



Invloed grondwater op de kwaliteit van Gelderse beken

Definitief rapport

Peter Schipper, Erwin van Boekel, Yanjiao Mi-Gegotek, Leo Renaud, Paul Römken en Roel Kruijne



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Invloed grondwater op de kwaliteit van Gelderse beken

Definitief rapport

Peter Schipper, Erwin van Boekel, Yanjiao Mi-Gegotek, Leo Renaud, Paul Römken en Roel Kruijne

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van de Provincie Gelderland.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, september 2022

Akkoord voor publicatie:
Gert Jan Reinds, teamleider (Duurzaam Bodembeheer)

Rapport 3194
ISSN 1566-7197
ISBN 978-94-6447-436-7

Peter Schipper, Erwin van Boekel, Yanjiao Mi-Gegotek, Leo Renaud, Paul Römkens en Roel Kruijne, 2022.
Invloed grondwater op de kwaliteit van Gelderse beken; Definitief rapport. Wageningen, Wageningen
Environmental Research, Rapport 3194. 88 blz.; 13 fig.; 12 tab.; 28 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.181474/578281> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2022 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, 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.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem.

In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3194 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Oosterwijkse Vloed, Marga Limbeek

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Lijst met definities	9
Samenvatting	11
Inleiding	11
Herkomst nutriënten	11
KRW-opgave nutriënten	12
Invloed grondwater op de belasting met bestrijdingsmiddelen	12
Zware metalen	12
Handelingsperspectieven	13
Aanbevelingen	13
1 Inleiding	15
1.1 Achtergrond en probleemstelling	15
1.2 Doelstelling	17
1.3 Onderzoeksmethode	17
1.4 Leeswijzer	19
2 Bronnenanalyse nutriënten	20
2.1 Onderzoeksgebied en modelschematisatie	20
2.2 Af- en uitspoeling landbouw- en natuurgronden	22
2.3 Stikstof- en fosforbalansen	28
3 KRW-opgave Nutriënten	36
3.1 Rekenwijze opgave voor vermindering nutriëntenbelasting	36
3.2 Resultaten berekende opgave nutriënten	37
3.3 Verdeling reductieopgave over de sectoren	39
3.4 Discussie nutriëntenbalansen en opgave	42
3.5 Landbouwmaatregelen voor nutriënten	43
4 Herkomst bestrijdingsmiddelen	45
4.1 Inleiding	45
4.2 Normoverschrijding en stofeigenschappen	46
4.3 Toegelaten gebruik en gebruik in de praktijk	46
4.4 Monitoringsresultaten	47
4.5 Resumerend	47
4.6 Handelingsperspectieven	48
5 Uitspoeling zware metalen	49
5.1 Inleiding	49
5.2 Uit- en afspoeling zware metalen	49
5.3 Discussie	54
6 Conclusies en aanbevelingen	55
6.1 Conclusies	55
6.2 Aanbevelingen	57
Literatuur	58

Bijlage 1	Achtergrondinformatie KRW-ECHO	60
Bijlage 2	Achtergrondinformatie STONE	72
Bijlage 3	Bronnen in de Emissieregistratie	74
Bijlage 4	Schematisatie oppervlaktewater	76
Bijlage 5	Nutriëntenbalansen zomerhalfjaar 2010-2017	78
Bijlage 6	Nutriëntenbalansen jaargemiddeld 2010-2017	80
Bijlage 7	KRW-opgave nutriënten 2014-2017	83
Bijlage 8	Bestrijdingsmiddelen gemeten in oppervlaktewater	85

Verantwoording

Rapport: 3194

Projectnummer: 5200046247

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: teamleider en senior onderzoeker WENR

naam: Gert Jan Reinds

datum: 1 september 2022

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Gert Jan Reinds

datum: 1 september 2022

Woord vooraf

In veel beken van Gelderland worden concentraties van nutriënten en enkele zware metalen aangetroffen die hoger zijn dan de doelen die voor de Europese Kaderrichtlijn Water zijn gesteld. In sommige beken is de kwaliteit ook onvoldoende door te hoge concentraties van bestrijdingsmiddelen. Een deel van deze stoffen komt via het grondwater in de beken terecht. Door de Provincie Gelderland is in 2020 aangegeven dat door toestroom van grondwater met (te) hoge concentraties nitraat, bestrijdingsmiddelen en/of zware metalen de doelen in 32 grondwaterafhankelijke oppervlaktewaterlichamen niet worden gerealiseerd. Omdat de chemische toestand van de grondwaterlichamen ook wordt beoordeeld op de beïnvloeding van de oppervlaktewaterkwaliteit, wil de Provincie Gelderland weten wat het aandeel van het grondwater is in de belasting van de beken met deze stoffen.

Daarom is in opdracht van de provincie het onderhavige onderzoek uitgevoerd. Voor elk van de beschouwde beken zijn de nutriëntenbelasting en de herkomst ervan gekwantificeerd en daarbij het aandeel van de belasting dat via het grondwater in het oppervlaktewater terechtkomt. Voor de twee bestrijdingsmiddelen is via een screening van alle beschikbare meetdata uitgezocht in hoeverre deze via het grondwater in het oppervlaktewater terecht kunnen komen, gelet op het toegestane gebruik en stofgedrag. Voor de metalen zijn recente onderzoeksresultaten beschouwd over de uitspoeling naar oppervlaktewater.

Het onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research. In het onderzoek is gebruikgemaakt van meetgegevens van de waterschappen (debieten, concentraties) en van de data van (residuen) van bestrijdingsmiddelen die zijn opgenomen in het Informatiehuis Water.

Het onderzoek is vanuit de Provincie Gelderland begeleid door Lucas van Eijdsen, Suzanne van den Bos en Teun Spek, en vanuit de waterschappen door Peter van de Kreeke en Marga Limbeek (Rijn & IJssel), Hilde Ketelaar (Rivierenland) en Anita Buschgens (Vallei & Veluwe). Verder nam ook Lisz Welling van de Provincie Utrecht deel aan de begeleidingsgroep, omdat enkele van de beschouwde beken (deels) in de Provincie Utrecht liggen.

Parallel aan dit onderzoek heeft ook adviesbureau Aequator een inventarisatie uitgevoerd naar het draagvlak van maatregelen voor emissiereductie in de gebieden van Rijn & IJssel, teneinde vrijwillig te nemen landbouwmaatregelen te kunnen stimuleren die effectief zijn en waar draagvlak bij de boeren voor is.

De auteurs zijn dankbaar voor de aangeleverde informatie en de waardevolle feedback van de begeleidingscommissie.

Wageningen, 31 augustus 2022
De auteurs

Lijst met definities

Invloed grondwater	Grondwater treedt via drainagemiddelen en kwel uit naar oppervlaktewater en beïnvloedt daarmee de kwaliteit van het oppervlaktewater. In deze studie wordt onder deze invloed de bijdrage van het grondwater aan de stoffenbelasting van het oppervlaktewater verstaan, specifiek voor nutriënten (stikstof, fosfor), bestrijdingsmiddelen en zware metalen.
Bronnen	In deze studie: oorzaken van het vrijkomen van de stikstof en de fosfor die in het oppervlaktewater en grondwater terechtkomen.
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 (puntbronnen, 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-waterlichaam	In de KRW is een 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'. Onder oppervlaktewateren van <i>aanzienlijke omvang</i> vallen waterlichamen met een minimale oppervlakte van 0,5 km ² of een stroomgebied van ten minste 10 km ² . Voor deze wateren moet de toestand van het aquatisch ecosysteem beschreven worden en moeten plannen worden gemaakt en uitgevoerd om – als dat nog niet het geval is – een goede ecologische toestand te bereiken.
Vanggebied	Het beïnvloedingsgebied dat afwatert op een bepaald oppervlaktewaterlichaam. Grenzen tussen beïnvloedingsgebieden zijn op te vatten als waterscheidingen. Vanggebieden worden ook wel aangeduid als (deel)stroomgebied, catchment en afwateringsgebied.
Ecologische doelen	De Europese Commissie eist via de KRW dat lidstaten ecologische doelstellingen formuleren. In Nederland zijn 42 verschillende KRW-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 voor het Ecologisch Potentieel wordt beoordeeld of de toestand van een water 'zeer goed' (de referentie), 'goed', 'matig', 'ontoereikend' of 'slecht' is. De KRW-norm ligt bij 'goed'.
KRW-doelnutriënten	Per watertype (zie ecologische doelen) is in een database van meetresultaten voor biologie (vis, macrofyten, macrofauna en fyto-bentos) bekeken bij welke nutriëntconcentraties de biologie voldoet. Dit is het advies voor nutriëntdoelen geworden. Waterbeheerders hebben meestal dit advies overgenomen, maar soms niet. Bijv. als hoge, niet-beïnvloedbare achtergrondwaarden aan de orde zijn.
Regionaal oppervlaktewater	In deze studie worden de regionale waterlichamen soms aangeduid met 'regionaal oppervlaktewater'. De regionale wateren zijn vrijwel altijd in beheer bij waterschappen.
KRW-doelgat en opgavevermindering nutriëntenbelasting	Het KRW-doelgat is het verschil tussen de huidige ecologische toestand van het oppervlaktewater en de toestand 'goed'. De opgave van nutriënten is een zodanige verlaging van de nutriëntenbelasting dat deze belasting geen belemmering meer vormt voor het bereiken van de goede ecologische toestand. Deze opgave is berekend door de totale inkomende vracht in een vanggebied te vermenigvuldigen met de reductiedoelstelling van de concentraties die in het zomerhalfjaar op de KRW-meetpunten worden gemeten. Op basis van de herkomst van de belasting kan de opgave toegekend worden aan de sectoren naar rato van hun aandeel in de nutriëntenbelasting in het vanggebied.
Generiek mestbeleid	Het stelsel van gebruiksnormen en gebruiksvoorschriften voor bemesting zoals dat van kracht is voor landbouwbedrijven.
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.	
Overbenutting gebruiksnorm (overbemesting)	De hoeveelheid dierlijke mest die in een gebied niet binnen de beschikbare N- en P-plaatsingsruimte kan worden afgezet, waardoor er meer mest wordt toegediend dan op basis van de gebruiksnormen is voorgeschreven. Betreft het verschil tussen de in een gebied geproduceerde mest enerzijds en anderzijds de som van de mestexport en -verwerking, plaatsing binnen de gebruiksnorm en transport naar overige gebieden. Overbenutting kan verschillende oorzaken hebben.	
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.	
Uit- en afspoeling landbouwgronden	Afspoeling	Stoffen die via oppervlakkige afstroming vanaf (onverharde) cultuur- en natuurgronden in het oppervlaktewater terechtkomen.
	Uitspoeling	Stoffen die via het grondwater en/of buisdrainage vanaf (onverharde) cultuur- en natuurgronden in het oppervlaktewater terechtkomen.
	Actuele bemesting	De toegediende mestgift in het jaar waarin het berekende overschot, uitspoeling en/of toestand van de bodem worden geëvalueerd.
	Historische bemesting of bemesting in het verleden	De toegediende mestgift de jaren voorafgaand aan het jaar waarin het berekende overschot, uitspoeling en/of toestand van de bodem worden 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, hetgeen vooral voor fosfor lang (decennia) kan duren. De grens tussen historische en actuele bemesting is arbitrair. Zoals modelmatig ingevuld met STONE, wordt aangenomen dat de laatste vier jaar voorafgaand aan een berekend zichtjaar nog toe te schrijven is aan de actuele bemesting.
	Nalevering landbouwgrond	Uit- en afspoeling die niet gerelateerd zijn aan bemesting, maar aan de nalevering door bodemprocessen, zoals mineralisatie van veen of de uitloging van in het verleden opgehoopt fosfaat afkomstig uit kwel.
	Kwel	Uitspoeling die niet gerelateerd is aan bemesting, maar aan de kwel die optreedt vanuit de diepere ondergrond naar het bodemprofiel.
	Infiltratie	Uitspoeling van lokaal oppervlaktewater dat eerder (met name in de zomer) in het bodemprofiel is geïnfiltrated.

Samenvatting

Inleiding

De waterkwaliteit is de afgelopen decennia weliswaar verbeterd, maar Nederland heeft nog belangrijke opgaven. Dit geldt voor zowel grondwater als oppervlaktewater. Weliswaar is de chemische kwaliteit voor de meeste grote grondwaterlichamen (GWL) als goed beoordeeld, maar daarnaast wordt ook beoordeeld of de grondwaterkwaliteit een belemmering kan vormen voor de KRW-doelen van de oppervlaktewaterlichamen. Voor de Gelderse beken is aangegeven dat door toestroom van grondwater met (te) hoge concentraties nitraat uit bemesting, bestrijdingsmiddelen en/of arseen en andere zware metalen, de doelen in 32 grondwaterafhankelijke oppervlaktewaterlichamen niet worden gerealiseerd.

Om te weten of en welke maatregelen voor het grondwater nodig zijn, heeft de provincie Gelderland behoefte aan inzichten in de mate waarin de KRW-doelen van de regionale oppervlaktewaterlichamen worden belemmerd door de kwaliteit van het grondwater. Onder grondwater wordt zowel het diepe als ondiepe grondwater verstaan, inclusief het grondwater dat via buisdrainage en lokale ontwateringsmiddelen naar het oppervlaktewater wordt afgevoerd.

De doelen van het onderzoek zijn om voor de geselecteerde oppervlaktewaterlichamen:

- a. De bronnen van stikstof en fosfor en daarbij het aandeel van het grondwater in de nutriëntenbelasting in de vanggebieden van de oppervlaktewaterlichamen te kwantificeren.
- b. De KRW-opgave voor stikstof en fosfor van de oppervlaktewaterlichamen te bepalen en deze op basis van de bronverdeling toe te delen aan de sectoren. Met opgave wordt bedoeld de hoeveelheid terug te dringen stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater in het zomerhalfjaar.
- c. Aan te geven welke landbouwmaatregelen effectief zijn om de nutriëntenbelasting via het grondwater te verminderen.
- d. Voor twee bestrijdingsmiddelen waarvan de norm in het oppervlaktewater wordt overschreden na te gaan in hoeverre deze via het grondwater in het oppervlaktewater terecht komen.
- e. Voor enkele zware metalen, waaronder arseen, zink en seleen globaal aan te geven in hoeverre deze via het grondwater in het oppervlaktewater terecht komen.

Herkomst nutriënten

De bronnen voor de belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor zijn op het niveau van de vanggebieden van de oppervlaktewaterlichamen transparant in beeld gebracht voor de periode 2010 tot en met 2017. Voor ieder vanggebied (35 van Rijn en IJssel, 31 van Vallei & Veluwe en 2 van Rivierenland) is een nutriëntenbalans berekend, met daarin de belasting van de punt- en diffuse bronnen in het vanggebied, de belasting door afwenteling van bovenstroomse oppervlaktewateren en waterinlaat en de retentie (verdwijnpot) in het oppervlaktewatersysteem.

Uit de balansen volgt een grote variatie van de bronverdeling (herkomst). De belangrijkste bronnen zijn i) uitspoeling uit landbouwgronden, ii) effluentlozingen van RWZI's en iii) toestromend water vanuit het buitenland. Andere belangrijke bronnen zijn atmosferische depositie van stikstof in gebieden met veel open water en erfafspoeling van fosfor in gebieden met veel melkveehouderijen. Voor erfafspoeling geldt dat de schattingen zoals die zijn opgenomen in de huidige Emissieregistratie onzeker zijn en mogelijk een bovengrens of overschatting geven en dat voor deze bron onderzoek loopt om beter betrouwbare schattingen te geven. Een belangrijke oorzaak van de verschillen in de bronverdeling is de aanwezigheid (of afwezigheid) van RWZI's en toestromend buitenlandwater. Hierbij moet worden bedacht dat de bronverdeling van het water dat afgewenteld wordt op benedenstroomse gebieden meegenomen (door gelabeld) is in de balansen van de benedenstroomse vanggebieden.

Het aandeel grondwater is in dit onderzoek berekend als de som van de uitspoeling en kwel naar de waterlopen. De grote variatie van de bronverdeling brengt met zich mee dat ook het aandeel grondwater in de nutriëntenbelasting sterk per oppervlaktewaterlichaam verschilt; voor stikstof varieert deze in het zomerhalfjaar van 7 tot 90% en voor fosfor van 15 tot 83%. In de gebieden waar RWZI's en toestromend water vanuit het buitenland weinig aan de belasting bijdragen, is een groot aandeel van grondwater berekend.

KRW-opgave nutriënten

De KRW-opgave is gedefinieerd als de vermindering van de stikstof- en fosforvracht naar het oppervlaktewater die nodig is om te voldoen aan de KRW-norm voor stikstof en fosfor. Deze opgave is bepaald op basis van de gemeten normoverschrijdingen in het zomerhalfjaar over de periode 2015-2017 (driejarig gemiddelde) en de berekende belasting in het zomerhalfjaar 2014-2017 (vierjarig gemiddelde).

In 36 oppervlaktewaterlichamen wordt in die periode de norm overschreden voor stikstof. In die gebieden is de mate van overschrijding gemiddeld 35%. Volgens de gehanteerde methode zou de stikstofbelasting in die gebieden met hetzelfde percentage moeten afnemen om aan de norm te voldoen. Voor fosfor worden de doelen in 28 oppervlaktewaterlichamen overschreden. De gemiddelde overschrijding in die gebieden is 43%. Bij de verdeling van de opgave komt deze in alle gebieden neer op een flinke opgave voor landbouw en waterschap. Voor de gebieden met invloed van toestromend buitenlandwater is ook een grote opgave toebedeeld aan het buitenland.

De hier gepresenteerde berekeningen geven een schatting van hoeveel de belasting gereduceerd zou moeten worden om te voldoen aan de norm voor stikstof en fosfor. Deze schatting is gebaseerd op de gemeten overschrijding en de berekende belasting. Aan de berekende belasting wordt in KRW-ECHO een onzekerheidsmarge van $\pm 25\%$ toegekend. De berekende uitgaande stikstof- en fosforvrachten zijn in deze studie niet vergeleken met uit metingen afgeleide stofvrachten. Deze uit metingen afgeleide stofvrachten hebben in de regel ook een onzekerheidsmarge van $\pm 25\%$, gelet op onzekerheden rond debietmetingen en de meetfrequentie van de concentraties. Uit voorgaande KRW-ECHO-studies is gebleken dat waar de berekende stofvrachten kunnen worden vergeleken met uit metingen afgeleide vrachten, deze overwegend met elkaar overeenkomen binnen de genoemde onzekerheidsmarges.

Invloed grondwater op de belasting met bestrijdingsmiddelen

De twee bestrijdingsmiddelen (pirimifos-methyl en azinfos-methyl) waarvoor de KRW-doelen waren overschreden, zijn beide insecticiden. Azinfos-methyl is sinds oktober 1999 niet meer toegelaten.

Uit de analyse van databases met (landelijke) monitoringresultaten in grondwater en oppervlaktewater, blijkt dat de stof pirimifos-methyl slechts eenmalig in het grondwater is gevonden.

Uit de eigenschappen van pirimifos-methyl en azinfos-methyl blijkt dat het risico op uitspoeling van deze stoffen naar het grondwater te verwaarlozen is. Ook uit de historie van het toegelaten gebruik en van het gebruik in de praktijk blijkt dat het niet waarschijnlijk is dat deze stoffen in de provincies Gelderland en Utrecht in het grondwater gemeten worden. Het eenmalig aantreffen van pirimifos-methyl in het meetpunt nabij de monding van de Eem kan daarom niet in verband gebracht worden met een grondwater-oppervlaktewaterinteractie in een van de beekgebieden of met het toegelaten gebruik.

Zware metalen

In het algemeen is uitspoeling uit de bodem en het grondwater een belangrijke bron voor metalen in oppervlaktewater. Tot 2021 was deze af- en uitspoeling in de landelijke Emissieregistratie opgenomen voor cadmium (Cd), koper (Cu), nikkel (Ni), lood (Pb) en zink (Zn). In 2022 zijn de af- en uitspoeling met

nieuwste data en kennis gekwantificeerd en uitgebreid met negen stoffen. Vanwege de gebruikte hydrologische modelinvoer is het toepassingsbereik beperkt tot grote eenheden, namelijk die op landelijke schaal en voor de zes Nederlandse KRW-deelstroomgebieden. In de onderhavige studie zijn de jaargemiddelde af- en uitspoeling over de periode 2010 tot en met 2017 weergegeven voor arseen, nikkel, koper en seleen. Dit op het niveau van de vanggebieden van de Nederlandse oppervlaktewaterlichamen. Daarbij moet rekening worden gehouden met grote onzekerheden, oplopend tot 200%. De onzekerheden verschillen per stof.

Los van de onzekerheden kunnen enkele algemene conclusies over de trends worden getrokken:

- De landelijk berekende uitspoeling uit de bodemlaag tot 1 m beneden de gemiddeld laagste grondwaterstand is dominant (52 tot 98% van de totale emissie).
- De afspoeling (door oppervlakkige afstroming) is gering ten opzichte van de totale af- en uitspoeling (< 10% voor As, Ba, Cr, Mo, Sb, Se, U en V, de overige metalen < 24%).
- De af- en uitspoeling uit natuurgronden (25% van het totaal) is aanmerkelijk minder dan die uit landbouwgronden (75% van het totaal).

Handelingsperspectieven

Landelijk worden voor de nutriënten maatregelen overwogen vanuit het stikstofbeleid met het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG) en mestbeleid (7^e Nitraat Actie Programma met addendum, verder afgekort als 7^e NAP). Ter ondersteuning worden door WUR hiervoor scenarioberekeningen uitgevoerd. Van de maatregelen die voor het NPLG en 7^e NAP worden overwogen, is het goed mogelijk dat de KRW-opgave voor stikstof die voor de Gelderse beken aan landbouw is toebedeeld, voor een groot deel of mogelijk zelfs geheel kan worden ingevuld. Voor fosfor worden minder effecten van dit landelijke spoor verwacht. Om de emissies van fosfor verder af te laten nemen, kunnen route- en end-of-pipe-maatregelen zoals zuiveringsmoerassen of bezinkpolen effectief zijn.

Voor bestrijdingsmiddelen die voor milieuproblemen zorgen, is er landelijk beleid. Om voor probleemstoffen een verdergaande reductie te bewerkstelligen, wordt hierin een belangrijke rol voor de toelating voorgestaan. De huidige toelating van de probleemstof pirimifos-methyl is al sterk ingeperkt. Naast landelijk beleid kunnen regionale projecten kansrijk zijn om emissies van bestrijdingsmiddelen te beperken, zoals het programma 'Bezem door de middelenkast' (veilig afvoeren restanten van (oude) bestrijdingsmiddelen die nog op het erf worden bewaard) en het regionale project Schoon Water Brabant, waarin agrariërs worden gestimuleerd en geadviseerd hoe met technieken en slimmere keuzes voor middelen emissies naar het grondwater kunnen worden beperkt.

Met het onderhavige onderzoek is voor zware metalen alleen gekeken naar de belasting van het oppervlaktewater door uitspoeling. Momenteel (2022) is een landelijk onderzoek gestart waarin gekeken wordt of de concentraties die gemeten worden in het oppervlaktewater verklaard kunnen worden door alle punt- en diffuse bronnen. Resultaten hiervan bieden mogelijk aanknopingspunten voor handelingsperspectieven. Uit eerder onderzoek (Van der Bolt en Römken (red.) 2022) bleek al wel dat veranderingen in vrachten naar de bodem pas op langere termijn (decennia) doorwerken op de concentratie in grond- en oppervlaktewater. Dit komt vooral doordat de bodemvoorraad veel groter is dan de jaarlijkse aan- en afvoer waardoor de concentratie in het uitspoelend water pas op lange termijn zal reageren op dergelijke veranderingen. De huidige uitspoeling van zware metalen naar oppervlaktewater en de dynamiek tussen jaren daarin wordt vooral veroorzaakt door verschillen in hydrologische condities en de combinatie van huidige gehalten in de bodem en bodemeigenschappen.

Aanbevelingen

De berekende uitgaande stikstof- en fosforvrachten zijn in deze studie niet vergeleken met uit metingen afgeleide stofvrachten. Het verdient aanbeveling om de betrouwbaarheid van de modelschattingen te valideren op basis van beschikbare monitoring (debieten en waterkwaliteit) op belangrijke uitwisselpunten

(uitmondingen) van beken. Deze validatie wordt bij voorkeur uitgevoerd in nauwe samenwerking met de betrokken waterschappen.

Voor erfafspoeling geldt dat de emissieschattingen van fosfor, zoals die zijn opgenomen in de huidige Emissieregistratie, onzeker zijn en naar verwachting een bovengrens of overschatting geven en dat voor deze bron onderzoek loopt om betere en betrouwbare schattingen te geven. Aanbevolen wordt om bij de keuzes van maatregelen hiermee rekening te houden.

Voor het stimuleren van regionale landbouwmaatregelen om emissies van nutriënten naar water te verminderen, is het relevant om te weten welke KRW-opgave voor landbouw resteert als de maatregelen worden genomen die voor het 7^e NAP en NPLG worden overwogen. De effecten hiervan worden door WUR landelijk ingeschat. Naar verwachting komen de resultaten hiervan in september 2022 gereed. Als deze resultaten voldoende plausibel worden geacht, wordt aanbevolen om deze te projecteren op de KRW-opgave die in de onderhavige studie is berekend.

Door de begeleidingscommissie is aangegeven dat er meerdere bestrijdingsmiddelen zijn die incidenteel normoverschrijdend worden aangetroffen. Het systematisch analyseren van de monitoringsdata, toelating en gebruik kunnen voor deze middelen handvaten bieden voor handelingsperspectieven.

Voor zware metalen wordt aanbevolen het landelijk onderzoek te volgen waarin gekeken wordt of de concentraties die gemeten worden in het oppervlaktewater verklaard kunnen worden door alle punt- en diffuse bronnen. Aanvullend of vooruitlopend hierop zouden de regionale patronen van de uitspoeling kunnen worden vergeleken met de meetgegevens van de zware metalenconcentraties in het oppervlaktewater en de waterbodems.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en probleemstelling

De waterkwaliteit is de afgelopen decennia weliswaar verbeterd, maar Nederland heeft nog belangrijke opgaven. Dit geldt met name ten aanzien van het verminderen van de belasting van de regionale oppervlaktewateren met nutriënten en residuen van gewasbeschermingsmiddelen. Ook worden in diverse oppervlaktewater de normen voor enkele metalen, ammonium en PAK's overschreden (Van Galen et al., 2020; Knoben et al., 2021).

De KRW geeft ook opgaven voor verbetering en bescherming van de grondwaterkwaliteit. Weliswaar is de chemische kwaliteit voor de meeste grote grondwaterlichamen (GWL) als goed beoordeeld, maar daarnaast wordt bij de KRW-beoordeling getoetst of de regionale kwaliteit geschikt is voor de kwaliteit van natuur, grondwaterafhankelijke oppervlaktewaterlichamen en drinkwaterwinningen. Om de provincies en waterschappen hierbij te ondersteunen in een uniforme manier van beoordeling, is in 2013 een protocol ontwikkeld voor de toestand- en trendbeoordeling van GWL. Omdat het protocol op sommige punten nadere verduidelijking en uitwerking miste, heeft de Landelijke Werkgroep Grondwater dit protocol in 2019 herzien.¹ Wijzigingen ten opzichte van het protocol uit 2013 betreft onder andere de specifieke test voor de beoordeling van grondwaterafhankelijke oppervlaktewaterlichamen (OWL's). In onderstaand kader is dit onderdeel uit het protocol weergegeven.

Protocol toestand en trendbeoordeling GWL, toets beïnvloeding oppervlaktewaterlichamen

Voor deze toets wordt onderscheid gemaakt tussen de kwalificatie 'grondwaterafhankelijk' en 'significant grondwaterafhankelijk'. Een OWL is grondwaterafhankelijk als het gedurende het jaar op enig moment een drainerende functie heeft. Een oppervlaktewaterlichaam kan een deel van het jaar drainerend zijn en een deel van het jaar inzijsend. De toets voor de invloed van grondwater op een OWL wordt alleen gedaan voor een OWL die significant GW-afhankelijk is. Alleen voor deze OWL kunnen maatregelen in grondwater bijdragen aan betere watervoerendheid of een betere (fysisch-)chemische kwaliteit. De beoordeling van significante invloed vanuit grondwater op een OWL geldt zowel voor kwantiteit als kwaliteit. Hierbij is de aanname gedaan dat wanneer de kwantitatieve invloed vanuit GW beperkt is, de invloed op de kwaliteit ook beperkt zal zijn.

Wanneer is een OW-lichaam significant GW-afhankelijk?

- Uitgangspunt: als een OWL voornamelijk aanvoer krijgt vanuit ander oppervlaktewater, dan wordt het beschouwd als niet van grondwater afhankelijk.
- Uitzondering: Natuurlijke beeksystemen waarvan de bovenloop en de benedenloop opgedeeld zijn in meerdere KRW OW-lichamen en de bovenloop GW-afhankelijk is.
- Afspraak: Als de bovenloop van een beekstelsel GW-afhankelijk is, dan is de benedenloop ook GW-afhankelijk.

R-types (natuurlijke beeksystemen) kunnen grondwaterafhankelijk zijn, maar voor toetsing niet significant als:

- OW-kwaliteit beïnvloed wordt door een puntbron RWZI/industrie;
- Water aangevoerd wordt vanuit een ander OW dat niet bij het beekstelsel hoort;
- Het beekstelsel grensoverschrijdend is en het bovenstroomse water uit het buitenland komt.

M-types lijnvormige, drainerend: poldersystemen kunnen grondwaterafhankelijk zijn, maar voor toetsing niet significant als:

- OW-kwaliteit beïnvloed wordt door een puntbron RWZI/industrie;
- OW- kwantiteit hoofdzakelijk bepaald wordt door het neerslagoverschot (in de winter) of water inlaat. (westen van het land);
- OW-kwaliteit bepaald wordt door water aanvoer vanuit ander oppervlaktewater. bv boezems;
- Boezems: niet significant grondwaterafhankelijk;
- Kanalen: niet significant grondwaterafhankelijk.

¹ Landelijke Werkgroep Grondwater (Saskia Lukács en Ronnie Hollebrandse), september 2019. Protocol voor toestand-en-trendbeoordeling van grondwaterlichamen KRW-herzien 2019.

Bij de KRW-beoordeling van de grondwaterkwaliteit wordt nagegaan of deze een belemmering kan vormen voor de KRW-doelen van de oppervlaktewaterlichamen. Daarbij speelt dat het grondwater door menselijke activiteiten tot steeds grotere diepten licht verontreinigd raakt met veel verschillende stoffen. Deze voortschrijdende, sluimerende beïnvloeding van de chemische kwaliteit van grondwater tot steeds grotere diepte wordt 'vergrijzing' genoemd (Swartjes et al., 2022).

De waterschappen in Gelderland (Rijn en IJssel, Vallei & Veluwe en Rivierenland) hebben voor de beoordeling van de Interactie grond- en oppervlaktewater op basis van expertkennis aangegeven welke oppervlaktewaterlichamen ten aanzien van de waterkwaliteit significant worden beïnvloed door het grondwater. Bovendien zijn door Waterschap Vallei & Veluwe ook Utrechtse oppervlaktewaterlichamen in de beoordeling meegenomen. Tabel 1 geeft een overzicht van deze oppervlaktewaterlichamen en de daarvoor gesignaleerde problematiek.

Tabel 1.1 Lijst met oppervlaktewateren die bij de start van het onderzoek zijn meegegeven voor analyse.

KRW-code waterlichaam	type	naam	Waterschap	Provincie	Stikstof	Fosfor	Arseen1	GBM
NL07_0001	R5	Grenskanaal	Rijn en IJssel	Gld	1		1	
NL07_0002	M3	Oude Rijn	Rijn en IJssel	Gld			1	
NL07_0003	M3	Wijde-Zevenaarsewetering	Rijn en IJssel	Gld			1	
NL07_0004	M3	Didamse Wetering	Rijn en IJssel	Gld			1	
NL07_0005	R5	Wehlsebeek	Rijn en IJssel	Gld	1		1	
NL07_0007	R5	Keizersbeek	Rijn en IJssel	Gld	1	1	1	
NL07_0008	R5	Bergerslagbeek	Rijn en IJssel	Gld			1	
NL07_0009	R5	Boven Slinge	Rijn en IJssel	Gld	1	1		
NL07_0010	R5	Waalse water	Rijn en IJssel	Gld			1	
NL07_0011	R5	Grote beek	Rijn en IJssel	Gld			1	
NL07_0012	R5	Oosterwijkse vloed	Rijn en IJssel	Gld			1	
NL07_0013_1	M1a	Veengoot	Rijn en IJssel	Gld			1	
NL07_0014_1	R5	Baakse Beek Bovenstrooms	Rijn en IJssel	Gld	1	1	1	
NL07_0014_2	R5	Baakse Beek Benedenstrooms	Rijn en IJssel	Gld			1	
NL07_0020	R5	Groenlose Slinge	Rijn en IJssel	Gld	1	1		
NL07_0021	R5	Ratumsebeek-Willinkbeek	Rijn en IJssel	Gld	1	1		
NL09_23_2	R4	Beekrestanten Citters	Rivierenland	Gld	1		1	
NL09_03_2	R4	Beken Groesbeek	Rivierenland	Gld	1	1	1	
NL43_23	R6	Benedenloop Barneveldse Beek	Vallei & Veluwe	Ut		1		1
NL43_24	R5	Esveldebeek	Vallei & Veluwe	Gld/Ut	1	1		1
NL43_20	R4	Grote Valkse Beek	Vallei & Veluwe	Gld	1	1		1
NL43_18	R5	Heiligenbergerbeek	Vallei & Veluwe	Ut	1			1
NL43_26	R5	Hoevelakense Beek	Vallei & Veluwe	Gld/Ut		1		1
NL43_21	R4	Kleine Barneveldse Beek	Vallei & Veluwe	Gld	1	1		1
NL43_17	R5	Lunterse Beek	Vallei & Veluwe	Gld/Ut	1	1		1
NL43_22	R5	Middenloop Barneveldse Beek	Vallei & Veluwe	Gld/Ut		1		1
NL43_19	R4	Modderbeek	Vallei & Veluwe	Ut		1		1
NL43_25	R4	Moorsterbeek	Vallei & Veluwe	Ut	1	1		1
NL43_14	R4	Heelsumse Beek	Vallei & Veluwe	Gld	1			
NL43_03	R5	Hierdense Beek	Vallei & Veluwe	Gld	1			
NL43_01	R5	Schuitenbeek	Vallei & Veluwe	Gld	1	1		
NL43_02	R5	Veldbeek	Vallei & Veluwe	Gld	1	1		
NL43_12	R5	Voorsterbeek	Vallei & Veluwe	Gld	1	1		
NL43_28	M3	Wiel	Vallei & Veluwe	Gld		1		1

1) Niet alleen arseen, maar ook diverse andere zware metalen.

De in Tabel 1.1 genoemde oppervlaktewaterlichamen en hun overschrijdingen voor stikstof, arseen en gewasbeschermingsmiddelen vormen de kern van dit onderzoek. Als extra wordt bij deze oppervlaktewaterlichamen in dit onderzoek ook aandacht besteed aan eventuele overschrijdingen van de

norm voor fosfor. Lopende het onderzoek is besloten om voor de bronnenanalyse van nutriënten alle beken van Rijn & IJssel mee te nemen.

Volgens de Nederlandse regelgeving zijn naast het Rijk ook de regionale overheden aan zet om de nodige KRW-maatregelen te nemen:

- Waterschappen om maatregelen te nemen die nodig zijn voor het bereiken van een goede toestand van de oppervlaktewaterlichamen en
- Provincies om maatregelen te nemen die nodig zijn voor het bereiken van een goede toestand van de grondwaterlichamen. Het terugdringen van afwenteling naar oppervlaktewater (waar nodig) is hier onderdeel van.

Om te weten of en welke maatregelen voor het grondwater nodig zijn, heeft de provincie Gelderland behoefte aan inzichten in de mate waarin de KRW-doelen van de regionale oppervlaktewaterlichamen worden belemmerd door de kwaliteit van het grondwater. Onder grondwater wordt zowel het diepe als ondiepe grondwater verstaan, inclusief het grondwater dat via buisdrainage en lokale ontwateringsmiddelen naar het oppervlaktewater wordt afgevoerd. Daarom heeft de provincie aan Wageningen Environmental Research opdracht gegeven te onderzoeken in welke mate het grondwater bijdraagt aan de belasting van het oppervlaktewater met stikstof, fosfor, enkele bestrijdingsmiddelen en enkele zware metalen.

1.2 Doelstelling

De doelen van het onderzoek zijn om voor de geselecteerde oppervlaktewaterlichamen:

- a. De bronnen van stikstof en fosfor en daarbij het aandeel van het grondwater in de nutriëntenbelasting in de vanggebieden van de oppervlaktewaterlichamen te kwantificeren.
- b. De KRW-opgave voor stikstof en fosfor van de oppervlaktewaterlichamen te bepalen en deze op basis van de bronverdeling toe te delen aan de sectoren. Met opgave wordt bedoeld de hoeveelheid terug te dringen stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater in het zomerhalfjaar.
- c. Aan te geven welke landbouwmaatregelen effectief zijn om de nutriëntenbelasting via het grondwater te verminderen.
- d. Voor twee bestrijdingsmiddelen waarvan de norm in het oppervlaktewater wordt overschreden na te gaan in hoeverre deze via het grondwater in het oppervlaktewater terecht komen.
- e. Voor enkele zware metalen, waaronder arseen, zink en seleen globaal aan te geven in hoeverre deze via het grondwater in het oppervlaktewater terecht komen.

1.3 Onderzoeksmethode

Aanpak nutriënten

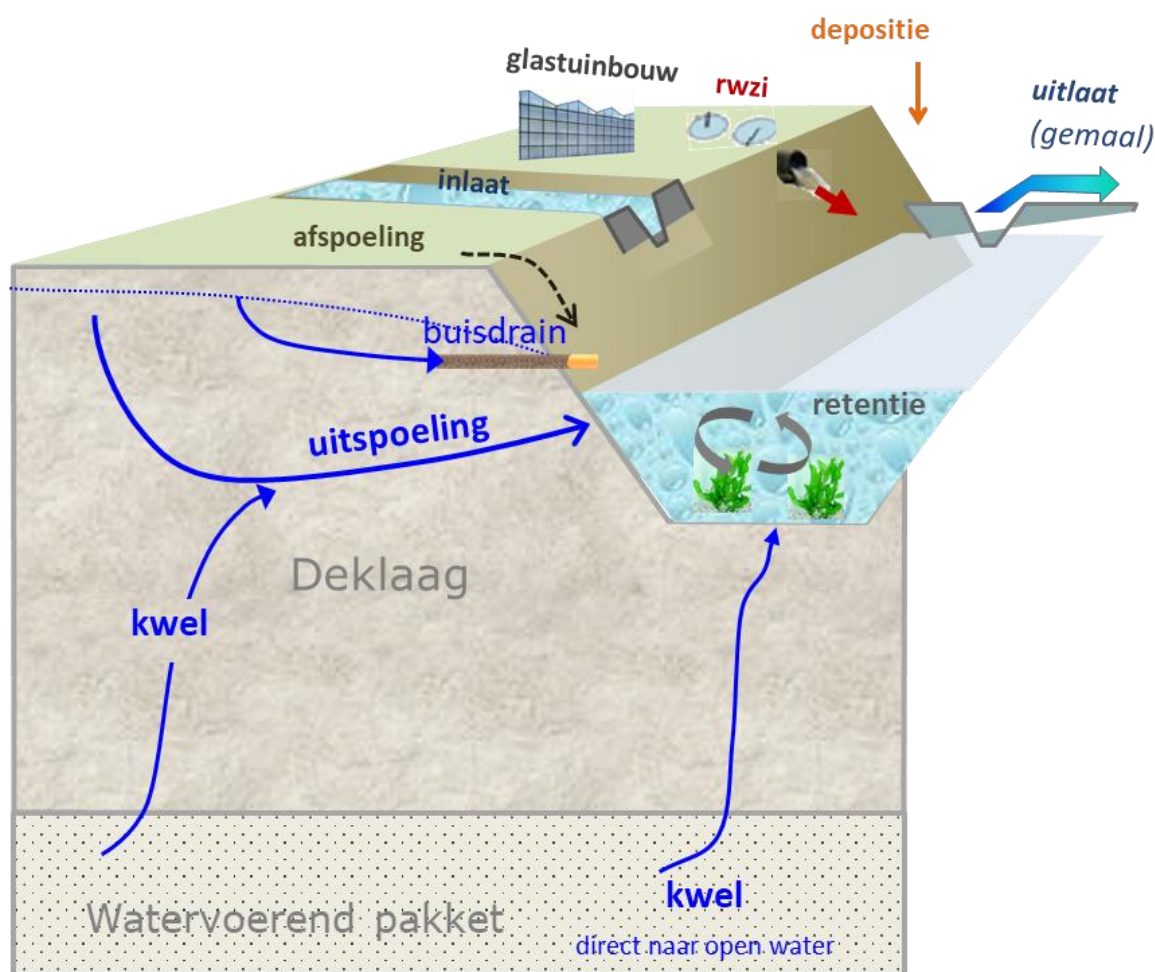
Om deze vragen te beantwoorden, is voor de nutriënten met de methode KRW-ECHO een bronnenanalyse uitgevoerd. Deze methodiek KRW-ECHO is ontwikkeld ten behoeve van de implementatie van de KRW en is door WENR de afgelopen jaren toegepast op landelijk niveau (Groenendijk et al., 2016) en, in opdracht van waterschappen, in verschillende regio's. De methode wordt nader toegelicht in Bijlage 1.

De basis van KRW-ECHO is dat voor ieder vanggebied (catchment) van de oppervlaktewaterlichamen een nutriëntenbalans wordt berekend waarin de belasting van de punt- en diffuse bronnen, de afwenteling, retentie in het oppervlaktewater en herkomst van stikstof en fosfor worden gekwantificeerd. Uit- en afspoeling uit landbouw en natuurpercelen bepalen in de meeste gebieden een belangrijke deel van de belasting. Deze uitspoeling wordt berekend met rekeneenheden van het modelinstrumentarium STONE (zie Bijlage 2). De herkomst wordt zodanig afgeleid dat onderscheid gemaakt kan worden tussen antropogene en (semi)natuurlijke bronnen en wel/niet/moeilijk te beïnvloeden bronnen. Daarmee kan een theoretische achtergrondbelasting worden berekend. En op basis van de gemeten normoverschrijding (zomerhalfjaar) kan een reductieopgave worden afgeleid die op basis van de bronverdeling kan worden toebedeeld aan de sectoren die de nutriënten in het bodem-watersysteem brengen.

In diverse studies (zie Bijlage 1) zijn de hiermee berekende balansen (water en nutriënten) gevalideerd op basis van meetgegevens (meerjarige metingen van debieten en concentraties op benedenstroomse uitwisselpunten) en op basis van expert- en gebiedskennis van hydrologen bij de waterschappen. KRW-ECHO is derhalve een beproefde methode voor het kwantificeren van de nutriëntenbelasting, de bronverdeling met onderscheid tussen natuurlijke en antropogene en daarmee wel/niet stuurbare bronnen, en het kwantificeren van de KRW-opgave voor nutriënten en de verdeling ervan over de sectoren.

In dit onderzoek zijn de nutriëntenbalansen opgesteld voor de periode 2010 tot en met 2017. Voor deze periode is gekozen, omdat voor die periode meetgegevens beschikbaar waren en omdat voor het bepalen van de KRW-opgave in voorgaande studies (Landelijk, Maasregio, Gelderse Vallei, Drents Overijsselse Delta) het zomerhalfjaargemiddelde over de jaren 2010-2013 en 2014-2017 als referentie is gekozen. De balansen en overschrijdingen van de KRW-doelen zijn in recentere jaren sterk wisselend door de vrij extreme weersomstandigheden (extreme droogte, hoosbuien na lange droge perioden en droogval). Als referentieperiode om de KRW-opgave te bepalen, zou in principe ook de eerste planperiode van de KRW (2000-2009) gekozen kunnen worden. Bedacht moet worden dat de berekende opgave gecorrigeerd kan worden voor autonoom beleid. Als door autonoom beleid de belasting in 2027 significant daalt, kan het effect daarvan van de berekende opgave worden afgetrokken.

Om de belasting van het oppervlaktewater te bepalen, worden alle bekende nutriëntenbronnen gekwantificeerd. Deze zijn weergegeven in Bijlage 3. Met de begeleidingscommissie is afgesproken dat het aandeel van grondwater in de belasting wordt berekend als de optelsom van de berekende uitspoeling van het grondwater vanuit landbouw- en natuurpercelen en de kwel die direct uittreedt in het oppervlaktewater. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 1.1. De oppervlakkige afspoeling van landbouwpercelen wordt daar niet bij opgeteld, omdat dit niet gezien wordt als grondwater.



Figuur 1.1 Schematische weergave beïnvloeding oppervlaktewater. De invloed door grondwater, aangeduid als uitspoeling, buisdrainage en kwel, is met blauwe pijlen aangegeven.

De uitspoeling (diffuus of via buisdrainage) wordt op landbouwpercelen voor een belangrijk deel bepaald door actuele en historische mestgiften, maar ook atmosferische depositie, kwel naar het bodemprofiel en (semi)natuurlijke nalevering bepalen mede de uitspoeling. In het volgende hoofdstuk wordt hier in detail op ingegaan. Het oppervlaktewater wordt naast grondwater belast door afspoeling, directe depositie, lozingen van gezuiverd afvalwater (RWZI's, industrie), diverse andere punt- en diffuse bronnen zoals glastuinbouw, erfafspoeling van landbouwbedrijven, scheepvaart, riooloverstorten en regenwaterriolen. Ook wordt de kwaliteit van een oppervlaktewaterlichaam bepaald door gebiedsvreemd inlaatwater en bovenstroomse aanvoer dat in bepaalde wateren voor een deel afkomstig is vanuit het buitenland.

In het milieubeleid wordt gesproken over de KRW-opgave. Dat is de opgave om te voldoen aan de doelen voor de KRW. Op basis van de bronverhouding en de gemeten overschrijdingen in het zomerhalfjaar van de KRW-doelen voor N en P is de opgave bepaald en toebedeeld aan de sectoren (landbouw, waterschap, buitenland en gemeenten).

Aanpak bestrijdingsmiddelen

Bij aanvang van het onderzoek zijn door de provincie twee stoffen aangegeven waarvan bij de KRW-beoordeling was aangegeven dat de gemeten concentraties hoger zijn dan het KRW-doel.

Voor deze twee stoffen is een uitgebreide screening van alle beschikbare metingen gedaan in grond- en oppervlaktewater en is mede op basis van het toegestane gebruik en de stofeigenschappen geanalyseerd of en in hoeverre deze stoffen via het grondwater in het oppervlaktewater terecht zijn gekomen.

Aanpak zware metalen

Voor de metalen zijn recente onderzoeksresultaten van de WUR (Van der Bolt en Römken (red.) 2022) beschouwd over de af- en uitspoeling naar oppervlaktewater en het stofgedrag. In dit onderzoek is de af- en uitspoeling uit landbouw- en natuurgronden op jaarbasis gekwantificeerd voor 14 metalen (cadmium, koper, nikkel, lood, zink, arseen, barium, kobalt, chroom, molybdeen, Seleen, antimoon, vanadium en uranium). In de onderhavige studie is de berekende af- en uitspoeling geaggregeerd naar de vanggebieden van de oppervlaktewateren.

1.4 Leeswijzer

De aanpak en resultaten van de bronnenanalyse voor nutriënten staan beschreven in hoofdstuk 2. De KRW-opgave en handelingsperspectieven voor maatregelen zijn beschreven in hoofdstuk 3.

Hoofdstuk 4 behandelt de analyse van de twee bestrijdingsmiddelen en hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de kennis over de af- en uitspoeling van zware metalen naar het oppervlaktewater. De conclusies en aanbevelingen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6.

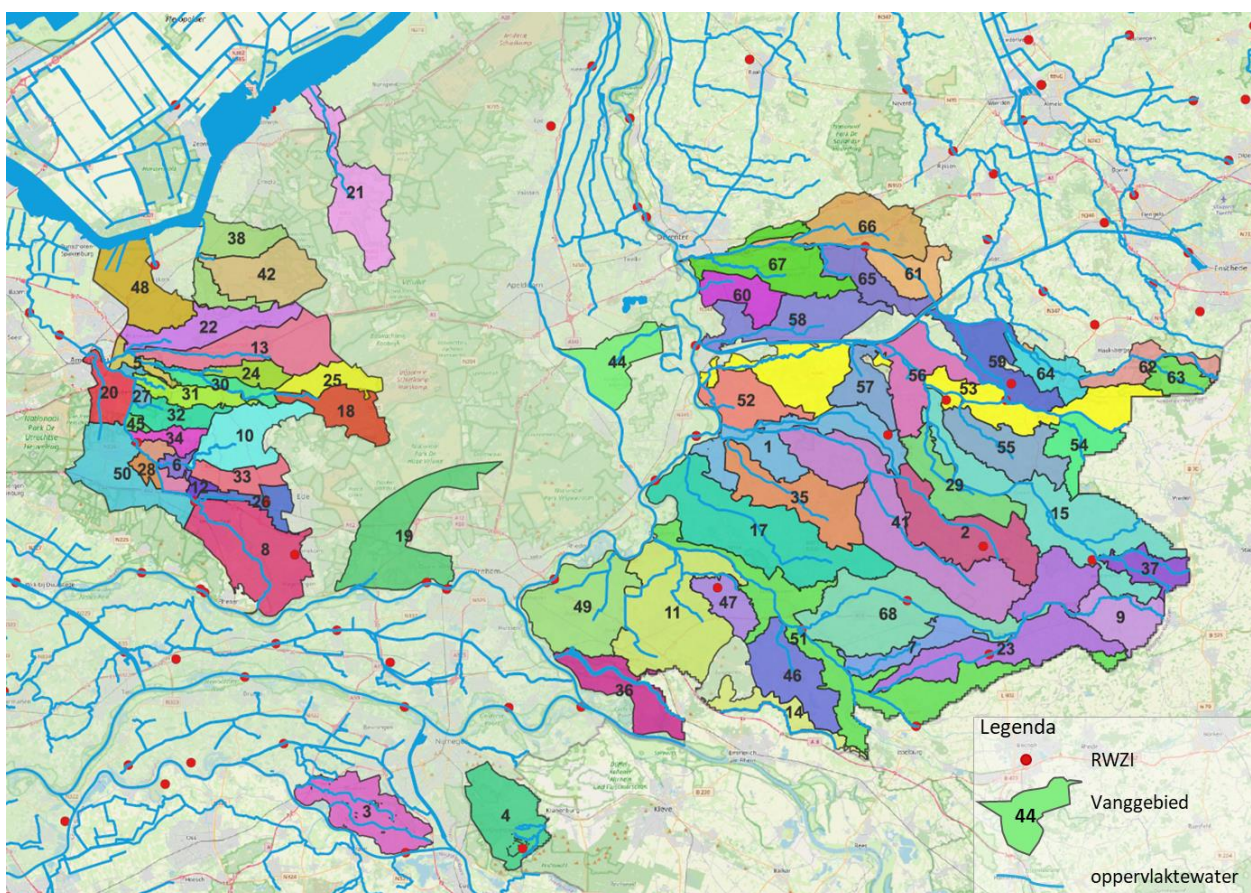
In de bijlagen wordt nadere informatie gegeven over het modelinstrumentarium:

- Bijlage 1: KRW-ECHO (nutriëntenbalansen vanggebieden oppervlaktewater)
- Bijlage 2: STONE (af- en uitspoeling stikstof en fosfor vanuit landbouw- en natuurgronden)
- Bijlage 3: Nutriëntenbronnen in Emissieregistratie
- Bijlage 4: Schematisatie van het oppervlaktewater
- Bijlage 5: Nutriëntenbalansen zomerhalfjaar 2010-2017
- Bijlage 6: Nutriëntenbalansen jaargemiddeld jaargemiddeld 2010-2017
- Bijlage 7: KRW-opgaven stikstof en fosfor referentieperiode
- Bijlage 8: Landelijk overzicht meetgegevens primifos-methyl en azinfos-methyl

2 Bronnenanalyse nutriënten

2.1 Onderzoeksgebied en modelschematisatie

De basis van de bronnenanalyse met KRW-ECHO is dat voor ieder vanggebied (catchment) van de oppervlaktewaterlichamen een nutriëntenbalans wordt berekend waarin de belasting door de punt- en diffuse bronnen in het vanggebied en door afwenteling en waterinlaat wordt gekwantificeerd. De begrenzing van deze vanggebieden is afgestemd met de hydrologen van de betrokken waterschappen (Vallei & Veluwe, Rijn & IJssel, Rivierenland). De resulterende indeling is weergegeven in Figuur 2.1.



Figuur 2.1 Onderzoeksgebied met de ruimtelijke begrenzing van de vanggebieden rond de oppervlaktewaterlichamen. Op de kaart zijn ook de RWZI's weergegeven die in de periode 2010-2017 operationeel waren.

Voor de Gelderse Vallei en het oostelijke deel van de Utrechtse Heuvelrug was met KRW-ECHO al een bronnenanalyse uitgevoerd (Schipper et al., 2020). In die studie zijn stikstof- en fosforbalansen opgesteld voor 25 vanggebieden voor de periode 2010-2017. Met het onderhavige onderzoek zijn hier voor Vallei & Veluwe een zestal oppervlaktewaterlichamen aan toegevoegd: Dit zijn de Heelsumse Beek, Wiel, Schuitenbeek, Veldbeek, Hierdense Beek en Voorsterbeek.

In het beheergebied van Rijn & IJssel is aanvankelijk uitgegaan van de beken die voor stikstof en/of fosfor niet voldoen aan het KRW-doel, inclusief de beken die hierop afwateren (afwenteling). Omdat de inzichten van de bronnenanalyse ook voor de overige beken van Rijn & IJssel waardevol zijn voor de onderbouwing van het volgende stroomgebiedbeheerplan en stimulering van DAW-maatregelen, zijn alle beken van Rijn &

IJssel meegenomen. In het beheergebied van Rivierenland zijn alleen de oppervlaktewateren Beekrestanten Citters en Groesbeek meegenomen.

Een belangrijke stap in de modelschematisering zijn de routing en de overdrachtpunten, ofwel de wijze waarop de onderscheiden vanggebieden met elkaar in verbinding staan. Deze routing is voor de wateren van Vallei & Veluwe en Rivierenland vereenvoudigd weergegeven in Bijlage 4. Hierin is ook aangegeven in welke deelstroomgebieden effluent van RWZI's wordt geloosd. De namen van de vanggebieden zijn weergegeven in Tabel 2.1. De nummers corresponderen met Figuur 2.1.

Tabel 2.1 Vanggebieden van de oppervlaktewateren in het studiegebied.

Gebieden Rijn & IJssel		Gebieden Vallei & Veluwe en Rivierenland	
1	Baakse Beek Benedenstrooms	5	Benedenloop Barneveldse beek
2	Baakse Beek Bovenstrooms	6	Benedenloop Lunterse Beek
7	Bergerslagbeek	8	Binnenveld
9	Boven Slinge	10	Bovenloop Lunterse Beek
11	Didamse Wetering	12	Emminkhuizerbeek
14	Grenskanaal	13	Esvelderbeek
15	Groenlose Slinge	16	Groepersloot
17	Grote beek	18	Grote Valkse Beek
23	Keizersbeek	19	Heelsumse Beek
29	Meibeek	20	Heiligenbergerbeek
35	Oosterwijkse vloed	21	Hierdensebeek
36	Oude Rijn	22	Hoevelakense beek
37	Ratumsebeek	24	Kleine Barneveldse Beek
41	Veengoot	25	Kleine Valkse Beek
46	Waalse water	26	Krakerswijk
47	Wehlsebeek	27	Lapeerse Beek
49	Wijdewetering	28	Liniesloot (bovenstrooms)
51	Oude IJssel	30	Middenloop Barneveldse Beek
52	Vierakkerselaat	31	Modderbeek
53	Berkel	32	Moorsterbeek
54	Ramsbeek	33	Munikkenbeek
55	Leeringbeek	34	Nattegatsloot
56	Grote Waterleiding	38	Schuitenbeek
57	Barchemse Veengoot	39	Stoutenburg/Musschendorp
58	Eefsebeek	40	Valleikanaal
59	zuidelijk afwateringskanaal	42	Veldbeek
60	Dommerbeek	43	Vlastuinerbeek
61	Schipbeek	44	Voorsterbeek
62	Buurserbeek	45	Voskuilerbeek
63	Zoddebeek	48	Wiel
64	Nieuwe Waterleiding	50	Woudenbergse Grift
65	Dortherbeek-oost		
66	Oude Schipbeek Groteboerswtg	Rivierenland	
67	Dortherbeek	3	Beekrestanten Citters
68	Bielheimerbeek	4	Beken Groesbeek

De meeste beken in het beheergebied van Vallei & Veluwe wateren af op het Valleikanaal en de Eem. Enkele beken in het noorden wateren af op de randmeren. De meeste beken in het beheergebied van Rijn & IJssel wateren af op de IJssel en op het Twentekanaal. De beken Groesbeek wateren via Duitsland en het Hollands-Duits Kanaal af op de Waal en de watergangen van Citters wateren via een verzamelwetering af op de Maas.

2.2 Af- en uitspoeling landbouw- en natuurgronden

De uit- en afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater vanuit landbouw- en natuurgronden zijn per vanggebied berekend met de SWAP-ANIMO-rekeneenheden van het STONE-instrumentarium (Wolf et al., 2003). Informatie over STONE is opgenomen in Bijlage 2. Om dit landelijke model toepasbaar te maken op regionale schaal, zijn hieruit rekeneenheden geselecteerd die in een fijnere regionale schematisering (25 x 25 m) goed passen bij het landgebruik (LGN7), de bodemkaart en de grondwatertrappenkaart. Deze selectie wordt aangeduid als herschikken. Het landgebruik, het bodemtype en de grondwatertrappen waarmee de herschikking is uitgevoerd, zijn weergegeven in Figuur 2.3.

In de meeste vanggebieden is het landgebruik voornamelijk landbouw, maar er is ook een aantal gebieden met relatief veel stedelijk areaal (Wijdewetering, beekrestanten Citters, omgeving Veenendaal) en gebieden met veel natuur (Heelsumse Beek, Veldbeek, Hierdense beek en Groesbeek).

In de gebieden van Rijn & IJssel komen vooral vrij droge gronden voor met lage grondwaterstanden (grondwatertrap 6 en 7). In de Gelderse Vallei komen meestal nattere gronden voor met hoge grondwaterstanden (grondwatertrap 3-4-5). In enkele vanggebieden zijn vooral zeer lage grondwaterstanden aanwezig (grondwatertrap 8). In die gebieden is weinig ontwatering aanwezig en infiltreert het neerslagoverschot voornamelijk naar het diepere grondwater. In de modellering van de uit- en afspoeling wordt rekening gehouden met de ontwatering en aanwezigheid van buisdrainage (zie Bijlage 2).

In het westelijk deel van het beheergebied van Rijn & IJssel zijn overwegend klei- en zavelgronden aanwezig. In de overige gebieden zijn voornamelijk zand- en beekerdgronden aanwezig. In de nattere delen zijn ook moerige en veengronden aanwezig.

Per vanggebied zijn met de herschikking de af- en uitspoeling gekwantificeerd als de som van de af- en uitspoeling van alle voor dat vanggebied geselecteerde SWAP-ANIMO-rekeneenheden. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen oppervlakkige afspoeling en uitspoeling vanuit de natuurgronden en de landbouwgronden. Voor de landbouwgronden wordt verder onderscheid gemaakt tussen het deel dat voortkomt uit actuele en historische bemesting, kwel (aan de onderzijde van het bodemprofiel), de (semi)natuurlijke nalevering, atmosferische depositie en uitspoeling van eerder geïnfiltreerd lokaal oppervlaktewater. De met ANIMO berekende oppervlakkige afspoeling onderscheidt neerslagwater, plassen op maaiveld en het bodemwater in de bovenste bodemlaag van 5 cm.

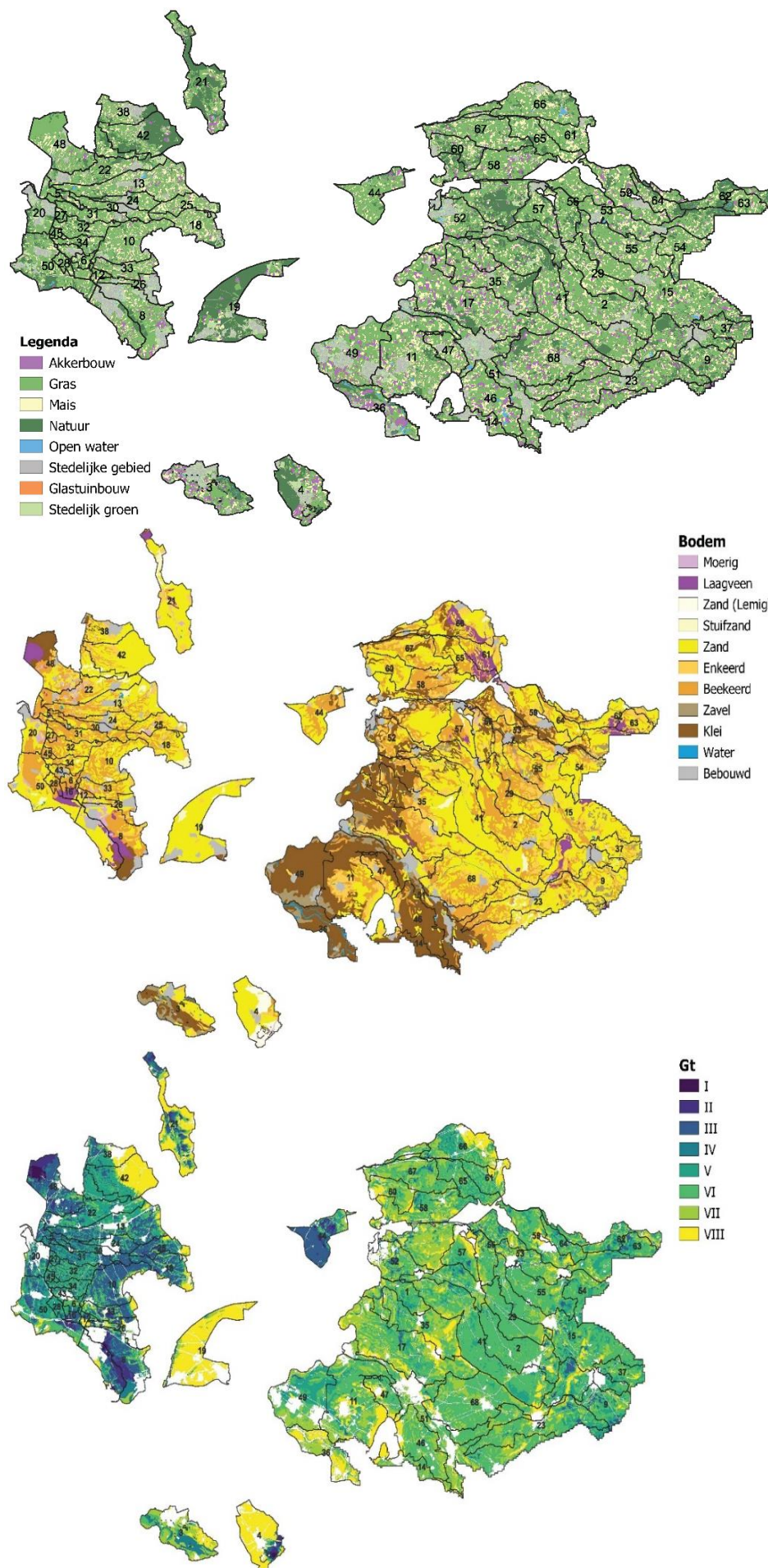
De per vanggebied berekende gemiddelde af- en uitspoeling naar het oppervlaktewater in het zomer- en winterhalfjaar zijn ruimtelijk weergegeven in Figuur 2.3 (stikstof) en 2.4 (fosfor).

Figuur 2.5 (stikstof) en 2.6 (fosfor) geven de herkomst van de af- en uitspoeling weer op het niveau van de waterschapgebieden. In deze figuren is onderscheid gemaakt tussen de herkomst van de af- en uitspoeling en het deel dat oppervlakkig afspoelt en daarom niet meegerekend wordt tot beïnvloeding van het oppervlaktewater door grondwater.

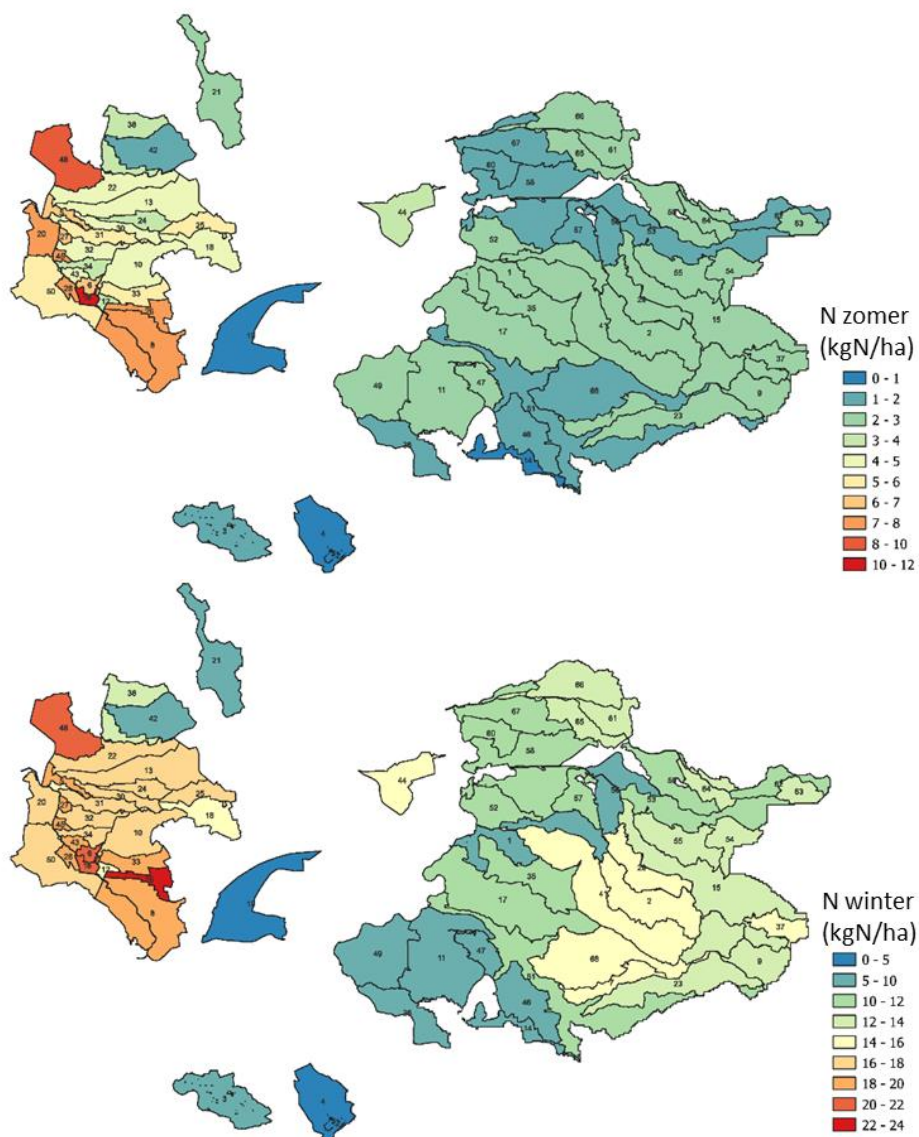
De resultaten van de berekende af- en uitspoeling van N en P kunnen in grote lijnen als volgt worden samengevat:

- De af- en uitspoeling, uitgedrukt in kg/ha, zijn in de vanggebieden die afwateren op het Valleikanaal aanmerkelijk groter dan in de meeste overige gebieden.
- De af- en uitspoeling zijn in het winterhalfjaar 3 tot 4 keer groter dan in het zomerhalfjaar.
- De belasting van het oppervlaktewater door af- en uitspoeling uit natuurgronden is gering ten opzichte van de belasting uit landbouwgronden.
- Voor stikstof wordt de af- en uitspoeling vooral bepaald door de mestgiften; voor fosfor vooral door de historische mestgiften en de (seminatuurlijke) nalevering vanuit het bodemcomplex.

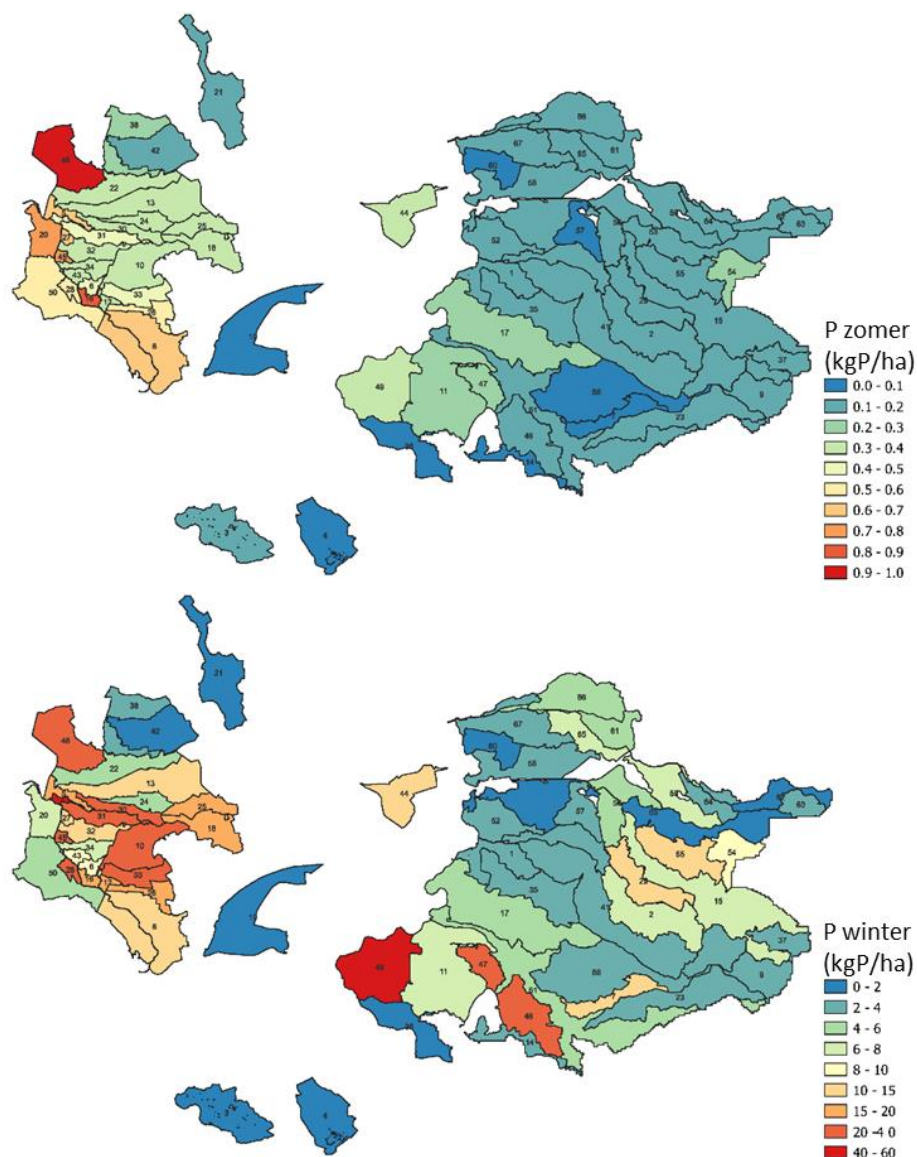
De af- en uitspoeling in het zomerhalfjaar zijn sterk bepalend voor de KRW-opgave en het deel hiervan dat aan landbouw kan worden toebedeeld. De KRW-opgave wordt namelijk bepaald door de situatie in het zomerhalfjaar, omdat de KRW-doelen in het zomerhalfjaar worden getoetst. Daarom zijn ook de balansen specifiek voor het zomerhalfjaar opgesteld (zie volgende hoofdstuk).



Figuur 2.2 Landgebruik (boven), bodemtype (midden) en grondwatertrappen (onder).



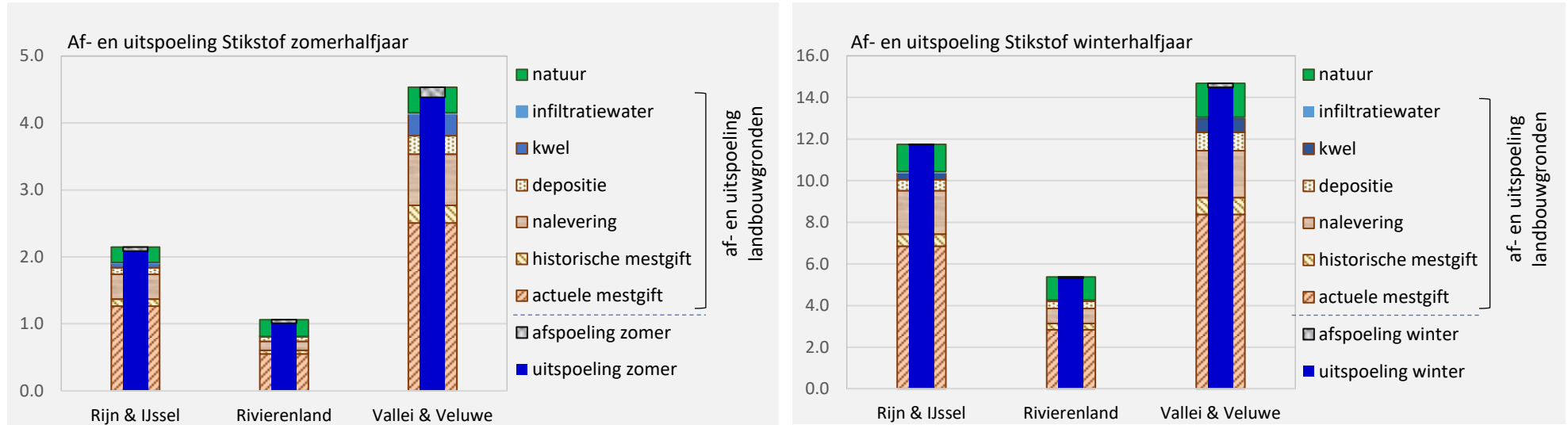
Figuur 2.3 Af- en uitspoeling van stikstof uit landbouw- en natuurgronden in het zomerhalfjaar (boven) en winterhalfjaar (onder). Alle waarden in kgN/ha (areaal landbouw + natuur).



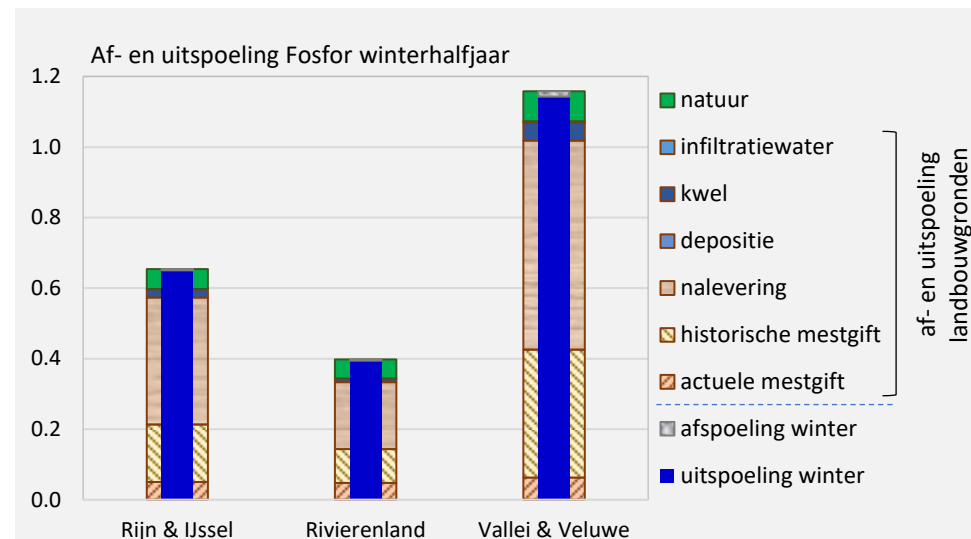
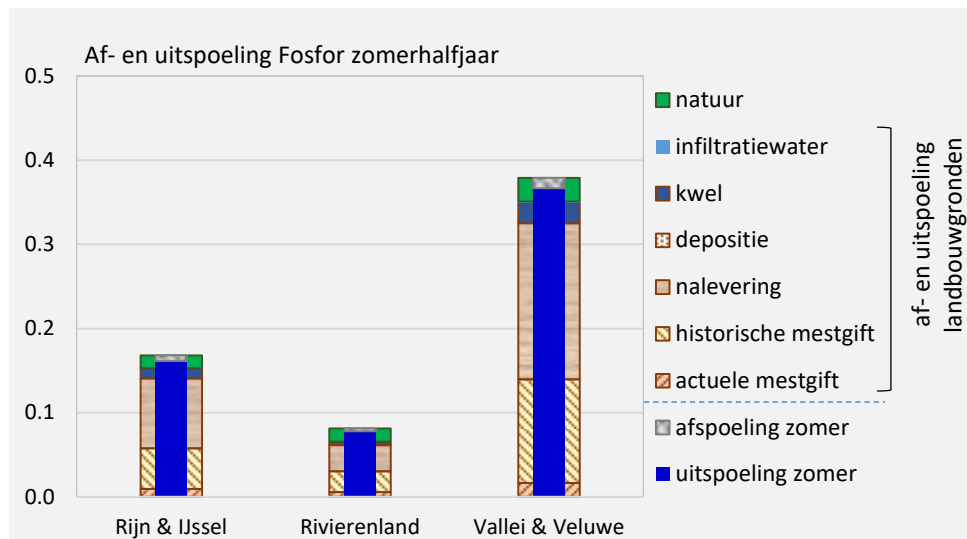
Figuur 2.4 Af- en uitspoeling van fosfor uit landbouw- en natuurgronden in het zomerhalfjaar (boven) en winterhalfjaar (onder). Alle waarden in kgP/ha (areaal landbouw + natuur).

Oppervlakkige afspoeling

Om de belasting van het oppervlaktewater door het grondwater te kunnen kwantificeren, is per gebied onderscheid gemaakt tussen de oppervlakkige afspoeling en de uitspoeling. Uit de berekeningen volgt dat de oppervlakkige afspoeling qua stofvracht gemiddeld over de gebieden gering is ten opzichte van de uitspoeling, met name in het winterhalfjaar. In het zomerhalfjaar is het aandeel van de oppervlakkige afstroming ten opzichte van de totale af- en uitspoeling gemiddeld over het gebied 5%. In de meeste gebieden is een aandeel berekend van 2 tot 8%. In het winterhalfjaar is het aandeel oppervlakkige afstroming in de meeste gebieden 0,5 tot 3%, in de Heelsumse beek 5% en de Oude Rijn 9%.



Figuur 2.5 Af- en uitspoeling van stikstof uit landbouw- en natuurgronden per beheergebied in het zomerhalfjaar (links) en winterhalfjaar (rechts). Alle waarden zijn in kgN/ha (areaal landbouw + natuur). Voor Rivierenland zijn het de gemiddelde waarden van de twee beschouwde vanggebieden (Citters en Groesbeek), voor Vallei & Veluwe en Rijn & IJssel zijn het de gemiddelden van respectievelijk 31 en 35 vanggebieden.



Figuur 2.6 Af- en uitspoeling van fosfor uit landbouw- en natuurgronden per beheergebied in het zomerhalfjaar (links) en winterhalfjaar (rechts). Alle waarden zijn in kgP/ha (areaal landbouw + natuur). De uitspoeling vormt verreweg het grootste deel van de af- en uitspoeling. De uitspoeling wordt opgevat als grondwater. Omdat de afspoeling gemiddeld gering is ten opzichte van de uitspoeling, tellen nagenoeg de gehele af- en uitspoeling mee in de belasting van oppervlaktewater door grondwater.

2.3 Stikstof- en fosforbalansen

Voor elk van de onderzochte deelstroomgebieden (zie Figuur 2.1) zijn voor de periode 2010-2017 stofbalansen per jaar opgesteld voor stikstof (N) en fosfor (P) conform de ECHO-methodiek (Kroes et al., 2011). Tabel 2.3 geeft een overzicht van de verschillende posten van de stoffenbalans en de informatie die is gebruikt om deze posten te bepalen. De inkomende vrachten zijn de punt- en diffuse bronnen in een deelstroomgebied, inclusief waterinlaat en toestroom (afwenteling) van bovenstroomse deelstroomgebieden. Als die vrachten eenmaal in het oppervlaktewater belanden, wordt een deel daarvan afgebroken, vastgelegd of door beheer verwijderd. Dit wordt aangeduid als retentie. De uitgaande vracht op het benedenstroomse overdrachtpunt is de som van de inkomende vrachten minus de retentie. In de gebieden van Vallei & Veluwe waren in de voorgaande KRW-ECHO-studie de berekende uitgaande water- en nutriëntenstromen op een beperkt aantal uitwisselpunten waar voldoende meetgegevens (debieten en concentraties) beschikbaar waren, gevalideerd. In de onderhavige studie zijn de berekende uitgaande water- en nutriëntenstromen van de andere gebieden (Rijn en IJssel, Rivierenland) niet gevalideerd. Wel is overleg gevoerd met de hydrologen van de waterschappen voor de aannames over de schematisatie van het oppervlaktewater en selectie van meetpunten voor het schatten van de debieten en bijhorende concentraties van inlaatwater en toestromend buitenlandwater.

Tabel 2.3 Overzicht balanstermen en informatiebronnen voor het opstellen van stofbalansen.

Balansterm	Informatiebron
Inkomende vrachten	
• Uit- en afspoeling landbouw en natuur	SWAP-ANIMO-berekeningen
• Rioolwaterzuiveringen (RWZI's)	Effluentmetingen van het waterschap (dagelijkse debietmetingen en wekelijkse concentraties)
• Directe kwel naar oppervlaktewater	Kwelflux en N- en P-concentraties kwelwater
• Diffuse belasting uit stedelijk gebied	SWAP-ANIMO-berekeningen (stedelijk groen)
• Overige landbouwemissies: glastuinbouw, erfafspoeling en meemesten sloten	Emissieregistratie
• Industriële lozingen	
• Atmosferische depositie open water	
• Overige emissies (riooloverstorten, regenwaterriolen, ongezuiverde huishoudelijke lozingen, scheepvaart, watervogels e.a.)	
• Inlaat en toestroming buitenland	Metingen (debiet en kwaliteit) van het waterschap en Rijkswaterstaat
Retentie	Afbraak, vastlegging in waterbodem, verwijdering waterbodem en/of waterplanten
Uitgaande vracht	Resultaten van de berekende inkomende vrachten, verminderd met de bijhorende retentie

Zoals aangegeven, zijn de af- en uitspoeling berekend met de SWAP-ANIMO-rekeneenheden van STONE.

De belasting door de RWZI's is berekend op basis van de metingen van het waterschap van het effluent (debieten en concentraties).

De belasting door kwel die direct uittreedt naar waterlopen is geschat op basis van de landelijke kwelkaart (fluxen en concentraties) die ook voor de SWAP-ANIMO-rekeneenheden is aangehouden als onderrandvoorwaarde van het bodemprofiel (13 m-mv). Deze kwelwaterconcentratie kaarten zijn geo-statistische bewerkingen van de grondwaterkwaliteitsdata uit DINO, waarbij per x-y-locatie in de database de mediane waarden zijn gebruik tussen 5 en 20 m diepte in de periode 1961-2000 (Renaud et al., 2017).

Voor de diffuse belasting uit stedelijk gebied is op basis van LGN7 een inschatting gemaakt van het areaal openbaar groen en grasvelden. Voor deze arealen zijn de af- en uitspoeling gelijk gesteld aan dat van natuur in hetzelfde vanggebied, omdat daar – in tegenstelling tot landbouw – weinig wordt bemest.

De andere punt- en diffuse bronnen zijn ontleend aan Emissieregistratie. Bijlage 3 geeft een overzicht van de punt- en diffuse stikstof- en fosforbronnen die in Emissieregistratie zijn opgenomen.

Voor de toestroming van water (met nutriënten) uit het buitenland en inlaat uit Rijkswater (IJssel, Nederrijn-Lek) zijn meetgegevens gebruikt (debieten en concentraties) waarmee de stofvrachten zijn berekend. Voor de vanggebieden die afwateren op het Valleikanaal zijn dezelfde meetgegevens gebruikt als in de voorgaande bronnenanalyse voor Vallei & Veluwe (Schipper et al., 2020). Voor de vanggebieden in het beheergebied van Rijn & IJssel is bilateraal overleg gevoerd om de hiervoor geschikte monitoringslocaties te selecteren. In een apart document zijn de hierbij gemaakte keuzes (inclusief de routing) vastgelegd.

Voor de gebieden van Rijn & IJssel is qua labeling van de herkomst geen rekening houden met water dat vanuit het Twentekanaal en andere grote wateren wordt ingelaten. In droge perioden wordt er echter wel water uit het Twentekanaal naar de benedenloop van de Berkel (traject Lochem-Zutphen) ingelaten. Als deze (diffuse) inlaten wel zouden worden verwerkt in de schematisatie (routing) van het oppervlaktewatermodel, zou dit naar verwachting geen belangrijke verschuiving geven van de berekende balansen en bronverdeling van de Berkel en hiermee in verbinding staande beken, maar mogelijk wel in jaren met vrij extreem droge perioden.

De resultaten van de berekende balansen zijn in detail opgenomen in Bijlage 5 (zomerhalfjaar gemiddelden 2010-2017) en Bijlage 6 (jaargemiddelden 2010-2017). Een overzicht van de berekende balansen van het zomerhalfjaar is weergegeven in Figuur 2.7 (stikstof) en 2.8 (fosfor). In deze figuren is ook het aandeel van de belasting weergegeven dat is toegeschreven aan grondwater. Dit betreft de som van de uitspoeling uit landbouw- en natuurgroen en openbaar groen en de kwel die direct uittreedt naar het oppervlaktewater.

Uit de balansen volgt een grote variatie van de bronverdeling (herkomst). De belangrijkste bronnen zijn uitspoeling uit landbouwgronden, RWZI's en toestromend buitenlandwater en in iets mindere mate atmosferische stikstofdepositie op open water (in waterrijke gebieden) en de categorie Landbouw overig voor fosfor. De belasting in deze laatste categorie komt hoofdzakelijk door erfafspoeling. Hierbij moet worden opgemerkt dat de kwantificering van erfemissies in Emissieregistratie onzeker is en de indruk is dat deze te hoog zijn ingeschat. Daarom is onderzoek opgestart om deze nader en beter onderbouwd te kunnen kwantificeren.

Een belangrijke oorzaak van de verschillen in de procentuele bronverdeling is de aanwezigheid (of afwezigheid) van RWZI's en toestromend buitenlandwater. Hierbij moet worden bedacht dat de bronverdeling van het water dat afgewenteld wordt op benedenstroomse gebieden meegenomen (doorgelabeld) is in de balansen van de benedenstroomse vanggebieden. Zo is bijvoorbeeld de belasting van de RWZI Wehl die loost op de Wehlse beek (nr. 47) ook van invloed op de bronverdeling van de Didamse beek (nr. 11) waar de Wehlse beek op afwatert. En zo is ook de invloed van de belasting van toestromend water uit Duitsland van invloed op de Schipbeek en Bielheimerbeek.

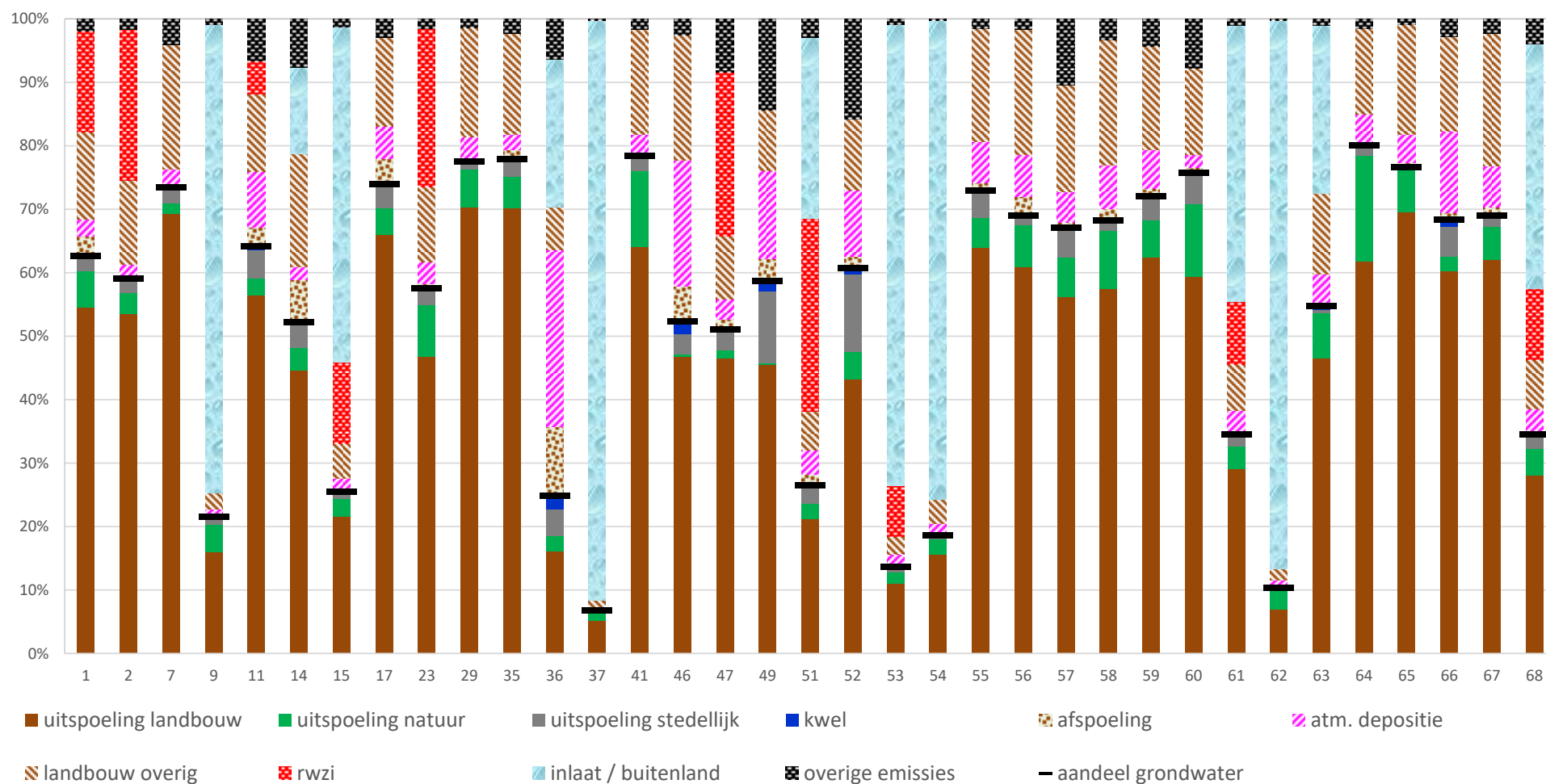
Door de grote variatie van de bronverdeling, varieert ook het aandeel van de belasting dat wordt toegekend aan grondwater. Dit aandeel is ruimtelijk weergegeven in Figuur 2.9 (stikstof) en 2.10 (fosfor). Tabel 2.4 geeft een overzicht van de ranges per waterschapgebied.

Tabel 2.4 Aandeel grondwater in de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater in het zomerhalfjaar over de periode 2010-2017.

	Aandeel stikstof	Aandeel fosfor
Vallei & Veluwe	77% (9 – 90%)	69% (15 – 83%)
Rijn & IJssel	54% (7 – 80 %)	46% (15 – 72%)
Rivierenland	37% (26 en 48%)	41% (16 en 66%)

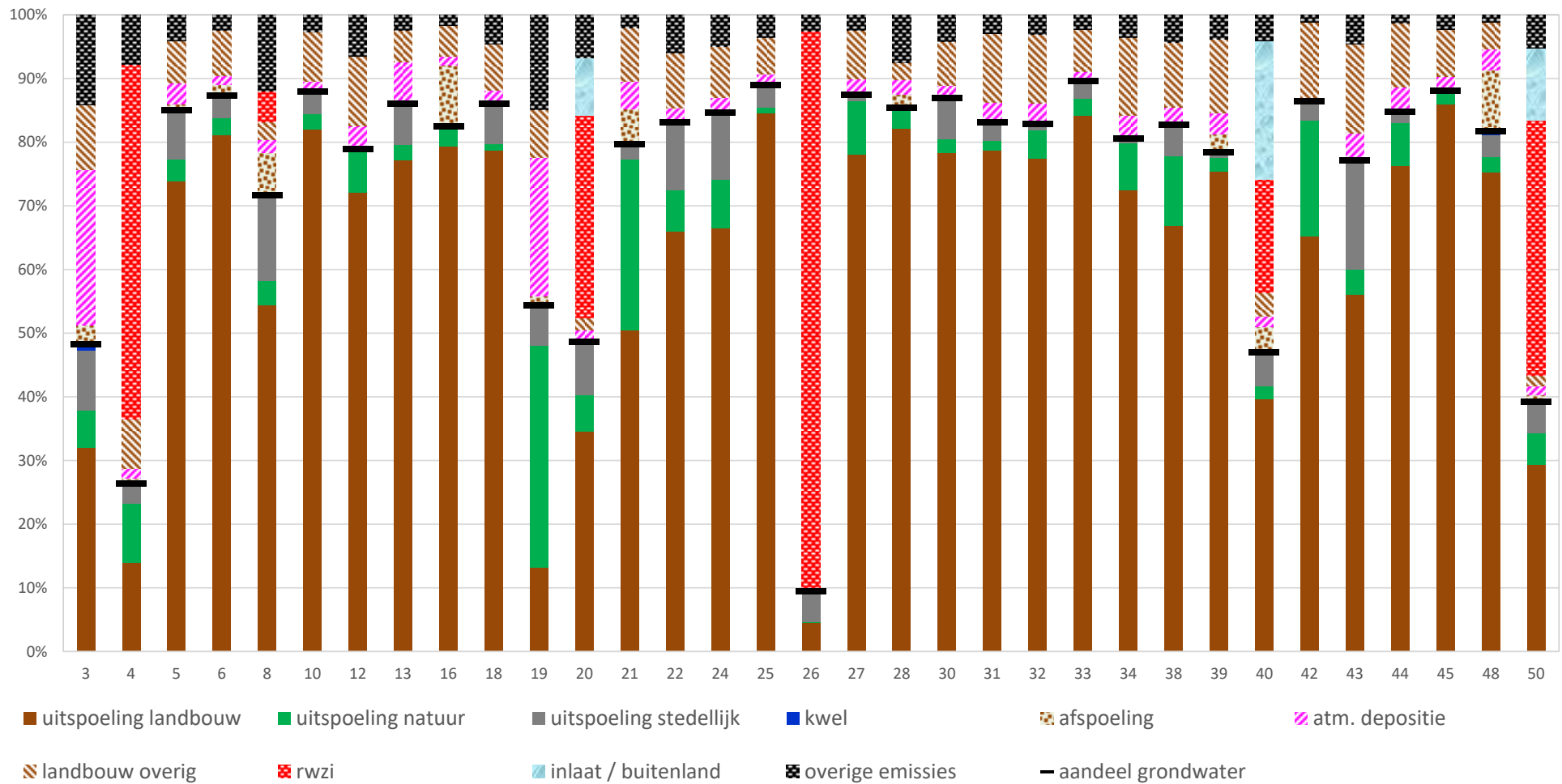
Het aandeel van grondwater in de stikstofbelasting van het oppervlaktewater in het zomerhalfjaar over de periode 2010-2017 is gemiddeld 64% en varieert in de gebieden van 7 tot 90%. Het aandeel in de fosforbelasting is iets lager, namelijk 56% en varieert van 15 tot 83%. In de gebieden die belast worden met effluent van RWZI's en/of buitenlandwater is het aandeel van grondwater in de stikstof- en fosforbelasting meestal lager dan in de andere gebieden. Doordat de uit- en afspoeling in de gebieden van Rijn & IJssel lager zijn dan in de gebieden van Vallei & Veluwe en er ook veel invloed is van buitenlandwater, is het aandeel van grondwater in de stikstof- en fosforbelasting daar lager dan in de gebieden van Vallei & Veluwe. Een hoog aandeel van grondwater in de belasting van een oppervlaktewaterlichaam is geen indicatie voor een milieuprobleem; het geeft wel het aandeel weer van de emissieroute grondwater, maar niet of het KRW-doel daar wordt overschreden.

Stikstof bronnen oppervlaktewater zomerhalfjaar 2010-2017



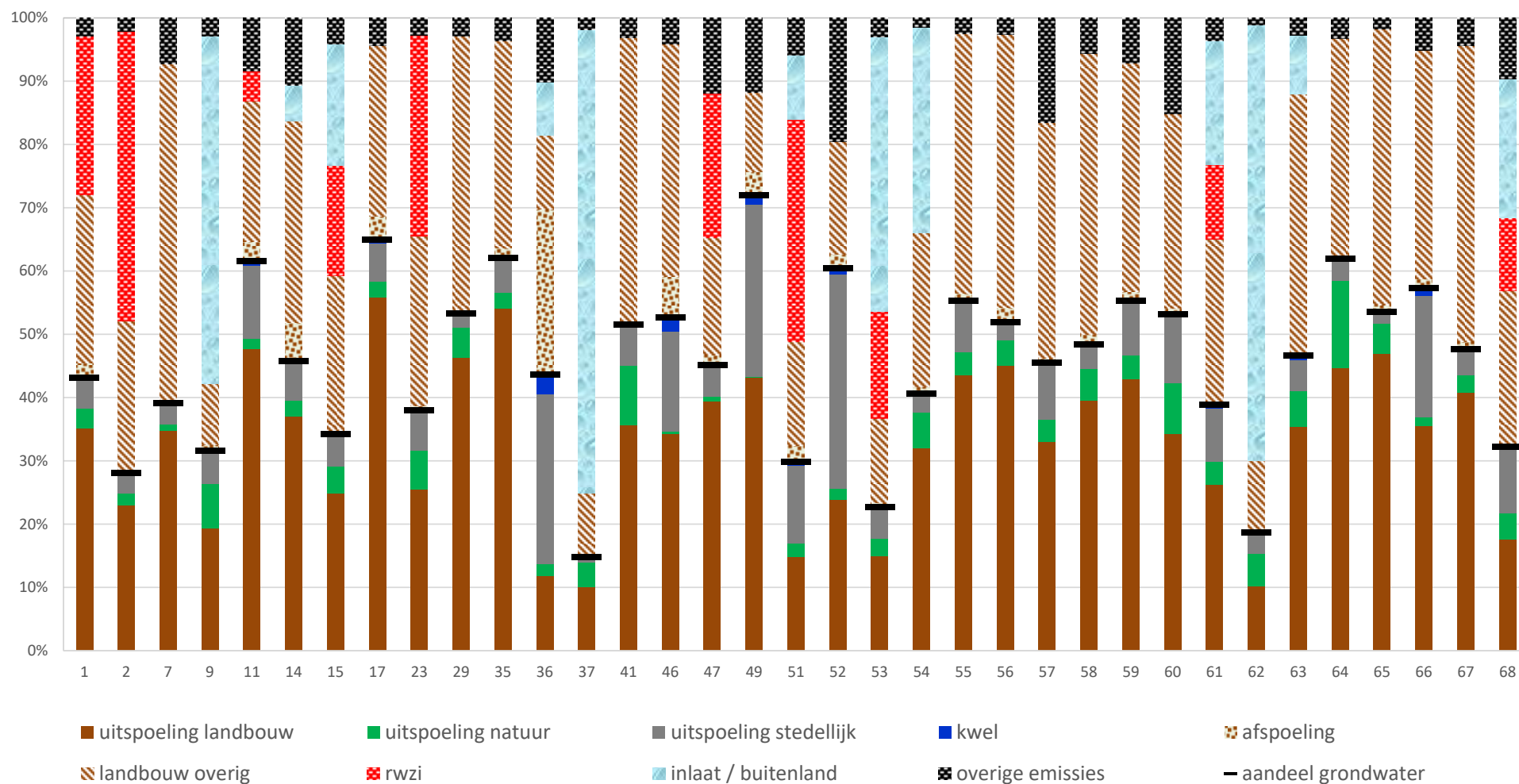
Figuur 2.7a. *Herkomst stikstof belasting zomerhalfjaar 2010-2017 oppervlaktewateren Rijn & IJssel. In de figuur is ook het aandeel grondwater in de stikstofbelasting weergegeven (zwarte balk), zijnde de som van uitspoeling en kwel die direct uittreedt naar oppervlaktewater. Bedacht moet worden dat een hoog aandeel grondwater niet als probleem aangemerkt moet worden, omdat het wel het aandeel weergeeft van de emissieroute grondwater, maar niet of het KRW-doel wordt overschreden.*

Stikstof bronnen oppervlaktewater zomerhalfjaar 2010-2017



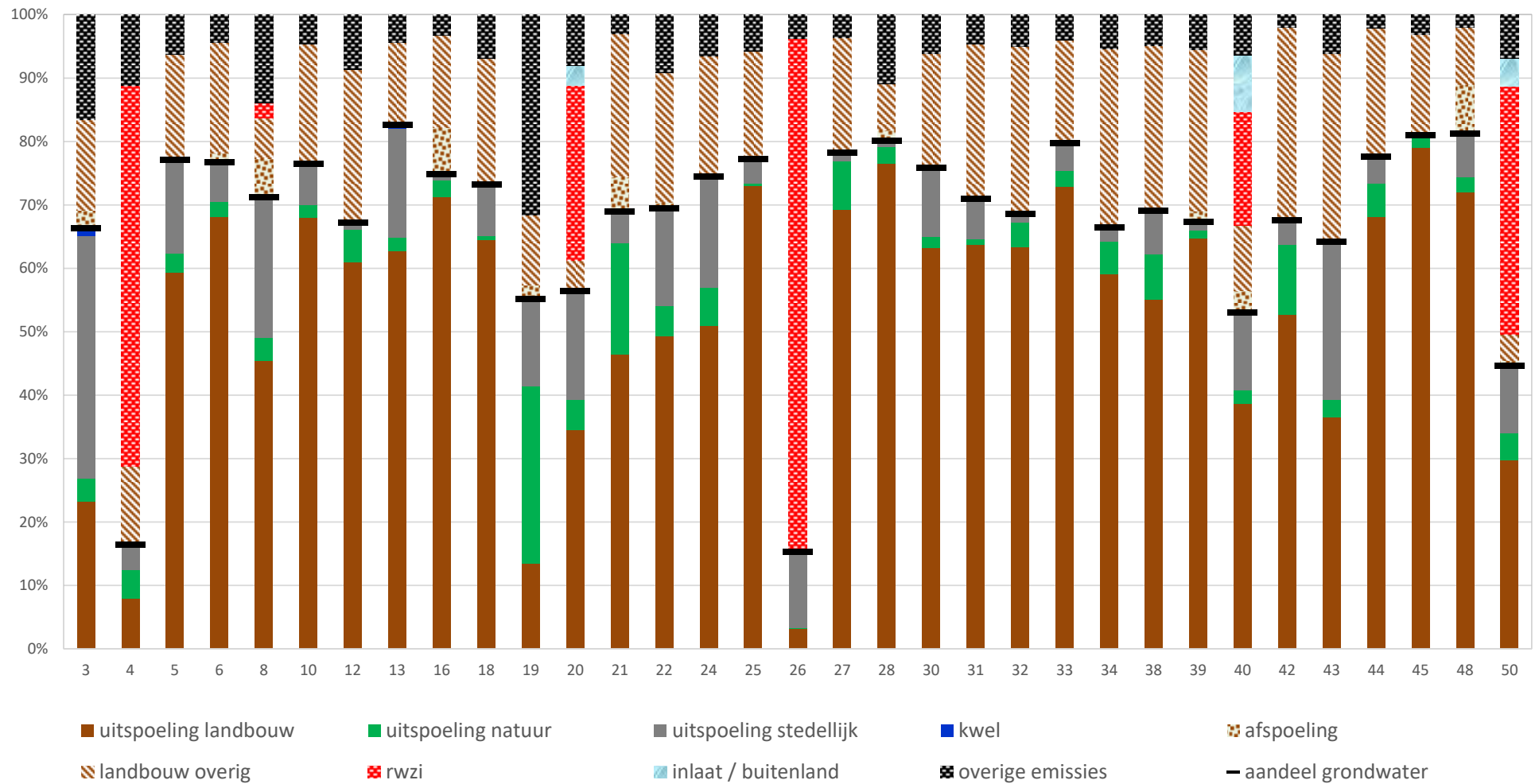
Figuur 2.7b Herkomst stikstof belasting zomerhalfjaar 2010-2017 oppervlaktewateren Rivierenland (nr. 3 en 4) en Vallei & Veluwe (overige nummers). In de figuur is ook het aandeel grondwater in de stikstofbelasting weergegeven (zwarte horizontale balk), zijnde de som van uitspoeling en kwel die direct uittreedt naar oppervlaktewater. Bedacht moet worden dat een hoog aandeel grondwater niet als probleem aangemerkt moet worden, omdat het wel het aandeel weergeeft van de emissieroute grondwater, maar niet of het KRW-doel wordt overschreden.

Fosfor bronnen oppervlaktewater zomerhalfjaar 2010-2017

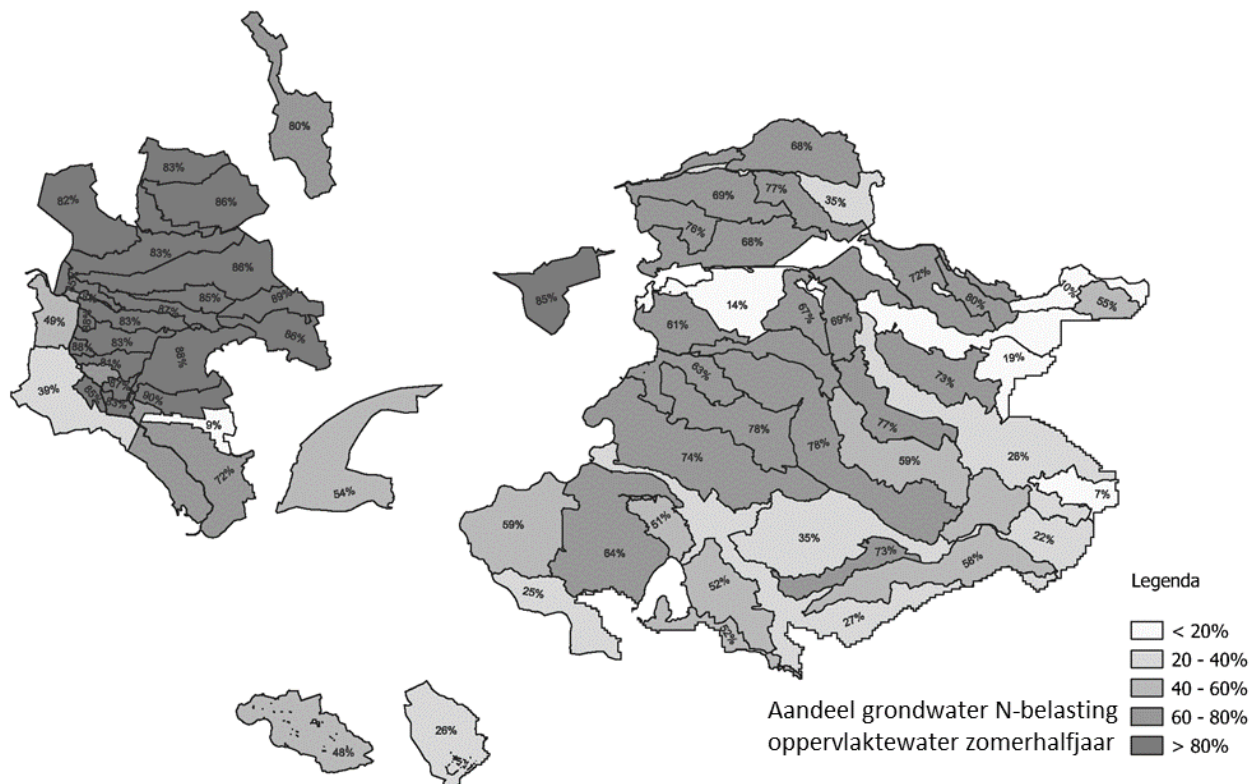


Figuur 2.8a Herkomst fosforbelasting zomerhalfjaar 2010-2017 oppervlaktewateren Rijn & IJssel. In de figuur is ook het aandeel grondwater in de stikstofbelasting weergegeven (zwarte horizontale balk), zijnde de som van uitspoeling en kwel die direct uittreedt naar oppervlaktewater. Bedacht moet worden dat een hoog aandeel grondwater niet als probleem aangemerkt moet worden, omdat het wel het aandeel weergeeft van de emissieroute grondwater, maar niet of het KRW-doel wordt overschreden.

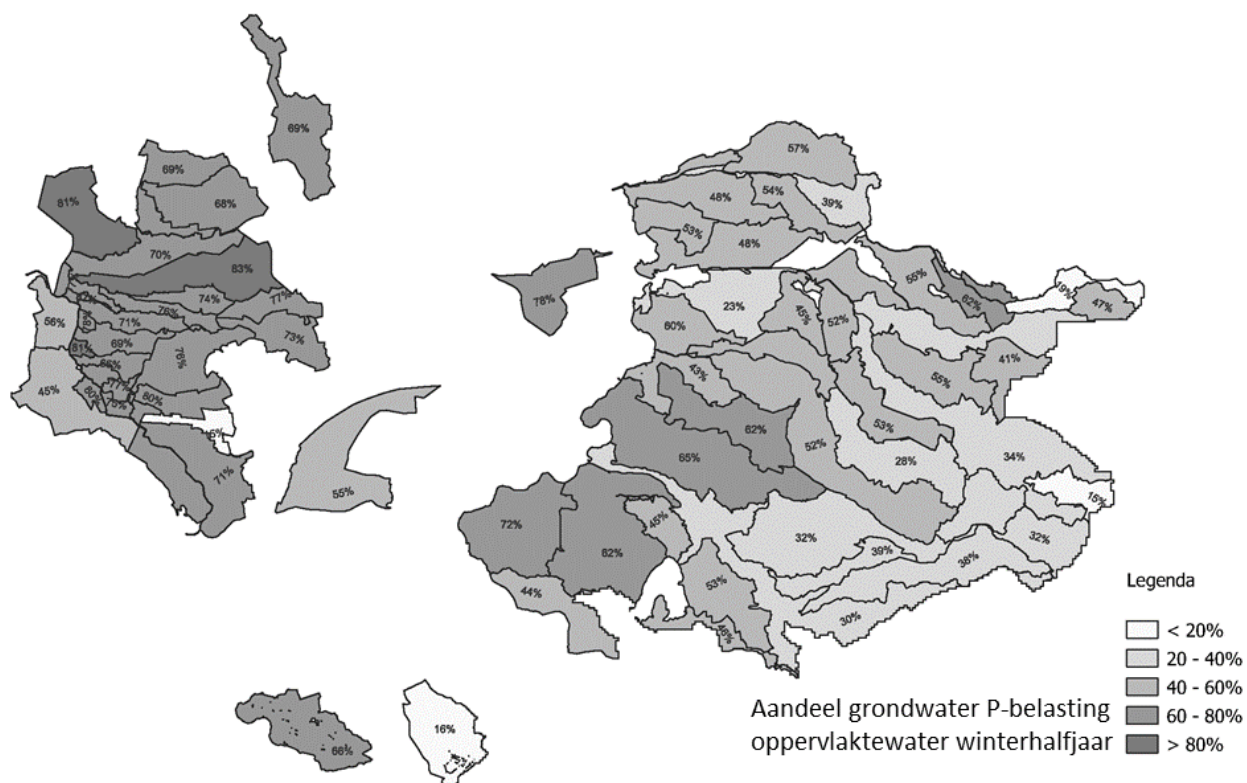
Fosfor bronnen oppervlaktewater zomerhalfjaar 2010-2017



Figuur 2.8b Herkomst fosforbelasting zomerhalfjaar 2010-2017 oppervlaktewateren Rivierenland (nr. 3 en 4) en Vallei & Veluwe. In de figuur is ook aandeel grondwater in de stikstofbelasting weergegeven (zwarte horizontale balk), zijnde de som van uitspoeling en kwel die direct uittreedt naar oppervlaktewater. Bedacht moet worden dat een hoog aandeel grondwater niet als probleem aangemerkt moet worden, omdat het wel het aandeel weergeeft van de emissieroute grondwater, maar niet of het KRW-doel wordt overschreden.



Figuur 2.9 Aandeel grondwater in de stikstofbelasting van het oppervlaktewater in het zomerhalfjaar over de periode 2010-2017. Bedacht moet worden dat een hoog aandeel grondwater niet als probleem aangemerkt moet worden, omdat het wel het aandeel weergeeft van de emissieroute grondwater, maar niet of het KRW-doel wordt overschreden.



Figuur 2.10 Aandeel grondwater in de fosforbelasting van het oppervlaktewater in het zomerhalfjaar over de periode 2010-2017. Bedacht moet worden dat een hoog aandeel grondwater niet als probleem aangemerkt moet worden, omdat het wel het aandeel weergeeft van de emissieroute grondwater, maar niet of het KRW-doel wordt overschreden.

3 KRW-opgave Nutriënten

3.1 Rekenwijze opgave voor vermindering nutriëntenbelasting

De opgave voor de vermindering van de belasting van het oppervlaktewater kan per waterlichaam worden bepaald op basis van de overschrijdingen van gemeten N- en P-concentraties ten opzichte van de KRW-doelen en de berekende stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater in het vanggebied. In navolging van voorgaande studies (Groenendijk, 2016; Schipper, 2019; Van Boekel, 2020) is de opgave voor de vermindering van de belasting van het oppervlaktewater berekend met de formule:

$$Opgave (vracht) = \frac{zomerhalfjaargemiddelde - KRW_{doel}}{zomerhalfjaargemiddelde} \times \text{stofbelasting (vracht)} \quad (1)$$

In deze benadering wordt ervan uitgegaan dat de procentuele afname van de belasting leidt tot eenzelfde procentuele afname van de concentratie op het benedenstroomse meetpunt.

Nadat de opgaven per vanggebied zijn berekend, kan de opgave worden verdeeld over de partijen die verantwoordelijk worden geacht voor de belasting van het oppervlaktewater. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De opgaven worden toegekend aan de sectoren die nutriënten toevoegen aan het (semi)natuurlijke systeem. Hiermee wordt het principe 'de vervuiler is aan zet' gehanteerd en wordt de opgave naar rato van de bijdrage van iedere sector in de totale belasting verdeeld. In deze studie worden vier sectoren beschouwd: landbouw, buitenland, gemeenten en waterschappen. In het Valleikanaal wordt water ingelaten van de Nederrijn-Lek. De bijdrage hiervan aan de belasting is verdisconteerd in een opgave voor het Rijk. Een onderverdeling in onderliggende bronnen (buitenlandse toevoer en de Nederlandse bronnen) kon niet gemaakt worden, omdat dit rijkswater niet als apart vanggebied in het oppervlaktewatermodel is geschematiseerd en er dus geen water- en stofbalans voor is berekend.
- Diverse bronnen zijn te beschouwen als natuurlijk of seminatuurlijk. Dit geldt voor bronnen die onderdeel zijn van de uit- en afspoeling en die niet gedreven zijn door actuele of historische bemesting (kwel, nalevering landbouwbodem, infiltratiewater, atmosferische N-depositie), depositie op open water en uit- en afspoeling vanaf natuurgronden. Hieraan wordt geen eigenaar (sector) toegekend.
- De historische bemesting wordt toegekend aan een sector, namelijk landbouw. Het Ministerie van I&W veronderstelt dat de Europese Commissie het niet logisch vindt als lidstaten historische bemesting als bron buiten beschouwing laten om doelen in 2027 te bereiken.
- De uit- en afspoeling uit stedelijk gebied hebben in de berekeningen betrekking op openbare groenvoorzieningen. Hieraan wordt, evenals de uitspoeling uit natuurgronden, geen eigenaar toegekend, omdat er modelmatig van wordt uitgegaan dat hier geen intensieve bemesting plaatsvindt. Wel wordt deze bijdrage in een rekenvariant (bovengrens) toegekend aan de sectoren die nutriënten in het oppervlaktewater brengen.
- De opgave gaat uit van de overschrijdingen van het zomerhalfjaar in de periode 2015 tot en met 2017. Deze wordt gerelateerd aan de belasting die met het model eveneens is berekend voor het zomerhalfjaar. Hierbij is ook het zomerhalfjaar van 2014 meegenomen (ofwel 2014 tot en met 2017), omdat voor het berekenen van de herkomst achter de af- en uitspoeling met een periode van minimaal vier jaar wordt gerekend.

Met deze uitgangspunten is de opgave per sector berekend zoals aangegeven in Tabel 3.1. Bedacht moet worden dat uitgangspunten voor het berekenen van de KRW-opgave voor nutriënten en de verdeling ervan niet landelijk of Europees zijn vastgesteld. Daarom zijn bij het toedelen twee varianten aangehouden. Met de eerste variant (A) worden de bronnen zonder eigenaar niet meegenomen in de toedeling. Met de tweede variant (B) worden de bronnen zonder eigenaar als extra opgave verdisconteerd in de opgave aan de sectoren met een eigenaar naar rato van hun bijdrage in de belasting van het oppervlaktewater. De som van

de opgave die met variant A is toebedeeld aan de sectoren, is lager dan de opgave die nodig is om het KRW-doel te halen. Met variant B is die wel gelijk aan de benodigde KRW-opgave.

Tabel 3.1 Toekennen van bronnen aan verschillende sectoren. Bronnen zonder eigenaar worden in variant B verdeeld over de sectoren met een eigenaar naar rato van hun bijdrage aan de belasting van het oppervlaktewater.

Bronnen binnen het vanggebied		Broneigenaar	Toekennen aan sectoren variant A (ondergrens)	Toekennen aan sectoren variant B (bovengrens)
Uit- en afspoeling landbouwgrond	Actuele mestgift	Landbouw	Landbouw	Landbouw
	Historische mestgift	Landbouw	Landbouw	Landbouw
	Nalevering bodem (uitloging en mineralisatie)	Geen	Niet toedelen	Verdelen over sectoren naar rato van hun vrachtbijdrage
	Kwel naar bodemprofiel	Geen	Niet toedelen	Verdelen over sectoren naar rato van hun vrachtbijdrage
	Atmosferische depositie op landbouwgrond	Geen	Niet toedelen	Verdelen over sectoren naar rato van hun vrachtbijdrage
	Uitspoeling eerder geïnfilterd oppervlaktewater	Geen	Niet toedelen	Verdelen over sectoren naar rato van hun vrachtbijdrage
Landbouw Overig: meemesten sloten, glastuinbouw, erfafspoeling		Landbouw	Landbouw	Landbouw
Uit- en afspoeling natuur		Geen	Niet toedelen	Verdelen over sectoren naar rato van hun vrachtbijdrage
Atmosferische depositie op open water		Geen	Niet toedelen	Verdelen over sectoren naar rato van hun vrachtbijdrage
RWZI's (effluent)		Waterschap	Waterschap	Waterschap
Lozingen industrie op oppervlaktewater (niet via riool)		Industrie	Waterschap	Waterschap
Regenwaterriolen		Gemeente	Gemeente	Gemeente
Overstorten		Gemeente	Gemeente	Gemeente
Overig antropogeen (IBA's, ongezuiverd huishoudelijk afvalwater, scheepvaart e.d.) ¹		Divers ¹	Waterschap en gemeente	Waterschap en gemeente

Afwenteling bronnen bovenstroomse gebieden

Buitenland	Buitenland	Buitenland	Buitenland
Inlaat/doorvoerwater (bovenstroomse) RWZI's	Waterschap	Waterschap	Waterschap
Toestroom of inlaat van Rijkswateren ²	RWS	RWS	RWS

1) De (geringe) bijdrage wordt gelijk (50-50) verdeeld over Waterschap en Gemeente.

2) Alleen van toepassing voor inlaat vanuit de Nederrijn-Lek.

3.2 Resultaten berekende opgave nutriënten

De uitgangspunten voor het afleiden van de reductieopgave in een OWL zijn ten eerste de gemeten stikstof- en fosforconcentraties in het zomerhalfjaar en de bijhorende KRW-doelen. Deze uitgangspunten en de hiermee berekende reductieopgave zijn weergegeven in Tabel 3.2. Voor die OWL waar het KRW-doel wordt overschreden, is de opgave berekend door vermenigvuldiging van de mate van overschrijding en de zomerhalfjaargemiddelde stofvracht (zie formule 1).

De gemeten zomerhalfjaargemiddelde concentraties zijn ontleend aan de applicatie KRW-NUTrend (<https://krw-nutrend.netlify.app/>). Voor Beekrestanten Citters en beken Groesbeek is uitgegaan van de zomergemiddelde concentraties die voor de officiële toetsing van de waterlichamen zijn weergegeven in de rapportage van de Watersysteemanalyses (Tauw, december 2018). Voor de KRW-doelen van stikstof en fosfor is uitgegaan van hetgeen voor de KRW is vastgesteld in de recentste planperiode (2021-2027). De in Tabel 3.2 weergegeven concentraties (zomerhalfjaargemiddelden en KRW-doel) zijn gecontroleerd door de

betrokken waterschappen. De reductieopgaven in Tabel 3.2 hebben betrekking op de totaal te reduceren belasting (emissies) van het oppervlaktewater om te voldoen aan de KRW-norm voor stikstof en fosfor en is uitgedrukt in kg/ha.

Tabel 3.2a Gemeten zomerhalfjaargemiddelde concentraties stikstof en fosfor 2015-2017, de bijhorende KRW-doelen en hiervan afgeleide reductieopgave (benodigde reductie van de stofvracht) OWL Rijn & IJssel.

Nr.	Vanggebied	N-gemeten mgN/l	N-doel mgN/l	P-gemeten mgP/l	P-doel mgP/l	Reductie- opgave N (kg/ha)	Reductie- opgave P (kg/ha)
1	Baakse Beek Benedenstrooms	1.63	2.30	0.09	0.11		
2	Baakse Beek Bovenstrooms	3.00	2.30	0.23	0.11	0.9	0.3
7	Bergerslagbeek	2.15	2.30	0.056	0.11		
9	Boven Slinge	6.24	2.30	0.31	0.11	6.3	0.3
11	Didamse Wetering	3.37	2.80	0.04	0.15	0.6	
14	Grenskanaal	2.82	2.40	0.09	0.22	0.2	
15	Groenlose Slinge	4.99	2.30	0.13	0.11	6.8	0.1
17	Grote beek	1.56	2.30	0.07	0.11		
23	Keizersbeek	2.90	2.30	0.10	0.11	0.7	
29	Meibeek	2.26	2.40	0.07	0.22		
35	Oosterwijksevoed	0.92	2.30	0.07	0.11		
36	Oude Rijn	0.76	2.80	0.10	0.15		
37	Ratumsebeek	6.36	2.30	0.16	0.11	21.2	0.3
41	Veengoot	1.43	2.40	0.06	0.22		
46	Waalse water	3.06	2.40	0.05	0.22	0.4	
47	Wehlsebeek	7.54	2.40	0.05	0.22	2.8	
49	Wijdewetering	1.00	2.80	0.09	0.15		
51	Oude IJssel	4.73	2.30	0.12	0.11	9.1	0.1
52	Vierakkerselaat	2.15	2.30	0.06	0.11		
53	Berkel	6.14	2.30	0.21	0.11	26.6	1.0
54	Ramsbeek	6.38	2.30	0.09	0.11	9.1	
55	Leeringbeek	3.78	2.30	0.06	0.11	1.2	
56	Grote Waterleiding	2.62	2.40	0.11	0.22	0.2	
57	Barchemse Veengoot	1.32	2.40	0.07	0.22		
58	Eefsebeek	0.46	2.30	0.20	0.11		0.1
59	zuidelijk afwateringskanaal	1.44	2.40	0.05	0.22		
60	Dommerbeek	0.74	2.30	0.04	0.11		
61	Schipbeek	4.70	2.30	0.09	0.11	19.0	
62	Buurserbeek	4.73	2.30	0.14	0.11	16.4	0.3
63	Zoddebeek	5.66	2.30	0.08	0.11	2.5	
64	Nieuwe Waterleiding	3.81	2.30	0.10	0.11	1.1	
65	Dortherbeek-oost	2.30	2.40	0.06	0.22		
66	Oude Schipbeek Groteboerswtg	2.41	2.30	0.05	0.11	0.2	
67	Dortherbeek	1.49	2.40	0.04	0.22		
68	Bielheimerbeek	3.08	2.30	0.06	0.11	1.4	

Tabel 3.2b Gemeten zomerhalfjaargemiddelde concentraties stikstof en fosfor 2015-2017, bijhorende KRW-doelen en hiervan afgeleide reductie opgave OWL Rivierenland en Vallei & Veluwe.

Nr.	Vanggebied	N-gemeten mgN/l	N-doel mgN/l	P-gemeten mgP/l	P-doel mgP/l	Reductie- opgave N (KgN/ha)	Reductie- opgave P (kgP/ha)
Rivierenland							
3	Beekrestanten Citters ¹	4.00	2.3	0.06	0.11	1.2	
4	Beken Groesbeek ¹	3.43	2.3	0.41	0.11	0.5	0.2
Vallei & Veluwe							
5	Benedenloop Barneveldse beek	2.27	2.30	0.20	0.11		3.5
6	Benedenloop Lunterse Beek	2.86	2.30	0.35	0.11	9.7	3.5
10	Bovenloop Lunterse Beek	2.86	2.30	0.35	0.11	0.8	0.3
13	Esvelderbeek	2.56	2.30	0.16	0.11	0.5	0.1
18	Grote Valkse Beek	3.70	2.30	0.16	0.11	1.5	0.1
19	Heelsumse Beek	12.45	2.30	0.04	0.11	0.6	
20	Heiligenbergerbeek	2.15	2.30	0.21	0.11		1.8
21	Hierdensebeek	4.24	2.30	0.11	0.11	1.1	0.01
22	Hoevelakense beek	2.06	2.30	0.22	0.11		0.2
24	Kleine Barneveldse Beek	2.72	2.30	0.15	0.11	0.6	0.1
26	Krakerswijk	5.00	2.30	0.35	0.11	23.5	3.0
30	Middenloop Barneveldse Beek	3.31	2.30	0.21	0.11	6.0	0.9
31	Modderbeek	2.28	2.30	0.17	0.11		0.2
32	Moorsterbeek	2.69	2.30	0.31	0.11	0.8	0.4
38	Schuitenbeek	2.36	2.30	0.18	0.11	0.1	0.2
40	Valleikanaal	2.73	2.30	0.22	0.11	318	93.1
42	Veldbeek	2.86	2.30	0.28	0.11	0.4	0.1
44	Voorsterbeek	2.90	2.30	0.14	0.11	0.9	0.1
48	Wiel	1.98	2.80	0.26	0.15		0.4
50	Woudenbergse Grift	2.15	2.30	0.21	0.11		0.7

¹ Officiële toetsing waterlichamen (fysisch-chemische toestand), meetdata periode 2014-2015-2016.

De norm voor stikstof wordt in 36 van de 57 OWL's overschreden. Gemiddeld is deze overschrijding 35%. Volgens de gehanteerde methode zou de stikstofbelasting in die gebieden met hetzelfde percentage moeten afnemen om aan de norm te voldoen. Voor fosfor worden de doelen in 28 OWL's overschreden, met een gemiddelde overschrijding van 43%.

3.3 Verdeling reductieopgave over de sectoren

Zoals aangegeven, is de KRW-opgave toebedeeld aan de sectoren naar rato van hun bijdrage aan de belasting van het oppervlaktewater. In variant A zijn de bronnen zonder eigenaar niet meegenomen in de toedeling en in variant B wel. Onderstaand kader illustreert deze varianten in een fictief voorbeeld.

Toedeling KRW-opgave over sectoren (fictief voorbeeld)

In een oppervlaktewaterlichaam is de stikstofconcentratie in het zomerhalfjaar 4,6 mgN/l, het KRW-doel is 2,3 mgN/L. Het doelgat is derhalve 50%. Aangenomen wordt dat als de belasting met de 50% afneemt, het KRW-doel wordt bereikt. De totale belasting is 120 kg, daarbij is de bronverhouding als volgt:

Bronnen zomerhalfjaar	Belasting		Eigenaar	Toebedeelde opgave	
				Variant A	Variant B
uitspoeling door bemesting	30 kg	25%	Landbouw	15 kg	20 kg
effluentlozing RWZI	40 kg	33%	Waterschap	20 kg	27 kg
toestroom buitenland	20 kg	17%	Buitenland	10 kg	13 kg
uitspoeling door natuurlijke uitloging	15 kg	12.5%	Geen		
uitspoeling uit natuurgrond	15 kg	12.5%	Geen		
totaal:	120 kg	100%		45 kg	60 kg

De benodigde reductie van de belasting is in dit voorbeeld 60 kg. Dit wordt toebedeeld aan de sectoren ('eigenaren') die de nutriënten in het watersysteem brengen, naar rato van hun bijdrage aan de belasting. In variant B wordt de opgave van 60 kg geheel toebedeeld, in variant A niet geheel, omdat in die variant de belasting, waarvoor geen eigenaar is benoemd, niet verdisconteerd wordt in de verdeling van de opgave.

De resultaten van deze toedeling aan landbouw, waterschap en buitenland/Rijk zijn weergegeven in Tabel 3.3 (stikstof) en Tabel 3.4 (fosfor). In deze tabellen is de opgave uitgedrukt in het percentage dat de vracht van de sector moet afnemen. De KRW-opgaven, uitgedrukt in kg/ha, zijn opgenomen in Bijlage 7. Voor landbouw heeft de vrachtreductie vooral betrekking op de af- en uitspoeling uit landbouwgronden en, hoewel in mindere mate, erfafspoeling. De belasting door glastuinbouw en meemesten sloten is hier zeer gering. Voor Waterschap heeft de vrachtreductie vooral betrekking op de belasting de som van RWZI's. De belasting van vergunde industriële lozingen en overige diffuse bronnen (zie Tabel 3.1) is gering.

Tabel 3.3 KRW-opgave Stikstof OWL voor landbouw, waterschap en buitenland volgens variant A en B. De opgave is uitgedrukt in het percentage dat de belasting van de sector moet afnemen.

KRW-opgave Stikstof	Landbouw		Waterschap		Buitenland/Rijk ¹	
	Variant A	Variant B	Variant A	Variant B	Variant A	Variant B
Gebieden Rijn en IJssel						
Baakse Beek Bovenstrooms	18%	23%	23%	30%	-	-
Boven Slinge	47%	53%	63%	71%	63%	71%
Didamse Wetering	13%	19%	17%	26%	-	-
Grenskanaal	12%	16%	15%	20%	15%	20%
Groenlose Slinge	42%	48%	54%	61%	54%	61%
Keizersbeek	16%	22%	21%	29%	-	-
Ratumsebeek	48%	50%	64%	66%	64%	66%
Waalse water	17%	29%	22%	36%	-	-
Wehlsebeek	51%	66%	68%	88%	-	-
Oude IJssel	39%	47%	51%	61%	51%	61%
Berkel	49%	53%	63%	67%	63%	67%
Ramsbeek	51%	55%	64%	70%	64%	70%
Leeringbeek	32%	46%	39%	57%	-	-
Grote Waterleiding	7%	10%	8%	12%	-	-
Schipbeek	40%	48%	51%	61%	51%	61%
Buurserbeek	41%	44%	51%	55%	51%	55%
Zoddebeek	47%	63%	59%	80%	59%	80%
Nieuwe Waterleiding	31%	51%	40%	65%	-	-
Oude Schipbeek	4%	6%	5%	7%	-	-
Bielheimerbeek	19%	24%	25%	31%	25%	31%
Gebieden Rivierenland						
Beekrestanten Citters	36%	73%	45%	92%	-	-
Beken Groesbeek	20%	25%	24%	29%	-	-

KRW-opgave Stikstof	Landbouw		Waterschap		Buitenland/Rijk ¹	
	Variant A	Variant B	Variant A	Variant B	Variant A	Variant B
Gebieden Vallei & Veluwe						
Benedenloop Lunterse Beek	14%	21%	20%	29%	-	-
Bovenloop Lunterse Beek	15%	21%	20%	28%	-	-
Esvelderbeek	7%	12%	10%	17%	-	-
Grote Valkse Beek	28%	41%	38%	56%	-	-
Heelsumse Beek	69%	211%	82%	248%	-	-
Hierdensebeek	28%	69%	46%	113%	-	-
Kleine Barneveldse Beek	11%	19%	15%	26%	-	-
Krakerswijk	39%	42%	54%	58%	-	-
Middenloop Barneveldse Beek	22%	34%	31%	46%	-	-
Moorsterbeek	11%	16%	14%	21%	-	-
Schuitenbeek	2%	3%	3%	4%	-	-
Valleikanaal	11%	14%	16%	21%	16%	21%
Veldbeek	14%	25%	20%	34%	-	-
Voorsterbeek	14%	23%	21%	34%	-	-

1) In de gebieden van Rijn en IJssel is de belasting door toestromend water uit Duitsland toebedeeld aan Buitenland, voor Vallei & Veluwe is de inlaat van de Nederrijn-Lek toebedeeld aan Rijk.

Tabel 3.4 KRW-opgave Fosfor OWL voor landbouw, waterschap en buitenland volgens variant A en B. De opgave is uitgedrukt in het percentage dat de belasting van de sector moet afnemen.

KRW-opgave Fosfor	Landbouw		Waterschap		Buitenland/Rijk ¹	
	Variant A	Variant B	Variant A	Variant B	Variant A	Variant B
Gebieden Rijn en IJssel						
Baakse Beek Bovenstrooms	33%	42%	52%	68%	-	-
Boven Slinge	40%	53%	65%	85%	65%	85%
Groenlose Slinge	11%	15%	16%	21%	16%	21%
Ratumsebeek	21%	24%	31%	35%	31%	35%
Oude IJssel	4%	5%	5%	7%	5%	7%
Berkel	32%	39%	47%	57%	47%	57%
Eefsebeek	33%	49%	45%	65%	-	-
Buurserbeek	15%	18%	21%	25%	21%	25%
Gebieden Rivierenland						
Beken Groesbeek	60%	68%	70%	79%	-	-
Gebieden Vallei & Veluwe						
Benedenloop Barneveldse beek	28%	51%	44%	82%	-	-
Benedenloop Lunterse Beek	38%	72%	69%	130%	-	-
Bovenloop Lunterse Beek	38%	72%	69%	130%	-	-
Esvelderbeek	19%	36%	30%	57%	-	-
Grote Valkse Beek	20%	33%	31%	51%	-	-
Heiligenbergerbeek	19%	35%	48%	89%	48%	89%
Hierdensebeek	2%	3%	3%	6%	-	-
Hoevelakense beek	36%	61%	51%	86%	-	-
Kleine Barneveldse Beek	16%	31%	25%	50%	-	-
Krakerswijk	42%	49%	69%	80%	-	-
Middenloop Barneveldse Beek	31%	52%	48%	81%	-	-
Modderbeek	19%	38%	36%	72%	-	-
Moorsterbeek	40%	66%	65%	107%	-	-
Schuitenbeek	27%	45%	40%	68%	-	-
Valleikanaal	28%	46%	51%	82%	51%	82%
Veldbeek	43%	71%	61%	102%	-	-
Voorsterbeek	9%	21%	20%	49%	-	-
Wiel	15%	45%	42%	131%	-	-
Woudenbergse Grift	19%	29%	48%	76%	48%	76%

1) In de gebieden van Rijn en IJssel is de belasting door toestromend water uit Duitsland toebedeeld aan Buitenland, voor Vallei & Veluwe is de inlaat van de Nederrijn-Lek toebedeeld aan Rijk.

Afgaande op de opgave zoals weergegeven in Tabel 3.3, betekent dit dat de landbouwemissies in bijvoorbeeld de Boven Slinge voor stikstof met ongeveer de helft (47 à 53 %) moeten afnemen, terwijl die van Waterschap en toestromend buitenlandwater met 63 à 71% moeten afnemen. Deze reducties hangen af van de mate waarin de zomerhalfjaargemiddelde concentratie het KRW-doel overschrijdt en de bronverhouding van de belasting. In gebieden waar sprake is van een relatief grote belasting door bronnen zonder eigenaar (ook wel aangeduid als achtergrondbelasting), zijn de verschillen tussen de KRW-opgave van variant A en B relatief groot.

3.4 Discussie nutriëntenbalansen en opgave

Nutriëntenbalansen

De bronnenanalyse en daarop gebaseerde KRW-opgave is gekwantificeerd voor zowel stikstof als fosfor. Dit biedt handvatten voor te nemen maatregelen. Als een van beide nutriënten voldoet, vormt het kwaliteitselement nutriënten in principe geen belemmering meer voor het bereiken van een goede ecologische toestand. Dit principe wordt aangeduid als 'one-in-all-in' en kan gehanteerd worden bij de keuze van maatregelen. Voor de selectie van de beken in deze studie is dit principe niet meegenomen.

De uitgaande stikstof- en fosforvrachten van een vanggebied worden berekend als de som van alle bekende punt- en diffuse bronnen in het gehele vanggebied, de afwenteling van bovenstroomse gebieden (en/of waterinlaat), minus de retentie die optreedt in het oppervlaktewater. De methode voor het berekenen van de retentie houdt rekening met het feit dat puntbronnen zoals RWZI's doorgaans in het hoofdwatersysteem lozen, en daarom ten opzichte van diffuse bronnen een mindere retentie hebben. Dat geldt ook voor toestromend water van bovenstroomse oppervlaktewaterlichamen. Voor die bronnen wordt de retentie ook mede gebaseerd op de afstand van de bron tot het benedenstroomse uitstroompunt.

In diverse studies zijn de met KRW-ECHO berekende balansen (water en nutriënten) gevalideerd op basis van meetgegevens (meerjarige metingen debieten en concentraties op benedenstroomse uitwisselpunten) en op basis van expert- en gebiedskennis van hydrologen bij de waterschappen. Zo ook voor de gebieden van Vallei & Veluwe (Schipper et al., 2020), behoudens de zes beken van Vallei en Veluwe die voor de onderhavige studie zijn toegevoegd. In de onderhavige studie zijn de berekende uitgaande water- en nutriëntenstromen van de andere gebieden (Rijn en IJssel, Rivierenland) niet gevalideerd. Wel is overleg gevoerd met de hydrologen van de waterschappen voor de aannames over de schematisatie van het oppervlaktewater en selectie van meetpunten voor het schatten van de debieten en bijhorende concentraties van inlaatwater en toestromend buitenlandwater.

KRW-opgave nutriënten

De KRW-opgave is gerelateerd aan de concentraties, belasting en bronverdeling in het zomerhalfjaar. Dit omdat de beoordeling van de toestand voor nutriënten in het oppervlaktewater ook op het zomerhalfjaar wordt gebaseerd. De belasting in het winterhalfjaar, en dus jaarrond, bepaalt echter ook de kwaliteit van de waterbodems, die zodanig opgeladen kunnen worden met nutriënten dat deze biologische doelen kunnen belemmeren. Het verdient daarom aanbeveling om bij de keuzes van maatregelen de belasting in het winterhalfjaar te betrekken. Hierbij kan worden bedacht dat met name brongerichte maatregelen veelal zowel in het zomerhalfjaar als winterhalfjaar effectief zijn. De belasting in het winterhalfjaar kan ontleend worden aan de balansen die in Bijlage 6 jaarrond zijn weergegeven.

De hier gepresenteerde berekeningen geven een schatting hoeveel de belasting gereduceerd zou moeten worden om te voldoen aan de norm voor stikstof en fosfor. Deze schatting is gebaseerd op de gemeten overschrijding en de berekende belasting. Aan de berekende belasting wordt in KRW-ECHO een onzekerheidsmarge van $\pm 25\%$ toegekend. De berekende uitgaande stikstof- en fosforvrachten zijn in deze studie niet vergeleken met uit metingen afgeleide stofvrachten. Deze uit metingen afgeleide stofvrachten hebben in de regel ook een onzekerheidsmarge van $\pm 25\%$, gelet op onzekerheden rond debietmetingen (Mulder et al., 2011) en de meetfrequentie van de concentraties. Uit voorgaande KRW-ECHO-studies is gebleken dat waar de berekende stofvrachten kunnen worden vergeleken met uit metingen afgeleide vrachten, deze overwegend met elkaar overeenkomen binnen de genoemde onzekerheidsmarges.

Daar waar in een gebied met een KRW-doelgat voor stikstof een belasting is berekend die bijvoorbeeld significant groter zou zijn dan de werkelijke belasting, wordt een te hoge stikstofvracht als KRW-opgave berekend (zie formule 1). Als echter effecten van scenario's worden berekend, worden deze geschaald ten opzichte van de referentieperiode, waardoor het effect op vermindering van de berekende opgaven ook relatief groter wordt berekend. In zulke scenarioberekeningen worden de afwijkingen van de werkelijke situatie derhalve (deels) genivelleerd.

Er gelden geen landelijke afspraken over de keuze van de referentieperiode om de opgave te bepalen. In plaats van de periode 2014-2017 zou bijvoorbeeld ook de eerste planperiode van de KRW (2000-2009) gekozen kunnen worden of de periode 2018-2021. Bedacht moet worden dat prognoses voor de ontwikkeling van de waterkwaliteit ten opzichte van de gekozen referentieperiode geprojecteerd kunnen worden op de berekende opgave. Als door autonoom beleid de belasting in de periode 2027-2030 significant daalt, kan het effect daarvan van de berekende opgave worden afgetrokken. De keuze voor een referentieperiode kan echter wel veel uitmaken in gebieden waar net voorafgaand of tijdens de gekozen periode de belasting van een belangrijke bron zoals een RWZI sterk is gewijzigd.

De berekende KRW-opgave is uitgedrukt in stofvrachten en gaat ervan uit dat met een vrachtreductie van x procent, de concentraties in het zomerhalfjaar ook met x procent afnemen. Dit is een zeer globale benadering en gaat voorbij aan de complexiteit van de processen die de waterkwaliteit bepalen. Een aandachtspunt bij de beoordeling van maatregelen op de KRW-opgave is als maatregelen niet alleen een vrachtreductie bewerkstelligen, maar ook gepaard gaan met belangrijke verschuivingen in de waterbalans.

3.5 Landbouwmaatregelen voor nutriënten

Het mestbeleid in Nederland was tot 2016 vooral gericht op verlaging van de aanvoer van stikstof en fosfor via mest naar de bodem, dat wil zeggen een reductie van het stikstof- en fosforoverschot. Dit gebeurde via gewas-specifieke gebruiksnormen voor werkzame stikstof, fosfaatsnormen afhankelijk van de bodemtoestand en gebruiksvorschriften wanneer mest wel of niet toegediend mag worden. In het huidige mestbeleid (zesde Nitraatactieprogramma) wordt meer dan voorheen aandacht besteed aan maatregelen die ingrijpen op de transportroutes richting het oppervlaktewater (routemaatregelen). Deze krijgen vooral vorm via het bovenwettelijke spoor binnen het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer (DAW). Het grootste deel van deze maatregelen focust op kringloopmaatregelen en bodemkwaliteit. Voor stikstof geldt hierbij dat het handelingsperspectief om uitspoeling van stikstof uit landbouwgronden te verminderen beter is dan het verminderen van de uitspoeling van fosfor. Dit omdat het aandeel van actuele bemesting in de uitspoeling voor fosfor aanmerkelijk kleiner is en in de mestwetgeving voor fosfor al richting evenwichtsbemesting wordt voorgeschreven.

Op basis van expertkennis is geconcludeerd dat met combinaties van de geselecteerde maatregelen, boven op de maatregelen van bestaand beleid, een substantiële daling van de stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater kan worden gerealiseerd (Groenendijk, 2016). De toepassing, effectiviteit, de kosteneffectiviteit en termijn waarop effecten op de waterkwaliteit zichtbaar zijn, zijn echter sterk afhankelijk van regionale omstandigheden. Of deze reductie ook daadwerkelijk gerealiseerd kan worden, hangt in sterke mate samen met de implementatiegraad van de maatregelen. In het onderzoeksprogramma Kennisimpuls Waterkwaliteit is een review uitgevoerd naar de effectiviteit van landbouwmaatregelen (Groenendijk et al., 2021). En om het nemen van nutriënt-reducerende maatregelen door agrariërs makkelijker te maken, is tevens het instrument 'Maatregel op de kaart' ontwikkeld. Dit geeft voor elk landbouwperceel in Nederland aan welke maatregelen kansrijk zijn. Deze kaart is door NMI beschikbaar gemaakt als een [onlinetool](#).²

Maatregelen op de Kaart is ingebouwd in het BBWP dat wordt toegepast binnen het BodemUP-project van LTO-zuid. Deze applicatie combineert ook andere tools en gebruikt bodemgegevens die boeren zelf kunnen verzamelen. In BodemUP gaan adviseurs samen met boeren aan de slag om de bodemvruchtbaarheid te verbeteren (goed voor de gewasproductie) en daarmee indirect een bijdrage te leveren aan een robuuster

² [Maatregelen op de kaart \(nmi-agro.nl\)](#)

watersysteem (via vergroten sponswerking bodem) en een betere waterkwaliteit (verminderen uit- en afspoeling nutriënten).

Voor het landelijke stikstof- en mestbeleid worden door het Rijk maatregelen overwogen die kunnen leiden tot een belangrijke vermindering van de nutriëntenemissies naar water. Voor het 7^e Nitraat Actie Programma met addendum en het Nationaal Programma Landelijk Gebied worden door WUR in de eerste fase (zomer 2022) de volgende twee scenario's op landelijk niveau doorgerekend:

- Baseline-scenario 2030 (autonome ontwikkeling). Dit gaat uit van huidig mestbeleid, inclusief derogatie en ontwikkelingen op basis van de Klimaat- & Energie Verkenning (KEV 2021). In dit scenario wordt ook geen overbemesting verondersteld.
- NPLG-scenario met ten opzichte van de baseline aanvullende maatregelen:
 - Minder vee (20% ten opzichte van de KEV) over alle diersoorten;
 - Eiwit armer rantsoen (melkvee) + additieven (varkens);
 - Emissiearme stallen (normen Brabantse verordening);
 - Meer weidegang (maar minder in najaar);
 - Efficiënter mest aanwenden;
 - Lagere bemesting (dierlijk en/of kunstmest), conform PlanMER 2021;
 - Hogere leeftijd grasland: behoud areaal permanent grasland en 50% omzetting tijdelijk naar permanent;
 - Vernatten veengronden;
 - Verruiming bouwplan/meer rustgewassen: minimaal evenveel rustgewassen t.o.v. intensieve gewassen (aardappels, suikerbieten, bollen en uien) in rotatie;
 - Toepassen groenbemesters en vanggewassen;
 - Bufferstroken (2 m langs alle permanent watervoerende sloten, restrictie maximaal 5% grondbeslag);
 - 250 m brede bufferstroken langs beekdaltrajecten (vergelijkbaar zoals beschouwd in 'Kansen stikstofaanpak KRW-doelbereik van nutriënten' (Groenendijk, P., WENR-Notitie 6-10-2021). Hierin worden ook trajecten langs beken in de Gelderse Vallei en de Achterhoek meegenomen.

Van deze maatregelen is het goed mogelijk dat de KRW-opgave voor stikstof die voor de Gelderse beken aan landbouw is toebedeeld, voor een groot deel of mogelijk zelfs geheel kan worden ingevuld. Voor fosfor worden minder effecten van dit landelijke spoor verwacht. Om de emissies van fosfor verder af te laten nemen, kunnen route- en end-of-pipe-maatregelen zoals zuiveringsmoerassen of bezinkpolen effectief zijn.

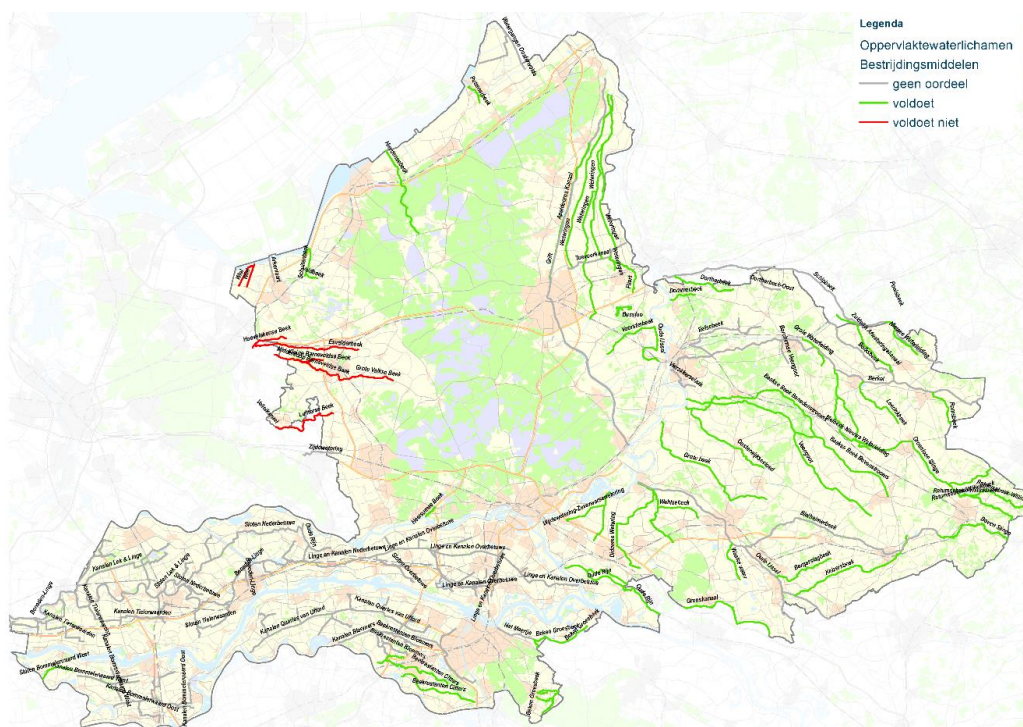
4 Herkomst bestrijdingsmiddelen

4.1 Inleiding

Er zijn voor de onderhavige studie door de Provincie elf significant grondwaterafhankelijke oppervlaktewaterlichamen (OWL's) aangewezen waar residuen van bestrijdingsmiddelen de (KRW-) norm overschrijden. Deze beken zijn weergegeven in Tabel 4.1 en Figuur 4.1. Al deze beken behoren tot het beheergebied van Vallei & Veluwe. In het onderhavige onderzoek is nagegaan welke meetresultaten de aanleiding zijn dat de status niet voldoet. En in het verlengde daarvan of het grondwater een aanneemelijke bron is van de aangetroffen stoffen.

Tabel 4.1 Beken waarvan voor de KRW-beoordeling is aangegeven dat de chemische status niet voldoet vanwege het voorkomen van (normoverschrijdende) bestrijdingsmiddelen. Bron: Invultabel OW-GW_WVV_20200205def.xlsx, ontvangen van opdrachtgever op 16 jun 2021.

OWL Naam	Provincie	Aanvoer vanuit ander OWL	Ander OWL-deel van beeksysteem	Invloed puntbron (industrie/RWZI)
Lunterse Beek	GL-UT	ja	ja	nee
Heiligenbergerbeek	UT	ja, deels	nee	ja, deels
Modderbeek	UT	nee		nee
Grote Valkse Beek	GL	ja	ja	nee
Kleine Barneveldse Beek	GL	nee		nee
Middenloop Barneveldse Beek	GL-UT	ja	ja	nee
Benedenloop Barneveldse Beek	UT	ja	ja	nee
Esvelderbeek	GL-UT	nee		nee
Moorsterbeek	UT	ja	ja	nee
Hoevelakense Beek	GL-UT	ja	ja	nee
Wiel	GL	nee		nee



Figuur 4.1 KRW-oordeel bestrijdingsmiddelen oppervlaktewateren (bron: Provincie Gelderland 2020).

4.2 Normoverschrijding en stofeigenschappen

Bij de KRW-beoordeling van de in Tabel 4.1 opgenomen oppervlaktewaterlichamen zijn uitsluitend de volgende twee insecticiden genoemd:

- methylpirimifos (pirimifos-methyl; CasNr. 29232-93-7). Werkzame stof in middelen zoals Actellic 50 (toelatingsnr. 6469);
- methylazinfos (azinfos-methyl; CasNr. 86-50-0). Deze stof is per 1 oktober 1999 niet meer toegelaten.

Beide insecticiden behoren tot de chemische groep organo-fosfor-verbindingen en zijn zeer toxisch voor waterleven. De waterkwaliteitsnormen en het toelatingscriterium zijn weergegeven in Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Waterkwaliteitsnormen en toelatingscriterium van de insecticiden pirimifos-methyl en azinfos-methyl ($\mu\text{g/L}$)

Stofnaam	CAS-nr.	MAC-MKN	JG-MKN	Toelatingscriterium
Pirimifos-methyl	29232-93-7	0,0005	0,0016	0,0021
Azinfos-methyl	86-50-0	0,014	0,0065	nvt

Op basis van hun fysisch-chemische eigenschappen zijn beide insecticiden te classificeren als redelijk afbreekbaar en zeer weinig mobiel in grond. Het is niet waarschijnlijk dat deze stoffen in het grondwater gemeten worden.

4.3 Toegelaten gebruik en gebruik in de praktijk

Zoals aangegeven is methylazinfos al decennia (per 1 okt 1999) niet meer toegelaten.

In 2008 is het toegelaten gebruik van pirimifos-methyl in groenten onder glas vervallen. De stof pirimifos-methyl is vanaf 2008 tot 2014 toegelaten voor de behandeling van bollen in bewaarruimten en van ander plantgoed/geoogst product (in de opslag). De stof is met ingang van 31 jan 2014 uitsluitend toegelaten voor de behandeling tegen insecten en mijten in granen die bestemd zijn voor de opslag (Actellic 50, 6469N, expiratedatum 1 dec 2023; www.ctgb.nl). Dit gebruik van pirimifos-methyl vindt waarschijnlijk plaats op gespecialiseerde bedrijven, niet op de primaire productiebedrijven. De afzet van pirimifos-methyl is weergegeven in Tabel 4.3.

Tabel 4.3 De afzet van pirimifos-methyl (kg ws) verdeeld over sectoren volgens vier opeenvolgende CBS-waarnemingen (1998, 2004, 2008, 2012). In 2016 heeft CBS geen verbruik van deze stof gerapporteerd. De reeks is aangevuld met afzetcijfers 2016, 2019.

Sector	1998	2004	2008	2012	2016*	2019*
Bloembollenteelt	6333	5651	8527	11060		
Boomkwekerij				223		
Bloemisterij glas	1463	2562	896	92		
Groenteteelt glas	54					
Totaal	7849	8214	9424	11375	270	580

* <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/gewasbescherming/afzet-gewasbeschermingsmiddelen-in-nederland>.

De stof blijft tot lang na de behandeling aanwezig in het condensvocht van de behandelruimte en kan – bij het ontbreken van een goed functionerende opvang en zuivering – met de afvoer van dit water in het oppervlaktewater terechtkomen. Overigens is een voorziening om deze emissie te voorkomen reeds lang een verplichting.

4.4 Monitoringsresultaten

Voor het onderzoek is een uitgebreide screening van de beschikbare monitoringdata uitgevoerd. In het navolgende worden de resultaten hiervan weergegeven voor grondwater en oppervlaktewater.

Grondwater

In de huidige versie van de Grondwateratlas voor Bestrijdingsmiddelen (GWA) zijn van beide stoffen ca. 2000 meetresultaten aanwezig. Van azinfos-methyl zijn alleen limietwaarden en geen meetwaarden aanwezig. Van pirimifos-methyl is slechts één meetwaarde in het grondwater aanwezig: 0,08 µg/L (in 2017).

Oppervlaktewater

Volgens de Bestrijdingsmiddelenatlas (BMA) is binnen het gebied van de Provincies Gelderland en Utrecht één meetpunt aanwezig dat niet voldoet aan de eisen. Dit betreft een normoverschrijding pirimifos-methyl (meetpunt 790, jaar 2017, maand februari, overschrijding t.o.v. JG-MKN met factor 4). De afzonderlijke meetresultaten die gebruikt zijn om de toetswaarde te berekenen, zijn niet in de BMA te zien. Deze meetresultaten zijn wel in ruwe vorm beschikbaar op het Waterkwaliteitsportaal (WKP). WENR heeft deze data van het WKP ingelezen en zo goed mogelijk onder één noemer gebracht. Bijlage 8 geeft een ruimtelijk beeld van het aantreffen van beide stoffen en een beeld van het verloop (periode 2010-2020).

Volgens WKP is pirimifos-methyl binnen het gebied van de Provincies Gelderland en Utrecht één keer gemeten in de Eem (in 2017; concentratie 2 ng/L; meetpunt op 2 km afstand van de monding) en twee keer in het Eemmeer (in 2015; concentratie 0,08 ng en in 2018; concentratie 0,1 ng/L). Het eenmalig aantreffen van pirimifos-methyl gaf voor het waterschap aanleiding om de toestand als 'voldoet niet' te beoordelen, ook voor de oppervlaktewaterlichamen die hiermee direct in verbinding staan, maar waar geen metingen voor de bestrijdingsmiddelen zijn uitgevoerd. Het is niet duidelijk wat de aanleiding is geweest om tevens de stof azinfos-methyl te vermelden op de factsheets.

4.5 Resumerend

Uit het overzicht o.b.v. databases met (landelijke) monitoring resultaten in grondwater en oppervlaktewater blijkt dat de stof pirimifos-methyl eenmalig in het grondwater is gevonden. Het aantal monsters waarin de stof werd gezocht, bedraagt ruim 2000. Uit de eigenschappen van pirimifos-methyl en azinfos-methyl blijkt dat het risico op uitspoeling van deze stoffen naar het grondwater te verwaarlozen is. Ook uit de historie van het toegelaten gebruik en van het gebruik in de praktijk blijkt dat het niet waarschijnlijk is dat deze stoffen in de provincies Gelderland en Utrecht in het grondwater gemeten worden.

In het oppervlaktewater wordt de stof pirimifos-methyl vooral aangetroffen in de kassengebieden van Zuid-Holland en in de traditionele bollengebieden van Noord- en Zuid-Holland. Dit zijn gebieden met een concentratie van teelten die in het verleden behoorden tot het toepassingsgebied van pirimifos-methyl. In de rest van Nederland is deze stof in een beperkt aantal meetpunten incidenteel gevonden. Het eenmalig aantreffen van pirimifos-methyl in het meetpunt nabij de monding van de Eem kan niet in verband gebracht worden met een grondwater-oppervlaktewaterinteractie in een van de beekgebieden of met het toegelaten gebruik. De status 'Voldoet niet', van de oppervlaktewaterlichamen in Figuur 4.1, is het gevolg van extrapolatie van dit meetresultaat.

In de analyse is alleen gekeken naar pirimifos-methyl en azinfos-methyl. Bij Waterschap Rijn en IJssel zijn drie meetpunten die in het KRW-meetprogramma zitten afgestemd op de teelten gras en mais. Daarin worden incidenteel overschrijdingen aangetroffen.

4.6 Handelingsperspectieven

De stof pirimifos-methyl wordt – in afnemende mate – aangetroffen in het oppervlaktewater in gebieden met een concentratie van teelten die in het verleden behoorden tot het toepassingsgebied van pirimifos-methyl. In de rest van Nederland wordt deze stof incidenteel aangetroffen. De huidige toelating is sterk ingeperkt en biedt weinig aanknopingspunten voor de mogelijke oorzaak van het aantreffen.

Voor bestrijdingsmiddelen die voor milieuproblemen zorgen, is er landelijk beleid. Om voor probleemstoffen een verdergaande reductie te bewerkstelligen, wordt hierin een belangrijke rol voor de toelating voorgestaan (Tiktal et al., 2019).

Naast landelijk beleid kunnen regionale projecten kansrijk zijn om emissies van bestrijdingsmiddelen te beperken. Het programma 'Bezem door de middenkast' is een voorbeeld van regionale initiatieven om restanten van (oude) bestrijdingsmiddelen die nog op het erf worden bewaard, op een veilige manier af te voeren (zie tabel hieronder). Het is te overwegen om de bezemacties in 2018-2019 in Flevoland en Gelderland een vervolg te geven.

Resultaten Bezemacties 2008-2020

	Drenthe	Zuidert	SW Brabant	Zuidert Aardbeientelt	Groep regio Boskoop	Zeeland	Drenthe	Limburg	Gelderland-Oost	Zeeland	Gelderland	Flevoland	Rijnland	Hollands Noordkwartier	Stichtse Rijnlanden	Noord-Brabant	Friesland	Totaal
Periode	2008	2013		2014		2015-2016		2017-2018				2018-2019				2020		
Kilo's afgevoerd	8.141	1.072	741	738	2.000	13.442	10.717	18.308	9.673	7.743	13.412	20.701	8.864	7.392	3.518	36.768	5.725	165.437
Aantal deelnemers	378	96	88	25	200	398	444	688	374	425	505	523	480	188	166	1.259	144	6.215
Kilo's per deelnemer*	22	11	8	30	10	34	24	27	32	30	32	40	19	46	21	37	44	28

*Op basis van de bedrijven die daadwerkelijk middelen af te voeren hadden (sommige deelnemers hadden de middenkast volledig op orde).

Uit: J. Lommen, M. Veenenbos en A. Blok, 2021. Duizenden middenkasten opgeschoond. Milieumagazine, 6-2021. www.milieumagazine.nl

Een ander voorbeeld is de regionale aanpak in de provincie Brabant³, waarin agrariërs worden gestimuleerd en geadviseerd hoe met technieken en slimmere keuzes voor middelen emissies naar het grondwater kunnen worden beperkt.

³ <https://www.brabant.nl/onderwerpen/water-en-bodem/schoon-water/project-schoon-water>

5 Uitspoeling zware metalen

5.1 Inleiding

In de KRW-beoordelingen van de oppervlaktewaterkwaliteit worden vanwege de normoverschrijdende concentraties diverse zware metalen als probleemstof aangemerkt. In de KRW-factsheets van Rijn en IJssel worden steeds drie zware metalen genoemd: kobalt, nikkel en zink. Voor de meeste beken van Rijn & IJssel worden deze als probleemstof aangegeven. In de KRW-factsheets van Vallei & Veluwe worden vijf zware metalen genoemd: arseen, kobalt, seleen, zink en zilver. Arseen en seleen worden in alle OWL's van Vallei & Veluwe als probleemstof aangeduid. Daarnaast ook meestal kobalt en zilver en voor diverse oppervlakte-waterlichamen ook zink. Voor het OWL beken Groesbeek is bij toetsing aan de ecologische sleutelfactor toxiciteit een lichte toxische druk aangegeven voor zink (Waterschap Rivierenland, 2019). In het navolgende wordt ingegaan op de af- en uitspoeling van metalen zoals die in een recente studie (Van der Bolt en Römken (red.) 2022) zijn berekend voor de landbouw- en natuurgronden.

5.2 Uit- en afspoeling zware metalen

In het algemeen is uitspoeling uit de bodem en grondwater een belangrijke bron voor metalen in oppervlaktewater (Van Gaalen, 2020). Tot 2021 waren deze af- en uitspoeling in de landelijke Emissieregistratie opgenomen voor cadmium (Cd), koper (Cu), nikkel (Ni), lood (Pb) en zink (Zn). In een recente studie (Van der Bolt en Römken (red.) 2022) zijn de af- en uitspoeling met de nieuwste data en kennis gekwantificeerd en uitgebreid met negen stoffen (zie kader).

Emissieberekeningen af- en uitspoeling zware metalen (Van der Bolt en Römken (red.) 2022).

Middels modelberekeningen zijn schattingen gemaakt van de landelijke emissie van zware metalen die via af- en uitspoeling uit de bodem en via dieper uitstromend grondwater bijdragen aan de belasting van het oppervlaktewater. De in deze studie berekende af- en uitspoeling⁴ uit landbouw en natuurbodems zijn vanaf maaiveld tot 1 meter beneden de gemiddeld laagste grondwaterstand (1 m-GLG) gebaseerd op partitiemodellen die de verhouding geven tussen opgeloste concentraties aan metalen in water en die gebonden aan vaste bodemdeeltjes. Gecombineerd met de hydrologisch fluxen uit de onderscheiden bodemlagen geeft dit een schatting van uit- en afspoeling. Bij de berekening van de concentratie wordt verder rekening gehouden met organische stof, klei, pH en het gehalte aan ijzer- en aluminiumoxiden in elke onderscheiden bodemlaag. Voor de berekening van de verandering in de bodemvoorraad zijn gegevens over aanvoer via mest (dierlijk en kunstmest) en gewasopname gebruikt. De schematisering in rekeneenheden, de data van de waterhuishouding en de fosfaatgehalten in de bodemlagen zijn ontleend aan het Landelijk Waterkwaliteit Model (LWKM).

Dieper dan 1m-GLG is uitgegaan van vaste concentraties in het grondwater; deze concentraties zijn afgeleid uit metingen. Hiervoor zijn landsdekkende kaarten vervaardigd met een ruimtelijke resolutie van 17 eenheden op basis van openbare meetdata. Vanaf 1m-GLG is overgestapt op metingen, omdat de processen die de concentratie in oplossing bepalen, afwijken van de lagen erboven. Zo veronderstellen we dat anaerobe omstandigheden in grondwater meer bepalend zijn voor de concentratie dan adsorptie en zijn de partitiemodellen – gebaseerd op adsorptieprocessen – hier niet of beperkt geldig. Bovendien zijn partitiemodellen ook vrijwel niet gevalideerd voor diepere lagen (> 1m-GLG) en zijn modelvoorspellingen daarom onbetrouwbaar.

De uitspoeling is het totaal van de emissies boven 1m-GLG ('bodem'), berekend als concentratie in bodemvocht maal de ontwateringsflux in de bodemlagen, en onder 1 m-GLG ('grondwater') berekend als de concentratie in het grondwater maal de ontwateringsflux vanuit de bodemlagen (dieper dan 1m-GLG).

De af- en uitspoeling zijn met deze schematisering per jaar berekend voor de periode 1990 tot en met 2017. Deze resultaten (jaarvrachten) zijn opgenomen in Emissieregistratie; voor de landbouwgronden op het niveau van een indeling van Nederland in 629 deelstroomgebieden en voor de natuurgronden voor een grovere indeling van 166 ruimtelijke eenheden.

⁴ In de studie van Van der Bolt en Römken (2022) wordt onder uitspoeling verstaan de water- en metaalfluxen naar oppervlaktewater uit de bodemlagen van maaiveld tot 1 m-GLG. Daaronder worden de fluxen aangeduid als 'grondwater'.

In aanvulling op de al eerder gemodelleerde stoffen (Cd, Cu, Pb, Ni en Zn) zijn de af- en uitspoeling in deze studie berekend voor arseen (As), barium (Ba), kobalt (Co), chroom (Cr), molybdeen (Mo), antimoon (Sb), seleen (Se), vanadium (V) en uranium (U);

In Figuur 5.1 zijn de af- en uitspoeling van de metalen arseen, seleen koper en nikkel weergegeven zoals die in de landelijke studie (Van der Bolt en Römken (red.) 2022) zijn berekend voor de periode 2010 tot en met 2017 (jaargemiddelde over die periode). In Figuur 5.1 is het ruimtelijke niveau van de 629 deelstroomgebieden gebruikt die in de landelijke studie is aangehouden. Deze indeling is nagenoeg dezelfde indeling als de vanggebieden die in de onderhavige studie voor de nutriënten (hoofdstuk 3) zijn aangehouden.

Het gebruik van de berekende metaalemissies op dit niveau moet met de nodige voorzichtigheid gebeuren. Het toepassingsbereik voor de verschillende metalen is namelijk door de gebruikte hydrologische modelinvoer (ontleend aan het LWKM) beperkt tot grote eenheden; namelijk die op landelijke schaal en voor de zes Nederlandse KRW-deelstroomgebieden. Voor het ontsluiten door de EmissieRegistratie zijn de resultaten voor 629 waterlichaamgebieden (Van Gaalen, Osté en Van Boekel, 2020) gebruikt. Op dit moment zijn de modelvoorspellingen van de resultaten in Figuur 5.1 nog niet getoetst aan metingen en kunnen de afwijkingen in sommige gebieden door onzekerheden over de gebruikte modelinvoer voor de hydrologie groot zijn. Dit varieert echter per stof, omdat voor meerdere metalen zoals Cd, As of Zn (veel) meer data gebruikt zijn voor de modelafleiding dan voor andere (zoals Co of U). De onzekerheden in de hydrologie verwaarlozend, is de kwaliteit van de berekende emissies op dit detailniveau in de genoemde studie beoordeeld als goed voor arseen, cadmium, nikkel en zink en als voldoende voor chroom, koper, lood en seleen. Voor de andere metalen (barium, kobalt, molybdeen, antimoon, uranium en vanadium) is de kwaliteit landelijk als matig beoordeeld en regionaal slecht (heel onbetrouwbaar). Landelijk wordt de totale onzekerheidsmarge als gevolg van modelonzekerheid (partitie) geschat op 25%. Op het niveau van de 629 deelstroomgebieden (Figuur 5.1) kunnen de onzekerheden echter toenemen tot 200%, ook voor de metalen waarvan de kwaliteit van de berekeningen als goed en voldoende zijn beoordeeld. Dit is niet zozeer het gevolg van de modelkwaliteit die voor een aantal metalen goed is, maar veeleer door het beperkte aantal data om de gehalten aan metalen in de bodem (vaste fase) te schematiseren.

Los van deze onzekerheid, die overigens niet erg zal verschillen tussen regio's, kunnen de volgende conclusies over de af- en uitspoeling van de zware metalen worden getrokken:

- De regionale patronen van de berekende af- en uitspoeling volgen het verwachtingspatroon gebaseerd op de verschillen in bodemeigenschappen, hydrologie en variatie in de metaalvoorraad in het bodemprofiel.
- De jaarlijkse aanvoer is voor metalen als Cu en Zn landelijk groter dan de afvoer. Hierdoor neemt de bodemvoorraad van deze metalen landelijk gezien toe. Overigens is er niet voor alle metalen overal sprake van accumulatie. Zo geldt voor zink en cadmium dat aanvoer in licht zure zandgronden vaak lager is dan afvoer (som van opname en uitspoeling). Dat komt dan met name door de relatief hoge afvoer via uitspoeling uit de bovengrond. Omdat deze toename (of afname) echter veel kleiner is dan de totale bodemvoorraad, zal de toename (maar ook afname) niet snel tot grotere of kleinere emissies en/of meetbaar grotere of kleinere concentraties leiden.
- Dierlijke mest is voor negen van de veertien beschouwde metalen de belangrijkste aanvoerpost. Voor arseen, cadmium, lood en vanadium is atmosferische depositie ook een relevante aanvoerroute, terwijl de aanvoer van uranium en in mindere mate Cd wordt bepaald door gebruik van P-kunstmest. Overigens zijn data over gehalten aan metalen in kunstmest relatief onbetrouwbaar vanwege een grote variatie aan de gehalten van deze metalen in met name minerale fosfaatmeststoffen.
- Voor de meeste gebieden bedraagt de af- en uitspoeling uit landbouwbodems 75% en de natuurterreinen 25% van de totale af- en uitspoeling naar het oppervlaktewater.
- Voor veel van de beschouwde metalen is de landelijk berekende uitspoeling uit de bodemlaag tot 1m-GLG dominant (52 tot 98% van de totale emissie). De afspoeling (door oppervlakkige afstroming, hier berekend van 0 tot 20 cm -mv) is echter gering ten opzichte van de totale af- en uitspoeling (< 10% voor As, Ba, Cr, Mo, Sb, Se, U en V, de overige metalen < 24%).

Gebruik van de emissies moet op het detailniveau van de waterlichaamgebieden (waarop de data in de EmissieRegistratie zijn gebaseerd) met de nodige voorzichtigheid gebeuren. Dat geldt in het bijzonder voor Ba, Co, U, Mo, V en Sb waarvoor de betrouwbaarheid op het niveau van waterlichamen wordt beoordeeld als

matig tot slecht. Ook moet voor sommige van deze gebieden rekening worden gehouden met grote afwijkingen van de met LHM3.5.1 berekende waterafvoeren ten opzichte van metingen.

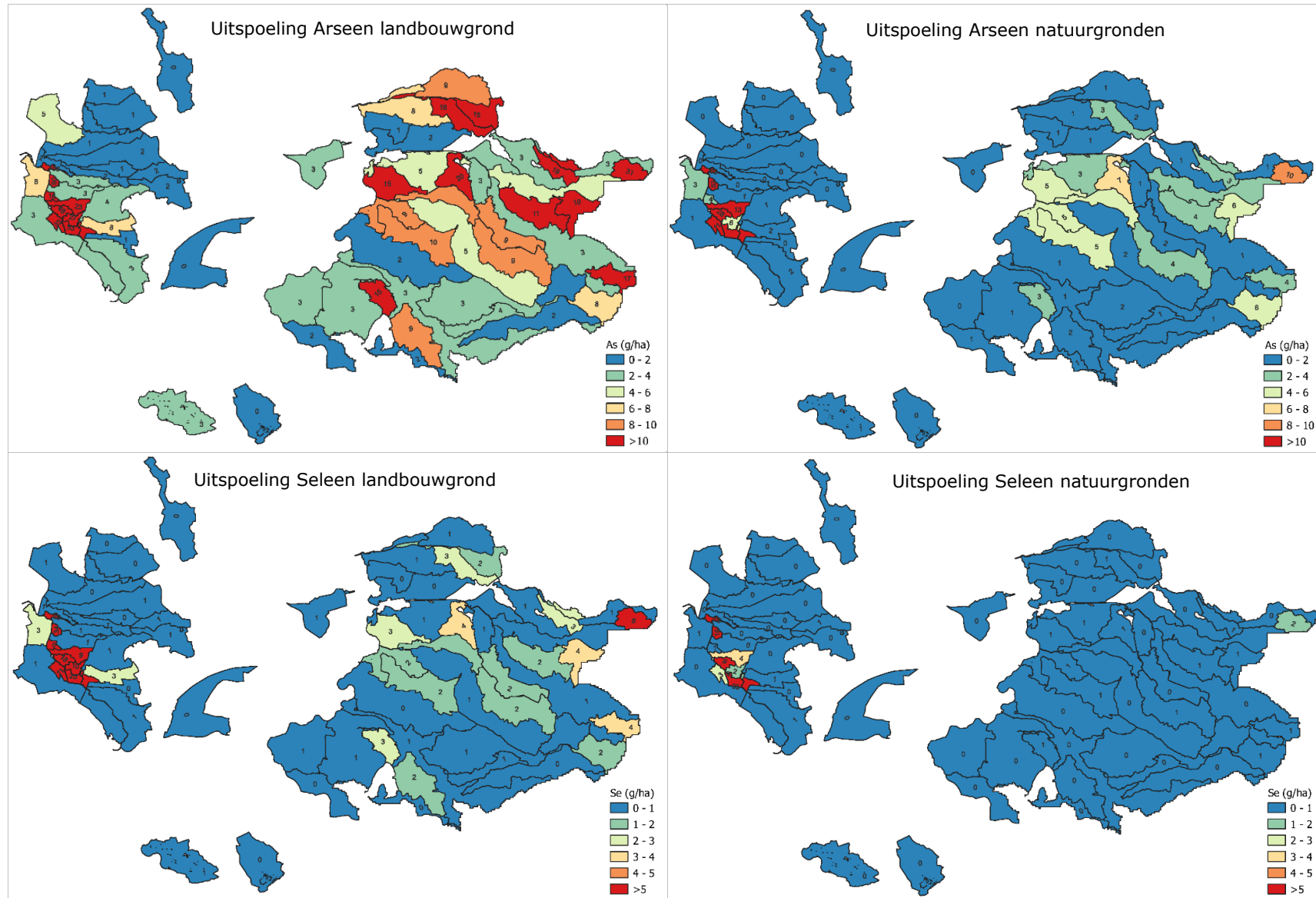
De resultaten van de waterlichaamgebieden zijn op basis van de arealen landbouw en natuur verdeeld over de gedetailleerdere ER GAF90-afwateringseenheden. Gebruik van de emissies op dit detailniveau gaat gepaard met nog grotere onzekerheden in zowel hydrologie als uitspoelberekeningen. Daarom wordt gebruik op dit detailniveau afgeraden.

De betrouwbaarheid van het model voor de berekening van emissies op regionaal niveau lijkt voor arseen, nikkel, koper en zink voldoende. Wel vereist dit toetsing van modelvoorspellingen op meetdata in samenwerking met regionale waterbeheerders.

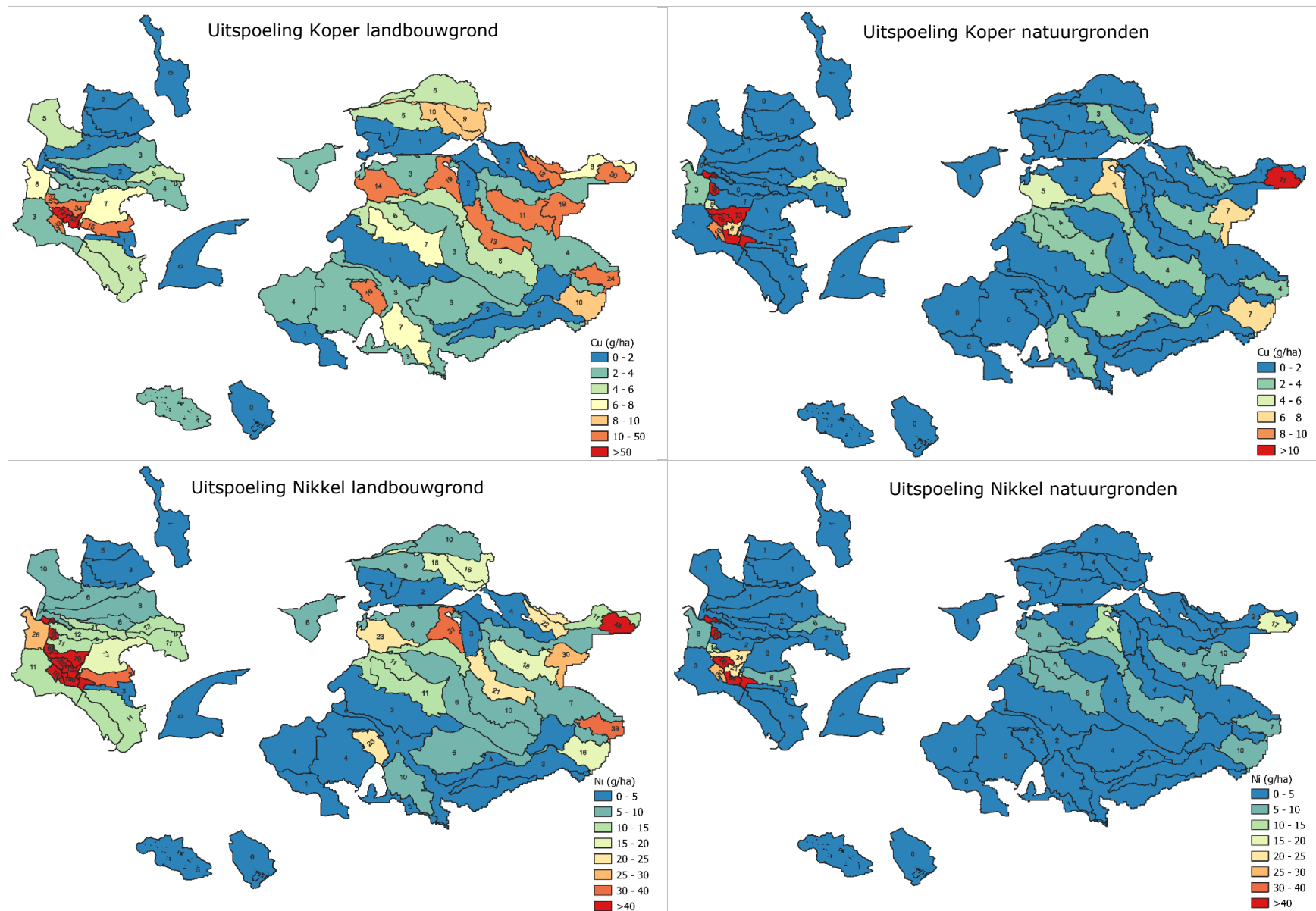
Arseenrijke kwel komt volgens de berekeningen in meerdere beek- en rivierdalen in het oostelijke zandgebied voor, waaronder de randen van de Veluwe en in een aantal beekdalen ten oosten van de Veluwe (IJssel- en Vechtdal). Deze verhoogde uitspoeling wordt vanuit het modelconcept hoofdzakelijk toegeschreven aan de hydrologie. Dit arseen komt namelijk door regionaal toestromend gereduceerd grondwater (met verhoogde gehalten aan opgelost ijzer en arseen). Daar waar de ijzerrijk kwelwater niet uittreedt in waterlopen maar terechtkomt in de ondiepe bodem, slaat het ijzer neer door oxidatie. Het in het grondwater aanwezige arseen bindt zich dan aan de gevormde ijzer(hydr)oxides. Dit leidt tot verhoogde arseengehalten in de bovengrond, maar die zijn niet bepalend voor de uitspoeling. De ondiepe uitspoeling van arseen (tot 1m-GLG) is in de zandgronden beperkt door de lagere pH en aanwezigheid van oxiden. De totale uitspoeling voor arseen op de zandgronden wordt vooral bepaald door diepere grondwaterstroming. Onder natuur in droge zandgronden is de uitspoeling naar oppervlaktewater zeer gering door de lage concentraties in de bodem en de geringe ontwatering. Dat is goed zichtbaar in de rekenresultaten voor Gelderland. Om de betrouwbaarheid van deze patronen te toetsen is het nodig om na te gaan of dit inderdaad goed ontwaterde, van oudsher natte gebieden zijn met een grote bijdrage van grondwater aan de afvoer.

In zandgronden is de uitspoeling van seleen relatief beperkt. Hierbij moet worden bedacht dat de ruimtelijke variatie bepaald wordt door de ondiepe uitspoeling (tot 1m-GLG), omdat onder dit niveau in het model geen ruimtelijke variatie in de grondwaterconcentraties is toegekend (door gebrek aan meetdata).

De ruimtelijke patronen van koper en nikkel lijken vrij veel op die van arseen en zijn vooral te relateren aan een combinatie van hogere gehalten in de bodem van landbouwgronden en hogere waterfluxen in en nabij de beekdalen. Zeker daar waar sprake is van hogere gemiddelde grondwaterstanden staat het water in contact met bodemlagen die aangerijkt zijn met deze metalen door onder meer aanvoer via dierlijke mest en kunstmest gebruikt in de landbouw. Dat verklaart ook in grote mate de lagere emissie uit vergelijkbare gebieden onder natuur. Overigens is de emissie via uit- en afspoeling voor metalen als Cu (variërend van 0 tot 10/50 gram/ha per jaar) klein ten opzichte van de aanvoer (gemiddeld 270 gram/ha/jaar; Groenenberg et al., 2006).



Figuur 5.1 Belasting oppervlaktewater met Arseen (boven) en Seleen (onder) door uitspoeling uit landbouwgronden (links) en natuurgronden (rechts).



Figuur 5.1 (vervolg) Belasting oppervlaktewater met Koper (boven) en Nikkel (onder) door uitspoeling uit landbouwgronden (links) en natuurgronden (rechts).

5.3 Discussie

In de voorgaande paragrafen is ingegaan op de af- en uitspoeling van metalen naar oppervlaktewater vanaf landbouw- en natuurgronden zoals die recentelijk (Van der Bolt en Römken (red.) 2022) landelijk zijn gekwantificeerd.

In het permanente grondwater (tot 1 m-GLG) is gerekend met in de tijd constante opgeloste concentraties van de metalen. Diverse onderzoeken hebben aangetoond dat nitraat in het grondwater – afhankelijk van de geochemische reactiviteit in de ondergrond – wordt afgebroken door organische stof en/of pyriet. Als nitraat in de ondergrond wordt afgebroken door pyriet, kunnen ook diverse sporemetalen in oplossing komen, waaronder sporemetalen zoals nikkel die als onzuiverheden voorkomen in pyriet. De mobiliteit van die metalen in de ondergrond worden echter verder bepaald door de mogelijke vorming van ijzer(hydr)oxydes en verandering van de zuurgraad van het grondwater door geochemische processen die in gang worden gezet door verandering van de kwaliteit van de grondwateraanvulling (Van der Aa et al., 2014).

Uit onderzoek (Verweij et al., 2022; Van der Grift et al., 2022) komt naar voren dat inzicht in de reactiviteit van de ondergrond nog beperkt is en dat het voor kwantificering (o.a. met behulp van geochemische modellering) nodig is om op zo veel mogelijk gestandaardiseerde wijze lokale data te krijgen over de geochemische bulksamenstelling van de ondergrond en vertaling hiervan naar de geochemische reactiviteit van het sediment.

Op dit moment zijn er daarom onvoldoende data aanwezig voor een betrouwbare procesmodellering van de concentratie in de laag > 1m-GLG. Ook verschillen in provinciale databases die ten grondslag liggen aan de afleiding van de gemiddelde (vaste) concentratie aan metalen in de laag > 1m-GLG zijn voor sommige metalen groot, onder andere gerelateerd aan de gebruikte detectiegrenzen. Dat maakt dat verdere regionale indeling van grondwaterlichamen en de concentratie van metalen daarin met de huidige data niet of beperkt mogelijk is. Met name voor Cd en Pb en in mindere mate Se ligt een groot deel van de concentraties in de monsters beneden de gehanteerde detectielimieten. Voor een aantal metalen is ook het aantal bruikbare data zeer klein of zelfs nul (bijvoorbeeld voor uranium), omdat dit eenvoudigweg niet of beperkt gemonitord wordt.

De af- en uitspoeling zijn in de landelijke studie niet berekend voor gronden in stedelijk gebied. Vanwege de soms sterk verhoogde metaalgehalten in de bodems van het stedelijk gebied is het voorstelbaar dat deze af- en uitspoeling een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de totale af- en uitspoeling en daarmee de beïnvloeding van het oppervlaktewater door grondwater. Er zijn echter geen studies bekend waar de uitspoeling van zware metalen naar oppervlaktewateren in stedelijk gebied is gekwantificeerd. De situatie is in stedelijk gebied wezenlijk anders dan in landelijk gebied. Zo zijn er in stedelijk gebied meer licht tot sterk verontreinigde bodemverontreinigingslocaties aanwezig en kan door uitloging van bouwmaterialen en infiltratie van regenwater dat afstroomt van verharde oppervlakken sprake zijn van verhoogde gehalten in de bodem en/of verhoogde emissie naar oppervlaktewater (Verschoor en Brand, 2008). Wat ook kan meespelen, is dat in diverse delen van stedelijk gebied de ondiepe bodemopbouw sterk door bouwactiviteiten is verstoord en delen uit ophoogzand bestaan.

In dit hoofdstuk is alleen gekeken naar de belasting van het oppervlaktewater met zware metalen door uitspoeling van landbouw- en natuurgronden. Momenteel (2022) is een landelijk onderzoek gestart door Deltares waarin gekeken wordt of de concentraties die gemeten worden in het oppervlaktewater verklaard kunnen worden door alle punt- en diffuse bronnen. De landelijk berekende uitspoeling uit de landbouw- en natuurbodem zoals berekend door Van der Bolt en Römken (2022) wordt hierin als diffuse bron meegenomen.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Bij de beoordeling van de grondwaterkwaliteit wordt door de provincies nagegaan of deze een belemmering vormt voor de KRW-doelen van de oppervlaktewaterlichamen. In ruim een derde van de Gelderse beken is aangegeven dat de grondwaterkwaliteit een belemmering kan vormen voor stikstof, fosfor, een tweetal bestrijdingsmiddelen (pirimifos-methyl en azinfos-methyl) en diverse zware metalen. Dit vormde het vertrekpunt van het onderhavige onderzoek. De belangrijkste onderzoeksvraag was wat de bijdrage van het grondwater is aan de belasting van het oppervlaktewater voor deze stoffen. Van belang bij deze vraag is wat als grondwater wordt beschouwd. In deze studie is dat de optelsom van de berekende uitspoeling (diffuus en via buisdrainage) van het grondwater vanuit landbouw- en natuurpercelen (inclusief grasland in stedelijk gebied) en de kwel die direct uittreedt in het oppervlaktewater.

Aandeel grondwater in de belasting met nutriënten

Om dit aandeel te kwantificeren, is met de methode KRW-ECHO de nutriëntenbelasting in de vanggebieden van de oppervlaktewaterlichamen berekend voor alle punt- en diffuse voor de periode 2010-2017. Uit de resultaten volgt een grote variatie van de bronverdeling (herkomst).

De belangrijkste bronnen zijn i) uitspoeling uit landbouwgronden, ii) effluentlozingen van RWZI's en iii) toestromend water vanuit het buitenland. Andere belangrijke bronnen zijn atmosferische depositie van stikstof in gebieden met veel open water en erfafspoeling van fosfor in gebieden met veel melkveehouderijen. Een belangrijke oorzaak van de verschillen in de bronverdeling is de aanwezigheid (of afwezigheid) van RWZI's en toestromend buitenlandwater. Hierbij moet worden bedacht dat de bronverdeling van het water dat afgewenteld wordt op benedenstroomse gebieden, meegenomen (door gelabeld) is in de balansen van de benedenstroomse vanggebieden.

Het aandeel grondwater is in dit onderzoek berekend als de som van de uitspoeling en kwel naar de waterlopen. De grote variatie van de bronverdeling brengt met zich mee dat ook het aandeel grondwater in de nutriëntenbelasting sterk per oppervlaktewaterlichaam verschilt; voor stikstof varieert deze in het zomerhalfjaar van 7 tot 90% en voor fosfor van 15 tot 83%. In de gebieden waar RWZI's en toestromend water vanuit het buitenland weinig aan de belasting bijdragen, is een groot aandeel van grondwater berekend.

KRW-opgave nutriënten

Naast de bijdrage van de landbouw is ook gevraagd om de KRW-opgave te bepalen en deze te verdelen over de sectoren die de nutriënten in het watersysteem brengen. De KRW-opgave is gedefinieerd als de vermindering van de stikstof- en fosforvrucht naar het oppervlaktewater die nodig is om te voldoen aan de KRW-norm voor stikstof en fosfor. Deze opgave is bepaald op basis van de gemeten normoverschrijdingen in het zomerhalfjaar over de periode 2015-2017 (driejarig gemiddelde) en de berekende belasting in het zomerhalfjaar 2014-2017 (vierjarig gemiddelde).

In 36 oppervlaktewaterlichamen wordt in die periode de norm overschreden voor stikstof. In die gebieden is de mate van overschrijding gemiddeld 35%. Volgens de gehanteerde methode zou de stikstofbelasting in die gebieden met hetzelfde percentage moeten afnemen om aan de norm te voldoen. Voor fosfor worden de doelen in 28 oppervlaktewaterlichamen overschreden. De gemiddelde overschrijding in die gebieden is 43%. Bij de verdeling van de opgave komt deze in alle gebieden neer op een flinke opgave voor landbouw en waterschap. Voor de gebieden met invloed van toestromend buitenlandwater is ook een grote opgave toebedeeld aan buitenland.

De hier gepresenteerde berekeningen geven een schatting van hoeveel de belasting gereduceerd zou moeten worden om te voldoen aan de norm voor stikstof en fosfor. Deze is gebaseerd op de gemeten overschrijding

en de berekende belasting. Aan de berekende belasting wordt in KRW-ECHO een onzekerheidsmarge van $\pm 25\%$ toegekend. De berekende uitgaande stikstof- en fosforvrachten zijn in deze studie niet vergeleken met uit metingen afgeleide stofvrachten. De uit metingen afgeleide stofvrachten hebben in de regel ook een onzekerheidsmarge van $\pm 25\%$, gelet op onzekerheden rond debietmetingen en de meetfrequentie van de concentraties. Uit voorgaande KRW-ECHO-studies is gebleken dat waar de berekende stofvrachten kunnen worden vergeleken met uit metingen afgeleide vrachten, deze overwegend met elkaar overeenkomen binnen de genoemde onzekerheidsmarges.

Invloed grondwater op de belasting met bestrijdingsmiddelen

De twee bestrijdingsmiddelen (pirimifos-methyl en azinfos-methyl) waarvoor de KRW-doelen waren overschreden zijn beide insecticiden. Azinfos-methyl is sinds oktober 1999 niet meer toegelaten.

Uit de analyse van databases met (landelijke) monitoringresultaten in grondwater en oppervlaktewater, blijkt dat de stof pirimifos-methyl slechts eenmalig in het grondwater is gevonden. Uit de eigenschappen van pirimifos-methyl en azinfos-methyl blijkt dat het risico op uitspoeling van deze stoffen naar het grondwater te verwaarlozen is. Ook uit de historie van het toegelaten gebruik en van het gebruik in de praktijk blijkt dat het niet waarschijnlijk is dat deze stoffen in de provincies Gelderland en Utrecht in het grondwater gemeten worden.

Het eenmalig aantreffen van pirimifos-methyl in het meetpunt nabij de monding van de Eem kan daarom niet in verband gebracht worden met een grondwater-oppervlaktewaterinteractie in een van de beekgebieden of met het toegelaten gebruik.

Zware metalen

In het algemeen is uitspoeling uit de bodem en grondwater een belangrijke bron voor metalen in oppervlaktewater. Tot 2021 waren deze af- en uitspoeling in de landelijke Emissieregistratie opgenomen voor cadmium (Cd), koper (Cu), nikkel (Ni), lood (Pb) en zink (Zn). In 2022 zijn de af- en uitspoeling met nieuwste data en kennis gekwantificeerd en uitgebreid met negen stoffen. Vanwege de gebruikte hydrologische modelinvoer is het toepassingsbereik beperkt tot grote eenheden, namelijk die op landelijke schaal en voor de zes Nederlandse KRW-deelstroomgebieden. In de onderhavige studie zijn de jaargemiddelde af- en uitspoeling over de periode 2010 tot en met 2017 weergegeven voor arseen, zink, koper en seleen. Dit op het niveau van de vanggebieden van de Nederlandse oppervlaktewaterlichamen. Daarbij moet rekening worden gehouden met grote onzekerheden, oplopend tot 200%. De onzekerheden verschillen per stof.

Los van de onzekerheden kunnen enkele algemene conclusies over de trends worden getrokken:

- De landelijk berekende uitspoeling uit de bodemlaag tot 1 meter beneden de gemiddeld laagste grondwaterstand is dominant (52 tot 98% van de totale emissie).
- De afspoeling (door oppervlakkige afstroming) is gering ten opzichte van de totale af- en uitspoeling (< 10% voor As, Ba, Cr, Mo, Sb, Se, U en V, de overige metalen < 24%).
- De af- en uitspoeling uit natuurgronden (25% van het totaal) is aanmerkelijk minder dan die uit landbouwgronden (75% van het totaal).

Handelingsperspectieven

Landelijk worden voor de nutriënten maatregelen overwogen vanuit het stikstofbeleid met het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG) en mestbeleid (7^e Nitraat Actie Programma met addendum. Ter ondersteuning worden door WUR hiervoor scenarioberekeningen uitgevoerd.

Van de maatregelen die voor het NPLG en 7^e NAP worden overwogen, is het goed mogelijk dat de KRW-opgave voor stikstof die voor de Gelderse beken aan landbouw is toebedeeld, voor een groot deel of mogelijk zelfs geheel kan worden ingevuld. Voor fosfor worden minder effecten van dit landelijke spoor verwacht. Om de emissies van fosfor verder af te laten nemen, kunnen route- en end-of-pipe-maatregelen zoals zuiveringsmoerassen of bezinkpolen effectief zijn.

Voor bestrijdingsmiddelen die voor milieuproblemen zorgen, is er landelijk beleid. Om voor probleemstoffen een verdergaande reductie te bewerkstelligen, wordt hierin een belangrijke rol voor de toelating voorgestaan

(Tiktal et al., 2019). De huidige toelating van de probleemstof pirimifos-methyl is al sterk ingeperkt. Naast landelijk beleid kunnen regionale projecten kansrijk zijn om emissies van bestrijdingsmiddelen te beperken, zoals het programma 'Bezem door de middenkast' (veilig afvoeren restanten van (oude) bestrijdingsmiddelen die nog op het erf worden bewaard) en het regionale project Schoon Water Brabant, waarin agrariërs worden gestimuleerd en geadviseerd hoe met technieken en slimme keuzes voor middelen emissies naar het grondwater kunnen worden beperkt. Met het onderhavige onderzoek is voor zware metalen alleen gekeken naar de belasting van het oppervlaktewater door uitspoeling. Momenteel (2022) is een landelijk onderzoek gestart waarin gekeken wordt of de concentraties die gemeten worden in het oppervlaktewater verklaard kunnen worden door alle punt- en diffuse bronnen. Resultaten hiervan bieden mogelijk aanknopingspunten voor handelingsperspectieven.

6.2 Aanbevelingen

De berekende uitgaande stikstof- en fosforvrachten zijn in deze studie niet vergeleken met uit metingen afgeleide stofvrachten. Het verdient aanbeveling om de betrouwbaarheid van de modelschattingen te valideren op basis van beschikbare monitoring (debieten en waterkwaliteit) op belangrijke uitwisselpunten (uitmondingen) van beken. Deze validatie wordt bij voorkeur uitgevoerd in nauwe samenwerking met de betrokken waterschappen.

Voor erfafspoeling geldt dat de emissieschattingen van fosfor zoals die zijn opgenomen in de huidige Emissieregistratie onzeker zijn en naar verwachting een bovengrens of overschatting geven en dat voor deze bron onderzoek loopt om beter betrouwbare schattingen te geven. Aanbevolen wordt om bij de keuzes van maatregelen hiermee rekening te houden.

Voor het stimuleren van regionale landbouwmaatregelen om emissies van nutriënten naar water te verminderen, is het relevant om te weten welke KRW-opgave voor landbouw resteert als de maatregelen worden genomen die voor het 7^e NAP en NPLG worden overwogen. De effecten hiervan worden door WUR landelijk ingeschat. Naar verwachting komen de resultaten hiervan in september 2022 gereed. Als deze resultaten voldoende plausibel worden geacht, wordt aanbevolen om deze te projecteren op de KRW-opgave die in de onderhavige studie is berekend.

Door de begeleidingscommissie is aangegeven dat er meerdere bestrijdingsmiddelen zijn die incidenteel normoverschrijdend worden aangetroffen. Het systematisch analyseren van de monitoringsdata, toelating en gebruik kunnen voor deze middelen handvaten bieden voor handelingsperspectieven.

Voor zware metalen wordt aanbevolen het landelijk onderzoek te volgen waarin gekeken wordt of de concentraties die gemeten worden in het oppervlaktewater verklaard kunnen worden door alle punt- en diffuse bronnen. Aanvullend of vooruitlopend hierop zouden de regionale patronen van de uitspoeling kunnen worden vergeleken met de meetgegevens van de zware metalenconcentraties in het oppervlaktewater en de waterbodems.

Literatuur

- Aa, N.G.F.M. van der, L.J.M. Boumans en J.W. Claessens 2014. Gevolgen van vermeting voor drinkwaterwinning. RIVM rapport 2014-0116.
- Boekel, E.M.P.M. van, Smit, A.A.M.F.R., Mulder, H.M., Groenendijk P., 2013. Afleiden regionale uit- en afspoelingscijfers voor stikstof en fosfor (herschikkingsprocedure). Wageningen, Alterra.
- Bolt, F.J.E. van der en P.F.A.M. Römkens (red), L. Renaud, H. Bootsma, T.J.Brussée, G. Janssen, J. Qu, 2022. LKM zware metalen, Emissieberekeningen voor de EmissieRegistratie 1990-2019. Wageningen Environmental Research rapport 3139.
- Galen, F. van, L. Osté & E. van Boekel, 2020. Nationale analyse waterkwaliteit. Onderdeel van de Delta-aanpak Waterkwaliteit. PBL-publicatienummer: 4002, The Hague, PBL Planbureau voor de Leefomgeving. <https://www.pbl.nl/publicaties/nationale-analyse-waterkwaliteit-0>.
- Gerven, L.P.A. van; Smit, A.A.M.F.R.; Groenendijk, P.; Bolt, F.J.E. van der; Klein, J.J.M. de. 2009. 'Retentieschatting van N en P in het oppervlaktewater op verschillende schaalniveaus'. Wageningen, Alterra-rapport 1848.
- Groenenberg, J.E.; Römkens, P.F.A.M.; Vries, W. de. 2006. Prediction of the long term accumulation and leaching of copper in Dutch agricultural soils: a risk assessment study. Alterra report 1278, Alterra, Wageningen University and Research.
- Groenendijk, Piet; Boekel, Erwin van; Renaud, Leo; Greijdanus, Auke; Michels, Rolf; Koeijer, Tanja de 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, WENR-rapport 2749.
- Groenendijk, P., L. van Gerven, E. van Boekel en P. Schipper 2021. Maatregelen op en rond landbouwpercelen ter vermindering van de nutriëntenbelasting van water. KIWK-Stowa rapportnummer 2021-54.
- Groenendijk, P. 2021. Kansen van de stikstofaanpak voor het doelbereik van de KRW voor nutriënten. Memo WUR 6-10-2021 / Bijlage 9 bij de Kamerbrief 12-11-21 Voortgang stikstofproblematiek.
- Hazeu, G.W., C. Schuiling, G.J. Dorland, G.J. Roerink, H.S.D. Naeff en R.A. Smidt 2014. 'Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 7 (LGN7), Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik'. Wageningen UR, Alterra (Wageningen Environmental Research)-rapport 2548.
- Knoben, R., N. Evers, A. Krikken, J. Rost, N. Schoffelen, M. de Haan, B. van Spronsen, F.L. Verhagen, H. Evenblij en B. van Velthoven, 2021. 'Ex Ante Analyse Waterkwaliteit'. Rapport Royal Haskoning DHV 28-9-2021.
- 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, Alterra-rapport 1913
- Landelijke Werkgroep Grondwater (Saskia Lukács en Ronnie Hollebrandse), september 2019. Protocol voor toestand-en-trendbeoordeling van grondwaterlichamen KRW-herzien 2019.
- Martin Mulder, Peter Schipper, Edwin Jongman en Joost Heijkers. "Onzekere Debietschattingen". Aikel in Stromingen 16 (2011), nummer 3.
- Renaud, L.V., G.M.C.M. Janssen, P. Groenendijk, P. Cleij, P.E.V. van Walsum, J.C. Hoogewoud, E. van Boekel, J. van de Roovaart, F.J.E. van der Bolt en T. Kroon, 2017. Waterkwaliteitsmodellering, landelijke toepassing voor nutriënten. Deltares rapport 1230690000-BGS-0006
- Provincie Gelderland 2020. Voortgang actualisatie doelen en maatregelen Kaderrichtlijn water 2022. Bijlage bij Statenbrief, 2 juni 2020.
- Rost,Jasmijn, Mirte Schipper, Frank van Herpen, John Lenssen, Bastiaan van Zuidam, Matthijs de Vos, Peter Kloosterman (2019). Resultaten watersysteemanalyse en voorstellen voor technische aanpassing KRW-doelen Waterschap Rijn en IJssel, Planperiode 2022-2027. Royal Haskoning/DHV en Waterschap Rijn & IJssel.
- Royal Haskoning/DHV en Waterschap Rijn & IJssel 2020. Factsheets KRW-Waterlichamen Rijn & IJssel (mei 2020).

-
- Schipper, P, Oscar Schoumans, Piet Groenendijk, Erwin van Boekel, 2012. Nutriëntenbelasting oppervlaktewater; Herkomst en bijdrage landelijke gebied. Notitie ter ondersteuning KRW-Rijn West aanpak Nutriënten. 11 mei 2012. Alterra, Wageningen 19 pag.
- Schipper, P., L. Renaud, L. van Gerven en E. van Boekel 2020. Analyse herkomst en KRW-opgave nutriënten oppervlaktewater Gelderse Vallei. Wageningen Environmental Research rapport 3041).
- Swartjes, F.A., N. Hoekstra, W. Verweij, J.J. Dijkstra, ME. van Vliet, A.H. van Loon, P. Schipper en C. van den Brink 2022. STOWA Deltafact: Vergrijzing van grondwater, juni 2022.
- Tiktak, A., A. Bleeker, D. Boezeman, J. van Dam, M. van Eerdt, R. Franken, S. Kruitwagen en R. den Uyl 2019. Geïntegreerde gewasbescherming nader beschouwd. Tussenevaluatie van de nota Gezonde Groei, Duurzame Oogst. PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag. PBL-publicatienummer 3549.
- Verweij, W., H. Passier, N. Hoekstra, R. van den Meiracker, K. Ouwerkerk, A. van Loon, F. Swartjes, J. Hartmann, M. van Vliet, J. Dijkstra, J. Bloem en P. Schipper, 2022. Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten. Kennisimpuls Waterkwaliteit (KIWK)/Stowa rapportnummer 2022-23.
- Verschoor, A.J., E. Brand. 2008. Afspoeling van bouwmetalen. Risicobeoordeling van emissies van koper, lood en zink. RIVM rapport 711701078|2008. RIVM Bilthoven.
- Waterschap Rivierenland 2019. Bronnenanalyse nutriënten Citters. Notitie van het Waterschap 29 oktober 2019.
- Waterschap Rivierenland 2019. Bronnenanalyse nutriënten Citters en bronnenanalyse nutriënten Groesbeek. Notities van het Waterschap 29 oktober 2019.
- Woesten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom, A.F. van Holst 1988. Generalisatie van vertaling van de Bodemkaart van Nederland, 1: 250 000, ten behoeve van de Pawnstudie. Stiboka, Wageningen. Rapport 2055.
- Wolf, J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter, H. van Zeijts, 2003. The integrated modelling system STONE for calculating emissions from agriculture in the Netherlands. Environmental Modelling & Software 18: 597-617

Bijlage 1 Achtergrondinformatie KRW-ECHO

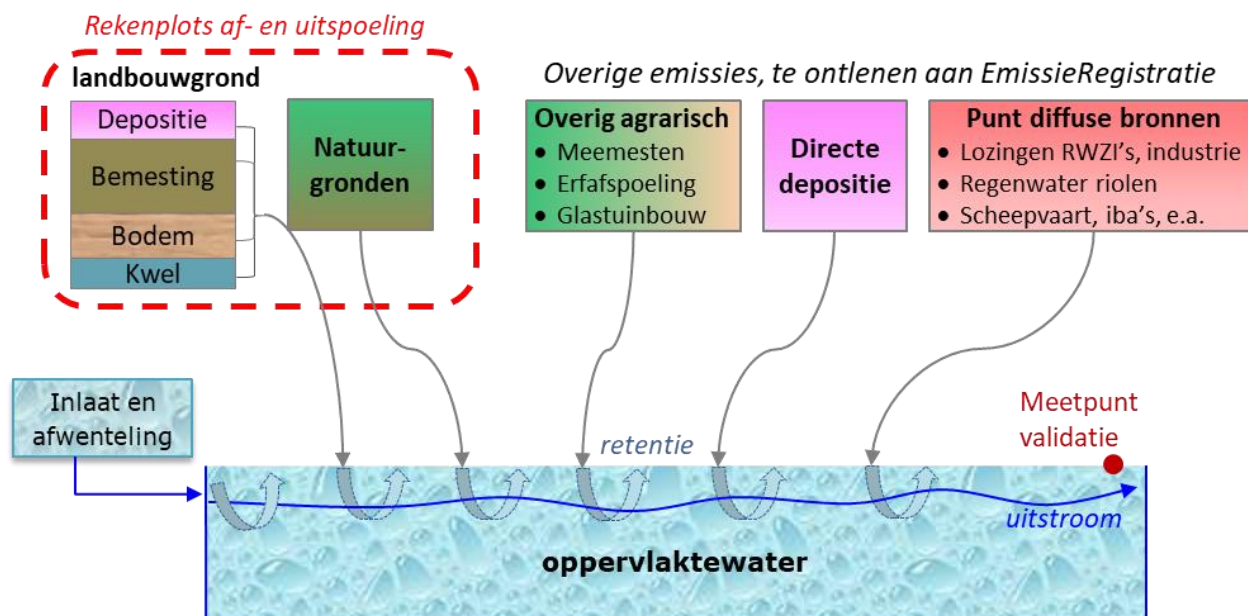
KRW-ECHO-methode, inleiding

De KRW-ECHO-methode is ontwikkeld door WUR (Kroes et al., 2011) om voor regionale oppervlaktewaterlichamen de nutriëntenbelasting, herkomst en effecten van mitigerende maatregelen te kwantificeren. De methode combineert model- en data-analysetechnieken die zijn ontwikkeld voor de ex-ante-evaluatie van de KRW, de Evaluatie van de Meststoffenwet en monitoring- en modelstudies op regionaal niveau. Een belangrijke basis voor toepassing van KRW-ECHO is een actieve inbreng van de regionale waterbeheerders (datamonitoring, gebieds- en expertkennis over de werking van het watersysteem).

De ECHO-methode bestaat uit verschillende onderdelen die, afhankelijk van de kennisvragen, uitgevoerd kunnen worden:

1. Stoffenbalansen: Opstellen van stofbalansen voor waterlichamen/afvoergebieden waarin transparant inzicht wordt gegeven in:
 - Uit- en afspoeling vanuit landbouw- en natuurbodems;
 - In- en uitgaande nutriëntenvrachten op basis van metingen (debieten en concentraties);
 - Overige punt- en diffuse bronnen uit de EmissieRegistratie, aangevuld met regionale gegevens;
 - Retentie van nutriënten in het oppervlaktewater, inclusief waterbodembodem.
2. Uit- en afspoeling landelijk gebied
 - a. Herschikkingsprocedure: STONE-model voor simulatie van de uit- en afspoeling uit landbouw- en natuurgronden regionaal toepasbaar maken door de landelijke geschematiseerde SWAP-ANIMO-rekenplots van STONE met regionale informatie te herschikken.
 - b. SWAP-ANIMO-berekeningen (optioneel): verbeteren uit- en afspoeling uit landbouw- en natuurgronden door nieuwe SWAP-ANIMO-berekeningen uit te voeren met regionale informatie.
3. Plausibiliteitstool
 - a. Toetsing: vergelijking van de berekende en uit metingen afgeleide N- en P-vrachten naar het oppervlaktewater om inzicht te krijgen in de plausibiliteit van de modeluitkomsten/meetgegevens.
 - b. Onzekerheidsanalyse: hiermee wordt inzicht verkregen in de betrouwbaarheid (onzekerheden) van de met ECHO berekende nutriëntenvrachten en meetgegevens.
4. Herkomstanalyse: ontrafelen van de herkomst en beïnvloedbaarheid van de nutriëntenbronnen van de uit- en afspoeling (actuele en historische bemesting, kwel, atmosferische depositie op landbouwgronden, nalevering landbouwgronden, uit- en afspoeling natuurgronden).
5. Effecten maatregelen
 - a. Kwantificeren van de effecten van voorgenomen beleid (Mestbeleid, Stroomgebiedbeheerplannen) op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater.
 - b. Kwantificeren van de effecten van aanvullende (landbouwkundige) maatregelen op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater.

Met KRW-ECHO worden de bemalingsgebieden of afwateringsgebieden (verder aangeduid als vanggebieden) van de oppervlaktewaterlichamen bepaald en wordt per vanggebied nagegaan hoeveel water wordt ingelaten, uitgemalen of afgevoerd. Om de verschillende punt- en diffuse bronnen te kunnen kwantificeren, wordt gebruikgemaakt van modellen. De uit- en afspoeling van stikstof en fosfor uit landbouw en natuurgronden naar water worden per decade gemodelleerd en de belasting van overige bronnen wordt ontleend aan de landelijke EmissieRegistratie-database. Samen met het waterschap wordt vastgesteld voor welke punten (inlaat en uitlaat) metingen beschikbaar zijn, waar afvalwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) via afwenteling invloed hebben en welke informatiebronnen aanvullend aan de EmissieRegistratie kunnen worden gebruikt.



Figuur B2.1 Schema van de nutriëntenbronnen en bron-afhankelijke retentie in KRW-ECHO.

Een belangrijk fundament in de methode is het gebruik van rekeneenheden van STONE. Dit is het modelinstrumentarium waarmee voor de evaluatie van het mestbeleid de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor vanuit landbouw- en natuurgronden naar bodem en water dynamisch in de tijd worden gesimuleerd. Om dit landelijke model toepasbaar te maken op regionale schaal, zijn hieruit rekeneenheden geselecteerd die in een fijnere regionale schematisering (25 x 25 m) goed passen bij het landgebruik (LGN7), de bodemkaart en de grondwatertrappenkaart. Deze selectie wordt aangeduid als herschikken. Ook kunnen rekeneenheden worden aangepast om beter aan te sluiten bij actuele regio-specifieke kenmerken. Met de geselecteerde en/of aangepaste rekeneenheden worden de uit- en afspoeling opnieuw berekend en wordt per vanggebied de gemiddelde herkomst van de bronnen achter de uitspoeling bepaald (actuele en historische mestgift, nalevering, kwel, depositie, geïnfilterd oppervlaktewater).

Zowel landelijk (Groenendijk et al., 2016) als daarna in veel regio's⁵ heeft WUR nauw met waterschappen samengewerkt om in cocreatie de omvang en de verdeling van nutriëntenbronnen te kwantificeren. Hierbij zijn de indeling en begrenzing van de vanggebieden rond de waterlichamen bepaald en is per vanggebied kennis en informatie verzameld hoeveel water wordt ingelaten, uitgemalen of afgevoerd. Daarnaast is vastgesteld voor welke belangrijke uitwisselpunten (toestroom buitenland, in- en uitlaat) metingen beschikbaar zijn, waar RWZI's via afwenteling invloed hebben en welke informatiebronnen aanvullend aan de EmissieRegistratie kunnen worden gebruikt. In enkele studies zijn op basis van regionale informatie

⁵ Schipper, P., E. van Boekel, E. Gies, P. Groenendijk, L. Jeurissen, H. Kros, L. Renaud, J.C. Voogd 2020. Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in stroomgebied Maas. Wageningen Environmental Research rapport 3046.
Schipper, P., L. Renaud, L. van Gerven en E. van Boekel 2020. Analyse herkomst en KRW-opgave nutriënten oppervlaktewater Gelderse Vallei. Wageningen Environmental Research rapport 3041.
Schipper, P., L. Jeurissen, R. Hendriks, L. Renaud en E. van Boekel 2020. Water- en nutriënten-balansen oppervlaktewater Zuiderzeeland. Wageningen Environmental Research rapport 3009.
Boekel, E., L. Renaud en P. Schipper 2020. Herkomst nutriënten waterschap Drents Overijsselse Delta. Wageningen Environmental Research, rapport 2096.
Boekel, E. van, L. Renaud en P. Schipper 2020. Analyse herkomst en achtergrondbelasting nutriënten oppervlaktewateren Hollandse Delta. Wageningen Environmental Research rapport 2995.
Schipper, P., L. Renaud en E. van Boekel 2019. Bronnenanalyse nutriënten stroomgebied Maas. Wageningen Environmental Research, Rapport 2931.
Schipper, P.; L. van Gerven, E. van Boekel, L. Renaud en G. Ros 2019. Herkomst nutriënten in het landelijk gebied van Schieland. Wageningen Environmental Research rapport 2969.
Schipper, P., R. Hendriks, H. Massop en E. van Boekel 2016. Belasting van waterlichamen in de Krimpenerwaard met stikstof en fosfor. Wageningen Environmental Research rapport 2738.
Boekel, E., R. Hendriks en P. Schipper 2018. Herkomst nutriënten Alblasserwaard en Vijfheerenlanden. Wageningen Environmental Research rapport 2891.
Boekel, E. van; Roelsma, J., H. Massop, M. Mulder, P. Jansen, L. Renaud, R. Hendriks en P. Schipper 2015. Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van HHNK. WUR-Alterra-rapport 2475.

concentraties in het kwelwater en/of andere invoerparameters van de SWAP-ANIMO-rekeneenheden van STONE aangepast. In diverse studies zijn op basis van de herkomst de opgaven voor het verminderen van de nutriëntenbelasting bepaald en toegekend aan sectoren en zijn diverse type maatregelen doorgerekend (schonere RWZI's, schonere buitenlandwater, perceelmaatregelen).

Herschikkingsprocedure KRW-ECHO

De ruimtelijke indeling voor STONE is opgesteld door Kroon et al. (2001) en is gemaakt op basis van hydrologische en bodemchemische eigenschappen. Nederland is hierbij ingedeeld in 6405 ruimtelijke eenheden (plots) voor het landelijk gebied, één plot voor het bebouwde gebied en één plot voor water. Een plot bestaat uit meerdere gridcellen van 250*250 meter die dezelfde unieke combinatie van eigenschappen hebben. De gridcellen kunnen verspreid liggen in een gebied.

De ruimtelijke verdeling is gebaseerd op vijf basiselementen:

- Hydrologische hoofdindeling (hydrotypen, drainage-groepen, grondwatertrappen, kwel/wegzijgingsflux);
- Indeling in landgebruik (gras, mais, overig landbouw, natuur, water en bebouwing);
- Indeling in bodemtype (zand, klei, veen);
- Indeling in chemische eigenschappen van de bodem (fosfaatbindend vermogen, mineralisatiecapaciteit, kationen capaciteit);
- Indeling naar overige kenmerken (o.a. meteorologische kenmerken).

Omdat de huidige STONE-schematisering dateert uit 2000 en omdat het een landelijke schematisering betreft, is het mogelijk dat, indien STONE wordt ingezet voor een regionale studie, de schematisering in STONE onvoldoende overeenkomt met de regionale of lokale situatie van het betreffende studiegebied. Daarom is met KRW-ECHO een herschikkingsprocedure ontwikkeld.

De herschikkingsprocedure bestaat uit verschillende onderdelen:

1. Gebiedsanalyse
 - vervaardigen nieuwe geclassificeerde kaarten (landgebruik, bodemfysische eenheid, grondwatertrappen-klassen en metoedistrict);
 - overlay van kaarten en afleiden van MLBG⁶-combinaties.
2. Afleiden nieuwe N- en P-uitspoelingscijfers
 - selectie van representatieve STONE-plots die passen bij MLBG-combinaties;
 - Aggregeren van N- en P-belasting op ERC-niveau;
 - Neerschalen van N- en P-belasting naar het studiegebied (LSW-niveau).
3. Validatie (vergelijking met eerdere studies).

Nadat nieuwe MLBG-eenheden zijn bepaald, zijn representatieve STONE-plots gezocht voor het berekenen van de uit- en afspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Hierbij kunnen de volgende drie situaties ontstaan:

1. Er worden **meerdere** representatieve STONE-plots per eenheid gevonden;
2. Er wordt **één** representatieve STONE-plot gevonden;
3. Er kunnen **geen** STONE-plots gevonden worden die voldoen aan de opgelegde criteria.

Situatie 1

Indien in de herschikking voor een MLBG-eenheid gekozen zou worden om één 'meest representatieve' STONE-plot te nemen, zou dit handmatig door een expert uitgevoerd moeten worden. Hierdoor zou de einduitkomst voor een deel afhankelijk zijn van de expert die de herschikking uitvoert. Dit verdient niet de voorkeur, omdat het problemen geeft bij het reproduceren van de resultaten en moeilijk qua argumentatie te verantwoorden is. Wanneer voor een MLBG-eenheid meerdere STONE-plots in aanmerking komen, worden daarom in een geautomatiseerde selectieprocedure de STONE-plots geselecteerd die voldoen aan de betreffende MLBG-eenheid en hiervan wordt dan de gemiddelde uit- en afspoeling bepaald. Ook wordt voor de herkomst van de bronnen achter de uit- en afspoeling het gemiddelde van die STONE-plots genomen. Hierdoor zal dit, ongeacht wie het script toepast, altijd tot dezelfde resultaten leiden.

⁶ MLBG is een afkorting voor **M**eteo **L**andgebruik **B**odemfysische eenheid en **G**rondwatertrap.

In Tabel B3.1 is een (willekeurig) voorbeeld gegeven voor MLBG-eenheid 111073 (meteodistrict 11, grasland op stuifzandgrond met Gt-klasse III). Er worden in totaal drie STONE-plots met deze combinatie gevonden.

Tabel B3.1 Gemiddelde stikstofbelasting van het oppervlaktewater voor de STONE-plots voor MLBG-eenheid 111073.

STONE-plots	Stikstofuitspoeling (kg/ha)
1710	76,7
1499	85,1
1111	112,1
Gemiddeld	91,3

Situatie 2

Indien er één STONE-plot gevonden kan worden, worden de berekende uit- en afspoeling van deze plot toegekend aan een MLBG-eenheid.

Situatie 3

Indien er geen representatieve STONE-plots gevonden worden, omdat de gewenste combinatie landgebruik, bodemfysische eenheid en Gt-klasse binnen een meteodistrict niet voorkomt, is ervoor gekozen om stapsgewijs steeds meer informatie van de MLBG-eenheden los te laten, net zolang tot alle eenheden zijn voorzien van een koppeling naar STONE-plots. In Tabel B3.2 is het stappenplan weergegeven voor toekenning van STONE-plots aan MLBG-eenheden.

Tabel B3.2 Overzicht van de stappen die doorlopen worden voor het afleiden van N- en P-belasting opp. water per MLBG-eenheid.

Stappen	Omschrijving
Stap 0	1:1 match
Stap 1	Trapsgewijze aanpassing van bodemtypes <u>met</u> restricties
Stap 2	Trapsgewijze aanpassing van de Gt-klasse <u>met</u> restricties o.b.v. GHG (focus oppervlaktewater
Stap 3	Combinatie van stap 1 + 2
Stap 4	Aanpassing bodemfysische gegeven <u>met</u> beperkte restricties
Stap 5	Combinatie van stap 2 + 4
Stap 6	<u>Geen</u> restricties t.a.v. de Gt-klasse
Stap 7	Combinatie van stap 1 + 6
Stap 8	Combinatie van stap 4 + 6
Stap 9	<u>Geen</u> restricties t.a.v. Gt-klasse en bodemfysische eenheid

Hieronder worden de stappen 1, 2 en 4 nader toegelicht. De overige stappen zijn combinaties van voorgaande stappen (stap 3, 5, 7 en 8) of liggen voor de hand (stap 6 en 9).

Stap 1: aanpassing bodemfysische eenheden met restrictie

De eerste stap is een trapsgewijze aanpassing van bodemtypes met restrictie. Er worden in totaal 21 relevante bodemtypen onderscheiden (nr. 22 en 23 is respectievelijk open water en stedelijk gebied). In Tabel B3.3 is een overzicht gegeven van mogelijke uitwisselingen. Voor een aantal bodemfysische eenheden (BFE) is het niet mogelijk om een andere BFE te selecteren; de andere BFE's kunnen met één of meerdere BFE's uitgewisseld worden. Indien er sprake is van meerdere opties, is een trapsgewijze aanpassing voorzien (opgelegde volgorde).

Tabel B3.3 Overzicht van de mogelijke 'uitwisseling' tussen de verschillende bodemfysische eenheden.

Groep	Grondsoort	Bodemfysische eenheden
1	Veen	1, 3
2	Veen	2, 4, 5
3	Veen	6
4	Zand	7, 8, 9, 12, 13
5	Zand	10, 14
6	Zand	11
7	Klei	15, 16, 19
8	Klei	17, 18
9	Klei	20
10	Löss	21

Stap 2: aanpassing Gt-klasse

De twee stap is een trapsgewijze aanpassing van Gt-klasse met restricties op basis van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG). Een randvoorwaarde voor het selecteren van STONE-plots met een andere Gt-klasse is dat deze in hetzelfde *cluster* valt.

De grondwatertrappen zijn op basis van de GHG geclusterd in drie groepen:

- nat: Gt-klasse I, II, III en V
- matig droog: Gt-klasse IV en VI
- droog: Gt-klasse VII en VIII

Ook hierbij geldt dat er een voorkeursvolgorde is vastgelegd.

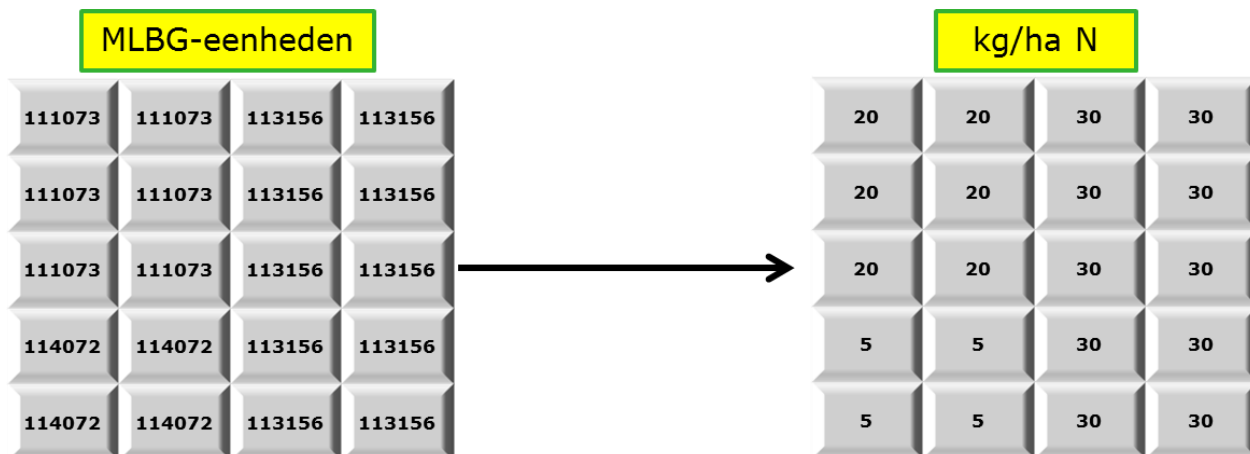
Stap 4: aanpassing bodemfysische eenheden met beperkte restrictie

In de eerste stap is een aanpassing van de bodemfysische eenheden voorzien waarbij tien groepen onderscheiden worden. In stap 4 wordt een aantal groepen geclusterd op basis van de grondsoort (Tabel B3.4).

Tabel B3.4 Overzicht van de mogelijke 'uitwisseling' tussen de verschillende bodemfysische eenheden op basis van de grondsoort.

Groep	Grondsoort	Bodemfysische eenheden
1	Veen	1 t/m 6
2	Zand	7 t/m 14
3	Klei	15 t/m 20
4	Löss	21

Nadat alle negen stappen zijn doorlopen, is het mogelijk om voor iedere MLBG-eenheid (rekeneenheid) een stikstof- of fosforbelasting toe te kennen (zie voorbeeld in Figuur B3.2).



Figuur B3.2 Voorbeeld van de stikstofbelasting per MLBG-eenheid per rekeneenheid.

Retentie in KRW-ECHO

De retentie van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater varieert per polder en is afhankelijk van de onderliggende retentieprocessen. De grootte van deze retentieprocessen is afgeleid uit metingen in het oppervlaktewater (PLONS). Op deze manier is de capaciteit van het oppervlaktewatersysteem bepaald om stikstof vast te leggen of te verwijderen, uitgedrukt in gram per m² waterbodem. De zo berekende absolute N-retentie heeft betrekking op alle nutriëntenbronnen in de polder.

De volgende retentieprocessen zijn gekwantificeerd:

- Denitrificatie;
- Netto-opname (zomerhalfjaar) en afgifte (winterhalfjaar) van nutriënten door waterplanten.

Dit is gedaan voor polders die vooral uit veen of klei bestaan. Voor zandpolders (Noord-Nederland) waren onvoldoende metingen beschikbaar om de retentieprocessen te kwantificeren. Het retentieproces sedimentatie is niet expliciet meegenomen, al zit dit proces deels verwerkt in de waterplantensterfte die een groot aandeel heeft in de totale sedimentatie.

Retentie van stikstof in polders door denitrificatie

Voor het PLONS-project (www.plons.wur.nl) is in een aantal sloten verspreid over Nederland de denitrificatie gemeten. De gemeten denitrificatiesnelheden in poldersloten en de watertemperatuur tijdens het meten, ingedeeld naar het bodemtype klei of veen, zijn weergegeven in Tabel B3.5.

Tabel B3.5 Gemeten denitrificatiesnelheden in veen- en kleigebieden en de watertemperatuur op het moment van meten (Veraart et al., in voorbereiding). *n*=aantal waarnemingen, *std*=standaarddeviatie.

bodemtype	n	Denitrificatie ($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Denitrificatie ($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Denitrificatie ($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Temperatuur (°C)	
		gemiddeld	minimum	maximum	gemiddeld	Std
klei	4	180,2	31,0	496,8	16,8	0,9
veen	7	62,9	5,9	166,6	21,3	0,8

Deze denitrificatiesnelheden zijn omgezet naar een gemiddelde denitrificatiesnelheid in het zomer- en het winterhalfjaar door aan te nemen dat de denitrificatiesnelheid (*D*) afhangt van de watertemperatuur (*T*) volgens een aangepaste Arrhenius-vergelijking:

$$D_T = D_{20} \cdot \theta_s^{(T-20)} \quad (1)$$

Waarin *D*₂₀ de denitrificatiesnelheid is bij 20°C en θ_s de temperatuurcoëfficiënt die de waarde 1,07 is toegekend; een waarde die kenmerkend is voor veel biochemische reacties. Echter zijn voor de denitrificatie

ook hogere waarden voor de temperatuurcoëfficiënt gevonden: van 1,24 en 1,28 (Veraart et al., 2011b). Met formule 1 zijn maandgemiddelde denitrificatiesnelheden berekend voor de klei- en veenpolders, uitgaande van maandgemiddelde luchttemperaturen gemeten in de Bilt in de jaren 1990-2009. De maandgemiddelde denitrificatiesnelheden zijn opgeschaald naar zomer- en winterhalfjaargemiddelden (Tabel B3.6).

Tabel B3.6 Afgeleide denitrificatiesnelheden voor klei- en veenpolders in het winter- en zomerhalfjaar.

Bodemtype	Denitrificatie (g N m ⁻²)	
	zomerhalfjaar	winterhalfjaar
klei	9,9	5,3
veen	2,5	1,4

Retentie van stikstof door groei van waterplanten

Uit verschillende databronnen is een inschatting gemaakt van de hoeveelheid waterplanten aan het einde van het groeiseizoen, gemiddeld over de klei- en veenpolders (Tabel B3.7). Om een inschatting te kunnen maken van de stikstof die gemoeid is met de groei en sterfte van waterplanten, is geschat welk deel van de biomassa 'overwintert'. Modelresultaten van het oppervlaktewaterkwaliteitsmodel NuswaLite (Siderius et al., 2008) geven aan dat ongeveer 20% van de kroosbiomassa overwintert en ongeveer 25% van de waterpest en ondergedoken waterplanten overwintert.

Tabel B3.7 Gemiddelde hoeveelheid waterplanten aan het einde van het groeiseizoen, volgens uit verschillende databronnen.

bodemtype	Waterplanten (g droge stof m ⁻²)		
	waterpest	kroos	ondergedoken
klei	8	43	12
veen	29	14	25

Tabel B3.8 geeft een overzicht van de geschatte hoeveelheid stikstof die gemoeid is met de groei en sterfte van waterplanten, aangenomen dat:

- kroosbiomassa voor 4% uit N bestaat (Roijackers et al., 2004);
- ondergedoken waterplanten en waterpest voor 3,5% uit N bestaan (Muhammetoglu et al., 2000);
- de waterlopen aan het einde van de zomer worden gemaaid, waardoor 80% van de waterplanten wordt verwijderd. De overgebleven 20% draagt bij aan de nalevering van N naar de waterkolom door sterfte.

Tabel B3.8 Hoeveelheid N die naar schatting is gemoeid met de nettogroei (zomerhalfjaar) en nettosterfte (winterhalfjaar) van waterplanten in klei- en veenpolders. (NB Aangenomen is dat 80% van de waterplanten in de waterlopen aan het einde van de zomer wordt gemaaid; deze planten sterven niet meer af in de waterlopen, waardoor alleen de resterende 20% van de waterplanten bijdraagt aan de nalevering van N door sterfte.)

bodemtype	groei	sterfte
	(g N m ⁻²)	(g N m ⁻²)
klei	1,92	0,38
veen	1,85	0,37

Totale stikstofretentie in poldersystemen

Tabel B3.9 geeft de geschatte hoeveelheid stikstofretentie in de klei- en veenpolders; het opgetelde effect van denitrificatie en waterplanten. Deze hoeveelheden, in gram per m² waterbodem, zijn vertaald naar hoeveelheden per polder door vermenigvuldiging met het areaal aan open water volgens het NHI (www.nhi.nu). Het is de vraag of het openwateroppervlak een goede benadering geeft van het oppervlak waarover stikstofretentie plaatsvindt.

De gehele natte omtrek – waterbodem en talud – draagt waarschijnlijk bij aan de stikstofretentie, al zal het talud per strekkende meter waarschijnlijk in mindere mate bijdragen. Daarom is het openwateroppervlak bij benadering een goede maat voor het effectieve retentieoppervlak.

Tabel B3.9 Geschatte hoeveelheid stikstofretentie in klei- en veenpolders.

bodemtype	zomerhalfjaar (g N m ⁻²)	winterhalfjaar (g N m ⁻²)
klei	11,8	5,0
veen	4,4	1,0

Vanwege deze eerste ordebenadering voor de stikstofdynamiek kan naar analogie van de methodiek voor de vrij afwaterende gebieden ook hier een retentie optreden die de 100% overschrijdt. Derhalve wordt een limitering toegepast van maximaal 90% retentie op de inkomende stikstofvracht.

2.4 Retentie van fosfor in poldersystemen

Voor fosfor is het niet mogelijk gebleken om relaties af te leiden op basis van het areaal waterbodem. Op basis van diverse studies wordt voor fosfor in poldersystemen een retentie van 20% aangenomen voor puntbronnen en van 50% voor diffuse bronnen.

Retentie in vrij afwaterende gebieden

In de relevante literatuur voor vrij afwaterende gebieden wordt vaak een verband gelegd tussen de retentie voor N en P en de 'specifieke afvoer' (o.a. Klein et al., 2011; Seitzinger et al., 2002). De 'specifieke afvoer' is gedefinieerd als de afvoer bij het uitstroompunt van het stroomgebied, gedeeld door het bovenstroomse wateroppervlak (zie Vergelijking 2).

De eerder in Van Boekel et al. (2011) gebruikte relaties gingen uit van 'hydraulische verblijftijd', die van de 'specifieke afvoer' verschilt door in plaats van wateroppervlak het bovenstroomse watervolume in de noemer mee te nemen. Het verschil tussen wateroppervlak en watervolume is de waterdiepte die in vrij afwaterende stroomgebieden erg variabel is in zowel tijd als ruimte. De hypothese is dat vanwege deze variabiliteit de retentie van N en P voor de grotere (deel)stroomgebieden minder goed is te relateren aan de 'hydraulische verblijftijd'. Daar komt bovendien nog bij dat de waterdiepte aanzienlijk slechter karteerbaar is dan het wateroppervlak.

$$Q_{\text{specifiek}} = \frac{Q_{\text{afvoerpunt}}}{A_{\text{water}}} \quad (2)$$

waarin:

$Q_{\text{specifiek}}$ = specifieke afvoer (m³ s⁻¹ ha⁻¹)

Q_{afvoer} = afvoer bij uitstroompunt stroomgebied (m³ s⁻¹)

A_{water} = open wateroppervlak in het deelstroomgebied (ha)

Voor deze studie zijn deze verbanden bepaald voor een aantal vrij afwaterende stroomgebieden. De hiervoor geselecteerde stroomgebieden voldoen aan de volgende criteria:

- De uitspoeling van nutriënten vanuit het landsysteem is verreweg de belangrijkste nutriëntenbron voor het oppervlaktewater.
- Het stroomgebied is niet aangesloten op bovenstrooms gelegen stroomgebieden.
- De uitgaande nutriëntenvracht bij het uitstroompunt moet goed te bepalen zijn op basis van metingen.

Het eerste criterium is van belang, omdat de af te leiden retentie alleen betrekking heeft op de diffuse nutriëntenuitspoeling vanuit het landsysteem. Het tweede criterium is hieraan gerelateerd en eveneens bedoeld om onbekende overige bronnen te elimineren. Uiteindelijk bleken er vier vrij afwaterende stroomgebieden te voldoen aan bovenstaande criteria:

- Drentsche Aa
- Schuitenbeek
- Hoevelakense, Barneveldse en Esvelderbeek (HBE-beek)
- Wapserveense en Vledder Aa (WV Aa)

De Drentsche Aa en de Schuitensbeek zijn intensief bemeten in het project Monitoring Stroomgebieden (Roelsma et al., 2011; Roelsma et al., 2011b) en voor de overige twee stroomgebieden zijn in het kader van het ex-ante-KRW-project meetdata aangeleverd. De nutriëntenretentie (R_a) is per gebied als volgt bepaald:

$$R_a = L_{\text{uitspoeling}} - L^*_{\text{uitstroom}} \quad (3)$$

waarin:

R_a = absolute nutriëntenretentie in het oppervlaktewater (g)

$L_{\text{uitspoeling}}$ = uitspoeling van nutriënten vanuit het landsysteem (g)

$L^*_{\text{uitstroom}}$ = uitstromende nutriënten bij uitstroompunt, gecorrigeerd voor andere bronnen dan de nutriëntenuitspoeling (g)

De nutriëntenuitspoeling vanuit het landsysteem ($L_{\text{uitspoeling}}$) is voor de Drentsche Aa en Schuitensbeek bepaald op basis van een gekalibreerd SWAP-ANIMO-modelinstrumentarium (Siderius et al., 2011). Voor de andere twee stroomgebieden is hiervoor het model STONE, versie 2.4, gebruikt (Wolf et al., 2003).

Bij de correctie van de uitstromende nutriëntenvracht ($L^*_{\text{uitstroom}}$) voor de nutriëntenbronnen buiten de uitspoeling (zoals RWZI's en industriële lozingen) is rekening gehouden met de retentie die aangrijpt op deze nutriëntenbronnen (volgens de Emissieregistratie), zoals eerder bepaald in Van Boekel et al. (2011).

Tabel B3.10 geeft aan welke data per stroomgebied zijn gebruikt om de uitstromende nutriëntenvracht te bepalen.

De uitstromende nutriëntenvracht is per dag bepaald. Hiervoor zijn dagelijkse nutriëntenconcentraties nodig die zijn verkregen door lineair te interpoleren tussen de gemeten concentraties met maandelijkse steekmonsters (in HBE-beek en WV Aa). Ook is lineaire interpolatie gebruikt om ontbrekende debietdata en ontbrekende debietsproportioneel gemeten nutriëntenconcentraties aan te vullen.

Tabel B3.10 Data per stroomgebied ter bepaling van de uitgaande nutriëntenvracht (= debiet * concentratie) bij het uitstroompunt.

	debiet		nutriëntenconcentraties		
	meetlocatie	meetfrequentie	meetlocatie	meetfrequentie	meetmethode
Drentsche Aa	*	Dagelijks	1114	Wekelijks	debietsproportioneel
Schuitensbeek	25210	Dagelijks/elk uur	25210	Wekelijks	debietsproportioneel
HBE-beek	4070	Dagelijks	29738	Maandelijks	Steekmonster
WV Aa	Stuw Wulpen	dagelijks	1STE A8RO	maandelijks	steekmonster

* op basis van modelresultaten van het hydraulische model SWQN (Smit et al., 2009).

Verband tussen retentie en specifieke afvoer

De retentiefractie (R_f), het deel van de totale nutriëntenbelasting dat in het stroomgebied wordt vastgelegd, kan als volgt worden gerelateerd aan de 'specifieke afvoer' $Q_{\text{specifiek}}$ (Klein et al., 2011; Seitzinger et al., 2002):

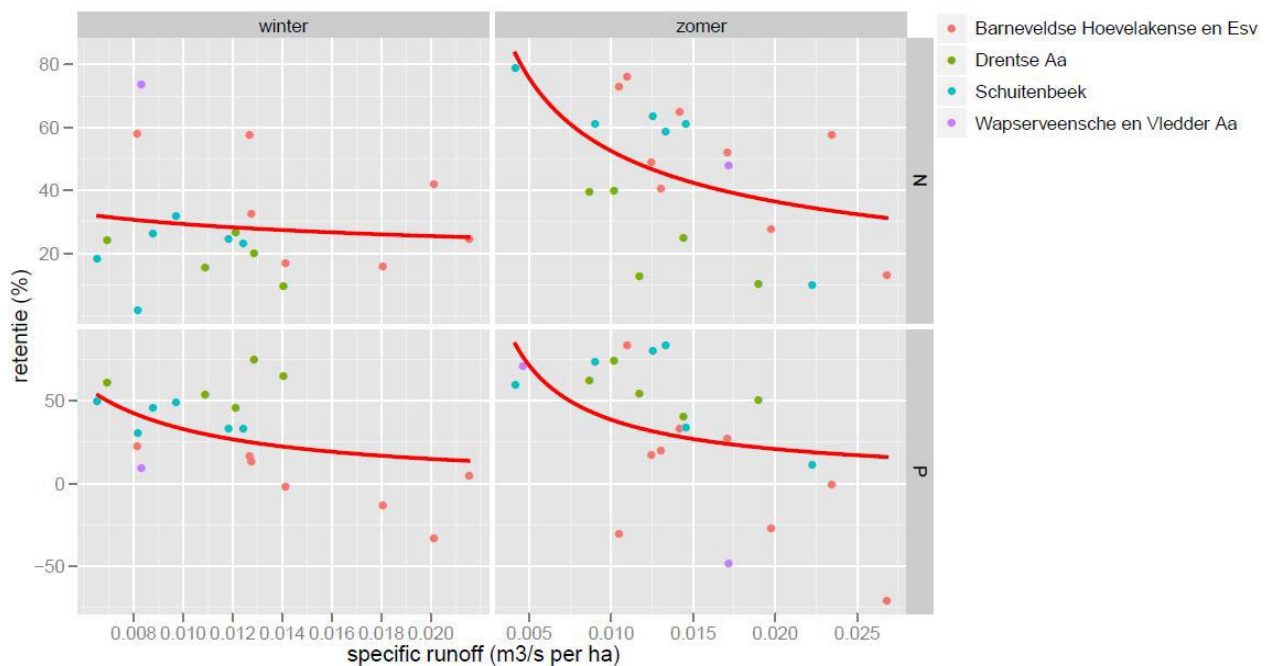
$$R_f = a \cdot Q^b_{\text{specifiek}} \quad (4)$$

waarbij a en b nader te bepalen coëfficiënten zijn.

Voor de vier stroomgebieden zijn deze coëfficiënten bepaald voor het winter- en het zomerhalfjaar, omdat dit de temporele resolutie is van zowel het KRW-Echo-model als de KRW-Verkenner. In elk stroomgebied zijn voor elk zomer- en winterhalfjaar met voldoende meetdata de retentie en de 'specifieke afvoer' bepaald, wat resulteert in de puntenwolken in Figuur B4.1. De specifieke afvoer is hierbij berekend met het gemeten uitgaande debiet en met het openwateroppervlak op basis van de TOP10 waterlopen, waarvan de geometrie is afgeleid van het hydrotype waarin de waterlopen liggen (Massop et al., 2007).

De puntenwolken in Figuur B3.3 zijn gefit met Vergelijking 3, wat resulteert in waarden voor de coëfficiënten a en b (Tabel B3.11). Te zien is dat de fit in alle gevallen matig is. Dit suggereert dat de specifieke afvoer niet de enige verklarende variabele is voor de retentie, uitgaande van juiste metingen en modeldata. Het gevonden verband voor N is in Figuur B3.4 vergeleken met verbanden afgeleid in andere studies (Klein et al., 2011; Venohr et al., 2005; Seitzinger et al., 2002), waaraan overigens wel andere temporele en ruimtelijke schaalniveaus ten grondslag liggen.

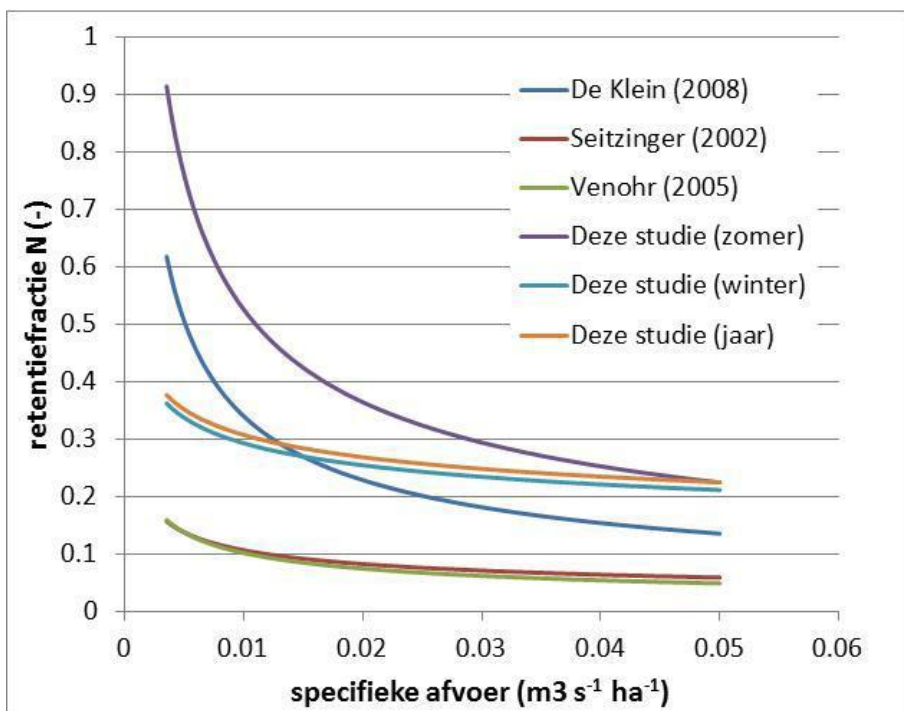
Een bekend nadeel van de machtsbenadering (Vergelijking 3) is dat de retentiefraction groter dan 1 kan worden bij kleine waarden voor de specifieke afvoer. In deze gevallen is de retentiefraction afgekapt tot 90% van de inkomende vracht, omdat grotere retentiewaarden onrealistisch worden geacht.



Figuur B3.3 Verband tussen het retentiepercentage (op de uitspoelende nutriënten vanuit het landsysteem) en de 'specifieke afvoer' voor de vier stroomgebieden, per stof en per halfjaar. De rode lijn geeft de gefitte curve (Vergelijking 4).

Tabel B2.11 Gevonden coëfficiënten voor de 4 stroomgebieden op basis van 'specifieke afvoer' in $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{ha}^{-1}$.

	Stikstof		Fosfor	
	a	b	a	b
Winterhalfjaar	0.1153	-0.2025	0.0017	-1.1449
zomerhalfjaar	0.0462	-0.5277	0.0065	-0.8884



Figuur B3.4 Verband tussen de retentiefractione voor stikstof en de 'specifieke afvoer', gevonden in verschillende studies naar laaglandstroomgebieden in Europa en Amerika.

NB De ruimtelijke en temporele schaal waarop de verbanden zijn afgeleid, verschillen sterk per studie: van grote stroomgebieden (860-14.000 km²) op jaarbasis (Venohr et al., 2005) naar kleinere stroomgebieden (20-400 km²) op jaarbasis (Seitzinger et al., 2002), winter- en zomerhalfjaar (deze studie) en maandbasis (Klein et al., 2011). Daarbij heeft de in deze studie berekende retentiefractione alleen betrekking op de nutriëntenuitspoeling vanuit het landsysteem, in tegenstelling tot de andere studies die de overige nutriëntbronnen ook meenemen.

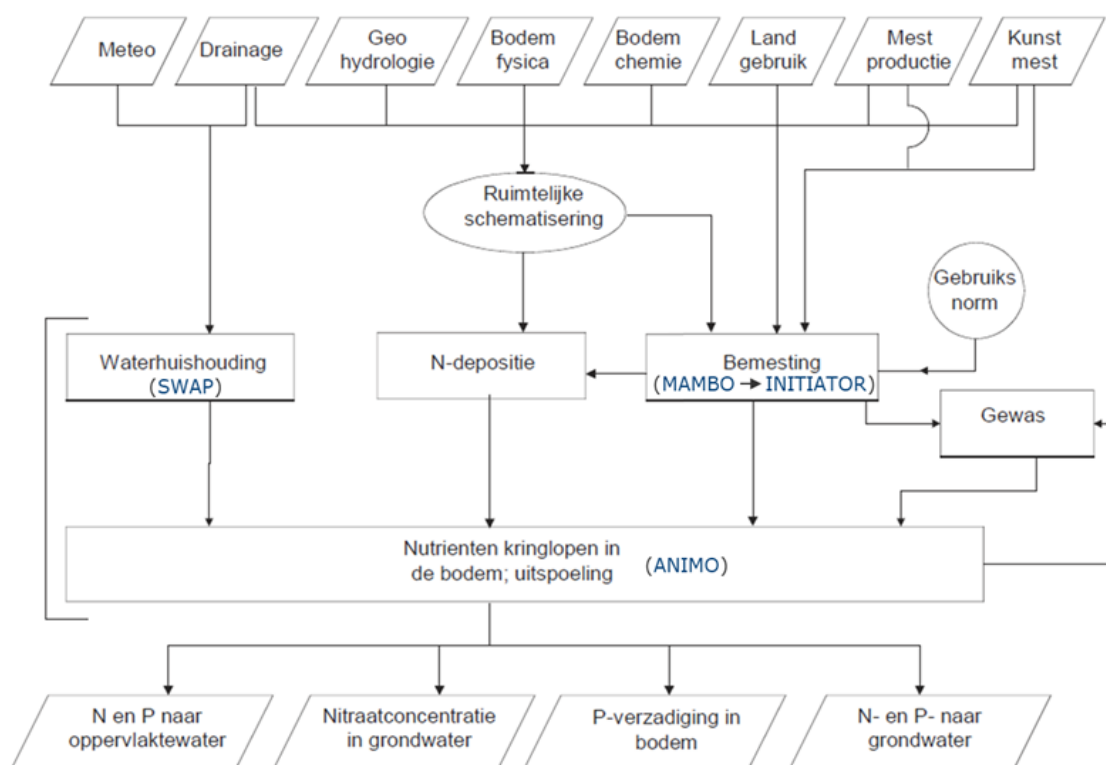
Referenties retentie

- Boekel, E.M.P.M. van, L.P.A. van Gerven, T. van Hattum, V.G.M. Linderhof, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, N.B.P. Polman, L.V. Renaud en D.J.J. Walvoort, 2011. Ex-ante evaluatie landbouw en KRW. Alterra rapport 2121, Alterra, Wageningen.
- Gerven, L.P.A. van, A.A.M.F.R. Smit, P. Groenendijk, F.J.E. van der Bolt en J.J.M. de Klein, 2009. Retentieschatting van N en P in het oppervlaktewater op verschillende schaalniveau's. Alterra rapport 1848, Alterra, Wageningen.
- Klein, J. M. de, A. Koelmans, 2011. Quantifying seasonal export and retention of nutrients in West European lowland rivers at catchment scale. *Hydrological Processes* 25 (13), 2102–2111.
- Massop H.Th.L, J.W.J. van der Gaast & A.G.M. Hermans; Kenmerken van het ontwateringsstelsel in Nederland. Alterra rapport 1397, gepubliceerd: 28 feb 2007; 94 pp.
- Muhammetoglu, A. and S. Soyupak, 2000. A three-dimensional water quality-macrophyte interaction model for shallow lakes. *Ecological Modelling*, Vol. 133, pp. 161-180.
- Roelsma, J., B. van der Grift, H.M. Mulder en T.P. van Tol-Leenders, 2011a. Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Drentsche Aa. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-I. Alterra rapport 2218.
- Roelsma, J., B. van der Grift, H.M. Mulder en T.P. van Tol-Leenders, 2011b. Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Schuitembeek. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-II. Wageningen, Alterra, rapportnummer 2219.
- Roijackers, R., Szabó, S., and Scheffer, M., 2004. Experimental analysis of the competition between algae and duckweed. *Hydrobiologie* 160, 401-412.
- Seitzinger S.P., Styles R.V., Boyer E.W., Alexander R.B., Billen G., Howarth, R.W., Mayer B., Van Breemen N. 2002. Nitrogen retention in rivers: model development and application to watersheds in the northeastern USA. *Biogeochemistry* 57: 199–237.
- Siderius C., P. Groenendijk, L.P.A. van Gerven, M.H.J.L. Jeuken, A.A.M.F.R Smit, 2008. Process description of NuswaLite; a simplified model for the fate of nutrients in surface waters. Alterra Report 1226.2, Alterra, Wageningen.
- Siderius, C., J. Roelsma, H.M. Mulder, L.P.A. van Gerven, R.F.A. Hendriks en T.P. van Tol-Leenders, 2011. Kalibratie Modelsysteem Monitoring Stroomgebieden. Reeks Monitoring Stroomgebieden 22. Alterra rapport 2216, Alterra, Wageningen.
- Smit A.A.M.F.R, C. Siderius, L.P.A. van Gerven, 2009. Process description of SWQN; A simplified hydraulic model. Alterra Report 1226.1, Alterra, Wageningen.
- Venohr M., Donohue I., Fogelberg S., Arheimer B., Irvine K. & Behrendt H. (2005) Nitrogen retention in a river system and the effects of river morphology and lakes. *Water Science and Technology*, 51, 19-29.
- Veraart, A.J., W. J. J. de Bruijne, J. M. de Klein, T. H. M. Peeters, M. Scheffer, 2011a. Effects of aquatic vegetation type on denitrification. *Biogeochemistry* 104:267–274.
- Veraart, A.J., de Klein, J.J.M., Scheffer, M., 2011b. Warming Can Boost Denitrification Disproportionately Due to Altered Oxygen Dynamics. *PLoS ONE* 6(3): e18508. doi:10.1371/journal.pone.0018508
- Veraart, A.J., M. Rocha Dimitrov, A. Schrier-Uijl, F. Gillissen, H. Smidt, J.J.M. de Klein, Denitrification in Dutch drainage ditches, relations with nitrate and nirK abundance. (tentative title)
- Wolf, J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter en H. van Zeijts, 2003. The integrated modelling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands, *Environ. Modelling & Software*, 18, pp. 397-417.

Bijlage 2 Achtergrondinformatie STONE

STONE is een simulatiemodel dat wordt gebruikt om nitraatconcentraties in het grondwater en de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor uit landbouw- en natuurgronden te berekenen. Het is een consensusmodel dat in samenwerking met RIVM en RIZA is ontwikkeld voor landelijke beleidsevaluaties van het mest- en het waterbeleid. Daarnaast berekent STONE de fosfaataccumulatie en de posten van de N- en P-balans van de bodem. Door de koppeling aan INITIATOR kan STONE de effecten van diverse scenario's ten aanzien van de intensiteit van de veestapel, de aanwending van dierlijke mest en kunstmest en de verandering van landgebruik doorrekenen.

De keten van deelmodellen van het modelinstrumentarium is weergegeven in onderstaande figuur. De hydrologische informatie voor STONE wordt berekend met het gekoppelde SWAP/NAGROM-model waarin op basis van informatie over meteo, drainage en geohydrologie de vochthuishouding wordt gesimuleerd.

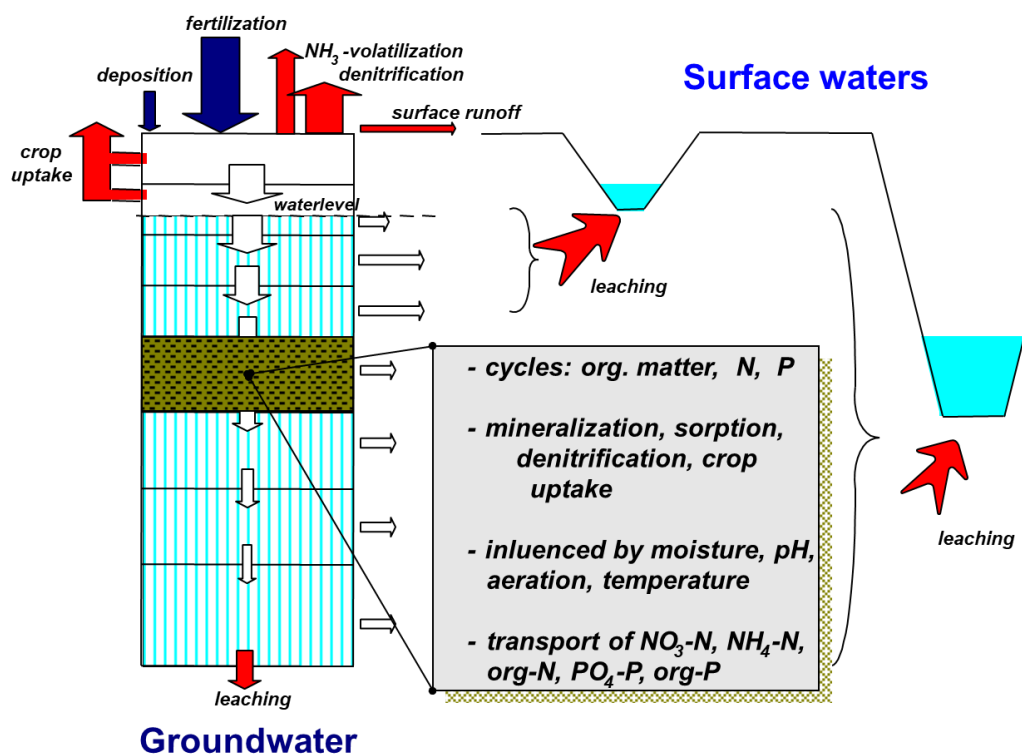


Figuur B3.1 Schema van rekenmodules en datastromen in STONE2.4.

De module ANIMO simuleert in STONE de nutriëntenhuishouding in de bodem en de resulterende uit- en afspoeling naar water. ANIMO is een procesgericht model voor het simuleren van de kringloop van koolstof, stikstof en fosfor in de bodem dat aanvankelijk is ontwikkeld voor toepassing op perceelniveau, maar ook geschikt is voor regionale toepassingen. Binnen STONE voert ANIMO de berekeningen uit voor clusters van rastercellen met een grootte van 250 x 250 m en met een tijdsstap van 10 dagen. Gerekend wordt in tijdseries van 15 jaar, waarbij de periode 1941-1970 wordt gebruikt om de modelkolommen te initialiseren. STONE omvat 6405 clusters (rekeeneenheden) die verschillen in hydrologische en drainagekenmerken, landgebruik, bodemtype, bodemchemie en klimaat (meteodistrict).

De opzet van die ANIMO-rekeeneenheden is weergegeven in de Figuur B3.2. Deze module simuleert de stikstof- en fosforprocessen in de grond en ondiep grondwater tot een diepte van 13 m en berekent de oppervlakkige afstroming en de N- en P-vrachten naar greppels, sloten en grotere wateren. Daarnaast wordt de uitspoeling van N en P naar dieper grondwater berekend en de nitraatconcentraties in de eerste meter van het grondwater. Geochemische processen in dieper grondwater en stromingsprocessen en biologische en chemische processen in oppervlaktewateren zijn niet inbegrepen.

Het model en toepassingen van het model zijn gepubliceerd in diverse [rapporten en wetenschappelijke literatuur](#).



Figuur B3.2 Schematisch overzicht van de beschreven processen in het ANIMO-model.

Bijlage 3 Bronnen in de Emissieregistratie

In het onderhavige onderzoek is gebruikgemaakt van emissies van punt- en diffuse bronnen die zijn opgenomen in de Emissieregistratie. Tabel B3.1 geeft een overzicht van de bronnen van nutriënten die in de Emissieregistratie zijn opgenomen. De uit- en afspoeling en lozingen van RWZI's zijn niet ontleend aan de Emissieregistratie, maar voor het onderhavige onderzoek gebied specifiek berekend.

Tabel B3.2 Indeling van de bronnen in de Emissieregistratie aan de doelgroep, subdoelgroep en de indeling die in de ECHO-methodiek wordt gehanteerd.

Subdoelgroep		Bijdrage N of P
Landbouw	Glastuinbouw afvalwater	>1%
	Landbouwbedrijven (o.a. erfafspoeling)	>1%
	Meemesten sloten	0,1 - 1%
	Uit- en afspoeling landelijk gebied (landbouw + natuur)	>1%
Overige industrie	Basismetaal	0,1 - 1%
	Bouwmaterialen industrie	<0,1 %
	Metaalelektro	<0,1 %
	Papier(waren)	0,1 - 1%
	Rubber- en kunststofverwerkende industrie	<0,1 %
	Voedings- en genotmiddelenindustrie	>1%
	Chemische industrie bestrijdingsmiddelen	<0,1 %
	Chemische industrie overig	0,1 - 1%
Raffinaderijen	Raffinage en verwerking	0,1 - 1%
Energie	Opwekking elektriciteit	0,1 - 1%
Verkeer en Vervoer	Binnenscheepvaart	0,1 - 1%
Consumenten	Huishoudelijk afvalwater	0,1 - 1%
Afvalverwijdering	AVI's	0,1 - 1%
	Overige afvalbedrijven	<0,1 %
	Storten	<0,1 %
Riolering en waterzuiveringsinstallaties	Energiegebruik en processen	<0,1 %
	Ongezuiverd rioolwater (regenwaterriolen + overstorten)	0,1 - 1%
	Effluenten lozingen	>1%
Handel, Diensten en Overheid	Energiegebruik en processen handel	<0,1 %
Overig	Atmosferische depositie (open water)	>1%
	Watervogels	<0,1%

In Tabel B3.2 is voor de nutriëntenbronnen het betrouwbaarheidspercentage (%) weergegeven zoals die door de Emissieregistratie wordt ingeschat (bron: www.emissieregistratie.nl). De volgende betrouwbaarheidspercentages worden gehanteerd: 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 100%, 200% en 400%. Een betrouwbaarheid van 1% wil zeggen dat het desbetreffende onderdeel zeer betrouwbaar is; een betrouwbaarheid van 400% betekent een grote onzekerheid in het desbetreffende onderdeel (voor verder toelichting zie www.emissieregistratie.nl).

Tabel B3.1 Betrouwbaarheid (%) van een aantal bronnen uit de Emissieregistratie voor verschillende doelgroepen/subdoelgroepen.

Bron	Betrouwbaarheid					
	Vracht ¹⁾	EVV ¹⁾	EF ²⁾	VC ³⁾	Riool ⁴⁾	Reg ⁵⁾
Glastuinbouw afvalwater	-	5	25-50	25	10	100
Erfafspoeling	-	50	50	25	-	25
Landbouwbedrijven	50-200	-	-	1	10	1-5
Meemesten sloten	-	10	100	1	-	100
Overige industrie ⁷⁾	50-200	5	25	1	10	1-10
Chemische industrie ⁷⁾	50-200	5	25	1	10	1-10
Raffinaderijen	50-200	-	-	1	10	1-5
Energiesector	50-200	-	-	1	10	1-5
Binnenscheepvaart	-	10	25	50	-	50
Huishoudelijk afvalwater	-	1	25	-	10-100	10
Bouw	50-200	-	-	1	10	1-5
Afvalverwijdering ⁷⁾	50-200	5	25	1	10	1-10
Drinkwatervoorziening	50-200	-	-	1	10	1-5
Energiegebruik en processen riolering en RWZI's	50-200	-	-	1	10	1-5
Regenwaterriolen	10	-	-	-	25	200
Overstorten	10	-	-	-	50	200
IBA en niet aangesloten huishoudens	10	-	-	-	100	200
Effluënten lozingen	5	n.v.t.	n.v.t.	1	1	1
Handel, Diensten en Overheid	50-200	-	-	1	10	1-5
Watervogels						
Atmosferische depositie	25	-	-	5-200	10	50

1. Vracht: Berekening jaarvrachten

2. EVV: Emissie-verklarende variabelen

3. EF: Emissiefactor

4. VC: Verdeling compartimenten

5. Riool: Emissieroutes via riool naar water

6. Reg: Regionalisatie

7. Betrouwbaarheid afgeleid uit meerdere factsheets

Bijlage 4 Schematisatie oppervlaktewater

Tabel B4.1 Modelschematisatie KRW-ECHO oppervlaktewateren ('routing') Rijn & IJssel.

nr	Vanggebied	Ontvangt water van	Watert af op	Effluent RWZI
Rijn & IJssel				
1	Baakse Beek benedenstrooms		IJssel	Ruurlo
2	Baakse Beek bovenstrooms	veengoot	Baakse Beek benedenstrooms	Lichtenvoorde
7	Bergerslagbeek		Oude IJssel	
9	Boven Slinge	Duitsland	Bielheimerbeek	
11	Didamse Wetering	Wehlsebeek	IJssel	
14	Grenskanaal	Duitsland	Oude Rijn	
15	Groenlose Slinge	Meibeek Ratumsebeek	Berkel	Winterswijk
17	Grote beek		IJssel	
23	Keizersbeek		Oude IJssel	Aalten
29	Meibeek		Groenlose Slinge	
35	Oosterwijksevoed		IJssel	
36	Oude Rijn	Duitsland	Nederrijn-Lek	
37	Ratumsebeek	Duitsland	Groenlose Slinge	
41	Veengoot	Baakse Beek bovenstrooms	IJssel	
46	Waalse water		Oude IJssel	
47	Wehlsebeek		Didamse Wetering	Wehl
49	Wijdewetering		IJssel	
51	Oude IJssel	Bergerslagbeek Bielheimerbeek (Duitsland) Keizersbeek Waalse water	IJssel	Dinxperlo Etten
52	Vierakkerselaat		IJssel	
53	Berkel	Barchemse Veengoot Groenlose Slinge Ramsbeek Leerinkbeek Duitsland	IJssel	Borculo Haarlo
54	Ramsbeek	Duitsland	Berkel	
55	Leerinkbeek		Berkel	
56	Grote Waterleiding		Twentekanaal	
57	Barchemse Veengoot		Berkel	
58	Eefsebeek		IJssel	
59	zuidelijk afwateringskanaal		Twentekanaal	Neede ¹
60	Dommerbeek		IJssel	
61	Schipbeek	Buurserbeek Nieuwe Waterleiding Dortherbeek-oost Dortherbeek Oude Schipbeek	IJssel	Holten
62	Buurserbeek	Zoddebeek / Duitsland	Schipbeek	
63	Zoddebeek	(Duitsland)	Buurserbeek	
64	Nieuwe Waterleiding		Schipbeek	
65	Dortherbeek-oost		Schipbeek	
66	Oude Schipbeek		Schipbeek	
67	Dortherbeek		Schipbeek	
68	Bielheimerbeek	Boven Slinge	Oude IJssel	Varsseveld

Tabel B4.2 Modelschematisatie KRW-ECHO oppervlaktewateren ('routing') Vallei & Veluwe en Rivierenland.

Nr	Stroomgebied	Ontvangt water van	Watert af op	Effluent RWZI
Vallei & Veluwe				
5	Benedenloop Barneveldse beek	Middenloop Barneveldse Beek Esvelderbeek Hoevelakense Beek	Valleikanaal	
6	Benedenloop Lunterse Beek	Munikkenbeek Bovenloop Lunterse beek	Valleikanaal	
8	Binnenveld	Krakerswijk (zijdewetering)	Valleikanaal	Bennekom
10	Bovenloop Lunterse Beek		Benedenloop Lunterse Beek	
12	Emminkhuizerbeek		IJssel	
13	Esvelderbeek		Benedenloop Barneveldse beek	
16	Groepersloot		IJssel	
18	Grote Valkse Beek		Middenloop Barneveldse Beek	
19	Heelsumse Beek		Nederrijn-Lek	
20	Heiligenbergerbeek	Woudenbergse Grift Liniesloot (bovenstrooms)	IJssel	
21	Hierdensebeek		Randmeren	
22	Hoevelakense beek		Benedenloop Barneveldse beek	
24	Kleine Barneveldse Beek		Middenloop Barneveldse Beek	
25	Kleine Valkse Beek		Middenloop Barneveldse Beek	
26	Krakerswijk (zijdewetering)		Binnenveld	Ede
27	Lapeerse Beek		IJssel	
28	Liniesloot (bovenstrooms)		Heiligenbergerbeek	
30	Middenloop Barneveldse Beek	Grote Valkse Beek Kleine Valkse Beek Kleine Barneveldse Beek	Benedenloop Barneveldse beek	
31	Modderbeek		Valleikanaal	
32	Moorsterbeek		Valleikanaal	
33	Munikkenbeek		Benedenloop Lunterse Beek	
34	Nattegatsloot		IJssel	
38	Schuitenbeek	Veldbeek	Randmeren	
39	Stoutenburg/Musschendorp		Valleikanaal	
40	Valleikanaal	nr. 5 6 8 10 12 16 26 27 31 32 33 34 39 43 45	Eem	
42	Veldbeek		Schuitenbeek	
43	Vlastuinerbeek		IJssel	
44	Voorsterbeek		IJssel	
45	Voskuilerbeek		IJssel	
48	Wiel		Randmeren	
50	Woudenbergse Grift	Valleikanaal (inlaat)	Heiligenbergerbeek	Veenendaal Woudenberg
Rivierenland				
3	Beekrestanten Citters		Maas (via verzamelwetering)	
4	Beken Groesbeek		Waal (via Duitsland en Hollands- Duitskanaal)	Groesbeek- bredeweg

Bijlage 5 Nutriëntenbalansen zomerhalfjaar 2010-2017

nr	vanggebied	waterschap	Af- en uitspoeling fosfor landbouwgronden					af- en uitspoeling overig		overige punt- en diffuse bronnen fosfor					
			actuele mestgiften	historische mestgiften	nalevering	kwel naar bodemprofiel	lokaal infiltratie-water	natuur	stedelijk (gras)	landbouw overig	directe kwel open water	industriële lozingen	overige diffuse bronnen	RWZI's	buitenland (R&I) rijkswater (V&V)
1	Baakse Beek Benedenstroom	R&I	0.02	0.13	0.20	0.03	0.00	0.04	0.05	0.27	0.00	0	0.03	0.26	0
2	Baakse Beek Bovenstroom	R&I	0.01	0.02	0.09	0.01	0.00	0.01	0.02	0.13	0.00	0	0.01	0.24	0
7	Bergerslagbeek	R&I	0.01	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.12	0.00	0	0.02	0	0
9	Boven Slinge	R&I	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.04	0.03	0.05	0.00	0	0.01	0	0.27
11	Didamse Wetering	R&I	0.01	0.07	0.10	0.02	0.00	0.01	0.05	0.09	0.00	0	0.03	0.02	0
14	Grenskanaal	R&I	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	0	0.02	0	0.01
15	Groenlose Slinge	R&I	0.01	0.06	0.09	0.01	0.00	0.03	0.03	0.16	0.00	0.00	0.03	0.12	0.13
17	Grote beek	R&I	0.02	0.07	0.07	0.02	0.00	0.01	0.02	0.08	0.00	0	0.01	0	0
23	Keizersbeek	R&I	0.01	0.03	0.05	0.01	0.00	0.02	0.02	0.09	0.00	0	0.01	0.11	0
29	Meibeek	R&I	0.00	0.03	0.09	0.00	0.00	0.01	0.01	0.12	0.00	0	0.01	0	0
35	Oosterwijksevoed	R&I	0.01	0.06	0.06	0.02	0.00	0.01	0.01	0.08	0.00	0	0.01	0	0
36	Oude Rijn	R&I	0.01	0.03	0.04	0.01	0.00	0.01	0.19	0.05	0.01	0	0.04	0	0.04
37	Ratumsebeek	R&I	0.00	0.03	0.05	0.01	0.00	0.04	0.01	0.09	0.00	0	0.02	0	0.66
41	Veengoot	R&I	0.01	0.02	0.05	0.01	0.00	0.02	0.01	0.10	0.00	0	0.01	0	0
46	Waalse water	R&I	0.01	0.03	0.05	0.01	0.00	0.00	0.04	0.09	0.01	0	0.01	0	0
47	Wehlsebeek	R&I	0.01	0.08	0.09	0.02	0.00	0.00	0.02	0.09	0.00	0	0.06	0.11	0
49	Wijdewetering	R&I	0.01	0.04	0.17	0.02	0.00	0.00	0.15	0.06	0.01	0.00	0.06	0	0
51	Oude IJssel	R&I	0.02	0.07	0.13	0.02	0.00	0.03	0.20	0.24	0.01	0	0.09	0.52	0.15
52	Vierakkerselaat	R&I	0.00	0.02	0.06	0.01	0.00	0.01	0.14	0.07	0.00	0	0.08	0	0
53	Berke	R&I	0.01	0.13	0.19	0.01	0.00	0.06	0.11	0.29	0.01	0.00	0.06	0.37	0.96
54	Ramsbeek	R&I	0.00	0.08	0.09	0.01	0.00	0.03	0.02	0.13	0.00	0.00	0.01	0	0.17
55	Leeringbeek	R&I	0.00	0.06	0.08	0.01	0.00	0.01	0.03	0.14	0.00	0.00	0.01	0	0
56	Grote Waterleiding	R&I	0.00	0.06	0.07	0.01	0.00	0.01	0.01	0.12	0.00	0.00	0.01	0	0
57	Barchemse Veengoot	R&I	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.07	0.00	0	0.03	0	0
58	Eefsebeek	R&I	0.00	0.04	0.04	0.01	0.00	0.01	0.01	0.10	0.00	0.00	0.01	0	0
59	zuidelijk afwateringskanaal	R&I	0.00	0.05	0.06	0.01	0.00	0.01	0.02	0.10	0.00	0.00	0.02	0	0
60	Dommerbeek	R&I	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.00	0	0.02	0	0
61	Schipbeek	R&I	0.02	0.22	0.39	0.05	0.00	0.09	0.22	0.66	0.02	0.02	0.07	0.30	0.50
62	Buurerbeek	R&I	0.01	0.04	0.07	0.01	0.00	0.06	0.04	0.14	0.00	0.00	0.01	0	0.86
63	Zoddebeek	R&I	0.01	0.04	0.06	0.01	0.00	0.02	0.02	0.13	0.00	0.00	0.01	0	0.03
64	Nieuwe Waterleiding	R&I	0.01	0.03	0.07	0.00	0.00	0.03	0.01	0.08	0.00	0.00	0.01	0	0
65	Dorthebeek-oost	R&I	0.00	0.05	0.06	0.01	0.00	0.01	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0	0
66	Oude Schipbeek Groteboersweg	R&I	0.00	0.04	0.07	0.01	0.00	0.00	0.06	0.12	0.00	0	0.02	0	0
67	Dorthebeek	R&I	0.00	0.03	0.06	0.01	0.00	0.01	0.01	0.11	0.00	0.00	0.01	0	0
68	Bielheimerbeek	R&I	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.01	0.04	0.09	0.00	0	0.04	0.04	0.08
3	Beekrestanten Citters	RL	0.00	0.03	0.04	0.00	0.00	0.01	0.12	0.04	0.00	0.00	0.05	0	0
4	Beken Groesbeek	RL	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.00	0	0.03	0.14	0
5	Benedenloop Barneveldse I	V&V	0.17	2.36	1.98	0.23	0.01	0.23	1.16	1.27	0.03	0	0.50	0	0
6	Benedenloop Lunterse Beek	V&V	0.05	1.51	1.79	0.16	0.01	0.13	0.31	0.89	0.01	0	0.22	0	0
8	Binnenveld	V&V	0.03	0.11	0.18	0.02	0.00	0.03	0.16	0.04	0.00	0.00	0.09	0.02	0
10	Bovenloop Lunterse Beek	V&V	0.00	0.12	0.15	0.01	0.00	0.01	0.03	0.08	0.00	0	0.02	0	0
12	Emminkhuizenbeek	V&V	0.01	0.13	0.18	0.01	0.00	0.03	0.01	0.13	0.00	0	0.05	0	0
13	Esveldebeek	V&V	0.01	0.14	0.10	0.01	0.00	0.01	0.07	0.05	0.00	0	0.02	0	0
16	Groepersloot	V&V	0.00	0.21	0.46	0.04	0.01	0.03	0.01	0.14	0.00	0	0.03	0	0
18	Grote Valkse Beek	V&V	0.00	0.12	0.10	0.01	0.00	0.00	0.03	0.07	0.00	0	0.02	0	0
19	Heelsumse Beek	V&V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0	0.01	0	0
20	Heiligenbergerbeek	V&V	0.04	0.36	0.72	0.16	0.01	0.18	0.62	0.17	0.02	0.00	0.30	1.03	0.12
21	Hierdensebeek	V&V	0.02	0.02	0.05	0.01	0.00	0.04	0.01	0.05	0.00	0	0.01	0	0
22	Hoewelakense beek	V&V	0.02	0.11	0.09	0.01	0.00	0.02	0.07	0.10	0.00	0	0.04	0	0
24	Kleine Barneveldse Beek	V&V	0.00	0.10	0.09	0.01	0.00	0.02	0.07	0.07	0.00	0	0.03	0	0
25	Kleine Valkse Beek	V&V	0.02	0.19	0.10	0.01	0.00	0.00	0.02	0.07	0.00	0	0.03	0	0
26	Krakerswijk	V&V	0.01	0.06	0.05	0.01	0.00	0.01	0.52	0.02	0.01	0	0.16	3.48	0
27	Lapeerse Beek	V&V	0.03	0.12	0.32	0.09	0.00	0.06	0.01	0.14	0.00	0	0.03	0	0
28	Linesloot (bovenstrooms)	V&V	0.00	0.19	0.29	0.02	0.00	0.02	0.01	0.05	0.00	0	0.07	0	0
30	Middenloop Barneveldse Beek	V&V	0.03	0.64	0.51	0.05	0.00	0.03	0.21	0.34	0.00	0	0.12	0	0
31	Modderbeek	V&V	0.00	0.13	0.22	0.03	0.00	0.01	0.04	0.14	0.00	0	0.03	0	0
32	Moorsterbeek	V&V	0.01	0.16	0.18	0.01	0.00	0.02	0.01	0.14	0.00	0	0.03	0	0
33	Munikkenbeek	V&V	0.01	0.15	0.18	0.02	0.00	0.01	0.02	0.08	0.00	0	0.02	0	0
34	Nattegatsloot	V&V	0.00	0.12	0.17	0.00	0.00	0.03	0.01	0.14	0.00	0	0.03	0	0
38	Schuitenbeek	V&V	0.01	0.14	0.13	0.01	0.00	0.04	0.03	0.13	0.00	0	0.02	0	0
39	Stoutenburg/Musschendorp	V&V	0.00	0.05	0.30	0.02	0.00	0.01	0.01	0.14	0.00	0	0.03	0	0
40	Valleikanaal	V&V	2.85	30.65	37.71	4.14	0.27	4.15	23.41	19.03	0.61	0.09	11.65	32.76	16.44
42	Veldbeek	V&V	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.02	0.01	0.05	0.00	0	0.00	0	0
43	Vlastuinerbeek	V&V	0.00	0.08	0.10	0.00	0.00	0.01	0.12	0.14	0.00	0	0.03	0	0
44	Voorsterbeek	V&V	0.02	0.07	0.18	0.06	0.00	0.03	0.02	0.09	0.00	0	0.01	0	0
45	Voskuilerbeek	V&V	0.00	0.25	0.37	0.11	0.00	0.01	0.00	0.14	0.00	0	0.03	0	0
48	Wiel	V&V	0.05	0.15	0.50	0.04	0.00	0.02	0.07	0.09	0.00	0	0.02	0	0
50	Woudenbergse Grift	V&V	0.01	0.11	0.24	0.05	0.00	0.06	0.14	0.06	0.01	0.00	0.09	0.53	0.06

Fosfor balansen zomerhalfjaar 2010-2017 in kgP/ha. In gebieden met afwenteling (invloed bovenstrooms) zijn de vrachten blauw weergegeven. Landbouw-overig betreft emissies door erfafspoeling, glastuinbouw en meemesten sloten.

nr	waterschap	Af- en uitspoeling stikstof landbouwgronden						af- en uitspoeling overig		overige punt- en diffuse bronnen stikstof						
		actuele mestgiften	historische mestgiften	nalevering	atmosferische depositie	kwel naar bodemprofiel	lokaal infiltratie-water	natuur	stedelijk (gras)	landbouw overig	directe kwel open water	atm. depositie open water	industriële lozingen	RWZI's	overige diffuse bronnen	buitenland (R&I) rijkswater (V&V)
1	R&I	3.22	0.27	0.98	0.25	0.17	0.05	0.51	0.19	1.19	0.03	0.23	0	1.37	0.17	0
2	R&I	1.43	0.11	0.40	0.11	0.06	0.02	0.14	0.08	0.53	0.01	0.09	0	0.95	0.07	0
7	R&I	1.12	0.10	0.40	0.09	0.04	0.01	0.04	0.06	0.49	0.00	0.06	0	0	0.10	0
9	R&I	1.07	0.08	0.33	0.08	0.06	0.01	0.45	0.11	0.26	0.01	0.07	0	0	0.09	7.36
11	R&I	1.28	0.12	0.39	0.10	0.06	0.02	0.10	0.16	0.41	0.02	0.29	0.00	0.17	0.22	0
14	R&I	0.43	0.04	0.12	0.03	0.01	0.00	0.05	0.06	0.22	0.00	0.03	0	0	0.10	0.17
15	R&I	1.85	0.14	0.48	0.15	0.09	0.02	0.37	0.13	0.68	0.01	0.23	0.00	1.61	0.16	6.61
17	R&I	1.14	0.09	0.45	0.08	0.09	0.05	0.12	0.09	0.38	0.01	0.14	0.00	0	0.08	0
23	R&I	1.05	0.09	0.36	0.08	0.04	0.01	0.29	0.08	0.41	0.01	0.12	0	0.86	0.05	0
29	R&I	1.52	0.11	0.31	0.12	0.07	0.03	0.18	0.03	0.52	0.00	0.12	0	0	0.04	0
35	R&I	1.08	0.10	0.40	0.08	0.07	0.02	0.12	0.06	0.39	0.01	0.06	0	0	0.06	0
36	R&I	0.66	0.05	0.20	0.06	0.03	0.00	0.15	0.26	0.28	0.10	1.16	0	0	0.27	0.97
37	R&I	1.15	0.09	0.38	0.09	0.05	0.01	0.45	0.09	0.38	0.00	0.11	0	0	0.09	30.38
41	R&I	1.17	0.09	0.34	0.09	0.04	0.01	0.33	0.06	0.45	0.01	0.08	0	0	0.05	0
46	R&I	0.71	0.06	0.20	0.06	0.02	0.00	0.01	0.07	0.40	0.04	0.40	0.00	0	0.05	0
47	R&I	1.29	0.10	0.39	0.10	0.10	0.02	0.05	0.14	0.42	0.01	0.13	0.00	1.08	0.35	0
49	R&I	1.14	0.14	0.32	0.09	0.03	0.00	0.01	0.43	0.34	0.06	0.49	0.00	0	0.51	0
51	R&I	2.60	0.22	0.85	0.21	0.11	0.03	0.45	0.48	1.09	0.06	0.66	0.01	5.37	0.52	5.02
52	R&I	0.85	0.07	0.24	0.07	0.06	0.01	0.13	0.37	0.33	0.03	0.30	0	0	0.46	0
53	R&I	3.27	0.26	0.81	0.26	0.17	0.03	0.80	0.34	1.23	0.04	0.65	0.06	3.39	0.35	30.88
54	R&I	1.57	0.12	0.38	0.12	0.08	0.01	0.36	0.07	0.54	0.01	0.21	0.00	0	0.04	10.76
55	R&I	1.44	0.12	0.32	0.11	0.07	0.01	0.15	0.13	0.57	0.01	0.20	0.00	0	0.05	0
56	R&I	1.14	0.09	0.30	0.09	0.05	0.01	0.18	0.03	0.52	0.01	0.18	0.00	0	0.05	0
57	R&I	0.78	0.06	0.18	0.06	0.03	0.01	0.13	0.09	0.34	0.00	0.10	0	0	0.21	0
58	R&I	0.87	0.07	0.25	0.07	0.05	0.01	0.21	0.03	0.44	0.01	0.15	0.00	0	0.07	0
59	R&I	1.19	0.10	0.34	0.09	0.05	0.01	0.17	0.10	0.46	0.01	0.17	0.00	0	0.12	0
60	R&I	0.68	0.05	0.21	0.05	0.04	0.01	0.20	0.08	0.24	0.00	0.04	0.00	0	0.14	0
61	R&I	7.30	0.64	1.91	0.57	0.38	0.08	1.34	0.52	2.73	0.16	1.36	0.01	3.68	0.38	16.23
62	R&I	1.52	0.11	0.37	0.12	0.06	0.03	1.01	0.07	0.58	0.04	0.35	0.00	0	0.07	27.66
63	R&I	1.33	0.10	0.34	0.10	0.05	0.04	0.30	0.02	0.54	0.03	0.21	0.00	0	0.05	1.12
64	R&I	1.19	0.08	0.23	0.09	0.10	0.02	0.47	0.04	0.37	0.00	0.13	0.00	0	0.04	0
65	R&I	1.36	0.12	0.32	0.10	0.05	0.02	0.18	0.01	0.49	0.01	0.12	0.00	0	0.03	0
66	R&I	1.35	0.13	0.38	0.11	0.06	0.01	0.08	0.16	0.50	0.04	0.43	0	0	0.09	0
67	R&I	0.96	0.08	0.26	0.07	0.08	0.01	0.12	0.04	0.48	0.01	0.15	0.00	0	0.05	0
68	R&I	0.97	0.08	0.33	0.08	0.04	0.01	0.22	0.12	0.42	0.01	0.21	0.00	0.60	0.21	2.07
3	RL	0.58	0.05	0.15	0.07	0.01	0.00	0.16	0.25	0.26	0.03	0.62	0.00	0	0.36	0
4	RL	0.22	0.02	0.05	0.03	0.00	0.00	0.21	0.07	0.17	0.00	0.03	0	1.20	0.17	0
5	V&V	35.55	4.51	10.25	4.45	3.40	0.15	2.74	5.83	5.08	0.21	2.70	0	0	3.23	0
6	V&V	26.24	2.94	7.24	3.13	1.23	0.13	1.38	1.70	3.50	0.05	0.71	0	0	1.23	0
8	V&V	2.46	0.24	0.86	0.26	0.23	0.03	0.29	0.97	0.19	0.03	0.14	0.01	0.34	0.81	0
10	V&V	2.24	0.25	0.59	0.26	0.09	0.01	0.10	0.14	0.32	0.00	0.07	0	0	0.11	0
12	V&V	2.14	0.26	0.70	0.25	0.06	0.01	0.31	0.01	0.52	0.00	0.17	0	0	0.31	0
13	V&V	2.23	0.29	0.59	0.29	0.24	0.01	0.12	0.29	0.23	0.01	0.31	0	0	0.11	0
16	V&V	4.05	0.44	2.56	0.38	2.51	0.24	0.37	0.01	0.55	0.03	0.16	0	0	0.20	0
18	V&V	1.95	0.25	0.50	0.25	0.16	0.01	0.04	0.25	0.29	0.00	0.08	0	0	0.18	0
19	V&V	0.07	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.25	0.04	0.05	0.00	0.15	0	0	0.10	0
20	V&V	7.12	0.77	2.63	0.76	1.33	0.09	2.13	2.91	0.73	0.13	0.64	0.00	11.65	2.51	3.29
21	V&V	0.69	0.06	0.32	0.07	0.19	0.02	0.71	0.05	0.21	0.01	0.11	0	0	0.05	0
22	V&V	1.77	0.23	0.58	0.22	0.15	0.01	0.29	0.46	0.39	0.02	0.09	0	0	0.27	0
24	V&V	1.49	0.19	0.43	0.18	0.13	0.01	0.28	0.38	0.29	0.00	0.08	0	0	0.18	0
25	V&V	2.66	0.34	0.79	0.34	0.20	0.01	0.04	0.18	0.30	0.00	0.08	0	0	0.18	0
26	V&V	1.26	0.12	0.36	0.15	0.05	0.00	0.10	1.99	0.09	0.09	0.17	0	38.01	1.15	0
27	V&V	3.78	0.35	0.95	0.43	0.39	0.02	0.63	0.08	0.58	0.01	0.17	0	0	0.18	0
28	V&V	3.77	0.46	1.45	0.44	0.46	0.05	0.22	0.04	0.21	0.00	0.18	0	0	0.59	0
30	V&V	9.62	1.23	2.67	1.22	0.68	0.04	0.41	1.28	1.35	0.02	0.37	0	0	0.83	0
31	V&V	2.84	0.28	0.69	0.33	0.12	0.01	0.08	0.15	0.58	0.01	0.17	0	0	0.16	0
32	V&V	2.55	0.34	0.80	0.31	0.15	0.01	0.25	0.05	0.58	0.00	0.17	0	0	0.17	0
33	V&V	2.67	0.28	0.78	0.31	0.10	0.01	0.13	0.14	0.32	0.00	0.07	0	0	0.12	0
34	V&V	2.11	0.28	0.59	0.25	0.12	0.01	0.34	0.03	0.57	0.00	0.16	0	0	0.16	0
38	V&V	2.21	0.27	0.58	0.27	0.34	0.01	0.60	0.26	0.56	0.00	0.13	0	0	0.24	0
39	V&V	2.25	0.21	0.83	0.20	0.38	0.04	0.11	0.05	0.57	0.00	0.17	0	0	0.20	0
40	V&V	529.02	60.36	163.33	61.97	48.58	3.96	45.14	109.01	74.54	5.76	33.03	0.67	361.37	82.89	436.12
42	V&V	0.75	0.09	0.22	0.09	0.08	0.00	0.35	0.05	0.23	0.00	0.01	0	0	0.02	0
43	V&V	1.48	0.19	0.37	0.19	0.07	0.01	0.17	0.70	0.58	0.01	0.17	0	0	0.19	0
44	V&V	1.92	0.18	0.64	0.20	0.31	0.01	0.29	0.06	0.43	0.01	0.15	0	0	0.06	0
45	V&V	3.72	0.46	1.63	0.40	0.54	0.02	0.16	0.00	0.58	0.01	0.17	0	0	0.18	0
48	V&V	5.05	0.30	1.21	0.40	0.98	0.08	0.25	0.38	0.41	0.05	0.31	0	0	0.11	0
50	V&V	2.53	0.27	0.91	0.27	0.52	0.04	0.76	0.72	0.25	0.04	0.21	0.00	6.03	0.79	1.71

Stikstof balansen zomerhalfjaar 2010-2017 in kgN/ha. In gebieden met afwenteling (invloed bovenstrooms) zijn de vrachten blauw weergegeven. Landbouw-overig betreft emissies door erfafspoeling, glastuinbouw en meemesten sloten

Bijlage 6 Nutriëntenbalansen jaargemiddeld 2010-2017

fosfor jaarvracht kg/ha 2010-2017													
nr.	water schap	uit- en afspoeling landelijk gebied	uit- en afspoeling stedelijk	landbouw overig	industriële lozingen	overige diffuse bronnen	RWZI's	directe kwel open water	Inlaat	afwenteling	Totaal IN	Retentie (%)	Totaal UIT
1	R&IJ	0.70	0.06	0.18	0	0.02	0.10	0.00	0	2.28	3.3	16%	2.8
2	R&IJ	0.79	0.05	0.25	0	0.02	0.48	0.00	0	0	1.6	11%	1.4
7	R&IJ	0.57	0.03	0.23	0	0.03	0	0.00	0	0	0.9	8%	0.8
9	R&IJ	0.26	0.02	0.03	0	0.01	0	0.00	0.26	0	0.6	13%	0.5
11	R&IJ	0.67	0.10	0.14	0	0.04	0	0.01	0	0.23	1.2	10%	1.1
14	R&IJ	0.15	0.02	0.04	0	0.01	0	0.00	0.01	0	0.2	9%	0.2
15	R&IJ	0.74	0.07	0.20	0.00	0.04	0.20	0.00	0.10	0.67	2.0	14%	1.7
17	R&IJ	0.73	0.05	0.17	0	0.03	0	0.00	0	0	1.0	6%	0.9
23	R&IJ	0.68	0.06	0.18	0	0.02	0.22	0.00	0	0	1.2	10%	1.1
29	R&IJ	0.90	0.02	0.24	0	0.02	0	0.00	0	0	1.2	6%	1.1
35	R&IJ	0.66	0.04	0.17	0	0.02	0	0.00	0	0	0.9	6%	0.8
36	R&IJ	0.22	0.30	0.05	0	0.06	0	0.02	0.09	0.20	0.9	27%	0.7
37	R&IJ	0.34	0.02	0.08	0	0.02	0	0.00	0.68	0	1.1	15%	1.0
41	R&IJ	0.64	0.04	0.21	0	0.01	0	0.00	0	0	0.9	8%	0.8
46	R&IJ	0.48	0.10	0.18	0	0.02	0	0.01	0	0	0.8	10%	0.7
47	R&IJ	0.78	0.07	0.18	0	0.11	0.22	0.00	0	0	1.4	10%	1.2
49	R&IJ	0.83	0.36	0.13	0.00	0.12	0	0.02	0	0	1.5	11%	1.3
51	R&IJ	0.48	0.33	0.14	0	0.10	0.86	0.01	1.23	2.35	5.5	19%	4.5
52	R&IJ	0.50	0.33	0.15	0	0.16	0	0.01	0	0	1.1	12%	1.0
53	R&IJ	0.58	0.16	0.15	0.01	0.06	0.56	0.01	2.49	3.02	7.0	19%	5.7
54	R&IJ	1.04	0.04	0.25	0.00	0.01	0	0.00	0.42	0	1.8	10%	1.6
55	R&IJ	0.88	0.08	0.27	0.00	0.02	0	0.00	0	0	1.3	7%	1.2
56	R&IJ	0.68	0.02	0.25	0.00	0.02	0	0.00	0	0	1.0	7%	0.9
57	R&IJ	0.55	0.06	0.15	0	0.07	0	0.00	0	0	0.8	40%	0.5
58	R&IJ	0.49	0.02	0.17	0.00	0.02	0	0.00	0	0	0.7	7%	0.7
59	R&IJ	0.58	0.06	0.18	0.00	0.04	0	0.00	0	0	0.8	8%	0.8
60	R&IJ	0.39	0.05	0.09	0	0.04	0	0.00	0	0	0.6	7%	0.5
61	R&IJ	0.60	0.19	0.20	0.04	0.03	0.60	0.01	0	115.23	116.9	20%	93.3
62	R&IJ	0.58	0.06	0.11	0.00	0.02	0	0.01	169.01	20.78	190.6	20%	152.5
63	R&IJ	0.78	0.03	0.27	0.00	0.02	0	0.01	33.29	0	34.4	20%	27.7
64	R&IJ	0.80	0.02	0.16	0.00	0.02	0	0.00	0	0	1.0	6%	1.0
65	R&IJ	0.80	0.01	0.22	0.00	0.01	0	0.00	0	0	1.0	6%	1.0
66	R&IJ	0.60	0.15	0.24	0	0.03	0	0.01	0	0	1.0	10%	0.9
67	R&IJ	0.59	0.03	0.22	0.00	0.02	0	0.00	0	0	0.9	8%	0.8
68	R&IJ	0.45	0.08	0.15	0	0.06	0.08	0.00	0	0.54	1.4	14%	1.2
3	RL	0.41	0.28	0.09	0.00	0.10	0	0.01	0	0	0.9	34%	0.6
4	RL	0.29	0.05	0.06	0	0.05	0.28	0.00	0	0	0.7	13%	0.6
5	V&V	1.86	0.35	0.15	0	0.10	0	0.02	0	28.14	30.6	19%	24.8
6	V&V	1.53	0.16	0.16	0	0.04	0	0.00	0	18.58	20.5	19%	16.6
8	V&V	1.29	0.44	0.09	0.00	0.19	0.05	0.01	0	0	2.1	10%	1.9
10	V&V	1.38	0.08	0.16	0	0.04	0	0.00	0	0	1.7	5%	1.6
12	V&V	1.61	0.01	0.25	0	0.09	0	0.00	0	0	2.0	5%	1.9
13	V&V	1.23	0.19	0.10	0	0.04	0	0.00	0	0	1.6	6%	1.5
16	V&V	2.38	0.02	0.27	0	0.06	0	0.00	0	0	2.7	4%	2.6
18	V&V	1.15	0.11	0.14	0	0.05	0	0.00	0	0	1.5	5%	1.4
19	V&V	0.10	0.02	0.01	0	0.03	0	0.00	0	0	0.2	10%	0.1
20	V&V	1.10	0.88	0.09	0	0.20	0	0.01	0	8.07	10.4	19%	8.4
21	V&V	0.57	0.03	0.09	0	0.01	0	0.00	0	0	0.7	7%	0.7
22	V&V	1.12	0.22	0.19	0	0.09	0	0.00	0	0	1.6	7%	1.5
24	V&V	1.04	0.21	0.14	0	0.05	0	0.00	0	0	1.4	9%	1.3
25	V&V	1.45	0.07	0.15	0	0.05	0	0.00	0	0	1.7	4%	1.6
26	V&V	0.58	1.25	0.03	0	0.32	6.90	0.02	0	0	9.1	19%	7.4
27	V&V	2.28	0.03	0.29	0	0.06	0	0.00	0	0	2.7	4%	2.6
28	V&V	2.02	0.02	0.09	0	0.14	0	0.00	0	0	2.3	5%	2.2
30	V&V	1.29	0.23	0.14	0	0.05	0	0.00	0	6.04	7.8	17%	6.4
31	V&V	1.69	0.10	0.29	0	0.06	0	0.00	0	0	2.1	6%	2.0
32	V&V	1.69	0.02	0.29	0	0.06	0	0.00	0	0	2.1	5%	2.0
33	V&V	1.61	0.07	0.16	0	0.04	0	0.00	0	0	1.9	4%	1.8
34	V&V	1.55	0.03	0.28	0	0.05	0	0.00	0	0	1.9	6%	1.8
38	V&V	0.90	0.09	0.14	0	0.04	0	0.00	0	0.87	2.0	12%	1.8
39	V&V	1.55	0.02	0.29	0	0.06	0	0.00	0	0	1.9	6%	1.8
40	V&V	0.53	3.82	0.03	0.11	0.78	0	0.24	25.91	541.18	572.6	20%	457.8
42	V&V	0.58	0.02	0.11	0	0.01	0	0.00	0	0	0.7	5%	0.7
43	V&V	0.88	0.37	0.29	0	0.06	0	0.00	0	0	1.6	11%	1.4
44	V&V	1.49	0.05	0.19	0	0.02	0	0.01	0	0	1.7	6%	1.7
45	V&V	2.78	0.01	0.29	0	0.06	0	0.00	0	0	3.1	4%	3.0
48	V&V	2.57	0.18	0.17	0	0.04	0	0.01	0	0	3.0	46%	1.6
50	V&V	1.45	0.25	0.09	0	0.14	1.01	0.01	0	0.63	3.6	13%	3.1

Fosforbalansen jaargemiddeld 2010-2017 in kgP/ha/j. De afwenteling is hier apart weergegeven en niet verwerkt in de overige balansposten.

stikstof jaarvracht kg/ha 2010-2017														
nr.	water schap	uit- en afspoeling landelijk gebied	uit- en afspoeling stedelijk	landbouw overig	atm. depositie	industriële lozingen	overige diffuse bronnen	RWZI's	directe kwel open water	Inlaat	afwenteling	Totaal IN	Retentie (%)	Totaal UIT
1	R&IJ	10.3	0.3	0.8	0.2	0	0.1	1.1	0.0	0	26.9	40	19%	32
2	R&IJ	15.2	0.5	1.1	0.2	0	0.1	1.9	0.0	0	0	19	17%	16
7	R&IJ	14.9	0.5	1.0	0.1	0	0.2	0	0.0	0	0	17	15%	14
9	R&IJ	4.6	0.2	0.2	0.0	0	0.1	0	0.0	10.9	0	16	20%	13
11	R&IJ	8.8	0.6	0.7	0.5	0.0	0.3	0	0.0	0	2.3	13	18%	11
14	R&IJ	2.0	0.1	0.2	0.0	0	0.1	0	0.0	0.4	0	3	18%	2
15	R&IJ	12.5	0.5	0.8	0.3	0.0	0.2	2.9	0.0	9.8	22.5	50	19%	40
17	R&IJ	10.9	0.5	0.8	0.3	0.0	0.2	0	0.0	0	0	13	16%	11
23	R&IJ	14.2	0.5	0.8	0.2	0	0.1	1.7	0.0	0	0	18	17%	15
29	R&IJ	16.5	0.2	1.0	0.2	0	0.1	0	0.0	0	0	18	17%	15
35	R&IJ	11.6	0.3	0.8	0.1	0	0.1	0	0.0	0	0	13	15%	11
36	R&IJ	4.3	0.6	0.3	1.8	0	0.4	0	0.1	3.0	2.1	13	30%	9
37	R&IJ	7.0	0.3	0.3	0.1	0	0.1	0	0.0	55.6	0	63	20%	51
41	R&IJ	15.7	0.4	0.9	0.2	0	0.1	0	0.0	0	0	17	18%	14
46	R&IJ	6.6	0.3	0.8	0.8	0.0	0.1	0	0.1	0	0	9	18%	7
47	R&IJ	9.8	0.6	0.8	0.3	0.0	0.7	2.2	0.0	0	0	14	18%	12
49	R&IJ	7.4	1.6	0.7	1.0	0.0	1.0	0	0.1	0	0	12	20%	9
51	R&IJ	8.8	1.5	0.7	0.6	0.0	0.6	9.1	0.1	44.5	38.5	104	20%	83
52	R&IJ	8.3	1.7	0.7	0.6	0	0.9	0	0.1	0	0	12	18%	10
53	R&IJ	10.1	0.8	0.7	0.7	0.1	0.3	4.2	0.0	92.7	63.1	173	20%	138
54	R&IJ	14.5	0.3	1.1	0.4	0.0	0.1	0	0.0	34.1	0	50	19%	41
55	R&IJ	13.0	0.7	1.1	0.4	0.0	0.1	0	0.0	0	0	15	17%	13
56	R&IJ	11.1	0.2	1.0	0.4	0.0	0.1	0	0.0	0	0	13	17%	11
57	R&IJ	10.2	0.7	0.7	0.2	0	0.4	0	0.0	0	0	12	45%	7
58	R&IJ	8.8	0.2	0.7	0.2	0.0	0.1	0	0.0	0	0	10	17%	8
59	R&IJ	10.2	0.5	0.8	0.3	0.0	0.2	0	0.0	0	0	12	17%	10
60	R&IJ	9.6	0.6	0.5	0.1	0.0	0.3	0	0.0	0	0	11	16%	9
61	R&IJ	13.2	0.7	0.9	0.4	0.0	0.2	7.4	0.1	0	187.7	211	22%	164
62	R&IJ	12.8	0.3	0.5	0.4	0.0	0.1	0	0.0	169.0	30.4	214	20%	171
63	R&IJ	15.0	0.1	1.1	0.4	0.0	0.1	0	0.1	33.3	0	50	19%	40
64	R&IJ	14.9	0.2	0.7	0.3	0.0	0.1	0	0.0	0	0	16	16%	14
65	R&IJ	15.5	0.0	1.0	0.2	0.0	0.1	0	0.0	0	0	17	17%	14
66	R&IJ	12.6	0.7	1.0	0.9	0	0.2	0	0.1	0	0	15	18%	13
67	R&IJ	11.7	0.2	1.0	0.3	0.0	0.1	0	0.0	0	0	13	17%	11
68	R&IJ	12.8	0.7	0.7	0.4	0.0	0.4	1.2	0.0	0	13.5	30	19%	24
3	RL	5.5	1.0	0.5	1.2	0.0	0.7	0	0.1	0	0	9	38%	6
4	RL	3.8	0.5	0.3	0.1	0	0.3	2.4	0.0	0	0	7	19%	6
5	V&V	18.9	1.9	0.6	0.2	0	0.7	0	0.1	0	300.6	323	20%	259
6	V&V	22.0	1.3	0.7	0.1	0	0.2	0	0.0	0	190.3	215	20%	172
8	V&V	15.3	3.3	0.4	0.3	0.0	1.6	1.0	0.1	0	0	22	19%	18
10	V&V	18.1	0.7	0.6	0.1	0	0.2	0	0.0	0	0	20	17%	17
12	V&V	17.0	0.0	1.0	0.3	0	0.6	0	0.0	0	0	19	17%	16
13	V&V	17.4	1.2	0.5	0.6	0	0.2	0	0.0	0	0	20	17%	17
16	V&V	29.2	0.0	1.1	0.3	0	0.4	0	0.1	0	0	31	16%	26
18	V&V	15.5	1.2	0.6	0.2	0	0.4	0	0.0	0	0	18	15%	15
19	V&V	2.2	0.3	0.1	0.3	0	0.2	0	0.0	0	0	3	20%	2
20	V&V	10.9	4.9	0.4	0.4	0	1.7	0	0.1	0	86.6	105	20%	84
21	V&V	9.8	0.2	0.4	0.2	0	0.1	0	0.0	0	0	11	19%	9
22	V&V	14.6	2.0	0.8	0.2	0	0.5	0	0.0	0	0	18	16%	15
24	V&V	13.6	1.8	0.6	0.2	0	0.4	0	0.0	0	0	17	20%	13
25	V&V	19.4	0.8	0.6	0.2	0	0.4	0	0.0	0	0	21	14%	18
26	V&V	8.4	7.3	0.2	0.3	0	2.3	97.9	0.2	0	0	117	20%	93
27	V&V	24.2	0.3	1.2	0.3	0	0.4	0	0.0	0	0	26	15%	22
28	V&V	24.9	0.1	0.4	0.4	0	1.2	0	0.0	0	0	27	18%	22
30	V&V	15.9	1.6	0.6	0.2	0	0.4	0	0.0	0	65.4	84	20%	67
31	V&V	19.4	0.6	1.2	0.3	0	0.3	0	0.0	0	0	22	16%	18
32	V&V	20.7	0.2	1.2	0.3	0	0.3	0	0.0	0	0	23	17%	19
33	V&V	19.3	0.6	0.6	0.1	0	0.2	0	0.0	0	0	21	16%	18
34	V&V	18.9	0.1	1.1	0.3	0	0.3	0	0.0	0	0	21	18%	17
38	V&V	13.2	1.0	0.6	0.2	0	0.4	0	0.0	0	10.7	26	18%	21
39	V&V	16.8	0.2	1.1	0.3	0	0.4	0	0.0	0	0	19	18%	15
40	V&V	6.1	4.4	0.2	0.8	0.8	7.3	0	3.5	768.2	5605.0	6396	20%	5115
42	V&V	9.2	0.3	0.5	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0	10	17%	8
43	V&V	11.9	3.2	1.2	0.3	0	0.4	0	0.0	0	0	17	20%	14
44	V&V	17.7	0.3	0.9	0.3	0	0.1	0	0.0	0	0	19	18%	16
45	V&V	24.9	0.0	1.2	0.3	0	0.4	0	0.0	0	0	27	16%	23
48	V&V	26.4	1.2	0.8	0.6	0	0.2	0	0.1	0	0	29	47%	16
50	V&V	16.9	1.7	0.4	0.4	0	1.2	11.3	0.1	0	9.5	41	19%	34

Stikstofbalansen jaargemiddeld 2010-2017 in kgP/ha/j. De afwenteling is hier apart weergegeven en niet verwerkt in de overige balansposten.

Bijlage 7 KRW-opgave nutriënten 2014-2017

nr	vanggebied	P-conc 2015-2017	P-norm KRW	P-belasting door grondwater	reductie opgave P (%)	P-opgave (kgN/ha)				
	vanggebied	mgP/L	mgP/l	[%]	(%)	landbouw	waterschap	gemeente	buitenland	Rijk
2	Baakse Beek Bovenstrooms	0.23	0.11	28%	52%	0.10	0.17	0.00	0	0
9	Boven Slinge	0.31	0.11	32%	65%	0.08	0.01	0.01	0.23	0
15	Groenlose Slinge	0.131	0.11	34%	16%	0.05	0.03	0.00	0.03	0
37	Ratumsebeek	0.159	0.11	15%	31%	0.04	0.00	0.00	0.23	0
51	Oude IJssel	0.116	0.11	30%	5%	0.02	0.04	0.00	0.01	0
53	Berkel	0.209	0.11	23%	47%	0.25	0.23	0.02	0.55	0
58	Eefsebeek	0.2	0.11	48%	45%	0.10	0.00	0.00	0	0
62	Buurserbeek	0.14	0.11	19%	21%	0.05	0.00	0.00	0.22	0
4	Beken Groesbeek	0.367	0.11	16%	70%	0.03	0.12	0.01	0	0
5	Benedenloop Barneveldse beek	0.20	0.11	77%	44%	3.10	0.21	0.21	0	0
6	Benedenloop Lunterse Beek	0.35	0.11	77%	69%	3.19	0.14	0.14	0	0
10	Bovenloop Lunterse Beek	0.35	0.11	76%	69%	0.26	0.01	0.01	0	0
13	Esveldebeek	0.16	0.11	83%	30%	0.11	0.01	0.01	0	0
18	Grote Valkse Beek	0.16	0.11	73%	31%	0.10	0.01	0.01	0	0
20	Heiligenbergerbeek	0.21	0.11	56%	48%	0.51	1.05	0.13	0	0.10
21	Hierdensebeek	0.11	0.11	69%	3%	0.01	0.00	0.00	0	0
22	Hoewelakense beek	0.22	0.11	70%	51%	0.20	0.02	0.02	0	0
24	Kleine Barneveldse Beek	0.15	0.11	74%	25%	0.08	0.01	0.01	0	0
26	Krakerswijk	0.35	0.11	15%	69%	0.08	2.84	0.06	0	0
30	Middenloop Barneveldse Beek	0.21	0.11	76%	48%	0.83	0.05	0.05	0	0
31	Modderbeek	0.17	0.11	71%	36%	0.20	0.01	0.01	0	0
32	Moorsterbeek	0.31	0.11	69%	65%	0.33	0.01	0.01	0	0
38	Schuitenbeek	0.18	0.11	69%	40%	0.19	0.01	0.01	0	0
40	Valleikanaal	0.22	0.11	53%	51%	43.11	31.74	4.78	0	13.49
42	Veldbeek	0.28	0.11	68%	61%	0.11	0.00	0.00	0	0
44	Voorsterbeek	0.14	0.11	78%	20%	0.09	0.00	0.00	0	0
48	Wiel	0.26	0.15	81%	42%	0.38	0.01	0.01	0	0
50	Woudenbergse Grift	0.21	0.11	45%	48%	0.14	0.44	0.04	0	0.05

Toestand fosfor zomerhalfjaar 2015-2017, het aandeel grondwater in de belasting, de KRW-opgave (percentage vrachtreductie) en in kg/ha (zomerhalfjaar 2014-2017) verdeeld over de sectoren volgens variant B (bovengrens).

nr	vanggebied	N-conc 2015-20	N-doel mgN/l	N-belasting door grondwater	reductie opgave N (%)	N-opgave (kgN/ha)				
	vanggebied	mgN/L	mgN	[%]	(%)	landbouw	waterscha	gemeente	buitenland	Rijk
2	Baakse Beek Bovenstrooms	3.00	2.30	59%	23%	0.6	0.3	0.01	0	0
9	Boven Slinge	6.24	2.30	22%	63%	1.0	0.03	0.03	5.2	0
11	Didamse Wetering	3.37	2.80	64%	17%	0.5	0.1	0.03	0	0
14	Grenskanaal	2.82	2.40	52%	15%	0.1	0.01	0.01	0.03	0
15	Groenlose Slinge	4.99	2.30	26%	54%	1.6	1.0	0.05	4.0	0
23	Keizersbeek	2.90	2.30	58%	21%	0.5	0.3	0.01	0	0
37	Ratumsebeek	6.36	2.30	7%	64%	1.1	0.03	0.03	20.1	0
46	Waalse water	3.06	2.40	52%	22%	0.4	0.01	0.01	0	0
47	Wehlsebeek	7.54	2.40	51%	68%	1.6	1.1	0.15	0	0
51	Oude IJssel	4.73	2.30	27%	51%	2.4	3.5	0.16	3.1	0
53	Berkel	6.14	2.30	14%	63%	3.2	2.4	0.12	20.8	0
54	Ramsbeek	6.38	2.30	19%	64%	1.6	0.01	0.01	7.5	0
55	Leeringbeek	3.78	2.30	73%	39%	1.2	0.01	0.01	0	0
56	Grote Waterleiding	2.62	2.40	69%	8%	0.2	0.003	0.00	0	0
61	Schipbeek	4.70	2.30	35%	51%	6.6	2.4	0.12	10.0	0
62	Buursebeek	4.73	2.30	10%	51%	1.2	0.02	0.02	15.2	0
63	Zoddebeek	5.66	2.30	55%	59%	1.6	0.02	0.02	0.9	0
64	Nieuwe Waterleiding	3.81	2.30	80%	40%	1.1	0.01	0.01	0	0
66	Oude Schipbeek Groteboerswt	2.41	2.30	68%	5%	0.1	0.003	0.00	0	0
68	Bielheimerbeek	3.08	2.30	35%	25%	0.5	0.2	0.03	0.6	0
3	Beekrestanten Citters	4.21	2.3	48%	45%	0.82	0.17	0.16	0	0
4	Beken Groesbeek	3.03	2.3	26%	24%	0.12	0.38	0.02	0	0
6	Benedenloop Lunterse Beek	2.86	2.30	87%	20%	9.34	0.18	0.18	0	0
10	Bovenloop Lunterse Beek	2.86	2.30	88%	20%	0.79	0.02	0.02	0	0
13	Esveldebeek	2.56	2.30	86%	10%	0.46	0.01	0.01	0	0
18	Grote Valkse Beek	3.70	2.30	86%	38%	1.39	0.05	0.05	0	0
19	Heelsumse Beek	12.45	2.30	54%	82%	0.31	0.13	0.13	0	0
21	Hierdensebeek	4.24	2.30	80%	46%	1.08	0.03	0.03	0	0
24	Kleine Barneveldse Beek	2.72	2.30	85%	15%	0.52	0.02	0.02	0	0
26	Krakerswijk	5.00	2.30	9%	54%	0.85	22.32	0.33	0	0
30	Middenloop Barneveldse Beek	3.31	2.30	87%	31%	5.63	0.19	0.19	0	0
32	Moorsterbeek	2.69	2.30	83%	14%	0.74	0.02	0.02	0	0
38	Schuitenbeek	2.36	2.30	83%	3%	0.13	0.01	0.01	0	0
40	Valleikanaal	2.73	2.30	47%	16%	136.44	82.92	8.52	0	89.63
42	Veldbeek	2.86	2.30	86%	20%	0.36	0.00	0.00	0	0
44	Voorsterbeek	2.90	2.30	85%	21%	0.86	0.01	0.01	0	0

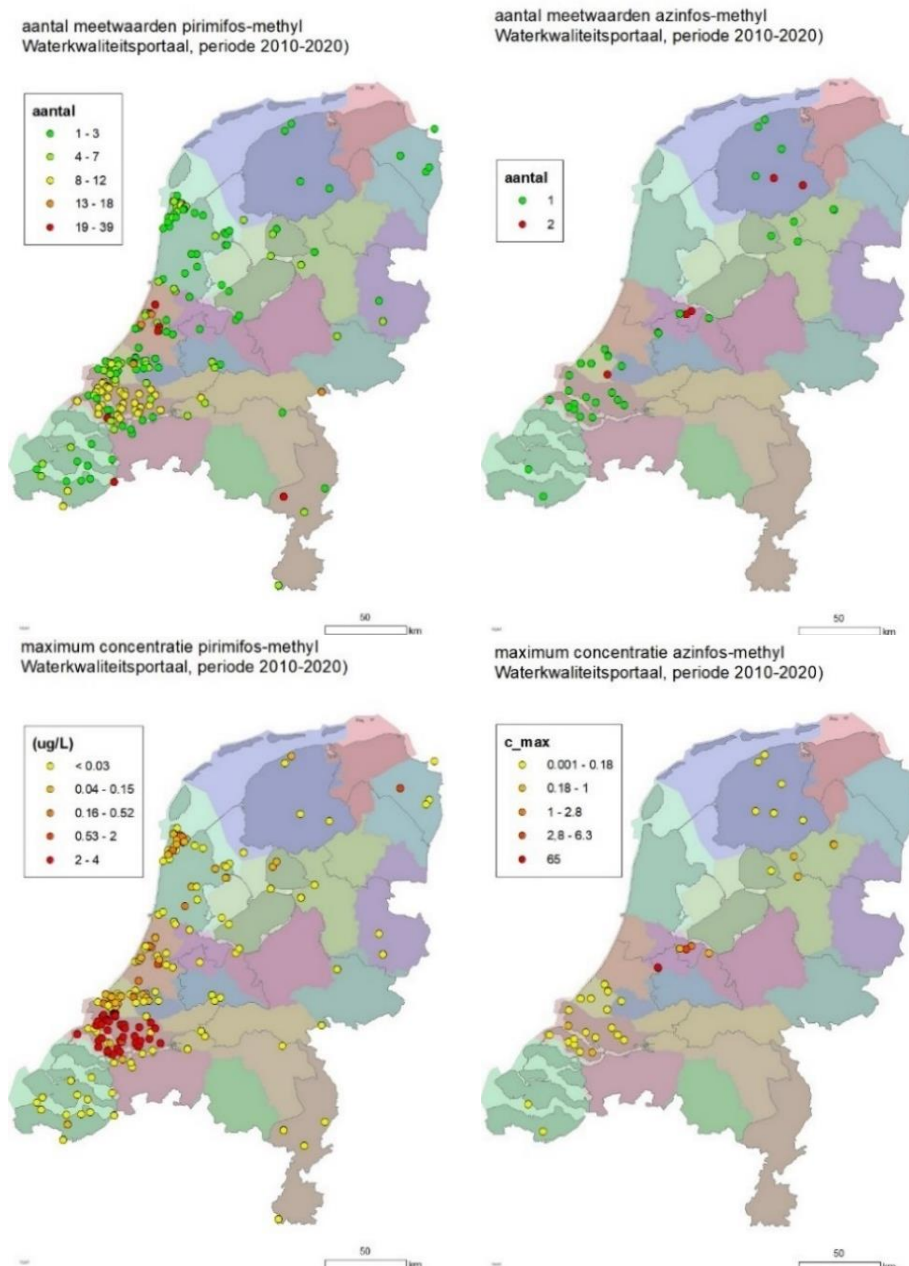
Toestand stikstof zomerhalfjaar 2015-2017, het aandeel grondwater in de belasting, de KRW-opgave (percentage vrachtreductie) en in kg/ha (zomerhalfjaar 2014-2017) verdeeld over de sectoren volgens variant B (bovengrens).

Bijlage 8 Bestrijdingsmiddelen gemeten in oppervlaktewater

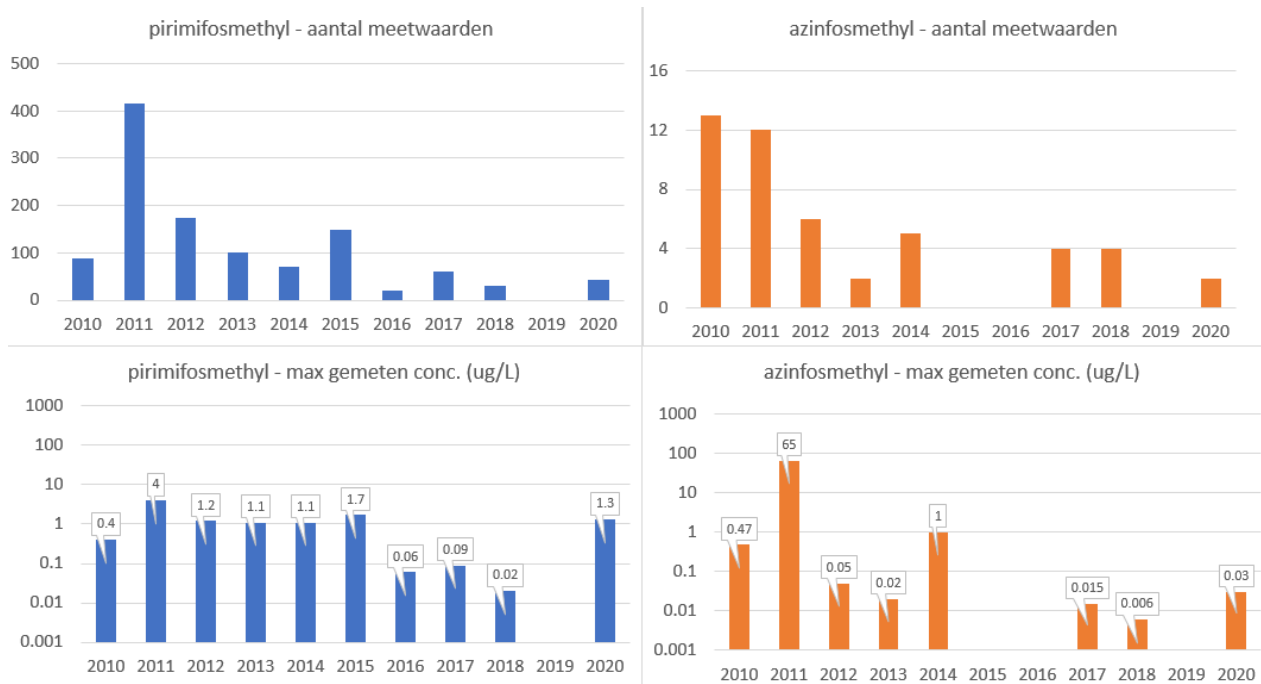
Deze bijlage geeft een landelijk overzicht van het aantreffen van de bestrijdingsmiddelen pirimifos-methyl en azinfos-methyl in de database van het Waterkwaliteitsportaal voor de periode 2010-2020.

Aantallen per stof en meetresultaat

stofnaam	CAS-nr.	data regels (meetresultaat)	limietwaarden (limietwaarde)	meetwaarden (conc.)
pirimifos-methyl	29232-93-7	36579	35429	1150
azinfos-methyl	86-50-0	30270	30222	48



Aantallen meetwaarden per meetpunt, maximum gemeten concentratie per meetpunt (Waterkwaliteitsportaal, periode 2010 t/m 2020).



Aantallen meetwaarden per jaar, maximum gemeten concentratie op jaarbasis (Waterkwaliteitsportaal, periode 2010 t/m 2020).

Disclaimer: WENR staat niet in voor de juistheid van de gegevens op het Waterkwaliteitsportaal (WKP) die in deze notitie met bijlagen zijn gepresenteerd.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3194
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, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3194
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, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.

