuidelijke zandgebied ook een opgave voor het reduceren van de N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden. In de berekeningen is gekeken in welke mate de vervanging van uitspoelingsgevoelige gewassen bijdraagt aan een verlaging van de nitraatconcentratie in het grondwater en tot welke reductie van de N- en de P-belasting van het oppervlaktewater dit zou kunnen leiden. Verder is een drietal maatregelen geselecteerd uit de BOOT-lijst. In BOOT (Bestuurlijk

---

Overleg Open Teelten) is een lijst met maatregelen vastgesteld die het verbeteren van waterkwaliteit en/of waterkwantiteit ondersteunt. De maatregelen van de BOOT-lijst worden als perspectiefvol gezien voor het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer. De drie maatregelen zijn zo gekozen dat ze inzicht bieden in verschillende aspecten die van invloed zijn op uit- en afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater: nutriëntenbenutting door een gewas, bodemkwaliteit en waterbeheer. De aard van de maatregelen en de wijze waarop ze zijn doorgerekend, worden beschreven in paragraaf 4.2.

Uit de resultaten van de berekeningen van effecten van maatregelen is afgeleid in welke mate ze leiden tot een vermindering van nitraatconcentraties in grondwater en de af- en uitspoeling van N en P naar oppervlaktewater. Uit de vermindering is afgeleid in welke mate de doorgerekende landbouwmaatregelen kunnen bijdragen aan het verkleinen van het landbouwaandeel in het overschrijden van normen voor N- en P-concentraties in het regionale oppervlaktewater. Voor de maatregelen zijn de inzichten en cijfers over kosten actueel gemaakt en, waar nodig, nieuw afgeleid. Voor de maatregelen waarvoor het relevant is, zijn ook baten als gevolg van betere productieomstandigheden in de kosten meegenomen (Saldi).

## 2.2 Beschrijving maatregelen

### 2.2.1 Milieuvriendelijker gewasmix zuidelijk zandgebied

Uit metingen en berekeningen blijkt dat de nitraatconcentraties onder akker- en tuinbouwgewassen op de uitspoelings-gevoelige gronden in het zuidelijke zandgebied hoger zijn dan de norm van 50 mg L<sup>-1</sup> uit de Nitraatrichtlijn. Er is nagegaan wat het effect is van een verandering in geteelde akker- en tuinbouwgewassen op de nitraatconcentratie in het grondwater en de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater. Enkele varianten zijn doorgerekend:

- Gedeeltelijk vervangen van consumptieaardappelen door een gewas met een kleiner stikstofoverschot en daardoor een lagere uitspoeling.
- Gedeeltelijk vervangen van een "late-oogst"-gewas door een "vroeg-oogst"-gewas met grotere stikstofopname door een vanggewas, waardoor deze effectiever de nitraatuitspoeling kan beperken.
- Vervangen van een gewas met hoge uitspoeling en beperkt areaal (bijv. prei, vollegrondsgroente) door een gewas met lage uitspoeling.

### 2.2.2 Verbetering van de bodemstructuur

Maatregelen om structuurbederf te voorkomen, en daar waar deze heeft plaatsgevonden op te heffen, staan bij de agrarische sector en bij waterbeheerders sterk in de belangstelling. De maatregelen houden concreet in dat voorkomen wordt dat grondbewerking plaatsvindt in ongunstige perioden, het organisch stofgehalte van de bodem wordt verhoogd en dat gewassen en rassen met een diepere worteling worden geselecteerd. In de bestuurlijke rapportage van het Deltaprogramma Zoetwater (2013) over "Kansrijke strategieën voor zoetwater" worden hoge verwachtingen uitgesproken van het verbeteren van het waterbergend vermogen van de bodem en het verbeteren van de buffercapaciteit. Daarnaast wordt verwacht dat dergelijke maatregelen kunnen bijdragen aan een reductie van nitraatuitspoeling en uit- en afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater. Onderzoek van o.a. PPO wijst uit dat na een investering van ca. tien jaar (in de aanvoer van compost) er positieve effecten zijn te zien op de uitspoeling en mogelijk ook op het bedrijfssaldo. In de modelsimulaties met STONE worden diverse maatregelen die leiden tot een verbetering van de bodemstructuur samengevat in één pakket (aanpassing bodemfysica, wortelingsdiepte, nutriëntenbenutting). Voor het samenstellen van de modelinvoer is gebruikgemaakt van ervaringen van het project "Opties voor benutten van de bodem voor schoon oppervlaktewater" (Van der Salm *et al.* 2015) en het project "Goede grond voor een duurzaam watersysteem" (Schipper *et al.* 2015).

### 2.2.3 Verbetering nutriëntenbenutting door plaatsing en timing van bemesting

Door precisiebemesting en rijenbemesting van dierlijke mest bij gewassen die in rijen worden geteeld, worden de plaatsing en de timing van mestgiften beter afgestemd op de behoefte van het gewas. De

---

meststoffen kunnen dan efficiënter worden benut en er treden minder verliezen op. Bij de timing wordt ook rekening gehouden met de weersvoorspelling van de komende week. Hierdoor wordt voorkomen dat mest wordt toegediend in een periode van overvloedige regenval. In de praktijk zijn hiervoor aangepaste machines en een vergroting van de mestopslag nodig en verandert dit de arbeidsfilm van loonwerkers. De maatregelen leiden ertoe dat Good Farming Practice nog verder verbetert en een stap wordt gezet naar Excellent Farming Practice. Verschillende maatregelen gericht op mestopslag, afzet, efficiënte benutting door gewassen, vermindering van verliezen door betere timing van bemesting, e.d. worden samengevat in één pakket (paragraaf 4.3).

#### 2.2.4 Aanleggen en aanpassen buisdrainage

Bij deze maatregel wordt het effect van hydrologische maatregelen op de af- en uitspoeling van meststoffen nagegaan. In het Bestuurlijk Overleg Open Teelten (BOOT) is een lijst met maatregelen vastgesteld die het verbeteren van waterkwaliteit en/of waterkwantiteit ondersteunt<sup>12</sup>.

In deze lijst wordt een aantal hydrologische maatregelen genoemd: 1) regelbare / stuwgestuurde drainage, evt. in combinatie met klimaatadaptieve regelbare drainage, 2) plaatsen van stuwtjes in de kleinere watergang om beheer te voeren op het langer vast houden van water in waterlopen en 3) infiltratie via onderwaterdrainbuizen (veenweide).

- Met peilgestuurde drainage worden productieomstandigheden verbeterd doordat (grond)water wordt vastgehouden in droge perioden en versneld ontwaterd kan worden onder natte omstandigheden. Bij peilgestuurde drainage worden drainbuizen dieper en op kleinere afstand geïnstalleerd dan bij conventionele drainage. Aan elkaar gekoppelde drainbuizen komen uit in een bemalen put, waar een peil ingesteld kan worden.
- Door dynamisch peilbeheer wordt voorkomen dat het in bepaalde gebieden (tijdens bepaalde perioden) de grond/bodem te lang te nat of te droog blijft. Hiermee kan de gewasopbrengst verhoogd worden door verbeterde productieomstandigheden.
- Onderwaterdrainage in veenweidegebieden is een vorm van drainage waarbij de drains 10 tot 20 cm onder het slootpeil worden aangelegd. Hierdoor kan in droge perioden slootwater via de drains in het perceel infiltreren en wordt voorkomen dat de grondwaterstand van het perceel diep onder dat van het slootpeil uitzakt. Door de hogere grondwaterstand in het perceel blijft de grond vochtig en daardoor in grotere mate zuurstofloos, waardoor afbraak van het veen door oxidatie met ongeveer de helft wordt afgeremd.

In verkennende berekeningen is met deze maatregelen eerder ervaring opgedaan, bijv. in de studie "Opties voor benutten van de bodem voor schoon oppervlaktewater" (Van der Salm *et al.* 2015). In deze eerdere studies is steeds naar deelaspecten gekeken (bijv. alleen P-uitspoeling), terwijl in onderhavige studie naar zowel de N- als de P-uitspoeling wordt gekeken en ook de kosten in beeld worden gebracht. De genoemde maatregelen worden samengevat in één pakket (paragraaf 4.4) en opgelegd in gebieden, afhankelijk van wat voor de regio het beste past.

---

<sup>12</sup> <http://deltaplanagricarischwaterbeheer.nl/external?url=http://agricarischwaterbeheer.nl/thema/maatregelen-agricarischwaterbeheer>

# 3 Opgave van landbouw voor de KRW

## 3.1 KRW-doelgat stikstof en fosfor

Het aandeel van de opgave van de landbouw voor het realiseren van de KRW-doelen is in dit onderzoek alleen voor de regionale wateren afgeleid. De Rijkswateren zijn buiten beschouwing gelaten, omdat 60–75% van de totale nutriëntenbelasting van Rijkswateren afkomstig is van het buitenland. Voor een belangrijk deel van de Rijkswateren, zoals de grote rivieren, het IJsselmeer en de kustwateren, is het buitenland zelfs bepalend voor de nutriëntenconcentraties, omdat daar het grootste deel van het stroomgebied van de grensoverschrijdende Rijkswateren ligt (Van Gaalen *et al.* 2015b). Rijkswateren zijn watersystemen, of onderdelen daarvan, die in beheer zijn bij het Rijk en regionale wateren zijn watersystemen, of onderdelen daarvan, die niet in beheer zijn bij het Rijk. De regionale wateren zijn vrijwel altijd in beheer bij waterschappen.

De opgave wordt in deze studie gedefinieerd als de reductie van de N- of P-belasting van het oppervlaktewater die nodig is om aan de normconcentraties voor stikstof en fosfor te voldoen. De benodigde reductie is per waterlichaam afgeleid op basis van gemeten nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater en de normconcentraties voor stikstof en fosfor. De data zijn afkomstig van het waterkwaliteitsportaal (WKP). Het Waterkwaliteitsportaal verzamelt, beheert en ontsluit gegevens voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) en maakt het mogelijk om een consistent beeld te presenteren van de Nederlandse waterkwaliteit.

In het kader van de ex ante-analyse van de 2<sup>de</sup> SGBP's (Van Gaalen *et al.* 2015b) zijn op basis van data uit het WKP gemiddelde stikstof- en fosforconcentraties voor de periode 2011–2013 afgeleid voor de (meeste) regionale waterlichamen. De normconcentraties voor stikstof en fosfor zijn afgeleid op basis van de meest recente informatie uit het WKP (versie 28-10-2015).

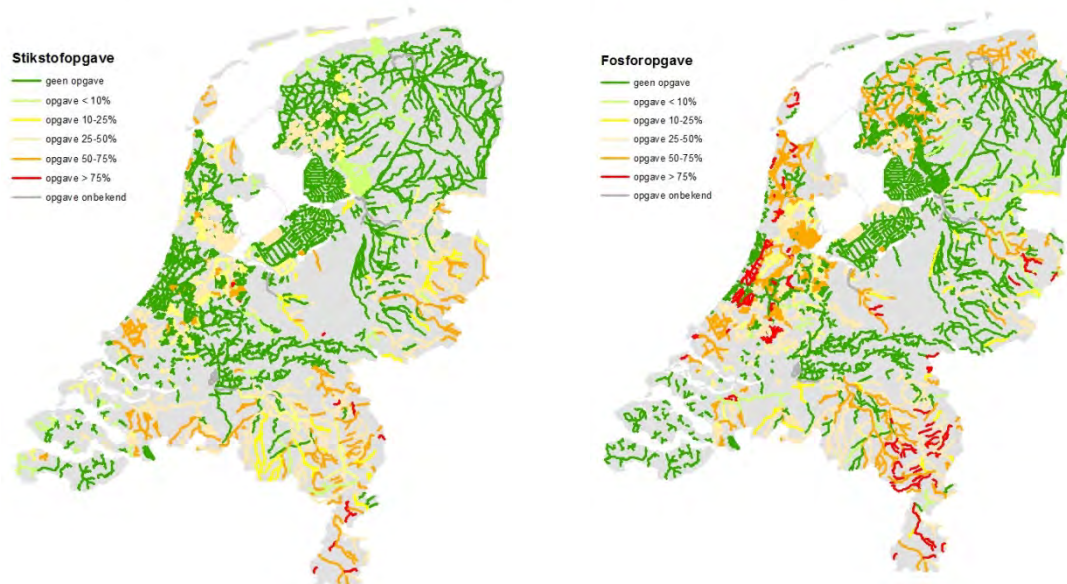
De gemeten gemiddelde nutriëntenconcentraties voor de periode 2011–2013 en de recentste normconcentraties uit het WKP vormen dus het uitgangspunt in de voorliggende studie. Conform de ex ante-analyse is de basis van onderhavige rapportage dus een momentopname – ontwikkelingen (nutriëntenconcentraties) in de waterkwaliteit na 2013 zijn niet meegenomen.

Per waterlichaam is de 'mate van overschrijding' (= percentage waarmee de normconcentraties in de regionale waterlichamen worden overschreden) bepaald (Tabel 1). De "mate van overschrijding" is in deze studie vervolgens geïnterpreteerd als de opgave (= benodigde reductie van de N- en P-belasting van het oppervlaktewater) om aan de stikstof- en fosfornormen voor het oppervlaktewater te voldoen. In deze studie zijn concentraties en belasting een-op-een aan elkaar gerelateerd.

**Tabel 1** Mate van overschrijding = percentage waarmee de normconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van gemeten nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater wordt overschreden voor de regionale waterlichamen.

Opgave	Stikstof		Fosfor	
	Aantal regionale waterlichamen	Percentage van de reg. waterlichamen	Aantal regionale waterlichamen	Percentage van de reg. waterlichamen
Geen overschrijding	307	46.2	282	42.4
Overschrijding < 10%	42	6.3	31	4.7
Overschrijding 10-25%	80	12.0	44	6.6
Overschrijding 25-50%	121	18.2	118	17.7
Overschrijding 50-75%	92	13.8	119	17.9
Overschrijding > 75%	11	1.7	56	8.4
Overschrijding onbekend	12	1.8	15	2.3
<b>Totaal</b>	<b>665</b>		<b>665</b>	

Voor zowel N als P geldt dat in iets minder dan de helft van de regionale wateren aan de norm wordt voldaan. In ca. 46% van de regionale wateren wordt aan de norm voor de stikstofconcentratie voldaan en in ca. 42% aan de fosforconcentratie. De overige waterlichamen liggen overwegend in de klasse 25–50% overschrijding en de klasse 50–75% overschrijding. Uit de ruimtelijke analyse blijkt dat de mate waarin de normen voor het oppervlaktewater worden overschreden relatief het grootst is voor het zuidelijk en oostelijk zandgebied (Figuur 2). Voor fosfor geldt dit ook voor veel waterlichamen in Zuid- en Noord-Holland. In 187 waterlichamen (28%) wordt zowel aan de stikstofnorm als aan de fosfornorm voldaan. In Figuur 2 is de ruimtelijke verdeling weergegeven van de procentuele opgave per waterlichaam.



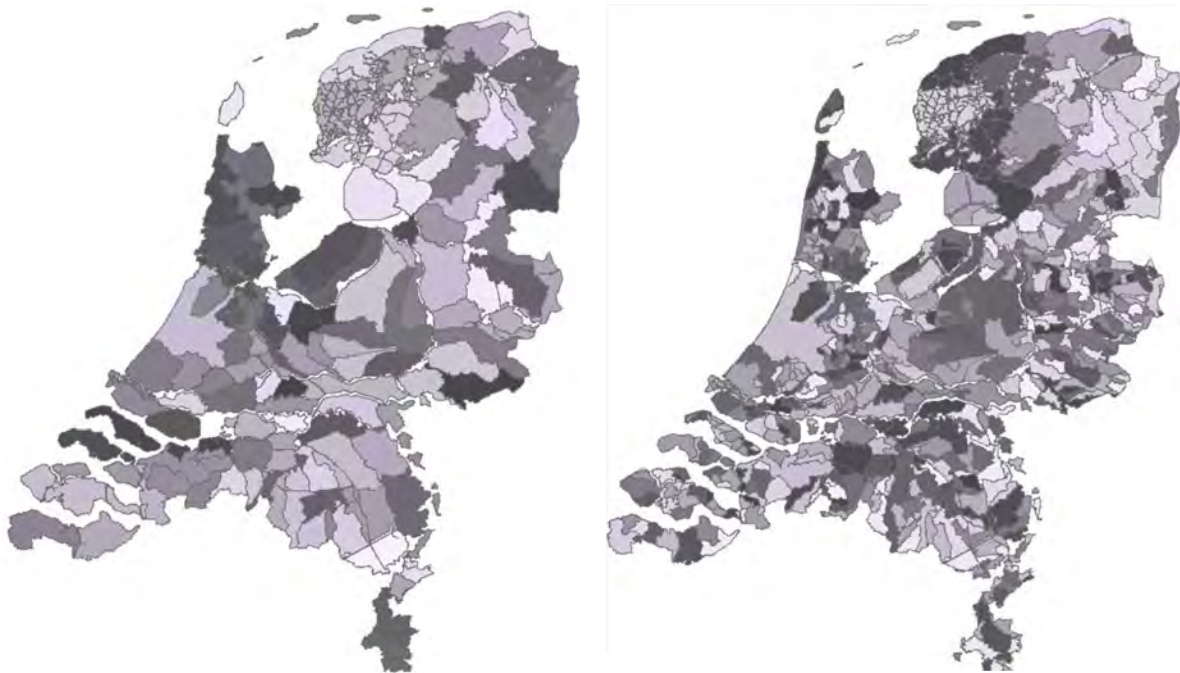
**Figuur 2** Opgave (= benodigde reductie (%)) van de N- en de P-belasting van het oppervlaktewater) voor het realiseren van de normconcentraties van stikstof en fosfor.

Zoals hierboven is aangegeven, is voor het afleiden van de opgave per waterlichaam gebruikgemaakt van de gemiddelde nutriëntenconcentraties (2011–2013) en de normconcentraties (Figuur 2). De Figuur geeft dus niet de toestand/beoordeling weer die is gepresenteerd in de tussenrapportage van de ex ante-evaluatie van de KRW (toestand 2013, Van Gaalen *et al.* 2015a) of de toestand/beoordeling in de definitieve rapportage (toestand 2015, Van Gaalen *et al.* 2015b). De figuren kunnen hierdoor dan ook niet met elkaar vergeleken worden.

### 3.1.1 Gebiedsindeling

In Figuur 2 is de relatieve opgave per waterlichaam afgeleid. Voor het vaststellen van de absolute opgave (kg of kg ha<sup>-1</sup>) is het niet mogelijk om de relatieve opgave vooraf te middelen of aggregeren, omdat dit zou leiden tot onrealistische uitkomsten. Achter elk waterlichaam bevindt zich een afwateringsgebied met een eigen oppervlak en een eigen karakteristieke waterafvoer. Bij vooraf middelen van de relatieve opgave zou hiermee geen rekening worden gehouden.

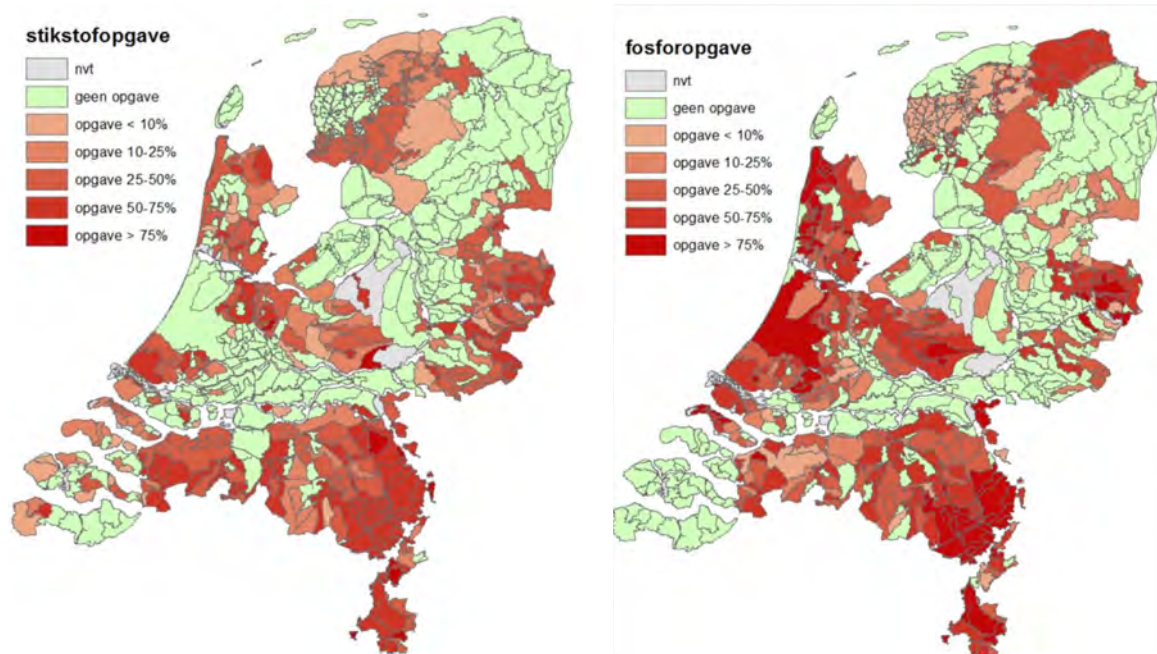
Aan elk van de regionale waterlichamen is een *beïnvloedingsgebied* gekoppeld. De gebiedsindeling zoals gehanteerd in het project *Landbouw en KRW* (Van Boekel *et al.* 2012), waarin Nederland is ingedeeld in 125 hydrologische eenheden, is hierbij als uitgangspunt genomen (Figuur 3; links). Voor de aansluiting bij de regionale waterlichamen is de indeling van 125 hydrologische eenheden verder onderverdeeld in ca. 500 afwateringsgebieden (Figuur 3; rechts).



**Figuur 3** Gebiedsindeling van Nederland in 125 hydrologische eenheden (links) en de indeling in ca. 500 beïnvloedingsgebieden om de waterlichamen te beschrijven waarvoor een waterkwaliteitsbeoordeling heeft plaatsgevonden (rechts).

Voor het afleiden van de opgave per afwateringsgebied dat behoort bij een waterlichaam is de gebiedsindeling (Figuur 3; rechts) gecombineerd met de opgave per waterlichaam (Figuur 2). Omdat het aantal afwateringsgebieden (ca. 500) kleiner is dan het aantal regionale waterlichamen (665) betekent dit dat er afwateringsgebieden zijn met meerdere waterlichamen met verschillende opgaven. Indien er meerdere waterlichamen in een afwateringsgebied liggen, is 1) uitgegaan van de grootste opgave of 2) opgave van de belangrijkste (grootste) waterlichamen. Van de ca. 500 afwateringsgebieden heeft het merendeel één (399) of twee (73) waterlichamen. In 30 deelgebieden is het aantal waterlichamen drie of groter. Dit geldt vooral voor de boezemsystemen in het beheergebied van Hoogheemraadschap van Rijnland en dat van Wetterskip Fryslân. Het ruimtelijk beeld voor stikstof- en fosforopgave is weergegeven in Figuur 4.

Gebieden met de grootste relatieve opgave voor het realiseren van de normconcentraties voor stikstof en fosfor, afgeleid voor het realiseren van een goede ecologische kwaliteit van het oppervlaktewater, zijn vooral het zuidelijk, centraal en oostelijk zandgebied. Ook voor waterlichamen in Zuid-Holland, Noord-Holland en Friesland resteert een opgave.



**Figuur 4** Opgave (benodigde reductie van de N- en P-belasting van het oppervlaktewater) voor het realiseren van de normen voor stikstof- en fosforconcentraties in het regionale oppervlaktewater.

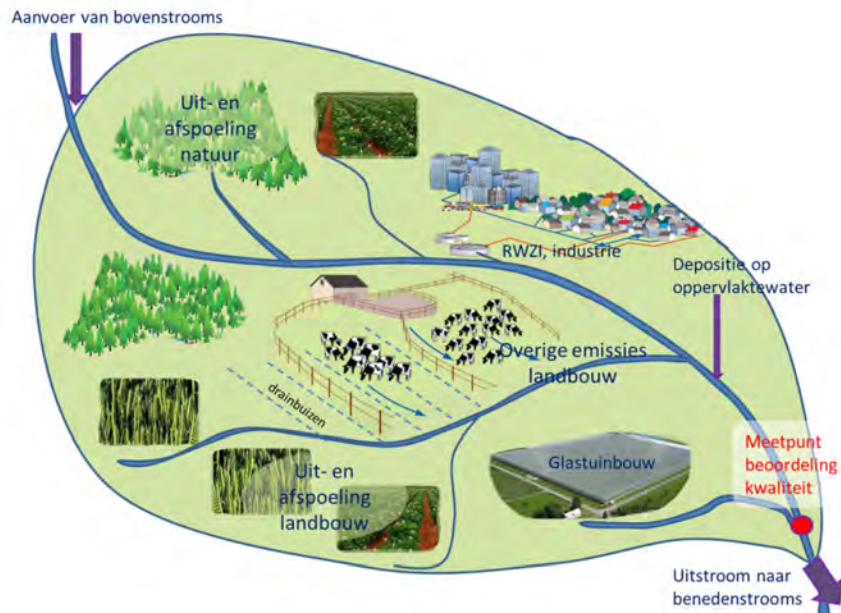
Voor de koppeling van waterlichamen en afwateringsgebieden zijn meerdere methoden/databestanden voorhanden. In dit project is gekozen voor de gebiedsindeling die is gebruikt voor landelijke studies met het ECHO-instrumentarium. Een belangrijk voordeel hiervan is dat deze indeling samen met de regionale waterbeheerders is opgesteld en gecontroleerd (Van der Bolt *et al.* 2008). Ook zijn de resultaten (stofbalansen) consistent met voorgaande studies, zoals het project Landbouw en KRW, maar ook de Evaluatie van de Meststoffen Wet 2012 (EMW ex-post).

Binnen het bestek van deze studie was het niet mogelijk om deze gebiedsindeling samen met de betreffende waterbeheerder te controleren. Voor enkele situaties kan het daardoor voorkomen dat de gehanteerde gebiedsindeling niet exact overeenkomt met de werkelijke hydrologische situatie van het deelgebied. Geschat wordt dat het effect van deze eventuele onvolkomenheden op het overallbeeld klein is.

### 3.2 Verdeling van bronnen voor waterlichamen

De berekening van de vermindering van de belasting met nutriënten die noodzakelijk is om aan doelen van de KRW te voldoen, is eerder onderwerp van onderzoek geweest (Van der Bolt *et al.* 2003; Van der Bolt *et al.* 2008; Van Boekel *et al.* 2009; Van Boekel, 2013). De achterliggende methode is in 2011 en 2012 bediscussieerd en overeengekomen met vertegenwoordigers van de regionale waterbeheerders en het resultaat van deze discussie is te vinden in Schipper *et al.* (2012). Deze notitie is in dit rapport opgenomen als Bijlage 7.

In de voorgaande studies is de relatie tussen landbouwgronden, bronnen en oppervlaktewaterconcentraties onderzocht volgens het schema in Figuur 5; deze geeft de ruimtelijke samenhang weer tussen de plaats van de emissie en de beoordeling van de waterkwaliteit. De beoordeling van de waterkwaliteit van een regionaal waterlichaam vindt meestal plaats in een meetpunt dat representatief is voor de uitgaande waterstroom en stofvracht uit een stroomgebied. In Figuur 5 is dit schematisch weergegeven door een punt bij de uitgang van het stroomgebied.



**Figuur 5** Activiteiten die bijdragen aan de belasting van een regionaal waterlichaam met nutriënten.

De meeste informatie over de bronnen is overgenomen van gegevens in de Emissieregistratie (Klein *et al.* 2015), met uitzondering van de uit- en afspoeling van landbouwgronden, van natuurgronden en de aanvoer uit bovenstroomse gebieden. De uit- en afspoeling van landbouwgronden en van natuurgronden zijn in de emissieregistratie samengevoegd. Voor een correcte afleiding van de opgave voor de landbouw dient met de af- en uitspoeling uit natuurgronden wel rekening gehouden te worden. Tabel 2 geeft de procentuele verdeling van het landgebruik volgens LGN7<sup>13</sup> in 2012 (Hazeu *et al.* 2014), gebaseerd op het totale Nederlandse landoppervlak.

<sup>13</sup> Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland



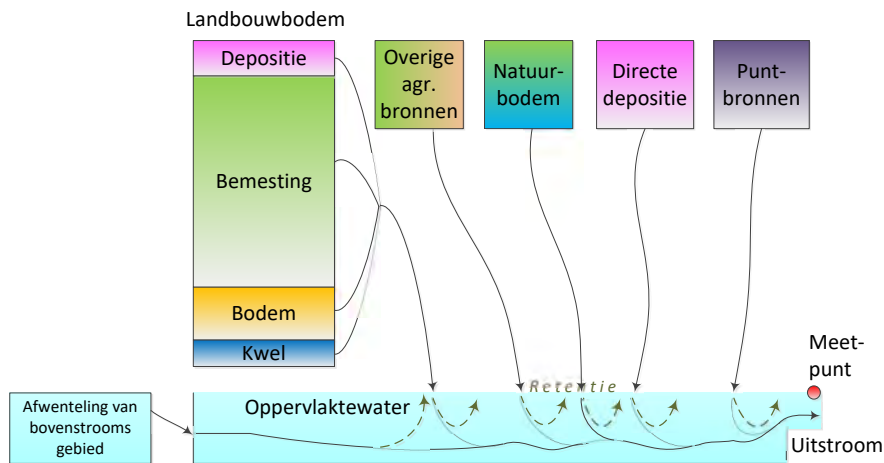
**Tabel 2** Procentuele verdeling van het landgebruik in 2012 volgens LGN7, gebaseerd op het totale Nederlandse landoppervlak.

Landgebruik	Oppervlaktepercentage
Agrarisch gras <sup>14</sup>	34.3
Mais	8.2
Aardappelen	4.9
Bieten	2.3
Granen	6.0
Overige landbouwgewassen	3.4
Boomkwekerijen	0.69
Fruïtkwekerijen	0.69
Glastuinbouw	0.39
Boomgaard	0.07
Bollen	0.84
Bos	10.5
Overige natuur	8.0
Bebouwing in buitengebied	2.7
Bebouwing in bebouwd gebied	7.2
Groen in bebouwd gebied	9.9

In Tabel 2 is te zien dat het areaal land- en tuinbouwgewassen 61,8% beslaat. Het overige deel bestaat voor 18,5% uit natuur (categorie bos en overige natuur) en 19,5% uit stedelijk gebied (inclusief groen in bebouwd gebied).

Het schematische overzicht van de uitstroom uit een regionaal waterlichaam als resultante van de bronnen is gegeven in Figuur 6. In deze Figuur is bij het uitstroompunt een meetpunt aangegeven. Op dit punt wordt de waterkwaliteit gemeten en beoordeeld. Een deel van de nutriënten die in het oppervlaktewater terechtkomt is al verdwenen en/of vastgelegd voordat het water waarin de stof terechtkwam, het meetpunt passeert. Dit kan door tijdelijke en permanente opslag in onder andere waterplanten (opname in biota) en in de waterbodem (sedimentatie) en/of door gasvormige emissies naar de atmosfeer (denitrificatie). De vermindering van de hoeveelheid nutriënten in het oppervlaktewater voordat ze worden afgevoerd bij het uitstroompunt wordt aangeduid met "retentie". Met deze retentie moet rekening worden gehouden bij de afleiding van de opgave.

<sup>14</sup> Opgemerkt wordt dat in waterrijke gebieden, zoals veenweidegebieden, het oppervlak grasland iets is overschat, omdat binnen de grids van 25 x 25 m een uniform landgebruik wordt vastgesteld. In veenweidegebieden kunnen de sloten gezamenlijk 10–15% van het oppervlak beslaan. Binnen de afzonderlijke grids van het LGN is het slootoppervlak meestal minder dan de helft en wordt dit slootoppervlak als grasland geregistreerd.



**Figuur 6** Bijdrage van verschillende bronnen en van retentie aan de nutriëntenuitstroom van een gebied.

De bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de N- en P-belasting van het oppervlaktewater van de ca. 500 beïnvloedingengebieden is opgesteld op basis van de ECHO-methodiek (Kroes *et al.* 2011). De methode combineert model- en data-analysetechnieken die zijn ontwikkeld voor de ex ante-evaluatie van de KRW, de Evaluatie van de Meststoffenwet en de monitoring- en modelstudies op regionale schaal.

Voor de berekening van de uit- en afspoeling vanuit het landelijke gebied is gebruikgemaakt van het STONE-model (Groenendijk *et al.* 2013), waarbij onderscheid gemaakt is tussen de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden en natuurgronden.

Om inzicht te krijgen in welke mate agrarische activiteiten bijdragen aan de uit- en afspoeling uit landbouwgronden wordt deze term nader opgesplitst in enkele deeltermen:

- Uit- en afspoeling als gevolg van depositie die op het gewas en het maaiveld valt.
- Uit en afspoeling als gevolg van de bemesting die wordt gedoseerd plus het na-ijlingseffect van de mestgiften in voorgaande jaren.
- Uit- en afspoeling als gevolg van de nalevering door bodemprocessen, zoals mineralisatie van veen, of de uitloging van in het verleden opgehoopte fosfaat afkomstig uit kwel (ondergrond zeelei).
- Uit- en afspoeling als gevolg van opwaartse kwel met hoge nutriëntenconcentraties.

Voor het berekenen van de opgave kan op verschillende manieren met deze termen worden omgegaan. Dit wordt verder uitgewerkt in paragraaf 3.5.2.

Behalve de uit- en afspoeling uit de landbouw- en natuurgronden wordt het oppervlaktewater ook belast door:

- Overige agrarische bronnen (glastuinbouw, erfafspoeling, meemesten sloten<sup>15</sup>).
- Directe depositie van stikstof op het oppervlaktewater.
- Puntbronnen (industriële, RWZI's, overstorten), directe kwel uit grondwater (bijv. gasbronnen in diepe polders).

De informatie over deze bronnen is ontleend aan de Emissieregistratie ([www.emissieregistratie.nl](http://www.emissieregistratie.nl)).

<sup>15</sup> Bij de bemesting van landbouwgronden komt een klein deel van de mest onbedoeld direct in de sloten terecht.

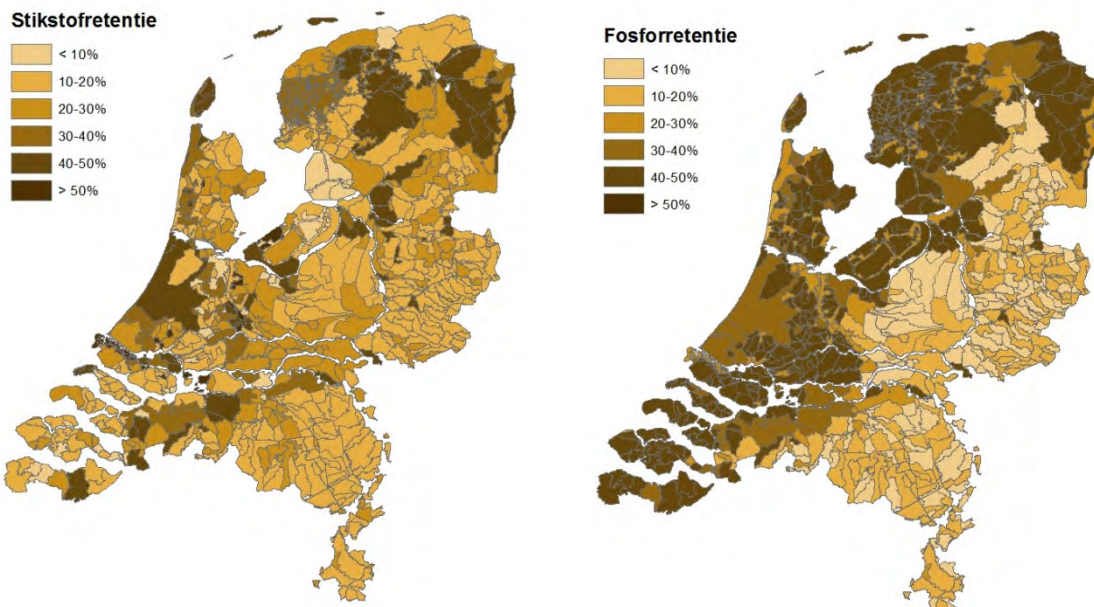
---

In de ECHO-methodiek wordt daarnaast rekening gehouden met de import vanuit bovenstrooms gelegen gebieden. In de grensgebieden is dit veelal de import van N en P in grensoverschrijdende beken.

Zoals hierboven is aangegeven, verdwijnt een deel van de stoffen binnen een waterlichaam of worden de stoffen vastgelegd in onder andere waterplanten en in de waterbodem voordat het water waarin de stoffen terecht kwamen het meetpunt passeert. De berekening van de retentie is conform de werkwijze die is gehanteerd binnen de Evaluatie Meststoffenwet 2012 (Van Boekel *et al.* 2012). Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De retentie van stikstof en fosfor, die vanuit landbouw- en natuurgronden uitspoelt naar het oppervlaktewater, is voor vrij afwaterende gebieden afhankelijk van de 'specifieke afvoer'. De 'specifieke afvoer' is gedefinieerd als de afvoer bij het uitstroompunt van het afwateringsgebied gedeeld door het bovenstroomse wateroppervlak.
- De retentie van stikstof in de veen- en kleipolders varieert per polder. De retentie is afhankelijk van de onderliggende retentieprocessen denitrificatie, netto-opname (zomerhalfjaar) en afgifte (winterhalfjaar) van stikstof door waterplanten. Voor het model is de retentiecapaciteit afgeleid van het oppervlak open water en een retentiecapaciteit voor sloten in kleigronden van 11.8 en 5.0 gram N per m<sup>2</sup> slootoppervlak voor resp. het zomerhalfjaar en het winterhalfjaar. Voor sloten in veengronden geldt een retentiecapaciteit van 4.4 en 1.0 gram N per m<sup>2</sup> slootoppervlak voor resp. het zomerhalfjaar en het winterhalfjaar (Van Boekel *et al.* 2012).
- Voor de fosforretentie in poldersystemen en de stikstofretentie in zandige polders zijn dezelfde retentiepercentages aangehouden als die zijn gehanteerd bij de ex-ante-evaluatie Landbouw en KRW (Van der Bolt *et al.* 2008, van Gerven *et al.* 2009, Van Boekel *et al.* 2012). Voor de N- en P-belasting door uit- en afspoeling is een vast retentiepercentage gebruikt van 50% (Kronvang *et al.* 2004) en voor de andere bronnen is een vast retentiepercentage van 20% aangehouden. Ook voor 'overgangsgebieden' (afwateringsgebieden waarvan een gedeelte bestaat uit polders en een gedeelte uit vrij afwaterende gebieden) worden deze retentiepercentages aangehouden.

Het gebruikte retentiepercentage van 50% voor de diffuse bronnen is afgeleid van schattingen voor grotere stroomgebieden (Kronvang *et al.* 2004). De gemiddelde retentie voor puntbronnen is geschat op 20%. De reden daarvoor is dat de belasting door diffuse bronnen vooral in de haarvaten (sloten) met relatief grote verblijftijden plaatsvindt. Puntlozingen vinden doorgaans rechtstreeks plaats op de grotere waterlopen en hebben daardoor kleinere verblijftijden. Door de kleinere verblijftijden van stikstof en fosfor uit puntbronnen is er minder tijd voor de omzetting en vastlegging van nutriënten dan voor de stoffen uit diffuse bronnen. Een gevolg van deze aanname is dat de naar bronnen gewogen gemiddelde retentie binnen een stroomgebied altijd tussen 20% en 50% ligt, afhankelijk van het aandeel van de belasting van de puntbronnen en van de diffuse bronnen. Figuur 7 geeft het naar bron gewogen gemiddelde stikstof- en fosfaatretentiepercentage weer voor de verschillende beïnvloedingsgebieden.



**Figuur 7** Gemiddelde retentiepercentage, gewogen naar bron, voor de ca. 500 afwateringsgebieden voor stikstof (links) en fosfor (rechts) in de regionale wateren.

### 3.2.1 Nutriëntenbalansen

De stikstof- en fosforbalans voor de regionale wateren voor de periode 2010–2013 is weergegeven in Tabel 3 en Tabel 4.

**Tabel 3** Stikstofbalans van het regionale oppervlaktewater (miljoen kg per jaar) in de periode 2010–2013 en de gemiddelde relatieve bijdrage van de bronnen in deze periode.

Bron / route	2010	2011	2012	2013	gemiddeld	gemiddeld
	mln. kg jr <sup>-1</sup>	mln. kg jr <sup>-1</sup>	mln. kg jr <sup>-1</sup>	mln. kg jr <sup>-1</sup>	mln. kg jr <sup>-1</sup>	%
Uit- en afspoeling landbouwgronden <sup>1)</sup>	49.4	43.2	48.9	38.1	44.9	54
Uit- en afspoeling natuurgronden <sup>1)</sup>	5.9	5.9	6.7	5.6	6.0	7.2
RWZI's <sup>2)</sup>	8.1	7.5	7.2	6.8	7.4	8.9
Overige landbouwemissies <sup>2)</sup>	2.6	2.7	2.4	2.4	2.5	3.1
Industriële lozingen <sup>2)</sup>	0.68	0.72	0.69	0.69	0.70	0.8
Overige bronnen <sup>2)</sup>	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5
Atmosferische depositie op open water <sup>2)</sup>	3.6	3.5	3.4	3.4	3.5	4.2
Inlaat <sup>3)</sup>	17.6	15.3	17.6	17.4	17.0	20
Totaal IN	89.1	80.0	88.2	75.8	83.3	
Retentie <sup>4)</sup>	26.1	24.2	26.2	22.3	24.7	30
Totaal UIT	63.1	55.9	62.0	53.5	58.6	

1) op basis van STONE-berekeningen (versie STONE2.4)

2) data uit de Emissieregistratie ([www.emissieregistratie.nl](http://www.emissieregistratie.nl), versie 2013)

3) inlaat vanuit grensoverschrijdende beken en Rijkswateren op basis van concentratie en debietmetingen, aangeleverd door de waterschappen

4) retentiefactoren op basis van Van Boekel *et al.* (2012)

De uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden is de belangrijkste bron/route voor de belasting van het regionaal oppervlaktewater met stikstof (Tabel 3) en fosfor (Tabel 4), gevolgd door inlaat vanuit het buitenland en Rijkswateren. De bijdrage vanuit RWZI's is relatief beperkt, dit kan verklaard worden doordat de meeste RWZI's niet op de regionale wateren lozen, maar op de Rijkswateren. De uit- en afspoeling uit landbouwgronden is gemiddeld verantwoordelijk voor 54% van de N-belasting van het regionale oppervlaktewater. Op nationale schaal zijn de overige landbouwemissies van stikstof een kleine post op de balans (2.5%). De drie oorzaken van de overige emissies (glastuinbouw, erfafspoeling, meemesten van sloten) dragen ongeveer in gelijke mate bij aan deze

post. Van de totale belasting op het regionale oppervlaktewater komt door retentieprocessen ca. 30% van de totale N-belasting van het oppervlaktewater niet tot afvoer naar het Rijkswater.

**Tabel 4** Fosforbalans naar het regionale oppervlaktewater (miljoen kg per jaar) voor de periode 2010–2013.

Bron / route	2010	2011	2012	2013	gemiddeld	gemiddeld
	mln. kg jr <sup>-1</sup>	mln. kg jr <sup>-1</sup>	mln. kg jr <sup>-1</sup>	mln. kg jr <sup>-1</sup>	mln. kg jr <sup>-1</sup>	%
Uit- en afspoeling landbouwgronden <sup>1)</sup>	3.53	3.51	4.27	3.30	3.65	56
Uit- en afspoeling natuurgronden <sup>1)</sup>	0.54	0.52	0.62	0.49	0.54	8.4
RWZI's <sup>2)</sup>	1.1	1.0	0.91	0.84	0.97	15
Overige landbouwemissies <sup>2)</sup>	0.46	0.48	0.41	0.41	0.44	6.9
Industriële lozingen <sup>2)</sup>	0.15	0.14	0.15	0.15	0.15	2.3
Overige bronnen <sup>2)</sup>	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	1.5
Atmosferische depositie op open water <sup>2)</sup>	-	-	-	-	-	-
Inlaat <sup>3)</sup>	0.67	0.56	0.65	0.59	0.62	10
Totaal IN	6.5	6.3	7.1	5.9	6.5	
Retentie <sup>4)</sup>	2.6	2.5	2.9	2.3	2.6	40
Totaal UIT	3.9	3.8	4.2	3.6	3.9	

1) op basis van STONE-berekeningen (versie STONE2.4)

2) data uit de Emissieregistratie (www.emissieregistratie.nl, versie 2013)

3) inlaat vanuit grensoverschrijdende beken en Rijkswateren op basis van concentratie en debietmetingen, aangeleverd door de waterschappen

4) retentiefactoren op basis van Van Boekel *et al.* (2012)

De uit- en afspoeling uit landbouwgronden is gemiddeld voor 59% verantwoordelijk voor de totale uit-P-belasting van het regionale oppervlaktewater. Op nationale schaal zijn de overige landbouwemissies van fosfor voor 7% verantwoordelijk voor de input in het regionale watersysteem.

De aanvoer van fosfor met atmosferische depositie wordt in de EmissieRegistratie op 0 gesteld. Na omrekening van cijfers van Buijsman (1989) wordt geschat dat de P-depositie in de jaren negentig in de orde van 0.1 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> kon bedragen. In de kuststreek kan deze aanvoerpost hoger zijn. Tipping *et al.* (2014) geven aan dat voor Europa de gemiddelde depositieflux 0.2–0.3 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> bedraagt, waarbij wordt aangegeven dat in Duitsland in gebieden met een grote veedichtheid hogere waarden zijn gemeten. In gebieden met grote wateroppervlakten kan deze post substantieel bijdragen aan de totale input; voor regionale waterlichamen in gebieden met een lage verhouding tussen water- en landoppervlakte is deze post is te verwaarlozen ten opzichte van de andere aanvoerposten. Het CBS stelt deze post vanaf 1995 op 0.

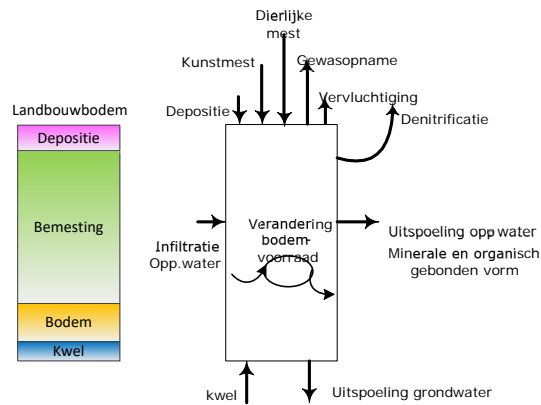
Ook wordt de aanvoer van fosfor door de excretie van watervogels in de EmissieRegistratie op 0 gesteld. Op grond van Hahn *et al.* (2007, 2008) kan de P-belasting van de Nederlandse zoetwatersystemen door carnivore en herbivore watervogels op ca. 0.1 mln. kg jr<sup>-1</sup> worden geschat. Lokaal kan de belasting van het oppervlaktewater aanzienlijk zijn, bijv. bij broedkolonies (Rip en Schep, 2010), maar op regionale schaal is deze bron niet groter dan de term "Overige bronnen" die in de EmissieRegistratie wordt onderscheiden en in deze studie voor 1,5% bijdraagt aan de belasting van het regionale oppervlaktewater.

Van de totale P-belasting van het regionale oppervlaktewater komt ca. 40% niet tot afvoer naar het Rijkswater door retentieprocessen.

### 3.3 Bronnen van N- en P-uitspoeling uit landbouw- en natuurgronden

In paragraaf 3.1 en 3.2 is de bijdrage van de uit- en afspoeling van landbouw- en natuurgronden t.o.v. de andere bronnen in beeld gebracht. In deze paragraaf wordt de term "uit- en afspoeling" nader onderverdeeld.

Een bron kan op directe wijze (levering van stof) of indirecte wijze (ketenreacties in voorraden) de concentratie van N en P in het oppervlaktewater beïnvloeden. Doordat water stikstof en fosfor kan transporteren, bepaalt de waterhuishouding in belangrijke mate de routes waarlangs de nutriënten het oppervlaktewater bereiken. De route is hierbij gedefinieerd als de weg waarlangs stikstof en fosfor vanuit een bron in het oppervlaktewater terechtkomen. Figuur 8 geeft schematisch de verschillende brontermen en verdwijntermen van stikstof en fosfor in de bodem weer.



**Figuur 8** Schematische voorstelling van een nutriëntenbalans van een landbouwbodem met links het bodemdeel van Figuur 5 en rechts in- en uitgaande termen van de balans.

De verandering van de bodemvoorraad kan zowel een input-term als een output-term zijn in de bodembalans. Als de bodemvoorraad toeneemt, fungeert de verandering als een verdwijnterm en is hij geen bron die bijdraagt aan de uitspoeling naar het oppervlaktewater. Als de bodemvoorraad afneemt, is hij wel een bron en draagt hij bij aan de uitspoeling.

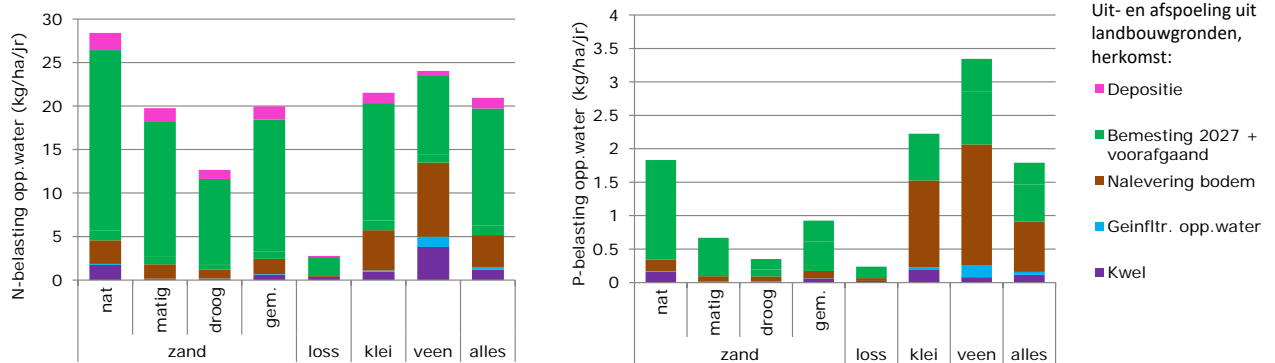
De term “mest” is verder te onderscheiden in “historische mestgift” en “huidige mestgift”. Met de historische mestgift wordt de bijdrage uit de bodem bedoeld vanuit de voorraad die in de afgelopen veertig jaar is ontstaan door mestoverschotten. De historische mestgift is mede bepalend voor de huidige belasting van oppervlaktewater, maar is niet meer te sturen met toekomstige mestgiften.

Groenendijk *et al.* (2014) hebben de methode beschreven waarmee het onderscheid tussen verschillende brontermen voor landbouwgronden wordt berekend. Met het STONE-model wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de verschillende brontermen (mest, depositie, kwelconcentraties, concentraties in infiltratiewater). Aan de hand van de resultaten wordt per STONE-plot een lineair regressiemodel opgesteld waarin de af- en uitspoeling is beschreven als lineaire functie van bemesting, depositie, kwel, concentratie van infiltratiewater en de nalevering uit de bodemvoorraad. De nalevering uit de bodemvoorraad wordt een afzonderlijke analyse verder uitgesplitst in een deel dat veroorzaakt is door ophoping in het verleden en een deel dat te beschouwen is als achtergrondbelasting. Per STONE-plot zijn de af- en uitspoeling van N- en P daarmee toegewezen aan brontermen. Vanuit deze basis kan voor verschillende clusters van STONE-plots een bronverdeling worden gemaakt voor gebieden. Deze informatie wordt dan gecombineerd met de informatie over andere bronnen, zoals directe belasting vanuit landbouw, directe depositie op oppervlaktewater, industrie, RWZI's etc.

Deze methode is toegepast voor de waterschappen Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (Van Boekel *et al.*, 2015), Hoogheemraadschap van Rijnland, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (Van Boekel *et al.*, 2013) en Wetterskip Fryslân (Van Boekel *et al.*, 2016) en daarnaast voor de landelijke studies in het kader van Evaluatie Mestwetgeving 2012 (Van der Bolt en Schoumans, 2012; Groenendijk *et al.*, 2013).

In het kader van deze studie is een update uitgevoerd van de analyse zoals die eerder is uitgevoerd voor de hierboven vermelde studie in het kader van EMW2012. In 2012 is de bronverdeling bepaald

voor de recente periode 2001–2010, terwijl nu een bronverdeling is berekend voor de toekomst om het resterende doelgat voor de KRW in 2027 in beeld te brengen. De met STONE berekende N- en P-uitspoeling in 2027 wordt als uitgangspunt genomen, waarbij de effecten van aangescherpte gebruiksnormen van het 5<sup>de</sup> Actieprogramma zijn meegenomen. Door uit te gaan van 2027 is het n-ijleffect van de afnemende trends in bemesting in de periode 1998–2010 op de bronverdeling geminimaliseerd. De resultaten voor de verschillende hoofdbodemsoorten zijn gegeven in Figuur 9 voor landbouwgronden. In deze Figuur worden zandgronden onderscheiden in drie categorieën: nat, matig nat en droog. Natte zandgronden zijn de zandgronden met een grondwatertrap I t/m Vb. Matig natte zandgronden hebben een grondwatertrap VI en droge zandgronden hebben een grondwatertrap VII of VIIb. In Bijlage 1 is een grondwatertrappenkaart van Nederland met schaal 1:50000 weergegeven.<sup>16</sup>



**Figuur 9** Herkomst van de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor uit landbouwgronden in 2027, per hoofdbodemsoort, bij gebruiksnormen van het 5<sup>de</sup> Actieprogramma.

Resultaten van het STONE-model geven aan dat landelijk gemiddeld in 2027 de N-belasting van oppervlaktewater uit landbouwgronden voor 6% afkomstig is uit depositie. De N-belasting is voor 69% afkomstig uit de bemesting<sup>17</sup>, voor 18% uit nalevering uit bodemvoorraden die niet gerelateerd zijn aan bemesting<sup>18</sup> en voor 7% uit kwel plus inlaatwater. Van het deel dat wordt toegeschreven aan de bemesting wordt landelijk gemiddeld 64% toegeschreven aan de huidige landbouwpraktijk en 5% aan nalevering van in het verleden toegediende mest. Berekend is dat de P-belasting van het oppervlaktewater voor 49% afkomstig is uit de bemesting<sup>10</sup>, voor 42% afkomstig uit de uitputting van bodemvoorraden die niet gerelateerd zijn aan bemesting<sup>11</sup> en voor 9% uit kwel en inlaatwater.

Van de verschillende hoofdgrondsoorten is op de natte zandgronden sprake van de grootste N-belasting van het oppervlaktewater en op de veengronden de grootste P-belasting van het oppervlaktewater. Beide groepen beslaan 14% van het landbouwareaal. De niet aan bemesting gerelateerde uitspoeling uit klei- en veengronden bedraagt resp. 32 en 59% voor N en 69 en 62% voor P.

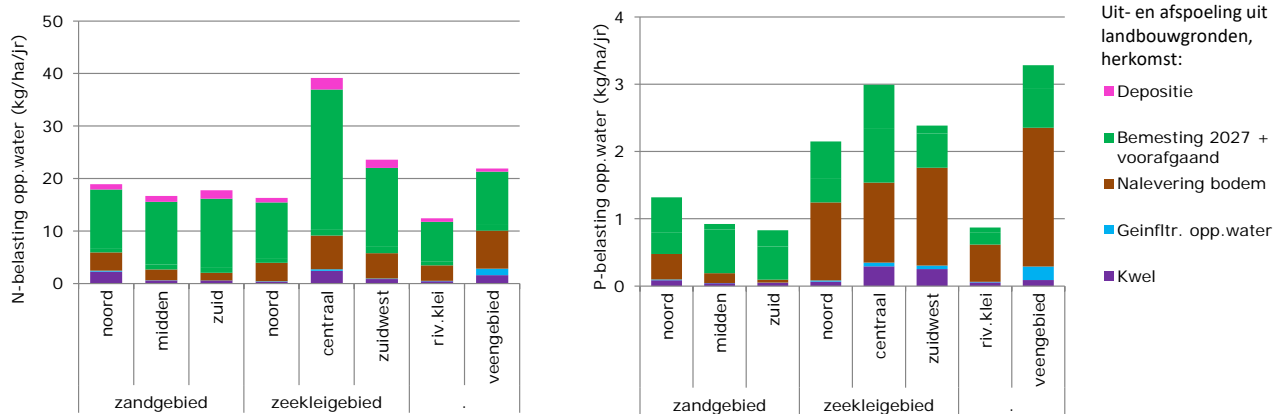
De bijdrage uit verschillende bronnen aan de N- en P-belasting van het oppervlaktewater in de regio's volgens de gebiedsindeling in rapportages van LMM-resultaten (zie Bijlage 2) is weergegeven in Figuur 10. Dit zijn geografisch begrensde gebieden. Binnen de zandgebieden is zand de bodemsoort

<sup>16</sup> Voor detailkaarten kan <http://maps.bodemdata.nl/bodemdatanl/index.jsp> worden geraadpleegd.

<sup>17</sup> Bemesting in 2027 plus de bemesting in ca. 60 jaar voorafgaand aan 2027.

<sup>18</sup> Onder het vrijkomen uit bodemvoorraden die niet aan bemesting gerelateerd zijn, wordt verstaan: veenafbraak, uitloging van sedimenten die gevormd zijn in een marien milieu (zeekleibodems), uitloging van ondiepe sedimenten die in het verleden hebben blootgestaan aan fosfaatrijke kwel, verwerking van mineralen, etc.).

die het meest voorkomt, maar er komen ook andere bodemsoorten voor. Hetzelfde geldt voor de zeeleigebieden, het rivierkleigebied en het veengebied.



**Figuur 10** Herkomst van de uit- en afspoeling van N en P naar het oppervlaktewater in 2027, per regio volgens de gebiedsindeling van LMM-rapportages (zie Bijlage 2), bij gebruiksnormen van het 5<sup>de</sup> Actieprogramma.

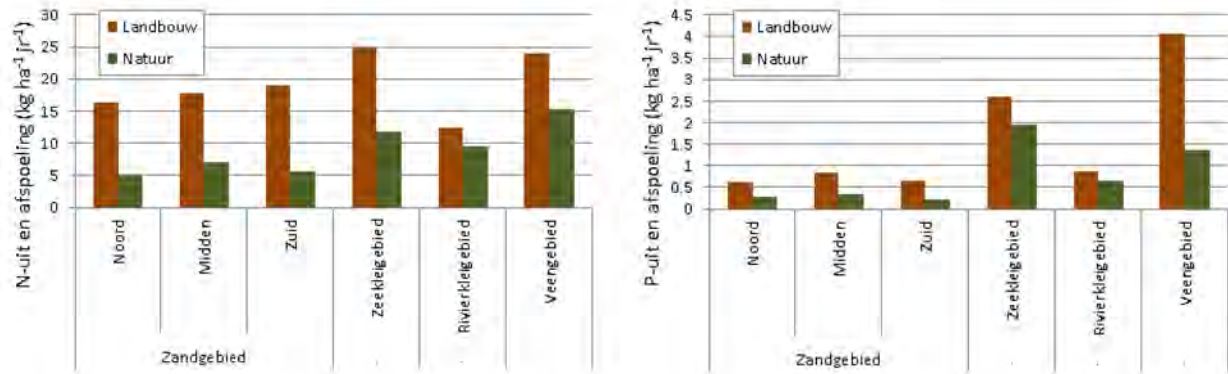
In 2027 is de N-belasting van het oppervlaktewater het grootst in het centraal zeeleigebied. Een groot deel hiervan (71%) is afkomstig uit de bemesting<sup>19</sup>. Van de zandgebieden heeft het noordelijke zandgebied zowel de hoogste N-belasting ( $19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ) als de hoogste P-belasting van het oppervlaktewater ( $1.3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ). De reden waarom de berekende N- en P-belasting in het noordelijke zandgebied hoger is dan in de andere zandgebieden is dat er relatief veel percelen met klei- en veengrond voorkomen en de grondwaterstanden ondieper zijn dan in de andere zandgebieden. In het midden en zuidelijk zandgebied wordt ca. 82% van de uit- en afspoeling van stikstof veroorzaakt door de bemesting<sup>12</sup>.

In de zeeleigebieden en het veengebied is de P-belasting van het oppervlaktewater groter dan  $2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ . Deze belasting wordt voor 26–49% toegeschreven aan de bemesting<sup>12</sup> en voor 51–49% aan de som van nalevering uit de bodem die niet is toe te schrijven aan bemesting, kwel uit het diepe grondwater en de uitspoeling van in de zomer met inlaatwater aangevoerde nutriënten.

Als binnen een gebied een deel van het land in gebruik is als natuur dragen de natuurgronden ook bij aan de totale diffuse belasting van het oppervlaktewater. In Figuur 11 is een vergelijking gemaakt van de uit- en afspoeling in 2027 uit landbouw- en natuurgronden. De vergelijking is gebaseerd op een selectie van gronden binnen een regio volgens de gebiedsindeling van LMM-rapportages. Voor de zandgebieden zijn alleen de zandgronden geselecteerd, voor het zeeleigebied en het rivierkleigebieden zijn alleen de kleigronden geselecteerd en voor het veengebied alleen de veengronden.

<sup>19</sup> Bemesting in 2027 plus de bemesting in ca. 60 jaar voorafgaand aan 2027.





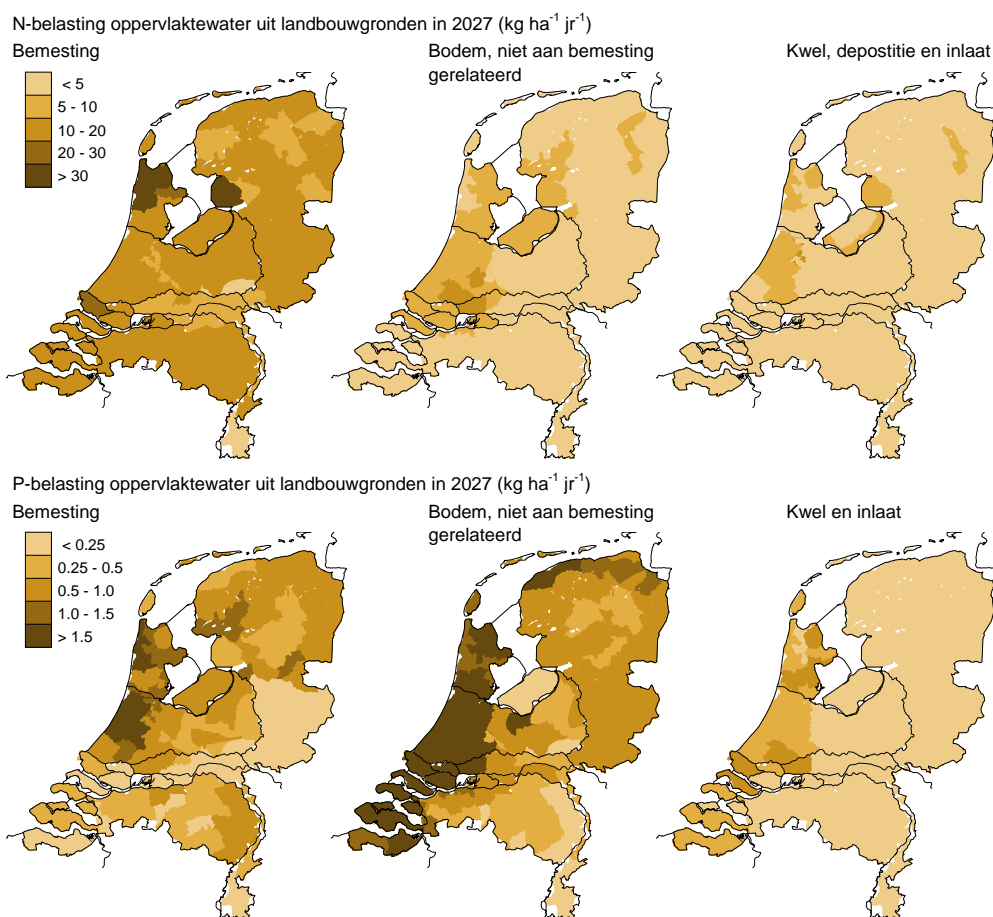
**Figuur 11** N- en P-belasting van het oppervlaktewater uit landbouw- en natuurgronden in 2027.

Voor het zuidelijk zandgebied en het veengebied wordt voor de natuurgronden de N-belasting van het oppervlaktewater berekend op resp. 6 tot 15 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. De verhouding tussen de stikstofuitspoeling uit natuurgronden en de uitspoeling uit landbouwgronden bedraagt 0.28 en 0.62 in resp. het centrale zandgebied en het veengebied.

De P-belasting van het oppervlaktewater uit natuurgronden bedraagt 0.25 tot 1.9 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> voor resp. het zuidelijk zandgebied en het zeekleigebied. Voor de P-uitspoeling bedraagt de verhouding tussen natuurgronden en landbouwgronden 0.37 tot 0.75 voor resp. het centrale en zuidelijke zandgebied en de zeekleigronden.

Opgemerkt wordt dat deze berekende resultaten niet gevalideerd zijn, omdat vanuit natuurgronden geen meetgegevens over de N- en P-uitspoeling naar het oppervlaktewater bekend zijn. De relatief hoge waarden voor de P-uitspoeling uit de zeekleigronden worden veroorzaakt door de uitloging uit sedimenten van mariene oorsprong. Bij de hydrologische berekeningen is wel rekening gehouden met het feit dat de ontwatering en afstroming van het netto-neerslagoverschot naar het oppervlaktewater in grotere natuurgebieden anders verloopt dan in landbouwgronden. Er is echter geen rekening gehouden met bijzondere geohydrologische omstandigheden van natuurgebieden, omdat hiervoor de gegevens ontbraken. Natuurgebieden liggen vaak op plaatsen die vroeger moeilijk voor landbouw te ontginnen waren vanwege bodemkundige of geohydrologische omstandigheden. Aan de berekeningen van de uit- en afspoeling uit natuurgebieden kleven dus onzekerheden. Duidelijk is wel dat de bijdrage van natuurgebieden aan de totale belasting van het oppervlaktewater niet verwaarloosd kan worden.

Figuur 12 geeft de N- en P-belasting van het oppervlaktewater uit landbouwgronden weer in kaartvorm. Hierbij zijn bemesting, nalevering uit bodemvoorraden die niet gerelateerd zijn aan bemesting en de som van kwel, depositie en inlaatwater onderscheiden. In Bijlage 4 zijn de relatieve bronnen weergegeven voor de waterschappen.



**Figuur 12** N- en P-belasting van het oppervlaktewater in 2027 uit landbouwgronden, met onderscheid naar herkomst: bemesting, nalevering uit de bodem niet aan bemesting gerelateerd, en kwel+depositie+inlaatwater.

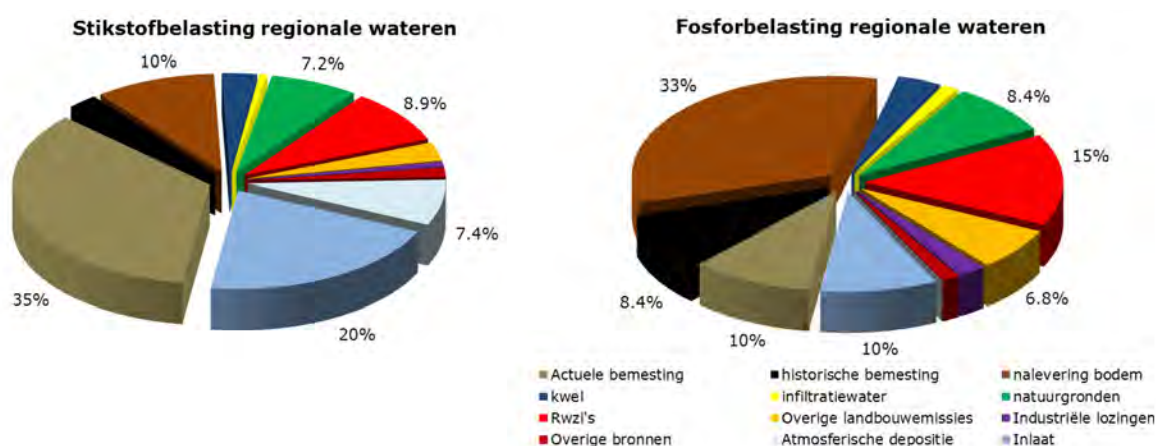
Voor grote delen van Nederland is bemesting de belangrijkste oorzaak van de N-belasting van het oppervlaktewater. De nalevering uit de bodem, niet aan bemesting gerelateerd, is het grootst in het westen van Nederland, de Flevopolders en delen van het noorden van Nederland. De bijdrage aan de N-belasting door kwel en inlaat is het grootst in delen van Zuid- en Noord-Holland, de Noordoostpolder en delen van Drenthe. In de natte veengebieden dragen kwel en inlaat meer bij aan de N-belasting dan de andere oorzaken van uit- en afspoeling uit landbouwgronden.

Evenals voor stikstof is bemesting ook een belangrijke oorzaak van de P-belasting van het oppervlaktewater in grote delen van Nederland. Een uitzondering hierop vormt Zeeland, andere delen van de kleigebieden in de kuststreek en het oostelijke zandgebied. De nalevering uit de bodem, niet aan bemesting gerelateerd, is het grootst in Zeeland, andere delen van de kleigebieden in de kuststreek, het veenweidegebied in Utrecht en Zuid-Holland en het oostelijke zandgebied. Kwel uit het diepe grondwater en de inlaat van water in de zomerperiode geeft een relevante bijdrage aan P-belasting van het oppervlaktewater in het westelijke kustgebied en in het veenweidegebied in Zuid-Holland.

De berekende lage bijdrage van bemesting aan de P-belasting van het oppervlaktewater in het oostelijk zandgebied is o.a. te verklaren door het grote aandeel van grasland in het landbouwareaal. In het STONE-model is het grondgebruik statisch. Uit vorige studies (bijv. Schoumans *et al.* 2004) is bekend dat dit tot een onderschatting van de P-toestand van de bodem onder grasland leidt en een overschatting van de P-toestand onder snijmais. Door het grote aandeel van grasland in het landbouwareaal in het oostelijke zandgebied is hier het effect van de onderschatting het grootst. Daarom wordt de relatief geringe bijdrage van bemesting aan de P-belasting van oppervlaktewater in het oostelijke zandgebied als een onderschatting gezien.

### 3.4 Aandeel van landbouw in de belasting van oppervlaktewater

Op basis van de verdeling van bronnen (paragraaf 3) en de herkomstanalyse van bronnen in landbouw- en natuurgronden (paragraaf 3.3) is de uit- en afspoeling verder onverdeeld en is de relatieve bijdrage van de verschillende bronnen aan de belasting van het regionale oppervlaktewater (Figuur 13). Deze Figuur laat de verdeling zien voor de periode 2010–2013, omdat de gebruikte informatie uit de EmissieRegistratie geldt voor 2013. In deze Figuur is onderscheid gemaakt tussen de bijdrage door “actuele” bemesting en “historische” bemesting. In dit kader wordt met “actuele” bemesting bedoeld de uit- en afspoeling veroorzaakt door bemesting in de periode 2010–2013 en met een “historische” bemesting wordt bedoeld de uit- en afspoeling veroorzaakt door bemesting vanaf de zeventiger jaren van de vorige eeuw tot 2010.



**Figuur 13** Relatieve bijdrage van de verschillende bronnen aan de N- en P-belasting van het regionaal oppervlaktewater voor de periode 2010–2013, met relatieve verdeling binnen landbouwgronden gebaseerd op 2027.

De actuele bemesting (35%) en inlaatwater (20%) zijn de belangrijkste stikstofbronnen voor de belasting van regionaal oppervlaktewater. Het inlaatwater is voor een deel afkomstig uit het buitenland en komt Nederland binnen met grensoverschrijdende beken. De nalevering vanuit landbouwbodems, niet gerelateerd aan bemesting, draagt voor 10% bij aan de N-belasting.

Voor fosfor geldt dat in vergelijking met stikstof de bijdrage van de actuele bemesting aan de belasting van het oppervlaktewater gering (10%) is. De nalevering vanuit landbouwgronden is de voornaamste bron (33%). Andere bronnen zijn de RWZI's (15%), inlaat (10%), uit- en afspoeling vanuit natuurgebieden (8,4%), bemesting in het verleden (8,4%) en overige landbouwemissies (6,8%). In de bijlagen 3 en 4 zijn de bronnen met groter ruimtelijk detail weergegeven.

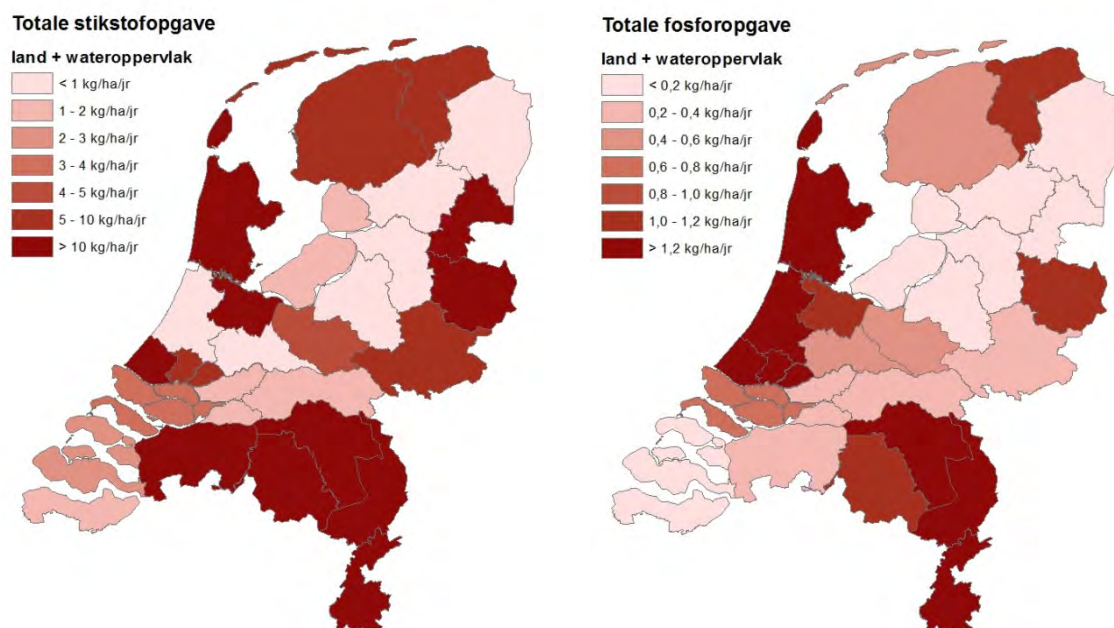
In bovenstaande figuren is de totale N- en P-belasting van de regionale wateren gepresenteerd en is nog geen rekening gehouden met retentie. Deze Figuur kan worden vergeleken met de cijfers in de studie van Van der Bolt en Schoumans (2012) in de rapportage voor Evaluatie Mestwetgeving 2012. De verschillen tussen de onderhavige studie en de cijfers gepresenteerd in Van der Bolt en Schoumans (2012) worden nader toegelicht in paragraaf 6.1.2.

Bij een doorvertaling van deze vrachten naar de belasting van de Rijkswateren en de belasting van de Noordzee zou de retentie wel in rekening gebracht moeten worden. Door retentie wijzigen de onderlinge verhoudingen tussen de bronnen, omdat de retentie het grootst is in de haarvaten. Bij een dergelijke berekening wordt het aandeel van de uit- en afspoeling uit de landbouwgronden t.o.v. de andere bronnen kleiner.

## 3.5 Opgave voor KRW

### 1.1.1 Totale opgave

Op basis van de stofbalansen voor de afwateringsgebieden en de relatieve opgave is een totale absolute opgave voor het beheergebied van de waterschappen afgeleid (Figuur 14). Hierbij is gekozen om de waterschapsgrenzen aan te houden anno 2010. Sinds 2010 zijn enkele waterschappen gefuseerd<sup>20</sup>. Omdat de beheergebieden groter zijn geworden, komen de landschappelijke verschillen die leiden tot verschillen in de berekende N- en P-belasting van het oppervlaktewater in de waterschapskaart van 2015 minder tot uiting dan in de waterschapskaart van 2010.



**Figuur 14** Opgave (kilo's per hectare land- en wateroppervlak) van alle bronnen gezamenlijk voor het realiseren van de KRW-doelen op het schaalniveau van de waterschappen anno 2010.

### 1.1.2 Opgave voor de landbouw

Op basis van de herkomstanalyse en de gezamenlijke opgave van alle bronnen is een opgave voor de landbouw afgeleid. De rekenmethodiek wordt in Bijlage 6 voor twee gebieden uitgewerkt en nader toegelicht. De berekende opgave wordt echter sterk beïnvloed door de uitgangspunten die worden gehanteerd. De mate waarin deze bronnen aan landbouw kunnen worden toegeschreven, is in het voorgaande gekwantificeerd.

Bij het kiezen van uitgangspunten komt de vraag aan de orde wat onder "landbouw" verstaan moet worden. Wordt "landbouw" gezien als het samenspel van actuele landbouwactiviteiten door agrariërs uitgevoerd op de bij hun bedrijf behorende gronden? Of wordt "landbouw" gezien als de verzameling van alle activiteiten, in het verleden en in het heden, die leiden tot uit- en afspoeling uit

<sup>20</sup> Waterschap Zeeuwse Eilanden en waterschap Zeeuws-Vlaanderen zijn op 1 januari 2011 gefuseerd tot waterschap Scheldestromen. Waterschappen Waterschap Vallei en Veluwe is op 1 januari 2013 ontstaan uit een fusie van waterschap Vallei en Eem en waterschap Veluwe. Waterschap Vechtstromen is op 1 januari 2014 ontstaan uit een fusie van waterschap Velt en Vecht en waterschap Regge en Dinkel. Waterschap Drents Overijsselse Delta is op 1 januari 2016 ontstaan uit een fusie van waterschap Reest en Wieden en waterschap Groot Salland.

---

landbouwgronden? Dit heeft consequenties voor het toedelen van verschillende bronnen aan "landbouw".

De bron bemesting en de bron 'overige agrarische bronnen' (zie Figuur 13) kunnen direct worden toegekend aan de landbouw. De nalevering uit landbouwgronden, niet aan bemesting gerelateerd, de atmosferische depositie en de kwel zijn meestal wel gerelateerd aan het bedrijven van landbouw, maar een directe koppeling aan mestgiften en het actuele handelen van een individuele agrariër is niet te leggen. Een voorbeeld hiervan is landbouw in polders en droogmakerijen. Ontgonnen zeekleigronden leveren vaak nog na omdat ze ten behoeve van de landbouw zijn ontwaterd. Deze nalevering is een gevolg van het bedrijven van landbouw, maar niet een gevolg van de bemesting in het verleden. Ontwaterde veengronden laten een hoge belasting van het oppervlaktewater zien vanwege de oxidatie van het veen. Ook hier geldt dat de levering van nutriënten uit het veen wel een gevolg is van het bedrijven van landbouw op deze gronden, maar niet direct een gevolg is van de bemesting in 2027 en de bemesting in het verleden. De stikstofdepositie op landbouwgrond is voor een deel afkomstig uit de landbouw, maar ook uit andere sectoren. De vraag of de landbouwsector verantwoordelijk gehouden kan worden voor het deel van de nutriëntenbelasting dat niet direct een gevolg is van de bemesting kan vanuit het onderzoek niet worden beantwoord. Een argument in deze discussie kan zijn dat het een gegeven is dat in verleden, zonder dat een individuele agrariër daar nu nog invloed op kan uitoefenen, zich landbouw heeft ontwikkeld op gronden die t.a.v. de nutriëntenbelasting van oppervlaktewater natuurlijke handicaps vertonen.

In deze studie wordt geen keuze gemaakt voor een bepaalde definitie en daarom worden twee varianten aangehouden:

- Variant 1: Alleen de bronnen 'bemesting' en 'overige agrarische bronnen' worden aan de landbouw toegeschreven.
- Variant 2: Naast de bronnen 'bemesting' en 'overige agrarische bronnen' worden ook de bronnen 'nalevering bodem niet aan bemesting gerelateerd' en 'atmosferische depositie' aan de landbouw toegeschreven.

Om doelen voor Kaderrichtlijn Water te bereiken, moet in grote delen van Nederland de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater worden verminderd. Niet alle bronnen zijn te beïnvloeden of kunnen bronnen alleen beïnvloed worden door een aanpassing van de waterhuishouding. Dit geldt voor 'kwel' en meestal ook voor de bron 'nalevering uit de bodem, niet aan bemesting gerelateerd'. De vraag doet zich voor of bij het stellen van de doelen rekening gehouden wordt met het feit dat niet alle bronnen beïnvloedbaar zijn of dat de doelen volledig gerealiseerd moeten worden met een vermindering van alleen de beïnvloedbare bronnen. In het eerste geval wordt geaccepteerd dat een deel van de overschrijding van de normen veroorzaakt wordt door natuurlijke handicaps en wordt de opgave afgestemd op het aandeel van de beïnvloedbare bronnen in het geheel van de normoverschrijding. In het tweede geval worden de bronnen 'bemesting' en 'nalevering bodem' en andere bronnen zoals RWZI's, riooloverstorten, industriële lozingen, waterinlaat, glastuinbouw, erfafspoeling, meemesten sloten met elkaar verantwoordelijk gesteld voor het bereiken van de situatie geen overschrijding van normen voor N- en P-concentraties in het oppervlaktewater. Het eerste geval (Variant a) leidt tot een iets lagere opgave voor de landbouwbronnen dan het tweede geval (Variant b).

- Variant a: Opgave proportioneel toegedeeld aan alle bronnen.
- Variant b: Opgave proportioneel toegedeeld aan alleen de bronnen die beïnvloedbaar zijn, waarbij de niet beïnvloedbare bronnen en de bronnen die alleen beïnvloedbaar door een aanpassing in de waterhuishouding niet meedoen in de doelrealisatie.

In Tabel 5 en 6 is de opgave voor de landbouw weergegeven voor de verschillende varianten. De resultaten zijn geaggregeerd naar de begrenzing van de waterschappen in 2010. Verder is voor de "landbouwopgave" onderscheid gemaakt tussen de bronnen die leiden tot uit- en afspoeling uit landbouwgronden en de overige agrarische bronnen + glastuinbouw.

In twee waterschappen (Hunze en Aa's en Rijnland) is er gebiedsgemiddeld geen opgave voor stikstof, de gemeten gemiddelde stikstofconcentraties zijn lager dan de normconcentraties. Bedacht moet

---

worden dat de waterlichamen in het beheergebied van Rijnland (en Fryslân) zijn geclusterd, omdat de watersystemen in dit gebied sterk met elkaar zijn verbonden en het moeilijk is om individuele afwateringsgebieden te onderscheiden. De opgave voor het gebied van Rijnland is afgeleid van de in oppervlak dominante waterlichamen. Omdat de gemeten gemiddelde stikstofconcentraties van deze waterlichamen aan de normconcentraties voldoen, is er geen opgave, terwijl uit de gegevens blijkt dat voor enkele kleinere waterlichamen de normconcentratie wordt overschreden (zie ook Figuur 2). De waarde 0 is dus een onderschatting voor dit gebied.

De grootste opgave voor de overige agrarische bronnen (glastuinbouw, erfafspoeling, meemesten sloten) geldt voor het gebied van Delfland.

Zoals te verwachten, was op grond van Figuur 2 de opgave voor stikstof voor de gebieden in de Noordelijke waterschappen, met uitzondering van het gebied van Wetterskip Fryslân, klein. De grootste opgave voor de af- en uitspoeling van stikstof uit landbouwgronden geldt voor de gebieden van de zuidelijke waterschappen.

**Tabel 5** Opgave (= benodigde reductie van de N-belasting in  $\times 1000 \text{ kg jr}^{-1}$ ) voor het realiseren van de normconcentraties voor stikstof, gesteld voor de verschillende beheersgebieden van waterschappen, voor alle bronnen (=totale opgave) en de opgave voor de landbouw uitgesplitst in de opgave voor de overige agrarische bronnen (variant a en b) en de opgave voor de uit- en afspoeling van stikstof (variant 1a, 1b, 2a en 2b).

Water-beheerder 2010	Opgave voor alle bronnen ( $\times 1000 \text{ kg jr}^{-1}$ )	Opgave voor landbouw ( $\times 1000 \text{ kg jr}^{-1}$ )					
		Overige agr. bronnen		Uit- en afspoeling landbouwgronden			
		Variant a	Variant b	Variant 1a	Variant 1b	Variant 2a	Variant 2b
Groot Salland	57	1.6	1.8	14	15	17	19
AGV	959	26	29	120	137	205	235
HDSR	29	0.67	0.74	3.7	4.1	5.3	5.8
HHNK	1968	25	29	945	1034	1162	1278
Delfland	516	114	122	110	119	164	179
Rijnland <sup>21</sup>	0	0	0	0	0	0	0
Schieland en Krimpenerwaard	200	30	38	60	77	104	133
Hunze en Aa's	0	0	0	0	0	0	0
Noorderzijlvest	863	5.2	5.4	45	47	73	76
Reest en Wieden	7.2	0.17	0.22	1.5	1.9	2.3	2.9
Regge en Dinkel	2042	29	32	322	360	404	453
Velt en Vecht	2006	9.7	11	117	131	159	178
Veluwe	48	2.1	2.7	23	28	29	35
Aa en Maas	3020	43	47	641	693	784	847
Brabantse Delta	1621	42	45	719	772	951	1020
De Dommel	1978	23	26	395	440	470	523
Hollandse Delta	242	5.4	6.1	107	121	157	177
Peel en Maasvallei	2604	49	55	572	634	693	768
Rijn en IJssel	1401	25	28	251	277	311	345
Rivierenland	171	6.0	6.9	27	30	47	51
Roer en Overmaas	1624	11	12	120	126	143	151
Vallei en Eem	520	8.9	11	113	133	142	167
Zeeuwse Eilanden	216	4.6	4.9	122	130	168	178
Zeeuws-Vlaanderen	97	1.4	1.4	66	67	85	87
Wetterskip Fryslân <sup>13</sup>	1682	29	33	329	379	463	533
Zuiderzeeland	189	3.2	4.3	83	113	117	161
Totaal	24059	495	552	5305	5869	6857	7604

Het relatieve verschil tussen de varianten is het grootst tussen variant 1a en variant 2b. In variant 1a wordt verondersteld dat de landbouw verantwoordelijk is voor af- en uitspoeling uit bemesting in 2027 + bemesting in het verleden en overige agrarische bronnen. De opgave is toegedeeld aan alle bronnen. In variant 2b is landbouw verantwoordelijk voor de overige agrarische bronnen en af- en uitspoeling uit landbouwgronden, m.u.v. kwel. De opgave is hierbij toegedeeld aan alleen de bronnen die beïnvloedbaar zijn door landbouwkundig handelen. Het relatieve verschil is maximaal een factor 2.

<sup>21</sup> De waterlichamen in Friesland en van het Hoogheemraadschap van Rijnland zijn geclusterd, omdat de watersystemen in deze gebieden sterk met elkaar verbonden zijn en het moeilijk is om individuele invloedgebieden te onderscheiden. Door de clustering zijn kleine elementen soms weggefallen en is de waterkwaliteitsbeoordeling van de in oppervlak dominante waterlichamen bepalend geweest voor de bepaling van de opgave. De uiteindelijke opgave voor de landbouw in Tabel 6 laat voor het Hoogheemraadschap van Rijnland de waarde 0 zien voor stikstof, terwijl enkele kleinere waterlichamen niet aan de norm voor stikstof voldoen. De waarde 0 is een onderschatting voor dit gebied.

**Tabel 6** Opgave (= benodigde reductie van de P-belasting in  $\times 1000 \text{ kg jr}^{-1}$ ) voor het realiseren van de normconcentraties voor fosfor, gesteld voor de verschillende beheersgebieden van waterschappen, voor alle bronnen (= totale opgave) en de opgave voor de landbouw uitgesplitst in de opgave voor de overige agrarische bronnen (variant a en b) en de opgave voor de uit- en afspoeling van fosfor (variant 1a, 1b, 2a en 2b).

Water-beheerder 2010	Opgave voor alle bronnen ( $\times 1000$ $\text{kg jr}^{-1}$ )	Opgave voor landbouw ( $\times 1000 \text{ kg jr}^{-1}$ )					
		Overige agr. bronnen		Uit- en afspoeling landbouwgronden			
		Variant a	Variant b	Variant 1a	Variant 1b	Variant 2a	Variant 2b
Groot Salland	2.5	0.48	0.52	0.20	0.21	1.1	1.2
AGV	71	4.1	4.5	17	18	51	56
HDSR	33	2.0	2.3	6.2	7.0	40	45
HHNK	381	9.0	11	110	128	287	340
Delfland	65	19	21	11	12	44	48
Rijnland <sup>1</sup>	224	9.6	11	85	99	224	258
Schieland en Krimpenerwaard	62	6.0	7.6	14	17	79	94
Hunze en Aa's	0.96	0.01	0.01	0.48	0.53	1.7	1.9
Noorderzijvest	155	5.7	6.3	46	51	104	115
Reest en Wieden	12	1.3	1.6	5.4	6.2	10	12
Regge en Dinkel	136	8.4	9.3	3.0	3.3	18	20
Velt en Vecht	18	0.85	0.94	5.2	5.6	7.6	8.2
Veluwe	5.2	0.73	0.88	0.94	1.1	2.5	3.0
Aa en Maas	227	10	11	30	32	49	53
Brabantse Delta	59	3.7	4.0	10	11	34	38
De Dommel	160	5.9	6.5	12	14	22	25
Hollandse Delta	50	1.8	2.4	4.3	5.6	57	74
Peel en Maasvallei	123	8.8	9.8	27	30	37	42
Rijn en IJssel	38	3.0	3.2	0.56	0.59	6.8	7.3
Rivierenland	33	1.5	1.7	5.4	6.1	27	30
Roer en Overmaas	182	1.9	2.0	3.3	3.5	5.4	5.7
Vallei en Eem	55	6.1	7.3	11	13	32	38
Zeeuwse Eilanden	2.0	0.02	0.02	0.21	0.22	1.6	1.7
Zeeuws-Vlaanderen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Wetterskip Fryslân <sup>1</sup>	152	5.5	6.6	24	28	39	46
Zuiderzeeland	8.9	0.49	0.74	7.3	11	9.9	15
Totaal	2256	117	133	440	505	1190	1375

<sup>1</sup> Voor Hoogheemraadschap Rijnland en Wetterskip Fryslân is de opgave afgeleid uit de normconcentraties van de grotere regionale waterlichamen, kleinere waterlichamen zijn buiten beschouwing gelaten.

Voor Zeeuws-Vlaanderen is er geen opgave voor fosfaat. De normen voor waterkwaliteit zijn hier, evenals voor andere delen van Zeeland, afgestemd op stikstof als limiterende factor. Het gemiddelde van de gemeten fosforconcentraties is lager dan de norm. Ook voor het gebied van Groot Salland is de opgave voor fosfaat beperkt. De grootste opgave geldt voor de gebieden van HHNK (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier Rijnland), De Dommel, Roer en Overmaas en Aa en Maas. Ook voor fosfor is de opgave voor de overige agrarische bronnen het grootst voor het gebied van Delfland.

Het relatieve verschil tussen de varianten 1a en 2b is aanzienlijk. In de varianten 1a en 1b wordt de nalevering uit landbouwbodems niet meegerekend en in de varianten 2a en 2b wordt de nalevering uit de landbouwbodems volledig meegerekend voor het bepalen van de opgave. Het onderscheid tussen de nalevering uit landbouwbodems afkomstig uit in het verleden opgebouwde voorraden en het deel van de nalevering dat niet gerelateerd is aan bemesting, is in de modelberekeningen afhankelijk van de gekozen uitgangspunten. Echter, in de praktijk is dit onderscheid moeilijk te maken en het gekozen uitgangspunt heeft invloed op de resultaten. Bedacht moet worden dat de relatieve verdeling van bronnen van uit- en afspoeling uit landbouwgronden is berekend voor de situatie in 2027. Vanaf de periode 2010–2014 zijn de stikstofoverschotten op de bodembalans relatief beperkt. Het zichtjaar ligt 15 jaar later. Het begrip "bemesting in het verleden" speelt dan een andere rol in de bronnenverdeling dan wanneer een bronnenverdeling wordt berekend voor het jaar 2013.

Het verschil tussen de varianten 1a+b en 2a+b geeft de bandbreedte aan als gevolg van het verschil in definities van "landbouwbijdrage aan belasting oppervlaktewater". Voor de zandgebieden met van



nature lage fosfaatconcentraties in de bodem en het grondwater, is de bijdrage van bemesting voorafgaand aan het zichtjaar 2027 groter dan de bijdrage van "nalevering van de bodem, niet gerelateerd aan bemesting". Variant 2a en 2b zijn voor deze gronden een redelijke benadering voor de opgave voor de af- en uitspoeling uit landbouwgronden. Voor de veen- en zeeleiggronden is te verwachten dat de achtergrondbelasting een sterke rol speelt. In deze gebieden is variant 1a of 1b een betere benadering dan variant 2a of 2b.

In Tabel 7 is de opgave voor af- en uitspoeling uit landbouwgronden omgerekend naar de vermindering van de vrachten die voor 2027 voorspeld zijn voor de situatie van continuering van gebruiksnormen van het 5<sup>de</sup> Actieprogramma (Groenendijk *et al.* 2015) om de opgave te kunnen realiseren. In Tabel 8 is de opgave uitgedrukt als percentage van de uit- en afspoeling uit landbouwgronden zoals die voor 2027 is voorspeld.

**Tabel 7** Benodigde reductie ( $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ ) van de voor 2027 voorspelde uit- en afspoeling van stikstof en fosfor uit landbouwpercelen om de opgave te realiseren.

Waterbeheerder 2010	Reductie stikstof uit- en afspoeling ( $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ )				Reductie fosfor uit- en afspoeling ( $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ )			
	Variant 1a	Variant 1b	Variant 2a	Variant 2b	Variant 1a	Variant 1b	Variant 2a	Variant 2b
Groot Salland	0.20	0.21	0.25	0.27	0.00	0.00	0.02	0.02
AGV	4.6	5.2	7.8	9.0	0.64	0.70	1.9	2.1
HDSR	0.09	0.09	0.12	0.13	0.14	0.16	0.92	1.03
HHNK	8.1	8.9	10	11	0.95	1.1	2.5	2.9
Delfland	7.0	7.6	10	11	0.68	0.75	2.8	3.0
Rijnland <sup>1</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	1.8	2.1	4.8	5.5
Schieland en Krimpenerwaard	3.1	4.0	5.4	6.9	0.74	0.89	4.1	4.8
Hunze en Aa's	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Noorderzijlvest	0.51	0.53	0.83	0.86	0.52	0.58	1.2	1.3
Reest en Wieden	0.02	0.03	0.03	0.04	0.08	0.09	0.14	0.16
Regge en Dinkel	4.5	5.1	5.7	6.4	0.04	0.05	0.25	0.28
Velt en Vecht	2.2	2.5	3.0	3.4	0.10	0.11	0.14	0.15
Veluwe	0.67	0.82	0.83	1.0	0.03	0.03	0.07	0.09
Aa en Maas	7.0	7.6	8.6	9.3	0.32	0.35	0.54	0.58
Brabantse Delta	7.5	8.1	9.9	11	0.10	0.11	0.35	0.39
De Dommel	6.1	6.8	7.3	8.1	0.19	0.21	0.34	0.39
Hollandse Delta	2.2	2.4	3.2	3.6	0.09	0.11	1.2	1.5
Peel en Maasvallei	10	11	12	14	0.48	0.54	0.66	0.73
Rijn en IJssel	2.4	2.6	2.9	3.3	0.01	0.01	0.06	0.07
Rivierenland	0.25	0.28	0.44	0.48	0.05	0.06	0.25	0.28
Roer en Overmaas	3.7	3.9	4.4	4.7	0.10	0.11	0.17	0.18
Vallei en Eem	2.8	3.3	3.5	4.1	0.27	0.32	0.79	0.94
Zeeuwse Eilanden	1.7	1.8	2.3	2.5	0.00	0.00	0.02	0.02
Zeeuws-Vlaanderen	1.2	1.2	1.5	1.5	0.00	0.00	0.00	0.00
Wetterskip Fryslân <sup>1</sup>	1.5	1.7	2.1	2.4	0.11	0.13	0.18	0.21
Zuiderzeeland	0.89	1.2	1.3	1.7	0.08	0.12	0.11	0.16

<sup>1</sup> Voor Hoogheemraadschap Rijnland en Wetterskip Fryslân is de opgave afgeleid uit de normconcentratie van de grotere regionale waterlichamen, kleinere waterlichamen zijn buiten beschouwing gelaten.

In Bijlage 5 is de opgave voor de reductie van uit- en afspoeling uit landbouwgronden weergegeven in kaarten.

De grootste relatieve opgaven voor de uit- en afspoeling van stikstof uit landbouwgronden geldt voor de gebieden in de Limburgse waterschappen, gevolgd door de gebieden in de Brabantse waterschappen en Delfland. Voor de landbouwgronden binnen de begrenzing van de waterschappen Groot-Salland en Reest en Wieden is de opgave voor stikstof beperkt. De waarde 0 voor Hoogheemraadschap van Rijnland is een onderschatting. Dit wordt in paragraaf 6.1.2 nader toegelicht.

**Tabel 8** Benodigde reductie (percentage) van af- en uitspoeling van stikstof en fosfor uit landbouwpercelen om de opgave te realiseren.

Waterbeheerder 2010	Reductie stikstof uit- en afspoeling (%)				Reductie fosfor uit- en afspoeling (%)			
	Variant 1a	Variant 1b	Variant 2a	Variant 2b	Variant 1a	Variant 1b	Variant 2a	Variant 2b
Groot Salland	1.0	1.1	1.3	1.5	< 1	< 1	1.5	1.6
AGV	17	19	29	33	17	19	52	57
HDSR	< 1	< 1	< 1	< 1	4.1	4.6	26	30
HHNK	20	22	24	27	21	24	54	63
Delfland	23	25	35	38	17	19	70	77
Rijnland <sup>1</sup>	< 1	< 1	< 1	< 1	30	34	78	90
Schieland en Krimpenerwaard	7.9	10	14	17	11	13	60	71
Hunze en Aa's	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Noorderzijlvest	2.9	3.0	4.6	4.8	31	34	70	77
Reest en Wieden	< 1	< 1	< 1	< 1	7.4	8.5	14	16
Regge en Dinkel	23	26	29	33	5.8	6.4	35	39
Velt en Vecht	12	13	16	18	6.6	7.1	9.6	10
Veluwe	3.9	4.8	4.8	5.9	2.3	2.8	6.1	7.3
Aa en Maas	29	32	36	39	29	32	48	52
Brabantse Delta	30	32	40	43	8.8	9.6	30	33
De Dommel	26	29	31	34	23	26	42	47
Hollandse Delta	6.3	7.1	9.3	10	2.3	3.1	31	40
Peel en Maasvallei	42	46	51	56	51	57	70	78
Rijn en IJssel	14	16	17	19	< 1	< 1	8.9	9.5
Rivierenland	1.4	1.6	2.5	2.7	2.9	3.3	14	16
Roer en Overmaas	38	40	45	48	24	25	39	41
Vallei en Eem	12	14	15	18	15	18	43	51
Zeeuwse Eilanden	5.5	5.8	7.6	8.0	< 1	< 1	< 1	< 1
Zeeuws-Vlaanderen	3.8	3.9	5.0	5.1	< 1	< 1	< 1	< 1
Wetterskip Fryslân <sup>1</sup>	8.8	10	12	14	6.5	7.8	11	13
Zuiderzeeland	2.5	3.4	3.5	4.8	6.5	9.9	8.9	14

<sup>1</sup> Voor Hoogheemraadschap Rijnland en Wetterskip Fryslân is de opgave afgeleid uit de normconcentratie van de grotere regionale waterlichamen, kleinere waterlichamen zijn buiten beschouwing gelaten.

De relatieve opgaven voor de landbouw voor het realiseren van de normconcentraties voor fosfor is sterk afhankelijk van de gekozen variant. De resultaten voor de opgave om de uit- en afspoeling van fosfor uit landbouwgronden te verminderen in Tabel 8 zijn verder uitgewerkt en gegroepeerd in Tabel 9.

**Tabel 9** Opgave voor reductie van de uit- en afspoeling van fosfor, gemiddeld voor de landbouwgronden in de beheersgebieden van hoogheemraadschappen en waterschappen, volgens twee berekeningswijzen.

Opgave	Hoogheemraadschappen en waterschappen (indeling 2010)	
	“niet aan bemesting gerelateerde levering van de bodem” wordt niet aan landbouw toegerekend	“niet aan bemesting gerelateerde levering van de bodem” wordt wel aan landbouw toegerekend
< 1%	Hunze en Aa's, Groot Salland, Rijn en IJssel, Zeeuwse eilanden, Zeeuws-Vlaanderen	Hunze en Aa's, Zeeuwse eilanden, Zeeuws-Vlaanderen
< 10%	Wetterskip Fryslân, Velt en Vecht, Regge en Dinkel, Reest en Wieden, Veluwe, Zuiderzeeland, De Stichtse Rijnlanden, Rivierenland, Hollandse Delta, Brabantse Delta	Velt en Vecht, Groot Salland, Rijn en IJssel, Veluwe
10 – 20%	Vallei en Eem, beheergebied van Waternet, Delfland, Schieland en Krimpenerwaard	Wetterskip Fryslân, Reest en Wieden, Zuiderzeeland, Rivierenland
20 – 40%	Noorderzijlvest, Hollands Noorderkwartier, Rijnland, De Dommel, Aa en Maas, Roer en Overmaas	Regge en Dinkel, De Stichtse Rijnlanden, Hollandse Delta, Brabantse Delta, Roer en Overmaas
40 – 70%	Peel en Maasvallei	Vallei en Eem, beheergebied van Waternet, Hollands Noorderkwartier, Schieland en Krimpenerwaard, De Dommel, Aa en Maas
> 70%		Noorderzijlvest, Delfland, Rijnland, Peel en Maasvallei

De berekende opgave voor fosfor is groter als de “niet aan bemesting gerelateerde levering van de bodem” aan landbouw wordt toegerekend. Volgens de beide berekeningswijze heeft het waterschap Hunze en Aa's en de Zeeuwse waterschappen geen, of een heel kleine, opgave en het waterschap Peel en Maasvallei de grootste opgave. Voor het waterschap Noorderzijlvest en de hoogheemraadschappen Delfland en Rijnland is de toerekening van “niet aan bemesting gerelateerde levering van de bodem” aan landbouw van grote invloed op de berekende opgave.

---

## 4 Effecten van maatregelen

Behalve een opgave voor het verminderen van de N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden is er voor het zuidelijke zandgebied ook een opgave voor het verlagen van nitraatconcentraties in het grondwater. Een eerste maatregel die in deze studie is doorgerekend, betreft de teelt van gewassen in het zuidelijke zandgebied die minder gevoelig zijn voor de uitspoeling van nitraat. In de berekeningen is gekeken in welke mate de vervanging van uitspoelingsgevoelige gewassen bijdraagt aan een verlaging van de nitraatconcentratie in het grondwater en tot welke reductie van de N- en de P-belasting van het oppervlaktewater dit zou kunnen leiden.

Verder is een drietal maatregelen geselecteerd uit de BOOT-lijst. In BOOT (Bestuurlijk Overleg Open Teelten) is een lijst met maatregelen vastgesteld die het verbeteren van waterkwaliteit en/of waterkwantiteit ondersteunen. De maatregelen van de BOOT-lijst worden als perspectiefvol gezien voor het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer. De drie maatregelen zijn zo gekozen dat ze inzicht bieden in verschillende aspecten die van invloed zijn op uit- en afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater: nutriëntenbenutting door een gewas, bodemkwaliteit en waterbeheer.

### 4.1 Keuze van akker- en tuinbouwgewassen in het zuidelijke zandgebied

#### 4.1.1 Achtergrond

In het zuidelijke zandgebied wordt gemiddeld de norm voor nitraat ( $50 \text{ mg L}^{-1}$ ) onder landbouwgrond overschreden (zie Figuur 4.11 in Fraters *et al.* 2016). Onder akker- en tuinbouwgewassen op de droge zandgronden worden in dit gebied de hoogste nitraatconcentraties gemeten.

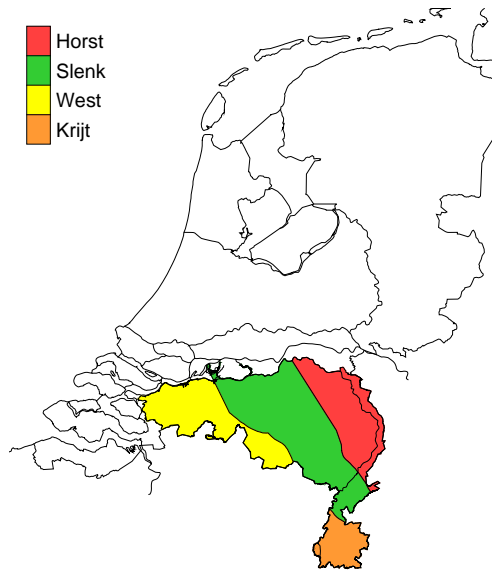
Het verkennend onderzoek Scouting Vollegrondsgroenten op zand (SVZ; Hooijboer *et al.* 2014a) bevestigt het bestaande beeld dat de nitraatconcentraties in het grondwater bij vollegrondsgroentenbedrijven op zandgrond hoger zijn dan de norm. In het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) worden geen vollegrondsgroentenbedrijven bemonsterd vanwege het beperkte aandeel (ongeveer 1%) in het totale landbouwareaal in Nederland. Hierdoor zijn vollegrondsgroentenbedrijven relatief onderbelicht wat betreft mestgebruik en nitraatuitspoeling. Het verkennend onderzoek Scouting Vollegrondsgroenten op zand omvatte twaalf bedrijven die asperges, aardbeien, prei of bladgewassen (zoals sla) verbouwen, voornamelijk gelegen in de zandgebieden van Limburg en Noord-Brabant (Zand Zuid). Alle bedrijven bleken een hoge nitraatconcentratie in het grondwater te hebben (meer dan 80 milligram per liter). De hoge nitraatconcentratie valt deels te verklaren door de droge zandgrond waarop de bedrijven liggen. In dit type grond wordt weinig nitraat afgebroken en spoelt er relatief veel uit naar het grondwater.

Maar ook het type bedrijf is mogelijk van invloed op de nitraatconcentratie in het grondwater. Akkerbouwbedrijven die in dezelfde regio op uitspoelingsgevoelige grond liggen gebruiken ongeveer evenveel mest, maar hebben lagere nitraatconcentraties dan vollegrondsgroenten. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat vollegrondsgroenten de meststoffen minder efficiënt gebruiken. In vergelijking met akkerbouwbedrijven wordt een groter gedeelte van de meststoffen niet door de planten gebruikt en blijft dit in de bodem achter. Het stikstofoverschot op de bodembalans (het verschil tussen aanvoer en afvoer van stikstof in de bodem) is hierdoor op de bedrijven uit het SVZ-onderzoek twee keer zo hoog als op de akkerbouwbedrijven. Dit overschot kan als nitraat uitspoelen naar het grondwater (Hooijboer *et al.* 2014a).

#### 4.1.2 Modelaanpak

Nagegaan is wat het effect is van een alternatief bouwplan, waarbij gewassen die relatief hoge verliezen hebben, worden vervangen door gewassen met relatief lage verliezen. Vervolgens wordt een inschatting gemaakt van een alternatief bouwplan op de N- en P-uitspoeling naar het oppervlaktewater.

Om enige ruimtelijke differentiatie aan te brengen, is het zuidelijke zand- en lössgebied ingedeeld in vier deelgebieden. Op deze manier wordt inzicht verschaft in welk deel van het zuidelijke zandgebied zich de grootste problemen voordoen en waar vergaande maatregelen nodig zijn om aan de nitraatnorm van  $50 \text{ mg L}^{-1}$  in het grondwater te voldoen. De vier gebieden<sup>22</sup> zijn ingedeeld op basis van geohydrologische kenmerken: 1) Horstgebied; 2) Slenkgebied; 3) westelijk Noord-Brabant en 4) Krijtgebied. De gebieden zijn aangegeven op de kaart in Figuur 15.



**Figuur 15** Onderverdeling van het zuidelijk zand- en lössgebied in vier deelgebieden.

Voor de vier gebieden is het areaal aan akker- en tuinbouwgewassen op zand- en lössgrond bepaald aan de hand van uitkomsten van MAMBO. In MAMBO worden de kleinere gewassen samengenomen in gewasgroepen. Om toch onderscheid te kunnen maken binnen enkele gewasgroepen met een groot oppervlak is een analyse uitgevoerd van de Basis Registratie Percelen (BRP-) kaart van 2013 voor gewassen en voor grondsoorten. Hierbij zijn alleen de gewassen op zand- en lössgronden meegenomen. De procentuele verdeling van het oppervlak aan gewassen is weergegeven in Tabel 10.

<sup>22</sup> De eerste drie gebieden vormen met elkaar het intrekgebied van het KRW-grondwaterlichaam Zand-Maas.

**Tabel 10** Procentuele verdeling van oppervlakten (%) van akker- en tuinbouwgewassen op zand- en lössgrond in het zuidelijke zand- en lössgebied (bron: MAMBO en onderverdeling Groep 1 en Groep 3 op basis van gegevens Basis Registratie Percelen 2013).

Gewas	Horst- gebied	Slenk- gebied	Westelij k deel	Krijt- gebied
Wintertarwe	3.6	6.0	4.2	34.4
Suikerbieten	10.7	10.2	9.0	18.7
Consumptieaardappelen	17.5	16.4	18.1	13.9
Zomergerst	2.9	2.1	1.7	3.7
Zetmeelaardappelen	0.3	0.8	0.2	0.1
Pootaardappelen	0.3	0.3	2.2	0.1
Korrelmais	9.2	12.1	5.9	5.7
Zomertarwe	0.8	1.0	1.4	0.8
Graszaad	0.5	0.4	1.3	0.2
Zaaiuien	0.2	0.7	0.9	1.7
Winterwortels	2.3	2.5	1.6	0.0
Stamslaboon	0.8	0.8	0.8	0.0
Witte kool	0.7	0.6	1.0	0.2
Prei	3.7	3.4	3.0	0.0
Tulp	0.1	0.0	0.2	0.0
Lelie	2.2	1.2	0.5	0.0
Groep 1 (wintergerst, triticale, fruit, boomkwekerij en vaste planten)	15.2	14.3	18.6	16.4
<i>waarvan Wintergerst</i>	0.6	0.8	0.2	6.3
<i>Fruit</i>	2.9	1.6	0.8	8.9
<i>boomkwekerij en vaste planten (volle grond)</i>	11.4	10.9	17.1	0.6
Groep 2 (Voederbieten, overige voedergewassen, cichorei)	2.2	3.1	2.2	0.6
Groep 3 (Mais corncob mix, luzerne, rogge, haver, suikermais, graszoden, koolzaad, lupine, zonnebloemen, poot-, plant- en zilveruien, hennep, overige akkerbouwgewassen, bloemkwekerijgewassen, deel van vollegroend groenten)	15.8	16.9	18.4	2.3
<i>waarvan Mais corncob mix</i>	1.6	2.8	2.5	0.1
<i>deel van vollegroendsgroenten</i>	11.8	11.9	13.2	0.6
Groep 4 (bruine bonen, groene erwten, kapucijners, sojabonen, tuinbonen, veldbonen)	2.0	2.5	2.2	0.9
Groep 5 (aardperen, hazelnoten, walnoten, deel van vollegroendsgroenten)	7.9	3.5	5.9	0.2
Groep 6 (overige bloembollen en -knollen)	1.0	0.9	0.6	0.0

Gemiddeld beslaat de teelt van consumptieaardappelen het grootste areaal, gevolgd door granen, suikerbieten, boomkwekerijen en vaste planten en vollegroendsgroenten. Prei beslaat ca. 3% van het oppervlak. In het Krijtgebied is de som van wintertarwe, zomertarwe, wintergerst en zomergerst het grootst.

Vervolgens is bepaald welk gewas of welke gewasgroep het grootste aandeel heeft in het gebiedsgemiddelde stikstofoverschot op de bodembalans van akker- en tuinbouwgewassen. Hiervoor zijn de gegevens en de procedure van de MEBOT-module binnen STONE gebruikt. De MEBOT-module is ontwikkeld door PPO (Schreuder *et al.* 2008) en in 2011 geüpdatet en uitgebreid met een module voor de P-respons van gewasgroei als voorbereiding op berekeningen voor Evaluatie Meststoffen Wet 2012 (De Ruijter en Conijn, 2011). Voor deze studie zijn verder de gewasopbrengsten van een aantal gewassen<sup>23</sup> geactualiseerd met gegevens uit Statline. Als maat is hiervoor het gemiddelde van de jaren 2011 t/m raming 2015 gebruikt. De MEBOT-module berekent de gewasproductie en de N- en P-opname aan de hand van werkzame N- en P-giften en Pw-getallen. De met MAMBO berekende mestgiften en doseringen van werkzame stikstof zijn per gewas en per deelgebied gemiddeld. Het stikstofoverschot op de bodembalans per gewas is vervolgens bepaald als de som van de bemesting met dierlijke mest en kunstmest en van de depositie, verminderd met de vervluchtiging en de netto-

<sup>23</sup> Wintertarwe, suikerbieten, consumptieaardappelen, zetmeelaardappelen, pootaardappelen, zomergerst, korrelmais, zomertarwe en zaaiuien.

gewasopname<sup>24</sup>. Bij het doorgeven van met MAMBO berekende mestgiften aan STONE is de vervluchtiging al in mindering gebracht op de gift. Voor de stikstofdepositie is een getal van 25 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> aangehouden, als getal dat voor de nabije toekomst zou kunnen gelden. Tabel 11 vermeldt de werkzame N-giften per gewas (groep) en de netto-gewasopname. De werkzame N-giften zijn het resultaat van MAMBO-berekeningen (Groenendijk *et al.* 2015). In de berekeningen met MAMBO wordt rekening gehouden met de mestgebruiksruimte per bedrijf, gebaseerd op wettelijke werkingscoëfficiënten, en met de werking van meststoffen voor gewasproductie. De werkzame stikstofgiften in Tabel 11 hebben betrekking op de werking voor gewasproductie.

**Tabel 11** Werkzame stikstofgift en met de STONE/MEBOT-module berekende netto-gewasopname (kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>) van akker- en tuinbouwgewassen op zand- en lössgrond in het zuidelijke zand- en lössgebied.

Gewas	Werkzame stikstofgift (kg ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> )				Netto-gewasopname (kg ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> )			
	Horst-gebied	Slenk-gebied	Westelijk deel	Krijt-gebied	Horst-gebied	Slenk-gebied	Westelijk deel	Krijt-gebied
Wintertarwe	161	164	176	184	210	210	210	210
Suikerbieten	140	137	137	139	144	144	145	145
Consumptieaardappelen	176	179	189	197	174	171	170	177
Zomergerst	132	131	119	144	108	108	108	108
Zetmeelaardappelen	165	104	62	181	101	104	124	129
Pootaardappelen	115	120	122	116	120	120	118	118
Korrelmais	146	144	134	178	120	123	123	130
Zomertarwe	152	151	126	162	144	149	149	149
Graszaad	169	130	127	156	79	80	86	84
Zaaiuien	145	134	125	184	131	134	138	145
Winterwortels	182	178	191		156	156	156	
Stamslaboon	167	157	168	160	58	58	58	58
Witte kool	178	180	176	181	139	141	140	141
Prei	194	192	193	201	101	100	101	102
Tulp	170	162	159		48	49	50	
Lelie	194	179	181		38	38	38	
Groep 1	198	177	197	154	205	198	205	189
Groep 2	131	125	121	95	144	145	147	134
Groep 3	158	158	156	135	120	120	120	120
Groep 4	122	117	127	105	50	50	50	50
Groep 5	190	190	185	220	99	100	100	106
Groep 6	191	178	187	185	52	51	52	51

De mestgiften zijn samengesteld uit rundermest, varkensmest, een gering deel pluimveemest en kunstmest. Het aandeel van de mestsoorten in de totale stikstof en fosfaattoediening is vermeld in Tabel 12.

<sup>24</sup> Netto-gewasopname van stikstof is de hoeveelheid stikstof die door een gewas uit de bodem is opgenomen (bruto-gewasopname) minus de gewasresten die na de oogst op het veld achterblijven. Netto-gewasopname is voor veel gewassen equivalent aan de afvoer van stikstof met oogstbare delen.

**Tabel 12** Aandeel (procentueel) van runderdrijfmest, varkensdrijfmest, pluimveemest en kunstmest in de stikstof en fosfaatbemesting in de vier onderscheiden gebieden.

Mestsoort	Horstgebied	Slenkgebied	Westelijk deel	Krijtgebied
<b>Stikstof</b>				
Runderdrijfmest	40	44	45	48
Varkensdrijfmest	29	22	10	13
Pluimveemest	0	1	0	0
Kunstmest	31	33	44	38
<b>Fosfaat</b>				
Runderdrijfmest	47	52	62	67
Varkensdrijfmest	48	39	23	31
Pluimveemest	2	3	2	2
Kunstmest	3	6	13	1

Van de stikstoftoediening is 44–48% in de vorm van runderdrijfmest, 10–29% in de vorm van varkensmest en 31–44% in de vorm van kunstmest. Of deze verhouding ook geldt voor de individuele gewassen en gewasgroepen is met de beschikbare gegevens niet na te gaan. In het Horstgebied is het gebruik van varkensmest relatief het grootst en het gebruik van rundermest relatief het laagst.

Het aandeel van de verschillende gewassen en gewasgroepen in het gebiedsgemiddelde stikstofoverschot op de bodembalans is berekend door het overschot per gewas te vermenigvuldigen met de areaalfactie en dit getal te delen door het areaalgewogen gemiddelde stikstofoverschot op de bodembalans (Tabel 13).

**Tabel 13** Aandeel (procentueel) in het gebiedsgewogen stikstofoverschot op de bodembalans.

Gewas	Horst-gebied	Slenk-gebied	Westelijk deel	Krijt-gebied
Wintertarwe	0.7	1.9	1.7	26.1
Suikerbieten	6.5	6.7	5.4	16.9
Consumptieaardappelen	14.4	16.0	18.2	21.6
Zomergerst	2.6	2.0	1.3	5.8
Zetmeelaardappelen	0.3	0.5	0.0	0.1
Pootaardappelen	0.1	0.2	1.5	0.1
Korrelmais	8.3	12.1	4.9	11.2
Zomertarwe	0.6	0.8	0.7	1.1
Graszaad	0.8	0.5	1.5	0.5
Zaaiuien	0.2	0.5	0.5	3.2
Winterwortels	2.3	2.8	2.0	0.0
Stamslaboon	1.5	1.6	1.7	0.0
Witte kool	0.8	0.7	1.2	0.3
Prei	6.5	6.7	5.8	0.1
Tulp	0.2	0.1	0.4	0.0
Lelie	5.5	3.0	1.1	0.0
Groep 1	11.3	9.0	14.5	7.9
Groep 2	1.0	1.5	0.9	0.1
Groep 3	17.4	20.9	21.3	2.8
Groep 4	2.8	3.5	3.3	1.6
Groep 5	13.8	6.7	10.7	0.6
Groep 6	2.2	2.2	1.3	0.1

In het Horst- en Slenkgebied en het Westelijk deel leveren de vollegrondsgroenten (combinatie Groep 3 en 5) het grootste aandeel in het gebiedsgemiddelde stikstofoverschot op de bodembalans. In het Krijtgebied heeft wintertarwe het grootste aandeel. Wintertarwe beslaat in dit gebied 34% van het oppervlak, terwijl het aandeel in het gebiedsgemiddelde stikstofoverschot op de bodembalans 26% bedraagt. Het gewas consumptieaardappel staat in alle vier deelgebieden op de tweede plaats in de ranglijst van de bijdrage aan het gebiedsgemiddelde stikstofoverschot op de bodembalans. In het Horst- en Slenkgebied en het Westelijk deel staat de groep met boomkwekerij en vaste planten in volle grond op de derde plaats. Prei heeft ondanks een groot overschot per hectare preiteelt een relatief klein aandeel in gebiedsgewogen stikstofoverschot op de bodembalans vanwege het kleine aandeel in het oppervlak (ca 3% in het Horst- en Slenkgebied en het westelijk deel).



Voor de akker- en tuinbouw op zandgrond in het Horst- en Slenkgebied en het westelijk deel is de gebiedsgemiddelde nitraatconcentratie berekend volgens:

$$c_{NO_3} = \frac{62}{14} \times \frac{\text{Bemesting} + \text{Depositie} - \text{Aanwendingsmissie} - \text{Opname}}{10 \times \text{Neerslagoverschot}} \times \text{Uitspoelfactor}$$

In deze formule zijn de variabelen *Bemesting*, *Depositie*, *Aanwendingsmissie* en *Opname* uitgedrukt in kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>, de variabele *Neerslagoverschot* is uitgedrukt in m jr<sup>-1</sup>, het getal 10 is nodig om kg ha<sup>-1</sup> om te rekenen naar gr m<sup>-2</sup> en met de factor 62/14 wordt nitraat-stikstof omgerekend naar nitraat. De uitspoelfactor is afhankelijk van de grondwatertrap en is ontleend aan Fraters *et al.* (2012). De nitraatconcentratie is berekend bij de verhouding tussen runderdrijfmest, varkensdrijfmest en kunstmest volgens Tabel 12. Vanwege het geringe aandeel is pluimveemest niet meegerekend.

### Maatregelen

De volgende maatregelen worden doorgerekend:

1. Vervangen van consumptieaardappelen in het Horst- en Slenkgebied en het Westelijk deel door wintertarwe.  
Het vervangende gewas krijgt een mestgift gelijk aan de mestgift op de al aanwezige wintertarwe.
2. *Vervangen van een "late-oogst"-gewas door een "vroeg-oogst"-gewas in combinatie met een vanggewas.*  
Een kandidaat voor een "late-oogst-gewas" zou een deel van het areaal kunnen zijn met late aardappelrassen. Het oppervlak zetmeel- en pootaardappelen is klein en wordt buiten beschouwing gelaten. Het deel van het areaal consumptieaardappelen dat bestaat uit late aardappelrassen is niet bekend en wordt op 50% verondersteld. Bij deze maatregel wordt de helft van de consumptieaardappelen en suikerbieten vervangen door wintertarwe. Verder wordt op basis van de studie van De Waele *et al.* (2014) verondersteld dat de opbrengst van het vanggewas 4 ton ha<sup>-1</sup> droge stof bedraagt, de stikstofopname gelijk is aan 60 kg ha<sup>-1</sup> en de nalevering aan het volgende gewas bedraagt 20 kg ha<sup>-1</sup>. Deze nalevering vervangt een deel van de rundveemest. Omdat het restant stikstof na wintertarwe onvoldoende is voor de groei van het vanggewas wordt bij het zaaien een kleine kunstmestgift van 20 kg ha<sup>-1</sup> toegediend.
3. *Vervangen van een deel van het areaal groente in volle grond door systeeminnovatie, bijv. "teelt uit de grond".*  
'Los van de grond telen' heeft als voordeel dat het grond- en oppervlaktewater niet met nitraat wordt vervuild. Deze maatregel is toepasbaar in bijv. de teelt van prei en enkele boomsoorten. Verondersteld wordt dat voor het gehele areaal van Groep 3 een evenwichtsbemesting gaat gelden, waarbij de bemesting gelijk is aan de gewasopname. Eventuele stikstofoverschotten worden benut door een volgend gewas. Bij deze maatregel wordt verder verondersteld dat de helft van de jaarlijkse N-depositie op het grondoppervlak terecht komt, omdat niet de gehele bodem bedekt is.

De maatregelen hebben alleen betrekking op het Horst- en Slenkgebied en het Westelijk deel van het zuidelijke zandgebied. Ten opzichte van deze gebieden heeft het Krijtgebied een andere landbouwstructuur en is er veel minder ruimte om gewasarealen om te zetten naar wintertarwe, zoals verondersteld in de maatregelen 1 en 2. Verder is vanwege grotere maaiveldhellingen de route vanaf het maaiveld naar het oppervlaktewater veel complexer dan in de andere gebieden.

#### 4.1.3 Resultaten gebiedsgemiddelde nitraatconcentraties en N- en P-uitspoeling

Tabel 14 en 15 geven het langetermijnresultaat voor de situatie zonder maatregelen (referentie) voor de situaties waarin maatregelen worden getroffen volgens de bij de aannames zoals vermeld in paragraaf 4.1.1.

**Tabel 14** Nitraatconcentraties ( $\text{mg L}^{-1}$ ) in het grondwater van zand- en lössgronden met akker- en tuinbouw, berekend voor het Horst- en Slenkgebied en het Westelijk deel als resultaat van het vervangen van teelten.

Maatregel	Horst- gebied	Slenkgebied	Westelijk deel
Referentie	83	71	69
Maatregel 1 (vervangen consumptieaardappelen door wintertarwe)	74	62	61
Maatregel 2 (vervangen late oogst gewas door vroege oogst + vanggewas)	71	61	60
Maatregel 3 ("Teelt uit de grond" van het areaal vollegrondgroenten)	70	57	56

De gemiddelde nitraatconcentratie in het grondwater onder de akker- en tuinbouw op zand- en lössgronden in het zuidelijke zandgebied, wordt berekend op 69–83  $\text{mg L}^{-1}$ . Deze waarden liggen in de buurt van concentraties gemeten onder de gangbare systemen met hoge en lage aanvoer van organische stof op PPO-proefbedrijf Vredepeel (Postma *et al.* 2014). Het Horstgebied heeft de hoogste concentratie, wat samenhangt met het grootste gebruik van dierlijke mest en het laagste neerslagoverschot. De waarden voor het Slenkgebied en het Westelijk deel zijn ongeveer aan elkaar gelijk.

De maatregelen hebben een duidelijk effect op de gemiddelde nitraatconcentratie onder de akker- en tuinbouwgewassen (12–22% verlaging), maar geen van de maatregelen leidt tot een concentratie lager dan 50  $\text{mg L}^{-1}$ .

De effecten van de maatregelen op de belasting van het oppervlaktewater zijn geschat door het toepassen van een gevoeligheidsfactor. Deze gevoeligheidsfactor is gedefinieerd als de afname van de uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater per kilogram vermindering van het stikstofoverschot op de bodembalans. De waarden voor de gevoeligheidsfactoren per deelgebied zijn afgeleid uit STONE-resultaten voor het jaar 2027 met gebruiksnormen volgens het 5<sup>de</sup> Actieprogramma (Groenendijk *et al.* 2015). De in de onderhavige studie berekende vermindering van het stikstofoverschot op de bodembalans per deelgebied is vermenigvuldigd met de gevoeligheidsfactor om een reductie van de stikstofuitspoeling te berekenen. Vervolgens is het effect voor de uit- en afspoeling van fosfor geschat door de gevoeligheidsfactor te vermenigvuldigen met de verhouding tussen de fosfor- en de stikstofuitspoeling in de referentiesituatie. Dit wordt gezien als het maximale effect dat zou kunnen optreden. Het minimale effect is gelijk aan nul, omdat de uit- en afspoeling van fosfor grotendeels bepaald wordt door de fosfaatvoorraad in de bodem. Deze voorraad daalt slechts heel langzaam door de genoemde maatregelen.

Voor stikstof is na drie tot tien jaar te verwachten dat de in Tabel 15 vermelde effecten zullen optreden. Voor fosfaat is de verwachting dat de volle omvang van de effecten tien tot enkele tientallen jaren op zich laat wachten.

**Tabel 15** N- en P-belasting van het oppervlaktewater ( $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ ) uit zand- en lössgronden met akker- en tuinbouw, berekend voor het Horst- en Slenkgebied en het Westelijk deel als resultaat van het vervangen van teelten.

Maatregel	N-belasting ( $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ )			P-belasting ( $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ )		
	Horst- gebied	Slenk- gebied	Westelijk deel	Horst- gebied	Slenk- gebied	Westelijk deel
Referentie	20.8	27.1	20.6	0.69	0.76	0.54
Maatregel 1 (vervangen consumptieaardappelen door wintertarwe)	19.7	25.7	19.5	0.66-0.69 <sup>#</sup>	0.73-0.76 <sup>#</sup>	0.52-0.54 <sup>#</sup>
Maatregel 2 (vervangen late oogst gewas door vroege oogst + vanggewas)	19.3	25.4	19.3	0.65-0.69 <sup>#</sup>	0.73-0.76 <sup>#</sup>	0.51-0.54 <sup>#</sup>
Maatregel 3 ("Teelt uit de grond" van het areaal vollegrondgroenten)	18.6	24.7	18.6	0.64-0.69 <sup>#</sup>	0.72-0.76 <sup>#</sup>	0.49-0.54 <sup>#</sup>

<sup>#</sup> Effect op de P-belasting van oppervlaktewater is aangegeven als een bandbreedte, met de belasting waarin het effect proportioneel is aan het effect op stikstof als ondergrens en "geen effect" als bovengrens.

Het effect op de N-belasting bedraagt ca 1- 2 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>, waarbij het grootste effect wordt berekend voor Maatregel 3 "Teelt de grond uit". Vanwege verschillen in hydrologie en verschillen in de samenstelling van gewassen is de gevoeligheid voor de maatregelen verschillend. Het Horstgebied is het gevoeligst en het Westelijke deel is het minst gevoelig voor de maatregelen. Voor de P-belasting van het oppervlaktewater wordt geschat dat maximaal een vermindering van 0.05 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> zal optreden.

Samenvattend:

De maatregelen leiden tot een verlaging van nitraatconcentraties van 8–13 mg L<sup>-1</sup>, een verlaging van de N-uitspoeling naar oppervlaktewater van 1–2 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> en een verlaging van de P-uitspoeling van enkele tientallen grammen ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>.

#### 4.1.4 Saldo-effectmaatregelen

Voor elke maatregel is het effect op het saldo per hectare berekend voor het Horstgebied, Slenkgebied en Westelijk deel. Het saldo is daarbij gedefinieerd als het verschil tussen de totale opbrengsten minus de variabele kosten. Dit zijn de kosten die gemaakt moeten worden om het gewas daadwerkelijk te kunnen telen en oogsten.

Om het effect op het saldo te kunnen vergelijken voor de verschillende maatregelen en ook voor de verschillende gebieden is per maatregel het totale effect per gebied berekend en vervolgens gedeeld door het totale areaal. Op deze manier wordt het effect op het saldo voor elke maatregel en elk gebied gepresenteerd als het effect op het gebiedsgemiddelde saldo per hectare. Dit betekent dat het berekende effect van bijvoorbeeld het vervangen van de teelt van consumptieaardappelen door wintertarwe groter is in een gebied als het aandeel consumptieaardappelen in dit gebied groter is dan in de andere gebieden.

Als naslagwerk voor de saldo's is voornamelijk gebruikgemaakt van Kwantitatieve Informatie (KWIN) Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt (2015). Per groep is naar areaalgrootte per gewas een gewogen gemiddeld saldo per hectare berekend voor de drie afzonderlijke gebieden. Aan de hand van de rapporten van Van den Broek (2014) en Van Wijk (2014) zijn saldo's berekend voor preiteelt op water en aardbeien in substraatteelt. Er is bij de berekening van deze saldo's rekening gehouden met de kapitaal- en arbeidsintensievere "uit de grond"-teelt door bij de kosten de toename in het gebruik van kapitaalgoederen en arbeid mee te nemen. De effecten van de saldo's zijn voor elk gebied berekend aan de hand van de eerder geschetste maatregelen. Voor maatregel 3 zijn drie varianten berekend:

- 3a. Het grootste gewas in groep 3 dat "uit de grond" kan worden geteeld, is aardbei. In deze variant is aangenomen dat alleen de aardbeien "uit de grond" worden geteeld.
- 3b. Prei is ook een gewas dat "uit de grond" kan worden geteeld. In deze variant is aangenomen dat alleen de prei "uit de grond" wordt geteeld.
- 3c. De derde variant is dat het hele areaal van groep 3 "uit de grond" wordt geteeld.

Prei is een gewas waar een "uit de grond"-teeltsysteem voor is ontwikkeld. Uit onderzoek van WUR PPO blijkt dat preiteelt op water goed mogelijk is. In de tweede variant (3b) wordt alle prei "uit de grond" geteeld (op water). In de berekening is verondersteld dat het areaal waar eerst de prei in de volle grond stond is vervangen door preiteelt op water. Er komt dus geen areaal vrij voor een ander gewas. Aangezien we in Groep 3 alleen van aardbeien het "uit de grond"-saldo weten (het gewas prei komt feitelijk niet voor in Groep 3), wordt er in de derde variant van uitgegaan dat het saldo van alle gewassen in Groep 3 gelijk is aan het saldo van aardbeien geteeld volgens het principe "Teelt uit de grond". Tabel 17 geeft de effecten op de saldo's weer van de verschillende maatregelen.

Tabel 16

*Arealen en gebiedsgemiddelde saldo's (euro/ha) van akker- en tuinbouw in het Horst- en Slenkgebied en Westelijk deel van het zuidelijke zandgebied.*

	Horstgebied	Slenkgebied	Westelijk deel
Arealen (ha)	25698	27718	18994
Saldo (€/ha)	18517	17197	23635

**Tabel 17** Saldo-effect (€/ha), gebiedsgemiddeld voor het areaal akker- en tuinbouw, van het vervangen van uitspoelingsgevoelige open teelten door andere gewassen of nieuwe teelttechnieken in het zuidelijke zandgebied. Weergegeven is het effect t.o.v. de referentie (Tabel 16).

Maatregel	Horst-gebied	Slenk-gebied	Westelijk deel
Maatregel 1 (vervangen consumptieaardappelen door wintertarwe)	-861	-809	-892
Maatregel 2 (vervangen late oogst gewas door vroege oogst + vanggewas)	-673	-637	-653
Maatregel 3a ("Teelt uit de grond" van het areaal aardbeien)	-672	-678	-752
Maatregel 3b ("Teelt uit de grond" van het areaal prei)	-252	-237	-210
Maatregel 3c ("Teelt uit de grond" van het hele areaal van Groep 3) <sup>25</sup>	-2426	-2548	-2795

Vanwege het grote aandeel boomkwekerijen in het totale areaal (11% in het Horst- en Slenkgebied en 17% in het Westelijk deel) valt het gemiddelde saldo in de referentie (Tabel 16) relatief hoog uit in vergelijking met andere akkerbouwgebieden (bijv. het Krijtgebied).

Zoals Tabel 17 laat zien, neemt het gebiedsgemiddelde saldo per hectare met ruim 4% af bij invoering van maatregel 1 en met ruim 3% bij invoering van maatregel 2. Bij maatregel 2 zijn de kosten van het vanggewas van 140 euro per ha meegenomen, maar zijn de economische effecten van het vanggewas op vervolgteelten niet meegenomen in het saldo-effect, omdat ze niet te schatten zijn. Gewassen die uit de grond geteeld worden, hebben een hoger saldo per ha ten opzichte van de gangbare teelt, maar hebben ook een significant grotere arbeidsbehoefte per hectare. De effecten op de saldi van de maatregelen waarbij gangbare teelten vervangen worden door "uit de grond"-teelten zijn in alle drie gevallen negatief (-4% voor maatregel 3a, -1% voor 3b en -13% voor 3c). Ten opzichte van gangbare teelt wordt bij "teelt uit de grond" de hogere opbrengst tenietgedaan door de sterkere toename in arbeids- en kapitaalkosten. Dit leidt tot de negatieve saldo-effecten.

## 4.2 Verbetering bodemstructuur

### 4.2.1 Achtergrond

#### *Verdichting*

Op landbouwgronden in Nederland treedt verdichting van de ondergrond op als gevolg van huidig landgebruik en de mechanisatie. Geschat wordt dat op 45% van de bodems geringe of ernstige verdichting is opgetreden. Dat betekent dat de grond zodanig is verdicht dat ernstige problemen met de infiltratie van regenwater, de luchthuishouding en/of doorlatendheid optreden. Vooral in Gelderland en Brabant is veel grond verdicht, respectievelijk 62 en 67% van het landbouwareaal. De grootste kans op bodemverdichting ligt op zand- en kleigronden. De veengebieden zijn minder kwetsbaar.

Verdichte lagen zorgen voor een slechte doorwortelbaarheid van gewassen en remmen het transport van voedingsstoffen, water en zuurstof. Daardoor worden gewassen gevoeliger voor droogte, ziekten en plagen. Voor wortels van planten geeft een verdichte bodem te veel weerstand om goed te kunnen groeien. In combinatie met een verslechterde luchthuishouding kost een verdichte bodem gewasopbrengst. Schattingen daarover lopen uiteen, van 20 tot soms wel 40%.

Bodemverdichting heeft twee belangrijke oorzaken. Ten eerste is er de mechanische verdichting door het berijden van het land onder natte omstandigheden en/of met te hoge bandenspanning. Een tweede oorzaak is interne verslemping, een fysisch-chemisch proces waarbij een te laag organische

<sup>25</sup> De gewassen van Groep 3 kunnen niet zomaar uit de grond worden geteeld (bijv. asperges gezien het diepe wortelstelsel), daar zijn dan ook geen "uit de grond"-saldi van te vinden. De benadering waarin het "uit de grond"-saldo van aardbeien op de hele groep is toegepast, is daardoor vrij grof.

stofgehalte leidt tot het verkitten van kleideeltjes waardoor bodems “hard als beton” kunnen worden (Zanen *et al.* 2011).

Bodemverdichting in de bouwvoor is op te heffen door te ploegen. Bij een te zware belasting raken de lagen onder de bouwvoor ook verdicht. Verdichting van de ondergrond is lastig terug te draaien. Wel is met verschillende maatregelen de kans op verdichting kleiner te maken. Overstappen naar rupsbanden of bovenover-ploegen zijn daar voorbeelden van. Op lange termijn is herstel gedeeltelijk mogelijk door natuurlijke processen zoals krimp, zwel en door biologische bodemprocessen. Het duurzaam opheffen van zowel mechanische verdichting als interne verslemping vereist een actief bodemleven (Zanen *et al.* 2011). Het risico is anders groot dat na diepploegen en breken van storende lagen de bodem toch weer verdicht raakt.

In het PRISMA-project<sup>26</sup> ‘Gevoeligheid voor ondergrondverdichting in het landelijk gebied’ in opdracht van het Interprovinciaal Overleg (IPO) is het risico op bodemverdichting van landbouwgronden in kaart gebracht (Figuur 16).



**Figuur 16** Risico op ondergrondverdichting bij het huidige landgebruik (bron: Alterra-rapport 2409).

Maatregelen om structuurbederf en bodemverdichting te voorkomen en daar waar deze heeft plaatsgevonden op te heffen, staan bij de agrarische sector en bij waterbeheerders sterk in de belangstelling. De maatregelen houden concreet in dat:

- Verdichte gronden worden losgewoeld of gediepploegd.
- Voorkomen wordt dat grondbewerking plaatsvindt in ongunstige perioden.
- Het organische stofgehalte van de bodem wordt verhoogd.
- Gewassen en rassen worden geselecteerd met een dieper wortelend wortelstelsel.

<sup>26</sup> <http://www.ipo.nl/files/1213/6497/7871/AlterraRapport2409.pdf>

---

### Organische stof

In het verleden zijn verschillende onderzoeken gedaan naar het verloop van het organische stofgehalte in de Nederlandse landbouwbodem (Elferink *et al.* 2012). De conclusies van de verschillende studies variëren van “geen merkbare verandering van het organische stofgehalte sinds 1940” (ministerie van VROM en LNV. 2006) tot “het gehalte aan organische koolstof is sinds de jaren vijftig stabiel gebleven of licht gestegen” (Reijneveld *et al.* 2009). Dit onderwerp is ook behandeld in de Evaluatie van de Meststoffenwet in 2012. Uit de studie van Schils *et al.* (2012) blijkt dat de organische stofgehalten bij de meeste combinaties van grondsoort en gewas stabiel gebleven zijn of een stijgende lijn vertonen. De gewasopbrengsten van de grote bouwlandteelten nemen na 2006 toe. Op maisland en ander bouwland op zandgrond komen wel situaties met dalende organische stofgehalten voor. Daarvoor is geen aantoonbaar verband met het mestbeleid.

Het stabiele niveau, of zelfs de geringe toename van het gehalte, betekent niet dat de bodemvruchtbaarheid ook gelijk blijft. De kwaliteit van organische stof kan achteruit zijn gegaan in de loop van de jaren. Een dergelijke achteruitgang is bijvoorbeeld goed mogelijk in de Veenkoloniën, waar het begrip ‘versleten dalgrond’ al heel lang bestaat, ook in percelen met nog steeds een hoog gehalte aan organische stof (Zwart *et al.* 2013).

Het effect van organische stof op de bodemstructuur komt ook tot uiting in het verband tussen waterbergend vermogen van de bodem en het organische stofgehalte. In zandgronden neemt het waterbergend vermogen toe bij een hoger organische stofgehalte. Een verhoging van het organische stofgehalte draagt dus bij aan een verbetering van de droogteresistentie en voorkomt gedeeltelijk dat door droogte de nutriëntenbenutting afneemt door droogtestress van de gewasproductie. De verbetering van de bodemstructuur door o.a. het verhogen van het organische stofgehalte staat volop in de belangstelling van de agrarische sector, van waterbeheerders en van beleidsmedewerkers, bijv. in discussies over zelfvoorziening van zoet water op de hoge zandgronden (Kernteam Zoetwatervoorziening Oost-Nederland. 2015). Goed onderbouwde kengetallen en adviezen zijn echter moeilijk te geven. De empirische gegevens zijn fragmentarisch en anekdotisch.

Een van de opvallendste onderzoeksresultaten is het langjarig experiment met verschillende bedrijfssystemen op het proefbedrijf te Vredepeel. In dit experiment zijn drie bemestings- en organische stofstrategieën met elkaar vergeleken. In het BIO-akkerbouwsysteem met aanvoer van compost werd na twaalf jaar geconstateerd dat de opbrengsten stijgen en in het systeem zonder aanvoer van organische stof dat de opbrengsten dalen. In het BIO-systeem voldoet de nitraatconcentratie ruim aan de norm van 50 mg L<sup>-1</sup> en in het systeem onder aanvoer van organische stof bedroeg de nitraatconcentratie in de periode 2001–2013 meer dan 70 mg L<sup>-1</sup>. Niet in alle bedrijfssystemen is de vervanging van kunstmest door compost te realiseren en vanwege de grote variatie in bodem- en bedrijfskenmerken is ook niet op alle plaatsen een dergelijk effect te verwachten. Daarnaast vraagt het van een agrariër een langdurige investering om een dergelijk resultaat te bereiken en is het resultaat niet aangetoond/onzeker.

#### 4.2.2 Modelaanpak

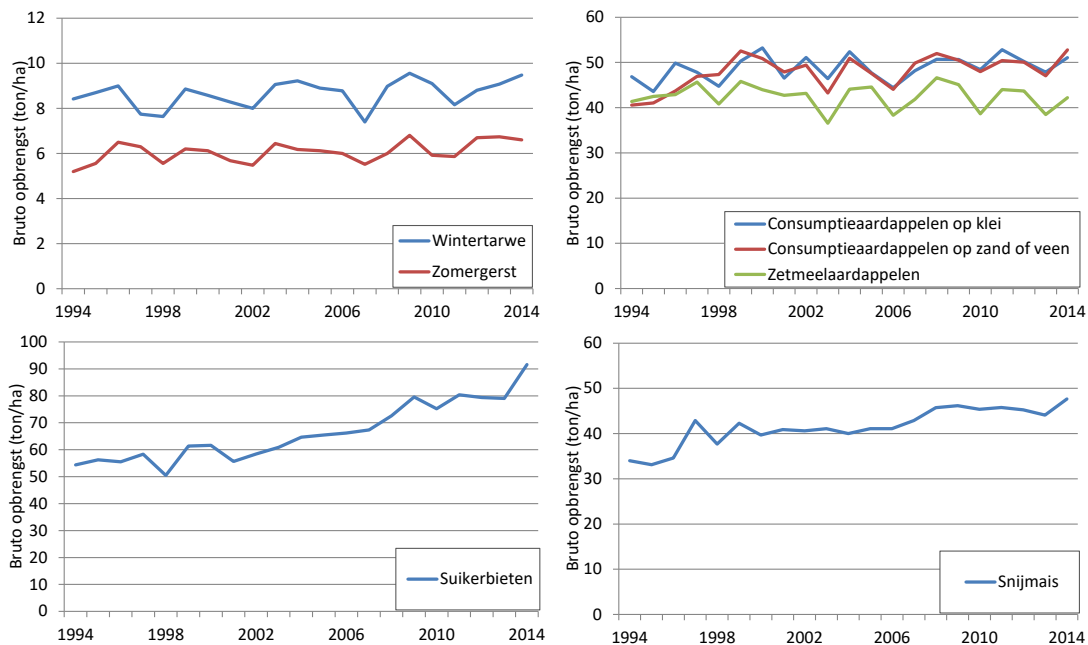
De maatregel ‘bodembetering’ is in deze studie uitgewerkt door in de invoer van het STONE-model enkele aspecten aan te passen.

1. Er is een update van het STONE-model voor de productie van akkerbouwgewassen. De trends in de productiecijfers t/m 2013, op basis van gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek (Statline), zijn vertaald naar de invoer van de QUADMED- en MEBOT-module in STONE. Door de lichte aanpassing van de opbrengstcijfers verandert ook de berekende stikstof- en fosforopname van de gewassen
2. De bodemparameters in het SWAP-model, dat de hydrologische invoer voor STONE genereert, zijn gebaseerd op het Bodemkundig Informatie Systeem (De Vries *et al.* 2008). De gegevens in het BIS zijn verzameld in de periode 1960–1990, de periode voordat ernstige bodemverdichting is opgetreden. In de eerste modelrun is verondersteld dat alle landbouwgronden zijn verdicht. Het verschil met de referentie beschouwen we als het effect dat te bereiken is door bodemverdichting op te heffen. De aanpassing van de bodemfysische parameters waarmee het effect van bodemverdichting wordt beschreven, is een combinatie van de methoden in het project “Goede

grond voor een duurzaam watersysteem" (Schipper *et al.* 2015, Bijlage 7) en het project "Optie van de bodem voor schoon water" (Van der Salm *et al.* 2015). Hierbij zijn zowel de bodemeigenschappen als de worteldiepte van de gewassen aangepast. Vervolgens is op basis van de bodemverdichtingsrisicokaart van Van den Akker *et al.* (2013) een selectie gemaakt van de STONE-plots waar bodemverdichting opgetreden zou kunnen zijn. Per te beschouwen gebied is er een areaal landbouwgrond zonder effect van bodemverdichting en een areaal waarvoor wel een effect wordt berekend. Het gebiedsgemiddelde effect wordt berekend op grond van de oppervlakteverdeling.

3. Het effect van het creëren van betere bodemomstandigheden voor gewasgroei en nutriëntenbenutting is geschat, hoewel het moeilijk is te herleiden tot duidelijke empirische gegevens en statistieken. In het verkennende onderzoek van Schipper *et al.* (2015) werd gevonden dat langjarig gemiddeld het effect van bodemverbetering 5% extra gewasproductie kan bedragen. In extreme situaties, zoals in droge jaren of natte jaren, kan het effect groter zijn. De Wit (2013) geeft aan dat door alternatieve bemestingsplannen waarin veel compost wordt aangevoerd, de N-beschikbaarheid voor de gewassen na twaalf jaar ruim 30 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> hoger is dan in de basissituatie zonder deze aanvoer. Daarnaast ontstaat door de hogere organische stofaanvoer een rijker bodemleven met als gevolg een vermindering van bodemziekten (aaltjes). De Wit (2013) stelt dat de verhoogde N-beschikbaarheid van 30 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> ruim voldoende is voor een productiestijging van 10% van akkerbouwgewassen. Hoewel er geen langjarige vergelijkingen van de opbrengsteffecten van dergelijke bemestingsplannen beschikbaar zijn, zijn veronderstelde opbrengststijgingen in overeenstemming met (beperkte) ervaringen op proefbedrijven en in de praktijk.

Voor een inschatting van het effect van bodemverbeterende maatregelen is het nodig een beeld te hebben van de mogelijke productiestijging die niet het gevolg is van deze maatregelen. Figuur 17 toont de trend in het landelijke gemiddelde van de bruto-opbrengsten van een aantal gewassen.



**Figuur 17** Bruto-opbrengsten (ton/ha) van een aantal gewassen in de periode 1994–2014. Bron: CBS statline.

Voor granen en consumptieaardappelen was de stijging van de bruto-opbrengst ca. 0,5% per jaar, terwijl de opbrengsten van zetmeelaardappelen iets daalde. Voor suikerbieten bedroeg de stijging ca. 2,5% per jaar. Snijmais laat ook een productiestijging zien, maar vooral in de periode tot 2006. Na dat jaar was de bruto-opbrengst van snijmais vrijwel stabiel. Graslandopbrengsten in het Derogatiemeetnet van LMM laten voor droge stof en fosfaat in de periode 2006–2012 een licht

---

stijgende trend zien (Hooijboer *et al.* 2014b). Voor stikstof is de trend licht dalend. Dat kwam door lagere stikstofgehalten in het gras in 2012 ten opzichte van voorgaande jaren. Voor 2013 lijken de stikstofgehalten in gras overigens weer overeen te komen met die van de jaren 2006 tot en met 2011 (Hooijboer *et al.* 2014b).

### Modelinvoer

In de gangbare berekeningen met het STONE-model zijn in het verleden hydraulische karakteristieken van de bodemlagen gebruikt die een matig tot goede situatie representeren vanuit het oogpunt van bodemverdichting. Om een vergelijking te maken met een toestand met een verdichte bodem zijn nieuwe berekeningen uitgevoerd met een verdichte bodemlaag. Deze verdichte laag kan een ploegzool zijn bij akkerbouw en mais, maar ook een laag op geringe diepte direct onder de zode bij grasland, die is ontstaan door berijding met zware landbouwmachines. De belangrijkste kenmerken van een verdichte bodemlaag ten opzichte van een niet verdichte laag zijn:

- Grotere volumieke massa<sup>27</sup>.
- Geringer vochthoudend vermogen ( $\theta$ ).
- Kleinere waterverzadigde doorlatendheid ( $k_{sat}$ ).
- Betere capillaire nalevering door groter hydraulisch geleidingsvermogen ( $k(h)$ ) bij kleine drukhoogten  $h$ .
- Moeilijker te doorwortelen voor planten, waardoor de bewortelingsdiepten geringer zijn.

Lemige zandgronden en zavelgronden zijn gevoelig voor verdichting (pers. med. Jan van den Akker). Ook in kleigronden kunnen verdichte lagen ontstaan, maar deze gronden hebben vaak een groot structuurherstellend vermogen door zwel en krimp onder afwisselend natte en droge omstandigheden. Veengronden zijn minder gevoelig voor verdichting door hun grote seizoensmatige zwel- en krimpedrag.

In de modelberekeningen zijn daarom zandgronden, zavelgronden en kleigronden meegenomen. Veengronden zijn niet beschouwd. Voor alle bodemeenheden van STONE die onder deze drie grondsoorten vallen, zijn berekeningen gedaan met een sterk verdichte bodemlaag. Problemen met de bodemstructuur kunnen zich voordoen t.a.v. kortstvorming en de vorming van een slemplaag. In de onderhavige studie is daar geen aandacht aan gegeven.

Uit de verhouding tussen de STONE-uitkomsten van de berekeningen met niet en wel verdichte bodemlagen en een ingeschat risico op bodemverdichting, is per bodemeenheid op basis van arealen en mate van verdichtingsrisico een factor afgeleid voor het effect van bodemverdichting op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater. De te verwachten mate van verdichting is per bodemeenheid afgeleid uit de bodemverdichtingsrisicokaart van Van den Akker *et al.* (2013).

Omdat bodemverdichting invloed heeft op hydraulische karakteristieken van de verdichte laag én op de bewortelingsdiepten, zijn de aanpassingen aan de modelinvoer per combinatie van bodemeenheid en gewassoort doorgevoerd. Typerend voor deze combinaties zijn:

- De diepte van de verdichte laag.
- De veranderingen in de hydraulische karakteristieken van de relevante bodemlagen.
- Het verloop van de worteldiepte in de tijd.

Details van de aanpassingen in het agrohydrologische model SWAP, dat de vochtgehalten en waterfluxen in de bodem voor het STONE-model berekent, worden gegeven in Bijlage 8. De parameterwaarden voor zandgronden en zavelgronden zijn ontleend aan een studie naar 'Effecten van een verbetering van de bodemstructuur op het watersysteem' (Schipper *et al.* 2015; Hendriks *et al.* in prep.). Voor kleigronden zijn de parameterwaarden ontleend aan de studie van Van der Salm *et al.* (2015).

---

<sup>27</sup> Volumieke massa is de massa per volume van een materiaal. Ook: dichtheid uitgedrukt in massa per eenheid volume.



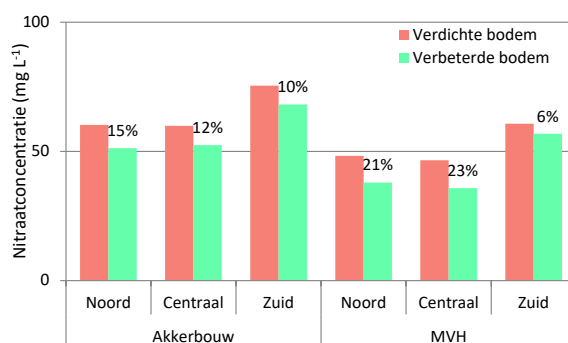
Op grond van de inzichten van De Haan (2014), De Haan en Van Asperen (2016) en Hospers-Brands en Van der Burgt (2013) lijkt een stijging van de stikstofopbrengst van 10% voor akker- en tuinbouwgewassen en 5% voor grasland en snijmais door bodemverbetering niet onrealistisch. Deze aannames zijn grof en zullen onder bepaalde praktijkomstandigheden niet gerealiseerd worden. Het doel van deze studie is te verkennen wat potentiële effecten van maatregelen zijn op de af- en uitspoeling naar het oppervlaktewater en wat de mogelijke bijdrage zou kunnen zijn aan de landbouwopgave voor de KRW en daarom is toch gerekend met een optimistische schatting van effecten op gewasopbrengsten. In het STONE-model is in de invoer van de modules QUADMOD en MEBOT het productieniveau van akker- en tuinbouwgewassen met 10% opgehoogd en van grasland en snijmais met 5%.

#### 4.2.3 Resultaten nitraatconcentraties en N- en P-uitspoeling

De resultaten worden gepresenteerd in Figuur 18 en 19. De zand- en kleigronden waarvoor de resultaten zijn berekend, zijn echte zand- en kleigronden. Mengvormen zoals zand op veen en klei op veen zijn niet meegenomen in de berekening van de gemiddelde resultaten. De effecten voor de mengvormen zijn minder eenduidig en soms tegenstrijdig. Bij de figuren zijn twee opmerkingen te maken:

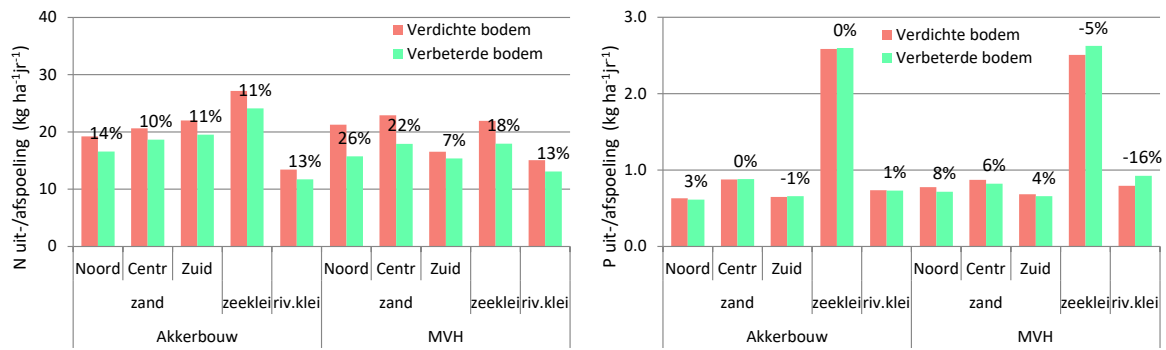
- Verondersteld is dat alle zand- en kleigronden zijn verdicht. In werkelijkheid is slechts een deel van de gronden verdicht. Opheffen van verdichting alleen, zonder rekening te houden met effecten op de nutriëntenbenutting, leidt soms tot een hogere nitraatuitspoeling en N-belasting van oppervlaktewater.
- Voor het deel van de gronden dat niet verdicht is, leidt de verhoging van het organische stofgehalte en de veronderstelde verbeterde bodemconditie tot een hogere nutriëntenbenutting.

De resultaten in Figuur 18 en 19 geven aan wat maximaal haalbaar zou zijn met deze maatregel.



**Figuur 18** Effect van bodemverbeterende maatregelen in zandgronden op de nitraatconcentratie in het grondwater. Percentages duiden op de procentuele vermindering van nitraatconcentraties t.o.v. de matig verdichte bodems.

Het effect van bodemverbeterende maatregelen op de nitraatconcentratie in het grondwater is het grootst voor de zandgronden in het noordelijke zandgebied. Door de verbeterde nutriëntenbenutting wordt voor deze regio een vermindering van de nitraatconcentratie berekend van 9–10 mg L<sup>-1</sup>. Voor de akkerbouw in het centrale en zuidelijke zandgebied wordt een vermindering van 7 mg L<sup>-1</sup> berekend. De vermindering heeft het kleinste effect voor de melkveehouderij in het zuidelijke zandgebied. Dit hangt samen met de verdeling van droge en natte gronden. De zandgronden in het zuiden hebben lagere grondwaterstanden dan de zandgronden met melkveehouderij in de andere zandgebieden.



**Figuur 19** Effect van bodemverbeterende maatregelen op de uit- en afspoeling van stikstof (links) en fosfor (rechts). Percentages duiden op de procentuele vermindering t.o.v. de matig verdichte bodems.

De bodemverbeterende maatregelen leiden tot een vermindering van de N-uitspoeling van 1.7–5.5 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. Dit komt overeen met een reductie van 7–26%. Het grootste effect wordt berekend voor de melkveehouderij in het noordelijke en centrale zandgebied. Voor de zeekleigronden wordt een reductie berekend van 3–4 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>, voor de rivierkleigronden is het effect kleiner dan voor de zeekleigronden (1.7–2 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>).

Het rechterdeel van Figuur 19 laat voor fosfaat een wisselend beeld zien. De effecten zijn verhoudingsgewijs veel kleiner dan voor nitraat en stikstof. Voor de zandgronden wordt een vermindering van de P-uitspoeling berekend, terwijl voor de melkveehouderij op kleigronden een negatieve afname, dus een toename, wordt berekend. Deze toename is als volgt te verklaren: door de wijzigingen in de teeltwijze en bewortelingsdiepte en de toename van het organisch stofgehalte wijzigt de verhouding tussen ortho-P en organisch gebonden P in het bodemvocht<sup>28</sup>. De concentratie organisch gebonden P neemt in bepaalde situaties toe, wat tot een hogere uitspoeling kan leiden. Door de maatregelen treedt wel als positief resultaat een versnelde uitputting van de bodemvoorraad aan fosfaat op, maar het effect hiervan op de uitspoeling is nog niet zichtbaar in de berekende uit- en afspoeling.

Opgemerkt wordt dat het verbeteren van de bodemstructuur in veel gevallen leidt tot hogere nitraatconcentraties en een hogere N-uitspoeling naar het oppervlaktewater. Dit is te verklaren doordat de structuurverbetering leidt tot een verbeterde beluchting van de bodem. Hierdoor neemt de denitrificatie af, wat kan leiden tot een hogere uitspoeling en een lagere emissie van stikstofdioxide.

In de berekeningen is het effect van bodemverbetering op denitrificatie en mineralisatie groter dan het effect op de diepte waarop stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater uitspoelen. Hierbij wordt aangetekend dat een eventueel effect op de oppervlakkige afspoeling niet is meegenomen. Hiervoor zou een afzonderlijke deelstudie met een alternatieve modelaanpak nodig zijn. Om effecten op transportprocessen over het maaiveld goed te evalueren, zouden langjarige berekeningen met rekentijdstappen van 15 minuten uitgevoerd moeten worden. Een dergelijke analyse lag niet in het bestek van deze studie. Bovenstaande beperkingen in de studie leiden ertoe dat de resultaten alleen met voorzichtigheid gebruikt kunnen worden.

#### 4.2.4 Kosten en baten

De Wit (2013) geeft een bedrijfseconomische verkenning van de verhoging van het bodemorganische stofgehalte door het toepassen van compost in de akkerbouw. In de analyse is uitgegaan van een gemiddeld akkerbouwbedrijf in het zuidelijk veehouderijgebied. Dit bedrijf op zandgrond (met 45 ha) heeft een bouwplan met circa 1/3 granen, 1/3 aardappel, 1/6 bieten en 1/6 conserven. In de

<sup>28</sup> Alhoewel organisch gebonden P afkomstig uit plantresten relatief snel kan mineraliseren, blijft toch een gedeelte achter. De ortho-P-concentraties worden sterk gebufferd door de binding aan minerale bodembestanddelen.

referentiesituatie wordt de mestplaatsingsruimte grotendeels opgevuld met runderdrijfmest en de stikstofgebruiksruimte met aanvullende KAS-meststof. In een statische rekenvariant werden de runderdrijfmest en de kunstmest gedeeltelijk vervangen door de toepassing van GFT-compost. Hierbij werd 161 kg/ha KAS minder gestrooid, nam de mestgift van runderdrijfmest af met 9 m<sup>3</sup>/ha, werd er 8.6 ton/ha compost gestrooid en dalen de beregeningskosten met € 25/ha als gevolg van een hoger vochtvasthoudend vermogen door de aanwending van compost. De geschatte opbrengststijging hiervan werd geschat op 5%.

Uitgaande van € 26.85 per 100 kg KAS (prijs op basis van Agrimatie-cijfers december 2015), wordt bij een vermindering van 161 kg/ha KAS een besparing gerealiseerd van € 68/ha, dit is inclusief kunstmest strooien à € 25/ha (KWIN AGV 2015). Uitgaande van een verbruikersprijs van GFT-compost (op de kopakker geleverd) van € 4/ha en kosten voor compost strooien à € 4/ha (KWIN AGV 2015), kost het de akkerbouwer € 8 per hectare voor de aanvoer en aanwending van compost. Uitgaande van een ontvangttarief voor akkerbouwers van € 10/m<sup>3</sup> runderdrijfmest (dit is inclusief opslagvergoeding) minus € 4/m<sup>3</sup> voor mestopslag en minus € 3/m<sup>3</sup> voor het uitrijden, houdt de akkerbouwer € 3/m<sup>3</sup> over aan de aanvoer van runderdrijfmest na uitrijden (*Boerderij*, 27 januari 2016). Een verminderde runderdrijfmestgift van 9 m<sup>3</sup>/ha geeft hierdoor € 27/ha inkomstenderving.

Voor het hierboven beschreven gemiddelde akkerbouwbedrijf is het gemiddelde saldo-effect berekend wanneer een deel van de kunstmest en runderdrijfmest wordt vervangen door compost (Tabel 18). Dit saldo-effect betreft het effect op een gemiddeld akkerbouwbedrijfsplan<sup>29</sup>.

**Tabel 18** Effecten op het saldo door vervanging van runderdrijfmest en kunstmest door compost voor een gemiddeld akkerbouwbedrijf.

Maatregel	
Gemiddelde saldoreferentie (€/ha)	3092
Saldo-effect vervanging deel runderdrijf- en kunstmest door compost (€/ha)	+226

Per saldo blijven de kosten nagenoeg gelijk, terwijl de opbrengst stijgt met 5%. De toename in het saldo is hierdoor volledig toe te schrijven aan de toename in opbrengsten. Er wordt hier wel van uitgegaan dat er voldoende compost beschikbaar is en dat de prijs hiervan gelijk blijft bij een toenemende vraag. Ook hangt het saldo-effect sterk af van schommelende mestprijzen waardoor het berekende saldo-effect op een ander tijdstip anders uit kan pakken.

## 4.3 Verbetering nutriëntenbenutting door plaatsing en timing van bemesting

### 4.3.1 Achtergrond

#### *Toedieningstijdstippen*

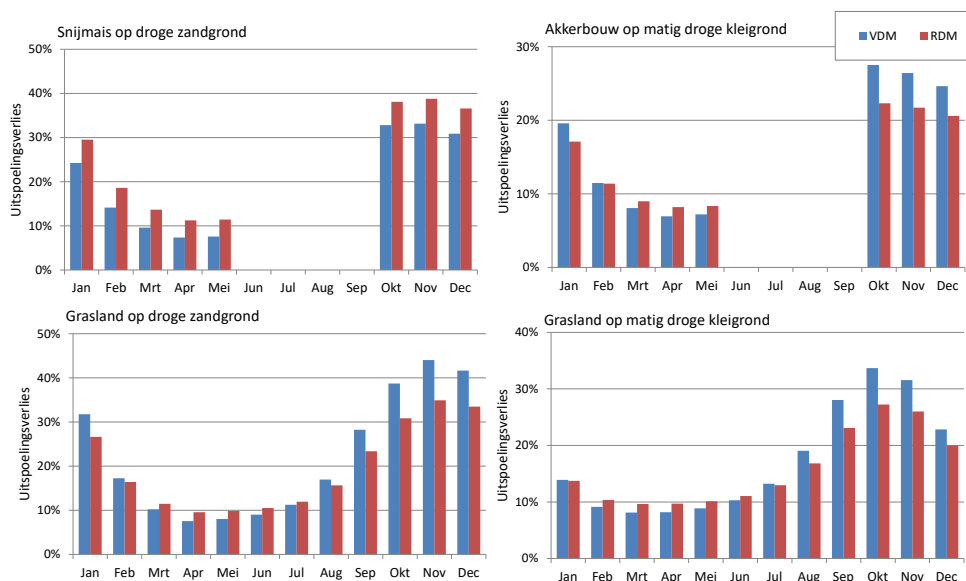
Op grasland kan drijfmest tot 1 september worden toegepast en vaste mest op zand- en lössgrond tot 1 september en op klei- en veengrond tot 16 september. Op bouwland kan drijfmest tot 1 september worden aangewend als een groenbemester wordt geteeld. Anders geldt de datum van 1 augustus.

<sup>29</sup> Het gemiddelde akkerbouwbedrijfsplan is niet gelijk aan het gemiddelde bouwplan zoals dat besproken is in Par. 4.1. Dit referentie saldo in Par. 4.1 bedraagt €17 000 - €24 000 per hectare in het referentiesaldo voor het gemiddelde akkerbouwbedrijfsplan bedraagt €3092 per hectare

In de afgelopen jaren is regelmatig uitstel verleend vanwege natte omstandigheden of een vertraagde start van het groeiseizoen door koude. Vaste mest mag op bouwland op klei- en veengrond het gehele jaar worden toegepast, mits de grond niet bevroren, besneeuwd of met water verzadigd is.

In eerdere scenariostudies is het effect van het vervangen van de herfsttoepassing van dierlijke mest in de akkerbouw op klei- en lössgronden door een voorjaarstoepassing doorgerekend (Van Boekel *et al.* 2008; 2012). De door hen beschreven maatregel is min of meer praktisch geworden en kan nu niet meer als extra maatregel worden gezien.

Het begin van de periode waarin drijfmest kan worden toegepast is 15 februari voor grasland en 1 februari voor bouwland. Echter, wanneer drijfmest op de startdatum wordt gegeven gaat een groter deel verloren door uitspoeling dan bij een mestgift 2 maanden later. In de analyse die is gebruikt voor het protocol gebruiksvoorschriften dierlijke mest (Velthof, 2013) is een eenvoudig mineralisatiemodel toegepast dat rekening houdt met toedieningstijdstip, temperatuurverloop gedurende het jaar, vraag naar minerale stikstof voor gewasopname en neerslag- en verdampingspatronen. De afbraak van organische stof is gebaseerd op de beschrijving door Janssen (1984). Figuur 20 toont resultaten voor enkele gewas-bodemcombinaties.



**Figuur 20** Het deel van een dosering dierlijke mest dat verloren gaat door uitspoeling als functie van de maand waarin de dosering plaatsvindt. De dosering is de mestgift verminderd met de aanwendingsemisatie. (VDM=varkensdrijfmest; RDM=runderdrijfmest).

Een toepassing begin april levert voor snijmais en akkerbouw de laagste uitspoelingsverliezen op. Dit geldt eveneens voor grasland op zandgrond, maar voor grasland op kleigrond zou een toepassing in maart gunstiger zijn. Een herfsttoepassing van varkensdrijfmest zou, met uitzondering van snijmais op droge zandgrond, een hoger uitspoelingsverlies opleveren dan een herfsttoepassing van runderdrijfmest. Na het groeiseizoen neemt het gewas niet meer op en gaat de minerale stikstof gemakkelijk verloren door uitspoeling.

Een dosering van drijfmest in februari leidt voor snijmais en akkerbouw gemiddeld tot een uitspoeling die 1,4 tot 1,9 maal zo groot is als de uitspoeling als gevolg van een dosering begin april. Voor grasland hangt het sterk af van de grondsoort. Het uitspoelingsverlies van een gift in februari is 1,1 tot 2 maal zo groot als het uitspoelingsverlies van een gift begin april.

#### Rijenbemesting

Schröder *et al.* (2015) geven aan dat bij gewassen met een krappe N-voorziening een positief effect van de plaatsing van mest op de N-benutting kan optreden. Met 28% minder kunstmest of 34%

minder rundveedrijfmest is bij rijenbemesting eenzelfde onttrekking te realiseren als bij volveldse bemestingen. In hun verkenning geven zij aan dat het effect van de korting van de N-gebruiksnormen voor snijmais op zandgrond in het zuidelijke zandgebied op de nitraatuitspoeling van dezelfde orde van grootte is als het effect van rijenbemesting op de nitraatuitspoeling bij de gebruiksnormen van het 4<sup>de</sup> Actieprogramma Nitraat. Voor andere gewassen, zoals suikerbieten en broccoli, zijn er aanwijzingen dat rijenbemesting eveneens tot een betere benutting kan leiden, maar de effecten zijn minder duidelijk.

#### *Vanggewassen*

Voor snijmais op zand- en lössgrond geldt al sinds 2006 de verplichting dat na de oogst een vanggewas wordt geteeld. In 2015 geldt dat bij toepassing van dierlijke mest op bouwland in de maand augustus de teelt van een groenbemester verplicht is. De groenbemester dient uiterlijk 31 augustus gezaaid te zijn. In het nieuwe Gemeenschappelijke Landbouwbeleid (GLB) gelden vergroeningseisen. De teelt van vanggewassen heeft in het GLB-schema een weegfactor 0,3, met uitzondering van een vanggewas na de teelt van snijmais op zand- en lössgrond. Dit was al langer verplicht.

De N-opname en de N-nalevering van een vanggewas zijn sterk afhankelijk van het temperatuurverloop en de zaaidatum (De Haan pers. comm.<sup>30</sup>). Om een vanggewas te laten slagen, dient zo vroeg mogelijk met de teelt ervan begonnen te worden. In de snijmais zijn vooral granen en grassen bruikbaar. Wanneer de snijmais maximaal 40 centimeter hoog is, kunnen grassen als vanggewas gezaaid worden als onderzaai. Na de oogst ontwikkelt deze onderzaai zich sneller en produceert ze meer organische stof en neemt ze meer N op. Voor de N-opname en de N-nalevering worden de cijfers in Tabel 19 gehanteerd.

**Tabel 19** N-opname en de N-nalevering van een vanggewas ( $kg\ ha^{-1}\ jr^{-1}$ ) na de teelt van snijmais (De Haan pers. comm.).

Zaai groenbemester	N-opname vanggewas	N-nalevering
15 aug- 1 sept	90 (80 – 100)	45
1 sept – 15 sept	60 (45 – 75)	30
15 sept – 1 okt	30 (20-40)	15
1 okt – 15 okt	10 (5-15)	5
Na 15 okt	5 (0-10)	0

In de praktijk blijkt de verbouw van ultravroege snijmaisrassen mogelijk<sup>31</sup>. Na vroege akkerbouwgewassen kan de teelt van een vanggewas gunstig zijn voor het verminderen van stikstofverliezen. Na late gewassen heeft de inzaai van een vanggewas weinig effect op de nutriëntenhuishouding van de bodem. Verwacht wordt dat vanggewassen op kleigronden minder goed inpasbaar zijn, maar dat akkerbouwers vanwege de vergroeningsregels van het GLB toch voor deze maatregel zullen kiezen.

### 4.3.2 Modelaanpak

#### *Toedieningstijdstippen*

In het rekenmodel STONE worden de mestdoseringen op schematische wijze beschreven. Een STONE-plot vertegenwoordigt een verzameling van percelen. Op een perceel vindt de bemesting op een bepaalde dag plaats, maar niet alle percelen worden op dezelfde dag bemest. In STONE wordt dit beschreven door de mest gespreid over een bepaalde periode in porties toe te dienen. In de

<sup>30</sup> <http://www.verantwoordeveehouderij.nl/show/Goed-vanggewas-betekent-ook-goede-mais.htm>

<sup>31</sup> De rassenlijst Ultravroege snijmais 2016 ([www.ppo.wu.nl](http://www.ppo.wu.nl)) geeft een overzicht van onderzoeksresultaten van maisproeven met ultravroege gewassen (zaai 1 mei, oogst 15 september). Bron: Groten (2015).

---

rekenvariant “Verbetering nutriëntenbenutting door plaatsing en timing van bemesting” worden de dierlijke mestgiften vier weken later gegeven.

Door het latere doseringstijdstip neemt de werkzaamheid van de dierlijke mest iets toe. Op basis van de rekenresultaten in Figuur 20 wordt geschat dat de werkzaamheid op zandgrond met 5% en op kleigrond met 2% toeneemt. Voor veengrond wordt geen toename verwacht. Deze toename van de werkzaamheid wordt in het rekenmodel geïmplementeerd door de N-kunstmestgiften te korten met de hoeveelheid N in de dierlijke mest die verondersteld wordt extra werkzaam te zijn.

#### *Rijenbemesting*

Verondersteld wordt dat deze maatregel op de zandgronden in het zuidelijk zandgebied effect zal hebben. Met de invoering van het 5<sup>de</sup> Actieprogramma is de stikstofgebruiksnorm met 20% gekort t.o.v. de norm in het 4<sup>de</sup> Actieprogramma. Door rijenbemesting kan ondanks deze korting van 20% toch een gewasproductie gerealiseerd worden gelijk aan de productie die correspondeert met de N-gebruiksnormen van het 4<sup>de</sup> Actieprogramma. In het STONE-model wordt dit geïmplementeerd door uit te gaan van de mestgiften van het 5<sup>de</sup> Actieprogramma en in de invoer van de QUADMED-module de voor het gewas werkzame stikstofdoseringen van het 4<sup>de</sup> Actieprogramma te gebruiken.

#### *Vanggewassen*

In het STONE-model wordt na snijmais op zand- en lössgrond een vanggewas verondersteld. De stikstofopname van dit gewas bedraagt ca. 10 kg ha<sup>-1</sup>, omdat in de praktijk snijmais vaak medio oktober wordt geoogst. In deze rekenvariant gaan we ervan uit dat het effect van een vanggewas maximaal is door de teelt van ultravroege rassen en doordat de oogst medio september plaatsvindt. De opname van stikstof door het vanggewas is 45 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> verondersteld. Verder wordt aangenomen dat op 40% van het areaal akker- en tuinbouwgewassen<sup>32</sup> een vanggewas geteeld kan worden. Het vanggewas na deze gewassen begint medio augustus en de opname bedraagt 90 kg ha<sup>-1</sup>. Gebiedsgemiddeld voor een STONE-plot is dit 36 kg ha<sup>-1</sup>.

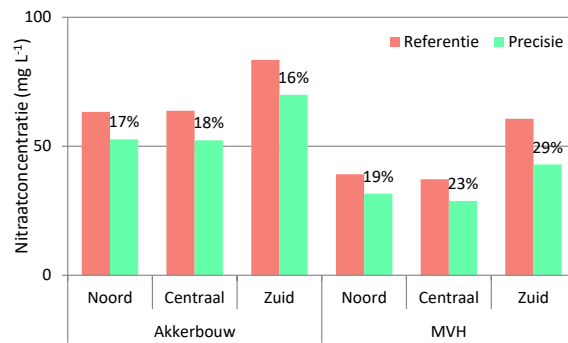
### 4.3.3 Resultaten nitraatconcentraties en N-uitspoeling

De effecten van een betere timing en plaatsing van meststoffen (precisielandbouw) worden gepresenteerd in Figuur 20 en 21. Evenals in paragraaf 4.3 zijn de zand- en kleigronden geselecteerd voor de evaluatie van de resultaten.

Voor fosfaat treedt een lichte verschuiving in de posten van de bodembalans op. Berekend wordt dat door de maatregelen de minerale fosfaatvoorraad kleiner blijft dan in de referentiesituatie. Echter, de effecten van deze maatregel op de uit- en afspoeling van fosfor zijn binnen de termijn van 30 jaar minimaal. Hierbij wordt opgemerkt dat een eventueel effect op de oppervlakkige afspoeling buiten beeld is gebleven. Dit zou een afzonderlijke deelstudie vergen met een behoorlijke inspanning aan verfijning van rekenmodellen en simulaties. Omdat de effecten voor fosfor zo klein zijn, worden ze hier niet verder gerepresenteerd.

---

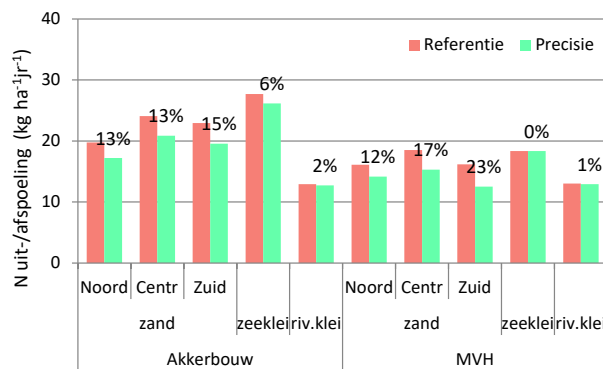
<sup>32</sup> Granen + helft van areaal consumptieaardappelen.



**Figuur 21** Afname van de nitraatconcentraties in het grondwater als effect van nauwkeuriger timing en plaatsing van meststoffen.

Een verbeterde benutting van mest door een meer precieze timing en plaatsing kan tot een reductie van nitraatconcentraties leiden van 8–18 mg L<sup>-1</sup>. De effecten zijn het grootst in het zuidelijke zandgebied (14–18 mg L<sup>-1</sup>), omdat de zandgronden in het zuiden gevoeliger zijn voor uitspoeling. Door hun gevoeligheid voor uitspoeling zijn ze ook relatief gevoelig voor maatregelen die de uitspoeling beogen te verminderen.

Het patroon van de effecten op de nitraatuitspoeling in verschillende gebieden is ook te zien in de N-uitspoeling naar het oppervlaktewater (Figuur 21).



**Figuur 22** Afname van de N-uitspoeling naar het oppervlaktewater als effect van nauwkeuriger timing en plaatsing van meststoffen.

De afname van de N-belasting van het oppervlaktewater wordt voor de zandgronden berekend op 1.9 tot 3.7 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. Dit komt overeen met 12–23% van de uitspoeling in de referentiesituatie. Het grootste effect wordt berekend voor de akkerbouw en de melkveehouderij op de zandgronden in het zuidelijke zandgebied. Voor de kleigronden wordt een kleiner effect berekend. Alleen voor de akkerbouw op zeeklei wordt een effect berekend. De uitspoeling in kleigronden wordt, meer dan in zandgronden, mede bepaald door achtergrondbelasting (zie paragraaf 3.3). Maatregelen waarmee het stikstofoverschot op de bodembalans wordt verkleind, hebben in kleigronden daarom minder effect op de uit- en afspoeling van stikstof dan in zandgronden. Het betreft hier het gebiedsgemiddelde saldo-effect.

#### 4.3.4 Kosten en baten

De saldo-effecten van de maatregel “Verbetering nutriëntenbenutting door plaatsing en timing van bemesting” zijn uitgewerkt voor het zuidelijke zand- en lössgebied.

#### Toedieningstijdstippen

---

### *Kosten*

In de rekenvariant "Verbetering nutriëntenbenutting door plaatsing en timing van bemesting" worden de dierlijke mestgiften gemiddeld vier weken later gegeven. Daar zijn mogelijk kosten aan verbonden: enerzijds moet er gedurende een langere periode dierlijke mest opgeslagen worden, anderzijds zullen de kosten voor loonwerk toenemen, omdat de potentiële toedieningsperiode afneemt.

Als er gedurende een langere periode mest moet worden opgeslagen, zal er in de regel ook extra mestopslag nodig zijn (behalve als er sprake is van overcapaciteit in mestopslag). Er zijn verschillende mogelijkheden voor extra mestopslag buiten de stal (Rommelink *et al.* 2013):

- Een beklede grondput (foliebassin).
- Een ondergrondse put van beton of metselwerk (bijvoorbeeld onder een sleufsilos).
- Een bovengrondse silo van beton, staal of hout.
- Een bovengrondse flexibele/verplaatsbare silo.
- Een mestzak.

De extra mestopslag brengt investeringskosten met zich mee. De hoogte daarvan is afhankelijk van onder meer het type mestopslag. In het project 'Koeien en Kansen' zijn bedrijven gevolgd die de mestopslagcapaciteit hebben vergroot. Gemiddeld bedroeg de investering op deze bedrijven € 40 per m<sup>3</sup> dierlijke mest (Agrarisch Waterbeheer, 2016a).

Als bemesting later in het seizoen start, zal de toedieningsperiode korter zijn. Zeker als meer agrariërs in de omgeving later bemesten, zal dit betekenen dat er meer machinecapaciteit en mankracht gelijktijdig gevraagd zullen worden. Bij een gelijkblijvend aanbod zal dit een prijsopdrijvend effect hebben op arbeid en kapitaal (loonwerk). Hoe sterk de prijs zal stijgen, is erg afhankelijk van de bedrijfssituatie, wat bedrijven in de omgeving doen en de (regionale) markt voor de inzet van arbeid en kapitaal (loonwerk).

Het verder kwantificeren van de kosten van het aanpassen van de toedieningstijdstippen is niet mogelijk. Om praktisch werkbaar te zijn, zullen er voor de inzet van capaciteit en arbeid in een korte tijd voldoende werkbare dagen moeten zijn. Afhankelijk van de weersomstandigheden (regen) zal dat in het ene jaar wel lukken, maar in het andere jaar niet.

### *Baten*

Door het latere doseringstijdstip neemt de werkzaamheid van de dierlijke mest iets toe. Zoals aangegeven in paragraaf 4.3.2, wordt geschat dat de werkzaamheid op zandgrond met 5% toeneemt en op kleigrond met 2% toeneemt. Voor veengrond wordt geen toename verwacht. In hoeverre deze toegenomen werkzaamheid zich zal vertalen in een betere gewasgroei en een hogere gewasproductie zal van gewas tot gewas verschillen.

Door de extra opslagcapaciteit kan drijfmest op het gunstigste moment worden uitgereden. Hierdoor kan er bespaard worden op kunstmest. Bovendien kan mest die niet wordt aangewend, op het gunstigste moment (tegen zo laag mogelijk kosten) worden afgezet (Agrarisch Waterbeheer, 2016a).

## **Rijenbemesting**

### *Kosten*

Rijenbemesting vindt plaats op de akkerbouwmaïsgewassen korrelmaïs en Corn Cob Mix en op het veevoedergewas snijmaïs. Rijenbemesting gaat gepaard met andere kosten dan traditionele bemesting. Rijenbemesting vergt onder meer een investering in GPS-ondersteunde machines en apparatuur. De toeslag voor deze GPS-techniek wordt op € 50/ha geschat. Daarnaast zijn er extra kosten voor onkruidbestrijding. Aanvankelijk werd de rijenbemesting tegelijk met het zaaien uitgevoerd (in één werkgang), maar met ondersteuning van RTK-GPS is het tegenwoordig mogelijk om dat in twee aparte werkgangen te doen, wat praktisch beter uitvoerbaar is. De mest wordt daarbij gedoseerd in rijen op die plaats waar later wordt gezaaid of gepoot. De kosten van rijenbemesting zijn sterk afhankelijk van de bedrijfssituatie (Agrarisch Waterbeheer, 2016b).



### Baten

Verondersteld wordt dat deze maatregel op de zandgronden in het zuidelijk zandgebied effect zal hebben. Met de invoering van het 5<sup>de</sup> Actieprogramma is de stikstofgebruiksnorm met 20% gekort ten opzichte van de norm in het 4<sup>de</sup> Actieprogramma. Door rijenbemesting kan ondanks deze korting van 20% toch een gewasproductie gerealiseerd worden die gelijk is aan de productie die correspondeert met de N-gebruiksnormen van het 4<sup>de</sup> Actieprogramma. De gewasproductie is 20% hoger dan wanneer er geen rijenbemesting zou zijn toegepast.

### Saldo

Voor de berekening van het saldo-effect is uitgegaan van een financieel voordeel van € 30 per ha wanneer rijenbemesting met GPS wordt toegepast<sup>33</sup>. De verhoogde gemiddelde saldi als gevolg van rijenbemesting met GPS wordt vergeleken met een nieuw berekend referentiesaldo voor alle landbouwgrond (het areaal akkerbouw- en tuinbouwgewassen, gras en snijmais) voor de afzonderlijke gebieden. De gemiddelde saldo-effecten per hectare per gebied wanneer de maisgewassen bemest worden door middel van rijenbemesting met GPS, zijn weergegeven in Tabel 20.

**Tabel 20** Effect op het saldo (euro/ha) voor de situatie dat alle maisgewassen bemest worden door middel van rijenbemesting met GPS in het zuidelijke zandgebied.

Maatregel	Horstgebied	Slenkgebied	Westelijk deel	Krijtgebied
<b>Snijmais</b>				
Maatregel areaal (ha)	23130	41581	18202	2518
Saldo referentie (€/ha)	7089	4779	7574	2507
Saldo-effect voor maatregel areaal (€/ha)	+30	+30	+30	+30
Gebiedsgemiddeld saldo-effect (€/ha)	+9	+10	+8	+3
<b>Korrelmais + Corn Cob Mix</b>				
Maatregel areaal (ha)	411	776	475	14
Saldo referentie (€/ha)	7089	4779	7574	2507
Saldo-effect voor maatregel areaal (€/ha)	+30	+30	+30	+30
Gebiedsgemiddeld saldo-effect (€/ha)	+1	+1	+1	+1
<b>Snij- en korrelmais + Corn Cob Mix</b>				
Maatregel areaal (ha)	23541	42357	18677	2532
Saldo referentie (€/ha)	7089	4779	7574	2507
Saldo-effect voor maatregel areaal (€/ha)	+30	+30	+30	+30
Gebiedsgemiddeld saldo-effect (€/ha)	+10	+11	+9	+4

Het relatief kleine areaal korrelmais en Corn Cob Mix van het totale areaal leidt tot een bescheiden positief gebiedsgemiddeld saldo-effect van +€ 1 voor de vier afzonderlijke gebieden. Het gebiedsgemiddelde saldo-effect voor het Krijtgebied valt relatief laag uit vergeleken met de andere gebieden; de reden hiervoor is het relatief geringe areaal snijmais (10% van het totale areaal, bij de andere gebieden is dit ca. 30%).

### Vanggewassen

#### Kosten

Zowel in de referentiesituatie als in de rekenvariant is een vanggewas na snijmais op zand- en lössgrond verondersteld, omdat dit vanuit de mestwetgeving verplicht is. Daarnaast is verondersteld dat een vanggewas wordt geteeld na andere akker- en tuinbouwgewassen. Hierbij is ervan uitgegaan dat vanggewassen geteeld worden op het areaal graanteelt en op de helft van het areaal

<sup>33</sup> <http://www.verantwoordeveehouderij.nl/show/Rijenbemesting-mais-met-GPS-economisch-interessant.htm>

aardappelteelt. Dit gaat gepaard met extra kosten voor het zaaien en inwerken van het vanggewas. Deze kosten zijn ingeschat op circa € 140 per hectare (Schooten *et al.* 2015).

#### Baten

Doordat vanggewas stikstof opneemt, zal er minder stikstof uitspoelen naar het oppervlaktewater. Dit brengt maatschappelijke baten met zich mee, aangezien er dan ook minder stikstof uit het oppervlaktewater gezuiverd hoeft te worden. Om de maatschappelijke baten te berekenen, moet eerst berekend worden hoeveel stikstofuitspoeling wordt vermeden, rekening houdend met de stikstofopname van het vanggewas en de retentie (niet alle stikstof zal immers, al dan niet rechtstreeks, uitspoelen naar het oppervlaktewater). Deze vermeden stikstofuitspoeling (in kg N-emissie) moet vervolgens vermenigvuldigd worden met de schaduwprijs voor de preventiekosten van stikstofuitspoeling. De Bruyn *et al.* (2010) hebben deze schaduwprijs bepaald op € 7 per kg N-emissie.

#### Saldo

De saldo-effecten zijn berekend voor de situatie dat een vanggewas wordt geteeld na de oogst van granen en op de helft van het areaal consumptieaardappelen, waarbij verondersteld is dat de helft van het areaal consumptieaardappelen in het zuidelijk zandgebied bestaat uit vroege aardappelen die voor 15 september worden geoogst. Aangezien het vanggewas op hetzelfde perceel na een ander gewas komt, wordt er een areaal toegevoegd ter grootte van het vanggewas. Vervolgens wordt er met het negatieve saldo (–€ 140 per hectare) van het vanggewas een nieuw totaal saldo berekend, wat gedeeld wordt door het aantal hectares van de gebieden, om uiteindelijk te komen tot het nieuwe gemiddelde saldo per hectare per gebied. De resultaten hiervan staan weergegeven in Tabel 21.

**Tabel 21** Effect op het saldo (€/ha) voor introductie van vanggewassen in de akkerbouw in het zuidelijke zandgebied.

Maatregel	Horst-gebied	Slenk-gebied	Westelijk deel	Krijt-gebied
Referentie (gemiddelde saldo per hectare in de huidige situatie)	18517	17197	23635	4077
Maatregel: Vanggewas na oogst op het hele areaal granen en de helft van het areaal consumptieaardappelen				
Maatregel areaal (ha)	6493	8158	4220	7108
Saldo-effect voor maatregel areaal (€/ha)	-140	-140	-140	-140
Gebiedsgemiddeld saldo-effect (€/ha)	-35	-41	-31	-72

De verschillen tussen de gebiedsgemiddelde saldo-effecten zijn een gevolg van verschillen in gebiedsgemiddelde bouwplannen. De maatregel heeft het grootste saldo-effect voor het Krijt-gebied vanwege het relatief grote aandeel van wintertarwe in het bouwplan (34% van het akkerbouwareaal).

## 4.4 Aanleggen en aanpassen van drainage

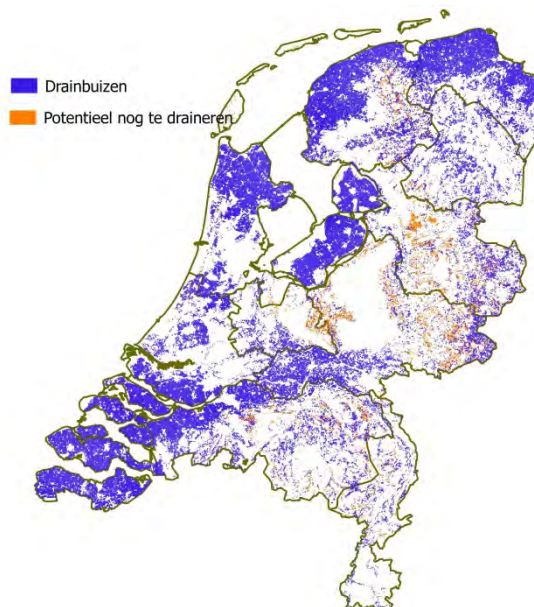
### 4.4.1 Achtergrond

Drainage met behulp van drainagebuizen wordt in het landelijk gebied van Nederland toegepast om de grondwaterstand en bodemvochttoestand te optimaliseren. Door Massop *et al.* (2013) en Massop en Schuiling (2016) is een inschatting gemaakt van het areaal gedraineerde gronden in Nederland. Zij schatten de oppervlakte met buisdrainage op 800.000 ha. Het exacte areaal is moeilijk aan te geven omdat er enkele onzekerheden zijn:

- Huinink (IKC-LNV; niet gepubliceerd) geeft een schatting van 800.000 ha voor het areaal drainagebehoefte grond.
- Van Bakel *et al.* (2013) komen tot de conclusie dat ca. 1,2 miljoen hectare landbouwgrond geschikt zou zijn voor buisdrainage. Deze getallen liggen hoger dan de inschatting van Huinink (niet gepubliceerd) die tot een schatting komt van 800.000 ha als drainagebehoefte. Dit is te herleiden tot een verschil in gebruikte gegevensbronnen en definities.

- In de Landbouwtellingen van 2012 zijn eenmalig enkele aanvullende vragen gesteld over de aanwezigheid en werking van buisdrainage, zoals de draindiepte, het aanwezig zijn van peilgestuurde drainage, het functioneren van buisdrainage en de aanwezigheid van maaiveldgreppels. Uit deze statistiek kan een areaal voorzien van buisdrainage worden afgeleid van 654.652 ha. Bedacht moet worden dat Landbouwtellingen betrekking hebben op bedrijven met een economische omvang van 3000 SO (standaardopbrengst). De heel kleine bedrijven waarin landbouw een neventak is en de hobbybedrijven zijn niet meegenomen. Daarom is het areaal volgens de Basis Registratie Percelen 2012 waarschijnlijk een onderschatting

Een deel van het gedraineerde oppervlak komt in aanmerking voor vernieuwing. Daarnaast is er nog areaal landbouwgrond geschikt voor de nieuwe aanleg van buisdrainage. Dit betreft voornamelijk grasland en snijmais op zandgrond met een gemiddeld hoogste grondwaterstand ondieper dan 40 cm. Zandgronden met akkerbouw en kleigronden met van nature ondiepe grondwaterstanden zijn al gedraineerd. Ook voor dit areaal is het van belang na te gaan wat het effect van vernieuwde aanleg van drainage voor de waterkwaliteit zou kunnen zijn. In Figuur 22 zijn de gebieden die al gedraineerd zijn, en de gebieden die nog gedraineerd zouden kunnen worden omdat ze hoge grondwaterstanden hebben, in Figuur 23 op kaart weergegeven.



**Figuur 23** Ligging van de landbouwgronden met buisdrainage en de gronden die nog potentieel te draineren zijn.

#### *Regelbare drainage*

Verskillende vormen van buisdrainagesystemen zijn te onderscheiden. Met ondergrondse drainagebuizen kunnen percelen worden ontwaterd, waardoor betere condities voor gewas en bewerkbaarheid ontstaan (Van Bakel *et al.* 2008b; 2013). Bij peilgestuurde drainage kan de grondwaterstand worden verhoogd door de drainagebasis naar boven toe bij te stellen i.c. het peil in de watergang te verhogen. De uitmonding van de drainbuizen komt dan onder water te liggen. Bij samengestelde drainage worden drainagebuizen onderling verbonden door ze aan te sluiten op een verzameldrain. De samengestelde drainage, die al dan niet peilgestuurd is, mondt uit in een put, die op zijn beurt afwatert op de sloot. Klimaat Adaptieve Drainage (KAD) wordt in deze studie niet verder uitgewerkt. KAD is erop gericht om water vast te houden in de bodem van een perceel, om overtollig water van het perceel te draineren en af te voeren. In de praktijk zullen de effecten van KAD op de uit- en afspoeling niet veel verschillen van die van andere vormen van drainage.

Een aanpassing in het verloop van de grondwaterstand door het aanleggen van drainage of door het overschakelen van conventionele drainage naar nieuwere drainagetechnieken, heeft gevolgen voor de

af- en uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater (Van Bakel *et al.* 2008a). Door het aanleggen van buisdrainage:

- Staan minder vaak plassen op het maaiveld, waardoor ook de oppervlakkige afstroming minder vaak optreedt.
- Komt het minder vaak voor dat de grondwaterstand zich in de bovenste toplaag van de bodem bevindt. Gebeurtenissen waarin P vanuit de fosfaat verrijkte toplaag uitspoelt, treden minder vaak op. Doordat meer water via drains wordt afgevoerd en minder water via de laterale route tussen toplaag en greppel/sloot, wordt nog een deel van het uitspoelende water in diepere bodemlagen gebonden.
- Door de diepere transportroutes kan in bepaalde gevallen meer nitraat worden gedenitrificeerd. Dit zou kunnen leiden tot een afname van de N-uitspoeling naar oppervlaktewater.
- Neemt de beluchting in de toplaag van de bodem iets toe, waardoor de mineralisatie iets toeneemt en de denitrificatie kleiner wordt. Dit zou kunnen leiden tot een toename van de N-uitspoeling naar oppervlaktewater.

Het STOWA-rapport "Meer water met regelbare drainage; werking, praktijkervaringen, kansen en risico's" (Stuijt *et al.* 2012) geeft een inschatting van effecten van verschillende vormen van drainage (Tabel 22).

**Tabel 22** De geschiktheid van conventionele (CD), regelbare (RD) en samengestelde regelbare drainage (SRD) voor het realiseren van diverse doelstellingen en al dan niet beoogde effecten op landbouw en natuur. Referentie bij de weergave van geschiktheden is de niet gedraineerde situatie. Betekenis van codes: A = Praktijkproeven in Nederland; B = Praktijkproeven elders; C = Modelstudies; D = Expert oordeel. + = positief effect; 0 = neutraal; - = negatief effect.

Doelstelling	CD		RD				SRD					
	Gesch	Gesch	A	B	C	D	Gesch.	A	B	C	D	
Ontwateren	++	++	X	X	x	x	++	x	x	x	x	
Vergroten waterbeschikbaarheid	-	+	X	X	X	X	++ / +++	X	X	X	X	
Reduceren piekafvoeren	+	++			X	X	++ / +++			X	X	
Water aanvoeren via infiltratie	0/+	0/+	X	X	X	X	0/+	X	X	X	X	
Reductie van afspoeling N	+	++			X	X	++	X		X	X	
Reductie van uitspoeling N	-	+		X	X	X	++	X	X	X	X	
Reductie van afspoeling P	+	++			X	X	++			X	X	
Reductie van uitspoeling P	+	++				X	++			X	X	
Vergroten draagkracht	+	++				X	++				X	
Reductie mineralisatie veen	-	++	X			X	+				X	
Effect op landbouw (gewasproductie)	+	+		X		X	++		X		X	
Effect op natuur	--	-				X	-/0/+				X	

Uit deze Tabel blijkt dat er hoge verwachtingen bestaan van conventionele, regelbare en samengesteld regelbare drainage t.a.v. de reductie van de uit- en afspoeling van nutriënten. Verder is in de Tabel te zien dat de verwachtingen van het effect van drainage op de af- en uitspoeling van P voornamelijk gebaseerd zijn op expert judgement en dat geen experimentele gegevens uit Nederlandse veldproeven beschikbaar zijn. Voor een beoordeling van het effect op de N-uit en afspoeling zijn enkele experimentele resultaten beschikbaar. Op percelen met zandgrond in Midden-Limburg (Stuijt *et al.* 2012) en Oost Gelderland (Rozemeijer *et al.* 2012) werd geen effect van regelbare drainage gemeten. Op een perceel met zavelgrond op Noord-Beveland werd door de omschakeling van conventionele drainage naar regelbare drainage 25% reductie v van de N-concentraties in drainwater gemeten en 45% reductie van de N-vrachten uit drainbuizen (Schipper *et al.* 2015). Deze reductie is het gevolg van de aanwezigheid van anaeroob grondwater op geringe diepte. Door regelbare drainage met verdiepte drainbuizen wordt een groter deel van het drainagewater door de anaerobe zone geleid en wordt meer nitraat gedenitrificeerd voordat het water de drainbuis bereikt.

#### Onderwaterdrainage

Onderwaterdrainage staat in de factsheets van Deltaprogramma Agrarisch Waterbeheer beschreven als een vorm van drainage waarbij de drains 10 tot 20 cm onder het slootpeil worden aangelegd. De

---

grondwaterstand zakt daardoor in de zomerperiode minder ver uit. Het veen blijft natter en wordt minder snel afgebroken (geoxideerd). Omdat de drains alle wateruitwisseling tussen sloot en veenbodem versnellen, kan bij piekbuien water tijdelijk in de veenbodem worden opgeslagen en daaruit weer snel worden afgevoerd (Hendriks en Van den Akker, 2012).

Verondersteld wordt dat dit een aantal gunstige effecten heeft:

- Door de hogere grondwaterstand in het perceel blijft de grond vochtig en daarmee zuurstofloos, waardoor afbraak van veen door oxidatie met ongeveer de helft wordt afgeremd.
- Door onderwaterdrainage vermindert de fluctuatie van de grondwaterstand, waardoor de kans op verdroging of vernatting afneemt met betere gewasopbrengsten en nutriëntenbenutting als gevolg.
- Zowel door de verandering van transportroutes in de bodem als door de afname van veenafbraak waardoor minder N en P onder de wortelzone wordt gemineraliseerd, als door de verbeterde nutriëntenbenutting, vermindert de uitspoeling van zowel N als P naar het oppervlaktewater.
- Door onderwaterdrainage kan de snelheid van de bodemdaling mogelijk met de helft worden vertraagd. De dikte van een kleidek heeft hier wel invloed op.
- In natte perioden zijn de percelen beter te berijden.

Onderwaterdrainage is uitgetest onder enkele praktijkomstandigheden:

- In de Pilot Wormer-Jisperveld; polder Zeevang (Hoving *et al.* 2011).
- Op Praktijkcentrum Zegveld (Hoving *et al.* 2008).
- In de Krimpenerwaard (Van den Akker *et al.* 2013).
- In het itrechtse deel van het Veenweide gebied (Hendriks *et al.* 2013).

Meer achtergrondinformatie over onderwaterdrainage is te vinden in een van de Deltafacts van Deltaproof<sup>34</sup>.

#### *IJzerzand-omhulde drains*

In het kader van het Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water is een potentieel zeer succesvolle methode ontwikkeld: "de fosfaatbindende drain" waarin fosfaat gebonden wordt aan een ijzerhoudend restproduct rondom een drain. Dit biedt perspectieven voor het probleem van fosfaatemissies uit de bloembollenteelt. Bloembollenvelden op duinzandgronden worden voor bijna 90% gedraineerd door verschillende vormen van buisdrainage (Chardon *et al.* 2008). In het oppervlaktewater van gebieden met duinzandgrond, waar veel bloembollen worden geteeld, overschrijdt de fosfaatconcentratie vaak ruimschoots de normen. IJzerzand kan relatief goedkoop worden aangewend en komt in voldoende mate beschikbaar als bijproduct van de drinkwaterbereiding (Koopmans *et al.* 2011). In een veldproef op een bloembollenperceel op een kalkrijke duinzandgrond nabij Egmond aan den Hoef is in de bodem een met ijzerzand omhulde drain aangebracht en is het drainwater bemonsterd. De twee naburige niet omhulde drainagebuizen fungeerden als een controle. Het zuiveringsrendement van de met ijzerzand omhulde drainagebuis bedroeg 94%. De anaerobe condities van het ondiepe grondwater en de erg hoge concentraties in het bodemwater hebben waarschijnlijk bijgedragen aan dit rendement. In andere situaties zou dit rendement lager kunnen liggen.

De effectiviteit op lange termijn van deze maatregel is nog niet in het veld vastgesteld. Uit balansberekeningen van de fosfaatvoorraad in het ijzerzand blijkt dat de bindingscapaciteit van zand voldoende is voor de normale levensduur van een drain.

#### 4.4.2 Modelaanpak

Modelberekeningen met STONE2.4 zijn uitgevoerd om de effecten te bepalen van:

- Het omschakelen van bestaande systemen met drainbuizen (conventionele drainage) naar een systeem met regelbare drainage. De drainagebuizen in dit systeem hebben een verdiepte ligging en het peil wordt geregeld in regelpetten.

---

<sup>34</sup> <http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Onderwaterdrains.aspx>

- 
- De aanleg van drainbuizen op zandgronden met ondiepe grondwaterstanden gebruikt voor grasland en snijmais. Verondersteld wordt dat alle zandgronden met akkerbouw en alle kleigronden al voorzien zijn van drainbuizen. De nieuw aangelegde drainbuizen worden evenals in de vorige optie verdiept aangelegd en het peil wordt geregeld.
  - De aanleg van buizen en regelapparatuur voor onderwaterdrainage in veengronden.

De effectschatting voor ijzer-omhulde drains is gebaseerd op literatuur en digitale kaarten. Hiervoor zijn geen afzonderlijke modelberekeningen uitgevoerd.

#### *Regelbare drainage*

Bestaande drainage buizen zijn vervangen door nieuwe buizen met een onderlinge afstand van 6 m en een diepte van 120 cm. Voor de drainageweerstand<sup>35</sup> is een waarde van 50 dagen verondersteld. Of water uit de drainbuizen kan wegstromen naar sloten is afhankelijk van de diepte van de grondwaterstand en het peil dat is ingesteld in de regelput. Als de grondwaterstand ondieper is dan het peil in de regelput kan het water wegstromen en als het peil dieper is dan het peil in de regelput stroomt geen water weg. Het streefpeil voor de sloten is ingesteld op 90 cm in de winter en 60 cm in de zomer. In de modelaanname wordt verondersteld dat geen water wordt aangevoerd. Dat betekent dat het slootpeil alleen kan stijgen tot maximaal het streefpeil door waterafvoer vanuit het perceel zelf. Bij een slootpeil hoger dan de draindiepte (120 cm) kan infiltratie via de drains optreden als nog voldoende water in de waterlopen aanwezig is en als de grondwaterstand dieper is dan het slootpeil. Behalve de aanleg van de drainbuizen is ook het stelsel van open waterlopen iets aangepast. In benedenstroomse richting is ervoor gezorgd dat de waterlopen steeds dieper worden.

#### *Onderwaterdrainage*

Onderwaterdrainage is in het STONE-model toegepast voor de veengronden die geschikt zijn voor een dergelijke maatregel: koopveengronden en veengronden met een dun kleidek. Ook hier bedraagt de onderlinge afstand van de drainbuizen 6 m en is de drainageweerstand ingesteld op 50 dagen. Verondersteld wordt dat het slootpeil is ingesteld op 60 cm –mv. De slootbodem is dieper dan deze 60 cm en in de zomer wordt water in polders ingelaten om het peil te kunnen handhaven.

#### *Ijzerzand-omhulde drains*

Het effect van ijzerzand omhulde drains is nagegaan door de resultaten van veldexperimenten te interpreteren en te extrapoleren aan de hand van de arealen aan bloembollen in de Basis Registratie Percelen, gecombineerd met de bodemkaart.

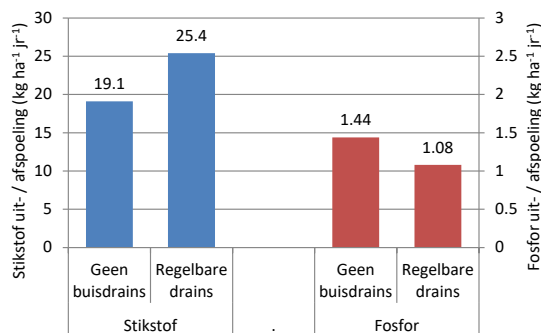
### 4.4.3 Resultaten N- en P-uitspoeling

#### *Nieuwe aanleg regelbare drainage*

De aanleg van buisdrainage met een regelbaar peil kan van toepassing zijn voor ca. 92.000 ha zandgronden met ondiepe grondwaterstanden. De resultaten van de berekening zijn aangegeven in Figuur 23.

---

<sup>35</sup> De drainageweerstand is een maat voor de snelheid waarmee overtollig water uit de bodem kan worden afgevoerd.

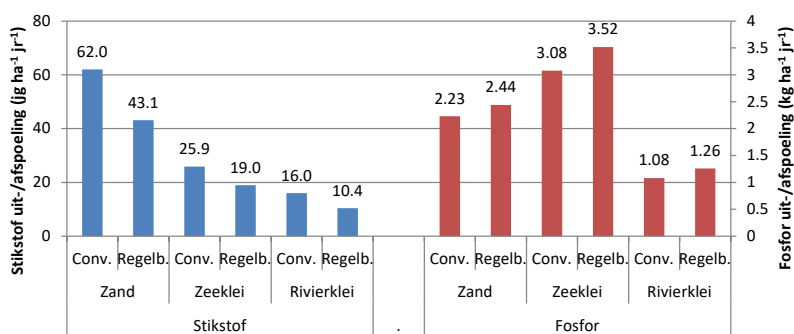


**Figuur 24** Effect van de aanleg van buisdrains met peilregeling op uit- en afspoeling (kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>) in zandgronden met grasland en snijmais en met ondiepe grondwaterstanden (GHG ondieper dan 40 cm).

Berekend wordt dat de N- uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater van 19.1 naar 25.4 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> toeneemt en dat de uit- en afspoeling van P afneemt van 1.44 naar 1.08 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. Door de aanleg van drainage krijgen de gronden gemiddeld een diepere grondwaterstand. Het grondwater komt minder vaak in de fosfaatrijke toplaag en het water wordt gemiddeld op grotere diepte afgevoerd, waardoor fosfaat nog gebonden wordt aan bodemdeeltjes voordat het water tot afvoer komt. Daartegenover leidt de diepere grondwaterstand tot een betere beluchting van de bodem met minder denitrificatie (waardoor meestal minder N<sub>2</sub>O-vorming) en hogere nitraatconcentraties als gevolg. Dit komt tot uiting in de toename van de N-belasting van het oppervlaktewater.

#### Omzetten bestaande drainage naar nieuwe regelbare drainage

In de berekeningen is een criterium toegepast voor wanneer het zinvol is om de bestaande drainage om te zetten naar een nieuw regelbaar drainagesysteem met verdiepte drainbuizen. Het criterium hiervoor is dat bij de bestaande drainbuizen de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) ondieper is dan 80 cm –mv. Als de GHG dieper is dan 80 cm –mv wordt de buisdrainage niet aangepast. Bij de diepere GHG's wordt verondersteld dat te weinig water beschikbaar is om deze vorm van peilbeheersing te kunnen toepassen. Het areaal landbouwgrond waarvan de bestaande drainage omgezet zou kunnen worden, bedraagt ca 62.000 ha zandgrond, 280.000 ha zeekleigrond en 60.000 ha rivierkleigrond. De resultaten van de berekeningen zijn aangegeven in Figuur 25.



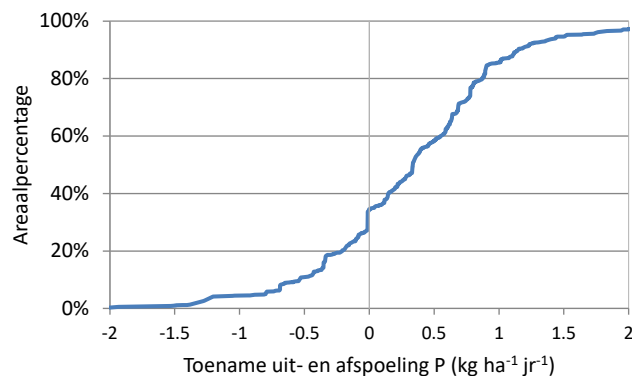
**Figuur 25** Effect van de omschakeling van conventionele drainage naar regelbare drainage op de uit- en afspoeling (kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>) in zand- en kleigronden.

De uit- en afspoeling van stikstof neemt voor de drie beschouwde grondsoorten af. Het omzetten van conventionele drainage naar regelbare drains met verdiepte drainbuizen leidt voor de zandgronden tot een vermindering van de belasting van het oppervlaktewater van 62.0 naar 43.1 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. Dit komt overeen met 30% reductie. Voor de zeekleigronden wordt een vermindering berekend van 25.9 naar 19.0 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> (27% reductie) en voor de rivierkleigronden wordt een afname van 16.0 naar 10.4 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> (35% reductie) berekend. Door het omschakelen naar regelbare drainage vindt vernatting plaats, waardoor een groter deel van het stikstofoverschot op de bodembalans wordt gedenitrificeerd

(met risico op hogere N<sub>2</sub>O-emissie). De uitspoelconcentraties worden hierdoor lager en de belasting van het oppervlaktewater neemt af.

In tegenstelling tot stikstof neemt de uit- en afspoeling van fosfor voor de drie beschouwde grondsoorten toe. Voor de zandgronden wordt een toename berekend van 2.23 naar 2.44 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> (9% t.o.v. conventionele drainage). Voor de zeekleigronden en de rivierkleigronden wordt een toename berekend van resp. van 3.08 naar 3.52 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> en 1.08 naar 1.26 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. Dit komt overeen met toenames van resp. 14% en 16%. De effecten zijn berekend als het gemiddelde van de effecten die zich kunnen voordoen.

Om aan te geven dat de maatregel niet overal hetzelfde effect heeft is in Figuur 26 de cumulatieve frequentieverdeling uitgezet voor kleigronden in het zeekleigebied en het rivierkleigebied. Te zien is dat voor ca. 30% van het areaal een afname van de uit- en afspoeling wordt berekend, maar voor het grootste deel van het areaal een toename.



**Figuur 26** Cumulatieve frequentieverdeling van de toename van de uit- en afspoeling van fosfor in kleigronden als gevolg van het omzetten van conventionele drainage naar regelbare drainage.

Deze toename van de uit- en afspoeling van fosfor leek in eerste instantie tegenstrijdig met de resultaten van Van der Salm *et al.* (2015). Naar aanleiding van de onderhavige studie is een extra controle uitgevoerd van de werkwijze en de resultaten van Van der Salm *et al.* (2015) en bleek de door hen gehanteerde formule voor de effectschatting een fout te bevatten. Na correctie stemmen de resultaten van Van der Salm (2015) en die van deze studie overeen (de aanvankelijke tegenstelling met de resultaten van Van der Salm *et al.* (2015) wordt bediscussieerd in paragraaf 6.3.).

De toename van de uit- en afspoeling van P is te verklaren. Door de vernatting en het verdiept aanleggen van drainbuizen treden verschillende effecten op:

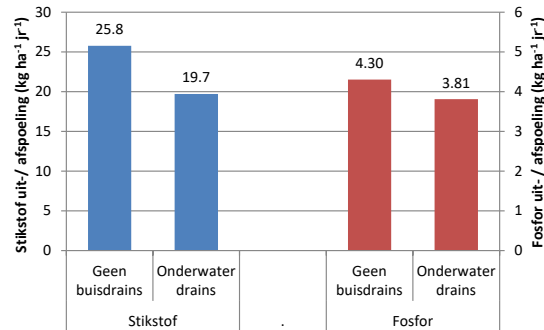
- De gemiddeld hogere grondwaterstanden en de vochtiger bodem leiden tot een geringere omzetting van organisch gebonden fosfor. De hogere concentraties van opgelost organisch fosfor leiden tot hogere uitspoeling van deze vorm van P-uitspoeling.
- Door de hogere grondwaterstanden is het bergingsvolume in de bodem kleiner dan bij conventionele drainage. Ondanks dat veel intensiever wordt gedraineerd, treden bij het systeem met regelbare drainage nog regelmatig pieken op in het grondwaterstandverloop in situaties met hoge neerslag. In dergelijke situaties spoelt relatief veel fosfor af door oppervlakkige afstroming en ondiepe afstroming door de bodem.
- Door de verdiepte drainbuizen verandert het stromingsprofiel in het ondiepe grondwater. In gebieden met een hoge achtergrondbelasting door kwel of nalevering van de bodem door ontginning en ontwatering (zeekleigronden), wordt het af te voeren water verrijkt met P uit de diepere bodemlagen.

#### *Onderwaterdrainage in veengronden*

De aanleg van buisdrainage in laagveengronden met grasland om fluctuaties in het grondwaterstandverloop te dempen, kan van toepassing zijn voor een oppervlak van ca. 115.000 ha.



Door de intensieve drainage, waarbij de drainbuizen in de waterlopen onder het oppervlaktewaterpeil uitmonden, wordt in natte perioden het neerslagoverschot versneld afgevoerd en wordt in droge perioden water aangevoerd. In het voorjaar is de draagkracht van de bodem beter en door de regeling van de grondwaterstand treden komen minder vaak plassen op het maaiveld voor. In droge perioden zakt de grondwaterstand minder diep. Dit is gunstig voor het reduceren van maaiveldafval en emissies van broeikasgassen. De resultaten van de berekeningen van de uit- en afspoeling zijn weergegeven in Figuur 26.



**Figuur 27** Effect van het aanleggen van onderwaterdrains op de uit- en afspoeling (kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>) in laagveengronden met grasland.

De uit- en afspoeling van zowel stikstof als fosfor neemt af door de aanleg van onderwaterdrains. Voor stikstof wordt een afname berekend van 25.8 naar 19.7 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> (24% reductie) en voor fosfor van 4.30 naar 3.81 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> (11% reductie). Een groot deel van het effect op stikstof wordt verklaard door een betere benutting waardoor het stikstofoverschot op de bodembalans afneemt. De natte situaties waarin veel stikstof verloren gaat, worden door de onderwaterdrainage grotendeels opgeheven. Een ander deel van het effect wordt verklaard doordat de oppervlakkige afstroming en het transport langs ondiepe bodemroutes zijn verminderd.

#### Effect ijzerzand-omhulde drains

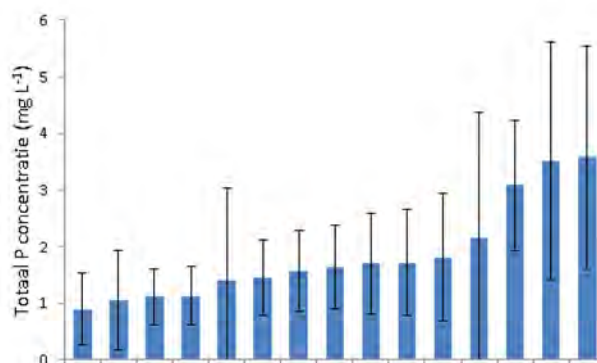
Het areaal bloembollen op zandgrond in de provincies Noord- en Zuid-Holland bedroeg in 2013 volgens de opgave in de Basis Registratie Percelen resp. 6723 en 1636 ha. De ligging van de percelen is aangegeven in Figuur 27. De concentratie van P in het oppervlaktewater van de Duin- en bollenstreek ligt vele malen (tot 40 maal) boven de KRW-norm. De N-concentratie ligt tot 2 keer boven de norm.



**Figuur 28** Ligging van bloembollenpercelen op zandgrond in 2013 in het Westelijke zandgebied.

Het Hoogheemraadschap van Rijnland heeft enkele maatregelen in de praktijk getest met als doel de P-belasting van het oppervlaktewater uit zandige bloembollenpercelen drastisch te beperken (Hoogheemraadschap van Rijnland, 2015). In een perceel in Voorhout werden voorafgaand aan het experiment totaal-P-concentraties gemeten van  $8 \text{ mg L}^{-1}$  en in een perceel in Egmond bedroeg de P-concentratie van het drainwater voorafgaand aan het experiment  $3.8 \text{ mg L}^{-1}$ . Dergelijke concentraties kunnen leiden tot P-vrachten van  $20\text{--}40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ . De concentraties en vrachten zijn erg hoog, maar zijn ook op andere plaatsen gemeten in de Duin- en Bollenstreek (Van Aartrijk *et al.* 1997). Groenendijk *et al.* (1997) concludeerden uit veldonderzoek op het proefbedrijf "De Noord" te St. Maartensbrug dat de P-uitspoeling  $3\text{--}13 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  bedroeg. Van Boekel *et al.* (2015) berekende de uit- en afspoeling van fosfor in de Anna Paulownapolder, waar de bloembollenteelt een groot deel van het landbouw areaal beslaat, op ca.  $2.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ . Zij geven hierbij aan dat deze berekening een onderschatting is en dat op basis van uit metingen afgeleide P-vrachten een waarde van  $5\text{--}10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  realistischer is.

In het oppervlaktewater van het bloembollengebied van het Land van Zijpe zijn in de periode 2010–2014 gemiddelde concentraties van P-totaal gemeten van  $0.9\text{--}3.6 \text{ mg L}^{-1}$ . Deze range is bepaald uit de meetresultaten van 15 meetpunten (Figuur 28).



**Figuur 29** Gemiddelde concentraties van P-totaal ( $\text{mg L}^{-1}$ ) in de periode 2010–2014 op 15 meetpunten nabij percelen met bloembollen op zandgrond in het Land van Zijpe. Foutstrepen geven de standaardafwijking weer.

---

De normen voor P-concentraties in oppervlaktewateren die horen bij de toestand “goed” bedragen voor de gebieden met bloembollen op zandgrond binnen het beheersgebied van Hollands Noorderkwartier 0.16 en 0.17 mg L<sup>-1</sup> (Schipper *et al.* 2014). Deze waarden hebben betrekking op het zomerhalfjaar en deze waarden corresponderen met jaargemiddelde concentraties in de range van 0.17–0.2 mg L<sup>-1</sup>. Rekening houdend met de retentie die in kavelsloten en regionale wateren te verwachten is, is een reductie van 70–90% nodig van de uit- en afspoeling van fosfor naar het oppervlaktewater in de gebieden met bloembollen op zandgrond.

In het experimenteel onderzoek van het Hoogheemraadschap van Rijnland zijn o.a. fosfaatbindende drains geïnstalleerd. Hierbij worden drainagebuizen gelegd in een bedding van ijzerzand. Het effect hiervan was een grote verwijdering van ortho-P (81–96%) en een wat minder grote verwijdering van totaal-P (60–90%). De mate van verwijdering van ortho-P in Voorhout was lager dan in een proef met een fosfaatbindende drain in Egmond. De oorzaak is waarschijnlijk het lagere ijzergehalte van het in Voorhout gebruikte ijzerzand. Het omhullen van het ijzerzand gaf geen problemen met de doorlatendheid van het zand en de water-afvoerende werking van de drains. De maatregel verkeert nog in een experimenteel stadium, maar biedt goede perspectieven voor het verminderen van de P-belasting van oppervlaktewater in gebieden met een kapitaalintensieve teelt op een goed doorlatende zandgrond (Bouwmeester, 2015). De maatregel is opgenomen in het milieukeur-certificatieschema voor ‘plantaardige producten uit open teelt’ en wordt daarmee door de sector als een perspectiefvolle maatregel gezien.

#### 4.4.4 Kosten en baten

De kosten en baten van de drainagemaatregelen kunnen niet vergeleken worden met de kosten en baten waarop de gebiedsgemiddelde of bouwplangemiddelde saldo-effecten in Par.4.1 en Par. 4.2 zijn gebaseerd.

##### *Nieuwe aanleg regelbare drainage*

De kosten van de aanleg van nieuwe regelbare drainage worden geschat op € 2400 per ha (Deltaproof STOWA, 2016). De aanleg is ongeveer twee keer zo duur als van conventionele drainage. De technische levensduur wordt geschat op 15–20 jaar.

In Stuijt *et al.* (2012) worden voorbeelden van veldexperimenten gegeven waarin de uitspoeling van nitraat en totaalstikstof toeneemt door de aanleg van drainage. Dit beeld wordt bevestigd door het modelonderzoek in deze studie. Op basis van theorie wordt verondersteld dat de uit- en afspoeling van fosfor naar het oppervlaktewater kan afnemen, maar experimentele gegevens over het effect van de aanleg van nieuwe drainage ontbreken. De milieukosten en -baten hiervan zijn echter moeilijk te kwantificeren.

De baten zijn tot op heden moeilijk te kwantificeren. Baten worden verwacht t.a.v.:

- Verbeterde bereikbaarheid en bewerkbaarheid van de grond.
- Verminderde behoefte aan beregening.
- Extra gewasopbrengst.

Voor het omzetten van bestaande drainage naar regelbare drainage (*omzetten drainage*) wordt voor de P-uitspoeling gemiddeld een toename berekend. Echter, het installeren van drainbuizen op percelen met hoge grondwaterstanden die voorheen nog niet gedraineerd waren (*nieuwe drainage*) leidt gemiddeld tot een vermindering van de P-uitspoeling van 0.32 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>). Als er van uitgegaan kan worden dat de baten door extra gewasproductie de kosten voor onderhoud compenseren, wordt op basis van de resultaten voor *nieuwe drainage* een kosteneffectiviteit van € 375 per kg P berekend. Dit getal is berekend door de kosten van de aanleg te delen op de levensduur om de jaarlijkse vervangingskosten vast te stellen. De jaarlijkse vervangingskosten wordt dan vervolgens gedeeld door het effect op de uit- en afspoeling van P (0.32 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>) dat berekend is voor deze maatregel in paragraaf 4.4.3.

---

### *Omzetten bestaande drainage naar nieuwe regelbare drainage*

Het vervangen van bestaande drainage naar regelbare drainage is even duur als de aanleg van nieuwe drainage op percelen die voorheen nog niet gedraineerd waren. Baten worden verwacht t.a.v.:

- Verminderde behoefte aan beregening.
- Extra gewasopbrengst door verbeterde vochtcondities.

Bij deze maatregel wordt verondersteld dat aan het onderhoud van de drainbuizen geen extra kosten verbonden zijn t.o.v. het onderhoud van een conventioneel drainagesysteem. Verder wordt verondersteld dat de meerkosten van het onderhoud aan de regelapparatuur wordt gecompenseerd door de baten. De kosten komen daarmee uit op € 120 per jaar. In paragraaf 4.4.3. is een reductie van de uit- en afspoeling van N van 6–19 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> aangegeven. De kosteneffectiviteit van het omzetten van bestaande drainage naar nieuwe regelbare drainage wordt dan berekend op € 6–21 per kg N. De maatregel leidt tot een verhoging van de uit- en afspoeling van P en daarmee zou de kosteneffectiviteit voor P negatief uitkomen.

### *Onderwaterdrainage in veengronden*

In 2006 zijn in polder Zeevang op twee praktijkbedrijven onderwaterdrains aangelegd voor een veldexperiment. Voor de drainage werd een goedkope alternatieve omhulling gebruikt, namelijk gerecyclede bollennetten. Deze omhulling is ontwikkeld door loonwerkbedrijf de Vlijt uit Noord-Beemster en wordt in Noord-Holland veel toegepast. De drains werden sleufloos gelegd. De kosten bedroegen in dit project € 1 per strekkende meter inclusief aanleg (commerciële prijs). De aanlegkosten van onderwaterdrains zijn ca. € 1 per meter drainlengte (prijspeil 2012). Hoving *et al.* (2008) schatten de aanlegkosten in op € 1666/ha, uitgaande van een drainafstand van 6 meter. De jaarlijkse kosten zijn daarbij € 165/ha, opgebouwd uit € 65 afschrijvingskosten (afschrijving van 25 jaar), € 75 rentekosten (rentepercentage van 4,5%) en € 25 onderhoudskosten (bij 1,5% onderhoud) (Hoving *et al.* 2008). Andere informatiebronnen schatten de kosten van onderwaterdrainage vergelijkbaar hoog in, namelijk op ca. € 1500–2000/ha (zie Agrarisch Waterbeheer, 2016d).

De baten voor de veehouder zijn op korte termijn vooral de verbeterde draagkracht door de drainerende werking en de beperking van droogte- en natschade. Op de langere termijn worden de baten groter, omdat de verminderde maaiveldaling door onderwaterdrainage leidt tot vlakke, minder holle percelen met een gunstiger verloop van de grondwaterstand voor berijden met machnies en gewasproductie. De kosten en baten voor de veehouder kunnen van veehouder tot veehouder variëren. Met extra geproduceerd ruwvoer kan op de aankoop van veevoeder worden bespaard. De besparing in een bepaald jaar is afhankelijk van de voerprijzen in dat jaar.

### *Ijzerzand-omhulde drains*

Voor de met ijzerzand-omhulde drains kan onderscheid gemaakt worden tussen de kosten van de drainbuizen en de meerkosten van het omhullen van deze drains. Omdat in de bollenteelt bijna altijd buisdrainage wordt toegepast, is het rekenen met enkel de meerkosten reëel, indien fosfaatbindende drains worden toegepast bij vervanging. Omdat onderhoud van de drains ook voor reguliere drainage nodig is, zijn er geen extra kosten nodig voor het onderhoud van de met ijzerzand omhulde drains (Hoogheemraadschap van Rijnland, 2015).

De investeringskosten bedragen € 2400–€ 11000 per ha, afhankelijk van de lokale omstandigheden en de schaal waarop de maatregel kan worden toegepast. Voor de levensduur van de met ijzerzand omhulde drains wordt een termijn van vijftien jaar gehanteerd. Bij P-vrachten naar het oppervlaktewater van 20–40 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> en een zuiveringspercentage van 60–90% wordt de kosteneffectiviteit op € 6–19 kg<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> geschat (Hoogheemraadschap van Rijnland, 2015). Bij de vrachten en concentratieniveaus in het Land van Zijpe zou de kosteneffectiviteit viermaal zo hoog zijn.

Volgens de Basisregistratie Percelen besloeg in 2013 het areaal bloembollen op zandgrond 8359 ha. Als over een periode van vijftien jaar deze maatregel in alle bloembollenpercelen op zandgrond wordt ingevoerd, is er jaarlijks voor 557 ha behoefte aan ijzerzand. Verwacht wordt dat voldoende ijzerzand beschikbaar is uit de reststoffenindustrie om in deze behoefte te voorzien.

---

## 5 Vergelijking opgave met effecten maatregelen

Op basis van Tabel 8 in paragraaf 3.5.2 zijn de benodigde reducties voor de uit- en afspoeling samengevat in Tabel 23. De variatie in percentages per gebied als gevolg van de keuze voor de toerekening van bodembronnen aan landbouw en de toedeling van de opgave aan alle bronnen of alleen de stuurbare bronnen<sup>36</sup>. De laagste waarde correspondeert met een toerekening van "bemesting" en "historische bemesting" aan landbouw, gecombineerd met een toedeling van de opgave aan alle bronnen. De hoogste waarde correspondeert met een toerekening van alle bodembronnen aan landbouw, gecombineerd met een toedeling van de opgave aan de stuurbare bronnen. Voor de reductie van de uit- en afspoeling van fosfor is in de klei- en veengebieden de laagste waarde het meest van toepassing en voor de zandgebieden met relatief weinig achtergrondbelasting en hoge stikstofoverschotten op de bodembalans in het verleden is de hoogste waarde het relevantst. Het lössgebied heeft relatief weinig oppervlaktewater en daardoor, per hectare landbouwgrond, een geringe uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater. De bijdrage van de lössgronden aan de belasting van het oppervlaktewater, en de daaruit voortvloeiende opgave om de uitspoeling te reduceren, is verwerkt in de stoffenbalans voor waterschap Roer en Overmaas.

---

<sup>36</sup> Bronnen die beïnvloedbaar zijn door landbouwkundig handelen (uit- en afspoeling door bemesting) en emissiebeperkende maatregelen (puntbronnen, overige bronnen).

**Tabel 23** Opgave voor het verminderen van de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor uit landbouwgronden.

Regio	Waterbeheerder 2010	Reductie uit- en afspoeling stikstof (%)	Reductie uit- en afspoeling fosfor (%)
<b>Zand Noord</b>			
	Hunze en Aa's	–	0.2 – 0.9
	Velt en Vecht	11 – 18	6 – 10
<b>Zand Midden en Oost</b>			
	Regge en Dinkel	23 – 33	4 – 39
	Groot Salland	0.1 – 0.2	0.1 – 0.4
	Rijn en IJssel	14 – 19	0.6 – 10
	Veluwe	3 – 5	2 – 7
	Vallei en Eem	12 – 18	15 – 61
<b>Zand Zuid</b>			
	Aa en Maas	29 – 39	25 – 53
	De Dommel	25 – 34	17 – 48
	Peel en Maasvallei	42 – 56	50 – 78
	Roer en Overmaas	39 – 40	26 – 45
<b>N- &amp; Centr. zeelei</b>			
	Noorderzijlvest	3 – 5	32 – 77
	Zuiderzeeland	0.1 – 0.3	2 – 4
<b>Rivierklei</b>			
	Rivierenland	1 – 3	4 – 16
<b>Laaqveen</b>			
	AGV	17 – 34	21 – 57
	S en K	8 – 17	12 – 71
<b>Veen en zand</b>			
	Reest en Wieden	0.1 – 0.2	7 – 16
	HDSR	0.4 – 0.6	6 – 30
<b>Noord overig</b>			
	Wetterskip Fryslân	8 – 14	8 – 13
<b>West</b>			
	HHNK	16 – 23	21 – 60
	Delfland	22 – 38	23 – 78
	Rijnland		
<b>Zuid-West</b>			
	Brabantse Delta	30 – 43	8 – 34
	Hollandse Delta	6 – 10	3 – 41
	Zeeuwse Eilanden	5 – 8	0.1 – 0.7
	Zeeuws-Vlaanderen	4 – 5	–

Waterschappen waarin de uit- en afspoeling van stikstof uit landbouwgronden met 20–40% moet worden verminderd, zijn het Twentse deel van de Vechtstromen, de zuidelijke waterschappen, Waternet, Hollands Noorderkwartier en Delfland. De opgave voor het reduceren van de uit- en afspoeling van fosfor uit landbouwgronden bedraagt 40–80% in het Twentse deel van de Vechtstromen, de zuidelijke waterschappen en de Gelderse vallei binnen het beheersgebied van Vallei en Veluwe. Voor Noorderzijlvest, Waternet, Hollands Noorderkwartier, Delfland en Rijnland bedraagt deze 20–35%. Voor andere gebieden bedraagt deze opgave 5–15%, terwijl voor Hunze en Aa's, Groot Salland, Zuiderzeeland en Scheldestromen nagenoeg geen opgave geldt.

Het effect van de maatregelen is samengevat in Tabel 24.

**Tabel 24** Samenvatting van het effect van enkele maatregelen op de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor. Weergegeven is het reductiepercentage.

Maatregel	Zandgebieden Noord + Midden	Zandgebied Zuid	Kleigebieden
<b>Stikstof</b>			
Keuze voor akkerbouwgewassen in zuidelijke zandgebied		5 – 10%	
Bodemverbetering door opheffen verdichting en aanvoer compost	10 – 25%	7 – 11%	11 – 18%
Hogere benutting mest door plaatsing, timing en maximale inzet vanggewas	12 – 17%	15 – 23%	0 – 6%
Aanleg nieuwe regelbare drainage natte gronden		-33%	
Omzetten gewone drainage naar regelbare drainage		30%	27 – 35%
<b>Fosfor</b>			
Keuze voor akkerbouwgewassen in zuidelijke zandgebied		0 – 2%	
Bodemverbetering door opheffen verdichting en aanvoer compost	0 – 8%	0 – 4%	onduidelijk
Hogere benutting door plaatsing, timing en maximale inzet vanggewas		Geringe effecten	
Aanleg nieuwe regelbare drainage natte gronden		25%	
Omzetten gewone drainage naar regelbare drainage		Negatief, klein areaal positief	

Voor de zandgebieden zijn effecten van maatregelen berekend variërend van 5–10% tot 15–25% reductie van de uit- en afspoeling van stikstof per maatregel. Deze reducties zijn een gevolg van een verbeterde benutting van stikstof als gevolg van verbeterde productieomstandigheden en nauwkeuriger bemesten. Door een combinatie van maatregelen lijkt in de zandgebieden een groot deel van de opgave voor reductie van de uit- en afspoeling van stikstof naar het regionale oppervlaktewater gerealiseerd te kunnen worden. Voor klei- en veengebieden in West-Nederland wordt verwacht dat de maatregelen slechts gedeeltelijk zullen bijdragen aan het realiseren van de opgave in deze gebieden.

De opgave voor de reductie van de P-uitspoeling uit landbouwgronden lijkt slechts voor een beperkt deel gerealiseerd te kunnen worden met de beschouwde maatregelen. Ook door een combinatie van de maatregelen is de gewenste reductie niet te realiseren.

---

## 6 Discussie

### 6.1 Afleiding van de bronverdeling van nutriënten in het oppervlaktewater

#### 6.1.1 Definities

De vraag naar informatie over de herkomst van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater wordt overwegend gesteld om actoren te identificeren die een verantwoordelijkheid of rol hebben in de vermindering van de N- en P-concentraties. Daarnaast is inzicht nodig in de herkomst van nutriënten bij het overwegen van maatregelen die een dergelijke vermindering teweeg zouden kunnen brengen. Ten aanzien van bronnen van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater is het van belang heldere en eenduidige termen te gebruiken. Enkele aspecten dienen nader uitgezocht of afgesproken te worden:

- Het onderscheid tussen *antropogene* en *andere bronnen* is moeilijk te maken. In 2012 is ter ondersteuning van de nutriëntenaanpak in deelstroomgebied Rijn-West een systematiek voorgesteld. In deze aanpak worden bronnen onderverdeeld in “antropogeen” en “natuurlijk”. Een andere onderverdeling is in “beïnvloedbaar” en “niet-beïnvloedbaar” of “stuurbaar” en “niet-stuurbaar”. Deze begrippen zijn afhankelijk van het discussiekader en de reikwijdte van maatregelen die overwogen worden. Indien alleen bemestingsmaatregelen worden overwogen, kan kwel als “natuurlijk” en “niet-beïnvloedbaar” worden beschouwd. Als ingrepen in de waterhuishouding worden overwogen, is kwel meestal wel beïnvloedbaar. Ook in discussies over de herkomst van bronnen kan kwel verschillend worden geduid. In de diepe polders van West-Nederland is kwel ontstaan door bemaling en ontwatering. Dit zijn menselijke ingrepen ten behoeve van landbouwkundig gebruik, maar die buiten de handelingsruimte vallen van een individuele agrariër.
- Het begrip *kwel* wordt verschillend geïnterpreteerd. In eco-hydrologische studies wordt kwel vaak geïnterpreteerd als de opwaartse waterflux die de wortelzone van een vegetatie bereikt. In grondwaterstudies is het referentievlak voor kwel vaak op de overgang van een freatisch pakket en een slecht doorlatende laag. In het begrippenkader van het STONE-model is kwel de flux die aan de onderzijde van het model het rekendomein binnentreedt. De fosfaatvoorraad in het ondiepe grondwater tot een diepte van 13 m is afgeleid uit de studie van Griffioen *et al.* (2006). De definitie van kwel heeft tot gevolg dat de hoeveelheid stikstof en fosfor die tussen maaiveld en de onderkant van het model wordt gemobiliseerd (en met de waterstroming in het oppervlaktewater terechtkomt) niet als kwel, maar als nalevering uit de bodem wordt gerekend. De gemobiliseerde stikstof en fosfor in het verzadigde grondwater van het STONE-model kan echter wel in vorige eeuwen door kwel zijn aangevoerd. Indien in vorige eeuwen kwel aanwezig was, en nu nog steeds aanwezig is, is het onderscheid tussen levering uit het sediment in het ondiepe grondwater en levering door kwel niet scherp te maken. In dergelijke situaties kan beter met de som van beide termen worden gerekend. In dit rapport is de bijdrage door kwel gedefinieerd als de opwaartse flux op 13 m diepte. Gemobiliseerde stikstof en fosfor uit de laag tussen maaiveld en 13 m diepte is in dit rapport toegekend aan de bron: “nalevering uit de bodem, niet gerelateerd aan landbouw”.
- Het begrip *historische* bemesting is een relatief begrip. Het hangt af van het tijdstip vanwaar men naar het verleden kijkt welke periode als *historisch* te is beschouwen. Als vanuit 2027 wordt geredeneerd en de verdeling van bronnen in dat jaar wordt vastgesteld, is het nutriënten-overschot tot en met 2026 als *historisch* te beschouwen. Het doel van de bronnenanalyse is daarmee bepalend voor de wijze waarop deze post wordt vastgesteld en ook voor de omvang van deze post. Dit maakt het moeilijk om de resultaten van verschillende studies met elkaar te vergelijken. Dit punt wordt nader aangeduid in paragraaf 6.1.3. Bij het maken van nadere afspraken over definities voor bronnenstudies is het goed om hier aandacht aan te geven.



---

### 6.1.2 Gebiedsindeling

Bij het afleiden van de opgave voor landbouw is uitgegaan van de waterkwaliteitsbeoordeling voor de waterlichamen. Aan ieder waterlichaam, voor zover mogelijk, is een invloedgebied toegewezen waarvoor stoffenbalansen zijn opgesteld. Over de aanpak zijn enkele opmerkingen te maken.

- De keuze om bij het afleiden van de opgave voor de landbouw uit te gaan van de waterkwaliteitsbeoordeling van waterlichamen heeft tot gevolg dat de kleinere wateren waaraan ook doelen gesteld kunnen zijn (Evers *et al.* 2013) buiten beeld vallen. Voor de overige wateren die niet als waterlichaam zijn aangemerkt, geldt geen monitorings- en resultaatverplichting (Planbureau voor de Leefomgeving, 2014). In de omgevingsvisie van een aantal provincies is aangegeven dat het ook voor deze wateren van belang is een ecologisch doel af te leiden. Provincies zijn in overleg met waterschappen om te inventariseren om welke wateren het gaat. Enkele provincies streven ernaar om binnen enkele jaren de ecologische doelen van de overige wateren vast te leggen. De provincie Noord-Brabant heeft de doelen al vastgelegd in het provinciale water- en milieuplan voor 2016–2021 (Van Herpen *et al.* 2015).
- Binnen deze studie kon met deze ontwikkeling nog geen rekening worden gehouden. Mogelijk kan in de toekomst aan een deel van het bezwaar – dat de beoordeling heeft plaatsgevonden voor alleen wateren die als waterlichaam zijn aangemerkt – worden tegemoetgekomen door het toevoegen van meetpunten uit het Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater (Klein en Rozemeijer, 2015).
- De waterlichamen in Friesland en van het Hoogheemraadschap van Rijnland zijn geclusterd, omdat de watersystemen in deze gebieden sterk met elkaar verbonden zijn en het moeilijk is om individuele invloedgebieden te onderscheiden. Door de clustering zijn kleine elementen soms weggevalen en is de waterkwaliteitsbeoordeling van de in oppervlak dominante waterlichamen bepalend geweest voor de bepaling van de opgave. De uiteindelijke opgave voor de landbouw in Tabel 6 laat voor het Hoogheemraadschap van Rijnland de waarde nul zien voor stikstof, terwijl enkele kleinere waterlichamen niet aan de norm voor stikstof voldoen. De waarde nul is een onderschatting voor dit gebied. Een preciezere schatting zou een gedetailleerdere modellering van het oppervlaktewatersysteem vergen, waarbij het de vraag is of de modelinputs voor een dergelijke gedetailleerde modellering nauwkeuriger geschat kunnen worden dan in deze studie is gedaan.
- Voor de koppeling van de waterlichamen aan afwateringsgebieden is een nieuwe gebiedsindeling gemaakt, waarbij de ECHO-gebieden – die gebruikt zijn in verschillende landelijke studies – verder zijn opgesplitst. Er is gekozen voor deze werkwijze, omdat de ECHO-schematisering samen met de waterbeheerders zijn opgesteld en gecontroleerd. Binnen het bestek van deze studie was het niet mogelijk om deze gebiedsindeling samen met de betreffende waterbeheerder te controleren. Aanbevolen wordt om de nieuwe gebiedsindeling met de betreffende waterbeheerders te controleren en waar nodig bij te stellen.

### 6.1.3 Onderscheid in bronnen

Bij de berekening van de bronnen van diffuse uit- en afspoeling uit landbouwgronden zijn andere definities gehanteerd dan voor de ex-post Evaluatie Mestwetgeving 2012 (Van der Bolt en Schoumans, 2012).

1. Voor de ex-post Evaluatie is de verdeling van bronnen in het recente verleden in beeld gebracht. In de berekeningen is dit in beeld gebracht door de verdeling tussen depositie, bemesting, bodem, kwel en inlaat water te baseren op de periode 2001–2010. Deze verdeling is o.a. beïnvloed door de weersomstandigheden en de afnemende mestgiften in deze periode. De nadere onderverdeling binnen de bron bodem in een bijdrage “bodem” en een bijdrage “mest in het verleden” is afgeleid uit een gevoeligheidsanalyse voor de tijdreeks van mestinput in de periode 1940–2000.
2. Het doel van het afleiden van de bronnen voor deze studie was het vaststellen van de opgave voor landbouwnatuurgronden. Hierbij is ervan uitgegaan dat het recent ingezette mestbeleid – en trends veroorzaakt door mestbeleid in het verleden – in de toekomst nog invloed uitoefenen op de verdeling van de bronnen. Daarom is de relatieve verdeling van de bronnen van diffuse uit- en afspoeling uit landbouwgronden afgeleid voor het eindjaar van de 3<sup>de</sup> planperiode van de Stroomgebiedbeheersplannen in 2027. Binnen de totale bronverdeling is uitgegaan van de voorspelde bronverdeling van uit- en afspoeling uit landbouwgronden in 2027, maar de andere

---

bronnen zijn gebaseerd op EmissieRegistratie 2013. Voor de overige agrarische bronnen, de puntbronnen en bronnen zoals waterinlaat, zijn geen schattingen gemaakt voor 2027.

De verschillende motieven voor het afleiden van bronnen en de gehanteerde definities leiden tot een verschuiving van de onderlinge verhouding tussen de bijdrage "bodem" en de bijdrage "mest in het verleden". Het onderscheid in beide benaderingen is voor discussie vatbaar. Daarom zijn in paragraaf 3.5.2 opties onderscheiden voor het afleiden van de opgave voor de landbouw, waarbij in de minimale variant de bron bodem niet aan landbouw wordt toegerekend en in de maximale variant de bron bodem in zijn geheel aan landbouw wordt toegerekend.

De bijdrage van natuurgronden aan de belasting van de regionale wateren is in paragraaf 3.4 geschat op 7,4% voor stikstof en 8,8% voor fosfor. Deze getallen zijn moeilijk te verifiëren of te falsificeren, omdat weinig of geen vrachtmetingen uit natuurgebieden voorhanden zijn. In Figuur 11 lijkt de uitspoeling uit natuurgrond in de zeekelegebieden hoog te zijn. Echter, het oppervlakteaandeel natuur op zeekelegrond is relatief laag. Het hoge getal voor de bijdrage uit natuurgronden heeft weinig invloed op het landelijke beeld. In de discussie over de herkomst van nutriënten in het oppervlaktewater is het wenselijk om de rol van natuur te concretiseren. Dit kan bijvoorbeeld door meetgegevens van natuurgronden te verkrijgen die specifiek op dit doel zijn toegespitst.

#### 6.1.4 Onzekerheden

##### Afleiden relatieve opgave

Voor het vaststellen van de mate van normoverschrijding van de stikstof- en fosforconcentratie in het regionaal oppervlaktewater op het niveau van de waterlichamen, is gebruikgemaakt van de nutriëntenconcentraties die door Royal Haskoning DHV in het kader van de ex-ante-evaluatie van de KRW zijn afgeleid. De nutriëntenconcentraties zijn afkomstig van het Waterkwaliteitsportaal en betreft gemiddelde nutriëntenconcentraties over de periode 2011 t/m 2013. Wanneer gebruikgemaakt wordt van een andere periode of van het recentste jaar (2015), zal dit effect hebben op de relatieve opgave voor een waterlichaam. Het gebruik van een gemiddelde nutriëntenconcentratie over een langere periode i.p.v. een jaar (bijvoorbeeld 2015) heeft als voordeel dat rekening wordt gehouden met de variatie in nutriëntenconcentraties als gevolg van de variatie in neerslagoverschot (weerseffecten). Naast veranderingen in de nutriëntenconcentraties zal de relatieve opgave ook veranderen wanneer de normconcentratie in de toekomst eventueel wordt aangepast.

Voor het vaststellen van de opgave van de landbouw voor het realiseren van de gewenste nutriëntenconcentraties in het kader van de KRW is geen rekening gehouden met afwenteling naar benedenstroomse regionale waterlichamen en Rijkswateren. Wanneer rekening wordt gehouden met afwenteling zal de opgave voor de landbouw voor gebieden veranderen. Afhankelijk van de situatie kan de opgave van de landbouw in een gebied groter of kleiner worden. De opgave van de landbouw zal groter worden wanneer blijkt dat de nutriëntenconcentraties in de Rijkswateren nog steeds niet aan de gewenste nutriëntenconcentraties voldoen. Daarentegen kan de landbouwopgave voor benedenstroomse gebieden lager worden, wanneer de afname van de aanvoer vanuit bovenstroomse gebieden, als gevolg van het realiseren van de nutriëntenconcentraties in het bovenstroomse gebied zodanig groot is dat ook benedenstrooms aan de nutriëntenconcentraties wordt voldaan.

Op basis van deze uitgangspunten wordt een totale opgave berekend van 24,1 miljoen kilo stikstof per jaar voor alle bronnen samen en 2,3 miljoen kg fosfor per jaar. Dit komt overeen met 29% van de jaarlijkse stikstofbelasting die voor de periode 2010–2013 wordt berekend en 36% van de jaarlijkse fosforbelasting. Indien rekening wordt gehouden met de afwenteling naar benedenstroomse regionale waterlichamen en Rijkswateren kan de opgave groter of kleiner worden.

- De opgave zou groter worden als de aanvoer van nutriënten uit bovenstroomse gebieden onvoldoende afneemt en/of de normen voor N- en P-concentraties in de Rijkswateren worden overschreden.
- De opgave zou kleiner worden als de gerealiseerde reductie van de bovenstrooms aanvoer van nutriënten groter is dan de berekende opgave voor het inlaatwater. De opgave wordt ook kleiner als de overige niet agrarische bronnen sterker dan proportioneel afnemen.

### Bijdrage bronnen

Van de totale belasting van het regionale oppervlaktewater wordt 55% van de N-belasting en 59% van de P-belasting toegekend aan de uit- en afspoeling uit landbouwgronden (Tabel 3 en 4). In het Compendium voor de Leefomgeving<sup>37</sup> worden hogere cijfers genoemd. Deze cijfers zijn hoger omdat: geen onderscheid gemaakt wordt tussen uitspoeling uit landbouwgronden en uit natuurbodems; de import met grensoverschrijdende beken niet worden meegerekend.

De door STONE berekende vracht vanuit natuurgronden is lokaal hoog (paragraaf 3.3). De stikstof-uitspoeling uit natuurgronden zou 28 tot 62% bedragen van de waarde die voor landbouwgronden wordt berekend. Voor de fosforuitspoeling bedraagt deze 37 tot 75% van de waarde die voor landbouwgronden wordt berekend. Deze berekende uitspoeling uit natuurgronden kent een grote onzekerheid en deze getallen zijn nagenoeg niet te valideren aan meetgegevens (zie paragraaf 6.1.3). Bij een lagere vracht uit natuurgebieden neemt het relatieve aandeel van landbouw in de totale belasting toe.

De import met grensoverschrijdende beken is in de ECHO-methodiek afgeleid van metingen aan concentraties en afvoeren. Opgemerkt wordt dat de metingen niet voor 100% dekkend zijn en voor een gedeeltelijk verouderd zijn. Bij een 100% dekkingsgraad aan metingen zou deze vracht wat hoger uitkomen.

In de achtergronddocumentatie van de EmissieRegistratie is een factsheet opgenomen over de onzekerheid van de resultaten van het STONE-model (Renaud *et al.* 2015). Een aantal onzekerheidsbronnen is onderscheiden en er is een onderscheid gemaakt in de toepassing van gegevens op de landelijke schaal en de toepassing van resultaten voor individuele ER-gebieden (Tabel 25). In de schematisering van Nederland in ER-gebieden zijn er 352 eenheden. Geschat is dat de totale onzekerheid voor de landelijke schaal 25%–50% kan bedragen en de onzekerheid voor individuele ER-gebieden 100%–200%. Dit betreft de schattingen van de totale N- en P-uitspoeling uit landbouw- en natuurgronden. Het geeft aan dat de resultaten niet zomaar toepasbaar zijn in een lokale situatie. Dit geldt ook voor de resultaten in dit rapport ten aanzien van de verdeling van bronnen en de effecten van maatregelen. Deze resultaten gelden alleen als gemiddelde resultaten voor grotere gebieden.

**Tabel 25** Indicaties van onzekerheden in de uit- en afspoeling van nutriënten berekend met STONE2.4 (bron: Renaud *et al.* 2015).

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

In deze studie zijn getallen gebruikt die wat betreft de ruimtelijke schaal tussen de landelijke schaal en de schaal van ER-gebieden in liggen (waterschappen). Bij de uitsplitsing naar bronnen in de

<sup>37</sup> <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0192-Belasting-van-oppervlaktewater-met-vermestende-stoffen.html?i=5-117>

---

verschillende beheersgebieden van hoogheemraadschappen en waterschappen is het te verwachten dat de onzekerheid in de schatting van de bronverdeling groter is dan de onzekerheid van de totale uitspoeling.

Om meer zekerheid te krijgen in de verdeling van bronnen zijn meetgegevens nodig:

- Metingen van de nutriëntenconcentraties en -vrachten in het oppervlaktewater dat vanuit natuurgebieden naar regionale wateren stroomt.
- Metingen van nutriëntenconcentraties in het ondiepe grondwater van de gebieden die een hoge belasting door kwel, ontwatering (veengebieden) of inpoldering en ontginning (zeekleigebieden) laten zien. Bij voorkeur worden deze metingen verricht op de systeemgrenzen van het ontvangende oppervlaktewater: onder de slootbodem en onder de insteek van sloottaluds.

Daarnaast kan een meer geavanceerde rekenmethode het onderscheid tussen de bronnen kwel – bodem – historische bemesting scherper in beeld brengen. De nu gehanteerde methode is gebaseerd op een gevoeligheidsanalyse waarin keuzes gemaakt zijn voor de indeling van de bodem in compartimenten. In een nog nieuw te ontwikkelen rekenprocedure kan het water, de organische stof, de stikstof en de fosfor in de bodem gelabeld zodat de lotgevallen van elk portie van een stof in de loop van de tijd gevolgd kunnen worden.

## 6.2 Effecten van maatregelen

### 6.2.1 Verbetering bodemstructuur

Voor het bepalen van het effect van een verbeterde bodemstructuur op de nitraatconcentraties en de uit- en afspoeling van stikstof is de relatie tussen bodem en gewasproductie een belangrijke verklarende factor. Bij gelijkblijvende mestgiften wordt bij verbeterde groeiomstandigheden de stikstof beter benut. In het project “Goede grond voor een duurzaam watersysteem” (Schipper *et al.* 2015) werd berekend dat de langjarig gemiddeld minder opbrengstderving door droogte optreedt door een beter bufferend vermogen van de bodem. Het langjarig gemiddelde is 3–5% voor grasland en 0–2% voor snijmais. In extreem droge jaren is het effect veel groter. Voor grasland werd in het droge jaar 2003 een vermindering van de opbrengstderving (dus dichterbij optimale productie) berekend van 17–23% en 3–41% voor snijmais. Dergelijke cijfers worden bevestigd door informatie uit oude veldproeven (Alblas *et al.* 1994). Zij vonden een opbrengstreductie van 15% voor snijmais op ernstig verdichte gronden en 4% op matig verdichte gronden.

Het in paragraaf 4.2.3 gepresenteerde effect van bodemverbetering op de nitraatconcentraties en de N-belasting van oppervlaktewater wordt beschouwd als potentieel effect van wat haalbaar zou kunnen zijn. In de praktijk zullen de effecten kleiner zijn, omdat de omstandigheden minder optimaal zijn dan in de berekeningen is verondersteld.

Het effect van bodemverbetering op de P-uitspoeling (paragraaf 4.2.3) laat een wisselend beeld zien. De verbetering van de maaiveldligging als belangrijke factor voor de uit- en afspoeling van P is in de modelberekening niet meegenomen. Ondiepe en oppervlakkige transportprocessen zijn moeilijk te kwantificeren en er zijn weinig meetgegevens over de P-afspoeling uit systematische en deugdelijke veldexperimenten beschikbaar. Voorbeelden zijn de metingen in Waardenburg (Van der Salm *et al.* 2006) op een zware komkleigrond, metingen aan het effect van een bufferstrook in Winterswijk (Noij *et al.* 2012) en metingen op een zandgrond in Noord-Limburg (Massop *et al.* 2012). De oppervlakkige afstroming vindt meestal plaats op een beperkt deel van een perceel en het is moeilijk om de meetgegevens op te schalen naar het gehele perceel of naar gebieden. In de modelberekeningen met STONE is het moeilijk om de processen die verantwoordelijk zijn voor oppervlakkige afspoeling correct te berekenen. Hiervoor zou nodig zijn:

- Een kleinere rekentijdstep in het hydrologische model zodat het effect van hevige regenbuien in de zomer goed berekend kan worden.
- Een beschrijving van het maaiveld waarin recht gedaan wordt aan de helling en de ruwheid. In het huidige model kan wel volvelds water op het maaiveld staan, maar wordt geen rekening gehouden met plassen en de connectiviteit tussen maaiveldplassen en aangrenzende waterlopen.

---

De meettechnieken en de gegevensverzameling maken een sterke ontwikkeling door en verwacht wordt dat berekeningen van oppervlakkig P-transport binnen enkele jaren wel mogelijk zal zijn.

Verwacht wordt dat ondanks de uitkomsten van de berekeningen bodemverbeterende maatregelen waarbij de conditie van het maaiveld wordt verbeterd, in de praktijk voor fosfor tot grotere positieve effecten zullen leiden dan de modeluitkomsten aangeven.

### 6.2.2 Verbetering nutriëntenbenutting door plaatsing en tijdstip van bemesting

Voor de nitraatconcentraties en N-belasting van het oppervlaktewater (paragraaf 4.3.3) wordt een vermindering berekend als gevolg van een verbeterde plaatsing en timing van bemesting. Dit geldt zowel voor de akkerbouw als voor de melkveehouderij.

In de akkerbouw worden de maatregelen gerealiseerd door scherp te sturen op de kwaliteit en de hoeveelheid dierlijke mest, het tijdstip van de mestgiften en een deel van de kunstmest achterwege te laten door een optimale inzet van vanggewassen. Bij deze maatregel is niet gekeken naar het effect van een gedeeltelijke vervanging van rundermest door varkensmest op akkerbouwgrond. In de STONE-berekeningen wordt aangenomen dat een deel van de dierlijke mest in de akkerbouw gegeven wordt als rundermest. Effecten van de mestmarkt op de uitspoeling worden besproken in paragraaf 6.3. Met varkensmest is beter te sturen dan met rundermest, omdat varkensmest een hogere kortetermijnwerking heeft en minder verliezen heeft na het groeiseizoen. Aan de andere kant is het effect van de werking van vanggewassen optimistisch ingeschat. In de praktijk hangt het van lokale omstandigheden af of vanggewassen erin slagen een substantieel deel van de N-rest na het groeiseizoen vast te houden.

Voor de melkveehouderij wordt verondersteld dat de maatregel te implementeren is door het vergroten van de mestopslag, waardoor geen mest in het vroege voorjaar en meer mest vlak voor het begin van het groeiseizoen kan worden uitgereden. Opgemerkt wordt dat bij het wachten met bemesting de marge om rekening te houden met weersomstandigheden kleiner wordt. Door de betere benutting van dierlijke mest kan worden gekort op de kunstmestgift. In de berekeningen kon echter nog geen rekening gehouden met de specifieke weersomstandigheden in een bepaald jaar. De uitrijtijdstippen zijn voor alle jaren gelijk gemodelleerd. Om met verschillen rekening te houden, zou een ingreep in de modelstructuur nodig zijn die buiten het bestek van de studie lag. In de gebruikte modellen voor deze studie wordt grasland vanaf 15 maart bemest en vindt de grootste dosering van de voorjaarsbemesting in de eerste twee weken van april plaats. Bij een meteo-specifieke bemesting, bijv. aan de hand van een temperatuursom, is een groter effect te verwachten dan uit onderhavige studie naar voren komt.

Opvallend is het geringe berekende effect op de N-belasting van het oppervlaktewater uit kleigronden (paragraaf 4.3.3). Zonder inzet van vanggewassen na akkerbouwgewassen op deze gronden werd een lichte afname van de organische stofvoorraad berekend en met de inzet van vanggewassen blijft het organische stofgehalte stabiel. De stikstof die zonder vanggewassen werd gemineraliseerd kwam gedeelte ten goede aan gewasopname. Bij de inzet van vanggewassen, gecombineerd met een verlaging van de kunstmestgiften, wordt een iets lagere gewasopname berekend. Deze twee effecten compenseren elkaar en het nettoresultaat is dat de uitspoeling ongeveer gelijk blijft. Voor de melkveehouderij op de kleigronden wordt berekend dat het stikstofoverschot op de bodembalans gemiddeld  $12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  daalt. Deze daling gaat echter ook gepaard met een vermindering van de denitrificatie. De mestgiften vinden plaats in een periode waarin de grondwaterstanden iets lager zijn en de bodem iets droger is. De stikstof wordt beter benut en de verliezen zijn kleiner, alleen komt dit niet tot uiting in een verminderde uitspoeling naar het oppervlaktewater.

Het effect van een verbeterde nutriëntenbenutting door plaatsing en tijdstip van bemesting op zandgronden is anders en groter dan op kleigronden. Dit werd ook verwacht. Voor de zeekleigronden geldt dat de N-belasting van het oppervlaktewater in grotere mate wordt bepaald door kwel en nalevering van de bodem niet gerelateerd aan landbouw dan voor de zandgronden. De verschuiving in processen in de kleigronden en het netto-effect op de uitspoeling naar het oppervlaktewater geven aan dat:

- Het uiteindelijke effect is een resultante van verschillende processen en afhankelijk van de subtiele verschuivingen in de processnelheden.
- Het effect in de praktijk berust op maatwerk; de specifieke veldomstandigheden die de succes- en faalfactoren bepalen zijn moeilijk in rekenmodellen te veralgemeniseren.
- Een vanggewas na akkerbouwgewassen kan ondanks het geringe effect op de uitspoeling naar het oppervlaktewater toch gunstig zijn voor het behoud van de bodemkwaliteit, en deze zo mogelijk verbeteren. De precieze inzet van deze vanggewassen en het bijbehorende nutriëntenmanagement vraagt nog om nadere aandacht.

### 6.2.3 Regelbare drainage

Over de effecten van regelbare drainage bestaan verschillende opvattingen. Enkele citaten:

- *“In veel gevallen is peilgestuurde drainage als anti-verdrogingsmaatregel of ter voorkoming van nutriëntenuitspoeling een mythe.” (Schaap en Van Essen, 2013.).*
- *“Peilgestuurde drainage zorgt niet voor een verminderde uit- en afspoeling van nitraat en fosfor naar het oppervlaktewater. Door de afgenomen drainafvoer zijn wel de fosforvrachten via de drains afgenomen. Hier staat echter tegenover dat de verminderde afvoer via de drains gecompenseerd wordt door extra afvoer van ondiep grondwater en extra oppervlakkige afstroming. De toename van deze stromingsroutes beïnvloedt de oppervlaktewaterkwaliteit waarschijnlijk negatief” (Rozemeijer et al. 2012).*

Het effect van het aanleggen van regelbare drainage in kleigronden door de vervanging van conventionele drainage laat zich moeilijk voorspellen. Voor zandgronden is het effect gemakkelijker te voorspellen als informatie aanwezig is over bodem en hydrologie. Verschillende processen kunnen voor de kleigronden het uiteindelijke effect bepalen. Er zijn meerdere processen die in theorie kunnen leiden tot een vermindering van de uit- en afspoeling:

- Regelbare drainage zou in de zomer een verbeterde vochtvoorziening voor gewasproductie tot gevolg kunnen hebben. Door een verhoogde gewasproductie neemt de efficiency van toegediende meststoffen toe, met een lagere uit- en afspoeling als gevolg.
- Door regelbare drainage droogt het bodemprofiel in de zomer minder sterk uit dan met conventionele drainage, met minder krimpscheuren en een verminderd risico op uit- en afspoeling door extreme neerslag als gevolg.
- Door regelbare drainage, in combinatie met verdiepte drainbuizen, verandert het patroon van stroombanen van water dat via drainbuizen wordt afgevoerd. Het toevoegen van extra bindingscapaciteit in de bodem zou kunnen leiden tot een vermindering van de uit- en afspoeling.
- Regelbare drainage vermindert de waterafvoer en vermindert de kwelflux waardoor minder fosfaat vanuit de ondergrond wordt aangevoerd.
- 

Er zijn drie processen die tot een toename van de uit- en spoeling kunnen leiden:

- Het omzetten van conventionele drainage naar regelbare drainage leidt gemiddeld tot iets hogere grondwaterstanden en verkleint daarmee de berging bij piek-regenbuien. Dit geeft een groter risico op uit- en afspoeling uit de zone die direct afwatert naar waterlopen.
- Doordat het profiel gemiddeld iets vochtiger is, neemt in de aanwezigheid van organische stof de reductiecapaciteit van de laag tussen 50 cm en 120 cm diepte iets toe. Dit kan leiden tot een grotere mobiliteit van fosfaat. Uit de laag tussen 50 cm en 120 cm wordt nagenoeg geen fosfaat opgenomen en vindt wel uitspoeling plaats.
- Door de verandering van het patroon van stroombanen naar de verdiepte drains stroomt het water gemiddeld iets dieper door de bodem. In gebieden met opwaartse kwel en hoge p-concentraties in de ondergrond kan hierdoor meer van het fosfaat uit de zone dieper dan 120 cm in de drain terecht komen.

In paragraaf 4.4.3 is aangegeven dat het omzetten van conventionele drainage naar regelbare drainage met verdiepte drains leidt tot een reductie van de uit- en afspoeling van stikstof, maar gebiedsgemiddeld tot een toename van de uit- en afspoeling van fosfor. Dit resultaat is tegenstrijdig met de modelverkenning van Van der Salm (2015), waarin gevonden werd dat deze maatregel voor bijna alle gedraineerde percelen in West- en Noord-Nederland zal bijdragen aan de reductie van de belasting van het oppervlaktewater.

---

In de studie van Van der Salm (2015) is het PLEASE-model toegepast (Schoumans *et al.* 2013). Het PLEASE-model is oorspronkelijk opgezet voor de identificatie van fosfaatlekkende gronden. Op basis van enkele kaart- en veldkenmerken kan een risico op fosfaatuitspoeling worden geschat. Met het oog op dit doel zijn de procesformuleringen eenvoudig gehouden. De hydrologie wordt in PLEASE sterk vereenvoudigd beschreven.

Aanvankelijk leken de resultaten van deze studie voor kleigronden tegenstrijdig te zijn met de resultaten van Van der Salm (2015). Naar aanleiding van deze tegenstrijdigheid is een grondige inspectie uitgevoerd. Daaruit bleek dat voor de afleiding van formules voor het berekenen van effecten in het PLEASE-model een foutieve referentie was gebruikt. Voor de situatie waarin een systeem met conventionele buisdrains wordt omgezet naar een systeem met regelbare drains is een nieuwe relatie afgeleid. Met deze nieuwe relatie wordt ook met PLEASE berekend dat op 64% van het oppervlak van de kleigronden met buisdrains een toename van de P-uitspoeling zal plaatsvinden en dat op 36% van het oppervlak geen verandering of een afname zal plaatsvinden. De nieuwe resultaten van het PLEASE-model stemmen daarmee in grote lijnen overeen met de resultaten in deze studie.

In de berekening van het effect van regelbare drainage op de uitspoeling is geen rekening gehouden met een effect op de zouthuishouding. Mogelijk leidt regelbare drainage in de kustgebieden tot een verminderde uitdroging van de wortelzone in het groeiseizoen en kan productieschade door te hoge zoutconcentraties worden voorkomen of verminderd. Aan de andere kant vraagt regelbare drainage vaak om een inrichting van het afwateringssysteem dat soms moeilijk te verenigen is met de praktijk waarbij met diepe waterpeilen een deel van de zoute kwel wordt afgevangen.

De verwachtingen ten aanzien van het effect van deze maatregel zijn voornamelijk gebaseerd op verkennende modelberekeningen (bijv. Van Bakel *et al.* 2007; Van der Salm *et al.* 2015), maar wordt niet ondersteund door praktijkervaringen. In paragraaf 4.4.3 is in Figuur 25 aangegeven dat voor het grootste deel van de kleigronden een toename van de uit- en afspoeling van P wordt berekend, maar voor een ander deel toch ook een reductie. Zowel de STONE-berekeningen in deze studie als de berekeningen met PLEASE (Van der Salm *et al.* 2015) geven aan dat het effect van drainage-maatregelen sterk afhangt van de lokale omstandigheden. Het succes van de maatregel is maatwerk en dit maatwerk is moeilijk met een rekenmodel te beschrijven.

## 6.3 Invloed van de mestmarkt op het realiseren van de nitraatdoelstelling door akkerbouw in het zuidelijke zandgebied

### 6.3.1 Achtergrond en aanpak

De ontwikkelingen op de mestmarkt hebben er de laatste jaren toe geleid dat van de aangewende stikstof met dierlijke mest ca. 60–80% als rundermest wordt toegediend (Tabel 9). Rundermest heeft een hoger uitspoelingsrisico dan varkensmest. Vanwege de kleinere N-mineralisatiesnelheid van rundermest dan van varkensmest wordt een kleiner deel van het organisch gebonden N in het groeiseizoen benut. Van rundermest komt een groter deel van het organisch gebonden N buiten het groeiseizoen vrij.

Het is niet te voorzien of de verdringing van varkensmest door rundermest op de mestmarkt nog verder zal toenemen. Langetermijnprognoses over de samenstelling van de veestapel lopen uiteen. Een eventuele verhoging van de werkingscoëfficiënt van rundermest zal naar verwachting ook effect hebben op de verhouding van het gebruik van rundermest en varkensmest door akkerbouwers. De ontwikkelingen op het gebied van mestverwerking gaan snel en het is niet te voorspellen of het op termijn voor akkerbouwers aantrekkelijker wordt varkensmest in te zetten in plaats van rundermest.

Bij de afleiding van gebruiksnormen voor akkerbouwgewassen is verondersteld dat de toepassing van dierlijke mest door akkerbouwers gebeurt in de vorm van varkensmest. In navolging hiervan is ook bij

de afleiding van de effecten van equivalente maatregelen van deze veronderstelling uitgegaan (Schröder *et al.* 2015).

In deze paragraaf zijn de gevolgen verkend van een alternatieve mix van dierlijke mestsoorten, waarbij de stikstofgebruiksnormen maximaal worden benut. Hierbij is verondersteld dat fosfaat niet beperkend is en dat dezelfde kunstmestgiften gegeven zullen worden als in de uitgangssituatie.

### 6.3.2 Gebiedsgemiddelde nitraatconcentraties in het zuidelijke zandgebied

De nitraatconcentratie is op dezelfde wijze berekend als in paragraaf 4.1, met gewassamenstellingen volgens Tabel 10 en werkzame N-giften volgens Tabel 11. De dosering dierlijke mest is ingevuld met twee alternatieven: 100% rundermest en 100% varkensmest. Deze berekeningen geven een indruk van de gevoeligheid van het type dierlijke mest voor de nitraatuitspoeling.

**Tabel 26** Nitraatconcentraties ( $\text{mg L}^{-1}$ ) berekend voor het Horst- en Slenkgebied en het Westelijk deel, waarbij de dierlijke mest is gegeven als runderdrijfmest + varkensdrijfmest of alleen als runderdrijfmest of varkensdrijfmest

Dierlijke mest gegeven als	Horstgebied	Slenkgebied	Westelijk deel
Runderdrijfmest + Varkensmest	83	71	69
Runderdrijfmest	101	84	74
Varkensdrijfmest	64	53	50

Voor het Horstgebied worden de hoogste nitraatconcentraties berekend, gevolgd door het Slenkgebied. De laagste waarden worden berekend voor het Westelijke deel. De verhouding tussen runderdrijfmest en varkensdrijfmest, bij gelijke werkzame stikstofgiften, heeft een duidelijke invloed op de nitraatconcentratie. Bij gebruik van alleen varkensdrijfmest naast de kunstmest zou in het Slenkgebied en het Westelijke deel ongeveer aan de doelstelling voor nitraat voldaan kunnen worden. Het Horstgebied is meer uitspoelingsgevoelig dan de andere gebieden, omdat het neerslagoverschot hier lager is.

### 6.3.3 Kosten en baten van bemesten naar mestsoort

#### *Uitgangspunten*

De mestgiften op akker- en tuinbouwgewassen voor vier gebieden in het zuidelijk zand- en lössgebied (Tabel 27) zijn afgeleid uit de gegevens in het STONE-model. De arealen zijn vermeld in Tabel 16.

**Tabel 27** Totale stikstofbemesting ( $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ ) in de akker- en tuinbouw voor vier gebieden in het zuidelijk zand- en lössgebied.

Dierlijke mest gegeven als	Horstgebied	Slenkgebied	Westelijk deel	Krijtgebied
Runderdrijfmest + varkensdrijfmest	147	139	119	130
waarvan runderdrijfmest	84.9	91.1	95.8	101.7
waarvan varkensdrijfmest	61.1	46.5	22.1	27.9
Pluimvee	1.0	1.4	0.9	0.6
Runderdrijfmest	167.4	154.5	126.1	139.5
Varkensdrijfmest	125.5	115.9	94.6	104.6



De N-giften in Tabel 27 zijn omgerekend naar tonnen mest omdat de afvoerkosten en de prijs afboerderij voor dierlijke mest geregistreerd wordt per ton mest. Daarbij is uitgegaan van de WUM<sup>38</sup>-excreties en de NEMA<sup>39</sup>-emissies van gasvormige stikstofverliezen uit stallen en opslagen van het jaar 2013. De stikstofgehalten per ton mest zijn dan als volgt:

- Rundveedrijfmest (RDM): uitgegaan is van drijfmest van melk- en kalfkoeien met een gehalte van 4.4 kg stikstof per ton.
- Varkendrijfmest (VDM): uitgegaan is van de helft vleesvarkendrijfmest en de helft fokvarkendrijfmest met een gehalte van 7.8 kg stikstof per ton.
- Pluimveemest (pluimvee): uitgegaan is van vleeskuikenmest met een gehalte van 33.2 kg stikstof per ton.

Voor de berekening van het bedrag dat een akkerbouwer ontvangt wanneer hij mest afneemt, is gestart met de prijs-af-boerderij. Daarbij is uitgegaan van twee prijsniveaus:

- Prijs uit de BIN<sup>40</sup> van het jaar 2013 en.
- Prijs uit de BIN van het jaar 2012 verhoogd met de trend van de prijsontwikkeling op basis van de DCA<sup>41</sup>-prijzen van 2012 en 2015.

**Tabel 28** Prijs af boerderij naar mestsoort (Euro/ton)

Mestsoort	Horst-gebied	Slenk-gebied
Rundveedrijfmest	6.4	10.6
Varkendrijfmest	14.8	17.8
Droge pluimveemest	10.0	16.7

Voor de transportkosten is ervan uitgegaan dat de afzet bij akkerbouwers en tuinders in de overschotregio's (Horst en Slenk) € 4/ton bedraagt (Broens, 2012). Voor de regio's West en Krijt wordt ervan uitgegaan dat de mest aangevoerd dient te worden uit de regio's Horst en Slenk, waardoor de transportafstanden en daarmee de transportkosten van mest wat hoger zijn, namelijk € 6/ton.

#### Resultaten

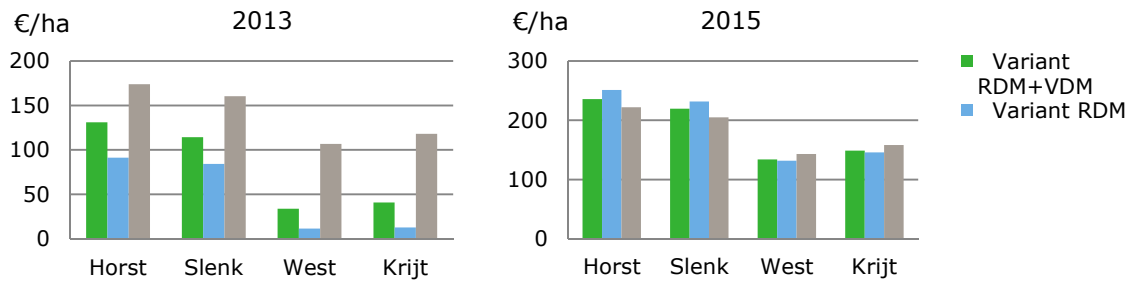
Met het prijsniveau van mest-af-boerderij in het jaar 2013 zijn een akkerbouwer en een tuinder € 80/ha - €100/ha voordeliger uit wanneer zij varkendrijfmest afnemen in plaats van rundveedrijfmest (Figuur 30). In de gebieden West en Krijt is dat voordeel (varkendrijfmest ten opzichte van rundveedrijfmest) enkele tientallen €/ha groter dan in de mestoverschotgebieden Horst en Slenk. Door de hogere transportkosten krijgen akkerbouwers en tuinders in de gebieden West en Krijt minder geld toe per ha dan de akkerbouwers en de tuinders in de overschotgebieden Horst en Slenk.

<sup>38</sup> WUM: Werkgroep Uniformering berekening Mest- en mineralencijfers. De WUM berekent per jaar de gemiddelde excreties per diercategorie op basis van statistieken over veevoergebruik en dierlijke productie.

<sup>39</sup> NEMA: Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak, ontwikkeld door De Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM).

<sup>40</sup> BIN: Bedrijfsinformatienetwerk. In het BIN brengt het LEI de landbouwpraktijk in beeld.

<sup>41</sup> DCA-prijzen: prijzen op de agrarische termijnmarkt.



**Figuur 30** Baten (in euro/ha) voor akkerbouwers en tuinders bij afname van varkens- en runderdrijfmest in vier gebieden in Zuid-Nederland bij het prijsniveau van mest-af-boerderij van 2013 (links) en van 2015 (rechts).

Met het prijsniveau van mest-af-boerderij in het jaar 2015 maakt het niet uit welke mestsoort akkerbouwers of tuinders afnemen. Bij zowel runderdrijfmest, varkensdrijfmest als een combinatie van beide krijgen zij vrijwel hetzelfde bedrag per ha toe.

---

# 7 Conclusies

## 7.1 Beantwoording onderzoeksvragen

De doelen van het onderzoek zijn in de opzet van het onderzoek vertaald in zeven onderzoeksvragen. De conclusies worden geformuleerd aan de hand van de beantwoording van de onderzoeksvragen.

### 1. *Wat is het aandeel van de N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden in het totaal van de bronnen die de regionale wateren belasten met stikstof en fosfor?*

Gemiddeld bedroeg in de periode 2010–2013 de totale uit- en afspoeling van stikstof uit landbouwgronden naar het regionale oppervlaktewater 44.9 miljoen kilo per jaar. Door de variatie in waterafvoeren als gevolg van verschillen in de neerslaghoeveelheden varieerde de uit- en afspoeling van 38.1 tot 49.4 miljoen kilo per jaar. De uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden maakt voor 54% deel uit van de totale stikstofaanvoer naar de regionale wateren en hiermee is het de belangrijkste bron. Berekend is dat de aanvoer van stikstof in grensgebieden door de aanvoer in grensoverschrijdende beken en in andere delen van Nederland door de inlaat vanuit de Rijkswateren, met 20% de op een na belangrijkste bron is.

In de periode 2010–2013 bedroeg de uit- en afspoeling van fosfor uit landbouwgronden naar het regionale oppervlaktewater gemiddeld 3.65 miljoen kilo per jaar. Door verschillen in het weer (temperatuur en neerslaghoeveelheid) varieerde de uit- en afspoeling van 3.30 tot 4.27 miljoen kilo per jaar. De uit- en afspoeling maakt voor 56% deel uit van de totale aanvoer naar de regionale wateren en is ook voor fosfor de belangrijkste bron. Berekend is dat de aanvoer van fosfor in de grensoverschrijdende beken en inlaat vanuit de Rijkswateren, de rioolwaterzuiveringsinstallaties en de uit- en afspoeling uit natuurgronden voor resp. 10%, 15% en 8,4% bijdragen aan de belasting van het regionale oppervlaktewater.

### 2. *Welk deel van de N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden is toe te schrijven aan de huidige agrarische bedrijfsvoering en wat is hiervan het aandeel in het totaal van de bronnen die de regionale wateren belasten met stikstof en fosfor?*

#### *Onderdelen van 'uit- en afspoeling uit landbouwgronden'*

De uit- en afspoeling van nutriënten uit landbouwgronden is in de berekeningen nader verdeeld in een deel dat wordt veroorzaakt door de huidige bemesting en delen die veroorzaakt worden door depositie op landbouwgronden, kwel uit het diepe grondwater, terugstromend water dat in de zomer vanuit het oppervlaktewater is geïnfiltrerd en de nalevering uit de bodem. Deze nalevering uit de bodem kan verschillende oorzaken hebben: de stikstof- en fosforoverschotten in het verleden, de mineralisatie van veengronden door ontwatering en de nalevering uit ingepolderde zeekelegebieden.

Berekend is dat van de stikstof in de uit- en afspoeling uit landbouwgronden gemiddeld 69% afkomstig is uit de bemesting. Hiervan wordt landelijk gemiddeld 64% toegeschreven aan de huidige landbouwpraktijk en 5% aan nalevering van in het verleden toegediende mest.

Berekend is dat de fosforbelasting van het oppervlaktewater voor 49% afkomstig is uit de bemesting. De P-belasting is verder voor 42% afkomstig uit de uitputting van bodemvoorraden die niet gerelateerd zijn aan bemesting en voor 9% uit kwel en inlaatwater.

#### *Bijdrage aan totale belasting*

Landelijk gemiddeld draagt de uit- en afspoeling uit de bemesting voor 37% bij, inlaatwater voor 20%, nalevering van de bodem niet gerelateerd aan bemesting voor 10%, RWZI's voor 9%, de atmosferische depositie en de uit- en afspoeling uit natuurgronden beide voor 7% aan de totale toevoer van stikstof naar het regionale oppervlaktewater. Berekend is dat de nalevering vanuit de

---

bodem niet gerelateerd aan bemesting de voornaamste bron is van de fosforbelasting van het regionale oppervlaktewater (33%), gevolgd door de bemesting (18%), de RWZI's (15%), het inlaatwater (10%), de uit- en afspoeling uit natuurgronden (8%).

Tussen de regio's zijn grote verschillen berekend in de absolute en de relatieve bijdragen van bronnen aan de belasting van het regionale oppervlaktewater.

3. *Welke reductie van de totale nutriëntenbelasting van de regionale wateren is nodig om de doelen van de KRW te realiseren?*

De opgave om de N-belasting van het regionale oppervlaktewater te verminderen is berekend op 24.1 miljoen kilo per jaar voor alle bronnen samen. Dit komt overeen met 29% van de jaarlijkse belasting die voor de periode 2010–2013 is berekend. Voor fosfor bedraagt deze opgave 2.3 miljoen kilo per jaar. Dit komt overeen met 36% van de totale aanvoer naar het regionale oppervlaktewater. Deze opgave is berekend bij het uitgangspunt van een proportionele toedeling van de opgave aan de bijdragen van bronnen en op basis van de beoordelingen van de waterkwaliteit in regionale waterlichamen. De overige wateren en de Rijkswateren zijn hierin niet betrokken.

4. *Welke reductie van de uit- en afspoeling uit landbouwgronden is nodig om de doelen van de KRW voor de regionale waterlichamen te realiseren?*

De mate waarin de uit- en afspoeling uit landbouwgronden verminderd moet worden, hangt af van de bronnen die aan landbouw toegerekend worden en de vraag of de opgave proportioneel verdeeld wordt aan alle bronnen of alleen aan de stuurbare bronnen<sup>42</sup>. Afhankelijk van de keuze moet de uit- en afspoeling van **stikstof** uit landbouwgronden met 5.3 tot 7.6 miljoen kilo per jaar verminderd worden. Dit komt overeen met 12–17% van de stikstofvracht door uit- en afspoeling uit de Nederlandse landbouwgronden. Om aan de doelen van de KRW voor regionale waterlichamen te voldoen, moet vracht door de uit- en afspoeling van **fosfor** met 0.44 tot 1.38 miljoen kilo per jaar verminderd worden. Dit komt overeen met 12–38% van de fosforvracht door uit- en afspoeling uit de Nederlandse landbouwgronden.

De verschillen tussen de regio's zijn groot. In enkele beheersgebieden van waterschappen zijn de N- en P-concentraties van de regionale waterlichamen beoordeeld als "goed" en is er geen opgave voor een vermindering van de N- en P-belasting. In andere waterschappen zijn de N- en P-concentraties als "matig" of "onvoldoende" beoordeeld en is vanuit de mate van overschrijding een opgave berekend.

Waterschappen waarin de uit- en afspoeling van **stikstof** uit landbouwgronden met 20–40% moet worden verminderd, zijn het Twentse deel van de Vechtstromen, de zuidelijke waterschappen, Waternet, Hollands Noorderkwartier en Delfland.

Voor de berekening van de opgave voor het reduceren van de uit- en afspoeling van **fosfor** uit landbouwgronden (reductieopgave) leidt het wel of niet toerekenen van de bron "niet aan bemesting gerelateerde levering van de bodem" aan landbouw tot duidelijke verschillen. De berekende opgave voor fosfor is groter als de "niet aan bemesting gerelateerde levering van de bodem" aan landbouw wordt toegerekend. Voor het waterschap Noorderzijlvest en de hoogheemraadschappen Delfland en Rijnland is de toerekening van "niet aan bemesting gerelateerde levering van de bodem" aan landbouw van grote invloed op de berekende opgave. Geconcludeerd kan worden dat:

- Volgens de beide berekeningswijze heeft het waterschap Hunze en Aa's en de Zeeuwse waterschappen geen of een heel kleine, opgave.

---

<sup>42</sup> Bronnen die beïnvloedbaar zijn door landbouwkundig handelen (uit- en afspoeling door bemesting) en emissiebeperkende maatregelen (puntbronnen, overige bronnen).

- Waterschappen met een relatief beperkte opgave (<10%), ook als “niet aan bemesting gerelateerde levering van de bodem” aan landbouw wordt toegerekend, zijn: Velt en Vecht, Groot Salland, Rijn en IJssel, Veluwe.
- Voor het waterschap Peel en Maasvallei is de grootste opgave berekend voor het reduceren van de uit- en afspoeling van fosfor uit landbouwgronden.
- De beheersgebieden van Hollands Noorderkwartier, De Dommel en Aa en Maas hebben in beide berekeningswijzen een grotere dan landelijk gemiddelde opgave.

De variatie in reductieopgave – gegeven de KRW-normen – tussen waterschappen wordt behalve door de belasting vanuit verschillende bronnen ook verklaard uit de landschappelijke verschillen in bodem, hydrologie en ondergrond. Daarnaast zijn er verschillen in gestelde normen voor een “goede” toestand van N- en P-concentraties.

5. *Wat zijn de effecten van een aantal maatregelen op nitraatconcentraties in het grondwater en de uit- en afspoeling van N en P naar het oppervlaktewater?*

Een aantal maatregelen is doorgerekend: 1) keuze voor minder uitspoelingsgevoelige akkerbouw- en tuinbouwgewassen in het zuidelijke zandgebied; 2) bodemverbetering door opheffen van verdichting en aanvoer van organische stof; 3) verhoging van de nutriëntenefficiëntie door betere timing en plaatsing van mest en maximale inzet van vanggewassen en 4) de aanleg van drainage en het omzetten naar regelbare drainage.

Met een keuze voor minder uitspoelingsgevoelige akker- en tuinbouwgewassen in het zuidelijke zandgebied kan de gemiddelde nitraatconcentratie onder deze gewassen gemiddeld met ca. 9–13 mg L<sup>-1</sup> worden verminderd, afhankelijk van de mate waarin de gewassen worden vervangen en de wijze waarop dit gebeurt. Deze maatregel leidt tot een reductie van de N-belasting van het oppervlaktewater van 5–10% en een reductie van de P-belasting van enkele procenten.

Berekend is dat maatregelen om ondergrondverdichting tegen te gaan en op te heffen, in combinatie de aanvoer van compost, leidt tot een verlaging van nitraatconcentraties met 7–10 mg L<sup>-1</sup>. De reductie van de N-belasting van het oppervlaktewater door deze maatregelen is berekend op 7–26%. Het effect op de uit- en afspoeling van fosfor is met de gebruikte modellen moeilijk te voorspellen. De afspoeling van fosfor wordt in de praktijk mede bepaald door extreme weersomstandigheden, de infiltratiecapaciteit van de bodem en de ruwheid van het maaiveld. Deze processen zijn moeilijk in rekenmodellen te beschrijven. Effecten van bodemverbetering, in combinatie met deze factoren, zijn nog onderwerp van verdiepend onderzoek.

De maximale inzet van vanggewassen in combinatie met een optimale timing en plaatsing van mestgiften kan gemiddeld leiden tot een afname van 8–18 mg L<sup>-1</sup> van nitraatconcentraties in zandgronden. De effecten zijn het grootst in het zuidelijke zandgebied (14–18 mg L<sup>-1</sup>) omdat hier de gronden het gevoeligst zijn voor uitspoeling. De N-belasting van het oppervlaktewater vermindert door deze maatregel met 12–23%. Evenals voor de nitraatconcentraties wordt ook de N-belasting van het oppervlaktewater het grootste effect berekend voor de zandgronden in het zuidelijke zandgebied. Voor de kleigronden wordt een kleiner effect berekend. Het effect op de uit- en afspoeling van fosfor is heel klein en de berekende effecten zijn onduidelijk. Beter op de gewasbehoefte en weersomstandigheden getimede mestgiften leiden tot minder afspoeling van fosfor. De achterliggende processen zijn nog moeilijk in rekenmodellen te vatten.

De aanleg van drainbuizen in natte gronden leidt gemiddeld tot een toename van de N-uitspoeling met 33% en een afname van de P-uitspoeling met 25%. Het omzetten van bestaande drainagesystemen naar een systeem met regelbare drainage leidt tot een vermindering van de N-uitspoeling met 27–35%. Voor de P-uitspoeling wordt als gevolg van deze maatregel een toename berekend van gemiddeld 9–16%. Voor een beperkt deel van het areaal kleigronden met drainbuizen wordt berekend dat deze maatregel tot vermindering van de P-uitspoeling kan leiden.

Onderwaterdrainage in veengronden leidt tot een vermindering van zowel de stikstofuitspoeling (24% reductie) als de P-uitspoeling (11% reductie).

---

Het installeren van ijzerzand-omhulde drainbuizen in zandige bloembollenpercelen in het westelijke zandgebied lijkt een effectieve maatregel om de vaak hoge P-uitspoeling uit deze gronden te verminderen. In veldexperimenten zijn zuiveringspercentages van 60–90% bepaald.

#### 6. *Wat zijn de effecten van de maatregelen op de saldi?*

Voor de situatie waarin een deel van de uitspoelingsgevoelige akker- en tuinbouwgewassen in het zuidelijke zandgebied wordt vervangen zijn allereerst gemiddelde saldi voor de AT-gewassen in enkele deelgebieden vastgesteld. De gemiddelde saldi variëren van ca. 18.500 tot 23.600 €/ha. Door het vervangen van consumptieaardappelen door wintertarwe daalt het gebiedsgemiddelde saldo met ca. 800–900 €/ha. Het vervangen van late-oogst-gewassen door vroege-oogst-gewassen gevolgd door een vanggewas leidt tot een vermindering van het gebiedsgemiddelde saldo van ca. 650–675 €/ha. De effecten van de maatregelen waarbij gangbare teelten vervangen worden door "uit de grond"-teelten, op de saldi zijn negatief voor de teelt van aardbei, prei en vollegrondsgroenten. De gebiedsgemiddelde saldoovermindering van deze opties bedraagt resp. 670–750 €/ha, 210–250 €/ha en 2400–2800 €/ha.

Bodemverbetering door het opheffen van bodemverdichting en de aanvoer van organische stof kan tot een toename van het saldo leiden met ca. 225 €/ha voor akkerbouw op zandgrond. De berekening van het saldo-effect is onzeker door de ontwikkelingen in de mestafzetprijzen van de varkenshouderij en de intensieve melkveehouderij. Daarnaast is de veronderstelde opbrengststijging gebaseerd op langetermijneffecten en is het effect onzeker.

Het saldo-effect van nauwkeuriger bemesten door het bemestingstijdstip beter af te stemmen op de behoefte laat zich moeilijk kwantificeren. De kosten voor mestopslag en de kosten voor loonwerk nemen toe en door preciezer bemesten kan bespaard worden op kunstmest. Het toepassen van rijenbemesting bij maisteelten in het zuidelijke zandgebied heeft een gering positief effect op het saldo van 30 € per ha maisteelt. De inzet van vanggewassen als maatregel voor efficiënter omgaan met nutriënten in het zuidelijke zandgebied heeft een negatief effect op het saldo van 140 € per ha vanggewas.

De aanleg van nieuwe regelbare drainage of het vervangen van bestaande drainage door regelbare drainage kost ca. € 120–150 per ha per jaar. De baten zijn moeilijk in te schatten. Verwacht wordt dat de aanleg van onderwaterdrainage in natte veengronden leidt tot opbrengstverhoging. De aanleg van met ijzerzand-omhulde drainbuizen in zandige bloembollenpercelen in West-Nederland hebben investeringskosten die gelijk tot tweemaal zo hoog zijn als van de aanleg van regelbare drainage. De maatregel leidt niet tot extra opbrengsten. De kosteneffectiviteit van deze maatregel wordt voor het zuidelijke bollengebied geschat op € 6–19 per kg fosfor per jaar.

#### 7. *In welke mate kunnen de maatregelen bijdragen aan de opgave om de uit- en afspoeling van N en P uit landbouwgronden te verminderen?*

De opgave voor de vermindering van de uit- en afspoeling van stikstof uit landbouwgronden bedraagt 20–40% in een aantal gebieden van Nederland. Voor zandgebieden variëren de berekende effecten van 5–10% tot 15–25% reductie van de N-uitspoeling per maatregel. Deze reducties zijn een gevolg van een verbeterde benutting van stikstof als gevolg van verbeterde productieomstandigheden en nauwkeuriger bemesten. Door een combinatie van maatregelen lijkt in de zandgebieden een groot deel van de opgave voor reductie van de N-uitspoeling naar het regionale oppervlaktewater gerealiseerd te kunnen worden. Voor klei- en veengebieden in West-Nederland wordt verwacht dat de maatregelen slechts gedeeltelijk zullen bijdragen aan het realiseren van de opgave in deze gebieden.

De opgave voor het reduceren van de uit- en afspoeling van fosfor uit landbouwgronden van 40–80% in een aantal zandgebieden en een opgave van 20–35% voor de reductie in een aantal klei- en veengebieden lijkt slechts voor een beperkt deel gerealiseerd te kunnen worden met de beschouwde maatregelen. Ook door een combinatie van de maatregelen is de gewenste reductie niet te realiseren. Het uitgangspunt voor twee van de drie maatregelen was een verlaging van stikstofoverschotten op de bodembalans door een verbeterde nutriëntenbenutting. De in de

---

bodem aanwezige fosfor bepaalt in grote mate de uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater. De brongerichte maatregelen sorteren wel een klein effect, maar te weinig om daarmee de doelen te halen. In aanvulling op de deze maatregelen zijn maatregelen nodig die ingrijpen op transportroutes en/of maatregelen met een zuiverende werking in het oppervlaktewater.

## 7.2 Overige conclusies

De in deze studie afgeleide opgaven voor de landbouw in verschillende gebieden van Nederland worden bepaald door een aantal uitgangspunten te hanteren:

- De opgaven zijn afgeleid van de metingen en modelberekeningen van N- en P-concentraties in regionale waterlichamen.
- De keuze voor het geheel of gedeeltelijk toerekenen van bodembronnen aan de landbouw.
- De keuze voor het proportioneel toedelen van de totale opgave aan alle bronnen of aan alleen de stuurbare bronnen.

De afleiding van de opgave voor de landbouw is daarmee voor een groot deel op modelberekeningen gebaseerd. Aanbevolen wordt om de methodiek nog verder te valideren door een toepassing op de resultaten van het Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater (Klein en Rozemeijer, 2015).

Het berekende onderscheid van de verschillende bronnen in landbouwgronden is onzeker. Voor het vaststellen van het deel van de uit- en afspoeling dat wordt veroorzaakt door de huidige landbouwpraktijk, en de beïnvloedbaarheid (stuurbaarheid) van deze bron, is dit onderscheid wel van belang. Het onderscheid tussen een deel van de uitspoeling afkomstig uit in het verleden toegediende mest en een deel afkomstig uit andere bodembronnen is soms niet goed te maken. Aanbevolen wordt om meetgegevens te verzamelen van:

- Nutriëntenconcentraties en -vrachten in het oppervlaktewater dat vanuit natuurgebieden naar regionale wateren stroomt. Deze waarden bieden mogelijk inzicht in "achtergrondbelasting".
- Nutriëntenconcentraties in het ondiepe grondwater van de gebieden die een hoge belasting door kwel, ontwatering (veengebieden) of inpoldering en ontginning (zeekleigebieden) laten zien.

De effecten van maatregelen zijn gebaseerd op modelberekeningen:

- Voor de nitraatconcentraties en de uit- en afspoeling van stikstof konden effecten berekend worden. Het berekende effect van een verbetering van de nutriëntenbenutting door plaatsing en timing van bemesting en van bodemverbeterende maatregelen op de afspoeling van fosfor is met het toegepaste model niet goed aan te geven. Aanbevolen wordt om de modellen eerst op perceelschaal toe te passen en te toetsen met tijdstappen en een ruimtelijke indeling die relevant is voor het beschrijven van oppervlakkig transport.
- Voor het effect van de toepassing van regelbare drainage op de N-uitspoeling in zavelgronden en voor het effect van onderwaterdrains in natte veengronden zijn meetgegevens beschikbaar als experimenteel bewijs. Van de andere maatregelen zijn soms metingen beschikbaar van het effect op nitraatconcentraties (bijv. bodemverbetering), maar zijn geen metingen beschikbaar van de effecten op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater. Aanbevolen wordt om maatregelen waarvoor duidelijke effecten worden berekend, te valideren aan metingen uit systematisch opgezette praktijkproeven.

---

# Literatuur

- Alblas, J., F. Wanink, J. van den Akker en H.H.G. van der Werf, 1994. Impact of traffic-induced compaction of sandy soils on the yields of silage maize in The Netherlands. *Soil & Tillage Research*, 29, 157 – 165.
- Agrarisch Waterbeheer (2016a), benaderd op 26 januari 2016 via:  
<http://agrarischwaterbeheer.nl/system/files/documenten/boek/mestopslagcapaciteit.pdf>
- Agrarisch Waterbeheer (2016b), benaderd op 26 januari 2016 via:  
[http://agrarischwaterbeheer.nl/system/files/documenten/boek/toepassen\\_rijenbemesting.pdf](http://agrarischwaterbeheer.nl/system/files/documenten/boek/toepassen_rijenbemesting.pdf)
- Agrarisch Waterbeheer (2016c), benaderd op 26 januari 2016 via:  
[http://agrarischwaterbeheer.nl/system/files/documenten/boek/aanleg\\_regelbare\\_peilgestuurde\\_drainage.pdf](http://agrarischwaterbeheer.nl/system/files/documenten/boek/aanleg_regelbare_peilgestuurde_drainage.pdf)
- Agrarisch Waterbeheer (2016d), benaderd op 26 januari 2016 via:  
[http://agrarischwaterbeheer.nl/system/files/documenten/boek/infiltratie\\_via\\_onderwaterdrainage.pdf](http://agrarischwaterbeheer.nl/system/files/documenten/boek/infiltratie_via_onderwaterdrainage.pdf)
- Bouwmeester, R., 2015. Fosfaatverwijdering kansrijk, maar met verbeterpunten. *Bloembollenvisie* 2 oktober 2015, p 20-21.
- Broens, D.F., H.H. Luesink en M. van Galen 2012. Biobased Park Cuijk, Innovatieve contracten in de mestmarkt. Den Haag: LEI, vertrouwelijk rapport.
- Bruyn, S.M. de, M.H. Korteland, A.Z. Markowska, M.D. Davidson, F.L. de Jong, M. Bles & M.N. Sevenster, 2010. *Handboek Schaduwprijzen; Waardering en weging van emissies en milieueffecten*, CE Delft, Delft.
- Buijsman, E., 1989. De relevantie van metingen van orthofosfaat en totaal fosfor in het landelijk meetnet regenwatersamenstelling. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM rapport 228703010.
- De Haan, J.J., 2014. Bodemkwaliteit op zandgrond 3. Resultaten 2013. *Informatieblad Bodemkwaliteit op zandgrond*. WUR.
- De Haan, J.J. en P. van Asperen, 2016. De bodem weerloos en weerbaar. Hoe onderzoek bijdraagt aan een betere kwaliteit van de bodem - en dus stabielere opbrengst - voor de lange termijn. Brochure. <http://edepot.wur.nl/380983>.
- Deltaproof STOWA, 2016. Regelbare drainage.  
[http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Regelbare\\_drainage.aspx](http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Regelbare_drainage.aspx)
- De Vries, F., G. Mol, M.J.D. Hack-ten Broeke, G.B.M. Heuvelink en F. Brouwer, 2008. *Het Bodemkundig Informatie Systeem van Alterra. Overzicht van het gebruik en wensen voor verbetering van de informatie*. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 1709.
- De Waele, J., De Vliegheer, A., Vandecasteele, B., Odeurs, W., Elsen, A., Haesaert, G., Derycke, V., Verlinden, G., Bries, J., Wittouck, D., De Neve, S., 2014. *Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie met nateelten/ vanggewassen*. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij door de Vakgroep Bodembeheer van de Universiteit Gent, de Vakgroep Plantaardige Productie van de Hogeschool Gent, de Eenheid Plant van het ILVO, de Bodemkundige Dienst van België en Inagro. 164 p.
- De Wit, J., 2013. *Bedrijfseconomische effecten van verhoging van het bodemorganischstofgehalte: compostgebruik in de akkerbouw*. Driebergen. Louis Bolk Instituut. Publicatienummer 2013-005 LbD.
- Evers, C.H.M., R.F.M. Buskens en J.M. Dolmans – Camu, 2013. *Landelijk doelenkader voor overige wateren. Achtergrondrapport handleiding doelafleiding en ecologische maatlatten*. Eindhoven, Royal Haskoning. 9X1063/R00003/901530/BW/Eind
- Elferink, E. C. Rougoor, L. Terry, W. van der Weijden, 2012. *QuickScan naar de potentie van koolstofopslag in de Nederlandse melkveehouderij*. CLM Onderzoek en Advies BV.
- Fraters, B., T.C. van Leeuwen, A. Hooijboer, M.W. Hoogeveen, L.J.M. Boumans, J.W. Reijs, 2012. *De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven*. Herberekening van uitspoelfracties. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM rapport 680716006/2012.



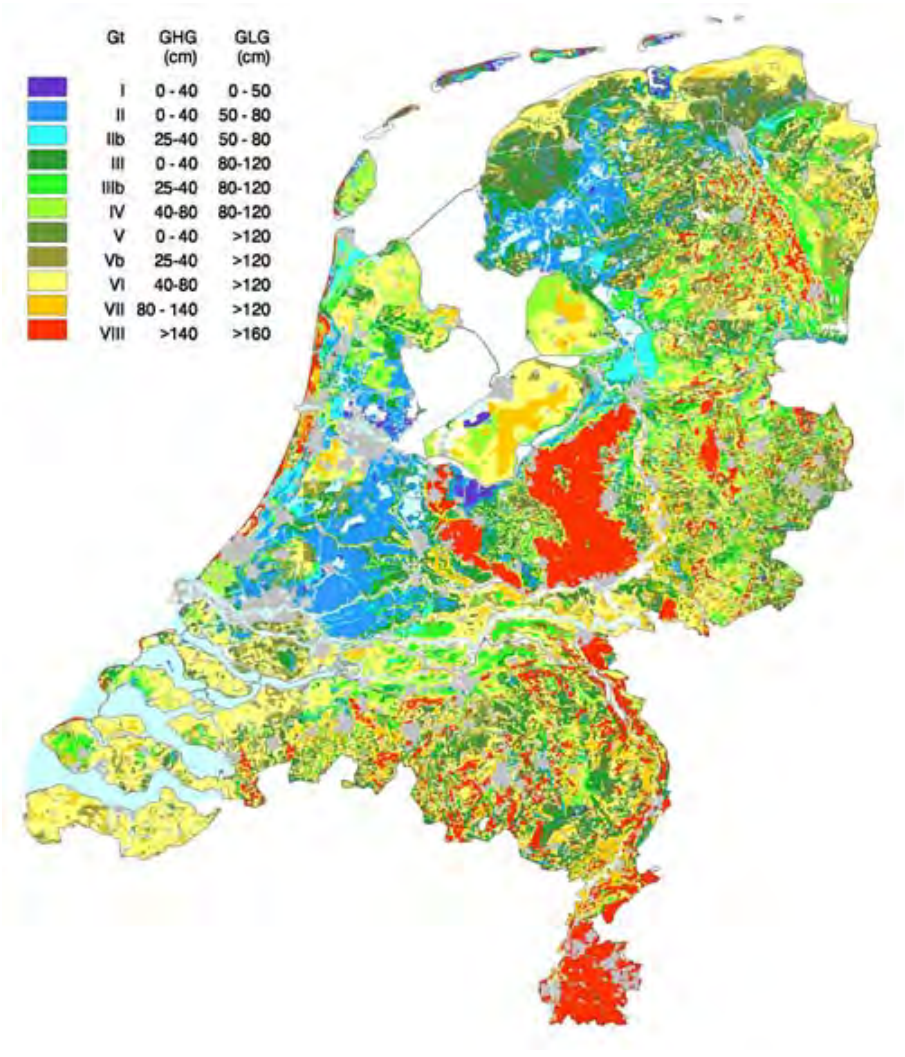
- Fraters, B., A.E.J. Hooijboer, A. Vrijhoef, J. Claessens, M.C. Kotte, G.B.J. Rijs, A.I.M. Denneman, C. van Bruggen, C.H.G. Daatselaar, H.A.L. Begeman, J.N. Bosma, 2016. Landbouwpraktijk en waterkwaliteit in Nederland; toestand (2012-2014) en trend (1992-2014). Resultaten van de monitoring voor de Nitraatrichtlijn. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM Rapport 2016-0076.
- Griffioen J., R. Heerdink, L. Maring, S. Vermooten, D. Maljers en J. Hettelaar, 2006. Enkele lithologische en (hydro)geochemische karakteristieken van de ondergrondparametrisering in het landelijk nutriëntenemissiemodel STONE. Utrecht, TNO. Rapport 2006-U-R0161/A.
- Groenendijk, P., J. Pankow en A. van den Toorn, 1997. Emissies van bestrijdingsmiddelen en nutriënten in de bloembollenteelt. Veldonderzoek naar de waterbalans en de uitspoeling van nutriënten. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 387.4.
- Groenendijk, P., H.M. Mulder, R.F.A. Hendriks en F.J.E. van der Bolt, 2014. Bronnen van diffuse nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater; Evaluatie Meststoffenwet 2012: deelrapport ex post. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2328.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud, E.M.P.M. van Boekel, C. van der Salm en O.F. Schoumans. 2013. Voorbereiding STONE2.4 op berekeningen voor de Evaluatie Meststoffenwet 2012. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2462.
- Groenendijk, P., L. Renaud, C. van der Salm, H. Luesink, P.W. Blokland en T. de Koeijer, 2015. Nitraat en N- en P-uitspoeling bij de gebruiksnormen van het 5de NAP; Modelberekeningen met MAMBO en STONE. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2647.
- Hahn, S., S. Bauer en M. Klaassen, 2007 Quantification of allochthonous nutrient input into freshwater bodies by herbivorous waterbirds. *Freshwater Biology* 53, 181 – 193.
- Hahn, S., S. Bauer en M. Klaassen, 2008. Estimating the contribution of carnivorous waterbirds to nutrient loading in freshwater habitats. *Freshwater Biology* 52, 2421 – 2433.
- Hazeu, G.W., C. Schuiling, G.J. Dorland, G.J. Roerink, H.S.D. Naef en R.A. Smidt, 2014. Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 7 (LGN7); Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2548.
- Groten, J., 2015. Rassenlijst ultravroege Snijmais 2016. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving. <http://www.limagrain.nl/web/file?uuid=458067cf-8266-4ff6-97f6-62d129169c87&owner=90249fb9-4618-4c92-a0e6-dfa845f4dacc>
- Hendriks, R.F.A. en J.J.H. van den Akker, 2012. Effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit in veenweiden. Modelberekeningen met SWAP-ANIMO voor veenweide-eenheden naar veranderingen van de fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater bij toepassing van onderwaterdrains in het westelijke veenweidegebied. Wageningen, Alterra Wageningen UR Alterra-rapport 2354
- Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. Pilot onderwaterdrains Utrecht. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2479.
- Hooijboer, A.E.J., R.W. van der Meer, B. Fraters en T.C. van Leeuwen, 2014a. Scouting Vollegrondsgroenten op zand (2007 – 2010). een verkennend onderzoek. Bilthoven, Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu. RIVM rapport 680717036.
- Hooijboer, A.E.J., T.J. de Koeijer, A. van den Ham, L.J.M. Boumans, H. Prins, C.H.G. Daatselaar, E. Buis, 2014b. Landbouwpraktijk en waterkwaliteit op landbouwbedrijven aangemeld voor derogatie in 2012. Bilthoven, Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu. RIVM-rapport 680717037.
- Hospers-Brands, A.J.T.M. en G.J.H.M. van der Burgt., 2013. Verkenningen organische stof - Proefbedrijf Vredepeel. Louis Bolk, Publicatie 2013-023 LbP
- Hoving, I.E., G. André, J.J.H. van den Akker, M. Pleijter, 2008. Hydrologische en landbouwkundige effecten van gebruik 'onderwaterdrains' op veengrond. Wageningen, WUR Livestock Research. Rapport 108.
- Hoving, I.E., J.J.H. van den Akker, M. Pleijter, K. van Houwelingen, 2011. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang. Wageningen, WUR Livestock Research. Rapport 449.
- Janssen, B.H. (1984) A simple model for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. *Plant Soil* 76: 297 – 304.
- Kernteam Zoetwatervoorziening Oost-Nederland. 2015. Nieuwsbrief Zoetwatervoorziening Oost-Nederland. [http://www.overijssel.nl/publish/pages/122916/2015-89\\_nieuwsbrief\\_zoetwatervoorziening\\_oost\\_nl.pdf](http://www.overijssel.nl/publish/pages/122916/2015-89_nieuwsbrief_zoetwatervoorziening_oost_nl.pdf)

- 
- Klein, J. en J. Rozemeijer, 2015. Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater. Update toestand en trends tot en met 2014. Utrecht, Deltares. Rapport 1220098-00 -BGS-0001. <http://dtvirt35.deltares.nl/products/30776>
- Klein, J., N. van Duijnhoven, E. Roex, en K. Baas, 2015. Toelichting definitieve dataset ER1990-2013 EmissieRegistratie, water. [http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/Water/Toelichting\\_definitieve\\_dataset\\_ER\\_1990-2013.pdf](http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/Water/Toelichting_definitieve_dataset_ER_1990-2013.pdf)
- Koopmans, G., W. Chardon, P. Belder, B.J. Groenenberg, 2011. Verwijdering van fosfaat uit bodemwater met ijzertzand: de omhulde drain. H2O (20) 35 – 38.
- Kroes, J.G., E.M.P.M. van Boekel, F.J.E. van der Bolt, L.V. Renaud en J. Roelsma, 2011. ECHO, een methodiek ter ondersteuning van waterbeleid; methodiekbeschrijving en toepassing Drentse Aa. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 1913.
- Kwantitatieve Informatie voor de Akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt, 2015. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving Wageningen UR, 29<sup>e</sup> editie.
- Massop, H. Th. L., I.G.A.M. Nij, W.M. Appels en A. van den Toorn, 2012. Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden; Metingen op zandgrond in Limburg. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2270.
- Massop, H. Th.L., C. Schuiling en A.A. Veldhuizen, 2013. Buisdrainagekaart 2012. Update landelijke buisdrainagekaarten voor het NHI op basis van de landbouwtellingen 2010. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2381.
- Massop, H.Th.L. en C. Schuiling, 2016. Buisdrainagekaart 2015; Update landelijke buisdrainagekaart op basis van de landbouwmetingen van 2012. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2700.
- Ministerie van VROW en LNV, 2006. Duurzaam bodemgebruik in de landbouw. Een beoordeling van agrarisch bodemgebruik in Nederland. VROM, LNV, Senternovem Bodem+ in opdracht van StuBo
- Noij, I.G.A.M., M.Heinen and P. Groenendijk, 2012. Effectiveness of non-fertilized buffer strips in the Netherlands. Final report of a combined field, model and cost-effectiveness study. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra report 2290.
- Planbureau voor de Leefomgeving, 2014. Waterkwaliteit en -veiligheid. Balans van de Leefomgeving 2014, deel 6. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Postma, R., P. Rombouts, J. de Haan en J. Harthoorn, 2014. Duurzaam bodemgebruik of Brabantse zandgronden. Goede productie. handhaven bodemkwaliteit én schoon water als uitdaging. Bodem (6) 10 – 12.
- Rommelink, G., H. J. van Dooren, J. van Middelkoop, W. Ouweltjes & H. Wemmenhove, 2013. Handboek Melkveehouderij 2013, Wageningen UR Livestock Research, website: [www.handboekmelkveehouderij.nl](http://www.handboekmelkveehouderij.nl)
- Reijneveld, A., J. van Wensem and O. Oenema, 2009. Soil organic carbon contents of Agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. Geoderma 152: 231 – 238.
- Renaud, L.V., L.T.C. Bonten en P. Groenendijk, 2015. Berekening van uit- en afspoeling van nutriënten- en zware metalen ten behoeve van de EmissieRegistratie 2013. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2638.
- Rip, W. en S. Schep, 2010. Spelen watervogels een rol in de fosfaatbelasting van meren?. Lezing door Winnie Rip en Sebastiaan Schep. HelpDesk Water. <https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/24812/winnie-rip-ea-spelen-watervogels-een-rol-in-de-fosfaat-belasting.pdf>
- Rozemeijer, J., J. Griffioen en H. Passier, 2005. De concentratie van fosfaat in regionaal kwelwater in Nederland. TNO rapport 005.105B0710, TNO, Utrecht.
- Rozemeijer, J., H.P. Broers, A. Visser, M. Winegram, W. Borren, L. Gerner, B. van IJendoorn, A. Kramer, 2012. Veldonderzoek naar de effecten van peilgestuurde drainage op grondwaterstanden, drainafvoeren en waterkwaliteit op het OostNederlands Plateau. Utrecht, Deltares, rapport nr. 1201979-000-BGS-001.
- Schaap, J.D. en E.A. van Essen, 2013. Peilgestuurde drainage: must of mythe? H2O-Online / 6 juni 2013 1 – 7. <http://www.vakbladh2o.nl/index.php/h2o-online/recente-artikelen/entry/jd-joris-schaap-en-ea-everhard-van-essen-aequator-groen-a-ruimte>
- Schils, R., W. van Dijk, J. van Middelkoop, J. Oenema, K. Verloop, J. Huijsmans, Ph. Ehlert, C. van der Salm, H. van Reuler, P. Vreeburg, A. Dekking, W. van Geel, J. R. van der Schoot, 2012. Effect

- 
- Meststoffenwet 2012 - Ex Post: Bodemvruchtbaarheid en Gewasopbrengst. Wageningen. Alterra. Alterra-rapport 2266.
- Schipper, P., O. Schoumans, P. Groenendijk en E. van Boekel, 2012. Nutriëntenbelasting oppervlaktewater; Herkomst en bijdrage landelijke gebied. Notitie ter ondersteuning KRW-Rijn West aanpak Nutriënten. Helpdesk Water: [http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/28940/herkomst\\_bijdrage\\_nutriënten\\_bronnen\\_10\\_mei\\_2012.pdf](http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/28940/herkomst_bijdrage_nutriënten_bronnen_10_mei_2012.pdf).
- Schipper, P., P. Groenendijk, N. van Eekeren, M. Zanen, J. Rozemeijer, G. Janssen, B. Swart, 2015. Goede grond voor een duurzaam watersysteem. Verdere verkenning in de relatie tussen agrarisch bodembeheer, bodemkwaliteit en waterhuishouding. Amersfoort. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer. STOWA rapport 2015 – 19.
- Schipper, M., F. van Herpen, N. Evers en L. van den Berg, 2014. Actualisatie KRW doelen van de waterlichamen van HHNK op basis van achtergrondbelasting. Eindhoven, Royal Haskoning DHV. Project BC8121-101. <http://edepot.wur.nl/366731>
- Schreuder, R., W. van Dijk, P. van Asperen, J. de Boer en J.R. van der Schoot, 2008. MEBOT1.01. Beschrijving van Milieu- en bedrijfsmodel voor de Open Teelten. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. PPO-rapport nr. 773.
- Stuijt, L.C.P.M., F.J.E. van der Bolt, W.B. Snellen, P. Groenendijk, P.N.M. Schipper en J. Harmsen, 2012. Meer water met regelbare drainage; werking, praktijkervaringen, kansen en risico's. Amersfoort, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer. STOWA-rapport 2012-33.
- Tipping, E., S. Benham, J. F. Boyle, P. Crow, J. Davies, U. Fischer, H. Guyatt, R. Hellwell, L. Jackson-Blake, A.J. Lawlor, D.T. Monteith, E.C. Roew & H. Toberman, 2014. Atmospheric Deposition of Phosphorus to Land and Freshwater. *Environmental Science: Processes & Impacts* 16, no. 7: 1608–1617. doi:10.1039/C3EM00641G
- Van Aartrijk, J., P. Groenendijk, J.J.T.I. Boesten, O.F. Schoumans en R. Gerritsen, 1997. Emissies van bestrijdingsmiddelen en nutriënten in de bloembollenteelt. Samenvatting. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 387.
- Van Bakel, P.J.T., J. Peerboom en L. Stuijt, 2007. Draineren tegen verdroging en voor een beter milieu: paradox of werkelijkheid? *H2O / 1-2007*, pag. 25-28.
- Van Bakel, P.J.T., E.M.P.M. van Boekel en I.G.A.M. Noij, 2008a. Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 1647.
- Van Bakel, P.J.T., J. Peerboom, R. Rijken en H. Stevens, 2008b. Modelonderzoek naar samengestelde peilgestuurde drainage *H2O / 2-2008*, pag. 48-51.
- Van Bakel, P.J.T., G.A.P.H. van den Eertwegh, H. Massop, J. Brandsma, 2013. Klimaat Adaptieve Drainage. Landelijke geschiktheid van conventionele, samengestelde peilgestuurde en klimaatadaptieve drainage. Wageningen, FutureWater. FutureWater Rapport 118.
- Van Boekel, E.M.P.M. van, P.T.J. van Bakel, F.J.E. van der Bolt, O.A. Clevering, W. van Dijk, G.J. Noij, E.A. van Os, 200 Ex-ante evaluatie landbouw en KRW; Achtergrondstudie: Effecten van aanvullende maatregelen. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 1987.
- Van Boekel, E.M.P.M., P. Bogaart, L.P.A. van Gerven, T. van Hattum, R.A.L. Kselik, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, P.E.V. van Walsum en F.J.E. van der Bolt, 2012. Evaluatie Landbouw en KRW. Evaluatie Meststoffenwet 2012: deelrapport ex post. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2326.
- Van Boekel, E.M.P.M., P.N.M. Schipper, R.F.A. Hendriks, H.T.L. Massop, H.M. Mulder en J. Roelsma, 2013. Herkomst nutriëntenbelasting afvoergebieden HDSR, pilotstudie ECHO: Regionale bronnenanalyse nutriëntenbelasting: Keulevaart, Eiland van Schalkwijk, Langbroekerwetering en Zegveld. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2408.
- Van Boekel, E.M.P.M., J. Roelsma, H. Th. L. Massop, H.M. Mulder, P.C. Jansen, L.V. Renaud, R.F.A. Hendriks en P.N.M. Schipper, 2015. Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van HHNK. Hoofdrapport: analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en nutriëntenbalansen voor het beheergebied van HHNK. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2475.
- Van Boekel, E.M.P.M., P. Groenendijk en L.V. Renaud, 2016. Bronnen van nutriënten in het oppervlaktewater in het beheergebied van Wetterskip Fryslân; Studie naar de herkomst en beïnvloedbaarheid van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater voor zes polders in het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2727.

- 
- Van den Akker, J.J.H., R.F.A. Hendriks, I.E. Hoving, J. van Kleef, B. Meerkerk, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2466.
- Van den Broek R., J. de Haan, H. Hoek en J. Spruijt, 2014. Perspectievenstudie Aardbei, intern verslag, PPO Wageningen.
- Van der Bolt, F.J.E., R. van der Bosch, Th. Brock, P. Hellegers, C. Kwakernaak, D. Leenders, O. Schoumans, P. Verdonschot, 2003. SQUAREIN. De gevolgen van de Europese Kaderrichtlijn Water voor landbouw. natuur. recreatie en visserij. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 835.
- Van der Bolt, F.J.E., E.M.P.M. van Boekel, O.A. Clevering, W. van Dijk, I.E. Hoving, R.A.L. Kselik, J.J.M. de Klein, T.P. Leenders, V.C.M. Linderhof, H.T.L. Massop, H. M. Mulder, G.J. Noij, E.A. van Os, N.B.P. Polman, L.V. Renaud, S. Reinhard, O.F. Schoumans, D.J.J. Walvoort, 2008. Ex-ante evaluatie landbouw en KRW; Effect van voorgenomen en potentieel aanvullende maatregelen op de oppervlaktewaterkwaliteit voor nutriënten. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 1687.
- Van der Bolt, F.J.E. en O.F. Schoumans (eds), 2012. Ontwikkeling van de bodem- en waterkwaliteit. Evaluatie Meststoffenwet 2012: eindrapport ex-post, Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2318.
- Van Duijnhoven, N, J. Klein, J. Rozemeijer, S. Loos, 2015. Toestand- en trendanalyse voor nutriënten op KRW-meetlocaties. Utrecht, Deltares, rapport 1220098-015.  
<http://dtvirt35.deltares.nl/products/30814>
- Van der Salm, C., J. Dolfing, J.W. van Groenigen, M. Heinen, G.F. Koopmans, J. Oenema, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2006. Diffuse belasting van het oppervlaktewater met nutriënten vanuit grasland op een zware kleigrond. Monitoring van nutriëntenemissies op een melkveehouderijbedrijf in Waardenburg. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 1266.
- Van der Salm, C., P. Groenendijk, R. Hendriks, L. Renaud en H. Massop. 2015. Opties voor benutten van de bodem voor schoon oppervlaktewater. Wageningen. Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2588.
- Van Gaalen F., A. Tiktak, R. Franken, 2015a. Waterkwaliteit nu en in de toekomst. Tussentijdse rapportage ex ante evaluatie van de Nederlandse plannen voor de Kaderrichtlijn Water, Den Haag: PBL. PBL-publicatie 1765.
- Van Gaalen F., A. Tiktak, R. Franken, E. van Boekel, P. van Puijenbroek, H. Muilwijk, 2015b. Waterkwaliteit nu en in de toekomst. Eindrapportage ex ante evaluatie van de Nederlandse plannen voor de Kaderrichtlijn Water, Den Haag: PBL. PBL-publicatie 1727.
- Van Gerven, L.P.A., A.A.M.F.R. Smit, P. Groenendijk, F.J.E. van der Bolt, J.J.M. de Klein, 2009. Retentieschatting van N en P in het oppervlaktewater op verschillende schaalniveaus. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 1848.
- Van Herpen, F., M. Beers, M. ten Harkel, D. Ertsen, A. Wielinga, 2015. KRW-doelen voor de overige wateren in Noord-Brabant: een pragmatische uitwerking. H2O-Online / 13 augustus 2015
- Van Wijk K., J. Spruijt en J. Verhoeven, 2014. Perspectievenstudie Prei, intern verslag, PPO Wageningen.
- Velthof, G.L., W. Bussink. W. van Dijk, P. Groenendijk, J.F.M. Huijsmans, W.A.J. van Pul, J.J. Schröder, Th.V. Vellinga en O. Oenema, 2013. Protocol gebruiksvoorschriften dierlijke mest. versie 1.0. Wageningen. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. WOt-rapport 120.
- Zanen M., P. Belder, W. Cuijpers en M. Bos, 2011. Literatuurstudie deel 1: Duurzaam bodembeheer & Functionele Agrobiodiversiteit in de bodem. Interregproject BodemBreed. 37 p.
- Zwart, K., A. Kikkert, A. Wolfs, A. Termorshuizen en G.J. van der Burgt, 2013. Tien vragen over organische stof. Wijster. Hilbrands Laboratorium voor Bodemziekten. HLB-uitgave.

# Bijlage 1 Grondwatertrappenkaart 1:500000



## Bijlage 2 Gebiedsindeling in rapportages van LMM-resultaten



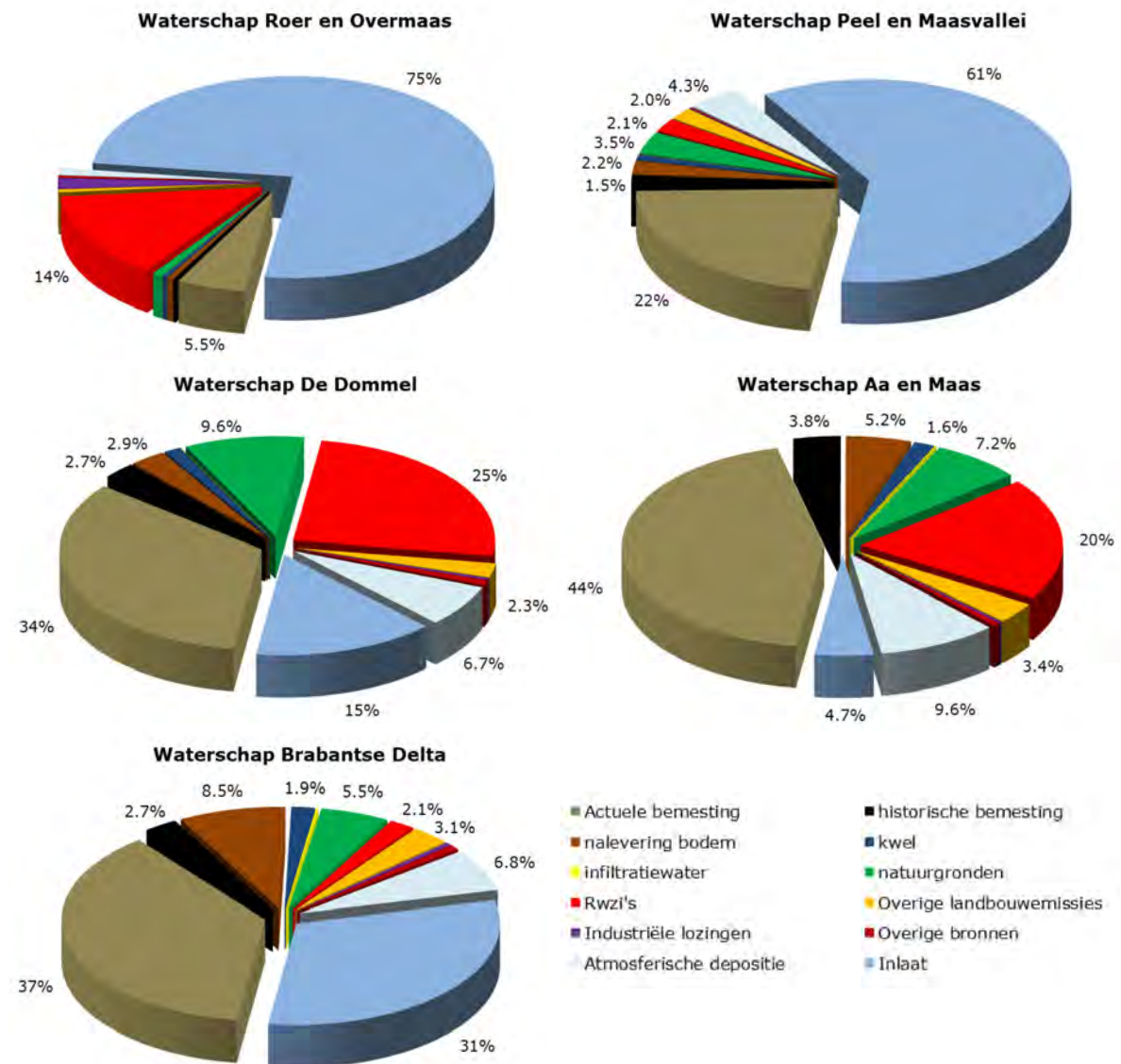
*Figuur B1.1: grondsoortregio's en hun beleidsgebieden in het LMM*

Bron: Lukács *et al.* (2016), pagina 71 (RIVM-rapport 2016-0052)

# Bijlage 3 Stikstof- en fosforbalansen deelgebieden

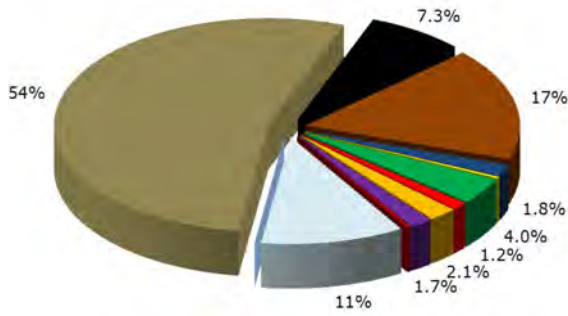
## Stikstofbalansen

### Stroomgebied Maas

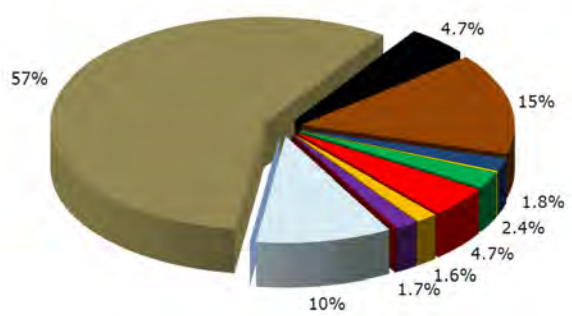


### Stroomgebied Schelde

**Waterschap Zeeuwse Eilanden**

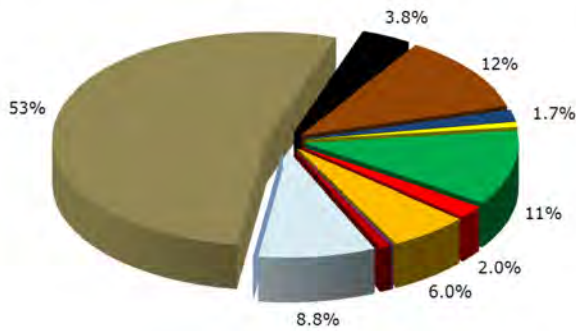


**Waterschap Zeeuws-Vlaanderen**

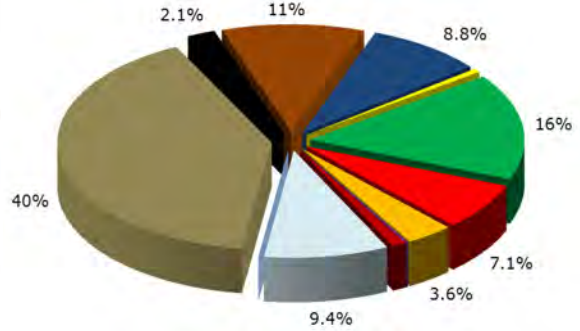


Stroomgebied Rijn-Oost (deel 1)

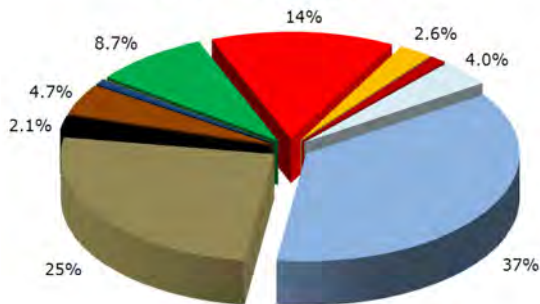
**Waterschap Groot Salland**



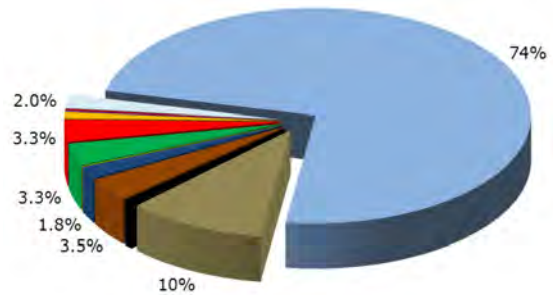
**Waterschap Reest en Wieden**



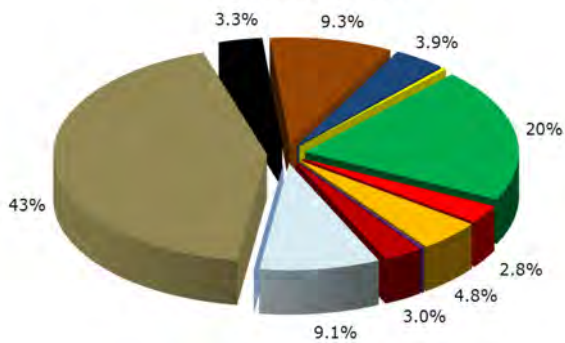
**Waterschap Regge en Dinkel**



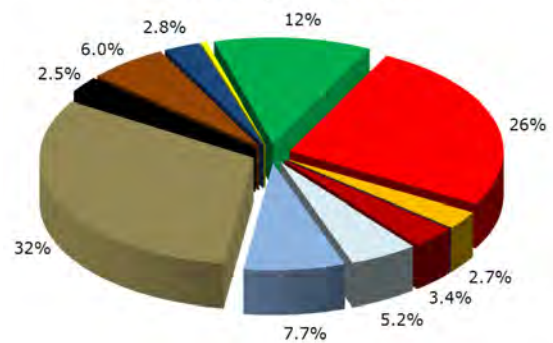
**Waterschap Velt en Vecht**



**Waterschap Veluwe**



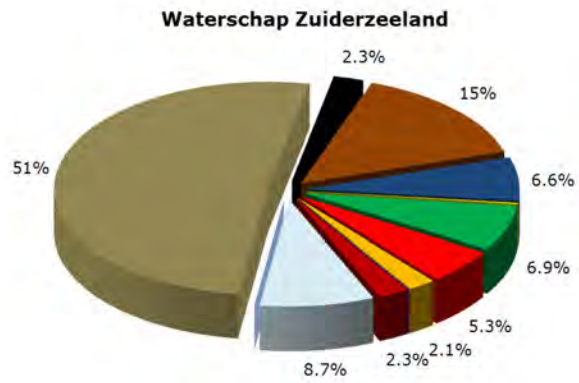
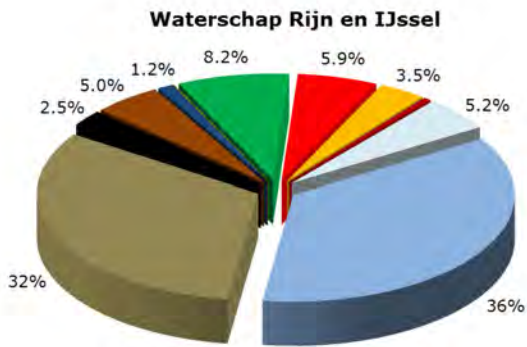
**Waterschap Vallei en Eem**



- actuele bemesting
- historische bemesting
- nalevering bodem
- kwel
- infiltratiewater
- natuurgronden
- rwzi's
- overige landbouwemissies
- Industriële lozingen
- overige bronnen
- atmosferische depositie
- inlaat

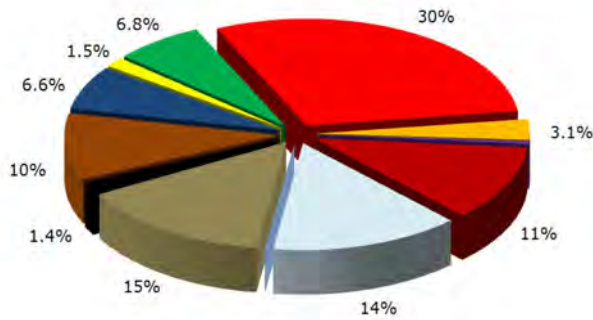
Stroomgebied Rijn-Oost (deel 2)



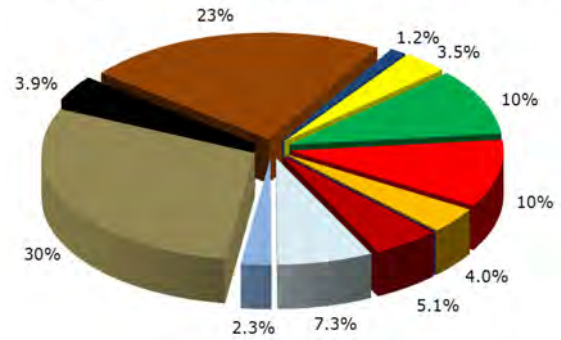


## Stroomgebied Rijn-West (deel 1)

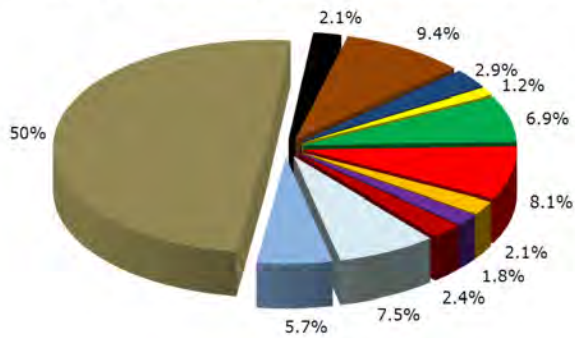
### Hoogheemraadschap Amstel Gooi en Vecht



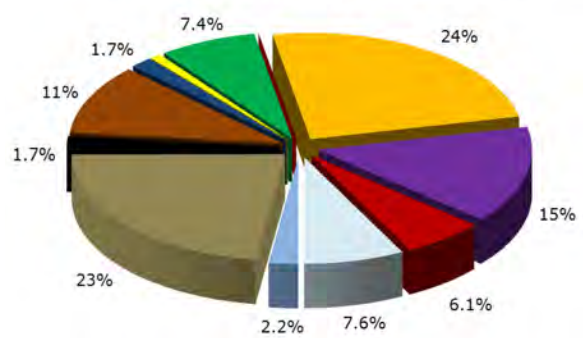
### Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden



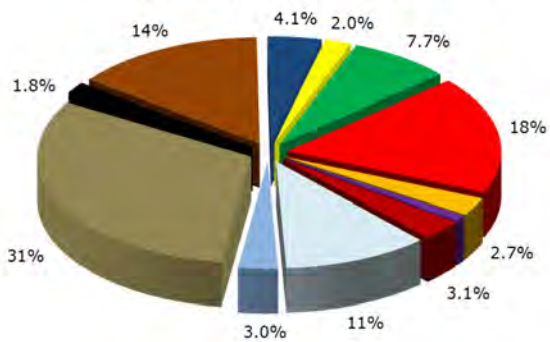
### Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier



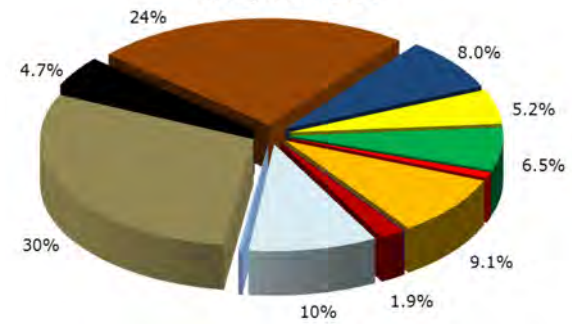
### Hoogheemraadschap van Delfland



### Hoogheemraadschap van Rijnland



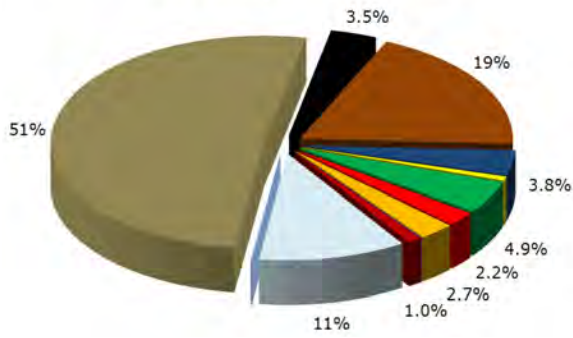
### Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard



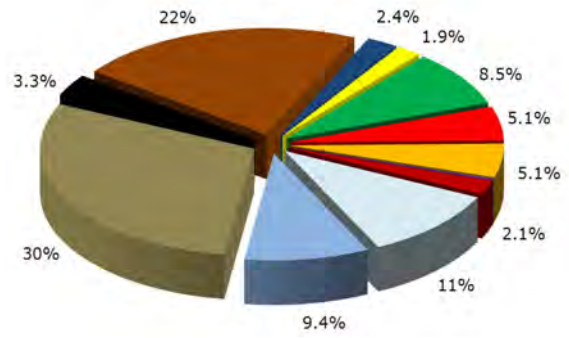
- actuele bemesting
- nalevering bodem
- infiltratiewater
- rwzi's
- industriële lozingen
- atmosferische depositie
- historische bemesting
- kwel
- natuurgronden
- overige landbouwemissies
- overige bronnen
- inlaat

Stroomgebied Rijn-West (deel 2)

**Waterschap Hollandse Delta**

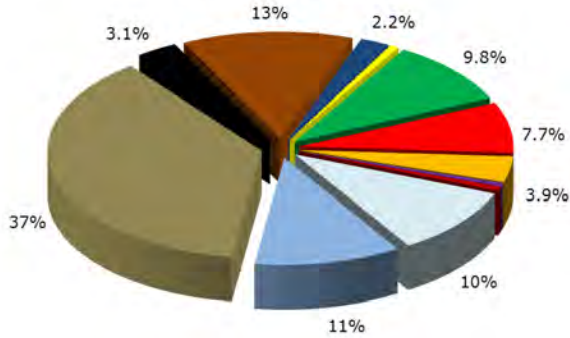


**Waterschap Rivierenland**

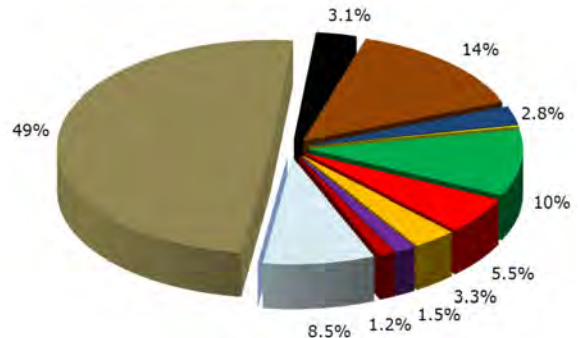


Stroomgebied Rijn-Noord

**Wetterskip Fryslan**

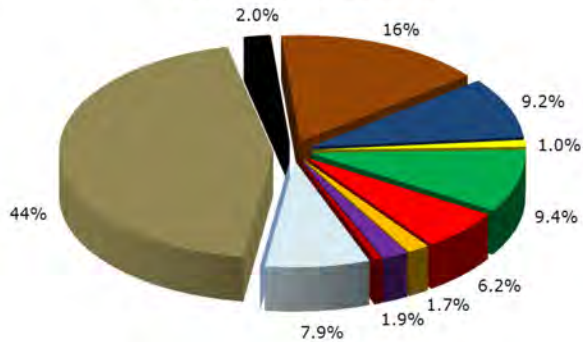


**Waterschap Noorderzijlvest**



Stroomgebied Eems

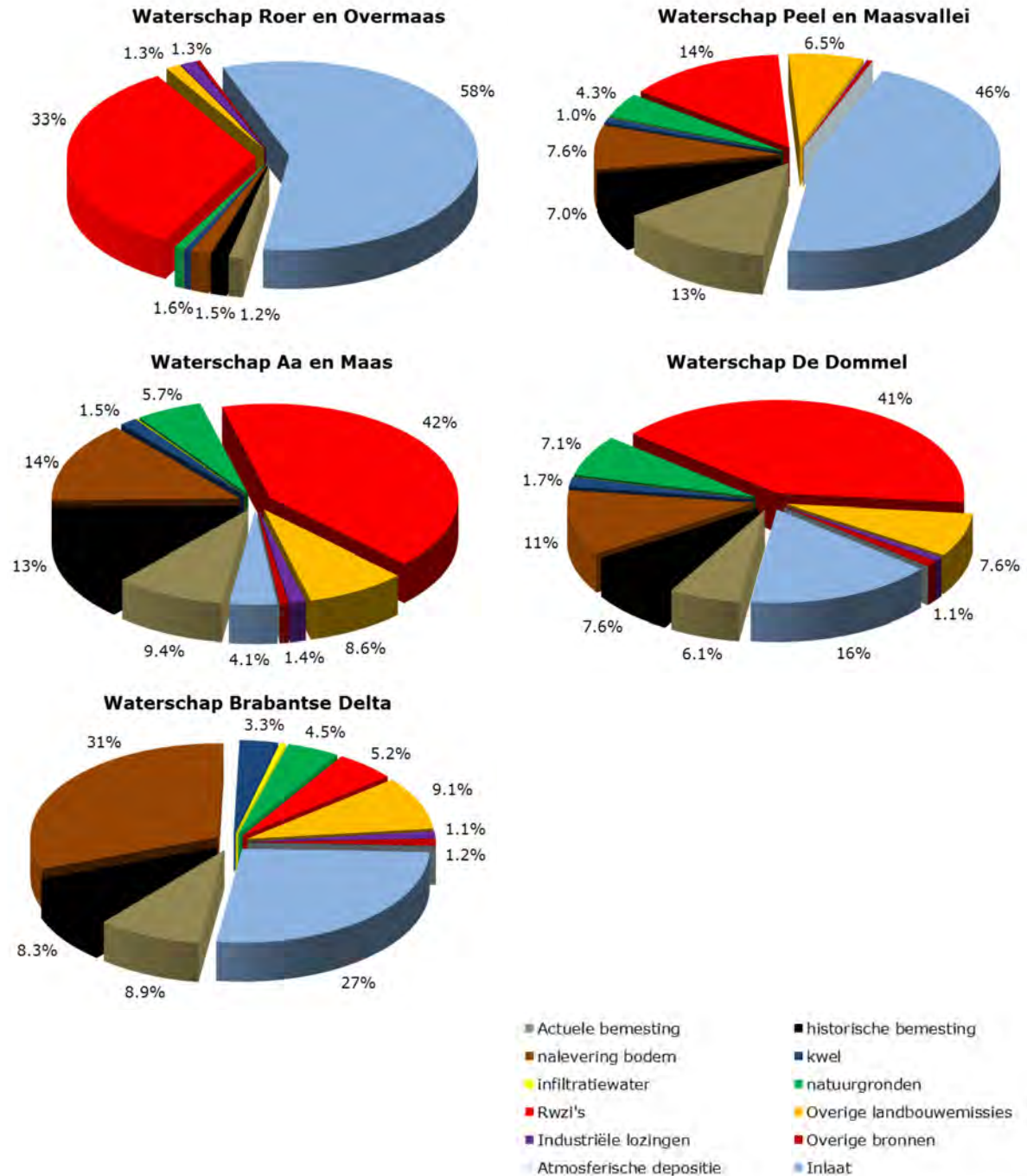
**Waterschap Hunze en Aa's**



- Actuele bemesting
- historische bemesting
- nalevering bodem
- kwel
- infiltratiewater
- natuurgronden
- Rwzi's
- Overige landbouwemissies
- Industriële lozingen
- Overige bronnen
- Atmosferische depositie
- Inlaat

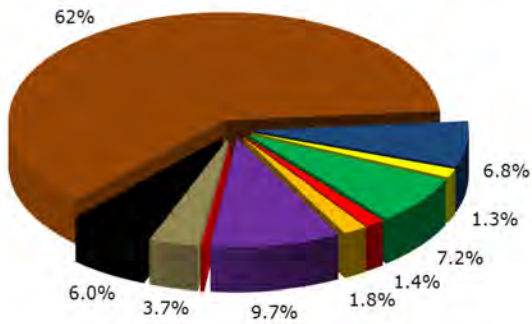
# Fosforbalansen

## Stroomgebied Maas

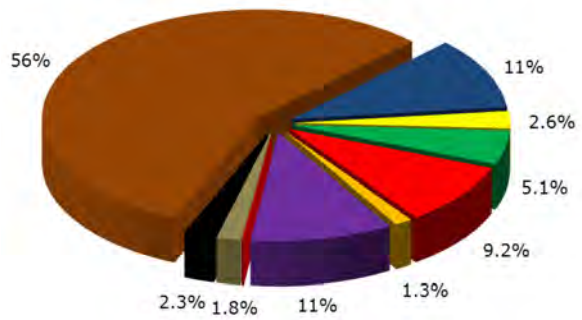


Stroomgebied Schelde

**Waterschap Zeeuwse Eilanden**

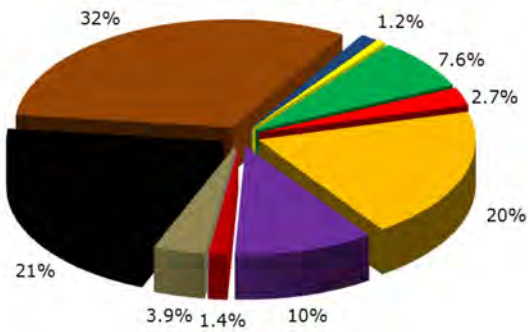


**Waterschap Zeeuws-Vlaanderen**

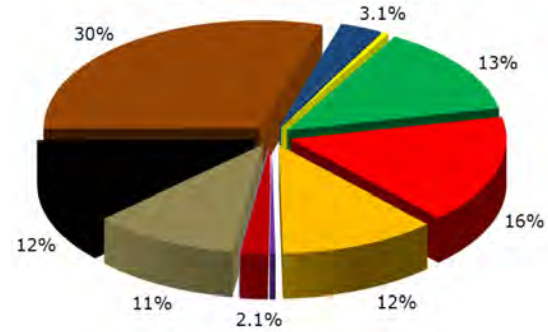


Stroomgebied Rijn-Oost (deel 1)

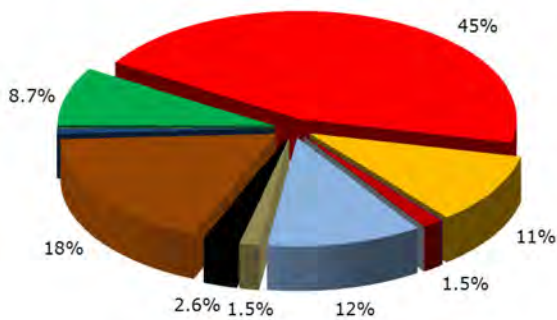
**Waterschap Groot Salland**



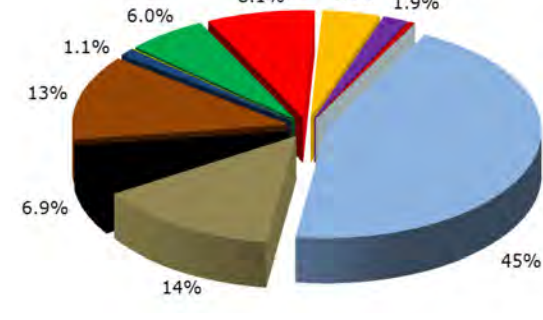
**Waterschap Reest en Wieden**



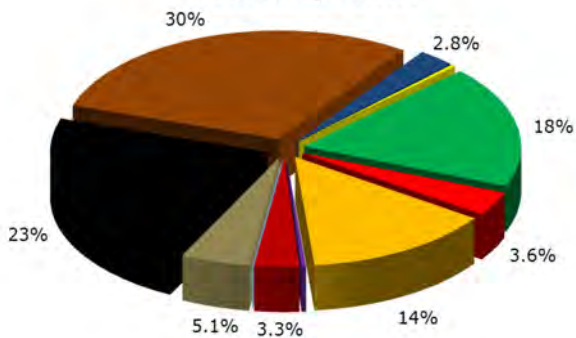
**Waterschap Regge en Dinkel**



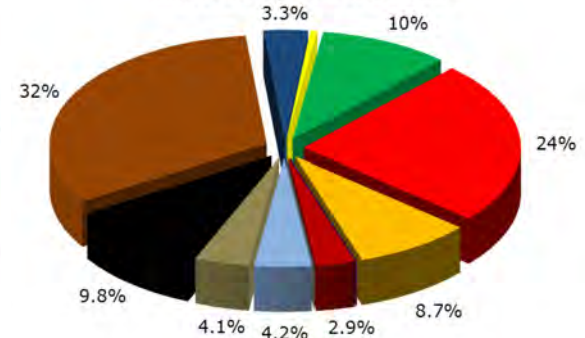
**Waterschap Velt en Vecht**



**Waterschap Veluwe**

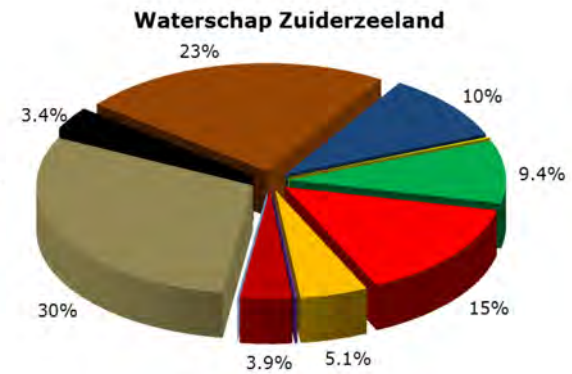
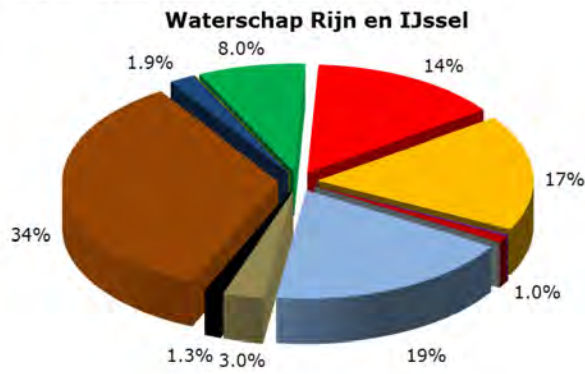


**Waterschap Vallei en Eem**

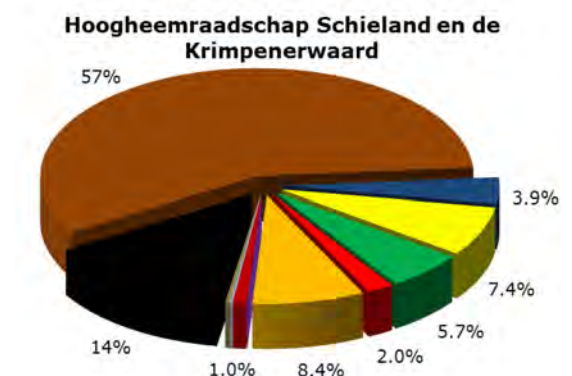
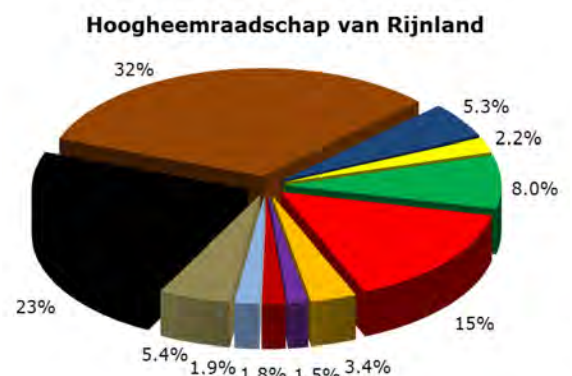
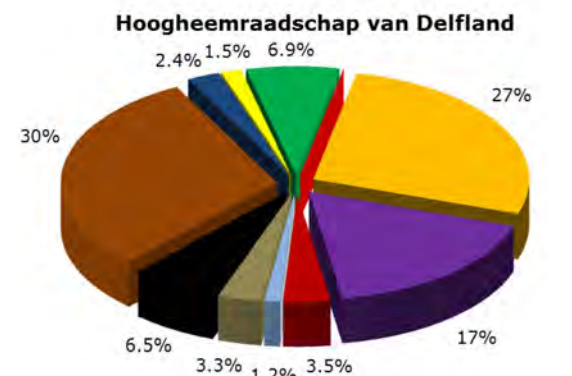
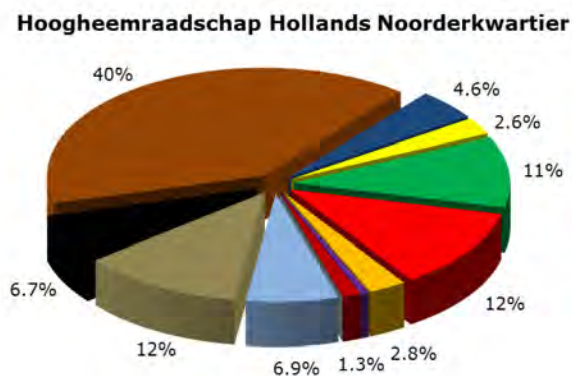
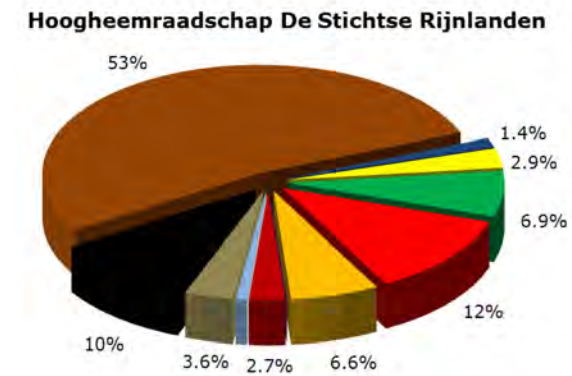
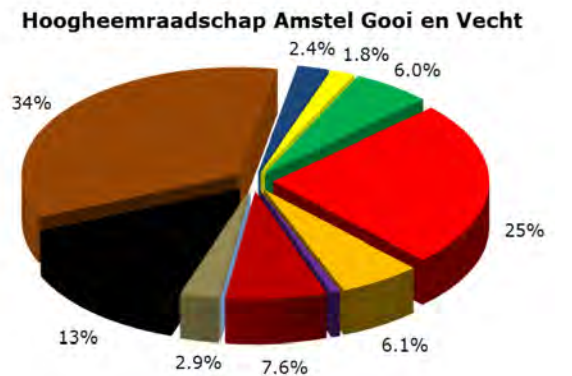


- actuele bemesting
- historische bemesting
- nalevering bodem
- kwel
- infiltratiewater
- natuurgronden
- rwzi's
- overige landbouwemissies
- industriële lozingen
- overige bronnen
- atmosferische depositie
- inlaat

Stroomgebied Rijn-Oost (deel 2)



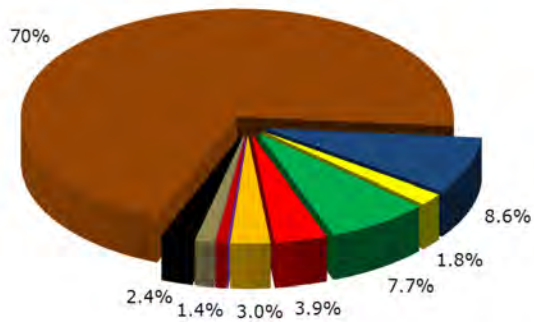
Stroomgebied Rijn-West (deel 1)



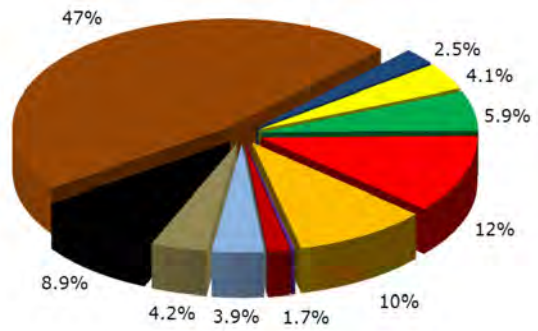
- actuele bemesting
- historische bemesting
- nalevering bodem
- kwel
- infiltratiewater
- natuurgronden
- rwzi's
- overige landbouwemissies
- industriële lozingen
- overige bronnen
- atmosferische depositie
- inlaat

Stroomgebied Rijn-West (deel 2)

**Waterschap Hollandse Delta**

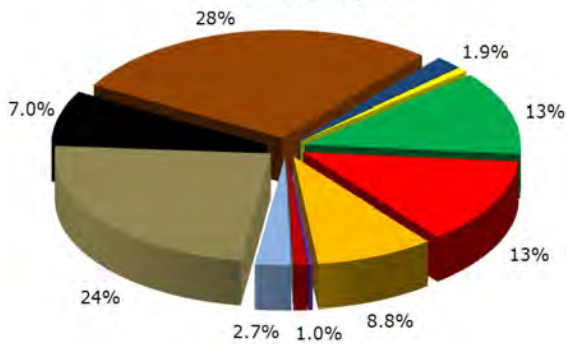


**Waterschap Rivierenland**

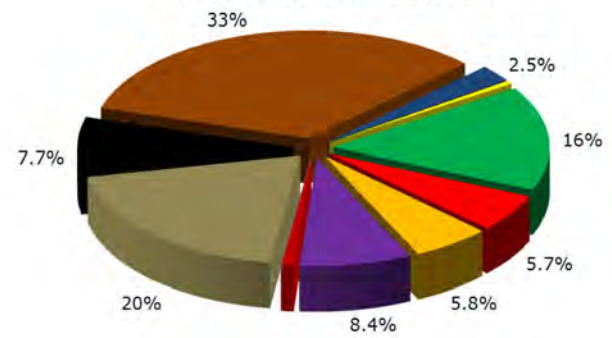


Stroomgebied Rijn-Noord

**Wetterskip Fryslan**

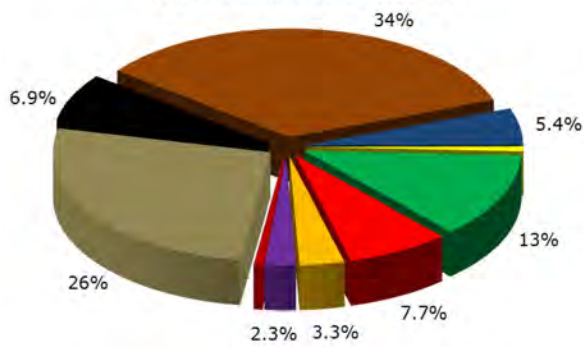


**Waterschap Noorderzijlvest**



Stroomgebied Eems

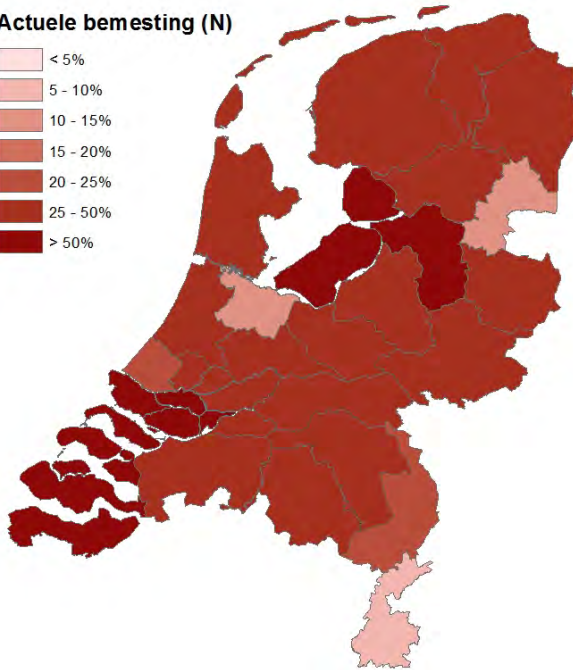
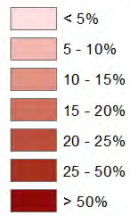
**Waterschap Hunze en Aa's**



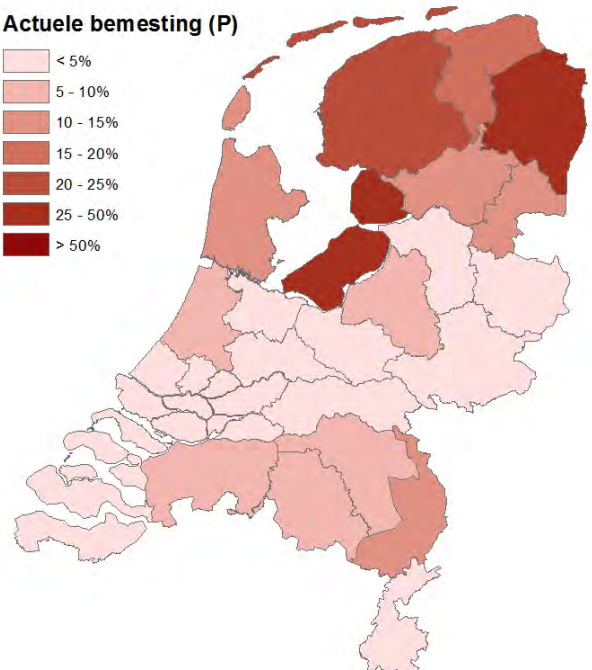
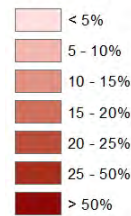
- |                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| ■ Actuele bemesting       | ■ historische bemesting    |
| ■ nalevering bodem        | ■ kwel                     |
| ■ infiltratiewater        | ■ natuurgronden            |
| ■ Rwwi's                  | ■ Overige landbouwemissies |
| ■ Industriële lozingen    | ■ Overige bronnen          |
| ■ Atmosferische depositie | ■ Inlaat                   |

# Bijlage 4 Relatieve bijdrage bronnen

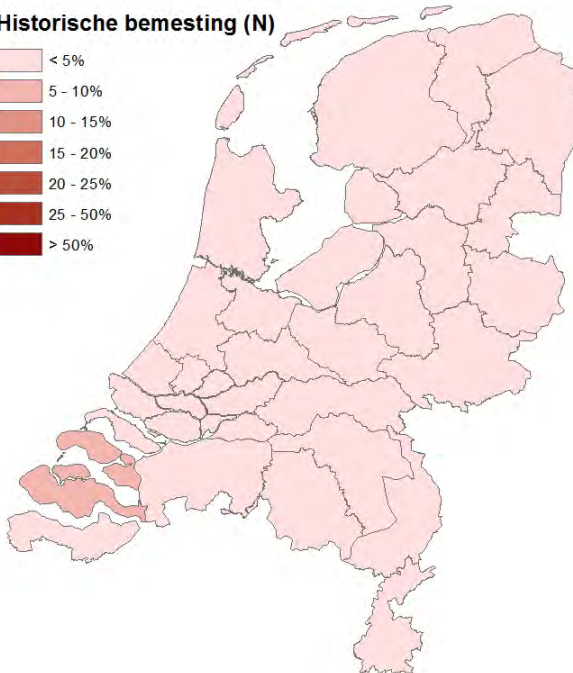
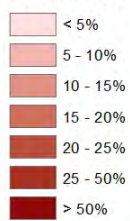
**Actuele bemesting (N)**



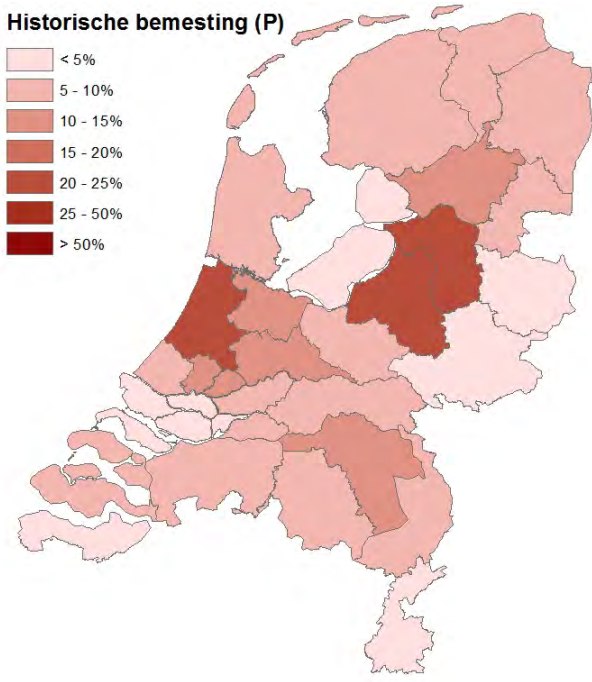
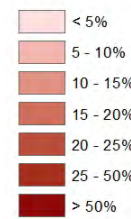
**Actuele bemesting (P)**



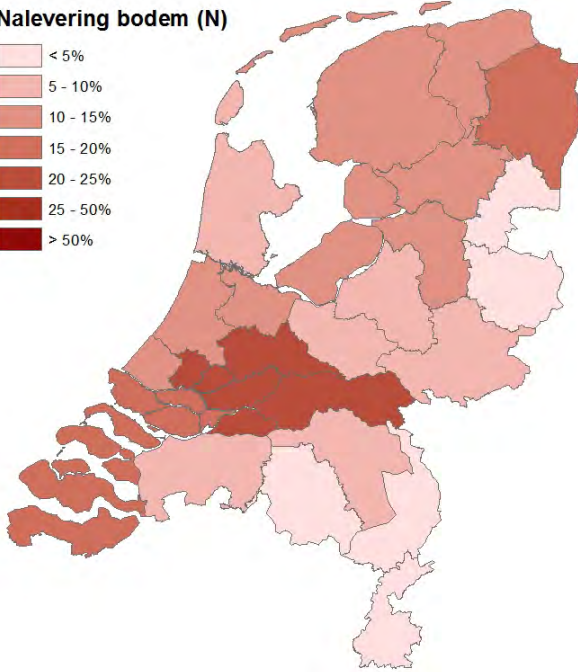
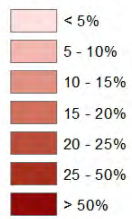
**Historische bemesting (N)**



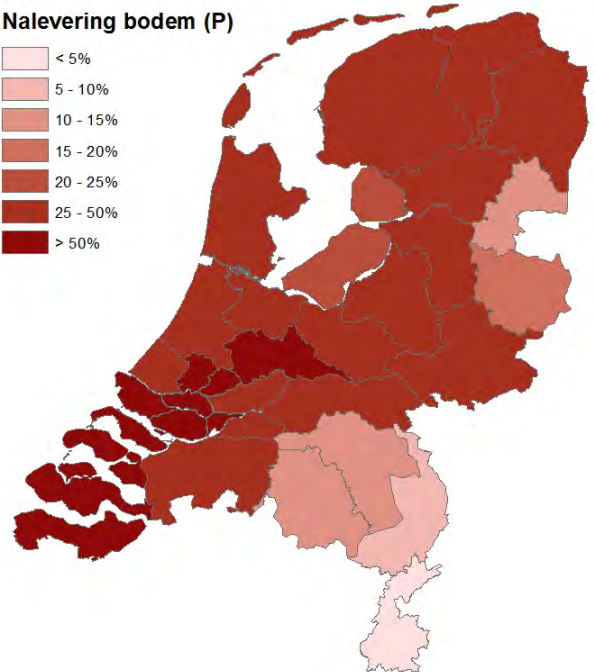
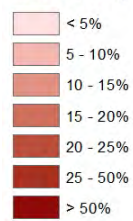
**Historische bemesting (P)**



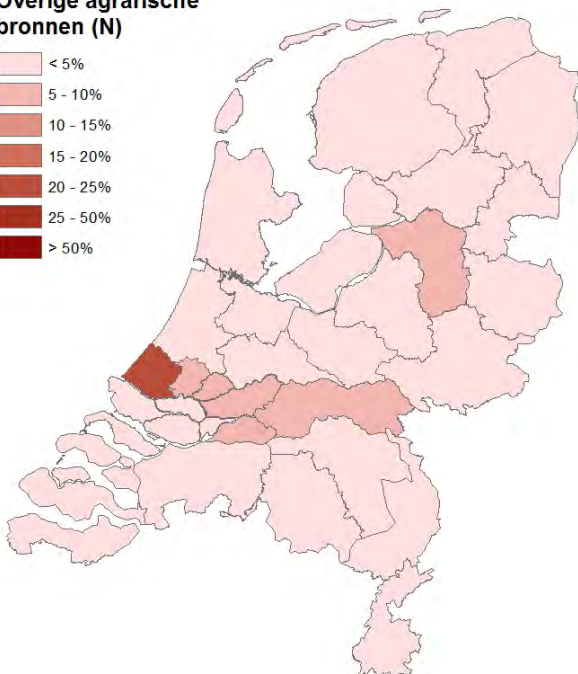
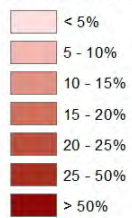
### Nalevering bodem (N)



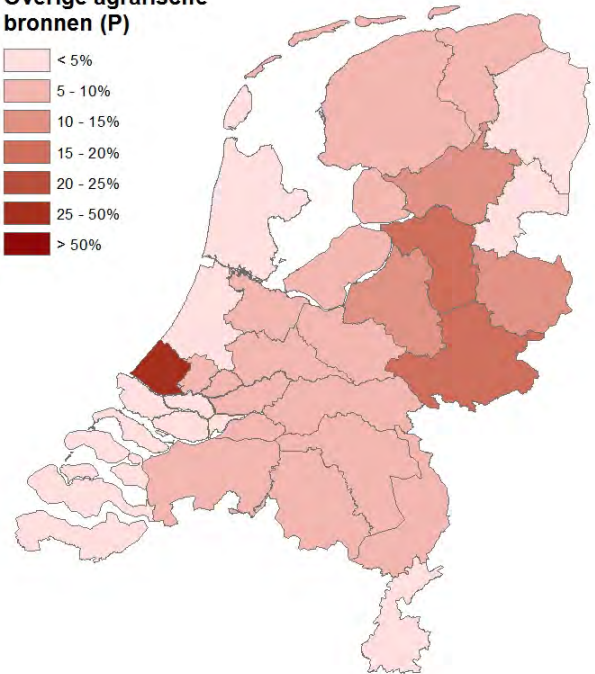
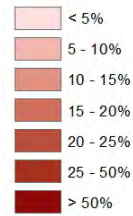
### Nalevering bodem (P)



### Overige agrarische bronnen (N)

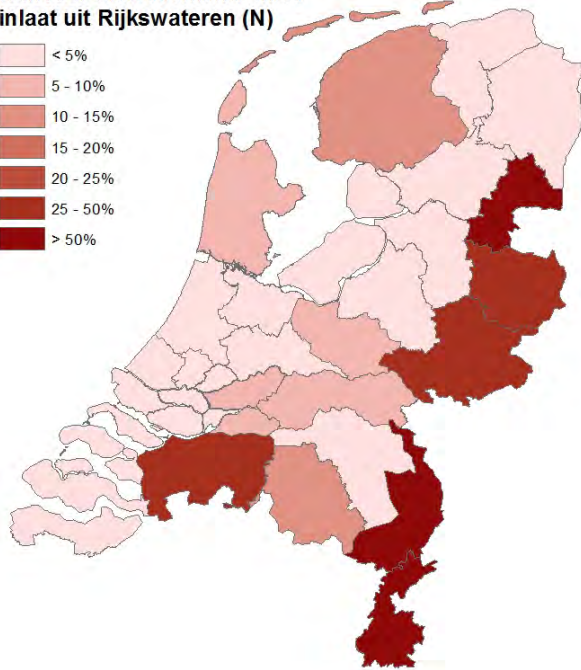
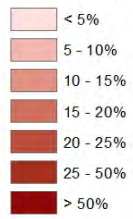


### Overige agrarische bronnen (P)

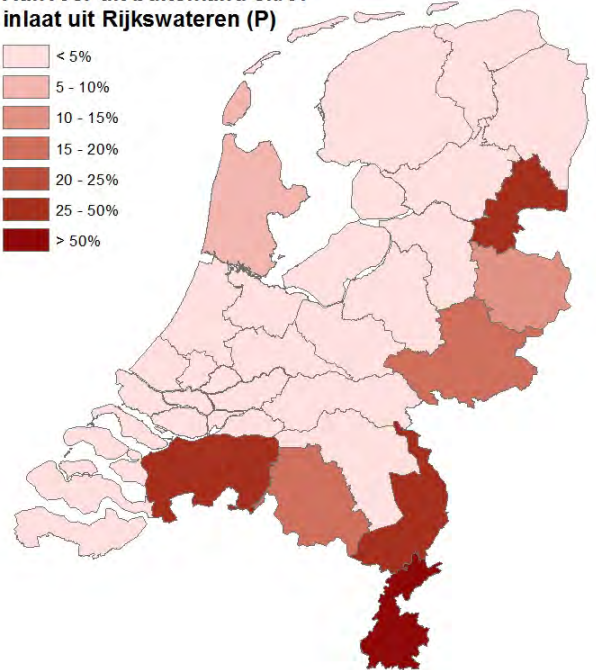
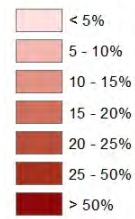




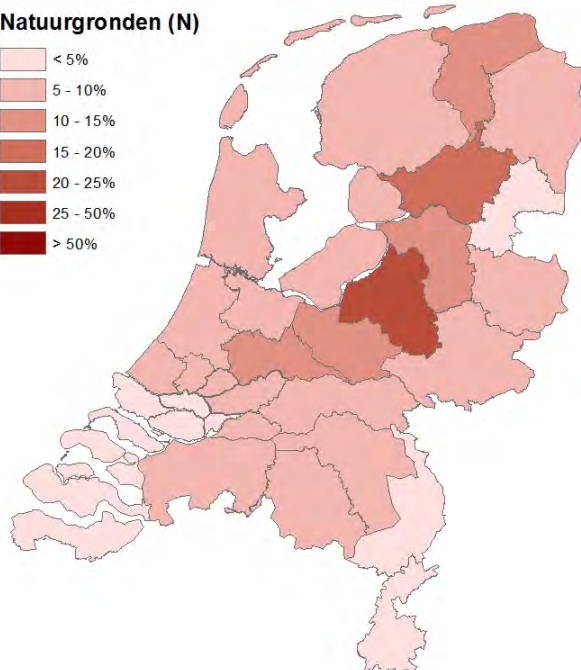
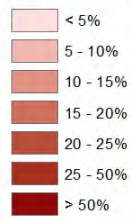
**Aanvoer uit buitenland en/of inlaat uit Rijkswateren (N)**



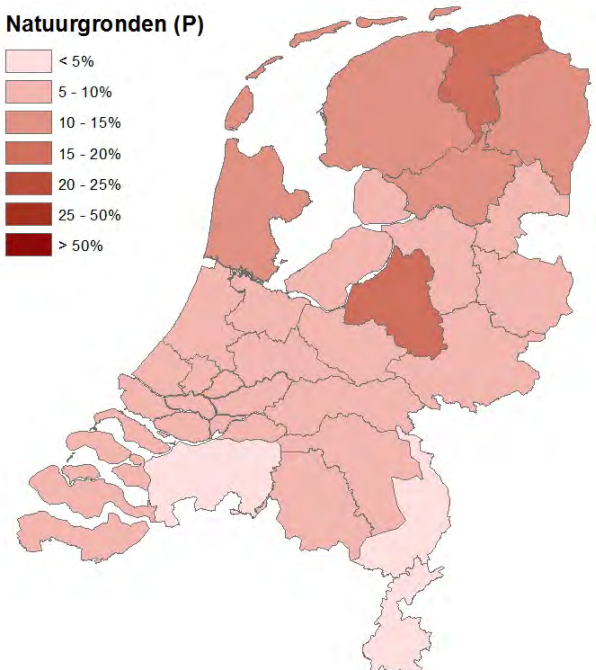
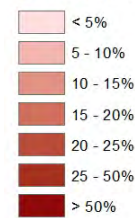
**Aanvoer uit buitenland en/of inlaat uit Rijkswateren (P)**



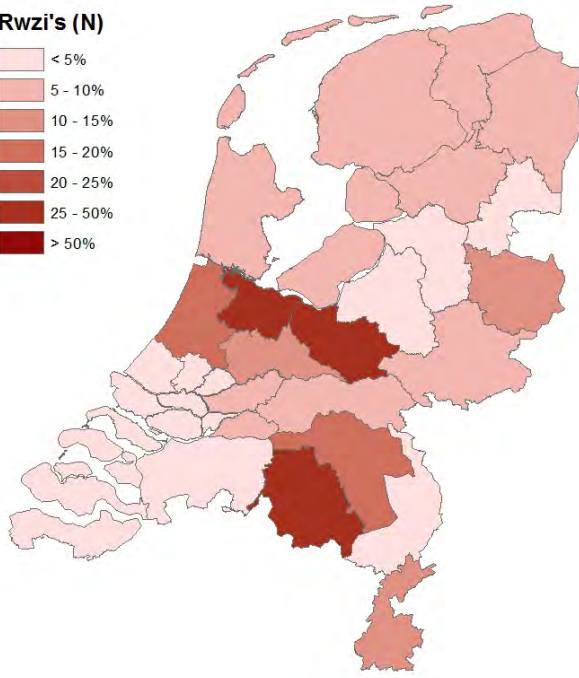
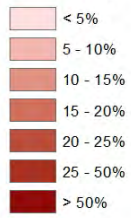
**Natuurgronden (N)**



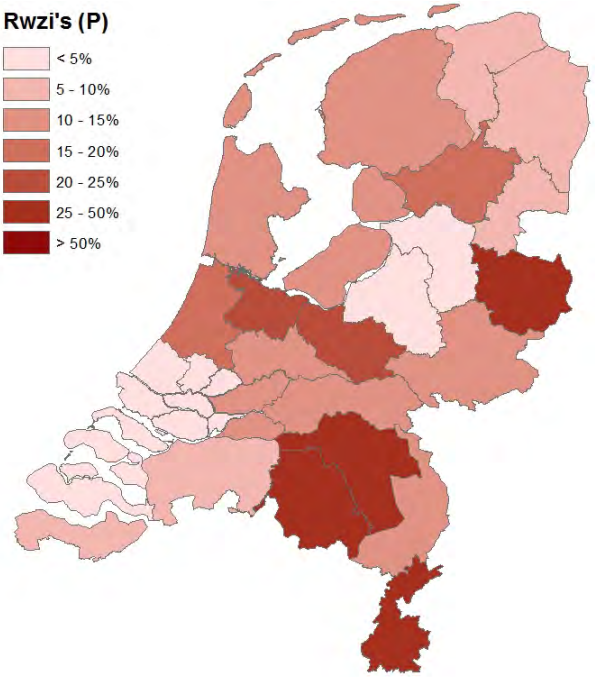
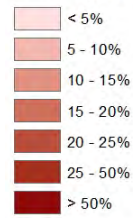
**Natuurgronden (P)**



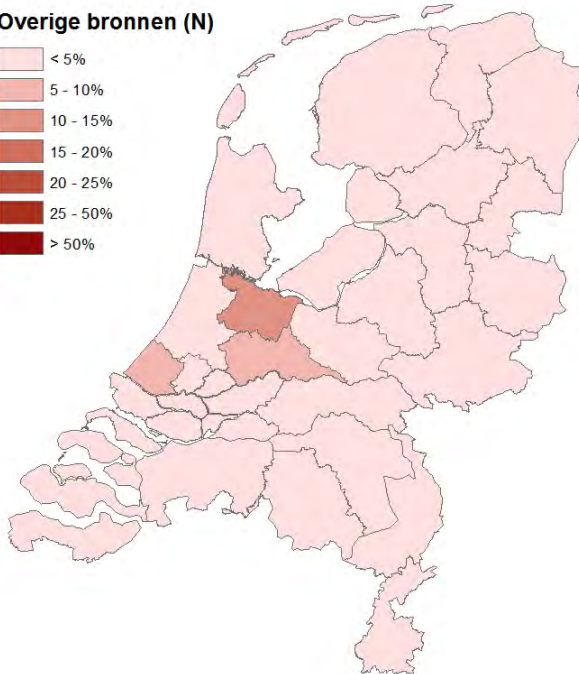
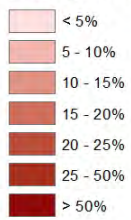
**Rwzi's (N)**



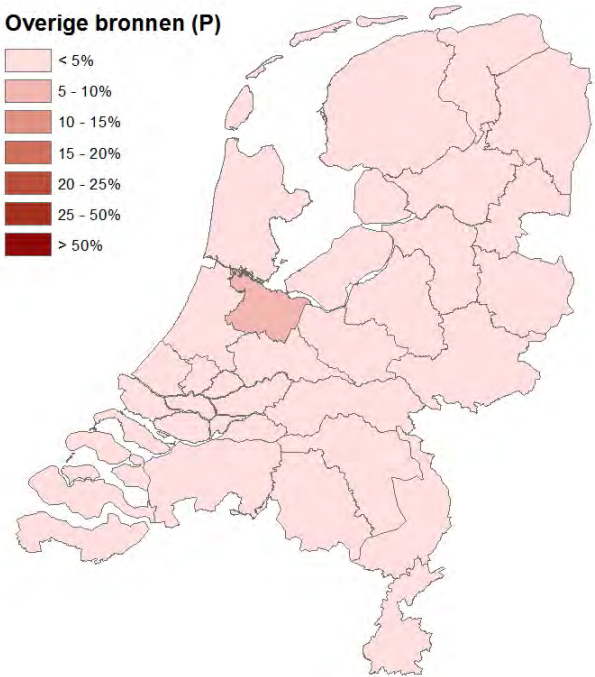
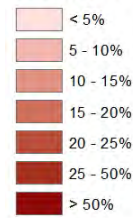
**Rwzi's (P)**



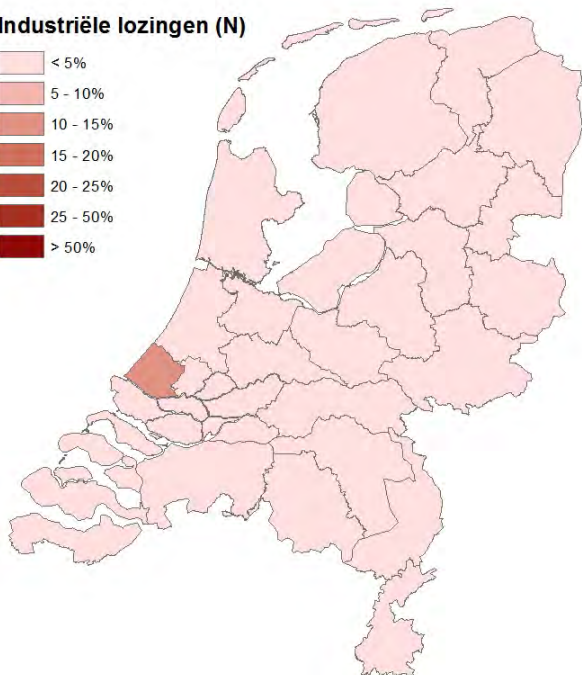
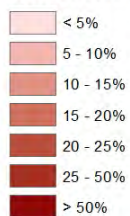
**Overige bronnen (N)**



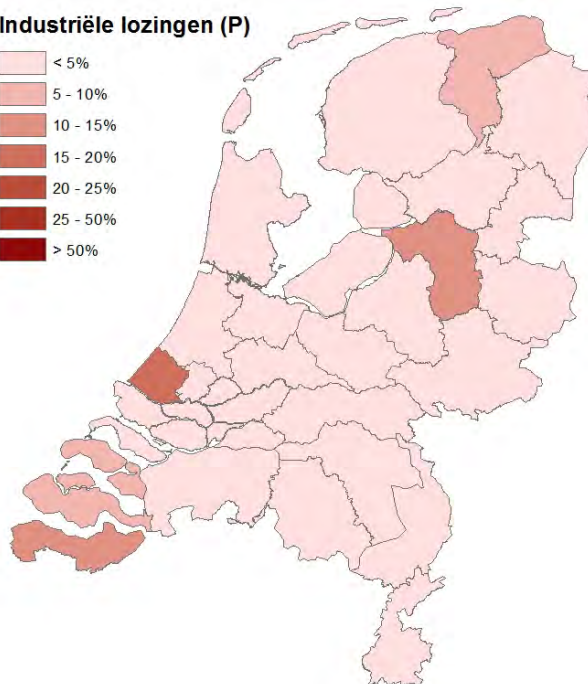
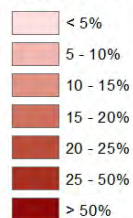
**Overige bronnen (P)**



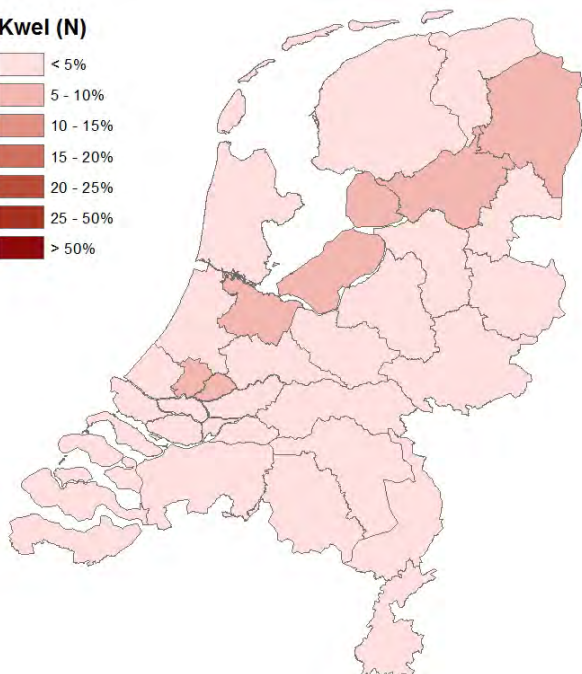
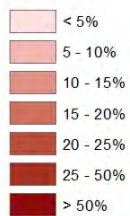
### Industriële lozingen (N)



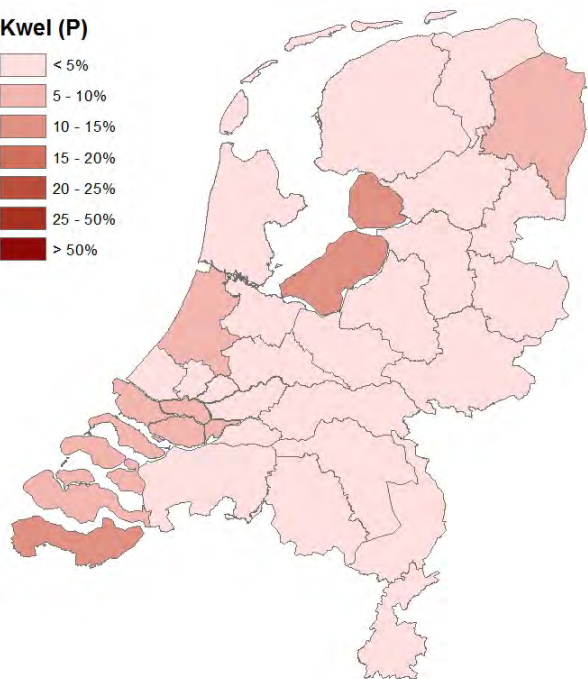
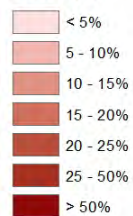
### Industriële lozingen (P)



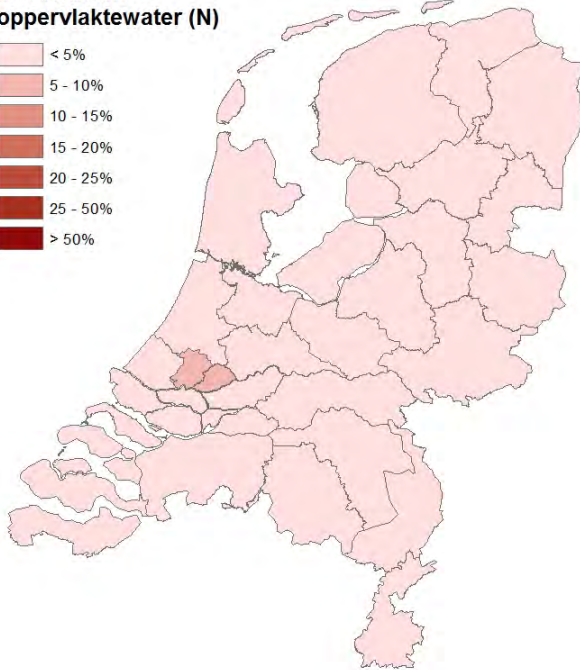
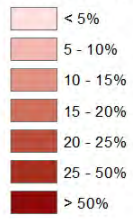
### Kwel (N)



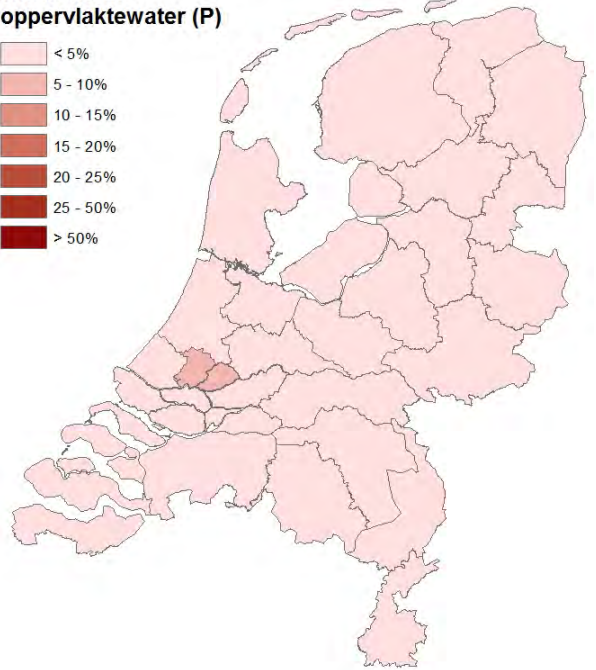
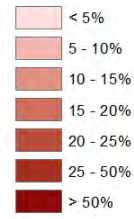
### Kwel (P)



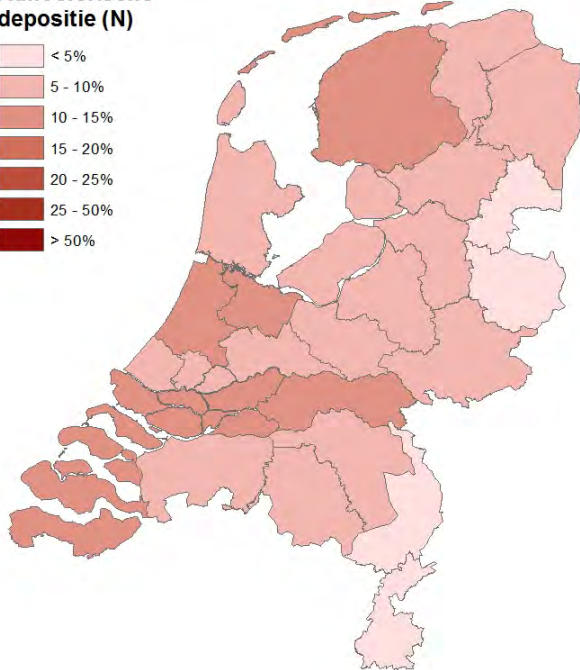
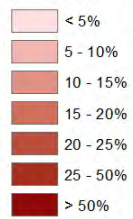
**infiltratie uit oppervlaktewater (N)**



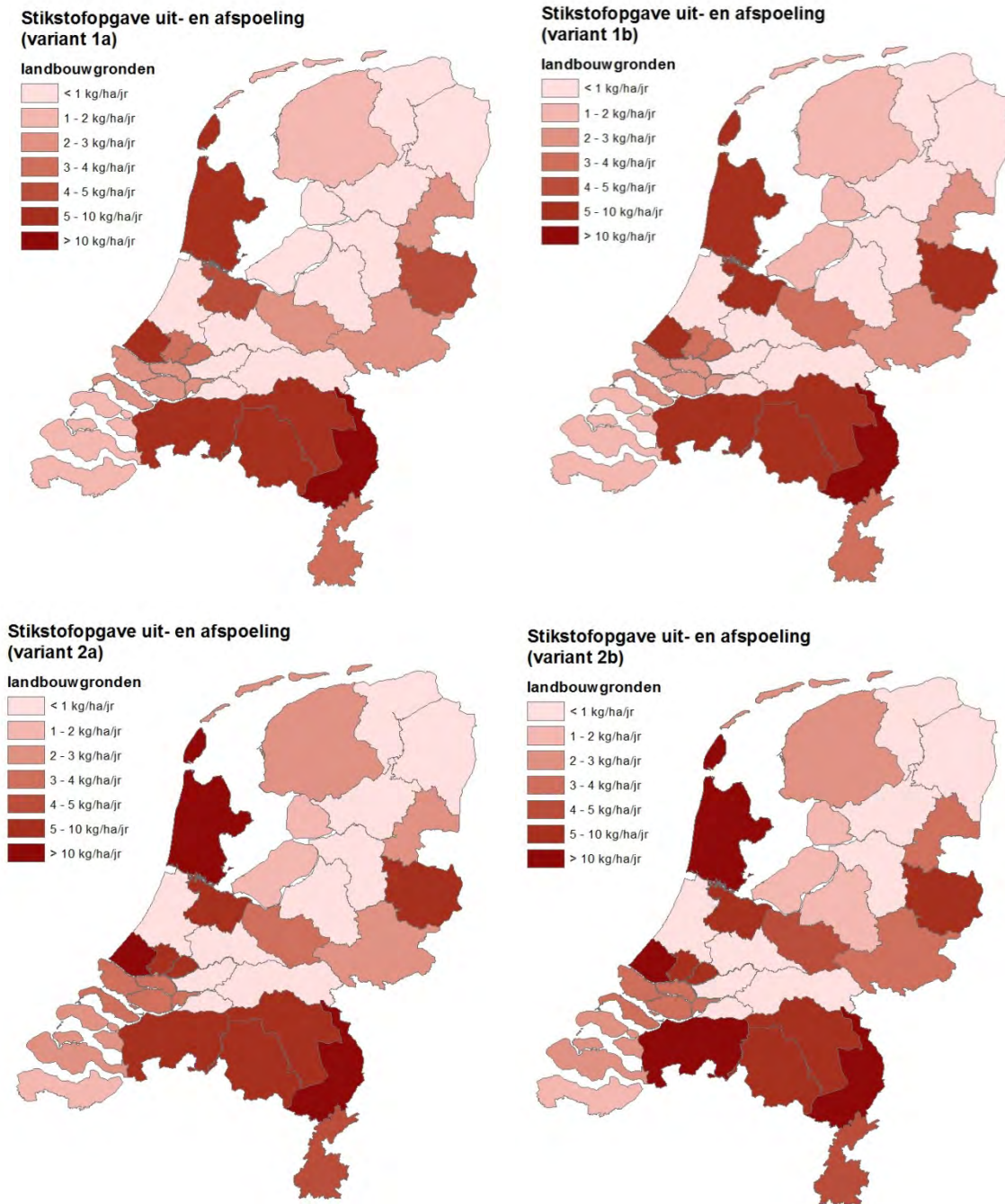
**infiltratie uit oppervlaktewater (P)**



**Atmosferische depositie (N)**



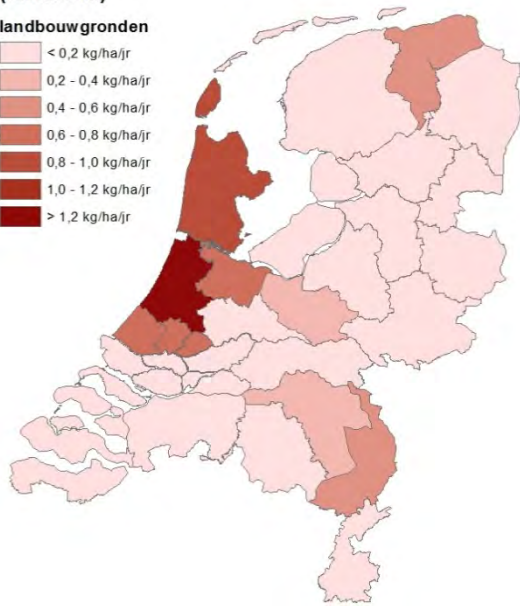
# Bijlage 5 Opgave regionale waterlichamen



Figuur A5.1 Opgave voor het verlagen van de N-belasting van regionale waterlichamen ( $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ ) voor de landbouwbronnen.

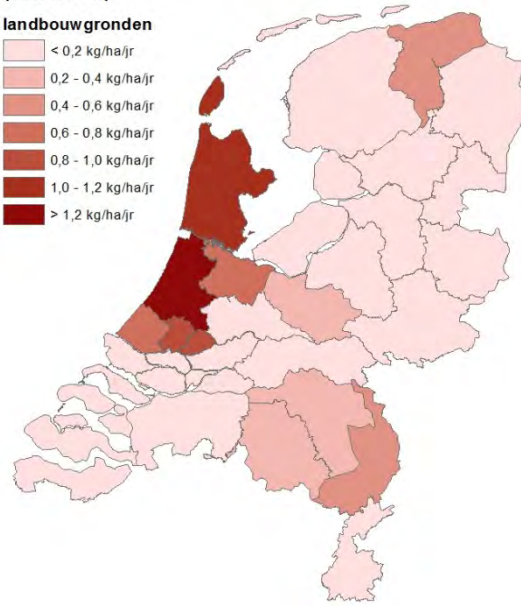
**Fosforopgave uit- en afspoeling  
(variant 1a)**

**landbouwgronden**



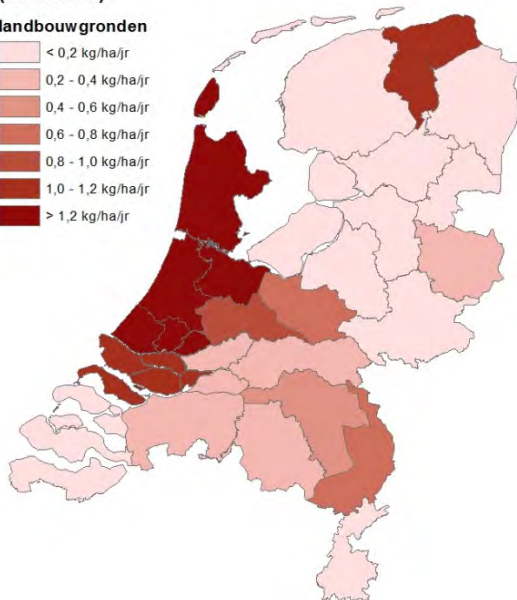
**Fosforopgave uit- en afspoeling  
(variant 1b)**

**landbouwgronden**



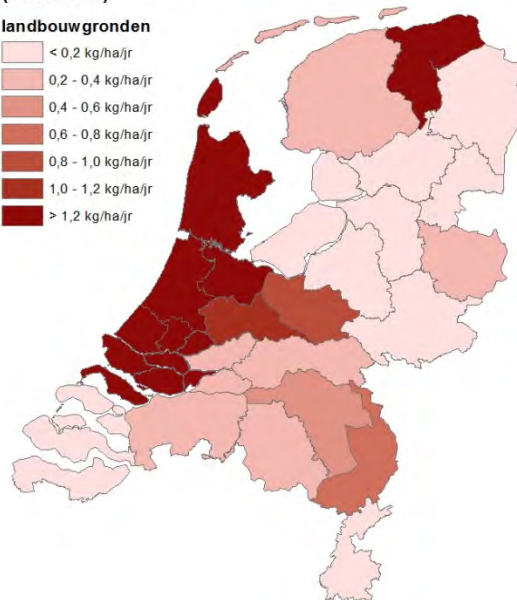
**Fosforopgave uit- en afspoeling  
(variant 2a)**

**landbouwgronden**



**Fosforopgave uit- en afspoeling  
(variant 2b)**

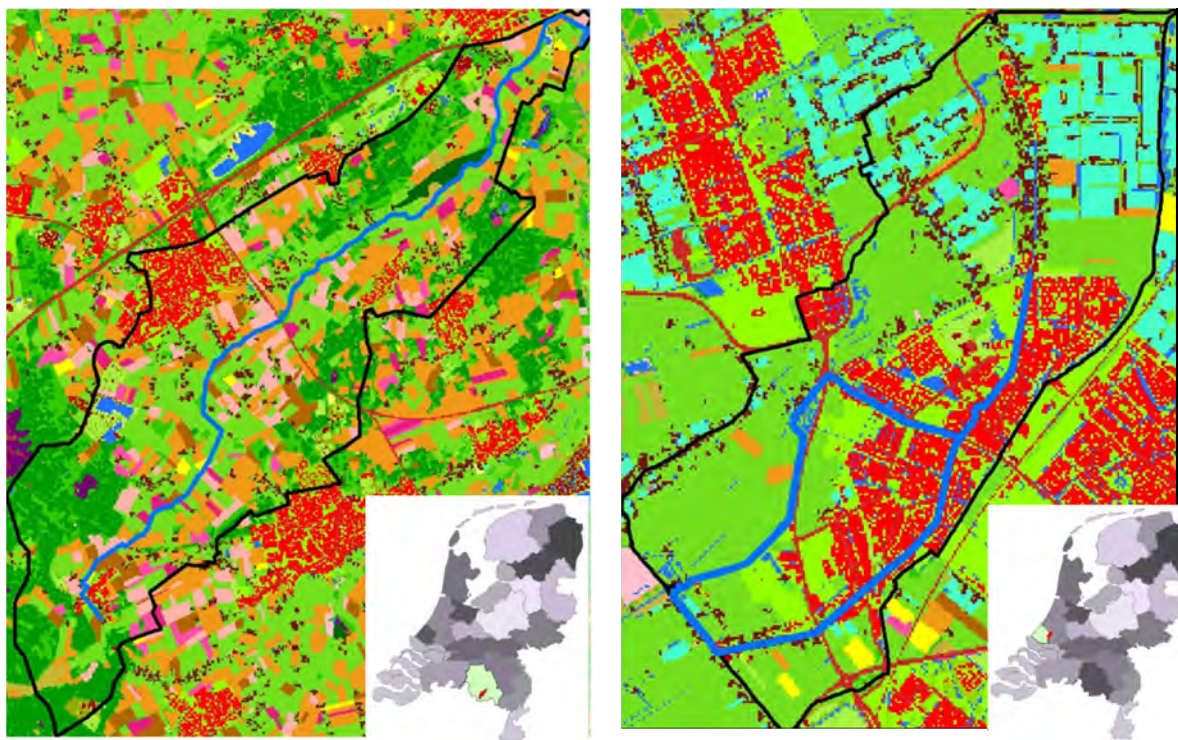
**landbouwgronden**



Figuur A5.2 Opgave voor het verlagen van de P-belasting van regionale waterlichamen ( $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ ) voor de landbouwbronnen.

## Bijlage 6 Methodiek opgave

In deze Bijlage is voor twee gebieden de rekenmethodiek voor het afleiden van de opgave voor de landbouw voor het realiseren van de gewenste nutriëntenconcentraties nader toegelicht. Het eerste gebied betreft een vrij afwaterende beek in het beheergebied van waterschap De Dommel (Run) en het tweede gebied is polder Berkel in het beheergebied van Hoogheemraadschap van Delfland (Figuur A6.1). Voor het vaststellen van de opgave voor de landbouw zijn verschillende stappen doorlopen die hieronder verder zijn uitgewerkt.



**Figuur A6.1** Afwateringsgebied van waterlichaam Run in het beheergebied van waterschap De Dommel (links) en polder Berkel in het beheergebied van Hoogheemraadschap van Delfland (rechts).

*Stap 1: Bepalen verschil tussen normconcentraties volgens de KRW en gemeten concentraties.*

De gemeten stikstof- en fosforconcentratie in het waterlichaam Run en polder Berkel voldoen beide niet aan de gewenste stikstof- en fosfornorm (Tabel A6.1). De normconcentratie voor stikstof in waterlichaam Run wordt overschreden met ca. 19%, voor fosfor is de overschrijding gering (2,9%). Voor polder Berkel is de overschrijding respectievelijk 36% voor stikstof en 14% voor fosfor.

Deze percentages zijn gebruikt als een getal voor de “overall” reductie die moet worden gerealiseerd om aan KRW-doelen te voldoen. Dit wordt beschouwd als de “overall” opgave voor de KRW. Het betreft dus een getal waar de reducties van alle bronnen tezamen toe moet leiden.

**Tabel A6.1** Mate van overschrijding van de stikstof- en fosfornormen in de opgave voor regionale wateren.

	Stikstof	Fosfor
<b>Run</b>		
Nutriëtnorm (mg/l)	2.30	0.110
Gemeten nutriëntenconcentratie (mg/l)	2.83	0.113
<b>Overschrijding (%)</b>	<b>18.8%</b>	<b>2.9</b>
<b>Polder Berkel</b>		
Nutriëtnorm (mg/l)	1.80	0.30
Gemeten nutriëntenconcentratie (mg/l)	2.83	0.35
<b>Overschrijding (%)</b>	<b>36.5%</b>	<b>14.3%</b>

*Stap 2: Berekening N- en P-vrachten voor de afwateringsgebieden.*

Op basis van de ECHO-methodiek is een stoffenbalans opgesteld voor beide afwateringsgebieden waarbij informatie over de uit- en afspoeling uit landbouw- en natuurgebieden (STONE-berekeningen) zijn gecombineerd met informatie uit de Emissieregistratie over puntbronnen, meetgegevens (waterkwaliteit en waterkwantiteit) en retentie in het oppervlaktewater (Tabel A6.2).

**Tabel A6.2** Stikstof- en fosforbalans (ton/jaar) voor de afwateringsgebieden van waterlichaam Run en polder Berkel.

Bronnen (ton/jaar)	Run		Polder Berkel	
	stikstof	fosfor	stikstof	fosfor
Uit- en afspoeling landbouwgronden	44.5	1.18	36.4	5.71
Uit- en afspoeling natuurgronden	7.0	0.27	13.8	1.44
Overige agrarische bronnen	2.2	0.41	18.7	2.50
Industriële lozingen	0.01	0.00	0.00	0.00
Overige bronnen	0.45	0.04	5.3	0.44
Atmosferische depositie (open water)	1.3	-	1.5	-
<b>Totaal IN</b>	<b>55.5</b>	<b>1.89</b>	<b>75.8</b>	<b>10.1</b>
Retentie	<b>10.0</b>	<b>0.13</b>	<b>22.0</b>	<b>4.2</b>
<b>Totaal UIT</b>	<b>45.5</b>	<b>1.76</b>	<b>53.8</b>	<b>5.9</b>

*Stap 3: Toedeling van N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden naar verschillende bronnen.*

De berekende uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden uit Tabel A6.2 is de resultante van achterliggende bronnen (o.a. bemesting, kwel, depositie) en processen in de bodem (mineralisatie, adsorptie). Met het landsdekkende STONE-model is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de bijdrage aan de uitspoeling van de verschillende aanvoerposten van nutriënten naar landbouwgronden vast te stellen.

De actuele bemesting levert de grootste bijdrage aan de uit- en afspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater (Tabel A6.3) Voor de Run is de bijdrage van de actuele bemesting bijna 80%, voor polder Berkel is dit ca. 46%. De nalevering vanuit de bodem levert de grootste bijdrage aan de fosforbelasting van het oppervlaktewater via de uit- en afspoeling (ca. 45% voor de Run en bijna 70% voor polder Berkel).



**Tabel A6.3** Relatieve bijdrage van de verschillende bronnen aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden voor de afwateringsgebieden van waterlichaam Run en polder Berkel.

Bronnen (relatieve bijdrage)	Run		Polder Berkel	
	Relatieve bijdrage (%)			
	stikstof	fosfor	stikstof	fosfor
Actuele bemesting	79.2	26.1	46.2	0.96
Historische bemesting	4.0	24.1	6.3	17.6
Nalevering bodem	6.9	46.7	32.5	66.2
Atmosferische depositie	8.6	-	4.8	-
Kwel	1.2	3.1	6.2	10.4
Infiltratiewater	0.07	0.07	4.0	4.8

Vervolgens kunnen de resultaten voor stap 2 (Tabel A6.2) en stap 3 (Tabel A6.3) gecombineerd worden om een totaalbeeld te krijgen van de bijdrage van de verschillende bronnen (Tabel A6.4).

**Tabel B2.4** Stikstof- en fosforbalans (ton/jaar) voor de afwateringsgebieden van waterlichaam Run en polder Berkel, waarbij de uit- en afspoeling verder is onderverdeeld.

Bronnen (ton/jaar)	Run		Polder Berkel	
	stikstof	fosfor	stikstof	fosfor
Actuele bemesting	35.3	0.31	16.8	0.05
Historische bemesting	1.8	0.28	2.3	1.0
Nalevering bodem	3.1	0.55	11.8	3.8
Atmosferische depositie (op het land)	3.8	-	1.7	-
Kwel	0.55	0.04	2.3	0.60
infiltratie	0.03	0.00	1.5	0.27
Uit- en afspoeling natuurgronden	7.0	0.27	13.8	1.44
Overig agrarische bronnen	2.2	0.41	18.7	2.50
Industriële lozingen	0.01	0.00	0.00	0.00
Overige bronnen	0.45	0.04	5.3	0.44
Atmosferische depositie (open water)	1.3	-	1.5	-
<b>Totaal IN</b>	<b>55.5</b>	<b>1.89</b>	<b>75.8</b>	<b>10.1</b>
Retentie	<b>10.0</b>	<b>0.13</b>	<b>21.9</b>	<b>4.2</b>
<b>Totaal UIT</b>	<b>45.5</b>	<b>1.76</b>	<b>53.9</b>	<b>5.9</b>

#### Stap 4: Vaststellen opgave voor de landbouw.

In stap 4 wordt de opgave voor de landbouw afgeleid. De vraag welk deel van de belasting, afkomstig van atmosferische depositie en de nalevering vanuit de landbouwbodem, aan landbouw moet worden toegeschreven, is in het midden gelaten. Ook op de vraag of gestreefd zou moeten worden naar een volledig doelbereik of naar een mate van doelbereik waarbij de inspanning wordt afgestemd op de bijdrage van achtergrondbelasting (kwel en infiltratie vanuit het oppervlaktewater) aan de normoverschrijding wordt geen antwoord gegeven. Het totaal aantal varianten komt hiermee op vier (zie Tabel 6.5).

**Tabel A6.5** Toedeling van de bronnen aan de verschillende categorieën voor de verschillende varianten.

categorie	Classificatie bronnen			
	Variant 1a	Variant 1b	Variant 2a	Variant 2b
Landbouw (uit- en afspoeling)	Actuele bemesting	Actuele bemesting	Actuele bemesting	Actuele bemesting
	Historische bemesting	Historische bemesting	Historische bemesting	Historische bemesting
			Nelevering bodem	Nelevering bodem
			Atm. depositie (land)	Atm. depositie (land)
Landbouw (o.a. glastuinbouw)	Overige agrarische bronnen	Overige agrarische bronnen	Overige agrarische bronnen	Overige agrarische bronnen
Achtergrond- belasting	Kwel	<i>Kwel<sup>1)</sup></i>	Kwel	<i>Kwel<sup>1)</sup> Infiltratie opp.</i>
	Infiltratie opp. water	<i>Infiltratie opp. water</i>	Infiltratie opp. water	<i>water</i>
	Natuurgronden	<i>Natuurgronden</i>	Natuurgronden	<i>Natuurgronden</i>
Overige bronnen	Nalevering bodem	Nalevering bodem	Industriële lozingen	Industriële lozingen
	Atm. depositie (land)	Atm. depositie (land)	Overige bronnen	Overige bronnen
	Industriële lozingen	Industriële lozingen	Depositie (open water)	Depositie (open water)
	Overige bronnen	Overige bronnen		
	Depositie (open water)	Depositie (open water)		

- Variant 1a: Alleen de bronnen 'actuele bemesting', 'historische bemesting' en 'overige agrarische bronnen' worden aan de landbouw toegeschreven en de opgave wordt proportioneel toegeedeeld aan alle bronnen.
- Variant 1b: Alleen de bronnen 'actuele bemesting', 'historische bemesting' en 'overige agrarische bronnen' worden aan de landbouw toegeschreven en de opgave wordt proportioneel toegeedeeld aan de stuurbare bronnen.
- Variant 2a: Naast de bronnen 'actuele bemesting', 'historische bemesting' en 'overige agrarische bronnen' worden ook de bronnen 'nalevering bodem' en 'atmosferische depositie' aan de landbouw toegeschreven en de opgave wordt proportioneel toegeedeeld aan alle bronnen.
- Variant 2b: Naast de bronnen 'actuele bemesting', 'historische bemesting' en 'overige agrarische bronnen' worden ook de bronnen 'nalevering bodem' en 'atmosferische depositie' aan de landbouw toegeschreven en de opgave wordt proportioneel toegeedeeld aan de stuurbare bronnen.

Op basis van de getallen uit Tabel A6.4 kan de relatieve bijdrage van verschillende categorieën aan de totale nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater worden afgeleid (Tabel A6.6 en Tabel A6.7).

**Tabel A6.6** Absolute (ton/jaar) en relatieve (%) bijdrage van de verschillende categorieën aan de nutriëntenbelasting van het waterlichaam Run.

categorie	Variant 1a		Variant 1b		Variant 2a		Variant 2b	
	ton/jaar	%	ton/jaar	%	ton/jaar	%	ton/jaar	%
<b>Stikstof</b>								
Landbouw: uit- en afspoeling	37.0	67	37.0	77	44.0	79	44.0	92
Landbouw: o.a. glastuinbouw	2.2	4.0	2.2	4.6	2.2	4.0	2.2	4.6
Achtergrondbelasting	7.6	14	-	-	7.6	14	-	-
Overige bronnen	8.6	16	8.6	18	1.7	3.1	1.7	3.6
<b>Totaal</b>	<b>55.5</b>		<b>47.9</b>		<b>55.5</b>		<b>47.9</b>	
<b>Fosfor</b>								
Landbouw: uit- en afspoeling	0.59	31	0.59	37	1.14	60	1.14	72
Landbouw: o.a. glastuinbouw	0.41	22	0.41	26	0.41	22	0.41	26
Achtergrondbelasting	0.30	16	-	-	0.30	16	-	-
Overige bronnen	0.59	31	0.59	37	0.04	1.9	0.04	2.3
<b>Totaal</b>	<b>1.89</b>		<b>1.59</b>		<b>1.90</b>		<b>1.59</b>	

De bijdrage van de landbouw aan de uit- en afspoeling van stikstof vanuit landbouwgronden ligt voor het waterlichaam Run, afhankelijk van de gekozen variant, tussen de 67 en 92%. Voor fosfor is de bijdrage kleiner (31–72%).

De bijdrage van de overige agrarische bronnen (o.a. glastuinbouw) voor stikstof is beperkt (< 5%). Voor fosfor daarentegen is de bijdrage 22 of 26%. Ca. 15% van de totale stikstof- en fosforbelasting is afkomstig van achtergrondbelasting (kwel + infiltratiewater).

**Tabel A6.7** Absolute (ton/jaar) en relatieve (%) bijdrage van de verschillende categorieën aan de nutriëntenbelasting van het waterlichaam polder Berkel.

categorie	Variant 1a		Variant 1b		Variant 2a		Variant 2b	
	ton/jaar	%	ton/jaar	%	ton/jaar	%	ton/jaar	%
<b>Stikstof</b>								
Landbouw: uit- en afspoeling	19.1	25	19.1	33	32.7	43	32.7	56
Landbouw: o.a. glastuinbouw	18.7	25	18.7	32	18.7	25	18.7	32
Achtergrondbelasting	17.6	23	-	-	17.6	23	-	-
Overige bronnen	20.4	31	20.4	35	6.8	9.0	6.8	12
<b>Totaal</b>	<b>75.8</b>		<b>58.2</b>		<b>75.8</b>		<b>58.2</b>	
<b>Fosfor</b>								
Landbouw: uit- en afspoeling	1.06	10	1.06	14	4.84	48	4.84	62
Landbouw: o.a. glastuinbouw	2.50	25	2.50	32	2.50	25	2.50	32
Achtergrondbelasting	2.31	23	-	-	2.31	23	-	-
Overige bronnen	4.22	42	4.22	54	0.44	4.4	0.44	5.7
<b>Totaal</b>	<b>10.09</b>		<b>7.78</b>		<b>10.09</b>		<b>7.78</b>	

De bijdrage van de landbouw aan de uit- en afspoeling van stikstof vanuit landbouwgronden ligt voor het waterlichaam 'polder Berkel', afhankelijk van de gekozen variant, tussen de 25 en 56%. Voor fosfor ligt de bijdrage tussen 10 en 62%. De bijdrage van de overige agrarische bronnen (o.a. glastuinbouw) voorst zowel stikstof als voor fosfor is groot (25–32%). Ruim 20% van de totale stikstof- en fosforbelasting is afkomstig van achtergrondbelasting (kwel + infiltratiewater).

Op basis van de relatieve bijdrage van de bronnen en de normoverschrijding kan een bandbreedte van de opgave voor de landbouw worden afgeleid (Tabel A6.8 en A6.9).

**Tabel A6.8** Opgave voor de landbouw voor waterlichaam Run.

Bron / route	Stikstof				Fosfor			
Overschrijding (%)	18.8				2.9			
Netto uitgaande vracht (na retentie)	45.5				1.76			
Opgave alle bronnen (ton/jaar)	8.6				0.052			
Bijdrage landbouw	Variant 1a	Variant 1b	Variant 2a	Variant 2b	Variant 1a	Variant 1b	Variant 2a	Variant 2b
- Bijdrage landbouw: uit- en afspoeling (%)	67	77	79	92	31	37	60	72
- Bijdrage landbouw: o.a. glastuinbouw (%)	4.0	4.6	4.0	4.6	22	26	22	26
<b>Opgave landbouw totaal</b>	<b>6.1</b>	<b>7.0</b>	<b>7.1</b>	<b>8.3</b>	<b>0.028</b>	<b>0.033</b>	<b>0.043</b>	<b>0.051</b>
- Opgave landbouw: uit- en afspoeling (ton/jaar)	5.7	6.6	6.8	7.9	0.016	0.019	0.031	0.037
- Opgave landbouw: o.a. glastuinbouw (ton/jaar)	0.34	0.40	0.34	0.40	0.011	0.013	0.011	0.013
Landbouwareaal (ha)	2162				2162			
Uit- en afspoeling landbouwgronden (kg/ha)	20.6				0.54			
Opgave landbouw: uit- en afspoeling (kg/ha)	2.64	3.06	3.14	3.63	0.007	0.009	0.014	0.017
<b>Reductiepercentage (%)</b>	<b>12.8</b>	<b>14.9</b>	<b>15.2</b>	<b>17.6</b>	<b>1.4</b>	<b>1.6</b>	<b>2.7</b>	<b>3.2</b>

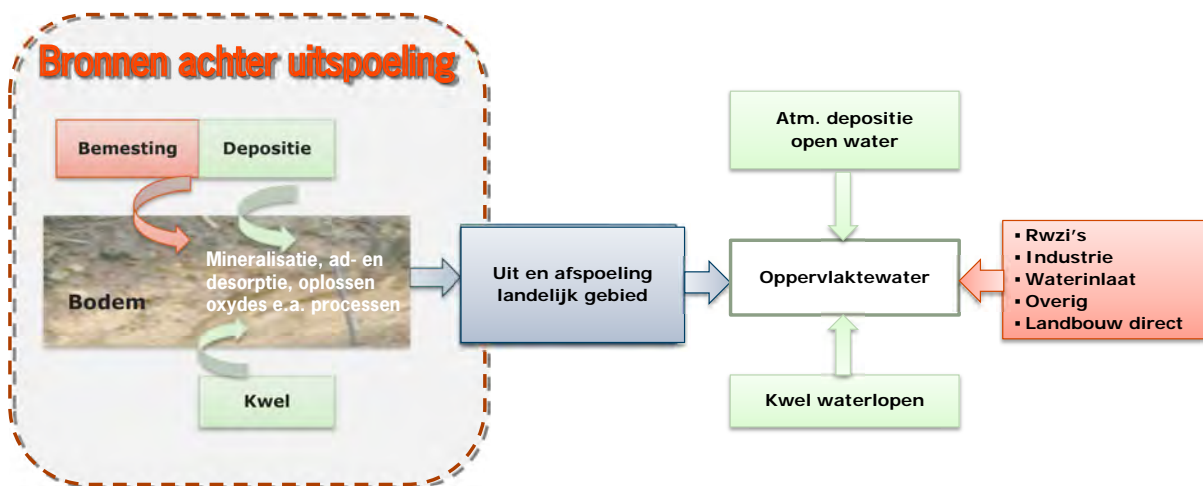
**Tabel A6.9** Opgave voor de landbouw voor waterlichaam polder Berkel.

Bron / route	Stikstof				Fosfor			
Overschrijding (%)	36.5				14.3			
Netto uitgaande vracht (na retentie)	53.9				5.93			
Opgave alle bronnen (ton/jaar)	19.7				0.85			
Bijdrage landbouw	Variant 1a	Variant 1b	Variant 2a	Variant 2b	Variant 1a	Variant 1b	Variant 2a	Variant 2b
- Bijdrage landbouw: uit- en afspoeling (%)	25	33	43	56	10	14	48	62
- Bijdrage landbouw: o.a. glastuinbouw (%)	25	32	25	32	25	32	25	32
<b>Opgave landbouw totaal</b>	<b>9.82</b>	<b>12.8</b>	<b>13.3</b>	<b>17.4</b>	<b>0.30</b>	<b>0.39</b>	<b>0.62</b>	<b>0.80</b>
- Opgave landbouw: uit- en afspoeling (ton/jaar)	5.0	6.5	8.5	11.0	0.09	0.12	0.41	0.53
- Opgave landbouw: o.a. glastuinbouw (ton/jaar)	4.9	6.3	4.9	6.3	0.21	0.27	0.21	0.27
Landbouwareaal (ha)	1207							
Uit- en afspoeling landbouwgronden (kg/ha)	30.2				4.7			
Opgave landbouw: uit- en afspoeling (kg/ha)	4.1	5.4	7.0	9.2	0.07	0.10	0.34	0.44
<b>Reductiepercentage (%)</b>	<b>13.6</b>	<b>17.7</b>	<b>23.3</b>	<b>30.3</b>	<b>1.6</b>	<b>2.0</b>	<b>7.1</b>	<b>9.2</b>

# Bijlage 7 Notitie ter ondersteuning KRW-Rijn West aanpak Nutriënten

## Nutriëntenbelasting oppervlaktewater; Herkomst en bijdrage landelijke gebied

Notitie ter ondersteuning KRW-Rijn West aanpak Nutriënten



Alterra, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek

Auteurs: Peter Schipper, Oscar Schoumans, Piet Groenendijk, Erwin van Boekel.  
Afdeling: Centrum Water en Klimaat  
Telefoon: 0317 484 997  
E-mail: p.schipper@wur.nl

**Datum:** 12 mei 2012

---

# Voorwoord

De waterbeheerders binnen Rijn-West willen zo goed mogelijk gezamenlijk optrekken bij het in beeld brengen van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater met het oog op het 2<sup>e</sup> Stroomgebiedbeheerplan. Daarbij is inzicht gewenst in emissiebronnen, de beïnvloedbaarheid ervan en de termijn waarop brongerichte en effectgerichte maatregelen effect kunnen ressorteren. Het is de inzet van de waterbeheerders om bij de totstandkoming van het 2<sup>e</sup> Stroomgebiedbeheerplan hier zo uniform mogelijk mee om te gaan.

In samenwerking met de Afstemmingsgroep Nutriënten Rijn-West heeft Alterra uitgewerkt hoe de diverse emissiebronnen en eventuele achterliggende bronnen op uniforme wijze gedefinieerd en gekwantificeerd kunnen worden. De voorliggende notitie is hiervan het resultaat. De notitie is tot stand gekomen in nauw overleg met de leden van de Afstemmingsgroep nutriënten: Harm Gerrits (Rijnland), Maarten Ouboter (Waternet), Wim Twisk (Schieland en Krimpenerwaard), Stefan Langeweg en Gert van Ee (Hollands Noorderkwartier), Bas Spanjers (De Stichtse Rijnlanden), Hanneke Maandag (Hollandse Delta) en Leo Joosten (ORG-ID, programmamanager nutriënten RijnWest).

---

# 1 Inleiding

De KRW-doelen voor de waterlichamen worden vaak niet bereikt door te hoge concentraties aan nutriënten. De belangrijkste bronnen voor de belasting van het zoete oppervlaktewater zijn RWZI's (communaal afvalwater) en de diffuse belasting vanuit landbouwgronden. In de afweging van maatregelen om de belasting te verminderen, is veel discussie over de herkomst van de diffuse belasting, de bijdrage van de huidige bronnen en de mate en snelheid waarin met maatregelen de nutriëntenbelasting kunnen worden teruggedrongen.

Bronnen die het niveau van de diffuse belasting bepalen zijn hoofdzakelijk a) de uitloging van het bodemcomplex en mineralisatie van organische stof, b) mestgiften, c) atmosferische depositie, d) kwel en e) veenafbraak. Het uitsplitsen van deze bronnen is complex, want het niveau van de huidige nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater is afhankelijk van de toestand van de bodem anno 2012, welke een gevolg is van het menselijk handelen in het verleden (landgebruik, bemesting, depositie, ontwatering) en natuurlijke processen (kwel en veenafbraak). Mogelijk kan ook erfafspoeling significant zijn, hoewel de onzekerheidsmarge van deze bron nog erg groot is. Geheel onduidelijk is wat de bijdrage is van lokaal vertrapte delen van het perceel, afkalving van perceelranden en directe meemesten van sloten etc.

De waterbeheerders binnen Rijn-West willen zo goed mogelijk gezamenlijk optrekken om de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater kwantitatief en conform een gemeenschappelijk strategie/protocol in beeld te brengen voor het 2<sup>e</sup> stroomgebied beheersplan. Daarbij is voor de diffuse belasting vanuit landbouw inzicht gewenst in (a) de herkomst van de achterliggende bronnen en (b) in hoeverre de huidige bronnen van belasting beïnvloedbaar zijn en (c) wat de termijn is dat brongerichte en effectgerichte maatregelen effect ressorteren.

De waterschappen hebben uiteraard de vrijheid om de bronnenanalyse en aansluitende beoordeling van de toestand van waterlichamen voor het eigen beheergebied afzonderlijk in beeld te brengen met rekenmethoden naar eigen voorkeur. Want wat voor het ene waterschap een geschikte en efficiënte methode is, kan voor een ander waterschap minder of niet geschikt zijn, gelet op o.a. de knelpunten voor de KRW die per waterschap verschillen, de verschillen in monitoring, de modellen die operationeel zijn en specifieke wensen voor de verdere ontwikkeling van hydrologisch en ecologisch modelinstrumentarium. Toch staat voor ogen dat die aanpak zodanig uniform is dat de resultaten van de analyse van de herkomst en bijdrage van afzonderlijke nutriëntenbronnen aan de totale belasting van het oppervlaktewater in ieder geval vergelijkbaar is. Dit was bij de 1<sup>e</sup> SGBP's niet het geval.

Om die redenen is door de in het leven geroepen "Nutriëntengroep" binnen Rijn-West overleg gevoerd over de gewenste wijze waarop de herkomst van nutriënten en de beïnvloedbaarheid van de nutriënten belasting in beeld gebracht kan worden. Alterra heeft aan die discussie bijgedragen, omdat zij samen met Hollands Noorderkwartier en HDSR de bronnen regionaal analyseren conform een vaste systematiek.

Op verzoek van de Nutriënten werkgroep Rijn-West heeft Alterra uiteengezet wat de belangrijke KRW-vragen zijn rond de nutriëntenbelasting en hoe de bronnen en herkomst op uniforme wijze gedefinieerd en gekwantificeerd kunnen worden. De voorliggende notitie is hiervan het resultaat. Hoofdstuk 2 beschrijft de kennisvragen waar waterbeheerders antwoord op willen hebben ten aanzien van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in relatie tot de achterliggende bronnen. Hoofdstuk 3 beschrijft de voorgestane methode om herkomst en bijdrage van nutriëntenbronnen te definiëren en kwantificeren. In hoofdstuk 4 wordt kort ingegaan op maatregelen om de diffuse belasting te verminderen.

---

## 2. KRW informatiebehoefte nutriënten

### 2.1 Wat moet volgens de KRW

Het staat buiten discussie dat iedere lidstaat informatie over de significante punt- en diffuse bronnen moet verzamelen, analyseren en rapporteren. Ook moet hiervan in de rapportage een specifieke raming worden gegeven, met onderscheid in ten minste de sectoren stedelijk, industrieel, agrarisch en overige. Voor de beoordeling van de toestand moet ook duidelijk zijn wat de concentraties van de nutriënten zijn in de onverstoorde staat alsmede wat de concentraties zijn waarbij het ecosysteem functioneert en de eisen van de biologische kwaliteitselementen voor een goede toestand worden bereikt. Omdat achteruitgang moet worden voorkomen, is een voorspelling nodig hoe de nutriëntenconcentraties zich de komende jaren zullen ontwikkelen.

### 2.2 Wat wil het RAO van Rijn-West

De afgelopen jaren is duidelijk geworden dat de hoge nutriëntenconcentraties in het merendeel van de waterlichamen de KRW-doelen belemmeren. Voor kleine zoete wateren is vaak fosfor het probleem, voor afwenteling naar de Noordzee is stikstof het probleem. Ook is duidelijk geworden dat de diffuse belasting van de nutriënten de grootste bijdrage heeft in de totale belasting (Van der Bolt en Schoumans, 2012).

De nutriëntenproblematiek wordt niet alleen aangevlogen vanuit de Kaderrichtlijn Water, maar ook vanuit de Nitraatrichtlijn. De Nitraatrichtlijn en de daaruit voortvloeiende nationale Nitraatactieprogramma's richten zich op het realiseren van de 50 mg nitraatnorm in grond- en oppervlaktewater én op het tegengaan van eutrofiering in het zoete oppervlaktewater, estuaria, kustwateren en zeewater. Inzet is om de waterverontreiniging uit agrarische bronnen te verminderen en verdere verontreiniging van dien aard te voorkomen.

De afbakening tussen verplichtingen m.b.t. oppervlaktewater die voortvloeien uit de nitraatrichtlijn en uit de Kaderrichtlijn Water is niet zo duidelijk. De Tweede Kamer heeft in 2007 via de motie van Van der Vlies de regering verzocht om geen extra lastenstijgingen bovenop het nitraatactieprogramma door te voeren voor de agrarische sector als gevolg van de implementatie van de Kaderrichtlijn Water. Probleem is dat niet altijd duidelijk is welke verplichtingen voortvloeien uit de Nitraatrichtlijn en welke uit de Kaderrichtlijn Water.

De discussie is complex. Een voorbeeld is de (nog langjarige) nalevering van nutriënten vanuit de bodem, ook als de mestdruk sterk wordt verminderd. In de eerste plaats is deze bodembelasting hoog en duurt nog lang voort, omdat de bodem de afgelopen decennia met zo veel mest is belast. Daarnaast is er in West-Nederland sprake van een ingewikkeld kwelpatroon met sterk van plaats tot plaats wisselende kwelfluxen en bijbehorende (soms zeer hoge) zout-, ammonium- en fosfaatgehalten. Ten derde is in de laagveengebieden in West-Nederland de oxidatie van veen een belangrijke bron voor nutriënten. Daarbij speelt ook dat het Innovatie Programma van de KRW voor landbouw maatregelen (nog) geen inzicht biedt in concrete getalsmatige conclusies over effecten en kosten van maatregelen.

Voor veel RWZI's moet worden beslist in hoeverre het zuiveringsrendement voor nutriënten en andere stoffen moet worden verbeterd. Voor deze beslissing willen de waterschappen transparant inzicht in de bijdrage die de RWZI heeft in de huidige en toekomstige belasting van het ontvangende water, inclusief de wateren die benedenstrooms hierdoor worden beïnvloed.

Om deze redenen heeft het RAO van Rijn-West (anno 2012) behoefte aan:

1. Transparante informatie over de herkomst van de nutriënten voor de uit- en afspoeling vanuit landbouw- en natuurgronden, met daarbij onderscheid in natuurlijke en antropogene bronnen.



- 
2. Ontwikkeling van concentraties van nutriënten in het oppervlaktewater uitgaande van autonome ontwikkeling (voorgenomen mestbeleid).
  3. Het effect van maatregelen om de concentraties terug te dringen; waaronder maatregelen die al in de SGBP's voor de 1<sup>e</sup> planperiode waren vastgelegd en maatregelen die zijn onderzocht in het innovatieprogramma van de KRW.
  4. Uniform te hanteren onderscheid in de nutriëntenbronnen, met daarbij indien mogelijk (en inhoudelijk verantwoord) een opsplitsing op basis van de stuurbaarheid van de bronnen via een palet aan maatregelen.

## 3 Voorgestane methode WUR-Alterra

### 3.1 Interpretatie Informatiebehoefte

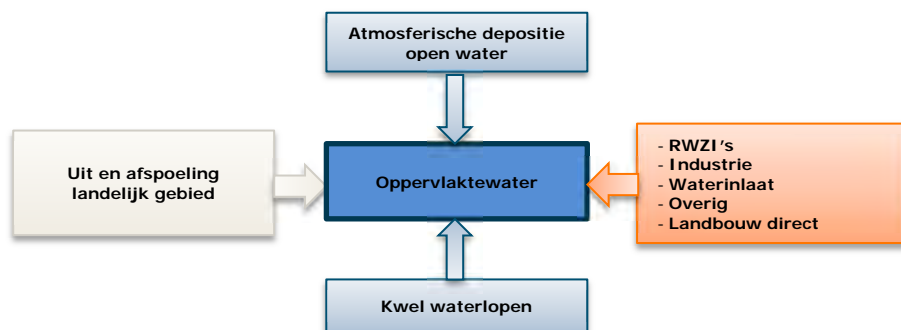
In hoofdstuk 2 is de informatiebehoefte van de waterschappen ten aanzien van de belasting van oppervlaktewater met nutriënten uiteengezet. Samengevat is deze informatiebehoefte:

1. Herkomst nutriënten, met onderscheid in natuurlijk en antropogeen.
2. Ontwikkeling nutriëntenbelasting met huidig en voorgenomen beleid (waaronder mestbeleid).
3. Stuurbaarheid van de nutriëntenbronnen om de uit- en afspoeling van nutriënten te verlagen.
4. Informatie en kennis over maatregelen die de belasting met nutriënten of het effect daarvan verminderen.

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de herkomst van de nutriëntenbelasting, de ontwikkeling ervan en de stuurbaarheid van de belasting. In hoofdstuk 4 wordt kort ingegaan op maatregelen.

### 3.2 Herkomst nutriëntenbelasting oppervlaktewater

In Figuur 1 zijn de belangrijkste bronnen weergegeven die de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater (systeemgrens) veroorzaken. De bronnen in het oranje kader (rechts) zijn antropogeen. De uit- en afspoeling wordt veroorzaakt door achterliggende bronnen, die deels natuurlijk zijn (bijvoorbeeld de nutriënten die van nature aanwezig zijn in veen) en deels antropogeen (bemesting). Dit geldt ook voor atmosferische depositie van stikstof (deels antropogeen en deels natuurlijk). Atmosferische depositie is voor fosfor niet significant (nihil).



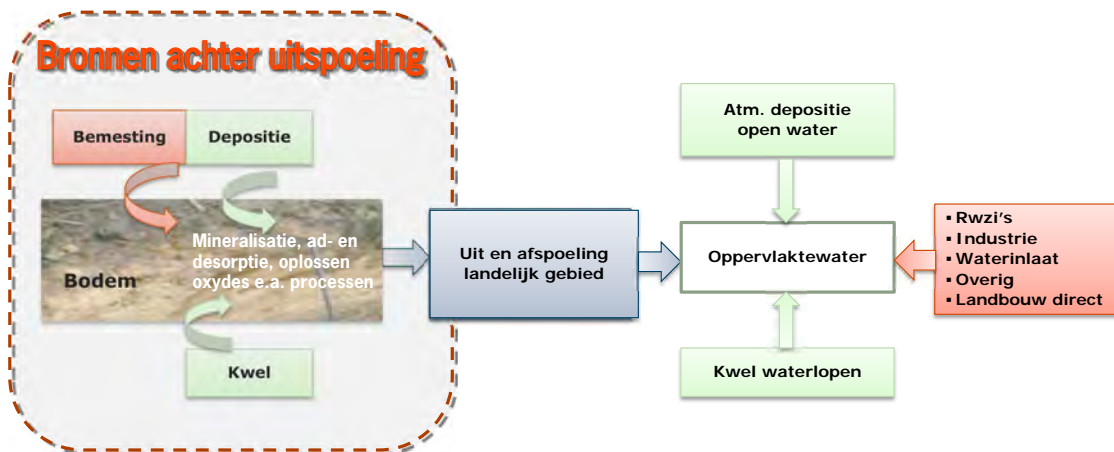
**Figuur 1** Overzicht van de belangrijkste bronnen/emissieroutes naar het oppervlaktewater.

De herkomst van stoffen is duidelijk voor puntbronnen die een antropogene achtergrond hebben (oranje kader), waaronder RWZI's, industriële lozingen etc. De atmosferische depositie op openwater en de directe bijdrage van kwel aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater zijn toegekend aan de categorie natuurlijk. Voor atmosferische depositie is dit voor stikstof een arbitraire aanname, omdat de N-depositie voor een belangrijk deel antropogeen is (ammoniak emissies veehouderij, industrie, verkeer, energiecentrales). Atmosferische depositie speelt voor fosfor geen rol. Ook de kwaliteit van het kwelwater kan verslechterd zijn door menselijke invloed, hoewel veel kwelssystemen een lange verblijftijd in de bodem hebben, zodat een verslechterde kwaliteit (hoge gehalten sulfaat, kalium, alkaliteit, sporemetalen) pas na zeer lange tijd tot uitdrukking komt. De uit- en afspoeling is zowel voor stikstof als fosfor een resultante van achterliggende bronnen en verschillende fysisch-geochemische processen.

Omdat het wenselijk is de invloed van bemesting op de uit- en afspoeling te weten, is het nodig deze achterliggende bronnen te ontrafelen. De te onderscheiden achterliggende bronnen zijn:

- Atmosferische depositie (op landbouwgronden en natuurgronden).
- Bemesting ( in feite de overschotten die niet door de gewassen zijn opgenomen).
- Kwel.
- Geogeen: van nature in de bodem aanwezige nutriënten, die door fysische en geochemische processen vrijkomen, zoals mineralisatie, ad/desorptie, oplossen metaaloxides, pyrietoxidatie.

Dit is schematisch weergegeven in Figuur 2.



**Figuur 2** Bronnen achter de emissieroute uitspoeling (en afspoeling) landelijk gebied.

De 'aanvoer' van nutriënten op de bodem vindt plaats via de mestgiften, atmosferische depositie (alleen voor stikstof) en via de kwelflux. Een deel van de nutriënten zal direct af- of uitspoelen naar grond- en oppervlaktewater, maar ook zal een deel worden vastgelegd in de bodem. In die bodem komen ook nutriënten via atmosferische depositie en kwel. Deze nutriënten kunnen vervolgens op een later tijdstip via allerlei fysische en geochemische processen weer in het bodemwater oplossen. Een deel van deze nalevering is geogeen; vrijkomende nutriënten die van nature in het sediment aanwezig waren. Hoewel niet in de Figuur opgenomen, kan in een zomerseizoen geïnfilterd oppervlaktewater naar het land voor een deel weer in de periode daarna (winter) uitspoelen naar het oppervlaktewater. De bijdrage van deze route is op het niveau van een deelstroomgebied waarschijnlijk gering. Het is niet eenvoudig om de precieze herkomst en daarmee de bijdrage van bronnen achter uit- en afspoeling te kwantificeren, omdat de verschillende achterliggende bronnen op verschillende plaatsen in het plant-bodem-watersysteem aangrijpen en verschillende emissieroutes andere omzettings- en vastleggingsprocessen in het landsysteem volgen. De bijdrage van een bron op het landsysteem aan de uiteindelijke belasting van het oppervlakteater is daardoor per definitie niet gelijk aan de verhouding van de bronnen op het landsysteem. Zo kan bijvoorbeeld een bodem voor 80% belast worden met mest en met 20% door kwel, terwijl de bijdrage aan de resulterende uitspoeling van beide bronnen gelijk kan zijn omdat de verschijningsvorm van stikstof in de kwel minder onderhevig is aan afbraak en vastlegging. Een andere complicerende factor is dat de routes en processen dynamisch in de tijd zijn door variatie van het weer en verschillen in het management van de percelen. Dit maakt de analyse van de feitelijke herkomst van de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten complex en kan alleen indirect worden afgeleid door integraal rekening te houden met al deze processen en patronen in ruimte en tijd. Dit lukt alleen via een combinatie van modelberekeningen die rekeningen houden met deze processen en patronen in combinatie met intensieve meetcampagnes voor de vaststelling van procesparameters en toetsing.

Het vaststellen van de herkomst van stikstof en fosfor in het regionaal oppervlaktewater, en de rol die landbouw daarin speelt, is in de afgelopen jaren op verschillende manieren uitgewerkt (Hendriks *et al.* 2002, Van der Bolt *et al.* 2007, Van der Bolt en Schoumans, 2012). In alle gevallen is gebruikgemaakt

van een model dat de relatie tussen bronsterkte en stikstof- en fosfortransport naar het oppervlaktewater simuleert. Analyse van de herkomst in het bodem-water-plantsysteem is lastig. Na-ijleffecten van landgebruik en mestgiften uit het verleden maken de analyse nog complexer. In de achtergrondrapportage "Herkomst van Stikstof en fosfor in de uitspoeling naar oppervlaktewater" (Groenendijk 2012) is de herkomst met een nieuwe methode berekend, namelijk op basis van een gevoeligheidsanalyse voor de verschillende bronnen. Op basis van de resultaten van de gevoeligheidsanalyse met het STONE-model wordt per rekeneenheid een lineair regressiemodel afgeleid waarin de verschillende bronnen de verklarende variabelen zijn. De bijdrage van de verschillende bronnen aan de uitspoeling is dan af te leiden uit de coëfficiënten van de bronnen, in combinatie met de "sterkte" van de bronnen.

Nadat de bijdrage van de herkomst van de bronnen/emissieroutes van de uit- en afspoeling is bepaald, kan de bijdrage van de bronnen op het landsysteem aan de belasting van het oppervlaktewater worden toegekend aan de categorie *antropogeen* of *natuurlijk*. Hierbij worden door de waterschappen in Rijn-West de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De bemesting die in het verleden, vanaf grofweg 1940, heeft plaatsgevonden, wordt opgevat als antropogeen.
- Kwel en atmosferische depositie wordt opgevat als natuurlijk (ook al geldt dat de atmosferische depositie van stikstof door menselijke bronnen is verhoogd).
- De (versnelde) mineralisatie door verbetering van de ontwatering wordt niet beschouwd als antropogeen, omdat de ontwatering voor het bewoonbaar maken van ons lage land ver terug grijpt en gezien kan worden als een niet omkeerbare ingreep.

Op basis van deze uitgangspunten kunnen de bronnen/emissieroutes op basis van herkomst ingedeeld worden naar *antropogeen* versus *natuurlijk* (Tabel 1).

**Tabel 1** Onderverdeling in antropogene en natuurlijke nutriëntenbronnen

Categorie	Informatie	Bronnen/emissieroutes
Antropogeen	Emissieregistratie (ER)	RWZI's
		Industriële lozingen
		Landbouw direct <sup>1)</sup>
		Overige bronnen <sup>2)</sup>
	STONE 2.4	Bemesting (actueel en historisch)
Natuurlijk	ER + STONE 2.4	Atmosferische depositie <sup>3)</sup>
	STONE 2.4	Kwel <sup>3)</sup>
		Uitspoeling van eerder geïnfilteerd oppervlaktewater
		Natuurlijke nalevering (mineralisatie, uitloging) bodemcomplex
		Natuurgebieden

<sup>1)</sup> Meemesten sloten, glastuinbouw, erfafspoeling

<sup>2)</sup> Huishoudelijke ongerioleerde lozingen, verkeer en vervoer, overstorten e.a.

<sup>3)</sup> Direct naar openwater en indirect via uit- en afspoeling

### 3.3 Ontwikkeling nutriëntenbelasting volgens voorgenomen beleid

Bij het analyseren van de herkomst wordt in feite terug gekeken in de tijd. De arbitraire vraag daarbij is altijd: tot hoever terug kan en moet worden gekeken? In feite waren bodems voor de Tweede Wereldoorlog ook al sterk beïnvloed door de lange geschiedenis van de landbouw. Als vooruit wordt gekeken, zijn uitgangspunten misschien minder arbitrair, alhoewel er altijd aannames moeten worden gedaan voor sociaaleconomische ontwikkelingen en veranderingen van het klimaat en de agrarische bedrijfsvoering.

Bij het schatten van de effecten van het voorgenomen mestbeleid heeft het de voorkeur om aan te sluiten bij de resultaten van de Evaluatie Meststoffenwet 2012 (EMW 2012). Voor de EMW worden voor elk jaar dertig mogelijke weerjaren uit de reeks 1970–2000 doorgerekend. Er ontstaat daarmee

---

een bandbreedte. Het is ook mogelijk om met dit modelinstrumentarium klimaatscenario's van het KNMI door te rekenen. In onderzoeksprogramma's van de WUR wordt gewerkt om modelconcepten zodanig aan te passen dat invloeden van klimaatverandering en terugkoppelingen met het klimaat worden verdisconteerd.

Voor het schatten van de effecten van de KRW-maatregelen moet in beeld worden gebracht welke (KRW-)maatregelen al wel/niet voor de 1<sup>e</sup> planperiode als uitgevoerd worden beschouwd en moeten de effecten van deze maatregelen op de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater bekend zijn. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op tools die ingezet kunnen worden om effecten van maatregelen te voorspellen.

### 3.4 Beïnvloeden nutriëntenbelasting

Zodra er inzicht is in de huidige en toekomstige belasting van het oppervlaktewater en de daaraan gekoppelde kwaliteit, is het belangrijk te weten hoe deze belasting beïnvloed kan worden. Anders gezegd: welke bronnen en emissieroutes zijn door de waterbeheerder te sturen? Bij de indeling van bronnen m.b.t. de stuurbaarheid is het niet zinvol om de bronnen in te delen in natuurlijk en antropogeen. Daarom wordt ook onderscheid gemaakt tussen makkelijk beïnvloedbaar en niet of moeilijker beïnvloedbaar.

De meest bronnen die het oppervlaktewater belasten, kunnen eenduidig worden toegekend aan een categorie. Dit geldt niet voor de uit- en afspoeling, want dit is een resultante van verschillende achterliggende bronnen (bijdrage van de herkomst). Voor de Evaluatie Mest Wetgeving 2011 zijn met STONE 2.4 modelberekeningen uitgevoerd om de huidige bijdrage van de achterliggende bronnen volgens uitsluiting van bronnen te berekenen:

- De bron *bemesting* wordt volledig gesaneerd door de mestgift vanaf 2011 op nul te stellen, waarbij het landbouwkundig gebruik wordt omgezet naar beheerlandbouw en natuur.
- De bron *kwel* wordt volledig 'gesaneerd' door de nutriëntenconcentraties in het kwelwater verwaarloosbaar klein te maken. De kwelfluxen worden niet aangepast, omdat daardoor ook de simulatie van de grondwaterstand en de afvoer naar het oppervlaktewater zou veranderen.
- De *depositie* kan eenvoudig worden uitgezet door aan de natte en droge depositie de waarde nul toe te kennen. De P-depositie is onder normale omstandigheden te verwaarlozen en staat sowieso op nul.
- De bijdrage van het bodemcomplex kan niet eenvoudig op nul worden gezet. De bijdrage van de bodem wordt bepaald als restpost nadat alle andere bronnen zijn uitgeschakeld.

Met deze modelmatige uitsluiting wordt door middel van een gevoeligheidsanalyse vastgesteld wat de invloed van een bron is op de reductie van de nutriënten belasting en welke reductie maximaal in een bepaald zichtjaar, bijvoorbeeld 2027, kan worden bereikt.

Nadat de bijdrage van de herkomst van de achterliggende bronnen op de belasting van het oppervlaktewater in de loop van de tijd is bepaald, kunnen de bronnen worden ingedeeld in drie categorieën: 1. *beïnvloedbaar, direct effect*, 2. *beïnvloedbaar, effect op korte en lange termijn*, 3. *niet of nauwelijks beïnvloedbaar*. In Tabel 2 is de indeling weergegeven die Alterra en de nutriëntengroep van Rijn-West willen toepassen om voor het komende SGBP inzichtelijk te maken hoe op de nutriëntenbronnen gestuurd kan worden.

**Tabel 2** Indeling nutriëntenbronnen naar beïnvloedbaar (direct en op korte/lange termijn) en niet beïnvloedbaar.

Categorie	Bronnen / emissieroutes	Effect bronreductie	Type emissie	Achterliggende bronnen
<b>Beïnvloedbaar, direct effect</b>	RWZI's	Direct effect	Effluentlozing	Huishoudelijk afvalwater, Lozingen op riool
	Industriële lozingen	Direct effect	Effluentlozing	Industrie
	Landbouw direct	Direct effect	Diffuse lozingen	Meemesten sloten, erfafspoeling glastuinbouw
	Waterinlaat	Direct effect	Waterinlaat vanuit boezems, Rijkswateren e.a.	Bronnen buiten het gebied
	Overige bronnen	Direct effect	Punt en diffuus	Ongerioleerde lozingen, overstorten
<b>Beïnvloedbaar korte en lange termijn</b>	Actuele bemesting	Korte en lange termijn <sup>1)</sup>	Afspoeling en uitspoeling (sloten, greppels, buisdrainage)	Huidige grondgebonden landbouw
	Nalevering bodemcomplex landbouwbodems <sup>2)</sup>	Lange termijn (via uitlogen)	Uitspoeling (sloten, greppels buisdrainage).	Geogeen, historische bemesting, kwel en depositie
<b>Bronreductie niet beïnvloedbaar <sup>1)</sup></b>	Atmosferische depositie open water en bodem	Niet haalbaar	Depositie open water en natuur/landbouw bodems <sup>3)</sup>	Luchtemissies landbouw, verkeer, industrie, energie, buitenland
	Kwel waterlopen	Niet haalbaar <sup>4)</sup>	Kwel direct naar waterlopen en naar bodem	Geogeen, mogelijk verhoogd door antropogene invloed
	Infiltratie oppervlaktewater	Niet haalbaar	Diffuse infiltratie lokaal oppervlaktewater	Lokale en bovenstroomse bronnen
	Natuurgronden		Diffuse uit- en afspoeling	Geogeen, door antropogene invloed verhoogde depositie

1. Kortetermijneffect voornamelijk de reductie van de route afspoeling, hotspots, korte stromingspatronen. Zowel voor stikstof als fosfor zal bronreductie voor een deel snel effect hebben. Voor fosfor kan het uiteindelijke effect decennia lang duren, voor stikstof is deze termijn i.h.a. korter.
2. Nalevering door verwerking, oplossen metaal(hydr)oxides, oxidatie, historische bemesting, historische kwel en historische depositie.
3. Bronreductie niet haalbaar, maar atmosferische depositie op landbouwbodems zou meegerekend kunnen worden in het bepalen van de mestgiften om te komen tot evenwichtsbemesting. In voorgenomen landelijk mestbeleid wordt atmosferische depositie niet meegerekend.
4. Significante bronreductie niet haalbaar, omdat de bron gerelateerd is aan de functie van het gebied dan wel de drooglegging en daardoor is op te vatten als onomkeerbare hydromorfologische ingreep.

### 3.5 Stofbalansen

Een opsplitsing volgens Tabel 1 en 2 kan gemaakt worden door specifieke stofbalansen op te stellen en daarbij voor uit- en afspoeling de landelijke STONE-berekeningen te gebruiken. Het is voor de KRW echter beter om regio-specifieker de uit- en afspoeling te bepalen. Hiertoe heeft Alterra de ECHO-methodiek ontwikkeld (zie kader).

ECHO is specifiek ontwikkeld en ingezet voor de KRW. Het bundelt de omvangrijke data en informatie van debieten en waterkwaliteitsmetingen en koppelt dit aan data van punt- en diffuse nutriëntenbelasting. Rekening houdend met retentie van stoffen in het oppervlaktewater, wordt de belasting vertaald naar een water- en stoffenbalans voor N en P. ECHO omvat ook een tool die kwantitatief inzicht geeft in de onzekerheden van zowel de berekende als de gemeten afvoer en stofvrachten. Bij toepassing van ECHO wordt gericht bekeken hoe de landelijke indeling van de rekenplots voor regionale toepassing verbeterd kan worden opdat het beter aansluit bij het beschouwde afvoergebied qua landgebruik, bemesting, hydrologie en bodemkenmerken. Een stap verder is om de rekenplots op een fijnere schaal te berekenen (bijv. 25 x 25 m in plaats van nu 250 x 250 m) en om de schematisatie en randvoorwaarden aan te passen (bijvoorbeeld kwelflux, aangenomen concentraties van het kwelwater). Dergelijke berekeningen zijn toegepast in het project Monitoring Stroomgebieden.

In een pilot wordt deze methodologie van KRW-ECHO gekoppeld aan de KRW-Verkenner. Op termijn wordt toegewerkt om de kwantificering van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater op te nemen in NHI-kwaliteit.

Om de resultaten van de analyse van afzonderlijke Waterschappen op het niveau van Rijn-West te kunnen aggregeren, is het belangrijk om dezelfde uitgangspunten en indeling in herkomst en mogelijke beïnvloeding aan te houden.

## 4 Maatregelen

Met het onderscheid in directe bronnen die het oppervlaktewater belasten en de invloed van de herkomst van bronnen in het landsysteem op de uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater wordt vooral zichtbaar hoe de nutriëntenbelasting met bronmaatregelen gestuurd kan worden. Ingrepen kunnen plaatsvinden op drie niveaus:

- reductie van (achterliggende) bronnen op het landsysteem;
- aanvullende zuivering RWZI's, helofytenfilters, buisdrainage met metaaloxides etc. (end of pipe);
- scheiden schoon van vervuild water en ingrepen die betrekking hebben op het voorkomen van specifieke de emissieroute (o.a. oppervlakkige afspoeling, ondiepe uitspoeling van fosfaten via bijv. peilgestuurde drainage systemen etc.

### 4.1 Bronreductie

Een belangrijke achterliggende bronreductie is het verlagen van de mestgift. Aandachtspunten voor maatregelen die verder gaan dan generiek beleid zijn:

#### *Invoering van evenwichtsbemesting*

Evenwichtsbemesting voor P wordt gericht op: Mestgift = gewasopname + onvermijdbaar verlies, waarbij rekening wordt gehouden met de fosfaattoestand van de bodem conform het bemestingsadvies voor landbouwgewassen.

Het onvermijdbare verlies betreft de fixatie van P in de bodem aan metaalcomplexen, de ophoping in organische stof en de uitspoeling van P naar het (grond)water. Het onvermijdbare verlies wordt afhankelijk gesteld van de fosfaattoestand; als deze (door verleden mestgiften) hoger is dan 'voldoende', zijn de fixatie en ophoping in organische stof lager en kan volstaan worden met een lager onvermijdbaar verlies. Ook het bemestingsadvies geeft aan dat bij een hoge fosfaattoestand geringe fosfaatgiften noodzakelijk zijn. Het generieke mestbeleid hanteert onder deze omstandigheden echter over het algemeen hogere fosfaatgebruiksnormen dan volgens het bemestingsadvies noodzakelijk zijn. Uit "30-vragen en antwoorden over fosfaat" (Schoumans *et al.* 2009) blijkt dat volgens het

---

bemestingsadvies voor veel Nederlandse gronden beperkt fosfaatmeststof kan worden toegediend, omdat de fosfaattoestand van veel gronden (meer dan) goed genoeg is.

#### *Ongewenste aanvoer van mest buiten de regio*

In de huidige praktijk wordt mest met vrachtauto's vanuit regio's aangevoerd (met name vanuit de mestoverschotgebieden in het Centrale, Oostelijke en Zuidelijke zandgebied), omdat daar bedrijven zijn die meer mest produceren dan ze op eigen bedrijf mogen uitrijden. Agrariërs die boekhoudkundig ruimte hebben om meer mest uit te rijden dan ze zelf produceren, accepteren deze mest omdat ze hier financieel voor worden vergoed. Het nadeel van deze praktijk is dat landbouwbodems in gebieden waar relatief weinig mest wordt geproduceerd, een hoge mestgift krijgen. De fosfaatuitspoeling zal hier toenemen, hetgeen regionaal kan leiden tot achteruitgang van de waterkwaliteit.

#### *Hot-spots*

Een agrarisch bedrijf heeft vaak meerdere landbouwpercelen. Als de mestoverschotten worden uitgereden over deze percelen, zal in de regel niet op ieder perceel evenveel mest/ha worden uitgereden. Het is goed denkbaar dat percelen die veraf liggen van de stallen of mestopslag, minder worden bemest dan percelen die vlakbij liggen. Uit de mestboekhouding kan niet worden afgeleid of percelen onevenredig zwaar worden bemest. Alterra heeft daarom zgn. metamodellen ontwikkeld (PLEASE en SIMPLE; Schoumans *et al.* 2005, Schoumans *et al.* 2009) die ingezet kunnen worden om dergelijke hotspots te identificeren gegeven de fosfaattoestand van de bodem/percelen en hydrologische omstandigheden.

#### *Uitmijnen*

Met uitmijnen van fosfaat door geen of zeer geringe fosfaatgiften te geven, kan de fosfaatophoping in de bodem versneld worden teruggedrongen indien voldoende stikstofbemesting wordt angewend. Hierdoor kunnen gewassen nog een goede opbrengst geven en wordt het fosfaat via de oogst afgevoerd, hetgeen tegelijkertijd tot een snellere verlaging van de fosfaattoestand van de bouwvoor leidt. Eventueel dienen diep wortelende gewassen na verloop van tijd geteeld te worden om ook het fosfaat dat onder de bouwvoor is opgehoopt te "consumeren".

## 4.2 Ingrijpen in de emissieroute en zuivering

Om landbouwemissies te verminderen zonder verdere bronaanpak, is toenemende aandacht voor alternatieve en innovatieve maatregelen, zoals ijzerhoudende drainagesystemen, peilgestuurde drainage, rietfilters in sloten en specifieke maatregelen om oppervlakkige run-off of ondiepe uitspoeling te voorkomen. Peilgestuurde drainage en onderwaterdrainage in veengebieden worden al door veel agrariërs geïmplementeerd. Voor onderwaterdrainage geldt dat het vooral ook de maaiveldvaling in veenweidegebieden doet afnemen. In toenemende mate is aandacht voor bodemstructuur verbeterende maatregelen en andere maatregelen die bijdragen aan het verbeteren van de vochtvoorziening en vasthouden van water in landbouwbodems. Deze hebben in de regel ook effect op de nutriëntenuitspoeling. Momenteel worden door kennisinstituten en adviesbureaus gewerkt aan het afronden van de pilots voor het KRW Innovatie Programma landbouw. Het verdient aanbeveling om de opgedane kennis in de pilots aan de hand van expertkennis over het bodem-grondwater-oppervlaktewatersysteem te extrapoleren naar verschillende omstandigheden die in Nederland voorkomen.

## 4.3 Inschatten effecten maatregelen

Effecten van maatregelen kunnen ingeschat worden door inzet van modellen, expertkennis en extrapolatie van effecten die zijn bepaald in pilots waar maatregelen zijn getest. Het is belangrijk dat, gelet op de gebiedsprocessen, de effecten van maatregelen eenduidig door de Waterschappen (kunnen) worden uitgelegd en gecommuniceerd. Uiteraard zal het zo zijn dat de effectiviteit van maatregelen altijd locatiespecifiek zijn, maar dat neemt niet de noodzaak weg om inschattingen van effecten onderling af te stemmen en ervoor te zorgen dat informatie hierover wordt gedeeld. De gebiedswerkgroepen en het initiatief voor spiegelolders kan hiertoe bijdragen.



---

In 2010 is door Alterra een eenvoudige GIS-tool ontwikkeld, HydroMetra. Deze tool (model) geeft kwantitatief in termen van procentuele reducties het effect van landbouwmaatregelen op de belasting van oppervlaktewater met nutriënten. Het model omvat expert-kennisregels voor emissiereductie gerelateerd aan kenmerken zoals bodemtype, type landbouwbedrijf, wel/niet gedraineerd e.d. De maatregelen die in het KRW-innovatieprogramma zijn onderzocht, zijn echter (nog) niet in deze tool opgenomen.

Door kennisinstituten wordt gewerkt aan de verdere ontwikkeling van waterkwaliteitsmodellen die ingezet kunnen worden voor de KRW, zoals de KRW-Verkenner, KRW-ECHO, een pilot om KRW-ECHO aan de KRW-verkenner te koppelen, PC-Ditch, PC-Lake, het Volg en Stuur Systeem e.a. Ook worden in diverse lopende projecten landbouwmaatregelen in de praktijk getest (landbouw op peil, Kennis voor Klimaat, e.a.). Deze en bestaande modellen zoals PLEASE en SIMPLE kunnen worden ingezet om effecten van maatregelen te voorspellen. Idealiter worden hierbij ook de kosten berekend, zodat afwegingen gebaseerd kunnen worden op de kosteneffectiviteit. Het LEI heeft hiervoor de 'Kostentool' in een pilot voor de Dommel ontwikkeld.

Het verdient te aanbeveling om gecoördineerd expert- en praktijkkennis in te zetten om de effecten en kosten van maatregelen goed in te schatten voor een bepaald gebied of locatie. Daarbij is ook altijd goed inzicht nodig in de huidige nutriëntenbelasting en de bijdrage van de verschillende bronnen die deze belasting veroorzaken om e.e.a. te kunne extrapoleren.

In de discussies die ten grondslag liggen aan deze notitie is ook aandacht besteed aan de aquatische ecologie. Lang niet altijd is er een eenduidige relatie tussen de nutriëntenbelasting en de ecologische toestand van het oppervlaktewater. De ecologische toestand van een waterloop kan ondanks een hoge nutriëntenbelasting prima zijn, terwijl in andere wateren de ecologie slecht is. Zo zal vooral gekeken moeten worden hoe de nutriëntenbelasting verlaagd kan worden in wateren waar duidelijk is dat de huidige nutriëntenbelasting problemen geeft voor de ecologische doelen.

---

# Referenties

- Groenendijk, P., L.V. Renaud, O.F. Schoumans, H.H. Luesink, T.J. de Koeijer, G. Kruseman, 2012. MAMBO en STONE-resultaten van rekenvarianten van gebruiksnormen. Evaluatie meststoffenwet 2012: eindrapport ex ante. Alterra, Alterra-rapport 2317, Wageningen.
- Groenendijk, Van der Bolt, Mulder en Schoumans, 2012. Herkomst van Stikstof en fosfor in de uitspoeling naar oppervlaktewater, deelrapportage in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet, Alterra-rapport in preparatie.
- Hendriks, R.F.A., R. Kruyne, 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.
- Schoumans, O.F., W.J. Willems, and G. van Duinhoven. 2009. 30 Vragen en antwoorden over fosfaat in relatie tot landbouw en milieu Alterra, Wageningen.
- Schoumans, O.F., C. Van der Salm, and P. Groenendijk. Accepted. PLEASE: A simple approach to determine P losses by leaching. Soil Use and Management.
- Schoumans, O.F., J. Mol-Dijkstra, L.M.W. Akkermans, and C.W.J. Roest. 2002. SIMPLE: Assessment of non-point phosphorus pollution from agricultural land to surface waters by means of a new methodology. Water Science and Technology 45:177-182.
- Schoumans, O.F., P. Groenendijk, C. v.d. Salm, and M. Pleijter. 2008. Methodiek voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronden : beschrijving van het instrumentarium PLEASE. Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 1724.
- Van der Bolt, F.J.E., O.F. Schoumans, 2012. Ontwikkeling van de bodem- en waterkwaliteit, Evaluatie Meststoffenwet 2012: eindrapport ex post. Alterra-rapport 2318 (in samenwerking met RIVM en Deltares).

# Aanhangsel bij Bijlage 1 KRW-opgaven herkomst en bijdrage nutriëntenbronnen

In artikel 4 staat dat de lidstaten de nodige maatregelen moeten uitvoeren om te voorkomen dat de toestand van de oppervlaktewateren achteruitgaan. Uitzondering hierbij kan gemaakt worden voor:

- Tijdelijke achteruitgang door natuurlijke of niet te voorziene oorzaken.
- Achteruitgang van zeer goed naar goed t.g.v. Duurzame activiteiten menselijke ontwikkeling, mits alle haalbare (technisch, evenredige kosten) mitigerende maatregelen worden genomen of dat deze ontwikkelingen van hoger belang zijn (gezondheid, veiligheid, duurzame ontwikkeling).

De KRW-doelen voor nutriënten volgen voor natuurlijke waterlichamen uit de beschrijvingen van de Goede Ecologische Toestand (GET) en voor de kunstmatige en sterk veranderde uit het Goede Ecologische Potentieel. Deze GET- en GEP-waarden voor nutriënten zijn zo veel mogelijk afgeleid o.b.v. een werkelijk waargenomen relatie tussen concentraties N/P en de biologische toestand. Voor nutriënten staan in KRW Bijlage V de volgende definities ter beoordeling van de toestand van waterlichamen (de definities voor kustwateren en overgangswateren zijn nagenoeg identiek):

Type	Zeer goed	Goed	Matig
Rivieren	De nutriëntenconcentraties blijven binnen de grenzen die normaal zijn voor de onverstoorde staat.	De nutriëntenconcentraties liggen niet boven het vastgestelde niveau waarbij het ecosysteem functioneert en waarbij de bovenvermelde waarden voor de biologische kwaliteitselementen worden bereikt.	Omstandigheden die erop wijzen dat de bovenvermelde waarden voor de biologische kwaliteitselementen zijn bereikt.
Meren	De nutriëntenconcentraties blijven binnen de grenzen die normaal zijn voor de onverstoorde staat.	De nutriëntenconcentraties liggen niet boven het niveau dat is vastgesteld om te waarborgen dat het ecosysteem functioneert en dat de bovenvermelde waarden voor de biologische kwaliteitselementen worden bereikt.	Omstandigheden die kloppen met de bovenvermelde waarden voor de biologische kwaliteitselementen.
Kunstmatige / sterk veranderde	Maximaal ecologisch potentieel	Goed ecologisch potentieel	Matig ecologisch potentieel
	De nutriëntenconcentraties blijven binnen de grenzen die normaal zijn voor de onverstoorde staat.	De nutriëntenconcentraties liggen niet boven het niveau dat is vastgesteld om te waarborgen dat het ecosysteem functioneert en dat de bovenvermelde waarden voor de biologische kwaliteitselementen worden bereikt.	Omstandigheden die erop wijzen dat de bovenvermelde waarden voor de biologische kwaliteitselementen zijn bereikt.

KRW Bijlage II geeft de methodiek om typen wateren te karakteriseren. De "*achtergrondtoestand van de nutriënten*" is daarin opgenomen als facultatieve factor voor karakterisering van meren. Voor rivieren, overgangswateren en kustwateren zijn nutriënten niet als verplichte of facultatieve factor aangeduid.

In het Besluit Kwaliteitseisen en Monitoring Water (BKNW, 2009) zijn de KRW-doelen vastgelegd. De KRW-term "geen achteruitgang" is daarbij in zo geïnterpreteerd dat de toestand van een waterlichaam geen klasse lager mag worden. En als de kwaliteit al slecht is, mag de kwaliteit binnen deze klasse niet significant meer verslechteren. In de Richtlijn KRW Monitoring Oppervlaktewater en Protocol Toetsen & Beoordelen is deze significantie als volgt gespecificeerd: voor de biologische kwaliteitselementen geen achteruitgang indien verslechtering < 0.01 EKR. Deze elementen zijn o.a. afhankelijk van de belasting met nutriënten.

Gelet op deze definities is het dus nodig om af te leiden welke nutriëntenconcentraties behoren bij:

1. Een onverstoorde staat;
2. Het niveau waar het ecosysteem in het water goed functioneert en de waarden voor de biologische kwaliteitselementen (o.a. Fytoplankton, macrofyten, visfauna) worden bereikt.

---

Verder moet voorspeld worden hoe de toestand (en dus ook de nutriëntenconcentraties) zich de komende jaren ontwikkelt en moet voor waterlichamen die als slecht zijn beoordeeld, getoetst (voorspeld) worden of de concentraties zodanig toenemen dat de biologische kwaliteitselementen meer/minder dan 0.01 EKR toenemen.

In artikel V van de KRW staat de verplichting dat de lidstaten ervoor zorgen dat voor elk stroomgebied een beoordeling wordt uitgevoerd van de effecten van menselijke activiteiten op de toestand van het oppervlaktewater en grondwater. Deze beoordeling is in 2005 opgenomen in de artikel V-rapportages. Deze beoordelingen moeten uiterlijk in 2013 en iedere zes jaar daarna worden getoetst en zo nodig bijgewerkt. Technische specificaties hoe dit moet worden uitgevoerd staan in Bijlage II en III van de KRW. In deze bijlagen staat het volgende over het in beeld brengen van de belasting:

*"De lidstaten verzamelen informatie over soort en omvang van de significante antropogene belastingen waaraan oppervlaktewaterlichamen in elk stroomgebiedsdistrict onderhevig kunnen zijn en houden die informatie bij. Het betreft met name:*

- *Schatting en identificatie van significante verontreiniging uit puntbronnen.*
- *Schatting en identificatie van significante verontreiniging uit diffuse bronnen, met name door in Bijlage VIII bedoelde stoffen, afkomstig van stedelijke, industriële, agrarische en andere installaties en activiteiten."*

Bijlage VIII geeft een indicatieve lijst met de belangrijkste verontreinigende stoffen. Hierin zijn nutriënten opgenomen (*"stoffen die bijdragen tot de eutrofiering, met name nitraten en fosfaten"*).

Verder staat in Bijlage II: *"De lidstaten gebruiken de bovenvermelde informatie die zij verzameld hebben, en alle andere relevante informatie met inbegrip van bestaande milieumonitoringsgegevens, om een beoordeling te maken van de kans dat oppervlaktewaterlichamen niet zullen voldoen aan de milieukwaliteitsdoelstellingen die artikel 4 aan die lichamen stelt. De lidstaten kunnen bij die beoordeling modelleringstechnieken gebruiken."*

Bijlage II geeft ook de methodiek om typen wateren te karakteriseren. In de voorgeschreven methode is de *"achtergrondtoestand van de nutriënten"* opgenomen als facultatieve factor voor de karakterisering van meren. Voor de andere type wateren (rivieren, overgangswateren, kustwateren) zijn nutriënten niet als verplichte of facultatieve factor aangeduid.

In Bijlage VII staat omschreven dat welke elementen in ieder stroomgebiedsbeheerplan (SGBP) moeten worden opgenomen. Hierin staat o.a. dat een SGBP het volgende elementen moet omvatten:

*"2. Een overzicht van de significante belastingen en effecten van menselijke activiteiten op de toestand van oppervlakte- en grondwater, met inbegrip van:*

- *Een raming van de verontreiniging door puntbronnen.*
- *Een raming van de verontreiniging door diffuse bronnen, met inbegrip van een overzicht van het bodemgebruik.*
- *Een analyse van de druk op de kwantitatieve toestand van water, met inbegrip van onttrekkingen.*
- *Een analyse van de andere gevolgen van menselijke activiteiten op de watertoestand.*

# Bijlage 8    Aanpassingen van bodemfysische parameters voor het berekenen van effecten van verbetering bodemstructuur

Tabel A8.1 geeft een overzicht van de ingevoerde veranderingen voor de verdichte lagen per bodemsoort-gewas-combinatie. In deze Tabel zijn per laag de aangepaste parameters gegeven van de VanGenuchten-functies die in de hydrologische module de hydraulische eigenschappen van een bodemlaag beschrijven.

In Tabel A8.2 is onderscheid gemaakt tussen een 'werkelijke' diepte van de verdichte bodemlagen en een diepte zoals gebruikt in STONE om de verdichte bodemlaag te beschrijven. De verdichte bodemlaag in STONE gaat 5 tot 10 cm dieper dan de werkelijke. Deze extra diepte fungeerde als buffer tussen de verdichte en de niet-verdichte bodemlagen bij de numerieke berekening van de hydraulische doorlatendheid over het grensvlak tussen verdichte en niet-verdichte laag.

**Tabel A8.1** Aanpassingen aan bodemlagen en bewortelingsdiepten bij de relevante bodem-gewas-combinaties in STONE. De 'profielcode' verwijst naar de gebruikte hydraulische parameters voor de verdichte lagen in Tabel 16. De 'relatieve tijd' geeft het moment in het groeiseizoen, waarbij 0.0 het begin is van het groeiseizoen en 1.0 het einde.

Bodemsoort	Gewas	Verdichte laag				Bewortelingsdiepte			
		Gewas-soort	STONE codes	diepten in cm werkelijk	STONE	STONE lagen	profiel code	relatieve tijd (-)	diepte (cm)
Beekeerd	7 t/m 14	Gras	1 en 16	15-35	15-40	3 t/m 6	Zd1	0.0	12
Enkeerd								1.0	15
Podzol									
Stuifzand		Mais	2. 7. 12	35-50	35-60	6 en 7	Zd2	0.0	5
								0.5	25
								1.0	35
		Akker- 44	4. 18.	35-50	35-60	6 en 7	Zd2	0.0	10
		bouw						0.25	16
								0.5	20
								0.62	30
								1.0	30
Zavel en Lichte klei	15 en 16	Gras	1 en 16	15-35	15-40	3 t/m 6	Ad1	als zand	
		Mais	2. 7. 12	35-50	35-60	6 en 7	Ad2	als zand	
		Akkerb. 44	4. 18.	35-50	35-60	6 en 7	Ad2	als zand	
Zware klei Klei op veen	17 t/m 20	Gras	1 en 16	15-35	15-40	3 t/m 6	Kd1	als zand	
Klei op zand		Mais	2. 7. 12	35-50	35-60	6 en 7	Kd2	als zand	
		Akkerb.	4. 18. 44	35-50	35-60	6 en 7	Kd2	als zand	

**Tabel A8.2** VanGenuchtenparameters voor beschrijving van de hydraulische functies in SWAP voor de zes profielcodes van Tabel 15.

Profiel-code	STONE-laag	VanGenuchten-parameters					
		ORES	OSAT	ALFA	NPAR	KSAT	LEXP
Zd1	3 t/m 6	0.010	0.2850	0.0159	2.556	2.30	-1.0
Zd2	6 en 7	0.010	0.2850	0.0159	2.556	2.30	-1.0
Ad1	3 en 4	0.010	0.3590	0.0043	1.234	1.01	-5.5
	5 en 6	0.010	0.3660	0.0081	1.409	1.10	-3.0
Ad2	6 en 7	0.010	0.3660	0.0081	1.409	1.10	-3.0
Kd1	3 t/m 6	0.055	0.4095	0.0289	1.093	0.18	-10.5
	6 en 7	0.055	0.4095	0.0289	1.093	0.18	-10.5

ORES = residueel volumetrisch vochtgehalte ( $m^3 m^{-3}$ )

OSAT = verzadigd volumetrisch vochtgehalte ( $m^3 m^{-3}$ )

ALFA = vormfactor  $\alpha$  ( $cm^{-1}$ )

NPAR = vormfactor  $n$  (-)

KSAT = verzadigde doorlatendheid ( $cm d^{-1}$ )

LEXP = exponent in doorlatendheidsfunctie (-)



---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research)

Wageningen Environmental Research  
Rapport 2749  
ISSN 1566-7197

---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.







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



---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AB Wageningen  
T 317 48 07 00  
[www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research)

Rapport 2749  
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

