

Landelijke bronnenanalyse nutriënten regionale oppervlaktewaterlichamen Kaderrichtlijn Water

Peter Schipper, Mattijs Hehenkamp, Yanjiao Mi-Gegotek, Piet Groenendijk, Leo Renaud, Erwin van Boekel,
Wieneke Savonije



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Landelijke bronnenanalyse nutriënten regionale oppervlaktewaterlichamen Kaderrichtlijn Water

Peter Schipper, Mattijs Hehenkamp, Yanjiao Mi-Gegotek, Piet Groenendijk, Leo Renaud, Erwin van Boekel,
Wieneke Savonije

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (projectnummer BO-43-206.01-017).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, juni 2025

Gereviewd door:

Gert Jan Reinds, Senior onderzoeker bodem en waterkwaliteit en mestverwerking

Akkoord voor publicatie:

Gert Jan Reinds, Teamleider Duurzaam Bodembeheer

Rapport 3442

ISSN 1566-7197

Schipper, Peter, Mattijs Hehenkamp, Yanjiao Mi-Gegotek, Piet Groenendijk, Leo Renaud, Erwin van Boekel, Wieneke Savonije, 2025. *Landelijke bronnenanalyse nutriënten regionale oppervlaktewaterlichamen Kaderrichtlijn Water*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3442. 122 blz.; 22 fig.; 17 tab.; 46 ref.

Trefwoorden: Kaderrichtlijn Water, oppervlaktewater kwaliteit, stikstof, fosfor, nitraat, bronnenanalyse, nutriëntenbalans, herkomst nutriënten, afspoeling, uitspoeling meststoffen, rioolwaterzuiveringen, emissieregistratie, landbouw bijdrage, retentie, KRW-ECHO

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/695609> 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.

© 2025 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 met een gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem volgens ISO 9001 en een milieumanagementsysteem dat voldoet aan de norm ISO 14001.

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

Wageningen Environmental Research Rapport 3442 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Selzerbeek Limburg, paar kilometer van de Duitse grens. Foto: Peter Schipper (2025)

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Lijst met definities	9
Samenvatting	11
1 Inleiding	13
1.1 Achtergrond en probleemstelling	13
1.2 Doel	14
1.3 Onderzoeksmethode	14
1.4 Leeswijzer	15
2 Modelleren nutriëntenbelasting	16
2.1 Uitgangspunten update landelijke bronnenanalyse	16
2.2 Toestroomgebiedenkaart	17
2.3 Schematisering oppervlaktewatersysteem	18
2.4 Overzicht modelinput KRW-ECHO	19
2.5 Uit- en afspoeling landbouw- en natuurgronden	20
2.6 Herkomst uit- en afspoeling landbouw	22
2.7 Effluënten RWZI's	25
2.8 Overige punt- en diffuse bronnen	26
2.9 Waterinlaat uit rijkswateren en aanvoer uit het buitenland	27
2.10 Retentie	28
2.11 Modelvalidatie	29
3 Nutriëntenbalansen 2017-2022	31
3.1 Herkomst verdeling	31
3.2 Landbouwbijdrage	36
4 Discussie modelresultaten	39
4.1 Evaluatie bronnenanalyse resultaten	39
4.2 Onzekerheden berekende emissies	39
4.2.1 Inleiding	39
4.2.2 Onzekerheden niveau uit- en afspoeling	39
4.2.3 Onzekerheden van de verdeling van de bronnen van de uit- en afspoeling	40
4.2.4 Uit- en afspoeling bloembollenteelt Zuid en Noord-Holland	41
4.2.5 Nadere beschouwing emissies glastuinbouw	44
4.2.6 Onzekerheden emissieschattingen overige bronnen	47
4.2.7 Invloed directe kwel en wellen	48
4.3 Temporele verdeling over zomer- en winterhalfjaar	52
4.4 Rol waterbodems	52
4.5 Invloed weerjaren	53
4.6 Uitwisseling van water tussen toestroomgebieden	54
4.7 Retentie	55
4.8 Synthese toepassingsbereik	56
5 Conclusies en aanbevelingen	58
5.1 Conclusies	58
5.2 Aanbevelingen	59

Literatuur	60
Bijlage 1 Toegepaste methoden	63
Bijlage 2 Routingschema's toestroomgebieden	72
Bijlage 3 Aandeel bronnen jaargemiddeld	102
Bijlage 4 Aandeel bronnen zomerhalfjaar	104
Bijlage 5 Nutriëntenbalansen 2017-2022 hydrologische indeling 65 gebieden	106
Bijlage 6 Betrouwbaarheid gebruikte data Emissieregistratie	110
Bijlage 7 Validatie	115

Verantwoording

Rapport: 3442

Projectnummer: 52000480468

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: Senior onderzoeker bodemkwaliteit en teamleider duurzaam bodembeheer

naam: Gert Jan Reinds

datum: 9 juni 2025

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Gert Jan Reinds

datum: 18 juni 2025

Woord vooraf

In het uitvoeringsbesluit (EU) 2022/2069 van 30 september 2022 tot verlenging van een door Nederland gevraagde derogatie op grond van Richtlijn 91/676/EEG (EC, 2022) is een aantal maatregelen benoemd, waaronder de aanwijzing van met nutriënten verontreinigde gebieden. Dit zijn gebieden waar nitraat in het ondiepe grondwater de norm van de Nitraatrichtlijn overschrijdt of waar de KRW-doelen voor stikstof en/of fosfor in oppervlaktewater worden overschreden en waar de landbouwbijdrage groter is dan 19%. Op basis van deze beschikking zijn eind 2023 nutriënt verontreinigde (NV) gebieden aangewezen (Ministerie LNV, 2023). In NV-gebieden geldt een lagere stikstofgebruiksnorm. Vanaf 2025 is de norm 20% lager dan in de rest van Nederland.

Een van de criteria voor het aanwijzen van NV-gebieden is de bijdrage van de landbouw aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Om te bepalen of deze bijdrage groter is dan 19%, is gebruikgemaakt van de informatie van een landelijke bronnenanalyse van stikstof en fosfor die is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research (Groenendijk et al., 2016). In deze analyse is nutriëntenbelasting en daarbij berekende bronverdeling berekend voor de jaren 2010-2013. Ter voorbereiding van het volgende (8^e) Actieprogramma Nitraatrichtlijn, is behoefte aan een actualisatie van de bronnenanalyse.

Het voorliggende onderzoek is het resultaat van deze geactualiseerde bronnenanalyse. Hierbij zijn op het niveau van de geactualiseerde toestroomgebiedenkaart van de KRW-oppervlaktewaterlichamen de stikstof- en fosforbelasting door de verschillende bronnen gekwantificeerd voor de periode 2017 tot en met 2022. In de analyse is informatie en kennis benut van de regionale waterbeheerders (de waterschappen) en van bestaande bronnenanalyses die in verschillende regio's waren uitgevoerd.

Voorafgaand aan de uitvoering van de bronnenanalyse is ook de toestroomgebiedenkaart, die gebruikt was voor de aanwijzing van de NV-gebieden in 2024, geactualiseerd. Deze kaart is ook de basis van de ruimtelijke modelschematisering van de bronnenanalyse.

Tussenresultaten zijn in december 2024 en april 2025 gedeeld via de Unie van Waterschappen met de contactpersonen van alle 21 waterschappen, provincies en van de ministeries van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) en Infrastructuur en Waterstaat (I&W). Ook zijn die tussenresultaten onder begeleiding van de Unie van Waterschappen op 17 december 2024, 17 april 2025 en 12 juni 2025 plenair toegelicht en besproken met deze contactpersonen. Alle waterbeheerders hebben de gelegenheid gekregen om inhoudelijk te reageren op de tussenresultaten. De door hen aangeleverde opmerkingen en voorstellen voor verbetering van de modelschematisering zijn bilateraal besproken. Binnen de mogelijkheden van het onderzoek is geprobeerd deze zo goed mogelijk te verwerken. De wijze waarop de opmerkingen zijn verwerkt, zijn teruggekoppeld in de vorm van een logboek waarin is bijgehouden welke aanpassingen aan het bronnenanalysemodel na de 2^e uitlevering in april 2025 zijn ingevoerd.

Het onderzoek is begeleid door Inge Stoelhorst en Barend van Wonderen van het Ministerie van LVVN en Jantine Haverkamp en Sebastiaan van den Oever van de Unie van Waterschappen (UVW). De opzet van het onderzoek en tussenresultaten van de modelberekeningen zijn onder begeleiding van de UVW besproken met vertegenwoordigers van alle waterschappen en provincies en het Ministerie van I&W.

Wageningen, juni 2025
De auteurs

Lijst met definities

Bronnen		In deze studie: oorzaken van het vrijkomen van stikstof en fosfor dat in het oppervlakte- en grondwater terecht komt.
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		Voor de KRW zijn grondwaterlichamen en oppervlaktewaterlichamen aangewezen. Een oppervlaktewaterlichaam is een 'onderscheiden oppervlaktewater van aanzienlijke omvang, zoals een meer, waterbekken, stroom, rivier, kanaal, 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.
Toestroomgebied		Het beïnvloedingsgebied dat afwatert op een bepaald oppervlaktewaterlichaam. Grenzen tussen beïnvloedingsgebieden zijn op te vatten als waterscheidingen. In de toestroomgebieden liggen kleine waterlopen zoals sloten, zijtakken van beken of geïsoleerde wateren die niet apart afzonderlijk als KRW-oppervlaktewaterlichaam zijn aangewezen.
Regionaal oppervlaktewater		In deze studie worden de regionale waterlichamen soms aangeduid met 'regionaal oppervlaktewater'. De regionale wateren zijn vrijwel altijd in beheer bij waterschappen.
Generiek mestbeleid		Het stelsel van gebruiksnormen en gebruiksvorschriften voor bemesting zoals dat van kracht is voor landbouwbedrijven.
Bemesting		In deze studie is het begrip 'mest' gekoppeld aan mestgift of bemesting en wordt er de som van kunstmest en dierlijke mest mee aangeduid.
Uit- en afspoeling landbouwgronden	Actuele bemesting en historische bemesting	Onder actuele bemesting worden de mestgiften verstaan die worden toegediend in de jaren direct voorafgaand en tijdens de periode waarin het berekende overschot, uitspoeling en/of toestand van de bodem wordt geëvalueerd. Het begrip historische bemesting wordt meestal gebruikt in de context van na-ijling van of nalevering uit in het verleden opgebouwde voorraden in de bodem, hetgeen vooral voor fosfor lang (decennia) kan duren. De grens tussen historische en actuele bemesting is arbitrair. In deze studie is aangenomen dat de laatste vier jaar voorafgaand aan een berekend zichtjaar nog toe te schrijven zijn aan de actuele bemesting.
	Mineralisatie, uitloging en kwel	Uit- en afspoeling die niet gerelateerd is aan bemesting, maar die wordt veroorzaakt door mineralisatie, uitloging van nutriënten die van nature in het bodemprofiel aanwezig zijn en nutriëntenrijk kwelwater.
	Kwel	Uitspoeling die niet gerelateerd is aan bemesting, maar aan de kwel die optreedt vanuit de diepere ondergrond naar het bodemprofiel. Daarbij geldt dat de grondwater is die over de beschouwde tijdperiode (2013-2022) netto opwaarts over het dieptevlak van 13 meter beneden maaiveld stroomt.
	Infiltratie	Uitspoeling van lokaal oppervlaktewater dat eerder (met name in de zomer) in het bodemprofiel is geïnfilteerd.

Retentie	De retentie is de hoeveelheid stikstof en fosfor die door natuurlijke processen (nitraatafbraak, vastlegging in slib, opname door waterplanten) en het schonen van watergangen uit het oppervlaktewater wordt verwijderd.
Landbouwbijdrage	De landbouwbijdrage aan de belasting van het water met nutriënten is in dit onderzoek gedefinieerd als het deel van de uit- en afspoeling uit de landbouwgronden, die voorkomt door actuele en historische mestgiften en daarbij opgeteld de belasting door erfafspoeling en meemesten van sloten. Dit uitgangspunt is door het ministerie gehanteerd bij de aanwijzing van met nutriënten verontreinigde gebieden. De uitspoeling die voorkomt uit mineralisatie en uitloging, kwel, atmosferische depositie en eerder lokaal geïnfiltreerd oppervlaktewater wordt derhalve niet toegerekend aan de landbouwbijdrage.
Belasting van RWZI's	Nutriëntenbelasting door de effluentlozingen van rioolwaterzuiveringsinstallaties.
KRW-opgave en KRW- restopgave	De mate waarin de KRW-doelen (concentraties) voor stikstof en fosfor op de KRW-meetpunten worden overschreden, wordt aangeduid als KRW-opgave. Deze overschrijding kan ook worden uitgedrukt in vrachten (belasting in kg), door het percentage van de overschrijding te vermenigvuldigen met de berekende stikstof- en fosforvracht in het zomerhalfjaar. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat als de belasting afneemt, bijvoorbeeld met 25%, de concentraties procentueel evenveel afnemen. De KRW-opgave wordt berekend voor een bepaalde referentieperiode in het verleden, bijvoorbeeld 2014-2017. Als met een modelscenario het effect van generieke maatregelen op de nutriëntenbelasting voor een bepaald zichtjaar zoals 2027 wordt berekend, is de restopgave het verschil tussen de KRW-opgave en de afname die ten opzichte van de referentieperiode met het scenario in 2027 is berekend. De KRW-opgave kan worden verdeeld over de sectoren die de nutriënten in het watersysteem brengen naar rato van hun bijdrage aan de nutriëntenbelasting. Dit is beleidsmatig gezien een verdeling volgens het 'polluter pay, fair share'-principe. Om deze verdeling te berekenen, wordt de belasting door antropogene bronnen en bronnen die beleidsmatig als achtergrondbelasting worden beschouwd, van elkaar onderscheiden.
Derogatiebeschikking 2022/2069	De derogatiebeschikking van september 2022 (nr. 2069) waarin een aantal voorwaarden zijn opgenomen voor het verlenen van derogatie in de periode 2023 tot en met 2025 voor de toepassing van graasdiermest van het eigen bedrijf.

Samenvatting

Aanleiding en doel van het onderzoek

De regering heeft als onderdeel in het maatregelenpakket van de Derogatiebeschikking (uitvoeringsbesluit EC 2022/2069) in december 2023 met nutriënten verontreinigde gebieden (NV-gebieden) aangewezen. In deze gebieden zijn lagere stikstofgebruiksnormen voorgeschreven voor de periode 2024-2025. Dit omvat alle deelstroomgebieden waarvan de meetpunten aangeven dat het grondwater te veel nitraat bevat en/of de oppervlaktewaterlichamen te veel nutriënten (stikstof en fosfor) bevatten en waar de bijdrage van de landbouw voor nutriënten groter dan 19% is. Om te bepalen of vanwege de toestand van het oppervlaktewater een gebied als nutriënt verontreinigd moet worden aangewezen, zijn de volgende stappen doorlopen:

- a. Bepalen welk toestroomgebied behoort bij een KRW-oppervlaktewaterlichaam;
- b. Bepalen in welke KRW-oppervlaktewaterlichamen er sprake is van (risico op) verontreiniging met nutriënten;
- c. Bepalen hoe groot het aandeel vanuit landbouw is in de stikstof- en fosforbelasting van een oppervlaktewaterlichaam.

Voor de aanwijzing van 1 januari 2024 is door Wageningen Environmental Research (WENR) een toestroomgebiedenkaart gemaakt en is het risico op verontreiniging met nutriënten bepaald op basis van de toestandsbeoordeling van 2023. Dit betreft de vergelijking van het gemiddelde van de gemeten totaal stikstof- en fosforconcentraties in het zomerhalfjaar over de periode 2020-2022 en het KRW-doel. Ook is voor die beoordeling gekeken naar de biologische toestand. Het aandeel landbouw in de stikstof- en fosforbelasting is gebaseerd op een landelijke bronnenanalyse van WENR (Groenendijk et al., 2016) waarin de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater is gekwantificeerd voor de jaren 2010 tot en met 2013. De nutriëntenbelasting en bijhorende bronverdeling zijn in die studie gerapporteerd per waterschap (de oude indeling in 26 waterschapgebieden). Naar aanleiding van vragen over de aanwijzing van deze NV-gebieden heeft de minister van LNV in 2024 aan de Tweede Kamer toegezegd dat een update van de landelijke bronnenanalyse zal worden uitgevoerd.

Het voorliggende onderzoek is het resultaat van de geactualiseerde bronnenanalyse. Als basis hiervoor is ook de toestroomgebiedenkaart geactualiseerd. Het doel van de bronnenanalyse is om de nutriëntenbelasting en bijhorende bronverdeling voor de actuele situatie en op een fijner ruimtelijk detailniveau te kwantificeren. De geactualiseerde bronnenanalyse zal worden gebruikt voor de voorbereidingen van het 8^e Actieprogramma Nitraatrichtlijn en voor een eventuele actualisatie van de aanwijzing van nutriënt verontreinigde gebieden.

Werkwijze

In de bronnenanalyse is de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater in de toestroomgebieden bepaald voor de periode 2017 tot en met 2022. In de analyse is informatie en kennis benut van de regionale waterbeheerders (de waterschappen) en van de bestaande bronnenanalyses die in verschillende regio's waren uitgevoerd. De berekeningen voor de regionale bronnenanalyses zijn door WENR uitgevoerd met de methode KRW-ECHO. In lijn met de eerdere uitgevoerde bronnenanalyses zijn in de voorliggende studie de berekeningen wederom uitgevoerd met de methode KRW-ECHO. In deze methode wordt, in nauwe samenwerking met de waterschappen, een modelschematisering van het oppervlaktewater opgezet. Voor de toestroomgebieden in de schematisering is de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater door de verschillende punt- en diffuse bronnen, waterinlaat en afwenteling van bovenstroomse waterlichamen gekwantificeerd, rekening houdend met retentie die optreedt in het oppervlaktewater. De berekening van de bronnen is zodanig uitgevoerd dat in de balansen onderscheid kan worden gemaakt tussen de antropogene bronnen en bronnen die beleidsmatig als natuurlijk of seminatuurlijk worden beschouwd. Deze verdeling is nodig voor het berekenen van de landbouwbijdrage.

Om een uniforme aanpak van de analyse te bewerkstelligen, is extra aandacht besteed aan de waterschapgebieden waar geen recente regionale bronnenanalyse beschikbaar was. In die gebieden (Hunze

en Aa's, Scheldestromen, De Stichtse Rijnlanden, Hollands Noorderkwartier, Amstel Gooi en Vecht) is in diverse werkoverleggen en met input van de hydrologen van die waterschappen op eenzelfde detailniveau als voor de andere gebieden een modelschematisering van het oppervlaktewater opgezet.

Resultaten

De belangrijkste bronnen van stikstof en fosfor in het water van regionale waterlichamen zijn de uit- en afspoeling van landbouwgronden, de RWZI's, het buitenland (grensoverschrijdende wateren vanuit België en Duitsland) en de inlaat vanuit rijkswateren. De verhouding van de bronnen komt globaal overeen met die uit eerdere onderzoeken.

Het toepassingsbereik van de berekende landbouwbijdrage is afhankelijk van de mate waarin onzekerheden van de berekende emissies doorwerken in de verdeling van de gebiedseigen bronnen die het oppervlaktewater van een toestroomgebied belasten. De onzekerheden rond de verdeling van de bodembronnen in de uit- en afspoeling, erfafspoeling, bloembollenteelt op zand in Noord- en Zuid-Holland en directe kwel en wellen in de gebieden van Zuiderzeeland en AGV werken het meest door in de berekende landbouwbijdrage. De onzekerheden over de bloembollenteelt geeft een duidelijk hogere landbouwbijdrage voor fosfor in delen van Noord- en Zuid-Holland. Het als extra bron meenemen van directe kwel en wellen in Amstel Gooi en Vecht en Zuiderzeeland geeft een duidelijk lagere landbouwbijdrage van zowel stikstof als fosfor. De onzekerheden over de uit- en afspoeling en erfafspoeling geven zowel een latere als hogere landbouwbijdrage.

De ervaring met het gebruik van gedistribueerde rekenmodellen leert dat naarmate resultaten over grotere gebieden of over meer eenheden worden geaggregeerd, de resultaten betrouwbaarder worden. Om die reden zijn in de voorliggende studie de 738 toestroomgebieden geaggregeerd naar 65 hydrologische eenheden en wordt het berekende aandeel van de totale stikstof- en fosforbelasting op dit niveau gepresenteerd.

In de voorgaande bronnenanalyse was de nutriëntenbelasting berekend over de jaren 2010 tot en met 2013. De landbouwbijdrage zoals nu berekend voor de jaren 2017 tot en met 2022 is landelijk gemiddeld voor stikstof ruim 10% lager dan in de voorgaande landelijke bronnenanalyse. Voor fosfor is de landbouwbijdrage landelijk gemiddeld nu iets hoger berekend. De belangrijkste oorzaken van de verschillen zijn:

- a. Droge jaren: de gekozen periode 2017-2022 is ten opzichte van voorgaande landelijke en regionale bronnenanalyses relatief droog; vier van de zes jaren worden namelijk gekenmerkt door een hoog neerslagtekort in het zomerhalfjaar. Omdat de uit- en afspoeling in droge jaren relatief laag is, maar andere bronnen zoals RWZI's vrij constant zijn omdat deze hoofdzakelijk door inwoneraantallen wordt beïnvloed, wordt er een lagere landbouwbijdrage berekend dan in een periode met nattere jaren.
- b. Andere verdeling bodembronnen: de uit- en afspoeling van stikstof wordt in de periode 2013-2022 in mindere mate bepaald door actuele en historische mestgiften dan de periode 2000-2009 die toegepast was op de voorgaande landelijke en regionale bronnenanalyses. Dit komt omdat de mestgiften in 2000-2009 gemiddeld hoger waren en ook omdat in de relatief droge jaren 2013-2022 het aandeel van kwel en mineralisatie groter is.
- c. De emissies van regenwaterriolen worden door aanpassing van de rekenmethode in de Emissieregistratie nu (sinds 2018) hoger ingeschat dan in de schattingen die beschikbaar waren in de landelijke voorgaande bronnenanalyse.

De aanvoer van water en aanvoer van nutriënten met de inlaat van rijkswater en toestroom vanuit het buitenland is betrouwbaarder en gedetailleerder berekend dan in de voorgaande landelijke bronnenanalyse. Dat geldt ook voor de uitwisseling van water en nutriënten tussen de toestroomgebieden (in deze studie aangeduid als afwenteling).

Aanbevolen wordt om de onzekerheden over enkele emissiebronnen te verkleinen met nader onderzoek, en daarbij meer aandacht te besteden aan de nutriëntenbelasting door kwel en door wellen die direct uittreden naar oppervlaktewater en aan de uitspoeling van fosfor uit bloembollenpercelen. Ook wordt aanbevolen om met de monitoring van de regionale en grensoverschrijdende oppervlaktewaterlichamen meer te aandacht te besteden aan het meten van debieten teneinde beter inzicht te krijgen in de invloed van gebiedsvreemd water en om de modellen beter te kunnen valideren.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en probleemstelling

De hoge concentraties aan fosfor en stikstof in het oppervlaktewater belemmeren de ecologische doelen van de waterlichamen die voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) zijn vastgesteld. Om de doelen te halen, is het nodig dat de nutriëntenbelasting van de oppervlaktewateren afneemt. Uit landelijke studies (Raad voor Leefomgeving, 2023; Van Boekel et al., 2021; Gies et al., 2023, Groenendijk et al., 2024, Roovaart et al., 2024) blijkt dat, ondanks de maatregelen in het laatste (7^e) Actieprogramma Nitraatrichtlijn en het 3^e Stroomgebiedbeheerplan dat eindigt in 2027, de KRW-doelen van de nutriënten in veel regionale oppervlaktewaterlichamen niet zullen worden gerealiseerd. De belangrijkste bronnen van nutriënten in het oppervlaktewater zijn landbouw, de effluënten van de rioolwaterzuiveringen (RWZI's) en water dat toestroomt vanuit het buitenland (Duitsland en België). Sinds de jaren negentig van de vorige eeuw is de concentratie van zowel fosfor en stikstof in oppervlaktewater gehalveerd, maar desondanks voldoet bijna de helft van de oppervlaktewaterlichamen nog niet aan de KRW-normen (Slager et al., 2024; RHDHV, 2024¹).

De regering heeft als onderdeel in het maatregelenpakket van de Derogatiebeschikking 2022/2069 in december 2023 met nutriënten verontreinigde gebieden (NV-gebieden²) aangewezen. In deze gebieden zijn lagere stikstof gebruiksnormen voorgeschreven voor de periode 2024-2025. De aanwijzing omvat alle deelstroomgebieden waarvan de meetpunten aangeven dat het grondwater te veel nitraat bevat en/of de oppervlaktewaterlichamen te veel nutriënten (stikstof en fosfor) bevat en daarbij de bijdrage van de landbouw aan de totale nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater meer dan 19% is. Om die gebieden voor het oppervlaktewater aan te wijzen, zijn de volgende stappen doorlopen:

- a. Bepalen welk toestroomgebied behoort bij een KRW-oppervlaktewaterlichaam.
- b. Bepalen in welke KRW-oppervlaktewaterlichamen sprake is van (een risico op) verontreiniging met nutriënten.
- c. Bepalen hoe groot het aandeel vanuit landbouw is in de stikstof- en fosforbelasting van een oppervlaktewaterlichaam.

Voor de aanwijzing van 1 januari 2024 is door Wageningen Environmental Research (WENR) een toestroomgebiedenkaart gemaakt en is het risico op verontreiniging met nutriënten bepaald op basis van de toestandsbeoordeling van 2023. Dit betreft de vergelijking van het gemiddelde van de gemeten totaal stikstof- en fosforconcentraties in het zomerhalfjaar over de periode 2020-2022 en het KRW-doel. Ook is voor die beoordeling gekeken naar de biologische toestand. Het aandeel landbouw in de stikstof- en fosforbelasting is gebaseerd op een landelijke bronnenanalyse van Groenendijk et al. (2016), waarin de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater is gekwantificeerd voor de jaren 2010 tot en met 2013. De nutriëntenbelasting en bijhorende bronverdeling zijn in die studie gerapporteerd per waterschap.³

Naar aanleiding van vragen over de aanwijzing van deze NV-gebieden heeft de minister⁴ van LNV in 2024 aan de Tweede Kamer toegezegd dat een update van de landelijke bronnenanalyse zal worden uitgevoerd.

¹ <https://royalhaskoningdhv.shinyapps.io/Dashboard-KRW-tussenevaluatie/>

² https://www.rijksoverheid.nl/2023/Aanwijzing_nutriënten_verontreinigde_gebieden:_samen_werken_aan_schoner_water

³ De 'oude' indeling in 26 waterschapgebieden, sinds 2017 zijn er door fusies nog 21 waterschappen.

⁴ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kamerstuk-33037-525-mestbeleid-4-1-2024.html>

1.2 Doel

Doel van dit onderzoek is om de toestroomgebiedenkaart en bronnenanalyse te actualiseren met recente data en de nutriëntenbalansen te berekenen op een fijner ruimtelijk detailniveau. De geactualiseerde bronnenanalyse zal worden gebruikt voor de voorbereidingen van het 8^e Actieprogramma Nitraatrichtlijn en voor een eventuele actualisatie van de aanwijzing van nutriënt verontreinigde gebieden.

1.3 Onderzoeksmethode

De bronnenanalyse is uitgevoerd met KRW-ECHO (Kroes et al., 2010). Hiermee is de nutriëntenbelasting berekend van alle te onderscheiden punt- en diffuse bronnen voor de periode 2017 tot en met 2022 op het niveau van de toestroomgebieden van de oppervlaktewaterlichamen. KRW-ECHO is ook toegepast in de voorgaande landelijke bronnenanalyse (Groenendijk et al., 2016) en in de recent uitgevoerde regionale bronnenanalyses.⁵ De regionale bronnenanalyses zijn uitgevoerd in opdracht van provincies en waterschappen. In de meeste daarvan is de nutriëntenbelasting en bijhorende bronverdeling berekend voor de periode 2014 tot en met 2017.

Voorafgaand aan de bronnenanalyse is de toestroomgebiedenkaart, die gebruikt was voor de aanwijzing van de NV-gebieden (Groenendijk en Van Boekel, 2024), in nauwe samenwerking met de waterschappen aangepast. Deze kaart vormt een belangrijke basis voor de ruimtelijke modelschematisering. Het KRW-ECHO-model is vervolgens opgezet door het regionale watersysteem van Nederland te schematiseren door de toestroomgebieden aan elkaar te koppelen op basis van de waterbeheerpraktijk in de periode 2017-2022.

De wijze waarop de toestroomgebieden aan elkaar zijn gekoppeld, is per beheergebied van de waterschappen vastgelegd in zogenaamde routingschema's. Deze zijn opgenomen in Bijlage 2. Voor de totstandkoming van deze schema's is intensief samengewerkt met de waterschappen. Met de waterbeheerders van Amstel Gooi en Vecht, Hollandse Noorderkwartier, De Stichtse Rijnlanden, Scheldestromen en Hunze en Aas zijn hiervoor afzonderlijke werkafspraken en werksessies georganiseerd, omdat daar geen recente bronnenanalyses met KRW-ECHO waren uitgevoerd. In de gebieden van Rijnland, Delfland en Noorderzijlvest waren de recente bronnenanalyses uitgevoerd door KRW-ECHO te combineren met een gedetailleerde waterkwaliteitsmodellering met Sobek-Delwaq (Schipper et al., 2023; Schipper et al., 2025 in prep). In die gebieden zijn de inlaat en waterverdeling afgeleid uit de met Sobek berekende waterbalansen (Vreman et al., 2018; Arcadis, 2020). Deze zijn voor de landelijke bronnenanalyse door Arcadis aangeleverd.

Alle waterschappen hebben relevante monitoringgegevens aangeleverd om de hoeveelheid ingelaten water, de toestroom vanuit België en Duitsland (via beken en kanalen) en de waterverdeling tussen stroomgebieden in Nederland (vooral op punten waar water zich verdeelt naar meerdere stroomgebieden) af te leiden. Waar onvoldoende monitoringgegevens beschikbaar waren, is door de waterschappen expert- en gebiedskennis ingebracht om schattingen te geven over waterinlaat en waterverdeling. Ook zijn voor de uitstroompunten van toestroomgebieden monitoringgegevens aangeleverd om de berekende debieten en bijhorende nutriëntenvrachten te kunnen toetsen aan de metingen.

Nadat de toestroomgebieden geografisch zijn vastgelegd en via de routingschema's aan elkaar zijn gekoppeld, zijn de emissies van de punt- en diffuse bronnen naar het oppervlaktewater in de toestroomgebieden berekend. Vervolgens is op basis van hydrologische en bodemkenmerken de retentie (verwijdering) van stikstof en fosfor uit het oppervlaktewater berekend. De informatie over de emissiebronnen is ontleend aan a) de rekeneenheden van SWAP-ANIMO waarmee de uit- en afspoeling uit landbouw- en natuurgonden is berekend, b) de monitoringsdata van de RWZI's uit het waterkwaliteitsportaal⁶ waarmee de vracht is bepaald uit de debieten en nutriëntengehalten en c) de gegevens van de Emissieregistratie waarmee de belasting uit de overige bronnen is bepaald.

⁵ Bronnenanalyse nutriënten Zuiderzeeland, Maasregio, Gelderland & Oost-Utrecht, Overijssel & Zuid-Drenthe, Gelderland & oostzijde Utrecht Friesland en Zuid-Holland (Schipper et al., 2020; 2024; 2025).

⁶ <https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/>

Voor de controle van het model zijn tussenresultaten van de berekende balansen uitgewisseld en besproken met de waterschappen. Met de feedback en controles van de waterschappen op de balansen zijn enkele verbeterpunten voor de modelschematisering en aannames voor waterinlaat geïdentificeerd. Na verwerking hiervan zijn de resultaten gevalideerd door deze te vergelijken met de beschikbare metingen.

Met de berekende balansen is de landbouwbijdrage berekend als het aandeel van de som van uitspoeling die voortkomt door mestgiften, erfafspoeling en meemesten sloten in van de totale belasting. De emissie van glastuinbouw wordt daarin niet meegenomen, ook niet in de totale belasting. Deze rekenwijze is daarmee gelijk aan de rekenwijze gehanteerd bij de aanwijzing van de NV-gebieden (Ministerie Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit 2023).⁷ Een belangrijke factor in de berekende landbouwbijdrage is de invloed van de mestgiften op de uitspoeling van stikstof en fosfor naar oppervlaktewater. Deze invloed is berekend met een gevoeligheidsanalyse in de modellering van de uit- en afspoeling over de periode 2013-2022. In die analyse wordt de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden verdeeld over de bodembronnen die de totale uit- en afspoeling bepalen. De hierin onderscheiden bodembronnen zijn actuele mestgiften, historische mestgiften, atmosferische depositie, kwel, (semi)natuurlijke uitloging en mineralisatie, en uitspoeling van eerder geïnfiltreerd lokaal oppervlaktewater.

Om de bandbreedte van onzekerheden te verkennen, zijn berekeningen uitgevoerd om te bepalen in hoeverre onzekerheden rond de belangrijke emissiebronnen doorwerken in de berekening van de landbouwbijdrage. Dit betreft onzekerheden over het niveau van de berekende uit- en afspoeling, de verdeling van de bodembronnen in de uit- en afspoeling, wellen en kwel die direct uittreden in het oppervlaktewater, bloembollenteelt, erfafspoeling en glastuinbouw.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de actualisering van toestroomgebiedenkaart en toegepaste modellering van de bronnenanalyse. De resultaten van de bronnenanalyse en hiervan afgeleide landbouwbijdrage worden beschreven in hoofdstuk 3. De resultaten en het toepassingsbereik worden geëvalueerd in hoofdstuk 4. De conclusies en aanbevelingen zijn geformuleerd in hoofdstuk 5.

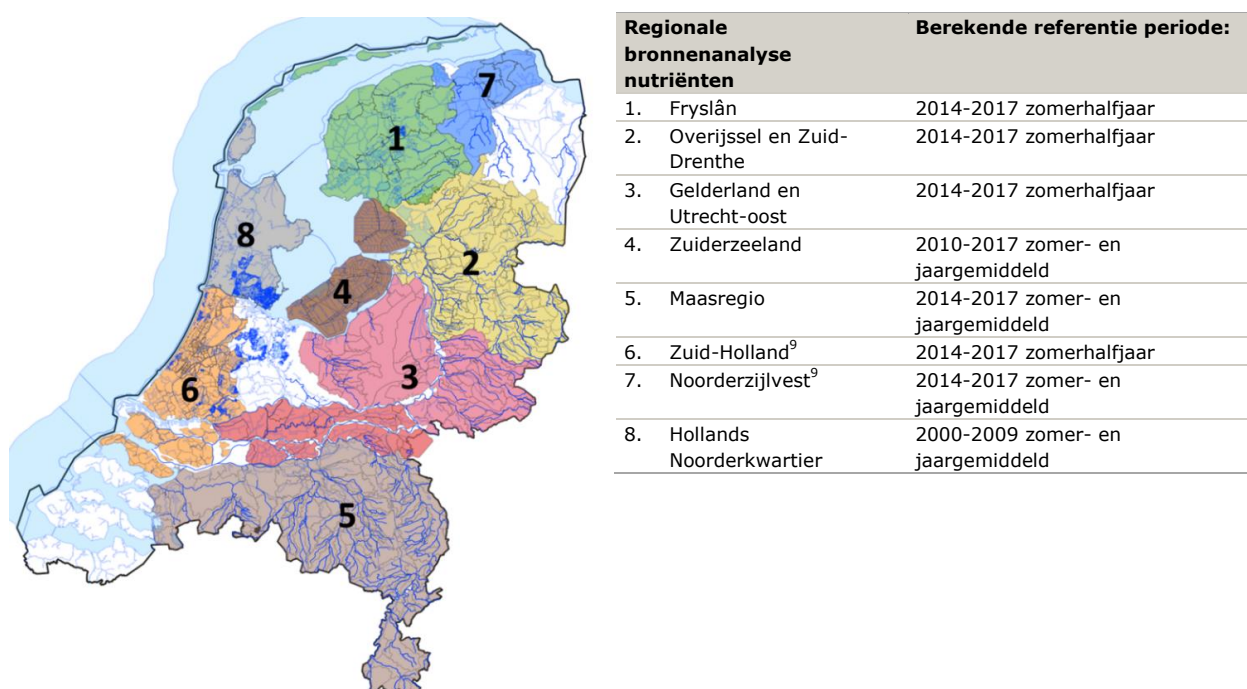
In de bijlagen wordt nadere informatie gegeven over de methodiek, de modelschematisering (routing schema's), het aandeel van de belangrijke bronnen (kaarten op het schaalniveau van de toestroomgebieden), de nutriëntenbalansen en achtergrondinformatie over de betrouwbaarheden van de gebruikte data van Emissieregistratie.

⁷ [Mestproductieplafonds en de derogatiebeschikking | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)

2 Modelling nutriëntenbelasting

2.1 Uitgangspunten update landelijke bronnenanalyse

De bronnenanalyse bestaat uit het kwantificeren van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater door verschillende punt- en diffuse bronnen binnen de toestroomgebieden en van de externe nutriëntenbelasting die vanuit andere toestroomgebieden en/of het buitenland afkomstig is. Een belangrijk uitgangspunt is om de ontsluiting van data, gebieds- en systeemkennis van regionale waterbeheerders en de al bestaande regionale analyses zo veel mogelijk te benutten. Dit betreft vooral hoeveelheden en de kwaliteit van waterinlaat, afwenteling van bovenstroomse wateren, uitwisseling van water tussen regionale en rijkswateren, en specifieke situaties voor RWZI's en grote industrielozingen. Figuur 2.1 geeft een overzicht van de bronnenanalyses die met KRW-ECHO voor de regionale waterbeheerders zijn uitgevoerd.⁸



Figuur 2.1 Overzicht van regionale bronnenanalyses van nutriënten die met KRW-ECHO recent zijn uitgevoerd in opdracht van waterschappen en provincies. Links de gebieden, rechts nadere informatie.

Overige uitgangspunten zijn:

- De nutriëntenbelasting en bijhorende bronverdeling worden berekend voor de periode 2017-2022.
- In deze zesjarige periode wordt onderscheid gemaakt in het zomer- en winterhalfjaar.
- De landelijk vastgelegde toestroomgebiedenkaart (Groenendijk en Boekel, 2024) wordt als basis gehanteerd voor de ruimtelijke schematisering.

Een van de eerste toepassingen van KRW-ECHO was de verkenning van mogelijke consequenties van de Kaderrichtlijn Water voor de sectoren landbouw, natuur, recreatie en visserij (Van der Bolt et al., 2003).

⁸ Overige regionale analyses met KRW-ECHO: Gelderland en oostzijde Utrechtse Heuvelrug, (Schipper et al., 2020; 2022), Drents Overijsselse Delta en Hollandse Delta (Boekel et al., 2020), Maasregio (Schipper et al., 2021), Schieland (Schipper et al., 2019), Albasserswaard en Vijfheerenlanden (Boekel et al., 2018), Krimpenerwaard (Schipper et al., 2016), Afvoergebieden HDSR (Boekel et al., 2013).

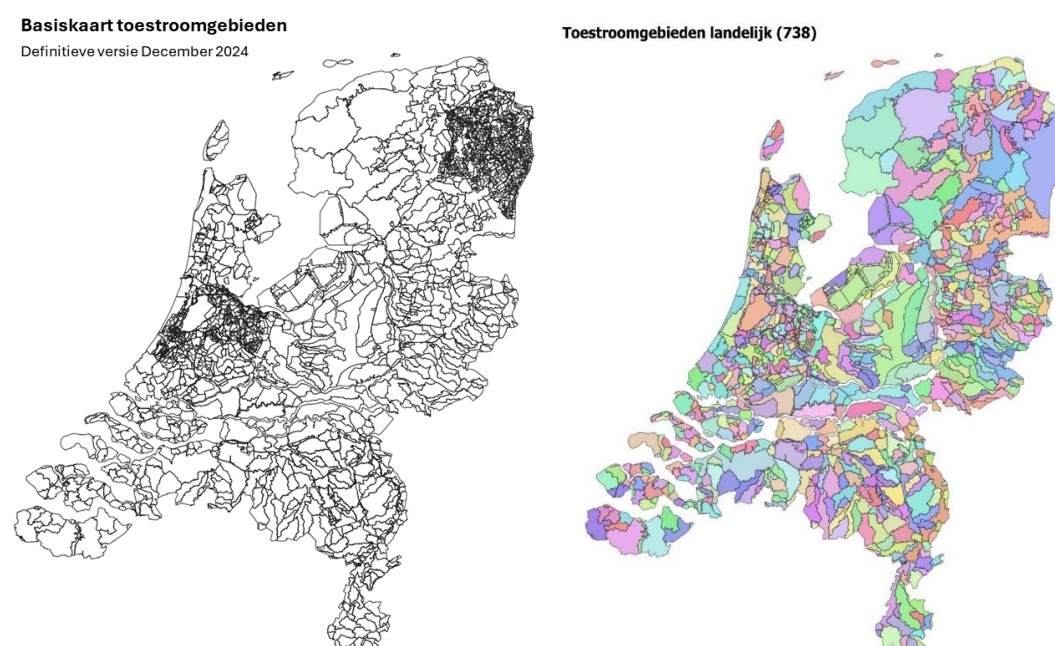
⁹ De regionale analyse van Noorderzijlvest, alsmede Rijnland en Delfland in Zuid-Holland zijn in samenwerking met Arcadis uitgevoerd door delen van de ECHO-methode te koppelen aan het oppervlaktewatermodel Sobek-Delwaq.

De methode is sindsdien verder uitgewerkt met de nodige input van de waterschappen en is toegepast om achtergrondbelasting in de gebieden van Hollands Noorderkwartier te bepalen (Boekel et al., 2013; 2016) en om landelijk de KRW-opgave voor de landbouw en effecten van maatregelen op de nutriëntenbelasting te bepalen (Groenendijk et al., 2016). Sindsdien is de methodiek verder verfijnd en ontwikkeld, met name ten aanzien van de berekening van de uit- en afspoeling, de waterverdeling en het labelen van de bronnen in het water dat wordt afgevoerd naar benedenstroomse gebieden en boezemsystemen. De analyse voor Zuid-Holland is uitgevoerd in samenwerking met Arcadis, die op basis van de berekende belasting de concentraties en afwenteling berekent met het gedetailleerde Sobek-Delwaq-model van Waterschap Rijnland en Delfland. Deze samenwerking en werkwijze is ook toegepast voor Noorderzijlvest.

2.2 Toestroomgebiedenkaart

Voor de bronnenanalyse is een toestroomgebiedenkaart nodig van de KRW-waterlichamen. In het kader van het aanwijzen van nutriënt verontreinigde gebieden (NV-gebieden) is in het najaar van 2023 een toestroomgebiedenkaart opgesteld op het schaalniveau van de KRW-waterlichamen (Groenendijk et al., 2023). Voor de kaart is aanvullende informatie aangeleverd door de waterschappen. Daarna is de informatie van de waterschappen bewerkt en aangevuld om de kaart uniform en landsdekkend te maken.

Voor de onderhavige bronnenanalyse is het wenselijk dat de toestroomgebieden worden afgestemd met de regionale waterbeheerders (de waterschappen). Voor het samenstellen van de kaart zijn de criteria en beoogde toepassingen van de toestroomgebiedenkaart in overleg met LNV vastgelegd. Vervolgens is een conceptkaart opgesteld die is voorgelegd aan de waterschappen. Als basis voor deze conceptkaart is gebruikgemaakt van de in december 2023 opgeleverde toestroomgebiedenkaart en de toestroomgebiedenkaarten die zijn gebruikt in recent uitgevoerde regionale bronnenanalyses. Opmerkingen en voorstellen tot verbetering vanuit de waterschappen op de conceptkaart zijn besproken, waarop de kaart waar nodig is aangepast. Dit heeft geresulteerd in een basiskaart in Figuur 2.2 (links) met de grenzen van de toestroomgebieden op het niveau van de KRW-oppervlaktewaterlichamen. Het gebied van Amstel Gooi en Vecht en Hunze en Aa's is ingedeeld in kleinere afwateringsgebieden. Vanuit deze basiskaart is voor toepassing van de bronnenanalyse de toestroomgebiedenkaart gemaakt (Figuur 2.2 rechts). Hierbij zijn kleine afwateringsgebieden samengevoegd. De toestroomgebiedenkaart zoals toegepast voor de bronnenanalyse bestaat daarmee uit 738 gebieden.

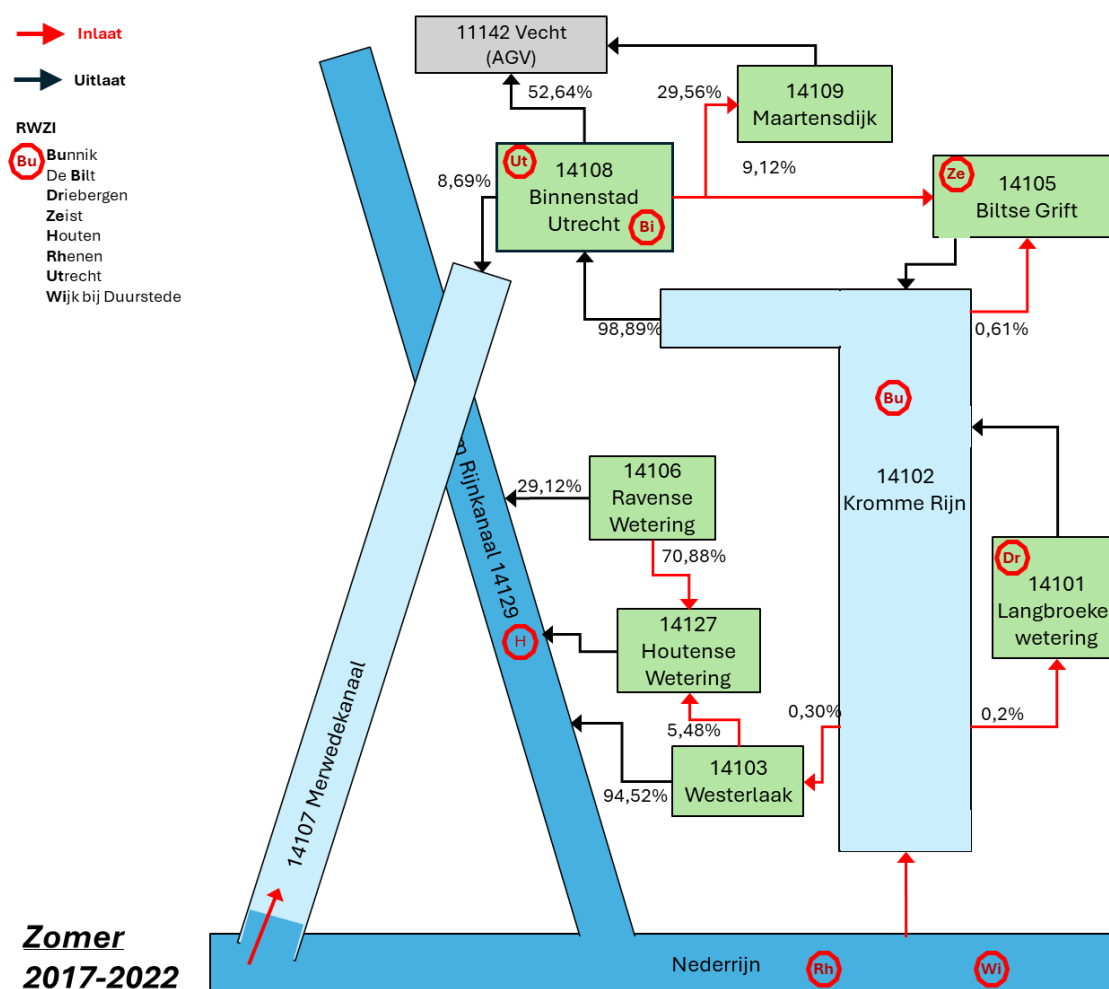


Figuur 2.2 Basiskaart (links) en toestroomgebiedenkaart toegepast voor de bronnenanalyse.

2.3 Schematisering oppervlaktewatersysteem

Ter ontsluiting van de beschikbare data, gebiedskennis en systeemkennis en met het oog op een zo optimaal mogelijke benutting van de regionale analyses, is intensief afgestemd met alle betrokken waterschappen. In dit kader zijn zowel de onderzoeksoptzet als de voorlopige resultaten met de waterschappen besproken. Het proces is gestart met een gegevens-uitvraag bij alle waterschappen, gericht op het verkrijgen van gedetailleerde hydrologische informatie. Op basis van deze gegevens zijn, onder begeleiding van de waterschappen, de debieten vastgesteld van zowel de waterinlaat vanuit rijkswateren als de toestroom vanuit België en Duitsland op de grens met Nederland. Tevens is de waterverdeling berekend voor het zomer- en winterseizoen in de periode 2017-2022. Deze werkwijze was met name van belang voor de waterschappen AGV, HDSR, Hunze en Aa's en Scheldestromen, waar tot op heden nog geen bronnenanalyse is uitgevoerd met behulp van de KRW-ECHO-schematisering. Op verschillende momenten zijn per waterschap de modelschematisering van het oppervlaktewater en de tussenresultaten met de waterschappen uitgewisseld en besproken.

De schematisering van het oppervlaktewatersysteem is per waterschap opgesteld en is vastgelegd in zogenoemde routingschema's. Deze schema's zijn opgenomen in Bijlage 2. Figuur 2.3 geeft een voorbeeld van zo'n schema voor het oostelijke deel van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Deze schematisering is opgesteld op basis van diverse overleggen met het hoogheemraadschap. In het kader hieronder volgt een beschrijving hoe dit schema gelezen dient te worden, ter illustratie van de overige schema's in Bijlage 2.



Figuur 2.3 Schematisering van het oppervlaktewatersysteem zomerhalfjaar 2017-2022 voor het oostelijke deel van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.

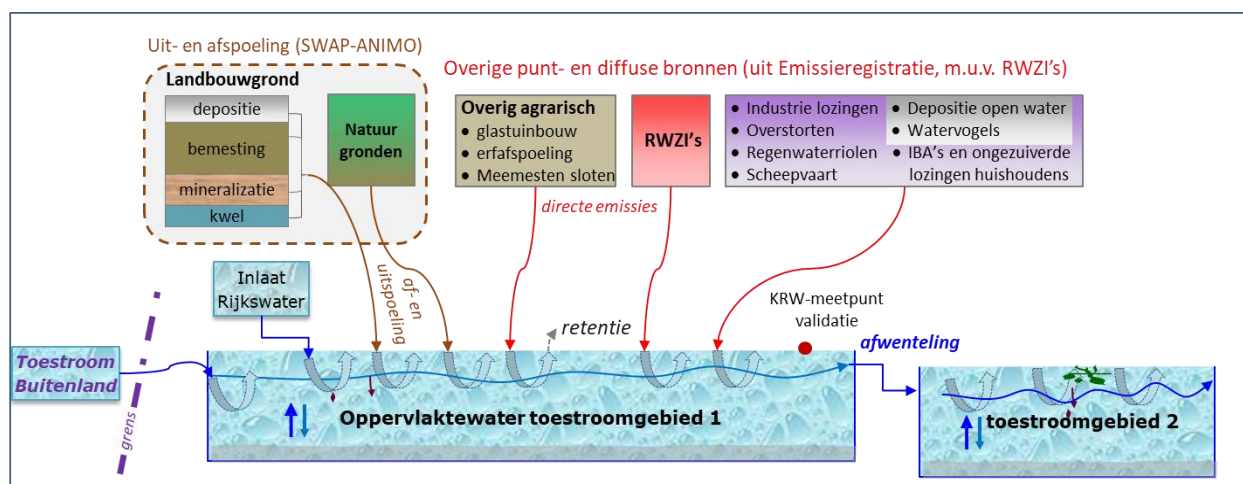
Opzet routingschema, voorbeeld Hoogeheemraadschap de Stichtse Rijnlanden

De gemeten inlaat vanuit de Nederrijn naar de Kromme Rijn en Merwedekanaal is als modelinput "Inlaat Rijkswater" verwerkt per zomerhalfjaar en winterhalfjaar in de berekeningen. In dit voorbeeld ontvangt de Kromme Rijn ook water vanuit de Biltse Grift en Langbroekerwetering. Binnen het toestroomgebied van de Kromme Rijn komt daar drainageafvoer bij vanuit landbouwpercelen en natuurgronden, afstromend hemelwater vanuit verharde oppervlakken, en het effluent van de RWZI Bunnik. De Kromme Rijn voert het meeste water af naar de Binnenstad Utrecht (zomergemiddeld 98,88%). Het overige water gaat naar de Langbroekerwetering (0,2%), Biltse Grift (0,61%) en Westerlaak (0,30%). Deze verdeling is afgeleid van de debietmeetreeksen die zijn aangeleverd voor de uitlaat naar Binnenstad Utrecht (debietmeter1 Amelisweerd), inlaat Kromme Rijn water naar Langbroeker wetering (vijzel Amerongerwetering en stuw Cothergrift) en inlaat naar de Biltse Grift (stuw Bunsinglaan).

Zowel de Biltse Grift als de Langbroekerwetering ontvangt gedurende het zomerhalfjaar water vanuit de Kromme Rijn, maar voeren ook weer water af op de Kromme Rijn. In het KRW-ECHO model is de Kromme Rijn daarom conceptueel opgesplitst in twee afzonderlijke oppervlaktewaterlichamen: 1) dat de gebiedseigen bronnen omvat, inclusief de inlaat vanuit de Nederrijn en vanwaar water wordt ingelaten naar Langbroekerwetering en Biltse Grift, en 2) dat uitsluitend water ontvangt van de Biltse Grift en de Langbroekerwetering. Deze schematisering maakt het mogelijk om de herkomst van het ingelaten en afgevoerde water in de Kromme Rijn nauwkeurig te traceren en toe te wijzen. Bij het opstellen van de waterbalansen worden de twee deelgebieden samengevoegd. Indien de Kromme Rijn als één integraal gebied zou worden gemodelleerd, zouden netto debieten moeten worden toegepast. In dat geval zou de Langbroekerwetering geen bijdrage toegewezen krijgen vanuit de Kromme Rijn, en daarmee ook geen aandeel van de Nederrijn, die als externe bron wordt aangemerkt. Hoewel dit in het besproken voorbeeld een vrij beperkte impact heeft op de stofbalansen, heeft het opsplitsen met name in boezemsystemen veel invloed op de berekende herkomst van water dat vanuit polders en andere bovenstroomse gebieden wordt afgewenteld.

2.4 Overzicht modelinput KRW-ECHO

De wijze waarop KRW-ECHO de nutriëntenbelasting per toestroomgebied berekent, is schematisch weergegeven in Figuur 2.4. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de verschillende balanstermen en de informatiebronnen die zijn gebruikt om deze te kwantificeren. In de navolgende paragrafen wordt de modelinput van deze balanstermen nader toegelicht.



Figuur 2.4 Schematische weergave hoe de belasting per toestroomgebied wordt berekend.

Tabel 2.1 Balanstermen en informatiebronnen die zijn gebruikt om de nutriëntenbelasting te kwantificeren.

Balansterm	Informatiebron
Inkomende vrachten	
Uit- en afspoeling landbouw- en natuurgronden	SWAP-ANIMO-berekeningen voor STONE-rekenplots - Mestgiften 1990 t/m 2022 berekend met INITIATOR - Landgebruik LGN7 in combinatie met BRP voor 2017 en 2018, voor de jaren daarna LGN2019, LGN2020, LGN2021 en LGN2022 - Grondwatertrappenkaart, versie 2018, van de Basis Registratie Ondergrond (https://basisregistratieondergrond.nl/) - Bodemtypekaart Nederland, versie Pawn2005_25m - Kwel/wegzijging operationeel geohydrologisch model AGV en geohydrologisch model AZURE (Sweco, 2024)
Rioolwaterzuiveringen (RWZI's)	Effluentmetingen, debieten en concentraties stikstof en fosfor. Deze zijn voor de bronnenanalyse aangeleverd door het Waterschapshuis vanuit de database Z-INFO. Hunze en Aas en Fryslân hebben deze data afzonderlijk aangeleverd.
Overige bronnen: glastuinbouw, erfafspoeling, meemesten sloten, industrie & bedrijven, depositie open water, riooloverstorten, regenwaterriolen, ongezuiverde huishoudelijke lozingen, IBA's, binnen- en recreatievaart, watervogels.	Emissieregistratie uitgifte januari 2025: Dit betreft de definitieve emissieschattingen van de jaren 2015, 2019, 2020, 2021 en 2022.
Inlaat en toestroming buitenland	Hydrologische informatie (debieten en concentraties nutriënten) waterschappen en aanvullende informatie van het Waterkwaliteitsportaal.
Retentie	- Bodemtypekaart Nederland versie Pawn2005_25m - Type belasting (punt, diffuus, inlaat, afwenteling bovenstrooms) - Afstand RWZI-lozing tot uitstroompunt ten opzichte van lengte waterlichaam binnen het toestroomgebied - Specifieke afvoer (afvoer uitstroompunt toestroomgebied, gedeeld door het wateroppervlak in het toestroomgebied)

2.5 Uit- en afspoeling landbouw- en natuurgronden

De uit- en afspoeling is berekend met de SWAP-ANIMO rekenplots van STONE (Wolf et al., 2003). Hierbij is dezelfde modelinput gebruikt als de berekeningen met de LWKM-eenheden (MetaSWAP-ANIMO) die zijn opgeleverd voor opname in de Emissieregistratie ([Emissieregistratie factsheet uit- en afspoeling, juni 2024](#)). De berekende uit- en afspoeling uit natuurgronden omvat niet alleen natuurgebieden, maar ook openbaar groen in stedelijk gebied en langs infrastructuur, zoals dat ook wordt berekend voor de uitlevering van de uit- en afspoeling aan Emissieregistratie.

Om de landelijke schematisering van de rekeneenheden zo goed mogelijk aan te laten sluiten op het niveau van de toestroomgebieden, is een rekengrid opgesteld met gridcellen van 25 x 25 m. Per gridcel is op basis van actuele kaarten een kenmerk voor locatie, gewas/grondgebruik, bodemtype en grondwaterstand toegekend. Per gridcel zijn één of meerdere rekeneenheden van het landelijke model gekoppeld met overeenkomende kenmerken (landgebruik, bodemtype, grondwatertrap). Voor het beheergebied van AGV en Zuiderzeeland is de kwel/wegzijgingssituatie als extra kenmerk toegevoegd.¹⁰

Verder is elke cel van het rekengrid toegekend aan een toestroomgebied (Figuur 2.2). Per rekencel is de uit- en afspoeling afgeleid uit de gekoppelde rekeneenheden van het landelijke model. Vervolgens zijn deze waarden gemiddeld per toestroomgebied.

Het landelijk totaal van de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor uit landbouw- en natuurgronden naar het oppervlaktewater is weergegeven in Tabel 2.2. De berekende waterafvoer door uit- en afspoeling uit landbouw- en natuurgronden is weergegeven in Tabel 2.3.

¹⁰ Dit op basis van de jaargemiddelde kwel/wegzijging die is berekend met het operationele geohydrologisch model van AGV en Zuiderzeeland (Azure). Voor Zuiderzeeland is dit aangeleverd door Sweco (Koen van der Hauw, 2024), die hiervoor aanvullende berekeningen met AZURE heeft uitgevoerd.

Tabel 2.2 Berekende uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater uit alle landbouw- en natuurgronden in de periode 2017-2022.

	Landbouwgronden		Natuurgronden	
	stikstof (ton)	fosfor (ton)	stikstof (ton)	fosfor (ton)
Zomerhalfjaar (1 april – 30 september)	4749	439	602	69
Winterhalfjaar (1 oktober – 31 maart)	30929	2512	4311	406
Gemiddeld jaartotaal	35678	2951	4913	475

Tabel 2.3 Waterafvoer door uit- en afspoeling vanuit landbouw en natuurgronden, uitgedrukt in mm. Hierbij zijn de afvoerdebieten gedeeld door het totaalareaal landbouwgronden dan wel natuurgronden in de toestroomgebieden.

Kalenderjaar	Afvoer uit landbouwgronden (mm)			Afvoer uit natuurgronden (mm)		
	Jaarrond	winter	zomer	Jaarrond	winter	zomer
2017	377	300	76	205	165	40
2018	244	197	48	154	124	30
2019	293	263	30	160	142	19
2020	337	311	27	193	178	15
2021	343	267	76	201	157	45
2022	270	235	35	151	132	19

Jaargemiddeld is de berekende belasting door uit- en afspoeling van landbouwgronden circa 36 miljoen kg stikstof en 3 miljoen kg fosfor. De uit- en afspoeling in het winterhalfjaar heeft hierin een zeer grote bijdrage, namelijk circa 85%. Dat de belasting voornamelijk in het winterhalfjaar plaatsvindt, is een normaal beeld. Door het grote neerslagtekort in de zomers van 2018, 2019, 2020 en 2022 was de drainageafvoer naar de sloten en andere detailontwatering in de zomerperiode gering, waardoor verhoudingsgewijs het winteraandeel groter is dan normaal. De neerslag en verdamping hebben een belangrijke invloed op zowel de drainageafvoeren (afvoer van water naar het oppervlaktewater) als op de uitspoeling van nitraat naar grondwater en van stikstof en fosfor van het oppervlaktewater.

Zoals aangegeven in Tabel 2.1 is de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater berekend met de resultaten van SWAP-ANIMO, gekoppeld aan een gedetailleerd rekengrid dat is samengesteld op basis van actuele informatie over landgebruik, de bodemkaart en de grondwatertrappenkaart uit de BasisRegistratie Ondergrond (BRO). Hiervoor is gekozen om de resultaten zo goed mogelijk te kunnen vergelijken met de resultaten van de bronnenanalyses van de regionale waterbeheerders. Voor landelijke beleidsevaluaties wordt de uit- en afspoeling berekend met het landelijke waterkwaliteitsmodel (LWKM). In het LWKM wordt een andere schematisering voor het landgebruik gebruikt en wordt de hydrologische informatie op een andere manier berekend. Om de resultaten van de berekende bronnenverdeling in deze studie te duiden in het kader van berekeningen voor het mestbeleid (o.a. Groenendijk et al., 2024) en de tussenevaluatie van de Kaderrichtlijn Water (Van den Rovaart et al., 2024), is een vergelijking gemaakt tussen beide methodes met de berekende gemiddelde uitspoeling uit landbouw- en natuurgronden voor de periode 2017-2022 (Tabel 2.4).

Tabel 2.4 Vergelijking van de landelijk gemiddelde waterafvoer en de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor in deze studie (Landelijke studie 2025) met de resultaten van het Landelijke Waterkwaliteitsmodel (LWKM) zoals gebruikt voor berekeningen voor de EmissieRegistratie 2024.

	Oppervlak (1000 ha)		Waterafvoer (mm)		Uit- en afspoeling stikstof (kg/ha)		Uit- en afspoeling fosfor (kg/ha)	
	Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur
Landelijke studie (2025)	1941	947						
Jaartotaal			311	177	18.4	5.3	1.52	0.51
Zomerhalfjaar (1 april-30 september)			49	28	2.4	0.6	0.23	0.07
Winterhalfjaar (1 oktober-31 maart)			262	150	16.0	4.6	1.30	0.44
LWKM (ER2024)	1910	1056						
Jaartotaal			291	225	18.3	11.5	1.54	1.04
Zomerhalfjaar (1 april-30 september)			40	46	2.3	2.2	0.18	0.18
Winterhalfjaar (1 oktober-31 maart)			251	179	15.6	9.3	1.35	0.86

De gemiddelde jaarlijkse waterafvoer van landbouwgronden in onderhavige landelijke studie is 20 mm hoger dan berekend met het LWKM, en voor natuurgronden wordt een 48 mm lagere waterafvoer berekend. De gemiddelde uit- en afspoeling van stikstof en fosfor uit landbouwgronden komt ondanks het verschil in waterafvoer toch goed overeen. Zowel de uit- en afspoeling van stikstof als van fosfor van natuurgronden wordt in deze studie duidelijk lager berekend dan met het LWKM. Hiervoor zijn enkele verklaringen te geven:

- De waterafvoer van natuurgronden wordt in deze studie ca. 20% lager berekend dan met het LWKM. Gedeeltelijk wordt dit veroorzaakt door het gebruik van de grondwatertrappenkaart (versie 2018 van de BasisRegistratie Ondergrond) die gebruikt is in de schematisering van de voorliggende studie.
- In het SWAP-ANIMO-model liggen minder natuurgronden op natte locaties en zijn de achtergrondconcentraties in deze gebieden ook lager.
- In het LWKM is de diepte waarop transport door het bovenste grondwater naar het oppervlaktewater plaatsvindt anders dan in het SWAP-STONE-model dat in de voorliggende studie is gebruikt. In het SWAP-ANIMO-model wordt het grondwater dat uittreedt naar het oppervlaktewater in grotere mate gemengd met dieper grondwater dan in het LWKM.

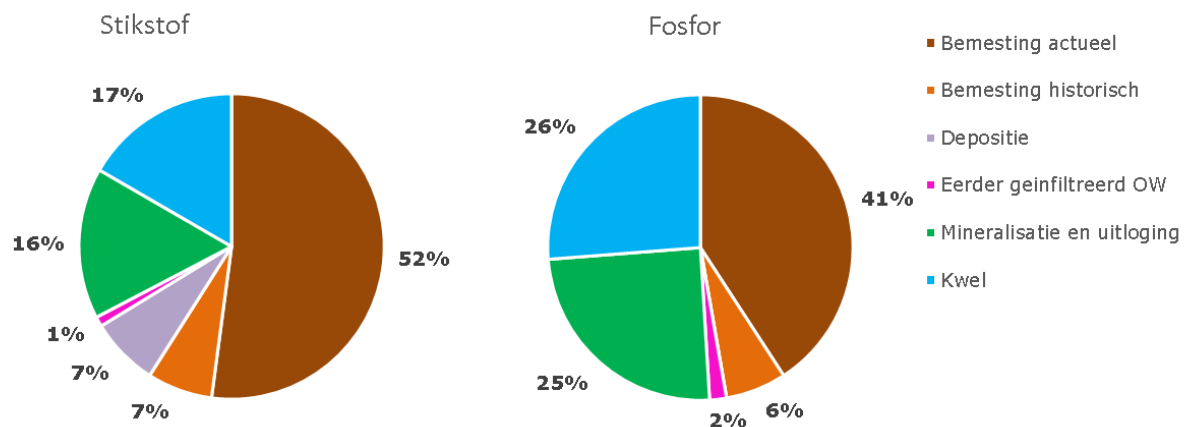
De relatief hoge uit- en afspoeling van stikstof en fosfor uit natuurgronden berekend met het LWKM leidt tot een verhouding tussen de uitspoeling uit natuurgronden ten opzichte van de uitspoeling uit landbouwgronden die hoger is dan de verhouding die door Schoumans et al. (2008) is berekend met SWAP-ANIMO. Met het LWKM zijn nog geen bronnenanalyses uitgevoerd waarin een onderscheid is gemaakt tussen landbouwbronnen en niet-landbouwbronnen. De term achtergrondbelasting en de uit- en afspoeling uit natuurgronden is een aandachtspunt bij de verdere ontwikkeling en verbetering van het LWKM, zodat ook met dit model bronnenanalyses uitgevoerd kunnen worden.

2.6 Herkomst uit- en afspoeling landbouw

In de voorgaande landelijke bronnenanalyse (Groenendijk et al., 2016) werden verschillende bronnen onderscheiden voor de uit- en afspoeling, namelijk actuele en historische mestgiften, atmosferische depositie, kwel, (semi)natuurlijke mineralisatie en uitloging, en eerder geïnfiltreerd lokaal oppervlaktewater. Deze verdeling was berekend als een bijdrage aan de evaluatie van de Meststoffenwet 2012 (Groenendijk et al., 2014). De verdeling over de genoemde bronnen was gebaseerd op een gevoeligheidsanalyse met de rekenplots van het STONE-model voor de jaren 2001-2010. De uitspoeling veroorzaakt door bemesting tot en met 2000 wordt hierin aangemerkt als uitspoeling door historische bemesting. De toegepaste methode voor het onderscheiden van onderliggende bronnen van de uit- en afspoeling uit landbouwgronden is beschreven in Bijlage 1.

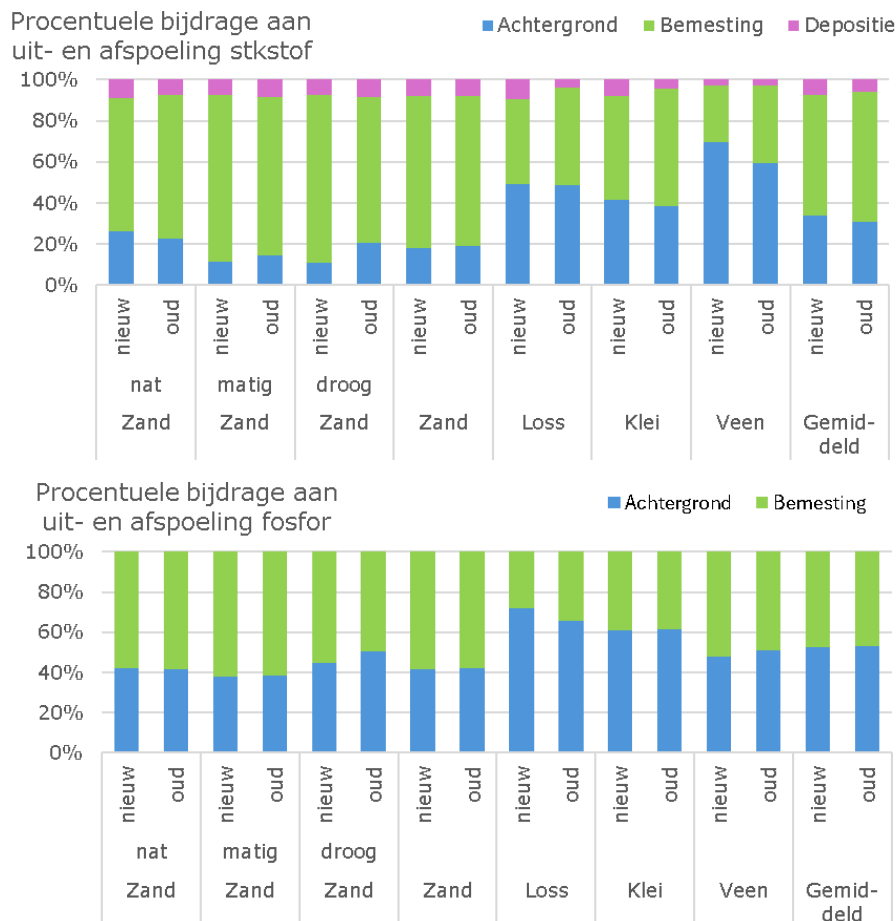
Bij de aanwijzing van NV-gebieden in 2024-2025 (Ministerie LNV, 2023) is alleen het aandeel van de bemesting (actueel en historisch) meegerekend in de landbouwbijdrage. Dat aandeel is berekend op basis van de procentuele verdeling van de bodembronnen zoals die was berekend voor de periode 2001-2010. In deze periode was er sprake van een neergaande trend in de mestgiften en waren de mestgiften doorgaans ook hoger dan in recente jaren.

Voor de update van de bronnenanalyse in deze studie zijn nieuwe berekeningen uitgevoerd om de herkomst van de uit- en afspoeling voor de actuele situatie te bepalen. Hierbij is dezelfde methode gebruikt, en is eenzelfde zichtperiode van tien jaar gehanteerd, maar is de gevoeligheidsanalyse met de rekenplots uitgevoerd voor de periode 2013-2022. Alle uitspoeling veroorzaakt door een bemesting tot en met 2012 wordt nu aangemerkt als uitspoeling door historische bemesting. Het resultaat hiervan is weergegeven in Figuur 2.5.



Figuur 2.5 Herkomst uit- en afspoeling uit landbouwgronden, verdeeld over de verschillende bodembronnen, berekend voor de periode 2012 tot en met 2021.

De actualisering van de verdeling van het aandeel van de bodembronnen in de uit- en afspoeling heeft geleid tot een geringe verschuiving ten opzichte van de verdeling zoals die in de studie van Groenendijk et al. (2016) is berekend. In Figuur 2.6 wordt de in deze studie berekende verdeling ('nieuw') vergeleken met de verdeling zoals gehanteerd in de studie van 2016 ('oud'). De vergelijking heeft betrekking op gemiddelde waarden voor landbouwgronden per grondsoort, waarbij de oppervlakten in het SWAP-ANIMO-model als uitgangspunt zijn genomen.



Figuur 2.6 Procentuele bijdrage van de bodembronnen in de uit- en afspoeling van stikstof (boven) en fosfor (onder) uit landbouwgronden zoals berekend in de onderhavige studie (nieuw) en zoals berekend in 2016 (oud).

De bijdrage van bemesting aan de uit- en afspoeling van stikstof is landelijk gemiddeld afgenomen van 63% in de studie uit 2016 naar 59% in de onderhavige studie. Voor fosfor wordt landelijk gemiddeld een gelijke bijdrage van de bemesting berekend van 47%. Tabel 2.5 geeft de vergelijking voor de verschillende grondsoorten.

Tabel 2.5 Bijdrage van bemesting aan de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor in de onderhavige studie (nieuw) en in de studie van Groenendijk et al. uit 2016 (oud).

		Stikstof		Fosfor	
		nieuw	oud	nieuw	oud
Zand	nat	65%	70%	58%	58%
Zand	matig nat	81%	77%	62%	62%
Zand	droog	81%	71%	55%	50%
Zand	gemiddeld	74%	73%	59%	58%
Löss		41%	47%	28%	34%
Klei		50%	57%	39%	38%
Veen		27%	38%	52%	49%
Gemiddeld		59%	63%	47%	47%

De belangrijkste oorzaken van de verschillen zijn:

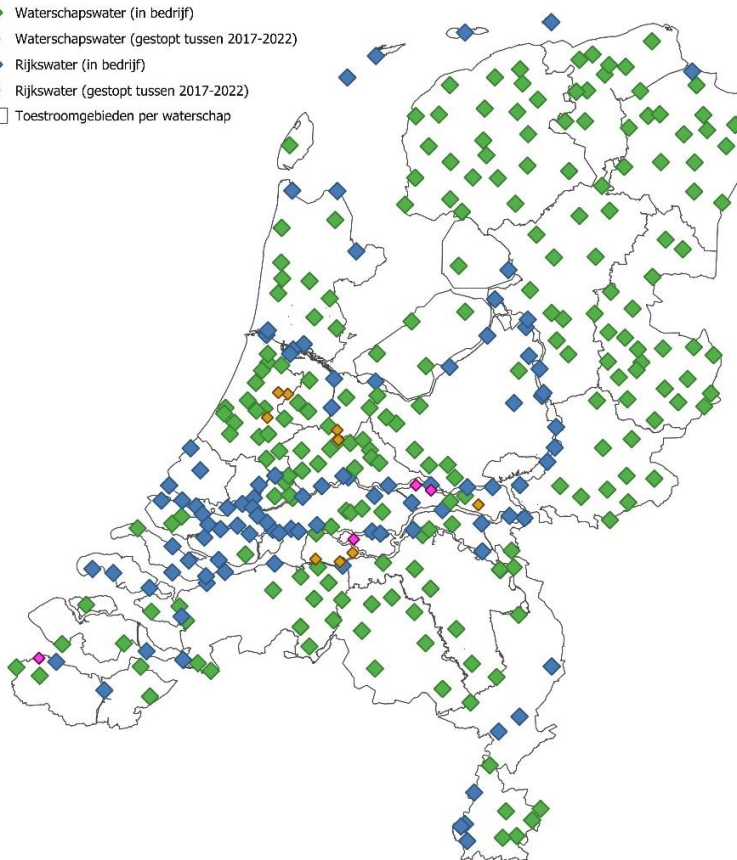
- Het bemestingsniveau in de oude studie (2001-2010) wijkt af van het bemestingsniveau in de nieuwe periode (2013-2022).
- Het weer in de oude studie bevatte slechts één droog jaar (2003), terwijl in het weer van de onderhavige studie vier droge jaren (2018, 2019, 2020 en 2022) voorkomen.
- In mindere mate dan het bemestingsniveau en het weer worden de cijfers voor veengronden beïnvloed door een artefact in de modelbenadering. In het SWAP-ANIMO-model (STONE) wordt voor veengronden rekening gehouden met maaiveldval en een aanpassing van de oppervlaktewaterpeilen. Modelmatig wordt dit beschreven door eenmaal in de vijftien jaar organische stof uit de ondergrond in het modelprofiel te brengen en van onder naar boven een bepaalde hoeveelheid van de aanwezige organische stof naar boven te transporteren. In de onderhavige studie valt dit moment binnen de zichtperiode van 2013-2022 en in de oude studie viel het moment van peilaanpassing en inbreng van ondergrondmateriaal buiten de zichtperiode van 2001-2010. In de jaren na het inbrengen van ondergrondmateriaal is de bijdrage van achtergrondbelasting voor stikstof in water hoger dan in voorafgaande jaren, en is daarmee de relatieve bijdrage van de bemesting water lager. Voor fosfor geldt het omgekeerde.

2.7 Effluenten RWZI's

In Nederland zijn in de periode 2017-2022 325 rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) in bedrijf. Daarvan zijn 13 installaties tussen 2017 en 2022 gestopt. Van de installaties die in 2022 in bedrijf zijn, loost het merendeel (216) het effluent op de regionale wateren, de overige lozen op grote rijkswateren (kustwateren, grote rivieren, randmeren, Noordzeekanaal, Amsterdam Rijnkanaal e.a.). Enkele RWZI's lozen in het winterhalfjaar op een regionaal oppervlaktewater en in het zomerhalfjaar op rijkswater, of het effluent wordt juist gebruikt voor peilhandhaving in de zomer. Deze variaties zijn meegenomen in de berekening. De locaties van de RWZI's zijn weergegeven in Figuur 2.7.

RWZI's 2017-2022, loost op:

- ◆ Waterschapswater (in bedrijf)
- ◆ Waterschapswater (gestopt tussen 2017-2022)
- ◆ Rijkswater (in bedrijf)
- ◆ Rijkswater (gestopt tussen 2017-2022)
- Toestroomgebieden per waterschap



Figuur 2.7 Locaties RWZI's. In de figuur is aangegeven of de RWZI's lozen op regionale wateren of op rijkswateren. Ook is aangegeven welke in de periode 2017-2022 zijn gestopt.

Het Waterschapshuis heeft voor de bronnenanalyse de data van de RWZI's van negentien waterschappen vanuit de database Z-INFO¹¹ aangeleverd. Dit betreft de debieten op dagbasis en de gemeten totaalstikstof- en totaalfosforconcentraties. Waterschap Hunze en Aa's en Waterschap Fryslân hebben deze informatie rechtstreeks aangeleverd, omdat van die waterschappen geen gegevens zijn opgenomen in Z-INFO. De debieten van de RWZI's worden iedere dag gemeten, de concentraties twee of vier keer per maand (afhankelijk van de RWZI).

Voor iedere dag dat de concentratie is gemeten, is de stikstof- en fosforvracht op die dag berekend. Vervolgens is voor iedere RWZI het debiet, de debietgewogen concentratie en de totale stikstof- en fosforvracht berekend in het zomerhalfjaar en winterhalfjaar van de jaren 2017 tot en met 2022. Daar waar data ontbraken, is dit aangevuld, ervan uitgaande dat de RWZI's iedere dag hebben geloosd. Iedere RWZI is gekoppeld aan het toestroomgebied waarop het effluent wordt geloosd. Deze informatie is voor controle naar de waterschappen gestuurd. Alle waterschappen hebben deze controle uitgevoerd en voor zover noodzakelijk correcties doorgegeven voor het lozingspunt en/of voor de wijze waarop ontbrekende data zijn aangevuld.

De stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater afkomstig van de RWZI's en de gemiddelde effluentconcentraties over de periode 2017-2022 zijn weergegeven in Tabel 2.6. In totaal lozen de RWZI's 8460 ton stikstof en 966 ton fosfor per jaar. De stikstofvrachten zijn in het winterhalfjaar duidelijk hoger dan in het zomerhalfjaar, de fosforvrachten zijn vrij constant. De effluentconcentraties verschillen sterk per RWZI. De gemiddelde effluentconcentratie voor stikstof en fosfor van de RWZI's die lozen op de regionale wateren is respectievelijk 6,4 mgN/l en 0,9 mgP/l. Ook hierbij geldt dat de concentratie van stikstof in de winter gemiddeld duidelijk hoger is dan in de zomer.

Tabel 2.6 Stikstof- en fosforbelasting en gemiddelde effluentconcentraties RWZI's in de toestroomgebieden.

seizoen	N-vracht (ton)	P-vracht (ton)	N (mgN/l)	P (mgP/l)
zomerhalfjaar	3491	485	5.8	1.0
winterhalfjaar	4968	480	6.9	0.8
jaargemiddeld	8460	966	6.4	0.9

2.8 Overige punt- en diffuse bronnen

De overige punt- en diffuse bronnen zijn ontleend aan Emissieregistratie (ER). De ER berekent de emissie naar bodem, water en de lucht voor verschillende stoffen en voor vele verschillende punt- en diffuse bronnen in Nederland. De methodiek waarmee deze berekeningen tot stand komen, wordt vastgelegd in factsheets per emissieoorzaak.¹²

Voor de bronnenanalyse zijn de datasets gebruikt met de definitieve emissieschattingen van de jaren 2015, 2019, 2020, 2021 en 2022 die zijn uitgegeven in januari 2025 en ruimtelijk geordend in ruim 2500 geografische afwateringseenheden (GAF90). De emissies per GAF-eenheid zijn toegekend aan de toestroomgebieden door in GIS een overlay te maken. De GAF-eenheden van de grote binnenwateren (IJsselmeer, kustwateren, Waddenzee, randmeren) zijn hierbij eerst verwijderd, omdat deze in enkele gebieden enige overlap hebben met de toestroomgebieden.

Voor de jaren 2017 en 2018 (waarvoor geen data beschikbaar zijn bij de ER) zijn de emissies lineair geïnterpoleerd tussen de jaren 2015 en 2019. Tabel 2.4 geeft een overzicht van de nutriëntenbelasting van de toestroomgebieden door de bronnen die aan ER zijn ontleend. Ter vergelijking zijn ook de emissies van de uit- en afspoeling, RWZI's, inlaat Rijkswater en toestroom buitenland in Tabel 2.7 opgenomen.

¹¹ <https://www.hetwaterschapshuis.nl/zuiveringsdata-om-van-te-leren-z-info>

¹² <https://www.emissieregistratie.nl/documentatie/water-documenten>

Tabel 2.7 Stikstof- en fosforbelasting, jaargemiddeld 2017-2022 in de toestroomgebieden van alle regionale oppervlaktewateren door alle punt- en diffuse bronnen, inlaat rijkswater en toestroom uit het buitenland.

Bronnen	Stikstof (ton)	Fosfor (ton)	Informatiebronnen
Erf afspoeling	647	216	Emissieregistratie (uitgifte januari 2025)
Glastuinbouw	460	55	
Meemesten sloten	824	27	
Industrie en bedrijven	1025	53	
Depositie open water	3168	0	
Riool overstorten	377	69	
Regen waterriolen	2189	358	
Watervogels	99	35	
Binnen- en recreatievaart	86	15	
IBA's en overige diffuse	111	18	
Uit- en afspoeling landbouw	35678	2951	Berekend met SWAP-ANIMO
Uit- en afspoeling natuur	4913	475	
RWZI's	7558	835	Z-INFO meetreeksen
Inlaat rijkswater	6052	191	Meetreeksen en schattingen waterschappen
Toestroom buitenland	11959	348	

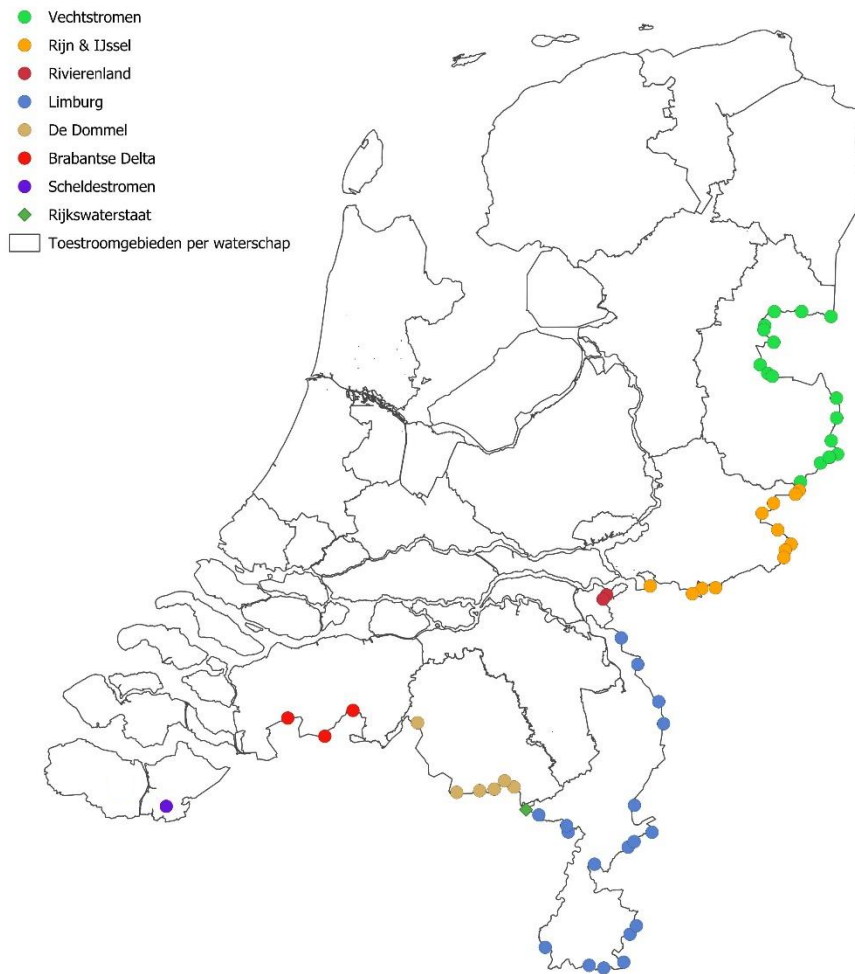
Uit Tabel 2.7 komt naar voren dat de uit- en afspoeling uit landbouwgronden de belangrijkste bron is van zowel de stikstof- als fosforbelasting van het regionale oppervlaktewater. Uit- en afspoeling is ook in de meeste toestroomgebieden een belangrijke bronterm, behalve in toestroomgebieden waar het landgebruik voornamelijk stedelijk is en in gebieden waar de toestroom buitenland, RWZI's of inlaat rijkswater dominant is.

2.9 Waterinlaat uit rijkswateren en aanvoer uit het buitenland

In diverse delen van Nederland stroomt via beken en kanalen water vanuit het buitenland de grens over. Een deel van de nutriëntenbelasting in die wateren is daarmee afkomstig uit Duitsland en België. De verkregen informatie over de toestroom uit het buitenland is verwerkt in de modelinput. Dit betreft de debieten en de bijhorende stikstof- en fosforvrachten. De vrachten zijn berekend op basis van de debieten en de gemeten concentraties van de grensoverschrijdende wateren. De waterkwaliteitsmeetpunten die hierbij zijn gebruikt, zijn afgestemd met het waterschap. Afhankelijk van de volledigheid van de meetreeksen zijn de vrachten berekend op basis van debiet gewogen concentraties of door interpolaties van de tijdreeksen met de gemeten concentraties. In totaal is toevoer uit het buitenland berekend voor 61 locaties waar een oppervlaktewaterlichamen de grens met Nederland passeert (zie Figuur 2.8). Dit betreft de waterschappen Limburg, De Dommel, Brabantse Delta, Scheldestromen, Rivierenland, Rijn & IJssel en Vechtstromen. Van diverse grensoverschrijdende wateren ontbreekt monitoring van de debieten. Deze zijn in overleg en op aangeven van het waterschap op alternatieve wijze afgeleid, bijvoorbeeld op basis van een schatting van het debiet in het stroomgebied buiten Nederland of op basis van vergelijkbare beken waar wel monitoring aanwezig is.

Inlaten van rijkswateren zijn op eenzelfde manier bepaald als de toestroom vanuit het buitenland. Waar hiervan geen monitoring aanwezig is of de inlaten diffuus zijn, is door het waterschap meestal een schatting gegeven van de watervraag van het betreffende gebied (in millimeters per halfjaar of gemiddeld voor het zomerhalfjaar).

Instroom buitenland



Figuur 2.8 Toestroom vanuit het buitenland naar de grensoverschrijdende oppervlaktewaterlichamen.

De inlaten vanuit kanalen naar beken en vanuit boezems naar polders zijn berekend op basis van de waterverdeling die in de routingschema's zijn vastgelegd (zomer- en winterhalfjaar gemiddeld) en de waterafvoer en bijhorende stofvracht die voor die kanalen en boezems zijn berekend. Op deze wijze zijn de gebiedskennis en de meetgegevens die de waterschappen hebben ingebracht, verwerkt in de waterverdeling.

2.10 Retentie

Een deel van de nutriëntenbelasting in een toestroomgebied verdwijnt door denitrificatie of wordt vastgelegd in onder andere waterplanten en in de waterbodem en passeert daarom niet het uitstroompunt. Dit wordt aangeduid als retentie. Deze berekeningswijze is hetzelfde als de methode die is toegepast in de voorgaande landelijke bronnenanalyse (Groenendijk et al., 2016) en daarvoor in de Evaluatie Meststoffenwet 2012 (Van Boekel et al., 2012). De berekening van de retentie maakt onderscheid in het type toestroomgebied (polder of vrij afwaterend) en per type belasting (diffuse bron, RWZI's, inlaatwater/buitenland en afwenteling).

Diffuse bron in een polder: voor stikstof wordt per rekentijdstap een retentie berekend voor klei- en veengebieden, afhankelijk van de winter- of zomerperiode en het oppervlak open water. Per rekentijdstap wordt bijgehouden hoeveel retentie is berekend ten opzichte van de in die tijdstap berekende totale stikstof- en fosforbelasting. Als dat meer is dan 90%, wordt de retentie in die tijdstap op 90% gesteld. Voor fosfor is de retentie standaard 50%.

Diffuse bron in een vrij afwaterend gebied: hiervoor geldt een andere berekeningswijze dan in polders. Op basis van empirische factoren is met de verhouding van de afvoer van het toestroomgebied en het wateroppervlak van het toestroomgebied de retentie bepaald. Ook deze retentie is maximaal 90%. Eenzelfde rekenwijze geldt voor fosfor, maar dan met andere empirische getallen.

RWZI's: voor RWZI's is de retentie maximaal 20% en deze wordt verlaagd tot 0% op basis van de relatieve afstand van het lozingspunt tot het uitstroompunt. Deze relatieve afstand is de fractie van de afstand tot het uitstroompunt ten opzichte van de totale lengte van de hoofdwatgang in het toestroomgebied. Dus een lozingspunt vlak voor het uitstroompunt naar een volgend toestroomgebied heeft (nagenoeg) geen retentie in het toestroomgebied waar de lozing plaatsvindt.

Overige lozingen: van inlaten en aanvoer van buitenland wordt verondersteld dat die door het gehele toestroomgebied stromen. Daardoor is voor die bronnen de afwenteling standaard 20%.

Afwenteling: de stoffen die vervolgens door een volgend toestroomgebied stromen, hebben in dat toestroomgebied een retentie van 20%.

Bovenstaande methode per bron is samengevat weergegeven in het Figuur 2.9.

Diffuse bronnen Polders	Stikstof				Fosfor			
	zomer		winter		zomer		winter	
	klei	11.8 gN.m ⁻²	5.0 gN.m ⁻²	50%				
	veen	4.4 gN.m-2	1.0 gN.m-2					
maximaal	90%							
vrij afwaterend, diffuse bronnen	$Q_s = \frac{Q_{afvoerpunt}}{A_{water}}$				Retentie (%) = $100 \times a \cdot Q_s^b$			
	zomer		winter		zomer		winter	
	a	b	a	b	a	b	a	b
	0.0462	-0.5277	0.1153	-0.2025	0.0065	-0.8884	0.0017	-1.1449
	max 90%				max 90%			
RWZI's	$Retentie_{RWZI} = 20\% \times \frac{afstand\ RWZI\ tot\ uitstroompunt}{Lengte\ waterlichaam}$							
afwenteling, toestroom buitenland, inlaat rijkswater	20%				20%			

Figuur 2.9 Overzicht van de berekeningswijze van de retentie.

2.11 Modelvalidatie

De modelresultaten zijn op volgende manieren gecontroleerd en vergeleken met metingen.

Modelinput:

- Afwenteling en uitwisseling van water tussen de toestroomgebieden: Voor ieder waterschap zijn op het niveau van de toestroomgebieden gedetailleerde routingschema's opgesteld. Hierin is schematisch vastgelegd waar ieder toestroomgebied op afwatert in de zomer- en wintersituatie, waar water wordt uitgewisseld tussen de toestroomgebieden (inlaat en afvoer), waar rijkswater wordt ingelaten en water toestroomt vanuit het buitenland. Voor diverse waterschappen waren eerder geen bronnenanalyse met

KRW-ECHO uitgevoerd en zijn die schema's iteratief en in nauwe samenwerking met de (hydrologen van de) waterschappen opgesteld. De routingschema's zijn verwerkt in de modelinput waarmee uitwisseling van water tussen de toestroomgebieden is gedefinieerd. Daar waar toestroomgebieden afwateren op meerdere andere gebieden, is een verdeling aangehouden op basis van de monitoringsdata en/of expertschattingen die de waterschappen voor het onderzoek hebben aangeleverd en in de werkoverleggen hebben ingebracht.

- RWZI's: Voor alle RWZI's in Nederland is een database in Excel gemaakt met daarin de ruwe data van de debieten en gemeten concentraties, de daaruit berekende debieten en stofvrachten per zomer- en winterhalfjaar, en de toestroomgebieden waarop in de winter en zomer wordt geloosd. Deze database is in Excel uitgewisseld ter controle naar alle waterschappen. In Excel was ook een lijst met RWZI's opgenomen waarvan de tijdreeksen niet compleet waren en/of het lozingspunt op voorhand niet duidelijk was. Alle waterschappen hebben deze controle uitgevoerd en wijzigingen waar nodig doorgegeven. De lozingspunten van de RWZI's zijn ook opgenomen in de routingschema's, die ook ter controle zijn uitgewisseld met alle waterschappen.
- Toestroom buitenland en inlaat vanuit Rijkswateren: Zoals hiervoor beschreven, is de toestroom en waterinlaat schematisch weergegeven in de routingschema's. Voor al die toestroomgebieden is informatie aan de waterschappen gevraagd over de debieten en de daaraan te koppelen concentraties. De te gebruiken monitoringinformatie is besproken met de betrokken hydrologen van de waterschappen. Op lang niet alle inlaten en toestroom zijn debietmetingen beschikbaar. Waar mogelijk zijn schattingen van de waterschappen gehanteerd voor de modelinput en/of zijn indicatieve berekeningen uitgevoerd op basis van de omvang van het toestroomgebied van de grenswateren in België en Duitsland. De resultaten hiervan zijn besproken met de betreffende waterschappen.

Water en nutriëntenbalansen:

- Uitwisseling en controles door de waterschappen: Begin april 2025 zijn de tussenresultaten van de berekende stikstof- en fosforbelasting en de waterbalansen uitgewisseld met de waterschappen, inclusief de routingschema's. Deze tussenresultaten zijn plenair aan alle contactpersonen van de waterschappen, LVVN en I&W toegelicht tijdens overleg (17 april 2025) onder de regie van de Unie van Waterschappen. Alle waterschappen hebben enkele weken de tijd gekregen om controles uit te voeren. Met de meeste waterschappen is overleg gevoerd om de door hun gestelde vragen en voorgestelde verbeterpunten op de modelinput te bespreken. De aanpassingen (verbeteringen) op de modelinput zijn bijgehouden in een logboek. De meeste verbeterpunten hadden betrekking op de afwenteling (de uitwisseling van water tussen de toestroomgebieden), maar er zijn ook enkele fouten geïdentificeerd over inlaat van rijkswater en toewijzing van RWZI's.

Berekende versus uit metingen afgeleide debieten, concentraties en stofvrachten:

- Op de meeste uitwisselpunten van de toestroomgebieden zijn metingen beschikbaar van de concentratie N en P. In vrij afwaterende gebieden is de stroomrichting in zomer en winter gelijk. In polder-boezem-systemen en bepaalde watergangen die in de zomer worden gebruikt voor de aanvoer van water, is de stroomrichting in de zomer anders dan in de winter. Per toestroomgebied is bepaald welk meetpunt representatief is voor de zomer- en winterafvoer. In veel gevallen komt dit overeen met het KRW-meetpunt, in sommige gevallen is een ander meetpunt gebruikt dat overeenkomt met het watersysteem. De gemeten concentraties zijn vergeleken met de berekende concentraties per toestroomgebied en opgenomen in Bijlage 7.
- Op diverse uitwisselpunten van water zijn voldoende debietmeetgegevens beschikbaar om de berekende waterafvoer te vergelijken met metingen. Meestal is daarbij ook een representatief (nabijgelegen) meetpunt van de waterkwaliteit aanwezig waar de stikstof- en fosfor concentraties worden gemeten. De debieten zijn meestal per dag (of fijner) beschikbaar, de concentraties zijn meestal een of twee keer per maand gemeten. Met behulp van zijn de reeksen verfijnd tot metingen per dag, zodat de stikstof- en fosforvrachten per half jaar konden worden afgeleid. Deze vrachten zijn vergeleken met de debieten en stofvrachten die met KRW-ECHO zijn berekend. De resultaten van de vergelijking van gemeten en berekende vrachten zijn opgenomen in Bijlage 7.

3 Nutriëntenbalansen 2017-2022

3.1 Herkomst verdeling

De totale berekende nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in alle toestroomgebieden is weergegeven in Tabel 3.1 (stikstof) en 3.2 (fosfor).

Op landelijke schaal zijn de belangrijkste bronnen de uit- en afspoeling uit landbouwgronden, RWZI's, inlaat van rijkswater en toestroom vanuit het buitenland. In het zomerhalfjaar verschuift de relatieve bijdrage van de bronnen, omdat de uit- en afspoeling uit landbouw- en natuurgroden en de toestroom vanuit het buitenland in de zomerperiode aanmerkelijk minder is dan in de winterperiode, terwijl de behoefte aan wateraanvoer en daarmee de inlaat van rijkswater juist groter is. De belasting van de RWZI's is gelijk over het jaar verdeeld. Dat geldt ook de voor overige bronnen die aan Emissieregistratie zijn ontleend, omdat daarvan alleen schattingen op jaarbasis zijn. Voor het zomerhalfjaar zijn dezelfde emissies als voor het winterhalfjaar aangenomen.

Tabel 3.1 Totale stikstofbelasting van het oppervlaktewater jaargemiddeld en zomerhalfjaar voor de periode 2017-2022 (in ton N en in % van de totale belasting).

Bron		N (ton)	% van totaal	N (ton)	% van totaal
		Jaargemiddeld		Zomerhalfjaargemiddeld	
Uit- en afspoeling landbouw	Actuele mestgiften	17598	23%	2133	10%
	Historische mestgiften	2570	3%	276	1%
	Depositie	2528	3%	324	2%
	Bodemleverantie	6884	9%	883	4%
	Kwel	5562	7%	1048	5%
	Lokaal oppervlaktewater	566	1%	88	0%
Uit- en afspoeling natuur		4915	6%	602	3%
Erfafspoeling		649	1%	325	2%
Glastuinbouw		460	1%	230	1%
Meemesten sloten		827	1%	414	2%
RWZI's		8460	11%	3491	16%
Industrie		1028	1%	514	2%
Depositie open water		3214	4%	1607	8%
Regenwater riolen		2190	3%	1095	5%
Overige diffuse bronnen ²⁾		688	1%	344	2%
Inlaat rijkswater		6052	8%	4269	20%
Toestroom buitenland		11959	16%	3694	17%
Totaal		76149	100%	21338	100%

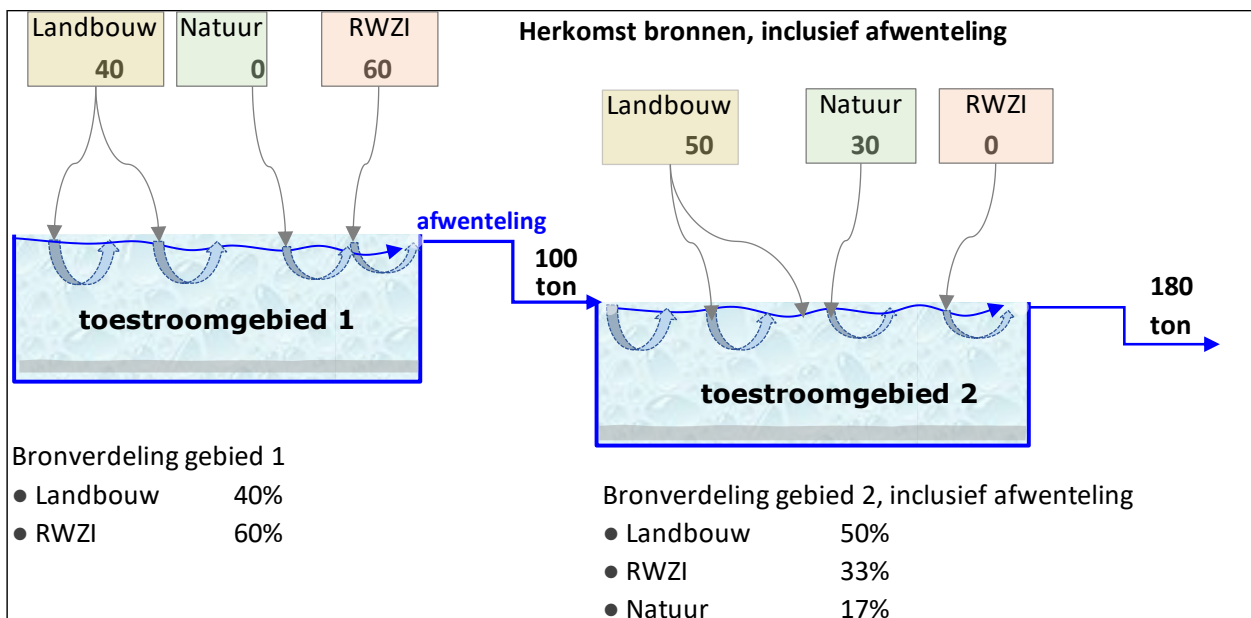
²⁾ Riool overstorten, ongezuiverde huishoudelijke lozingen, IBA's, scheepvaart, watervogels.

Tabel 3.2 Totale fosforbelasting van het oppervlaktewater zomerhalfjaargemiddeld voor de periode 2014-2017 (in ton P en in % van de totale belasting).

Bron		P (ton)	% van totaal	P (ton)	% van totaal
		Jaargemiddeld		Zomerhalfjaargemiddeld	
Uit- en afspoeling landbouw	Actuele mestgiftten	1104	19%	151	9%
	Historische mestgiftten	156	3%	19	1%
	Depositie	0	0%	0	0%
	Bodemleverantie	886	15%	127	8%
	Kwel	728	13%	130	8%
	Lokaal oppervlaktewater	78	1%	12	1%
Uit- en afspoeling natuur		475	8%	69	4%
Erfafspoeling		216	4%	108	6%
Glastuinbouw		55	1%	27	2%
Meemesten sloten		27	0%	13	1%
RWZI's		966	17%	485	29%
Industrie		54	1%	27	2%
Depositie open water		0	0%	0	0%
Regenwater riolen		358	6%	179	11%
Overige diffuse bronnen ²⁾		140	2%	70	4%
Inlaat rijkswater		191	3%	137	8%
Toestroom buitenland		348	6%	125	7%
Totaal		5781	100%	1679	100%

De bijdrage van de bronnen kan per toestroomgebied sterk verschillen. De toestroom vanuit het buitenland is vooral een belangrijke bron in Limburg, het zuidelijke deel van Noord-Brabant, Twente en het oostelijke gebied van Drenthe. Glastuinbouw is een belangrijke bron in de toestroomgebieden waar een relatief groot areaal glastuinbouw aanwezig is. Dat is niet alleen in Zuid-Holland (polders in Delfland, Schieland, Hollandse Delta), maar ook in enkele gebieden van Rivierenland en in Limburg. De industrie is alleen in enkele gebieden een belangrijke bron. De atmosferische depositie op open water is voor stikstof een belangrijke bron in zeer waterrijke toestroomgebieden. Erfafspoeling is in diverse toestroomgebieden ook een belangrijke bron van fosfor.

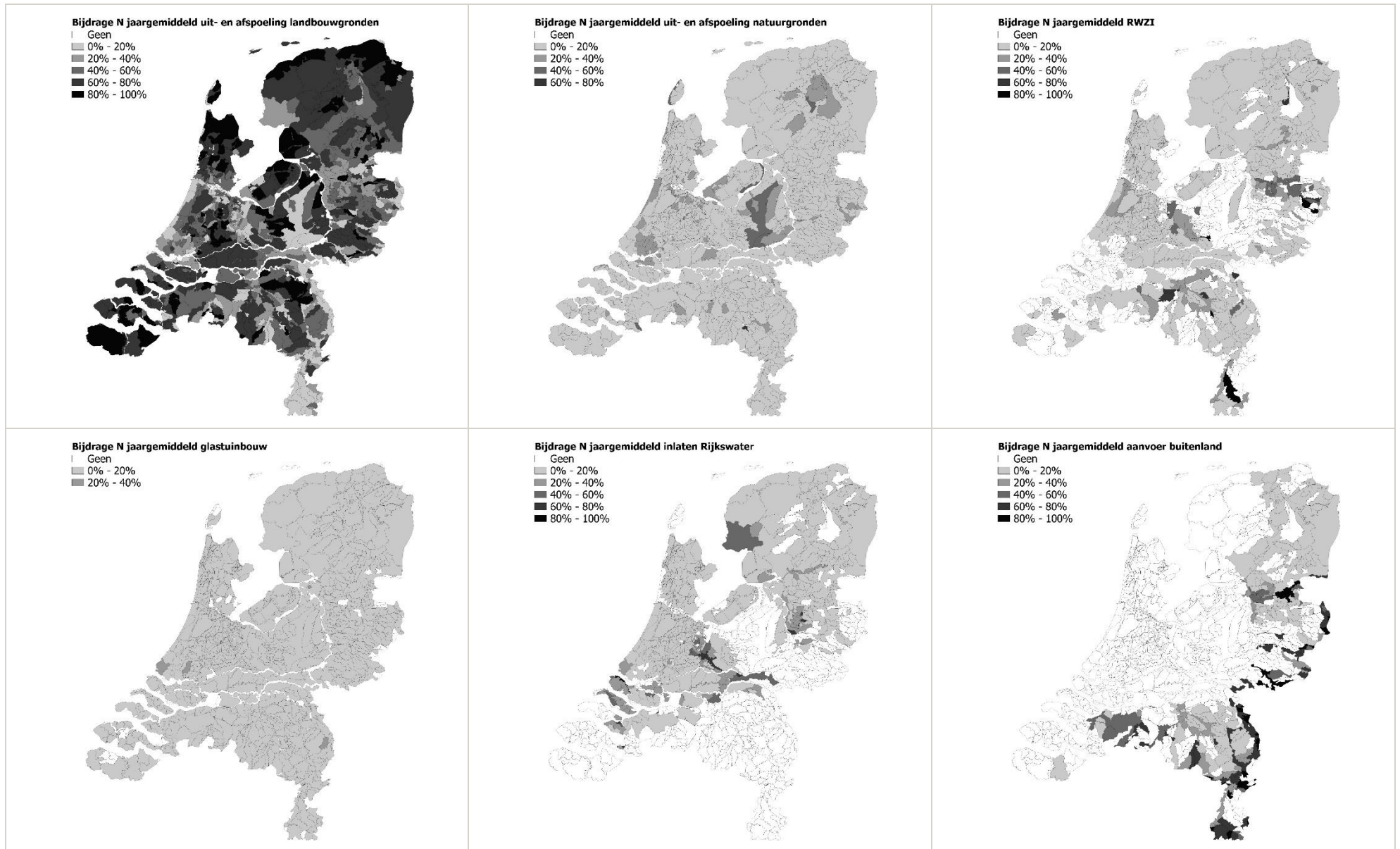
Per toestroomgebied is niet alleen de gebiedseigen nutriëntenbelasting berekend, maar ook de nutriëntenbelasting die voortkomt door water dat van andere toestroomgebieden toestroomt of wordt ingelaten. Het water vanuit andere toestroomgebieden wordt hier de afwenteling genoemd. Voor de afwenteling is ook de bronverhouding berekend. Daarmee kan voor ieder toestroomgebied de bijdrage van iedere bron in de totale stikstof- en fosforbelasting worden berekend. Dit wordt in Figuur 3.1 met een fictief voorbeeld geïllustreerd. In dit voorbeeld zijn dat drie bronnen (landbouw, natuur en RWZI) en twee aan elkaar verbonden toestroomgebieden. De retentie van de bronnen is in dit voorbeeld op 0% gesteld.



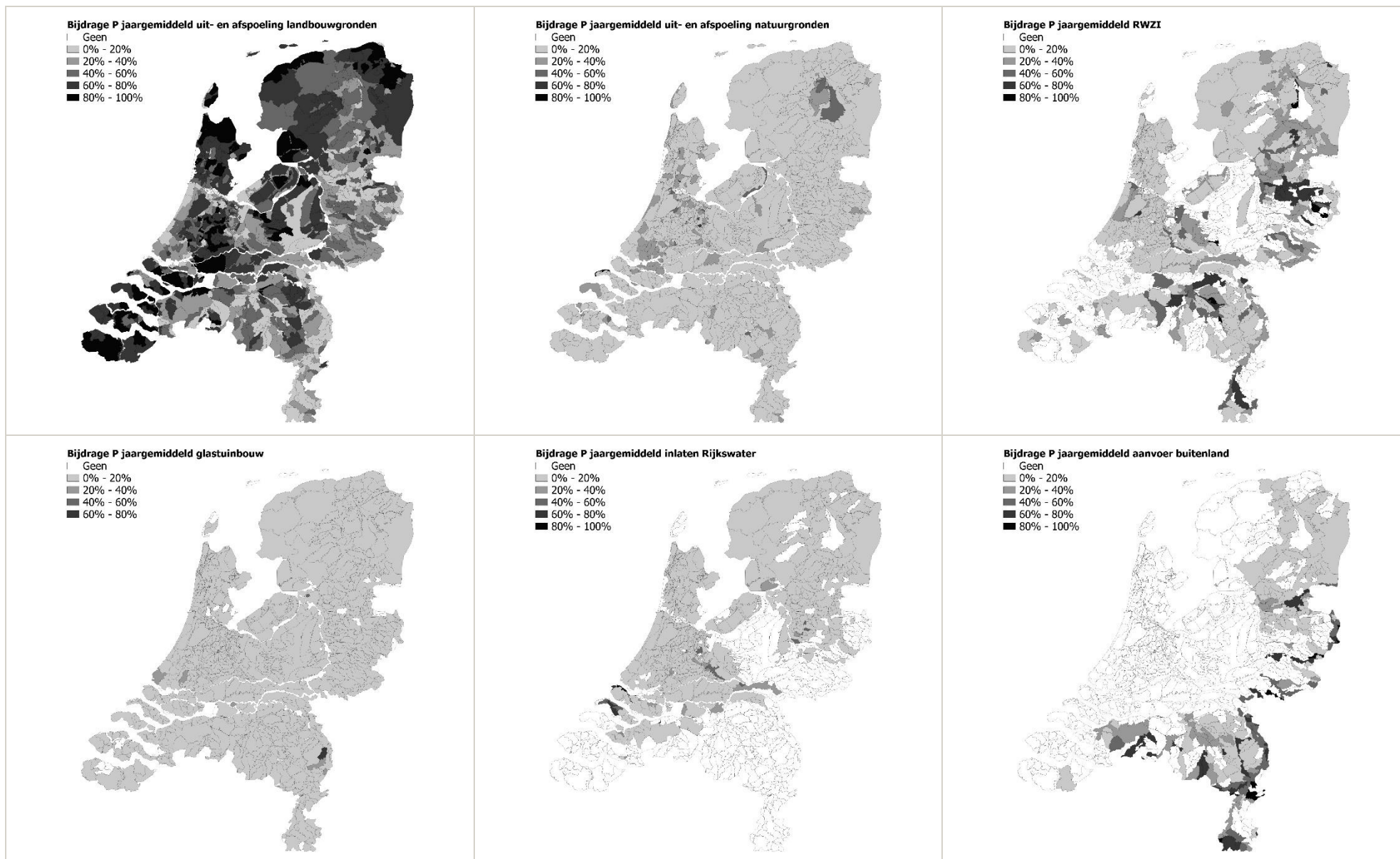
Figuur 3.1 Principe waarop de afwenteling wordt verdisconteerd in de herkomstverdeling.

In toestroomgebied 1 is alleen sprake van gebiedseigen belasting. Deze is in totaal 100 ton, waarvan 40% afkomstig is van landbouw en 60% van een RWZI. Toestroomgebied 2 ligt benedenstrooms van gebied 1 en ontvangt de belasting van de gebiedseigen bronnen én de belasting van de nutriënten die uit toestroomgebied 1 worden afgewenteld. De totale belasting is in gebied 2 daarmee 180 ton, waarvan de helft afkomstig is van landbouw (40 ton uit gebied 1 en 50 ton uit gebied 2), een derde van RWZI en een zesde van natuur.

Het op deze wijze berekende jaargemiddelde aandeel per toestroomgebied is voor de bronnen (uit- en afspoeling, RWZI's, glastuinbouw, inlaat rijkswater en buitenland) weergegeven in Figuur 3.2 (stikstof) en 3.3. (fosfor). In Bijlage 3 is het aandeel van alle afzonderlijke bronnen weergegeven, jaar- en zomerhalfjaar gemiddeld.



Figuur 3.2 Aandeel uit- en afspoeling, RWZI's, regenwaterriolen, inlaat rijkswater en toestroom buitenland stikstof, jaargemiddeld voor de periode 2017-2022.



Figuur 3.3 Aandeel uit- en afspoeling, RWZI's, regenwaterriolen, inlaat Rijkswater en toestroom buitenland fosfor, jaargemiddeld voor de periode 2017-2022.

Uit Figuur 3.2 en 3.3 blijkt dat de verhouding van de bronnen sterk verschilt per toestroomgebied. In vrijwel alle gebieden vormt de uit- en afspoeling uit landbouwgronden een relatief grote bijdrage. Dit komt omdat in nagenoeg alle toestroomgebieden landbouw- en natuurgronden aanwezig zijn. De diffuse bronnen erfafspoeling, meemesten sloten, atmosferische depositie op open water, regenwaterriolen, overstorten, watervogels en ongezuiverde huishoudelijke lozingen zijn ook vrijwel overal aanwezig. De bijdrage van die bronnen is echter relatief gering. RWZI-lozingen zijn in 138 van de 738 toestroomgebieden aanwezig en toestroom uit het buitenland is alleen een directe bron in 55 toestroomgebieden op de grens van Duitsland en België. Echter, de invloed (en dus ook de bijdrage aan de nutriëntenbelasting) van de RWZI's, het buitenland en rijkswater is door afwenteling zichtbaar in veel benedenstrooms gelegen toestroomgebieden. Glastuinbouw is in een vrij beperkt aantal gebieden een belangrijke (bijdrage > 10%) bron.

3.2 Landbouwbijdrage

Voor het huidige mestbeleid zijn nutriënt verontreinigde gebieden aangewezen (Ministerie LNV, 2023). In 2024 zijn in de aangewezen NV-gebieden de totale gebruiksnormen voor stikstof met 5% verlaagd en met ingang van 2025 met 20%. NV-gebieden zijn daar aangewezen waar de landbouwbijdrage aan de totale nutriëntenbelasting groter is dan 19%. Zoals aangegeven in paragraaf 1.1, is deze bijdrage afgeleid van de nutriëntenbalans zoals die voor de jaren 2010 tot en met 2013 is berekend in de voorgaande landelijke bronnenanalyse (Groenendijk et al., 2016). Als uitgangspunt is voor de aanwijzing van de NV-gebieden gekozen om de landbouwbijdrage te bepalen op basis van de bronverdeling van de gebiedseigen nutriëntenbelasting, waarbij de volgende bronnen meegeteld zijn voor de landbouwbijdrage: uitspoeling door actuele en historische mestgiften, erfafspoeling en meemesten sloten. De externe ofwel gebiedsvreemde bronnen (inlaat rijkswater en toestroom vanuit het buitenland) zijn dus niet meegerekend als landbouwbijdrage en ook niet in de totale bijdrage. Dat geldt ook voor glastuinbouw, omdat emissies vanuit glastuinbouw niet vanuit het mestbeleid, maar via een ander beleidsspoor worden gereguleerd.

De rekenwijze van de landbouwbijdrage wordt in Tabel 3.3 toegelicht aan de hand van een fictief voorbeeld. In dit fictieve voorbeeld is de totale gebiedseigen belasting, zonder glastuinbouw mee te rekenen, 100 kg. De landbouwbijdrage is in dit voorbeeld 40 kg, ofwel 40%.

Tabel 3.3 Fictief rekenvoorbeeld nutriëntenbelasting gebiedseigen (gebiedseigen) bronnen¹ en hiermee berekende landbouwbijdrage.

Bron		Jaargemiddelde belasting gebiedseigen bronnen ¹⁾ (kg)	Landbouwbijdrage (kg)
Uit- en afspoeling landbouw	Actuele mestgiften	20	20
	Historische mestgiften	10	10
	Atmosferische depositie landbouwgrond	5	-
	Bodemleverantie (mineralisatie, uitloging)	5	-
	Kwel	5	-
	Eerder geïnfiltreerd lokaal oppervlaktewater	5	-
Uit- en afspoeling natuur		10	-
Erfafspoeling		5	5
Glastuinbouw		5	-
Meemesten sloten		5	5
RWZI's		10	-
Industrie		5	-
Atmosferische depositie open water		5	-
Regenwater riolen		5	-
Overige diffuse bronnen		5	-
Totaal, exclusief glastuinbouw		100	40

¹⁾ Inlaat rijkswater, toestroom buitenland en afwenteling zijn externe, ofwel gebiedsvreemde bronnen.

Met de resultaten van de jaargemiddelde nutriëntenbalansen over de periode 2017-2022 is de landbouwbijdrage per toestroomgebied berekend volgens de methode zoals hiervoor beschreven.

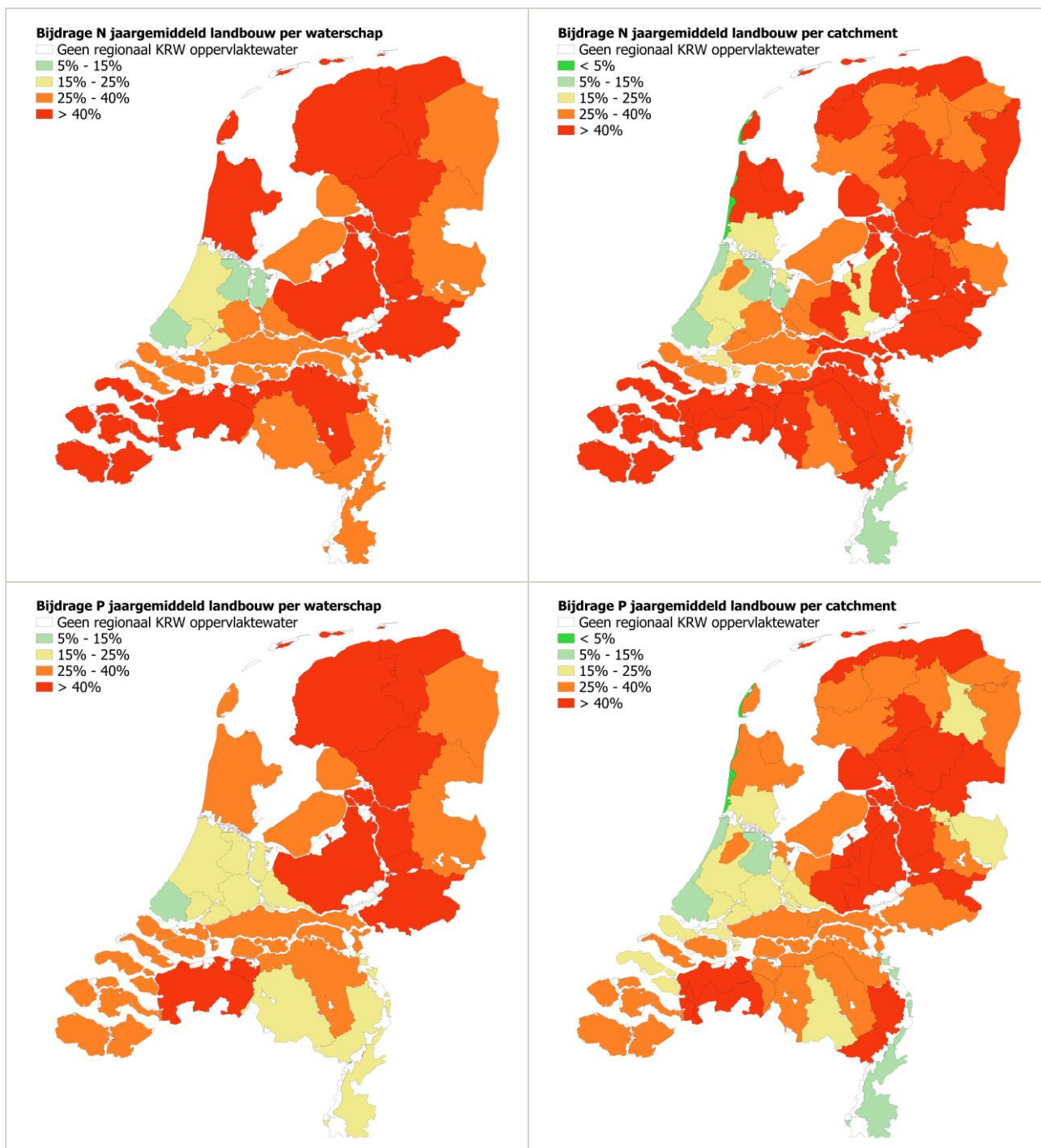
Een belangrijk doel van het onderhavige onderzoek is om de landbouwbijdrage op een ruimtelijk gedetailleerder niveau te kunnen berekenen en te presenteren dan op het niveau van de 25 waterschapsgebieden zoals gedaan is in de voorgaande landelijke bronnenanalyse. Daarom is een indeling gemaakt in 65 gebieden, door per waterschapgebied de inliggende toestroomgebieden vanuit hydrologisch perspectief te clusteren. Hierbij wordt rekening gehouden met de afwenteling zoals die in de routingschema's is vastgelegd. Voor Brabantse Delta is ook gekeken naar het dominante bodemtype (zand- of kleigronden). Een paar toestroomgebieden (7 van de 738) zijn gesplitst omdat dit vanuit landschappelijk en/of hydrologisch oogpunt logisch is. Alle overige toestroomgebieden zijn voor de indeling in 65 gebieden alleen samengevoegd. De indeling in 65 gebieden wordt nader toegelicht in Bijlage 5. De landbouwbijdrage is ook berekend op het niveau van de huidige waterschapindeling (21 gebieden). Om de landbouwbijdrage op deze niveaus te berekenen, is uitgegaan van de som van de bronnen die berekend zijn in de inliggende toestroomgebieden van de regionale oppervlaktewateren. De toestroomgebieden van Rijkswateren en toestroomgebieden die niet behoren tot een KRW-oppervlaktewaterlichaam en alleen afwateren op Rijkswateren (rivieren, kanalen, randmeren, kustwater) zijn niet meegerekend.

De landbouwbijdrage voor stikstof en fosfor op deze twee schaalniveaus is weergegeven in Figuur 3.4. In de legenda-indeling is een categorie aangehouden met een bijdrage tussen de 15-25%, ofwel rond de grens van 19%. Hier komt goed naar voren dat de landbouwbijdrage per gebied sterk verschilt. Voor de gebieden met vrij intensieve landbouw is vaak een vrij grote bijdrage berekend. Uitzondering hierop vormen de meeste toestroomgebieden in Limburg, waar vooral nitraat naar het grondwater uitspoelt, en toestroomgebieden van wateren waar vooral RWZI's een groot aandeel hebben in de nutriëntenbelasting.

In diverse toestroomgebieden langs de Belgische en Duitse grens wordt de nutriëntenbelasting hoofdzakelijk bepaald door toestroom van het grensoverschrijdende water. Omdat de landbouwbijdrage alleen wordt bepaald op basis van de interne (gebiedseigen) bronnen, heeft de landbouwbijdrage in die grensgebieden betrekking op slechts een klein deel van de nutriëntenbelasting. Dat geldt ook voor polders waar vanuit de boezem of Rijkswater zeer veel water voor het doorspoelen wordt ingelaten.

Op het ruimtelijke schaalniveau van 65 gebieden is de landbouwbijdrage voor stikstof in 7 gebieden minder dan 15% en in 6 gebieden ligt de landbouwbijdrage tussen de 15 en 25%. De landbouwbijdrage voor fosfor is in 7 gebieden minder dan 15% en in 13 gebieden ligt de landbouwbijdrage tussen de 15 en 25%. Bij de indeling in 21 gebieden is de landbouwbijdrage voor stikstof in 2 waterschapgebieden minder dan 15% en in 2 andere gebieden ligt de landbouwbijdrage tussen de 15 en 25%. De landbouwbijdrage voor fosfor is in 1 gebied minder dan 15% (Delfland) en in 6 andere waterschapgebieden ligt landbouwbijdrage tussen de 15 en 25%.

De landbouwbijdrage, berekend over de jaren 2017-2022, is voor stikstof ruim 10% kleiner dan in de voorgaande landelijke bronnenanalyse die was berekend voor de jaren 2010-2013. In 18 van de 26 waterschapgebieden (oude indeling 2012) is deze berekende bijdrage nu meer dan 5% lager. De landbouwbijdrage voor fosfor is in de meeste gebieden nu juist iets hoger, gemiddeld ongeveer 5%. In 2 gebieden (Hollandse Delta en Zeeuws-Vlaanderen) is de berekende landbouwbijdrage voor fosfor nu echter een stuk hoger (circa 25%).



Figuur 3.4 Landbouwbijdrage stikstof (boven) en fosfor (onder) op twee schaalniveaus; links per waterschap (indeling in 21 gebieden), rechts per hydrologische eenheid (indeling in 65 gebieden).

4 Discussie modelresultaten

4.1 Evaluatie bronnenanalyse resultaten

De resultaten van de bronnenanalyse kunnen op diverse wijzen worden geëvalueerd. Gelet op het primaire doel van het onderzoek, het bepalen van de bijdrage van de landbouw aan de nutriëntenbelasting, is het vooral belangrijk om de bronverdeling te evalueren en de betrouwbaarheid daarvan te beoordelen. Om dat te doen, is gekeken hoe onzekerheden over de berekende uit- en afspoeling doorwerken in de berekende landbouwbijdrage. Dit wordt behandeld in paragraaf 4.2. In de daaropvolgende paragrafen wordt ook ingegaan op onzekerheden rond de temporele verdeling van emissies, de rol van de waterbodem, de invloed van weerjaren, retentie en de uitwisseling (afwenteling) tussen de toestroomgebieden. In paragraaf 4.6 worden conclusies getrokken over het toepassingsbereik van de bronnenanalyse.

4.2 Onzekerheden berekende emissies

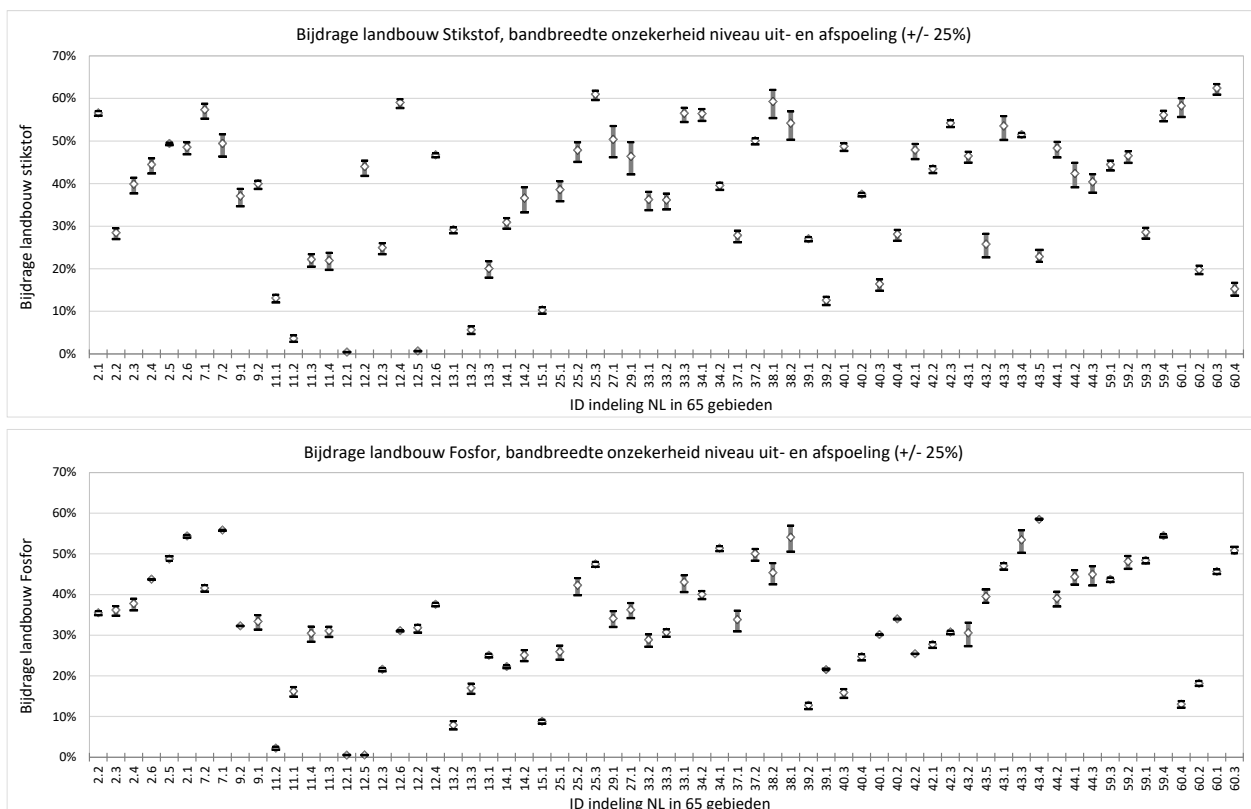
4.2.1 Inleiding

Onzekerheden in de berekende emissies hebben invloed op het niveau van de berekende belasting en de bronverdeling. De landbouwbijdrage wordt daarbij vooral beïnvloed door onzekerheden over het niveau van de uit- en afspoeling, de verdeling van bodembronnen in de uitspoeling, toevoegen of aanpassen van specifiek gebiedseigen bronnen, onzekerheden overige (belangrijke) bronnen: erfafspoeling, regenwaterriolen, atmosferische depositie open water en door de invloed van het weer. In het navolgende wordt ingegaan op deze onzekerheden en de mate waarin deze de berekening van de landbouwbijdrage beïnvloeden.

4.2.2 Onzekerheden niveau uit- en afspoeling

Landelijk wordt de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor door de WUR berekend met rekeneenheden van het modelinstrumentarium STONE (Wolf et al., 2003) en het in ontwikkeling zijnde LWKM (Bolt et al., 2022). Voor beide modellen worden de mestgiften en depositie op de landbouw- en natuurgronden ontleend aan het model INITIATOR (Kros et al., 2019). Voor het onderhavige onderzoek zijn de rekeneenheden van STONE doorgerekend met dezelfde modelinput die is gehanteerd voor de berekeningen van de uit- en afspoeling die met de LWKM-eenheden is berekend voor Emissieregistratie in 2024. In eerder onderzoek (Renaud et al., 2015) is onzekerheid over de uit- en afspoeling op landelijke schaal ingeschat op 25-50%. Om het effect van deze onzekerheid op de berekende landbouwbijdrage te bepalen, is een berekening uitgevoerd waarbij de uit- en afspoeling vanuit landbouw- en natuurgronden voor ieder toestroomgebied met 25% is verlaagd en vervolgens met 25% verhoogd. Dit geeft een indicatieve bandbreedte van onzekerheid voor de berekende landbouwbijdrage. Deze bandbreedte is voor de indeling in 65 gebieden weergegeven in Figuur 4.1.

Uit Figuur 4.1 komt naar voren dat de berekende bijdrage van de landbouw in geringe mate verandert (minder dan $\pm 4\%$) ten opzichte van de referentieberekening door de onzekerheden in het niveau van de uit- en afspoeling. Op het niveau van de indeling in 21 waterschapgebieden zijn de onzekerheidsmarges vergelijkbaar. Op het niveau van de afzonderlijke toestroomgebieden (738) zijn de onzekerheidsmarges voor de landbouwbijdrage veel groter, namelijk gemiddeld ongeveer $\pm 14\%$, met zo'n 150 gebieden waar deze meer dan $\pm 20\%$ afwijken van de referentieberekening.



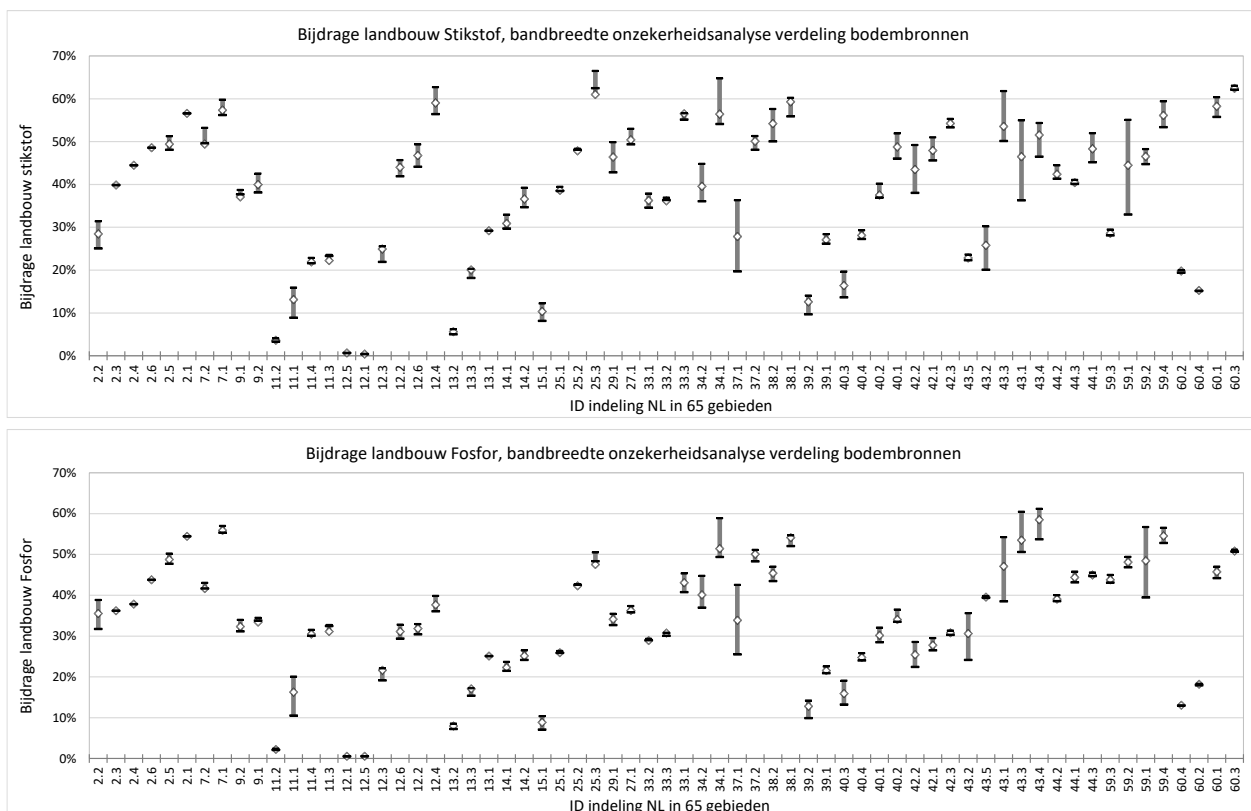
Figuur 4.1 Bandbreedte van de landbouwbijdrage aan de totale emissie naar oppervlaktewater voor stikstof en fosfaat voor elk van de 65 gebieden, berekend op basis van de aangenomen onzekerheidsmarge in de uit- en afspoeling.

4.2.3 Onzekerheden van de verdeling van de bronnen van de uit- en afspoeling

Zoals beschreven in het vorige hoofdstuk wordt voor de uit- en afspoeling uit landbouwgronden onderscheid gemaakt naar de onderliggende bronnen (ook wel aan te duiden als factoren): actuele mestgift, historische mestgift, kwel, atmosferische depositie, nalevering door (semi)natuurlijke uitloging en mineralisatie en uitspoeling van eerder geïnfilterd oppervlaktewater. De methode om deze verdeling te maken, wordt de komende jaren verder ontwikkeld en meer robuust gemaakt (Groenendijk en Renaud, 2022). Omdat voor de landbouwbijdrage alleen het deel van de uit- en afspoeling wordt meegeteld die voorkomt door mestgiften, heeft de berekende verdeling van de bronnen een grote invloed op de berekende landbouwbijdrage.

De verdeling van emissiebronnen is per SWAP-ANIMO-rekenplot berekend (zie methodiekbeschrijving in Bijlage 1). Voor elk toestroomgebied is op basis van de geselecteerde rekenplots een areaalgewogen verdeling bepaald. De onzekerheden rond deze berekende verdeling zijn op dit moment nog niet kwantitatief vastgesteld. Wel kan per toestroomgebied worden gekeken naar de variatie in het aandeel bemesting tussen de rekenplots. Deze variatie geeft een indicatie van de ruimtelijke spreiding van bemestingsbijdragen binnen een gebied. Op het niveau van de 738 toestroomgebieden blijkt deze spreiding aanzienlijk te zijn. Wanneer deze spreiding (benaderd via de standaarddeviatie van het aandeel bemesting) wordt gebruikt om een bandbreedte te bepalen voor de landbouwbijdrage aan de nutriëntenemissie, blijkt dat in ongeveer een derde van de toestroomgebieden de berekende landbouwbijdrage aan stikstof met meer dan 20% afwijkt van de referentiewaarde. Voor fosfor is deze afwijking nog iets groter (25%). Deze analyse maakt duidelijk dat ruimtelijke variatie in inputgegevens (zoals bemesting) binnen toestroomgebieden een substantiële invloed kan hebben op de uitkomsten van emissieberekeningen en dus op de ingeschatte landbouwbijdrage.

De onzekerheden rond deze berekende verdeling van emissiebronnen is nader in beeld gebracht door de ruimtelijke spreiding te berekenen op het niveau van de indeling in 65 gebieden en de 21 waterschapgebieden. Het resultaat hiervan is weergegeven in Figuur 4.2.



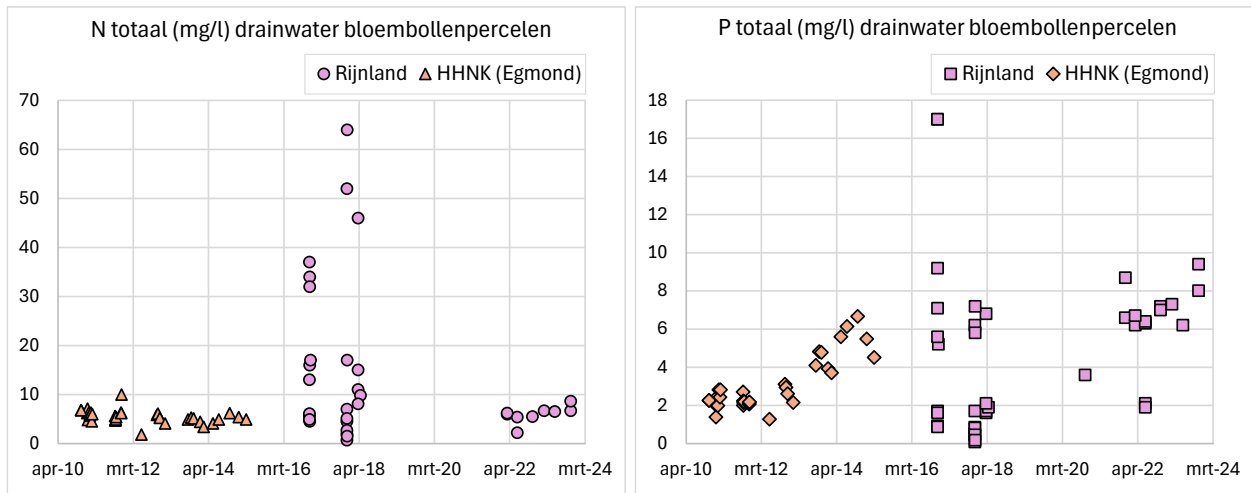
Figuur 4.2 Bandbreedte landbouwbijdrage aan de totale emissie naar oppervlaktewater voor stikstof en fosfaat op basis van de onzekerheden van de berekende verdeling van de bronnen van de uit- en afspoeling.

Uit Figuur 4.2. blijkt dat de indicatief berekende onzekerheden over de verdeling van de bronnen van de uit- en afspoeling in de meeste gebieden niet veel invloed hebben op de berekende landbouwbijdrage, maar ook dat de invloed wel vrij groot is ($> \pm 5\%$) in zo'n 7 gebieden. Dat zijn met name enkele gebieden in Zuiderzeeland, Gelderland en Overijssel, waar de uitspoeling met relatief weinig rekenplots wordt berekend.

4.2.4 Uit- en afspoeling bloembollenteelt Zuid en Noord-Holland

Uit voorgaande regionale bronnenanalyses die zijn uitgevoerd met de methode KRW-ECHO (Hellman et al., 2014; Boekel et al., 2015) is naar voren gekomen dat de stofvrachten van fosfor die worden uitgemalen in gebieden met geconcentreerde bloembollenteelt in Noord- en Zuid Holland fors groter zijn dan met KRW-ECHO is berekend. Voor de onderhavige bronnenanalyse is nagegaan hoe de nutriëntenbalansen in Noord- en Zuid-Holland veranderen als wordt uitgegaan van metingen van drainagewater van bloembollenpercelen in Noord- en Zuid-Holland.

Op enkele bloembollenpercelen zijn in het verleden voor het Hoogheemraadschap van Rijnland metingen verricht waar het verzamelde water van de peilgestuurde buisdrainages onder bloembollenpercelen zijn bemonsterd om effecten van maatregelen om het drainwater te zuiveren te bepalen. Zulke metingen zijn ook uitgevoerd in Noord-Holland op een perceel in Egmond aan den Hoef. De metingen die in de periode 2009-2015 zijn uitgevoerd, zijn uitgewerkt en in onderzoeksrapporten gepubliceerd (Groenenberg et al., 2015; Buijert et al., 2015). Voor de landelijke bronnenanalyse zijn van het Hoogheemraadschap van Rijnland ook recente meetgegevens (2016-2023) van het drainagewater van bloembollenpercelen verkregen. Dit betreft de resultaten van monitoring die door Rijnland wordt uitgevoerd in het kader van diverse projecten voor bloembollenteelt, waaronder veldonderzoek naar de effecten van zuiverende ijzerzanddrains. De resultaten van de gemeten concentraties van bloembollenpercelen zijn weergegeven in Figuur 4.3.



Figuur 4.3 Concentraties van het drainagewater onder verschillende (12) bloembollenpercelen in Rijnland (metingen 2016-2023) en onder een pilot bloembollenperceel in Egmond aan den Hoef (metingen 2010-2015).

Met de metingen bij Egmond aan den Hoef in 2009-2015 wordt een gemiddelde concentratie afgeleid van 5,5 mgN/l en 3,1 mgP/l. Uit de recente metingen in Zuid-Holland komt naar voren dat er zeer hoge concentraties stikstof zijn gemeten in de periode 2016 (5 tot 34 mgN/l, gemiddeld 17 mgN/l). Op basis van de jaargemiddelde concentraties bedraagt het drainagewater over de periode 2016-2023 gemiddeld 8,8 mgN/l en 6,0 mgP/l. In het waterkwaliteitsmodel Sobek-Delwaq van Rijnland (Arcadis, 2020) wordt voor de emissies uit bloembollenpercelen een gehalte van 6,5 mgN/l en 6,0 mgP/l aangehouden. Dit is ook aangehouden in de regionale bronnenanalyse die recentelijk met KRW-ECHO voor Zuid-Holland is uitgevoerd (WUR, 2025).

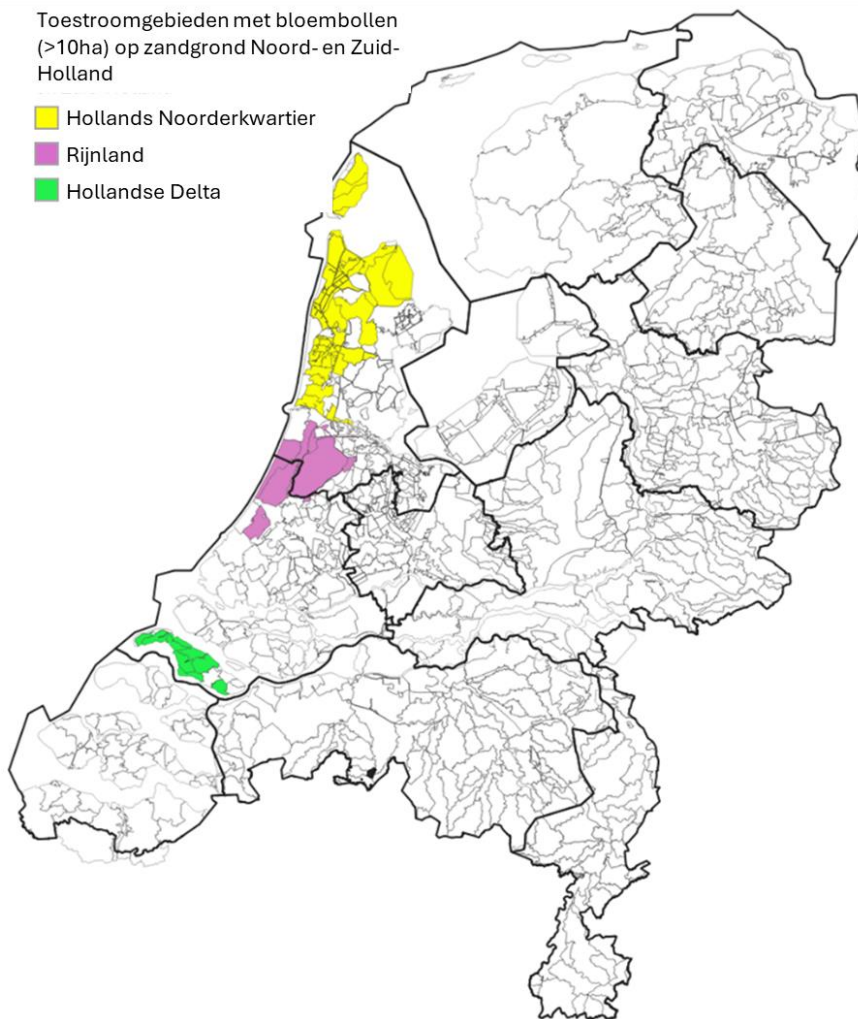
Om na te gaan in hoeverre deze concentraties afwijken van de generieke modellering van de uit- en afspoeling is gekeken naar de concentraties die zijn berekend met de rekenplots van SWAP-ANIMO in de toestroomgebieden met bloembollenpercelen op zand. In de periode 2017-2022 is volgens het LGN in totaal circa 15.750 ha aan bloembollenteelt geregistreerd in Zuid- en Noord-Holland. Op basis van de bodemkaart kan worden aangenomen dat ongeveer 11.300 ha van deze bloembollenpercelen op zandgronden wordt geteeld.

Figuur 4.4 geeft een overzicht van de toestroomgebieden in Noord- en Zuid-Holland waar op basis van het landgebruik en bodemtype meer dan 10 ha bloembollen op zandgrond aanwezig is. Dit omvat ruim 95% van al het areaal bloembollen op zandgrond in Noord- en Zuid-Holland. De gemiddelde concentraties die met SWAP-ANIMO zijn berekend voor het drainagewater in die gebieden zijn weergegeven in Tabel 4.1.

De gemiddeld berekende stikstofconcentraties in het drainagewater komen overeen met de gemeten waarden in bloembollenpercelen over de periode 2016-2023. Voor fosfor zijn de berekende concentraties echter aanzienlijk lager: circa 0,8 tot 1,0 mgP/l, terwijl de gemeten waarden gemiddeld rond de 6 mgP/l liggen.

Tabel 4.1 Overzicht van het areaal bloembollenpercelen op zandgrond in Noord- en Zuid-Holland en de gemiddelde stikstof- en fosforconcentraties berekend met de rekenplots van STONE (SWAP-ANIMO) die voor die gebieden zijn geselecteerd.

Waterschap	Areaal (ha) bloembollen op zand	Berekende concentratie drainagewater SWAP-ANIMO	
		Fosfor (mgP/L)	Stikstof (mgN/L)
Hollands Noorderkwartier	8488	0.77	10.7
Hollandse Delta	229	1.01	7.8
Rijnland	2560	0.75	8.3
Totaal	11277	0.82	9.8



Figuur 4.4 Gebieden in Noord- en Zuid-Holland waar op basis van het landgebruik in 2017-2022 en het bodemtype meer dan 10 ha bloembollen op zandgrond aanwezig is.

Op basis van deze analyse is een berekening met KRW-ECHO uitgevoerd, waarbij een uitspoelconcentratie van fosfor voor de bloembollenpercelen op zand is aangehouden van 6,0 mgP/l. De hiermee berekende toename van de uit- en afspoeling uit landbouwgronden en daarmee berekende landbouwbijdrage is weergegeven in Tabel 4.2.

Uit Tabel 4.2 blijkt dat de totale uit- en afspoeling van fosfor en daarmee de berekende landbouwbijdrage in de gebieden van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en Hoogheemraadschap van Rijnland duidelijk hoger uitkomen dan de referentieberekening. De toename van de landbouwbijdrage bedraagt in die gebieden gemiddeld 12%. In toestroomgebieden met geconcentreerde bloembollenteelt is die toename zelfs rond de 30%. In de gebieden van Waterschap Hollandse Delta is het effect minder groot (een toename van de landbouwbijdrage van gemiddeld 4%), omdat het areaal bloembollen op zand ten opzichte van het totale landbouwareaal minder groot is.

Bedacht moet worden dat de hier beschouwde onzekerheden over de uit- en afspoeling van bloembollenteeltpercelen gebaseerd is op een beperkt aantal meetlocaties en dat er voor de bloembollenpercelen in Noord-Holland geen recente metingen beschikbaar waren, namelijk alleen metingen uit de jaren 2011-2014.

Tabel 4.2 Landbouwbijdrage van fosfor in toestroomgebieden met bloembollenpercelen op zand in Zuid- en Noord-Holland op basis van de referentieberekening en de berekening uitgaande van een uitspoelconcentratie van 6 mgP/l voor bloembollenpercelen.

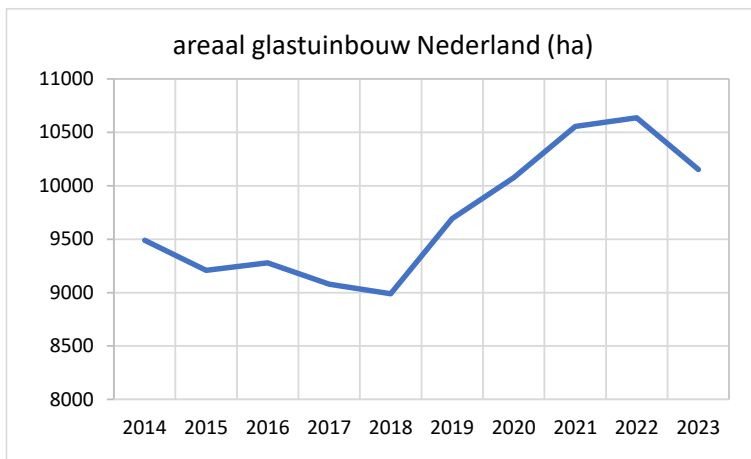
	Naam toestroomgebied	Uit- en afspoeling landbouw (kg/j)		Landbouw bijdrage fosfor (%)		
		Referentie	Toename (uitspoelconcentratie 6 mgP/l)	Referentie	Scenario bloembollen	Toename
Hollands Noorderkwartier	Waterdelen_polder_Eijerland	7873	5823	47%	61%	13%
	Waterdelen_Waal_en_Burg_en_het_Noorden	5324	1937	29%	35%	6%
	Waterdelen_Gemeenschappelijke_polders	10573	1270	34%	37%	2%
	Waterdelen_Schermerboezem_Noord_+	464	598	1%	2%	1%
	Waterdelen_AnnaPaulownapolder_hoog	3812	24449	63%	93%	29%
	Waterdelen_AnnaPaulownapolder_Laag	9538	20158	40%	68%	27%
	Waterdelen_Amstelmeerboezem	9637	2446	36%	42%	5%
	Waterdelen_Wieringermeer_West	34602	19562	35%	45%	10%
	Waterdelen_Wieringermeer_Oost	38068	15744	28%	35%	7%
	Waterdelen_Polder_Geestmerambacht	11457	2087	29%	32%	3%
	Waterdelen_VRNK_Boezem	28186	424	28%	28%	0%
	Wd_polders_Bergermeer	2286	3421	29%	50%	20%
	Wd_polders_Egmondermeer	2231	942	29%	36%	7%
	Wd_Oosterzijpolder	902	1888	30%	56%	26%
	Wd_de_Schermer-Noord	12460	1746	29%	32%	3%
	Wd_de_Schermer-Zuid	5436	532	34%	36%	2%
	Wd_Groot-Limmerpolder	3004	1364	32%	40%	8%
	Wd_Uitgeester en Heemskerkerbroekpolder	3536	2771	29%	42%	12%
	Waterdelen_Castricumerpolder	1580	571	24%	29%	5%
	Bollen_Noord	37569	120829	47%	78%	32%
	Overig_SBN	5907	1828	31%	36%	5%
	Bollen_Zuid	2081	8976	45%	80%	35%
	Waddenzee	2208	1825	47%	61%	15%
	Noordzeekanaal_NK	4566	367	20%	21%	1%
Rijnland	Vaarten_Haarlemmermeerpolder	40104	8581	25%	29%	4%
	Amsterdamse_Waterleidingduinen	268	501	13%	28%	15%
	Ringvaartsysteem	3706	560	2%	3%	0%
	Wateringen_Wassenaar_en_Valkenburg	4745	502	16%	17%	1%
	Trekvaartsysteem	12099	66105	18%	57%	39%
Hollandse Delta	Afwatering_Dirksland	4217	333	36%	37%	2%
	Afwatering_kern_Middelharnis	5669	1277	34%	39%	5%
	Afwatering_Stellendam	2873	692	30%	34%	4%
	Afwatering_Witte_Brug	3239	1624	20%	27%	7%
	Groote_Kreek	3150	269	37%	39%	2%
	Haven_van_Stellendam	4861	477	24%	26%	2%
	Grevelingenmeer	3794	2126	27%	37%	9%

4.2.5 Nadere beschouwing emissies glastuinbouw

Ook is in enkele onderzoeken (Schipper et al., 2019; Bakkum et al., 2020) geconcludeerd dat de emissies vanuit glastuinbouw naar het oppervlaktewater in Emissieregistratie worden onderschat. Hoewel de emissies van glastuinbouw geen invloed hebben op de berekening van de landbouwbijdrage (zie Tabel 4.3), worden onzekerheden met het oog op de bredere toepassingen van de resultaten van de bronnenanalyse hier behandeld.

Glastuinbouwemissies worden in Emissieregistratie (Deltares, 2024) geschat op basis van de arealen van de verschillende type substraatteelt en grondgebonden teelt, de emissiefactoren van stikstof en fosfor (kg/ha)

en de verdeling van de emissies over de compartimenten oppervlaktewater, bodem en riool. Het areaal van de glastuinbouw in Nederland varieert in de periode 2014-2023 tussen de 9000 en 10600 ha (zie Figuur 4.5).



Figuur 4.5 Areaal Glastuinbouw Nederland. Bron: CBS Landbouwtelling, nabewerking Wageningen Economic Research.

De emissiefactoren zijn weergegeven in Tabel 4.3. Voor substraatteelt zijn deze emissiefactoren conform de norm die in het Activiteitenbesluit is opgenomen. Deze norm is gelijk aan de emissie waaraan 70% van de lozende bedrijven in 2008 al voldoet. Deze norm was geldig tot en met 2014. Daarna is deze stapsgewijs afgebouwd naar een nagenoeg nul-lozing in 2027. Zo is in Tabel 4.3 te zien dat de emissiefactoren van substraatteelt voor 2018-2020 de helft zijn van de emissiefactoren in 2012-2014. De emissiefactoren voor grondgebonden teelt zijn afgeleid van onderzoeken van LTO groeiservice en Glaskracht Nederland.

De totale emissies naar water, riool en bodem worden in Emissieregistratie berekend door de emissiefactoren in Tabel 4.3 te vermenigvuldigen met de arealen. Bij substraatteelt wordt, indien aangesloten op het riool, aangenomen dat 50% van de emissies in het oppervlaktewater terecht komt; bij grondgebonden teelt wordt uitgegaan van 20%. Voor het overige deel van de emissies wordt in Emissieregistratie aangenomen dat van substraatteelt 45% naar het riool gaat en 5% naar de bodem; bij grondgebonden teelt wordt uitgegaan van 60% naar het riool en 20% naar de bodem.

In totaal wordt in Emissieregistratie voor glastuinbouw in 2019 een emissie naar water berekend van ongeveer 367 ton stikstof en 51 ton fosfor. Omgerekend is dat 38 kgN/ha en 5,3 kgP/ha.

Tabel 4.3 Emissiefactoren stikstof en fosfor glastuinbouw. Bron: *Factsheet Emissieregistratie Glastuinbouw*.

Type	Gewas	periode:	Emissiefactor stikstof (kg/ha/jr)			Emissiefactor fosfor (kg/ha/jr)		
			2012- 2014	2015- 2017	2018- 2020	2012- 2014	2015- 2017	2018- 2020
Substraat teelt	Perkplanten		50	33	25	7.5	5	3.8
	Potplanten, totaal		150	100	75	22.5	15	11.3
	Anthurium		50	33	25	7.5	5	3.8
	Gerbera's		250	167	125	37.5	25	18.8
	Orchideeën		188	125	94	28.1	19	14.1
	Rozen		250	167	125	37.5	25.1	18.8
	Aubergines		200	133	100	30	20	15
	Aardbeien, totaal		200	133	100	30	20	15
	Komkommers		150	100	75	22.5	15	11.3
	Paprika's, totaal		200	133	100	30	20	15
	Tomaten, totaal		125	83	67	18.8	12.5	10.1
	Overige glasgroenten		25	25	25	3.8	3.8	3.8
	Opkweekmateriaal groenten onder glas		250	167	125	37.5	25.1	18.8
	Overig substraatteelt		113	75	57	16.9	11.3	8.6
Grond gebonden	Chrysanten		180	180	180	9	9	9
	Overig grondgebonden		108	108	108	5.4	5.4	5.4

De tuinders op substraatteelt zijn volgens het Activiteitenbesluit vanaf 2013 verplicht om de emissie te registreren en rapporteren aan de UO (Uitvoeringsorganisatie Integrale MilieuTaakstelling). Hierbij worden de emissiefactoren gebruikt zoals weergegeven in Tabel 4.3. In de praktijk van Hoogheemraadschap Delfland blijkt uit metingen dat er een hogere nutriëntenvrucht op het oppervlaktewater terecht komt dan is geregistreerd in de UO-database. Er blijkt een lekpercentage te zijn van ongeveer 20% (substraat en vollegrond tezamen). In Tabel 4.4 zijn de emissies voor de glastuinbouw in Delfland weergegeven op basis van de Emissieregistratie-data en de emissieschatting van het Hoogheemraadschap Delfland.

Tabel 4.4 Emissies glastuinbouw Hoogheemraadschap Delfland 2019 volgens Emissieregistratie (ER-data) en de emissieschatting van Hoogheemraadschap Delfland (Bakkum et al., 2020).

ID toestroom gebied	Areaal glastuinbouw uit LGN 2019 (ha)	Emissie stikstof (kg)	Emissie fosfor (kg)
ER-data gebied 15201	44	2911	352
ER-data gebied 15202	268	12030	1456
ER-data gebied 15203	2386	104561	12653
ER-data gebied 15204	518	26805	3244
ER-data gebied 15205	121	6151	744
ER-data gebied 15206	261	11241	1360
ER-data gebied 15207	0	15	2
ER-data Delfland (som bovenstaande gebieden)	3597	163714	19811
Emissieschatting Hoogheemraadschap Delfland ¹³		213000	23000
onderschatting Emissieregistratie		30%	16%

De emissies uit Emissieregistratie (in de tabel aangeduid als ER-data) zijn ook de emissies zoals die zijn opgenomen in de landelijke bronnenanalyse. De emissieschatting van Hoogheemraadschap Delfland is ontleend aan de modelinput voor glastuinbouwemissies 2019 van het waterkwaliteitsmodel Sobek-Delwaq (Arcadis, 2020). De emissieschattingen geven volgens het waterschap een realistisch beeld, omdat de

¹³ Deze schattingen zijn ontleend aan de modelinput van het bij Rijnland operationele waterkwaliteitsmodel Sobek-Delwaq.

modelresultaten aansluiten op de meerjarige veldmetingen van het waterschap in sloten rond glastuinbouwbedrijven.

Geconcludeerd wordt dat de glastuinbouwemissies in de praktijk voor de beschouwde periode voor stikstof 30% en voor fosfor 16% hoger kunnen zijn de schattingen van Emissieregistratie.

4.2.6 Onzekerheden emissieschattingen overige bronnen

In de bronnenanalyse is de belasting van het oppervlaktewater door de volgende bronnen ontleend aan Emissieregistratie:

- Erfafspoeling
- Meemesten sloten
- Glastuinbouw
- Regenwaterriolen
- Overstorten
- Ongezuiverde huishoudelijke lozingen en IBA's
- Atmosferische depositie (stikstof) op open water
- Binnen- en recreatievaart
- Watervogels

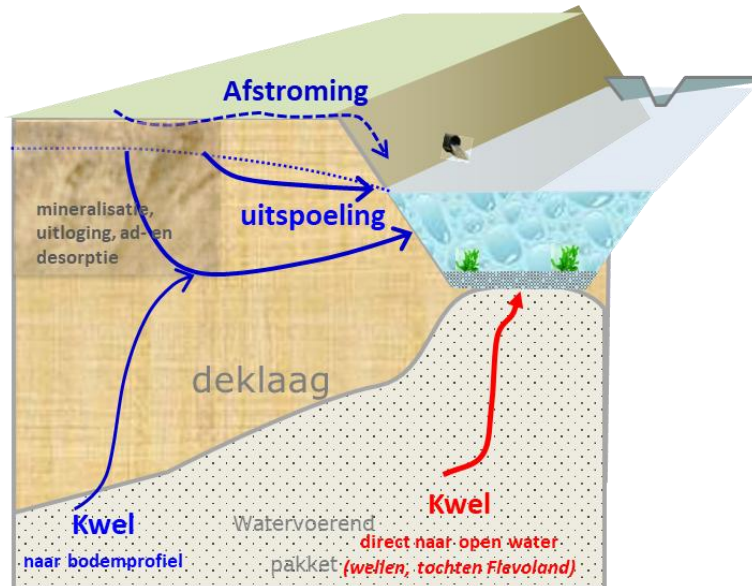
In Bijlage 6 wordt ingegaan op de onzekerheden rond deze emissies. Gelet op de bijdrage van deze bronnen aan de gebiedseigen belasting, zijn vooral de onzekerheden rond erfafspoeling en regenwaterriolen van belang. In zeer waterrijke toestroomgebieden zijn ook de onzekerheden rond atmosferische depositie op open water van belang en glastuinbouw in toestroomgebieden waar veel (geconcentreerde) glastuinbouw aanwezig is. De schattingen vanuit Emissieregistratie over de diffuse bronnen meemesten sloten, depositie en regenwaterriolen tonen overigens weinig invloed met de neerslag, en dat geldt in mindere mate ook voor erfafspoeling. Dit is van invloed op de bronverdeling omdat de berekende uit- en afspoeling wel vrij sterk met de weerjaren varieert.

Als een onzekerheidsmarge voor regenwaterriolen wordt aangenomen van $\pm 25\%$, heeft dat nauwelijks invloed op de berekende landbouwbijdrage. Deze verandert dan gemiddeld minder dan 1% en maximaal 3%. Datzelfde geldt als voor atmosferische depositie op open water een onzekerheidsmarge wordt aangenomen van $\pm 25\%$. De landbouwbijdrage wordt daarom slechts in zeer beperkte mate beïnvloed door de onzekerheden in de emissieschattingen van regenwaterriolen en de atmosferische depositie op open water.

De onzekerheidsmarges van de emissieschattingen van erfafspoeling zijn groot, omdat deze gebaseerd zijn op een kortlopende monitoring bij een vrij beperkt aantal bedrijven. De indruk is ook dat deze voor fosfor hoog zijn geschat door een aantal uitbijters in de metingen. Vanwege de onzekerheid van deze schattingen is voor Emissieregistratie in 2024 een onderzoek gestart om met een nieuwe monitoringopzet deze emissies beter te kunnen kwantificeren. Ter indicatie van de gevoeligheid is doorgerekend wat het effect zou zijn indien de erfemissies van fosfor 50% lager liggen dan de huidige schatting. In dat geval daalt de landbouwbijdrage gemiddeld met 2%. In enkele gebieden neemt de landbouwbijdrage af met 10 tot maximaal 15% af en in zo'n 90 van de 738 gebieden neemt de landbouwbijdrage af met 5 tot 10%. Op het niveau van de indeling in 65 hydrologische eenheden zijn er 3 gebieden waar de bijdrage dan met 5% tot maximaal 13% afneemt. Geconcludeerd kan worden dat de onzekerheden rond erfafspoeling in een aantal regio's (met name de Veluwe en delen van de Achterhoek) vrij sterk doorwerken in de berekening van de landbouwbijdrage.

4.2.7 Invloed directe kwel en wellen

Kwel treedt in de meeste gebieden vooral diffuus uit via de buisdrainage of als laterale stroming naar de sloten. Deze emissieroute is verdisconteerd in de berekende uit- en afspoeling. De emissies door directe kwel en wellen naar de waterlopen zijn niet meegenomen. Hiervan zijn geen schattingen in de Emissieregistratie en de bijdrage hiervan op de totale belasting wordt voor de meeste oppervlaktewaterlichamen als gering ingeschat. Het verschil tussen deze routes is schematisch weergegeven in Figuur 4.6.



Figuur 4.6 Diffuse kwel naar het bodemprofiel en wellen en kwel die direct uittreedt in sloten en tochten. De blauw gekleurde fluxen (uitspoeling en afstroming) worden berekend met SWAP-ANIMO. Daarin wordt dus ook de kwel verdisconteerd die uittreedt in het bodemprofiel (deklaag).

Wellen zijn een specifieke vorm van kwel. Dit wordt geïllustreerd in de Deltafact van STOWA over brakke kwel.¹⁴ Bij een wel is het debiet lokaal veel groter door een opening in de deklaag. Door de hogere stroomsnelheid is de waterkwaliteit van wellen vaak ook anders dan de waterkwaliteit van de veel trager stromende kwel uit de omgeving. Hierdoor komt er vaak meer zout uit een wel en bevat dit hogere nutriëntenconcentraties dan niet-directe kwel, afhankelijk van de locatie.

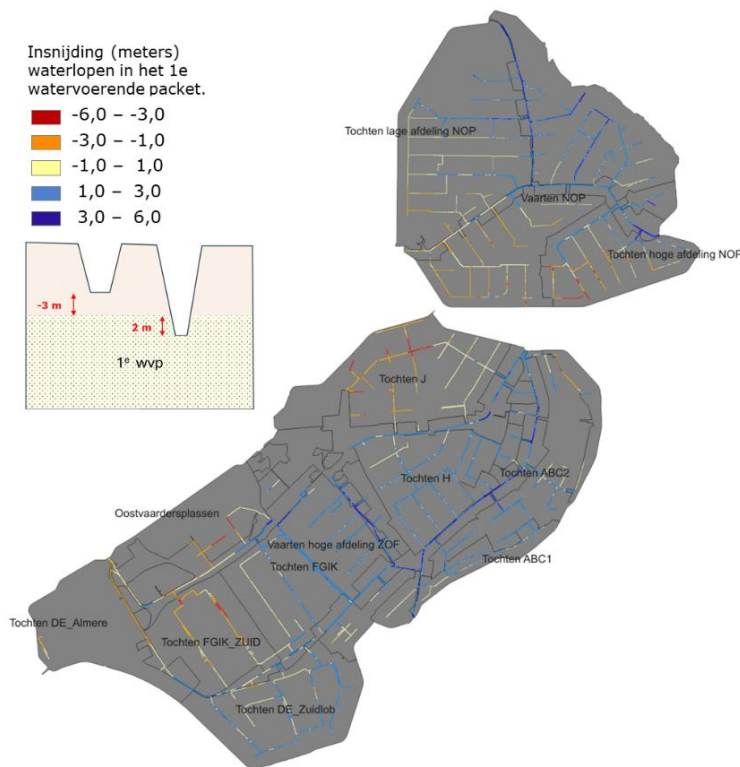
Alle waterschappen hebben gereageerd op het verzoek of in hun beheergebied wellen voorkomen en of voor die wellen informatie beschikbaar is om de nutriëntenbelasting daarvan te kwantificeren. Hieruit kwam naar voren dat wellen vooral voorkomen in het beheergebied van Rijnland en AGV en dat zij ook hydrologische informatie hebben om deze fluxen te kwantificeren. De wellen in het beheergebied van AGV zijn vrij diffuus, terwijl deze in polders van Rijnland zichtbare 'punt' wellen zijn, waarvan ook het aantal en de locaties bekend zijn. Verder is in voorgaande studies voor Zuiderzeeland (Schipper et al., 2020; 2022) naar voren gekomen dat de kwel die indirect uittreedt in tochten een belangrijke emissieroute voor nutriënten kan zijn. Vooral in de tochten die geheel of bijna geheel door de deklaag insnijden in het watervoerende pakket.

In gepubliceerde artikelen over wellen staat voornamelijk informatie hoe deze in geohydrologische modelstudies meegenomen kunnen worden en hoe dit wordt verdisconteerd in de kwel die direct uittreedt naar het oppervlaktewater. Deze kwel wordt dan berekend daar waar het stijghoogteverschil tussen het watervoerende pakket en het polderpeil groter is dan het overgewicht van de klei-/veenlaag tussen onderzijde sloot en bovenzijde watervoerende pakket.

De kwel en wellen die direct uittreden naar sloten en tochten kunnen niet plausibel worden ontleend aan het landelijke hydrologisch model. Dit kan wel uit het geohydrologisch model Azure, dat specifiek voor de landelijke regionale bronnenanalyse voor Flevoland door adviesbureau Sweco in opdracht van het waterschap

¹⁴ <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/verzilting/brakke-kwel>

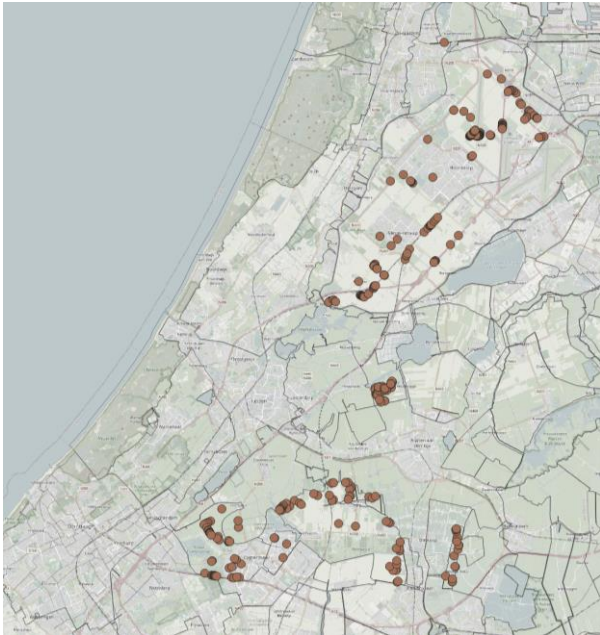
is aangeleverd (Van der Hauw, 2024). Deze directe kwel kan een belangrijke bron zijn in de tochten van Flevoland die (bijna of geheel) insnijden in het watervoerende pakket. Figuur 4.7 geeft een ruimtelijk beeld van de mate waarin de tochten geheel of bijna insnijden in het watervoerende pakket.



Figuur 4.7 Afstand tussen onderkant deklaag en bodemniveau waterlopen. Tochten met positieve waarden doorsnijden de deklaag en staan in direct contact met het watervoerende pakket. Bron: model Azure, Sweco 2024.

Waterschap Amstel Gooi en Vecht heeft vanuit hun gedetailleerde waterbalans berekeningen voor de landelijke bronnenanalyse per afwateringsgebied de fluxen (debieten) voor de directe kwel en diffuse wellen aangeleverd. Vooral in diepe polders zoals de Bethune, Horstermeerpolder en Groot Mijndrecht kunnen de directe kwel en wellen een belangrijke invloed hebben op de nutriëntenbelasting.

Voor Rijnland kunnen de wellen worden gekwantificeerd op basis van de gemiddelde dagflux van de wellen die experimenteel zijn bepaald op 21,3 m³/dag en de aantallen wellen per polder. De locaties van deze wellen zijn weergegeven in Figuur 4.8.



Figuur 4.8 Locaties puntwells Rijnland (bron: Hoogheemraadschap Rijnland, 15-5-2025).

Om de invloed van de directe kwel en wellen op de bronverdeling te bepalen, zijn afzonderlijke berekeningen uitgevoerd voor de toestroomgebieden van Zuiderzeeland, AGV en Rijnland. De stikstof- en fosforvrachten door directe kwel en wellen zijn als afzonderlijke bron berekend door de fluxen die hiervoor zijn aangeleverd te vermenigvuldigen met de concentraties van het grondwater. Hiervoor is een kaart gebruikt met de concentraties van stikstof en fosfor in het grondwater die WENR ook hanteert in de berekeningen van de diffuse kwel voor het Landelijk Waterkwaliteit Model (LWKM). Nadat de bron 'directe kwel en wellen' is toegevoegd aan de nutriëntenbalans, is berekend hoeveel hierdoor de berekende landbouwbijdrage afneemt. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Directe kwel naar oppervlaktewater in de gebieden van AGV, Zuiderzeeland en Rijnland (uitgedrukt in mm/jaar toestroomgebied) en het effect daarvan op de berekende landbouwbijdrage.

Naam toestroomgebied		Landbouw bijdrage stikstof			Landbouw bijdrage fosfor			
		Directe kwel mm/j	Referentie	directe kwel en wellen	Verschil (afname)	Referentie	directe kwel en wellen	Verschil (afname)
Amstel Gooi & Vecht	Waterleidingplas	4304	17%	1%	16%	20%	6%	15%
	Vecht	2808	31%	6%	25%	38%	13%	25%
	Vaarten Groot Mijdrecht	1604	5%	2%	3%	20%	6%	14%
	Vinkeveense Plassen	977	6%	3%	3%	27%	12%	15%
	Vecht	174	37%	28%	8%	45%	41%	4%
	Naardermeer	85	1%	1%	<1%	2%	2%	<1%
	ARK Noordpand	80	26%	25%	1%	25%	25%	<1%
	Vecht	32	18%	16%	1%	26%	26%	<1%
Rijnland	Vaarten Nieuwe Driemanspolder	26	13%	11%	2%	13%	11%	2%
	Braassemermeer en Wijde Aa	16	21%	20%	1%	21%	20%	1%
	Vaarten Polder de Noordplas	10	22%	21%	1%	22%	21%	1%
	Vaarten Haarlemmermeerpolder	8	29%	28%	1%	29%	28%	1%
	Mooie Nel en Lieden	1	28%	28%	<1%	28%	28%	<1%
	Oude Rijnsysteem	1	15%	15%	<1%	15%	15%	<1%
	Vaarten Zuidelijk Veengebied	1	32%	31%	<1%	32%	31%	<1%
	Vaarten NOP	888	14%	6%	9%	9%	6%	4%
Zuiderzeeland	Tochten hoge afdeling NOP	131	54%	47%	7%	58%	57%	2%
	Tochten lage afdeling NOP	111	52%	52%	<1%	52%	52%	<1%
	Vaarten Lage afdeling ZOF	450	10%	3%	7%	8%	6%	3%
	Vaarten hoge afdeling ZOF	349	25%	9%	16%	45%	28%	16%
	Tochten ABC1	340	22%	9%	13%	20%	10%	11%
	Tochten ABC2	291	33%	16%	18%	44%	29%	14%
	Tochten H	214	41%	14%	27%	64%	45%	20%
	Tochten FGIK	167	31%	17%	14%	44%	35%	10%
	Tochten J	111	41%	26%	15%	39%	37%	3%
	Tochten DE_Zuidlob	78	25%	17%	8%	30%	25%	5%
	Tochten DE_Almere	13	10%	10%	<1%	5%	5%	<1%
	Tochten FGIK_zuid	10	54%	53%	1%	52%	52%	<1%

In het gebied van AGV is de directe kwel in acht toestroomgebieden toegevoegd op basis van de kweldebieten die het waterschap voor deze analyse heeft aangeleverd. De kwel levert in vier gebieden van AGV een groot aandeel in de waterbalans (kwelflux groter dan 2 mm/dag). Door de bron directe kwel en wellen in die gebieden toe te voegen in de berekeningen, neemt de landbouwbijdrage voor fosfor in die vier gebieden af met 14% tot 25% en voor stikstof met 3% tot 25%. In het toestroomgebied Vecht neemt de bijdrage voor stikstof af met 8% en voor fosfor met 4%. In de overige drie gebieden is de afname minder dan 1%.

Ondanks het grote aantal puntwellen in het beheergebied van Rijnland (zie Figuur 4.8), hebben deze per toestroomgebied een gering aandeel in de waterbalans (kwelflux 1-26 mm/jaar). Door deze wellen mee te nemen in de nutriëntenbalans, neemt de berekende landbouwbijdrage voor stikstof en fosfor in geringe mate af (1 à 2%).

Het meenemen van de directe kwel in het gebied van Zuiderzeeland heeft een belangrijke invloed op de nutriëntenbalans, vooral waar veel van de tochten geheel of bijna insnijden in het watervoerende pakket (zie Figuur 4.7). Door deze directe kwel mee te nemen in de nutriëntenbalans, neemt in de toestroomgebieden van Zuiderzeeland de berekende landbouwbijdrage af met gemiddeld 10% (<1-27%) en voor fosfor met gemiddeld 7% (<1-20%).

4.3 Temporele verdeling over zomer- en winterhalfjaar

Voor ieder jaar zijn de emissies van N en P naar het oppervlaktewater voor het zomerhalfjaar en winterhalfjaar berekend. De belangrijkste bronnen zijn:

- Uit- en afspoeling uit landbouw en natuurgronden en overig onverhard (stedelijk groen e.d.)
- RWZI's
- Toestroom buitenland
- Inlaat rijkswater

Om de emissies van deze bronnen voor het zomer- en winterhalfjaar te berekenen wordt met KRW-ECHO de temporele informatie gebruikt zoals weergegeven in Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Temporele informatie die in KRW-ECHO wordt gebruikt om de nutriëntenbelasting van de uit- en afspoeling, RWZI's, toestroom buitenland en inlaat rijkswater te verdelen over het zomer- en winterhalfjaar.

Bron	Beschikbare informatie debieten	Beschikbare informatie concentraties
Uit- en afspoeling	Dag – decade (berekend)	Decade (berekend met ANIMO)
RWZI's	Dagcijfers effluent (metingen)	2-5 keer per maand
Toestroom buitenland	Dagcijfers (metingen)	1-2 x per maand
Inlaat rijkswater	Wisselend (metingen dagdebieten, maar voor diverse gebieden ook grove schattingen mm zomerhalfjaar)	1-2 x per maand

De overige bronnen worden ontleend aan Emissieregistratie. Dit zijn jaarvrachten. In diverse toestroomgebieden leveren de emissies van regenwaterriolen, erfafspoeling, stikstofdepositie op open water en glastuinbouw een significante bijdrage (> 5%). De overige bronnen (industrie, overstorten, watervogels, IBA's, binnen- en recreatievaart) leveren in de meeste gebieden een zeer geringe bijdrage (< 1 à 2%).

Voor die bronnen zijn alleen jaarcijfers beschikbaar, maar om een goede bronverdeling te berekenen voor het zomer- en winterhalfjaar kan het meerwaarde hebben om een temporele verdeling aan te houden. Om emissievrachten temporeel en ook qua stoffracties beter te verdelen, heeft Deltares een inventarisatie uitgevoerd (memo J. van den Roovaart, 2022) met daarin een voorzet voor een temporele verdeling. Op basis van de onderbouwingen voor deze temporele verdeling en het feit dat een temporele verdeling van deze bronnen niet is gehanteerd in de tussenevaluatie van de KRW (Van den Roovaart et. al., 2024), is besloten om voor de landelijke bronnenanalyse ook geen temporele verdeling te hanteren. Het verdient aanbeveling om voor een te hanteren temporele verdeling uitgebreider onderzoek te doen en deze voor nutriënten vooral te richten op de bronnen regenwaterriolen, overstorten, meemesten sloten, erfafspoeling en glastuinbouw.

4.4 Rol waterbodems

De bijdrage door nalevering vanuit (historisch belaste) eutrofe waterbodems is in dit onderzoek niet als afzonderlijke bronterm gekwantificeerd. Dit kan in bepaalde situaties een belangrijk fosfaatbelasting geven in de zomer, met name in waterlopen waar veel fosfaat in het slib aanwezig is en er sterk gereduceerde condities zijn op het grensvlak van water-slib. Informatie om deze term (nalevering van fosfaat uit slib) te kunnen kwantificeren, is beperkt. In waterkwaliteitsmodellen zoals Delwaq en PC-Ditch kan deze nalevering worden gesimuleerd, maar de benodigde parameters om de processen te kwantificeren, zijn veelal onbekend en/of onzeker, mede omdat de condities voor de nalevering van fosfaat sterk per locatie verschillen. Het baggeren heeft ook veel invloed op de mogelijke nalevering vanuit de waterbodems. Informatie over de locatie, timing en omvang van baggerwerkzaamheden is vaak onvolledig of slechts fragmentarisch beschikbaar. Het in kaart brengen hiervan vergt aanzienlijke inspanning en vereist diverse onzekere aannames om de fosforverwijdering uit waterbodems in polders te kunnen schatten (Lekkerkerker et al., 2022).

Nalevering van fosfor vanuit de waterbodem wordt primair veroorzaakt door de ophoping van fosfor in de waterbodems. Deze ophoping wordt bepaald door de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Als de nalevering van fosfaat uit de waterbodem meegenomen wordt in de bronnenanalyse, is het voor de berekening van de totale bronverdeling nodig om de nalevering op te splitsten in de verschillende bronnen. De (lang)jarige bronverdeling van de nutriëntenbelasting van de voorgaande jaren is daarvoor het plausibelst. Deze benadering is onder andere toegepast in modelonderzoek om de achtergrondbelasting van stikstof en fosfor in de oppervlaktewateren van Waterschap Noorderzijlvest te bepalen (Schipper et al., 2023).

Geconcludeerd kan worden dat het meenemen van de nalevering van waterbodems op de jaargemiddelde bronverdeling weinig effect heeft, tenzij de beschouwde periode een groot aantal jaren bestrijkt en de verhoudingen van de emissies in die periode sterk zijn gewijzigd. Het meenemen van nalevering van de waterbodem heeft op de bronverdeling in het zomerhalfjaar alleen effect als de bronverhouding tussen de zomer en winter sterk verschilt.

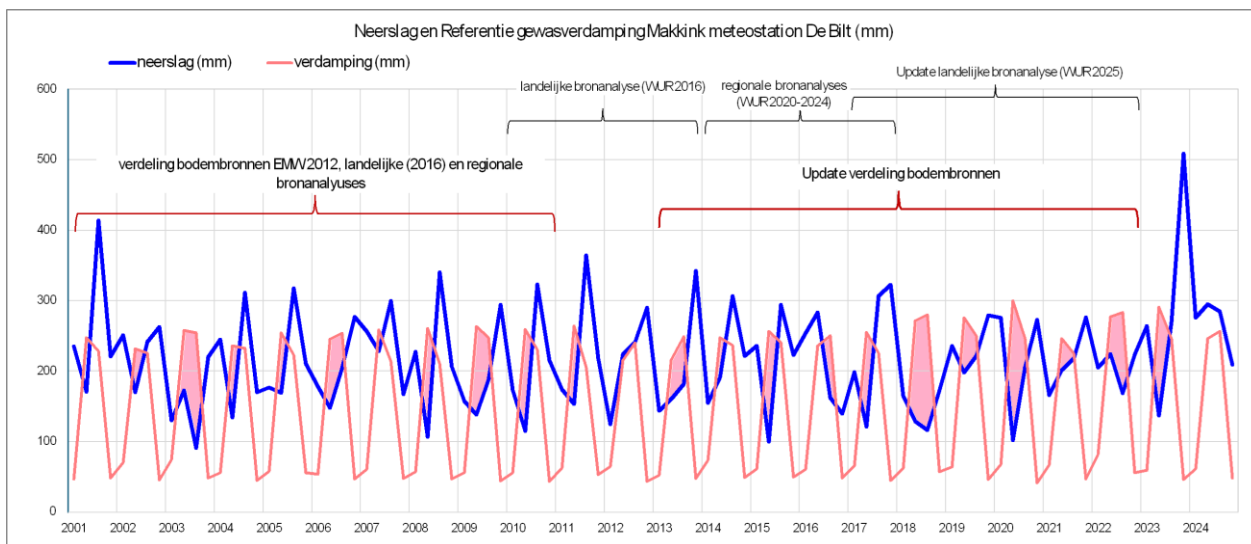
4.5 Invloed weerjaren

In de voorgaande landelijke bronnenanalyse is de belasting berekend voor de jaren 2010 tot en met 2013. Daarbij is de verdeling van de bodembronnen (de verdeling van uit- en afspoeling van landbouwgronden) afgeleid van de uit- en afspoeling die is berekend voor de periode 2000 t/m 2009. In de recente regionale bronnenanalyses is de belasting berekend voor de periode 2014 t/m 2017. Daarbij is dezelfde verdeling van de bodembronnen aangehouden als in de voorgaande landelijke bronnenanalyse. De onderhavige bronnenanalyse is, zoals aangegeven, uitgevoerd voor de periode 2017 t/m 2022. En de verdeling van de bodembronnen is opnieuw afgeleid, maar dan voor de periode 2013 t/m 2022. Deze perioden zijn weergegeven in Figuur 4.9. Daarin zijn ook de neerslag en referentie gewasverdamping opgenomen.

Voor de interpretatie van de neerslag en verdamping is het neerslagtekort in Figuur 4.9 gearceerd weergegeven. Dat zijn de perioden waarin de verdamping op kwartaalbasis groter was dan de neerslag. Uit de figuur komt duidelijk naar voren dat er in de nu berekende periode drogere zomers waren dan in 2010-2013 en 2014-2017. Ook is de nu beschouwde periode voor de verdeling van de bodembronnen (2013-2022) gemiddeld droger dan de periode 2000-2009.

In droge zomers is er (veel) minder drainafvoer van de percelen en is de invloed van kwel en mineralisatie op de uitspoeling relatief groot, omdat er vooral sprake is van basisafvoer en door de relatief lage grondwaterstanden ontstaat er een verhoogde mineralisatie. Hierdoor wordt in droge jaren een significant lagere landbouwbijdrage berekend dan in gemiddelde of relatief natte jaren.

De landbouwbijdrage is berekend op basis van de zesjarig gemiddelde bronverdeling over de periode 2017-2022. Deze periode omvat, zoals aangegeven, vier droge jaren. Gemiddeld is het jaarlijkse neerslagoverschot over die periode op basis van meteostation De Bilt 88 mm.



Figuur 4.9 Neerslag en referentie gewasverdamping per kwartaal op basis van meteorstation De Bilt. In de figuur is het neerslagtekort gearceerd weergegeven. Ook zijn in de figuur de perioden van de verschillende bronnenanalyses weergegeven.

Het neerslagoverschot voor de jaren 2001-2024 was gemiddeld 270 mm per jaar en over het zomerhalfjaar was het gemiddelde neerslagtekort 72 mm. Het neerslagoverschot over de periode 2017-2022 waarmee de balansen zijn berekend, was gemiddeld 195 mm met in het zomerhalfjaar een tekort van gemiddeld 154 mm. 2017 had een neerslagoverschot van 358 mm met een neerslagtekort in het zomerhalfjaar van 53 mm. Dit jaar is daarom meteorologisch gezien daarom een meer gemiddeld jaar – vooral wat betreft het zomerhalfjaar – dan de periode 2017-2022. Tabel 4.7 laat zien wat het effect is van het rekenen met een meteorologisch meer gemiddeld jaar (2017) en de referentie (2017-2022) op de landbouwbijdrage voor stikstof en fosfor, voor drie verschillende schaalniveaus. Afhankelijk van het toestroomgebied wordt een lagere of hogere landbouwbijdrage berekend.

Tabel 4.7 Het verschil in de landbouwbijdrage berekend over het jaar 2017 ten opzichte van de relatief drogere periode 2017-2022 voor stikstof en fosfor voor drie verschillende schaalniveaus.

Schaalniveau	Stikstof			Fosfor		
	738 gebieden	65 Gebieden	21 Gebieden	738 gebieden	65 Gebieden	21 Gebieden
Gemiddelde afwijking	1%	1%	0%	1%	2%	2%
Bereik (min.-max.)	-8% / 9%	-6% / 5%	-4% / 3%	-22% / +25%	-2% / +6%	0 / +6%
Standaard deviatie	2%	2%	2%	6%	1%	1%

Tabel 4.7 geeft alleen de invloed van de gekozen periode, want er is voor 2017 dezelfde verdeling van de bodembronnen aangehouden als voor de periode 2017-2022. Hieruit blijkt dat als de landbouwbijdrage wordt gebaseerd op het jaar 2017 in plaats van 2017-2022, dit voor fosfor op het niveau van de afzonderlijke toestroomgebieden tot circa 25% kan afwijken. Gemiddeld is de landbouwbijdrage berekend voor 2017 een weinig groter (1 à 2%) dan berekend voor 2017-2022.

4.6 Uitwisseling van water tussen toestroomgebieden

In het merendeel van de KRW-oppervlaktewaterlichamen wordt de belasting deels bepaald door afwenteling van bovenstroomse gebieden en/of door waterinlaat. De complexiteit van het Nederlandse watersysteem met de talrijke boezems, kanalen en diffuse inlaten komt goed tot uitdrukking in de modelschematisering die per waterschapgebied is weergegeven in de routingschema's (Bijlage 3).

De waterverdeling van water dat wordt afgewenteld is in die schema's in procenten weergegeven. Deze percentages zijn voor zowel het zomer- als winterhalfjaar afgeleid van de aangeleverde monitoringsdata van de debieten (waterafvoeren). Echter, in lang niet alle uitwisselpunten worden deze debieten gemonitord, waardoor de waterverdeling is gebaseerd op schattingen van het waterschap en/of andere aannames. Dat geldt ook voor het water dat toestroomt vanuit Duitsland en Vlaanderen. In ruwweg de helft van de grenswateren zijn geen goede debietmeetpunten aanwezig en moet de toestroom worden geschat op basis van andere vergelijkbare grenswateren en/of kennis over de omvang van het toestroomgebied aan de Duitse/Belgische zijde. Ditzelfde geldt in het algemeen ook voor inlaatwater. Als het diffuse inlaten zijn (heveltjes e.d.), kan de hoeveelheid alleen wordt geschat met expert- en gebiedskennis. Voor diverse boezemsystemen is ook geen monitoring operationeel om de water aan- en afvoeren te meten.

Om toch zo goed mogelijk de invloed van afwenteling op de nutriëntenbelasting te bepalen, is, zoals eerder aangegeven, nauw contact geweest met de waterschappen. De door WENR opgezette routingschema's bleken voor de hydrologen van de meeste waterschappen een goed aanknopingspunt om de nodige hydrologische informatie en expertkennis in te kunnen brengen.

Door de actieve inbreng van de waterschappen is de aanvoer van water en nutriëntenbelasting die afkomstig is van inlaat van rijkswateren en toestroom vanuit het buitenland betrouwbaarder en gedetailleerder berekend dan de voorgaande landelijke bronnenanalyse. Dat geldt ook voor de uitwisseling van water en nutriënten tussen de toestroomgebieden (in deze studie aangeduid als afwenteling). De voornaamste feedback van de waterschappen op de tussenresultaten betreft (omissies in) waterinlaat, de afwenteling (routingschema's) en de invloed van de RWZI's in gebieden waar de stromingsrichting wisselt tussen droge perioden en perioden met neerslagoverschot.

Bedacht moet worden dat het oppervlaktewatersysteem in Nederland in veel gebieden zeer complex is, en dat in lang niet alle oppervlaktewaterlichamen de aan- en afvoeren goed bekend zijn. De onzekerheden rond de afwenteling zijn daarom niet goed te kwantificeren. Maar omdat de schema's en tussenresultaten enkele keren zijn uitgewisseld met de waterschappen en zij ook een actieve inbreng en feedback hebben geleverd, kan geconcludeerd worden dat de modelschematisering met de opgelegde hoeveelheden waterinlaat en waterverdeling een goede weerspiegeling is van de huidige beschikbare informatie en gebieds- en expertkennis van de regionale waterbeheerders.

4.7 Retentie

De methodiek om de retentie te kwantificeren, is dezelfde als eerder toegepast in de voorgaande landelijke bronnenanalyse (Groenendijk et al., 2016). Hierbij wordt onderscheid gemaakt in vaste percentages (zoals bij inlaten) en afvoerafhankelijke retentie (zoals uit- en afspoeling). Hoewel de methodiek hetzelfde is, is de totaal berekende retentie in onderhavige studie gemiddeld aanmerkelijk groter dan in eerdere bronnenanalyses. Hiervoor zijn twee oorzaken aan te wijzen. Ten eerste wordt de beschouwde periode 2017-2022 gekenmerkt door droge zomers. In vier jaren is in het zomerhalfjaar sprake van een vrij fors neerslagtekort (neerslag minus referentie gewasverdamping), zie paragraaf 4.5. In die zomers wordt weinig afvoer berekend, waardoor in vrij afwaterende gebieden een hoge retentie wordt berekend. In polders wordt de retentie van stikstof berekend op basis van vastgestelde factoren, zonder dat deze afhankelijk worden gesteld van de afvoeren en dus zonder onderscheid tussen natte en droge jaren. Dat geldt, zoals aangegeven, ook voor de retentie van RWZI's, waterinlaat en toestroom buitenland. Omdat in de droge zomers voor de uit- en afspoeling een relatief geringe nutriëntenbelasting wordt berekend, is de retentie die berekend wordt met vaste kentallen relatief gezien hoog.

Ook is de retentie zoals die voor vrij afwaterende gebieden wordt berekend relatief hoog, omdat deze wordt berekend op basis van de specifieke waterafvoer. Door de droge weerjaren, met name de zomers, is de afvoer relatief laag en daarmee wordt een relatief hoge retentie berekend.

Een ander belangrijk aandachtspunt is dat de vaste retentiepercentages van 50% voor fosfor en 20% voor de RWZI's, inlaat en afwenteling schaalafhankelijk zijn. Als er sprake is van één toestroomgebied, bijvoorbeeld een toestroomgebied (polder) dat afwatert op een boezem, is de berekende retentie van de

waterinlaat 20%. Maar als er sprake is van een keten van drie aaneengeschakelde toestroomgebieden (drie polders) waarvan alleen de eerste rijkswater inlaat, dan is de berekende retentie voor het rijkswater in de eerste polder 20%, in de tweede polder 36% ($1-0.8^2$) en in de derde polder 49% ($1-0.8^3$). De retentieschatting van 20% is eerder landelijk toegepast (Boekel et al., 2012) op een schaalniveau waarbij Nederland was ingedeeld in circa 125 deelstroomgebieden en daarna in de voorgaande landelijke bronnenanalyse bij een indeling in circa 500 deelstroomgebieden. In het onderhavige onderzoek wordt het oppervlaktewater ingedeeld in 738 deelstroomgebieden. Het ontbreekt aan kennis en onderbouwing op welke schaal de grove retentieschatting van 50% en 20% valide is, maar de indruk is dat deze voor de hier toegepaste schaal (738 toestroomgebieden) te hoog is ingeschat.

De retentie heeft overigens geen invloed op de bronverhouding van de gebiedseigen bronnen, en daarmee ook niet op de berekende landbouwbijdrage, omdat deze wordt berekend op basis van de bronverhouding van de gebiedseigen belasting. Wel heeft de retentie dus invloed op de afwenteling, en daarmee ook op de berekening van de bronnen van herkomst in een gebied als daarbij de afwenteling wordt meegenomen.

4.8 Synthese toepassingsbereik

Voor de af te leiden landbouwbijdrage zijn diverse vormen van onzekerheden beschouwd:

- Het berekende niveau van de uit- en afspoeling (alle landbouw- en natuurgonden);
- Het berekende niveau van de uit- en afspoeling van bloembollenpercelen in Noord- en Zuid-Holland;
- Onzekerheden over de emissieschattingen voor glastuinbouw;
- De ruimtelijke variatie van het berekende aandeel mestgiften in de uit- en afspoeling uit landbouwgronden;
- De invloed van directe kwel en wellen als extra bron;
- De invloed van het weer (2017 versus de gemiddelde drogere periode 2017-2022);
- Onzekerheden over de emissies door erfafspoeling en regenwaterriolen.

Verder is ook ingegaan op de onzekerheden over de verdeling van de emissiebronnen over het zomer- en winterhalfjaar, afwenteling en de retentie. Deze onzekerheden hebben echter geen invloed op de berekening van de landbouwbijdrage.

De onzekerheden over de verdeling van het bodembronnen hebben een grote invloed op de berekende landbouwbijdrage. Dat komt omdat de uit- en afspoeling in de meeste toestroomgebieden de grootste gebiedseigen bron is en het aandeel mestgiften in de uit- en afspoeling de grootste factor is in de berekening van de landbouwbijdrage. De onzekerheden over het gekozen jaar en het niveau (kg/ha) van de uit- en afspoeling hebben duidelijk minder invloed op de berekende landbouwbijdrage, hoewel deze invloed in sommige toestroomgebieden ook groot is.

De invloed van directe kwel en wellen is specifiek berekend voor de gebieden waar dit een belangrijke factor kan zijn, namelijk in de diepe polders van Amstel Gooi en Vecht, de gebieden van Zuiderzeeland en de polders van Rijnland. Het meenemen van deze extra bron heeft een grote invloed op de landbouwbijdrage in de gebieden van Zuiderzeeland, omdat veel tochten daar diep insnijden in de deklaag. Ook hebben de wellen en directe kwel in enkele polders van AGV een sterk verlagende invloed op de berekende landbouwbijdrage. De invloed van wellen in Rijnland hebben nauwelijks invloed op de landbouwbijdrage.

In enkele gebieden werken ook de onzekerheden rond erfafspoeling vrij sterk door in de berekende landbouwbijdrage. De onzekerheden rond atmosferische depositie op open water en regenwaterriolen hebben een beperkte invloed op de berekende landbouwbijdrage.

Omdat deze onzekerheden verschillend van aard zijn, is het niet zinvol om hiermee een gecombineerde bandbreedte van onzekerheden te berekenen. Dit zou namelijk een schijnnaauwkeurige bandbreedte geven.

De landbouwbijdrage kan met deze bronnenanalyse worden berekend voor ieder afzonderlijk toestroomgebied, maar deze bijdrage kan op dit schaalniveau sterk afwijken gelet op de beschouwde onzekerheden. Op het schaalniveau van de 65 hydrologische eenheden wordt de berekende

landbouwbijdrage wel als voldoende robuust beschouwd. De beschouwde onzekerheden nemen niet sterk af als de landbouwbijdrage wordt berekend op het schaalniveau van de 21 waterschapgebieden.

Beleidsmatig is behoefte aan inzichten in de nutriëntenbelasting, herkomst en effecten van maatregelen op een vrij gedetailleerd ruimtelijk niveau. Het schaalniveau van de bronnenanalyse met KRW-ECHO is afgestemd op de oppervlaktewaterlichamen die voor de KRW zijn aangewezen. Voor dit schaalniveau is de methodiek om de retentie te kwantificeren relatief grof en onzeker. Dat maakt dat vooral de doorwerking van bronnen naar benedenstroomse gebieden relatief onzeker is alsmede de vrachten en concentraties in de berekende water- en nutriëntenbalansen. Daarbij moet worden bedacht dat monitoring van waterafvoeren en concentraties in die afvoeren op belangrijke uitwisselpunten in veel gebieden beperkt is, mede door de complexiteit van het watersysteem (fysiek en qua beheer). Dit beperkt de mogelijkheden om modellering van de water- en nutriëntenbalansen op het detailniveau van de oppervlaktewaterlichamen te kalibreren en valideren.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Deze studie geeft een zo goed mogelijke inschatting van de bijdrage van alle relevante bronnen aan de belasting van de oppervlaktewateren met stikstof en fosfor. De verhouding van de bronnen komt globaal overeen met eerdere onderzoeken; de belangrijkste bronnen zijn uit- en afspoeling van landbouw, RWZI's, buitenland (grensoverschrijdende wateren vanuit België en Duitsland) en inlaat van rijkswateren.

Het toepassingsbereik van de berekende landbouwbijdrage is afhankelijk van de mate waarin onzekerheden van de berekende emissies doorwerken in de gebiedseigen verdeling van de bronnen die het oppervlaktewater van een toestroomgebied belasten. De onzekerheden rond de verdeling van de bodembronnen in de uit- en afspoeling, erfafspoeling, bloembollenteelt op zand in Noord- en Zuid-Holland en directe kwel en wellen in de gebieden van Zuiderzeeland en AGV werken het meest door in de berekende landbouwbijdrage. De onzekerheden over de bloembollenteelt geeft een duidelijk hogere landbouwbijdrage voor fosfor in delen van Noord- en Zuid-Holland. Het als extra bron meenemen van directe kwel en wellen in Amstel Gooi en Vecht en Zuiderzeeland geeft een duidelijk lagere landbouwbijdrage van zowel stikstof als fosfor. De onzekerheden over de uit- en afspoeling en erfafspoeling geven zowel een latere als hogere landbouwbijdrage.

De ervaring met het gebruik van gedistribueerde rekenmodellen leert dat naarmate resultaten over grotere gebieden of over meer eenheden worden geaggregeerd, de resultaten betrouwbaarder worden. Om die reden zijn in de voorliggende studie de 738 toestroomgebieden geaggregeerd naar 65 hydrologische eenheden en wordt het berekende aandeel van de totale stikstof- en fosforbelasting op dit niveau gepresenteerd. Geadviseerd wordt om de landbouwbijdrage op het niveau van deze hydrologische gebieden te beschouwen.

In de voorgaande bronnenanalyse was de nutriëntenbelasting berekend over de jaren 2010 tot en met 2013. De landbouwbijdrage zoals nu berekend voor de jaren 2017 tot en met 2022 is landelijk gemiddeld voor stikstof ruim 10% lager dan in de voorgaande landelijke bronnenanalyse. Voor fosfor is de landbouwbijdrage landelijk gemiddeld nu iets hoger berekend. De belangrijkste oorzaken van de verschillen zijn:

- a. Droge jaren: de gekozen periode 2017-2022 is ten opzichte van voorgaande landelijke en regionale bronnenanalyses relatief droog; vier van de zes jaren worden namelijk gekenmerkt door een hoog neerslagtekort in het zomerhalfjaar. Omdat de uit- en afspoeling in droge jaren relatief laag is, maar andere bronnen zoals RWZI's vrij constant zijn omdat deze hoofdzakelijk door inwoneraantallen wordt beïnvloed, wordt er een lagere landbouwbijdrage berekend dan in een periode met nattere jaren.
- b. Andere verdeling bodembronnen: de uit- en afspoeling van stikstof wordt in de periode 2013-2022 in mindere mate bepaald door actuele en historische mestgiften dan de periode 2000-2009 die toegepast was op de voorgaande landelijke en regionale bronnenanalyses. Dit komt omdat de mestgiften in 2000-2009 gemiddeld hoger waren en ook omdat in de relatief droge jaren 2013-2022 het aandeel van kwel en mineralisatie groter is.
- c. De emissies van regenwaterriolen worden door aanpassing van de rekenmethode in de Emissieregistratie nu (sinds 2018) hoger ingeschat dan in de schattingen die beschikbaar waren in de landelijke voorgaande bronnenanalyse.

De aanvoer van water en aanvoer van nutriënten met de inlaat van rijkswater en toestroom vanuit het buitenland is betrouwbaarder en gedetailleerder berekend dan in de voorgaande landelijke bronnenanalyse. Dat geldt ook voor de uitwisseling van water en nutriënten tussen de toestroomgebieden (in deze studie aangeduid als afwenteling). De hier uitgevoerde landelijke bronnenanalyse sluit dan ook beter aan bij de regionale onderzoeken dan de voorgaande landelijke bronnenanalyse. Voor de waterbeheerders levert de schematisering van het oppervlaktewater een beter inzicht in het functioneren van het watersysteem. Dit biedt mogelijkheden voor verbetering van bronnenanalyses in de toekomst.

5.2 Aanbevelingen

In de huidige systematiek voor het aanwijzen van nutriënt verontreinigde gebieden wordt de landbouwbijdrage in belangrijke mate bepaald door de toedeling van bodembronnen aan de uit- en afspoeling van nutriënten uit landbouwgronden. Het verdient aanbeveling om de methodiek van deze verdeling verder te ontwikkelen en daarbij tevens de bandbreedte van onzekerheden te kwantificeren.

Gelet op de onzekerheden rond de uitspoeling van stikstof en vooral fosfor uit bloembollenpercelen wordt aanbevolen om voor verbetering van modelberekeningen monitoring van drainwaterconcentraties uit te breiden en om daarbij ook bedrijfsinformatie over mestgiftten en andere factoren die van invloed zijn op het N- en P-bodemoverschot te verzamelen.

De emissies door directe kwel en wellen zijn niet in Emissieregistratie opgenomen. Aanbevolen wordt om deze bron in zowel regionale als landelijke bronnenanalyses mee te nemen. Het is daarvoor echter nodig dat voldoende betrouwbare geohydrologische informatie over kwel/wegzijging beschikbaar is, waarbij de kwel die berekend wordt met geohydrologische modellen opgesplitst kan worden in kwel naar het bodemprofiel en directe kwel (inclusief de invloed van diffuse wellen) naar het oppervlaktewater.

Een belangrijke term in de berekening van de uitspoeling is de concentratie van het grondwater in kwelgebieden. Dat geldt ook voor de berekening van directe kwel en wellen. Aanbevolen wordt om de monitoring van de grondwaterkwaliteit daarop uit te breiden, met name in gebieden zoals de noordelijke kleischil en de tochten in Zuiderzeeland, waar de invloed van kwel groot kan zijn, maar het aantal monitoringslocaties beperkt is.

Voor diverse grensoverschrijdende regionale wateren is de monitoring niet toegesneden om te bepalen hoeveel water vanuit Duitsland of België naar het Nederlandse deel stroomt. Ook geldt dat de waterverdeling op diverse belangrijke uitwisselpunten door het ontbreken van geschikte monitoring niet goed bekend is. Daarom wordt aanbevolen om met de monitoring van de regionale en grensoverschrijdende oppervlaktewaterlichamen meer te aandacht te besteden aan het meten van debieten, teneinde beter inzicht te krijgen in de invloed van gebiedsvreemd water en ook om de modellen beter te kunnen valideren.

In voorgaande regionale bronnenanalyses is de KRW-opgave meestal berekend op basis van de bronverhouding in het zomerhalfjaar. Het afleiden van de herkomst in het zomerhalfjaar is minder betrouwbaar dan jaargemiddeld, omdat a) van diverse bronnen alleen jaarcijfers voor de emissies beschikbaar zijn, b) de verdeling van de bodembronnen met de huidige methode alleen valide berekend kan worden voor een langjarige (en dus jaargemiddelde) periode en c) in diverse oppervlaktewateren nalevering van fosfor in het zomerhalfjaar een belangrijke belasting kan vormen, maar kennis en informatie om deze nalevering in alle gebieden te kwantificeren onvoldoende is. Aanbevolen wordt om de kennis om de retentie van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater verder uit te breiden en om vervolgens de methodiek om deze in bronnenanalyses te kwantificeren verder te ontwikkelen. Ook wordt aanbevolen om nader onderzoek te verrichten om nutriëntenemissies die in Emissieregistratie op jaarbasis worden geschat, te verdelen per kwartaal of over het zomer- en winterhalfjaar.

Literatuur

- Arcadis, 2020. Waterkwaliteitsstudie Herkomst stoffen polderwateren. Technisch rapport. Hoogheemraadschap van Rijnland.
- Bakkum, r., B. Hidding, A. Verbout, M. Wienhoven en M. van der Kamp 2020. Ambtelijke achtergrondrapportage derde stroomgebiedsbeheerplan Kaderrichtlijn Water, Hoofdrapport 'loop 2'. Hoogheemraadschap van Delfland, 18 augustus 2020.
- Boekel, E., J. Roelsma, H. Massop., H. Mulder, P. Jansen., L. Renaud., R. Hendriks 2013. Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van HHNK: Deelrapport 1: Analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en nutriëntenbalansen voor de Beemster. Wageningen, Alterra rapport 2475.1 – 59. <https://edepot.wur.nl/291048>
- Boekel, E., P. Schipper, R. Hendriks, H. Massop, M. Mulder, J. Roelsma 2013. Herkomst nutriëntenbelasting afvoergebieden HDSR, pilotstudie ECHO: regionale bronnenanalyse nutriëntenbelasting: Keulevaart, Eiland van Schalkwijk, Langbroekerwetering en Zegveld. Wageningen: Alterra (Alterra-rapport 2408) – 108. <https://edepot.wur.nl/251638>
- Boekel, E. van; Roelsma, J, H. Massop, M. Mulder, P. Jansen, L. Renaud, R. Hendriks en P. Schipper 2015. Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Wageningen: Alterra-rapport 2475.
- Boekel, E., J. Roelsma, H. Massop., H. Mulder, P. Jansen., L. Renaud., R. Hendriks en P. Schipper 2016. Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van HHNK: Hoofdrapport: Analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en nutriëntenbalansen voor het beheergebied van HHNK. Wageningen, Alterra rapport 2475 – 129. <https://edepot.wur.nl/355056>
- Boekel, E., R. Hendriks, P. Schipper 2018. Herkomst nutriënten Alblasserwaard en Vijfheerenlanden. Wageningen Environmental Research, rapport 2891 – 61. <https://edepot.wur.nl/453840>
- Boekel, E.M.P.M. van, P. Groenendijk, J. Kros, L. V. Renaud, J. C. Voogd, G. H. Ros, et al 2021. Effecten van maatregelen in het Zevende Actieprogramma Nitraatrichtlijn: Milieueffectrapportage op planniveau. Wageningen Environmental Research, rapport 3108. DOI: <https://edepot.wur.nl/553651>.
- Bolt, F.J.E. van der, R. van den Bosch, T. Brock, P. Hellegers, C. Kwakernaak, D. Leenders, O. Schoumans, P. Verdonschot 2003. SQUAREIN; gevolgen van de Europese Kaderrichtlijn Water voor landbouw, natuur, recreatie en visserij. Wageningen: Alterra (Alterra-rapport 835) – 152. <https://edepot.wur.nl/41380>
- Bolt, F. van der, E. van Boekel, W. Kuindersma, L. Renaud, P. Groenendijk, J. Kros, et al. 2022. Het landelijk Waterkwaliteits-model, versie LWKM1.2. Wageningen Environmental Research, rapport 3148. <https://edepot.wur.nl/566236>.
- Buijert, A., R. Talens, W. Chardon, J. Groenenberg, S. Jansen, J. Gerritse, 2015. Pilot effectgerichte verwijdering fosfaat bollenstreek. Resultaten veldpilot Voorhout en synthese diverse maatregelen. Arcadis rapport 2-1-2015.
- Deltares 2024. Emissieschattingen Diffuse bronnen Emissieregistratie, Lozingen nutriënten vanuit glastuinbouw. Versie mei 2024.
- Emissieregistratie 2024. <https://Factsheet uit- en afspoeling nutriënten landbouw- en natuurgronden.pdf>. Versie juni 2024. Wageningen Environmental Research, in opdracht van RIVM.
- Retentieschatting van N en P in het oppervlaktewater op verschillende schaalniveaus
- Gerven, L. van, R. Smit, P. Groenendijk, F. van der Bolt, J. de Klein 2009. Retentieschatting van N en P in het oppervlaktewater op verschillende schaalniveaus. Wageningen, Alterra-rapport 1848 – 78. <https://edepot.wur.nl/7957>.

-
- Gies, E., T. Cals, P. Groenendijk, H. Kros, T. Hermans, J. P. Lesschen, et al., 2023. Scenariostudie naar doelen en doelrealisatie in het kader van het Nationaal Programma Landelijk Gebied: een integrale verkenning van regionale water-, klimaat- en stikstofdoelen en maatregelen in de landbouw. Wageningen Environmental Research 2023, rapport 3235. <https://edepot.wur.nl/587289>.
- Groenenberg, J.E.; W.J. Chardon, P.J.M. Vreeburg 2015. Vermindering van de fosfaatbelasting oppervlaktewater met P-bindende drain: rapportage monitoring veldpilot en onderzoek naar praktische inpasbaarheid van de maatregel. Wageningen Environmental Research, Alterra-rapport 2678.
- Groenendijk, P., H.M. Mulder, R.F.A. Hendriks en F.J.E. van der Bolt, 2014. Bronnen van diffuse nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater; Evaluatie Meststoffenwet 2012: deelrapport ex post. Wageningen, Alterra-rapport 2328. 38 blz.; 18. <https://edepot.wur.nl/294092>
- Groenendijk, P., E. van Boekel, L. Renaud, A. Greijdanus, R. Michels, T. de Koeijer, 2016. Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren: het aandeel van landbouw in de KRW-opgave, de kosten van enkele maatregelen en de effecten ervan op de uit- en afspoeling uit landbouwgronden. Wageningen Environmental Research rapport 2749.
- Groenendijk, P. en L. Renaud. 2022. Methodiek berekening bronnen van stikstof en fosfor in uitspoelend bodem en grondwater. Wageningen Environmental Research, KIWK-notitie datum: 16 mei 2022 [https://www.stowa.nl/KennisimpulsWaterkwaliteit/Methodiek Bodembronnen.pdf](https://www.stowa.nl/KennisimpulsWaterkwaliteit/Methodiek%20Bodembronnen.pdf)
- Groenendijk, P., E. van Boekel 2024. Begrenzing watertoestroomgebieden als basis voor de aanwijzing van nutriënt verontreinigde gebieden. Wageningen Environmental Research (Rapport / Wageningen Environmental Research 3316) – 2.
- Groenendijk, P. T. Cals, H. Kros, L. Renaud, J.C. Voogd, 2024. Effecten van het mestbeleid op de uit- en afspoeling van meststoffen: Berekeningen ten behoeve van de Evaluatie Meststoffenwet 2024. Wageningen Environmental Research (Rapport / Wageningen Environmental Research 3378) – 89.
- Hauw, Koen van der, 2024. Detaillering AZURE i.v.m. herkomst nutriënten Flevoland. SWECO notitie 17-12-2024.
- Hellmann, F., P. Schipper, E. van Boekel, en J. Roelsma 2014. Achtergrondbelasting nutriënten Rijnland. Arcadis rapport mei 2014.
- Kroes, J.G., E.M.P.M. van Boekel, F.J.E. van der Bolt, L.V. Renaud en J. Roelsma, 2010. ECHO, een methodiek ter ondersteuning van waterbeleid; methodiekbeschrijving en toepassing Drentse Aa. Wageningen, Alterra rapport 1913 – 47. <https://edepot.wur.nl/176384>
- Kros, H., van Os, J., Voogd, J. C., Groenendijk, P., van Bruggen, C., te Molder, R., & Ros, G. (2019). Ruimtelijke allocatie van mesttoediening en ammoniakemissie: beschrijving mestverdelingsmodule INITIATOR versie 5. (Wageningen Environmental Research rapport; No. 2939). Wageningen: Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/474513>
- Lekkerkerk, W., Teurlincx, S., de Senerpont Domis, L., Schipper, P., Smolders, A. J. P., & van der Grift, B., 2022. Nutriënten in de waterbodems in Zuiderzeeland: NIOO-KNAW-referentie 2020-1026, 27-10-2022.
- Ministerie Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit 2023. Mestproductieplafonds en Derogatiebeschikking. Kamerbrief Minister Piet Adema 5 december 2023, kenmerk DGA-PAV / 41273951.
- Ministerie LNV 2023, Voortgang implementatie derogatiebeschikking mest en implementatie nutriënten-verontreinigde gebieden. [Kamerbrief over voortgang implementatie derogatiebeschikking mest en implementatie nutriënten-verontreinigde gebieden | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#).
- Raad voor Leefomgeving en Infrastructuur 11-5-2023. Goed water goed geregeld.
- Renaud, L., J. Roelsma, P. Groenendijk 2005. ANIMO 4.0; user's guide of the ANIMO 4.0 nutrient leaching model. Wageningen: Alterra (Alterra-report 224) – 191. <https://edepot.wur.nl/20340>.
- Renaud, L.V.; Bonten, L.T.C.; Groenendijk, P.; Groenenberg, J.E. 2015. Berekening van uit- en afspoeling van nutriënten- en zware metalen ten behoeve van de EmissieRegistratie 2013. Wageningen: Alterra-rapport 2638 – 61. <https://edepot.wur.nl/348085>

-
- RHDHV. (2024). Dashboard KRW tussenevaluatie. <https://royalhaskoningdhv.shinyapps.io/Dashboard-KRW-tussenevaluatie/>
- Roovaart, J. van den. 2022. Verbeteren verdeling emissievrachten. Memo Deltares, 22 december 2022.
- Roovaart, J. van den, S. Kelderman, L. van Eck, V. Harezlak, E. Meijers, A. van der Linden, J. Bleser, 2024. Ex ante evaluatie doelbereik Kaderrichtlijn Water voor de Nederlandse oppervlaktewateren. Achtergrondrapportage bij de Tussenevaluatie KRW 2024. Deltares rapport 11210346-012-ZWS-0001.
- 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. L. Jeurissen, R. Hendriks, L. Renaud en E. van Boekel 2020. Water- en nutriënten-balansen oppervlaktewater Zuiderzeeland. Wageningen Environmental Research-rapport 3009.
- Schipper, P., P. Groenendijk, A. Buijert 2023. Bronnenanalyse nutriënten waterlichamen Noorderzijlvest: Analyse voor de oppervlaktewaterlichamen voor het afleiden van haalbare KRW doelen. Wageningen Environmental Research, rapport 3277 – 57. <https://edepot.wur.nl/638955>
- Schipper, P.N.M., P. Groenendijk, L. P. A. v. Gerven, S. Lukacs and J. Rozemeijer 2022b. Monitoring en modellering in twee pilotgebieden voor gebiedsgerichte aanpak: onderdeel KIWK-project Nutriënten: welke landbouwmaatregelen snijden hout? Stowa-rapport 2022. <https://edepot.wur.nl/571458>.
- Schipper, P., E. v. Boekel, Y. Mi-Gegotek, P. Groenendijk, H. Kros, L. Renaud, J.C. Voogd 2024a. KRW-doelbereik en resterende opgave 2027 voor de nutriënten in de Maasregio. Wageningen Environmental Research, rapport 33533. DOI: <https://edepot.wur.nl/660087>.
- Schipper, P., M. Hehenkamp, Y. Mi-Gegotek, P. Groenendijk, L. Renaud 2024b. KRW-restopgave nutriënten in Gelderland en oostzijde Utrechtse Heuvelrug. Wageningen Environmental Research (Rapport / Wageningen Environmental Research 3360) – 79.
- Schipper, P., M. Hehenkamp, Y. Mi-Gegotek, P. Groenendijk, L. Renaud 2025. KRW-restopgave nutriënten in Overijssel. Wageningen Environmental Research (Rapport / Wageningen Environmental Research 3391) – 85.
- Schipper, P. M. Hehenkamp, Y. Mi-Gegotek, P. Groenendijk¹, L. Renaud¹, A. Buiert en M. Nijboer 2025. KRW-restopgave nutriënten in de provincie Zuid-Holland, Het deel ten zuiden van het Noordzeekanaal en het Land van Heusden en Altena. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport (in press).
- Schoumans, O.F., P. Groenendijk, L. Renaud en F.J.E. van der Bolt, 2008. Nutriëntenbelasting van oppervlaktewater. Vergelijking tussen landbouw- en natuurgebieden. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1700.
- Slagter, L., M. Roseboom. D. van Wieringen, I. Phernambucq, R. Nieuwkamer, L. Oosterom, E. Ruijgrok, L. Turlings, 2024. Koepelrapport tussenevaluatie KRW. Rapport AT-Osborne, Wittenveen & Bos, FLO Legal, 11 december 2024.
- Vreman, B. J. en A. Buijert 6-11-2018. Waterkwaliteitsstudie KRW wateren Noorderzijlvest, technisch rapport. Arcadis rapport, projectnummer C03081.000249.0200.
- 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.

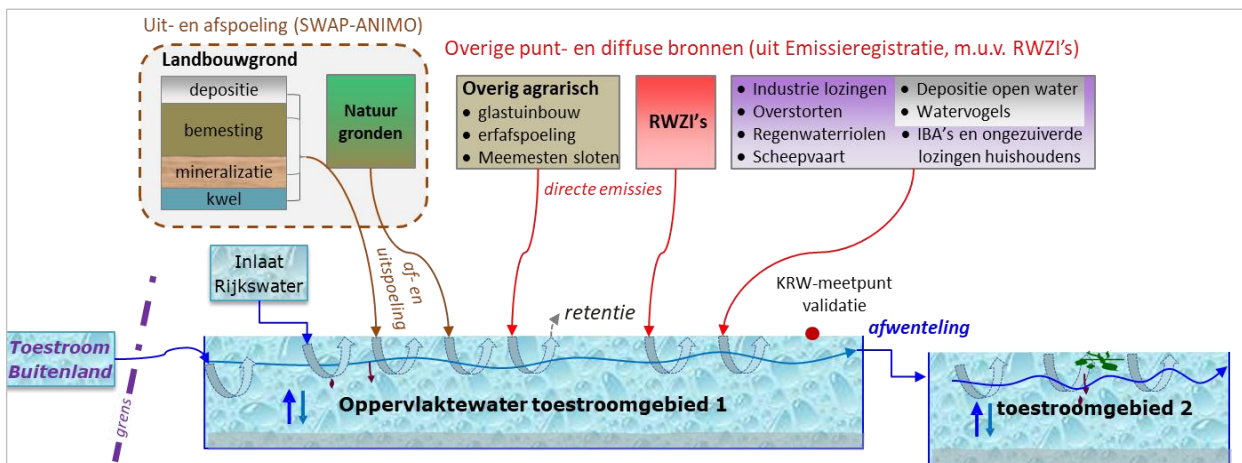
Bijlage 1 Toegepaste methoden

B1.1 Algemene beschrijving en toepassingen KRW-ECHO

De KRW-ECHO-methodiek is ontwikkeld door WUR (Kroes et al., 2010) 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 monitorings- 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). In een co creatie wordt samen met de (hydrologen van de) waterschappen het oppervlaktewatersysteem geschematiseerd. Hierbij worden allereerst de toestroomgebieden (ook wel aangeduid als vanggebieden) rond de oppervlaktewaterlichamen geografisch begrensd, rekening houdend met de stromingsrichting, de ligging van de KRW-meetpunten waarmee de fysisch-chemische toestand wordt beoordeeld, en belangrijke uitwisselpunten met rijkswateren, kanalen en andere regionale wateren. Vervolgens wordt op basis van de beschikbare debietmetingen, aangevuld met gebieds- en expertkennis per vanggebied de hoeveelheden waterinlaat en toestroom vanuit het buitenland afgeleid en de waterverdeling op de uitwisselpunten. De inlaat en waterverdeling worden vastgelegd in routingschema's.

Zowel landelijk (Groenendijk et al., 2016) als daarna in veel regio's¹⁵ is KRW-ECHO toegepast. In enkele studies zijn op basis van regionale informatie 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).

De wijze waarop KRW-ECHO de nutriëntenbelasting per toestroomgebied wordt berekend, is schematisch weergegeven in Figuur B1.1. Tabel B1.1 geeft een overzicht van de verschillende balanstermen en de informatiebronnen die worden gebruikt om emissies naar water te kwantificeren.



Figuur B1.1 Schematische weergave modelschematisering en modelinput nutriëntenbelasting oppervlaktewater.

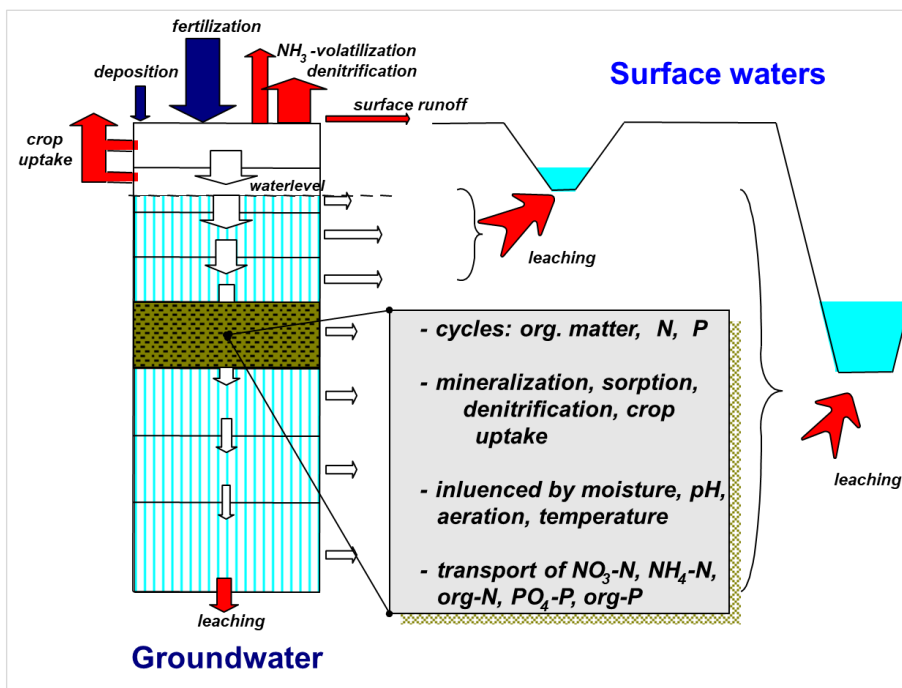
¹⁵ Zie referentielijst regionale toepassingen KRW-ECHO.

Tabel B1.1 Balanstermen en informatiebronnen die zijn gebruikt om de nutriëntenbelasting te kwantificeren.

Balansterm	Informatiebron
Inkomende vrachten	
• Uit- en afspoeling landbouw- en natuurgronden	SWAP-ANIMO-berekeningen STONE of van het LWKM
• Rioolwaterzuiveringen (RWZI's)	Effluentmetingen debieten en concentraties stikstof en fosfor
• Overige punt- en diffuse bronnen: glastuinbouw, erfafspoeling, meesten sloten, industrie en bedrijven, atmosferische depositie open water, riooloverstorten, regenwaterriolen, ongezuiverde huishoudelijke lozingen, IBA's, binnen- en recreatievaart, watervogels	Emissieregistratie-uitgifte per GAF- eenheid
• Inlaat en toestroming buitenland	Hydrologische informatie waterschappen en aanvullende informatie van het Waterkwaliteitsportaal

B1.2 Uit- en afspoeling

Een belangrijk fundament in de methode is het gebruik van rekeneenheden van SWAP-ANIMO van het modelinstrumentarium STONE (Wolf et al., 2003). Dit modelinstrumentarium is ontwikkeld om het mestbeleid te evalueren voor de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor vanuit landbouw- en natuurgronden naar bodem en water. Het rekenhart bestaat uit de modellen SWAP en ANIMO waarmee de vochtthuishouding en daaraan gekoppelde stikstof-, fosfor- en koolstofprocessen in het bodemprofiel dynamisch in de tijd wordt gesimuleerd (zie Figuur B1.2).



Figuur B1.2 Schematische weergave modelconcept ANIMO.

De ruimtelijke indeling voor STONE is gemaakt op basis van hydrologische en bodemchemische eigenschappen. Het model maakt gebruik van een vaste landelijke indeling in 6.405 ruimtelijke eenheden (zogenoemde STONE-plots) voor de landbouw en natuurgronden. Een plot bestaat uit meerdere gridcellen van 250*250 m, 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, drainagegroepen, 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, kationencapaciteit);
- indeling naar overige kenmerken (o.a. meteorologische kenmerken).

Deze landelijke indeling is echter niet altijd representatief voor lokale omstandigheden. Om STONE toch toepasbaar te maken voor deze studie, is de herschikkingsprocedure toegepast zoals die ook in voorgaande regionale bronnenanalyses is toegepast. Hierbij worden uit de landelijke set van 6.405 plots per toestroomgebied die plots geselecteerd die het best overeenkomen met actuele regionale gegevens over landgebruik, bodem, grondwatertrappen en – indien beschikbaar – kwel of wegzijging. Deze aanpak zorgt ervoor dat de emissieberekeningen beter aansluiten bij de daadwerkelijke situatie in het studiegebied.

De herschikking vindt plaats op een ruimtelijke resolutie van 25 x 25 meter. Per gridcel wordt gezocht naar de best passende STONE-plot op basis van de MLBG-eenheid, een combinatie van vijf factoren: meteodistrict, landgebruik, bodemtype (PAWN-indeling), grondwatertrap (Gt-klasse) en kwel/wegzijgingsklasse. Indien er geen exacte match wordt gevonden, wordt een stapsgewijze verruiming van de selectiecriteria toegepast via een vast elfstappenplan. In de eerste stappen worden slechts beperkte aanpassingen toegestaan, zoals vervanging van bodemtypes binnen dezelfde grondsoort of Gt-klassen binnen hetzelfde vochtigheidscluster. In latere stappen worden deze restricties verder versoepeld: bodemtypes mogen ruimer worden uitgewisseld en uiteindelijk zijn ook Gt-klassen en kwel/wegzijgingsklassen vrij combineerbaar. Pas in de laatste stap zijn er geen beperkingen meer, zodat elke MLBG-eenheid uiteindelijk kan worden gekoppeld aan een STONE-plot. Deze gefaseerde aanpak voorkomt dat willekeurige of niet-reproduceerbare keuzes worden gemaakt en waarborgt de consistentie van de procedure.

Het eindresultaat van de herschikkingsprocedure is dat aan iedere MLBG-eenheid – dus elke unieke combinatie van meteodistrict, landgebruik, bodemtype en grondwatertrap – een representatieve stikstof- en fosforbelasting kan worden toegekend.

Voor ongeveer 75% van het totale oppervlak is dit mogelijk via een exacte een-op-een match, terwijl de resterende eenheden via de stapsgewijze aanpak alsnog worden gekoppeld aan een geschikt STONE-plot. Hierdoor ontstaat een gedetailleerd en gebiedsspecifiek beeld van nutriëntenuitspoeling, dat vervolgens kan worden gebruikt voor verdere analyse en beleidsontwikkeling op stroomgebiedsniveau.

B1.3 Retentie

Een deel van de nutriëntenbelasting in een toestroomgebied verdwijnt of wordt vastgelegd in onder andere waterplanten en in de waterbodem en passeert daarom niet het uitstroompunt. Dit wordt aangeduid als retentie. De berekening van de retentie is conform de werkwijze die is gehanteerd in de voorgaande landelijke bronnenanalyse (Groenendijk et al., 2016) en daarvoor in de Evaluatie Meststoffenwet 2012 (Van Boekel et al., 2012). Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De retentie van stikstof en fosfor, die vanuit landbouw- en natuurgonden uitspoelt naar het oppervlaktewater, is voor vrij afwaterende gebieden afhankelijk van de 'specifieke afvoer'. De 'specifieke afvoer' is gedefinieerd als de afvoer bij het uitstroompunt van het afwateringsgebied gedeeld door het bovenstroomse wateroppervlak.
- De retentie van stikstof in de veen- en kleipolders varieert per polder. De retentie is afhankelijk van de onderliggende retentieprocessen denitrificatie, netto-opname (zomerhalfjaar) en afgifte (winterhalfjaar) van stikstof door waterplanten. Voor het model is de retentiecapaciteit afgeleid van het oppervlak open water en een retentiecapaciteit voor sloten in kleigronden van 11,8 en 5,0 gram N per m² slootoppervlak voor respectievelijk het zomerhalfjaar en het winterhalfjaar. Voor sloten in veengronden geldt een retentiecapaciteit van 4,4 en 1,0 gram N per m² slootoppervlak voor respectievelijk het zomerhalfjaar en het winterhalfjaar.
- Voor de fosforretentie in poldersystemen en de stikstofretentie in zandige polders zijn dezelfde retentiepercentages aangehouden als die zijn gehanteerd bij de ex-ante-evaluatie Landbouw en KRW (Van der Bolt et al., 2008; Van Gerven et al. 2009; Van Boekel et al., 2012). Voor de N- en P-belasting

door uit- en afspoeling is een vast retentiepercentage gebruikt van 50% (Kronvang et al., 2004) en voor de andere bronnen is een vast retentiepercentage van 20% aangehouden. Ook voor 'overgangsgebieden' (afwateringsgebieden waarvan een gedeelte bestaat uit polders en een gedeelte uit vrij afwaterende gebieden) worden deze retentiepercentages aangehouden.

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

In aanvulling op de rekenwijze die in het voorgaande is beschreven, wordt per rekentijdstap bijgehouden hoeveel retentie is berekend ten opzichte van de in die tijdstap berekend stikstof- en fosforbelasting. Indien dat meer is dan 90%, wordt de retentie in die tijdstap op 90% gesteld. RWZI's zijn belangrijke puntbronnen. Omdat RWZI's op de hoofdwatgangen lozen en de locaties bekend zijn, wordt de retentie niet op het maximum gezet (20%), maar wordt deze afhankelijk gesteld van de relatieve afstand tot het uitstroompunt van het toestroomgebied. Deze relatieve afstand is de fractie van de afstand tot het uitstroompunt ten opzichte van de totale lengte van de hoofdwatgang in het toestroomgebied. Deze rekenwijze voor korting op de 20% retentie kan toegepast worden op inlaatwater en water dat naar bovenstroomse gebieden wordt afgewenteld, als duidelijk is dat dit water voor het merendeel niet terechtkomt in de haarvaten en de locatie waar het water wordt ingelaten, bekend is (geen diffuse inlaten).

B1.4 Verdeling bodembronnen in uit- en afspoelend water

De berekening van de verdeling van de bodembronnen van stikstof en fosfor in uit- en afspoelend water is uitgevoerd met een gevoeligheidsanalyse waarbij de verandering van de verhouding in de uit- en afspoeling is gerelateerd aan een verandering van de bronsterkte. In deze methode wordt de verdeling van bronnen geschat aan de hand van elasticiteiten. De elasticiteitscoëfficiënt wordt gegeven door:

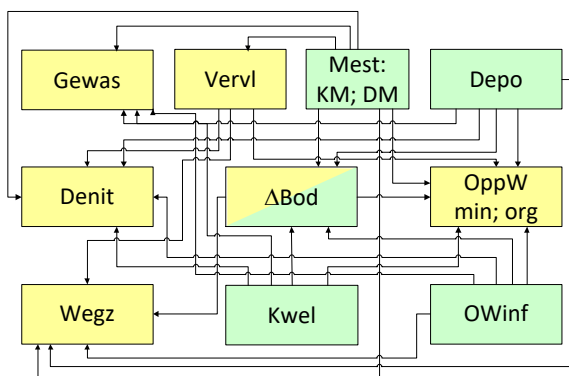
$$p_i = \frac{\Delta L_i / L}{\Delta S_i / S_i} \quad (1)$$

waarin $\Delta L_i / L$ de relatieve verandering is van de oppervlaktewaterbelasting (*load*) en $\Delta S_i / S_i$ de relatieve verandering van een bron *i* (*source*). De elasticiteit p_i drukt dan de verhouding van de verandering van de load ten opzichte van de verandering van de *source*. Als $p_i = 0.1$ vermindert de belasting van het oppervlaktewater met 0.1% als gevolg van een 1% kleinere bron *i*.

Het traject waarin binnen een gevoeligheidsanalyse de bron kan worden gevarieerd, is kleiner naarmate het systeem sterker niet-lineair reageert. Gezorgd moet worden dat binnen het traject ΔS_i de reactie van ΔL_i lineair is.

Bij een negatieve waarde van de term 'verandering bodemvoorraad' komt stikstof en/of fosfor vrij en fungeert de bodem als bron. S_{bodem} is dan positief. Echter, als de term 'verandering bodemvoorraad' positief is, vormt hij een sink en is S_{bodem} negatief. In deze situatie wordt geen elasticiteit voor deze term berekend en speelt de bodem geen rol bij de berekening van de relatieve bijdrage van bronnen.

Met de resultaten van de gevoeligheidsanalyse is een regressiemodel opgesteld waarin de uitgaande termen van de stikstof- en fosforbalans worden gerelateerd aan de ingaande termen met behulp van lineaire (regressie)vergelijkingen (Figuur B1.3).



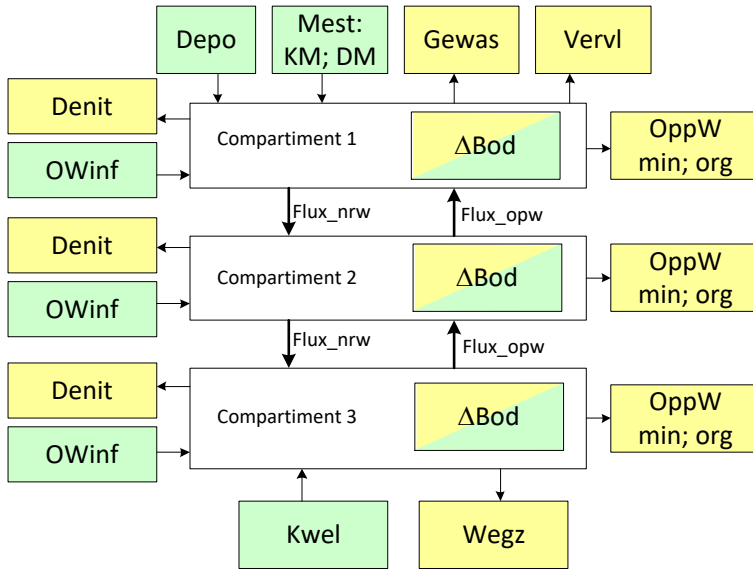
Figuur B1.3 Lineair regressiemodel op basis van de inputs en outputs van het ANIMO-model, waarin of kwel of wegzijging optreedt. Groen = bronterm; geel = putterm.

Als mogelijke bronnen worden onderscheiden de bemesting (Mest) met dierlijke mest (DM) en kunstmest (KM), de droge en natte atmosferische depositie (Depo), de aanvoer met kwelwater (Kwel) en de aanvoer met infiltrerend oppervlaktewater (OWinf): in peilbeheerste poldergebieden infiltreert in de zomer water vanuit sloten in de bodem en zorgt dan voor aanvoer van nutriënten naar de bodem. Ten slotte kan ook de bodem zelf stikstof en fosfor afgeven en kan daarmee een bron zijn (Δbod). Deze term 'bodemleverantie' is eigenlijk een restterm waarin enkele na-ijlingseffecten samen tot een verandering leiden van de bodemvoorraad:

- De afname of toename van de voorraad organische gebonden stikstof en fosfor en de afname of toename van de voorraad ammonium, nitraat en fosfor doordat van een oude overschotsituatie is overgegaan naar een nieuwe overschotsituatie. Fosfor is voor het grootste gedeelte aanwezig in de vorm van geadsorbeerd en geprecipiteerd fosfaat en een verandering van de voorraad minerale fosfor heeft dan vooral betrekking op deze pool.
- De langzame ontwikkeling van een oude naar een nieuwe overschotsituatie. De brontermen zijn geschat door de resultaten van tien jaar (periode 2013-2022) te middelen, in de veronderstelling dat hiermee de effecten van de variatie in weer worden uitgemiddeld.
- Behalve variatie in weer en een variatie in de mestgiftten spelen ook de trends en de variatie van de gewasopname een rol. In ANIMO wordt in landelijke modeltoepassingen de gewasopname over meerjarige periodes niet constant verondersteld, maar wordt rekening gehouden met o.a. weerseffecten en trends in de landbouwstatistieken. Ook dit leidt tot na-ijleffecten.

Het effect van historische bodemoverschotten komt, evenals het effect van de historische depositie en de kwel in het verleden, tot uitdrukking in de veranderingssnelheid van de bodemvoorraad. Als de verandering in de bodemvoorraad (Δbod) kleiner is dan nul, dan treedt de bodem op als bronterm voor de belasting van het oppervlaktewater en spreken we van bodemlevering (BoL). Naast de overschotten, depositie en kwel hebben ook (de inschatting van) de bodemeigenschappen en de beginvoorraad effect op de bodemlevering.

Een onderscheid in diepte-compartimenten in het bodemprofiel is gewenst, omdat zich situaties kunnen voordoen waarin de ophopingssnelheid in de wortelzone groter is dan de uitputtingssnelheid in de ondergrond. Voor het gehele profiel vindt er dan (netto) ophoping plaats (bodemvoorraad als verdwijnterm), terwijl desondanks de bodem toch bijdraagt aan de belasting van oppervlaktewater. Om deze reden dient ook het verticale transport als balanspost te worden beschouwd. Voor een drielagen profiel komt het schema er als volgt uit te zien (Figuur B1.4).



Figuur B1.4 Lineair regressiemodel op basis van de inputs en outputs van het ANIMO-model Statisch opgesteld voor drie bodemlagen.

De termen 'Infiltratie uit oppervlaktewater', 'denitrificatie', 'uitspoeling naar oppervlaktewater' en verandering bodemvoorraad in Figuur B1.4 worden nu per laag berekend en ook worden uitwisselingsfluxen tussen de compartimenten berekend.

De laterale uit- en afspoeling van de bronnen voor compartiment 1 naar het oppervlaktewater (OppW) wordt in het regressiemodel geschreven als:

$$OppW_1 = a_{1,1}(KM + DM) + a_{1,2}Depo + a_{1,3}Flux_{opw_1} + a_{1,4}OW_{inf,1} + a_{1,5}(BoL_1 | > 0) \quad (2)$$

Hierin zijn KM en DM de bemesting met kunstmest en dierlijke mest, $Depo$ is de depositie, $Flux_{opw}$ is de aanvoer uit de ondergrond met capillaire opstijging, OW_{inf} is de aanvoer met infiltratie van oppervlaktewater en BoL is de bodemleverantie. Omdat de verandering van de bodemvoorraad ook negatief kan zijn, wordt als expliciete eis gesteld dat BoL groter dan 0 moet zijn.

De neerwaartse uitspoeling uit compartiment 1 ($Flux_{nrw_1}$) wordt ook als lineaire relatie geschreven:

$$Flux_{nrw_1} = b_{1,1}(KM + DM) + b_{1,2}Depo + b_{1,4}OW_{inf,1} + b_{1,5}(BoL_1 | > 0) \quad (3)$$

En voor de opwaartse flux naar compartiment 1 ($Flux_{opw_1}$) geldt:

$$Flux_{opw_1} = c_{2,3}Flux_{opw_2} + c_{2,4}OW_{inf,2} + c_{2,5}(BoL_2 | > 0) \quad (4)$$

Analoog aan de bovenstaande formules worden ook vergelijkingen opgesteld voor compartiment 2 en 3:

$$\begin{aligned} OppW_2 &= a_{2,1}Flux_{nrw_1} + a_{2,3}Flux_{opw_2} + a_{2,4}OW_{inf,2} + a_{2,5}(BoL_2 | > 0) \\ Flux_{nrw_2} &= b_{2,1}Flux_{nrw_1} + b_{2,4}OW_{inf,2} + b_{2,5}(BoL_2 | > 0) \\ Flux_{opw_2} &= c_{3,3}Kwel + c_{3,4}OW_{inf,3} + c_{3,5}(BoL_3 | > 0) \\ OppW_3 &= a_{3,1}Flux_{nrw_2} + a_{3,3}Kwel + a_{3,4}OW_{inf,3} + a_{3,5}(BoL_3 | > 0) \end{aligned} \quad (5)$$

De totale belasting van het oppervlaktewater wordt dan berekend als de som van $OppW_1$, $OppW_2$ en $OppW_3$. De termen voor opwaartse en neerwaartse fluxen tussen de compartimenten zijn te elimineren door substitutie, zodat:

$$OppW = (a_{1,1} + a_{2,1}b_{1,1} + a_{3,1}b_{1,1}b_{2,1})Mest + (a_{1,2} + a_{2,1}b_{1,2} + a_{3,1}b_{1,2}b_{2,1})Depo + (a_{3,3} + a_{2,3}c_{3,3} + a_{1,3}c_{2,3}c_{3,3})Kwel + (a_{1,4} + a_{2,1}b_{1,4} + a_{3,1}b_{1,4}b_{2,1})OW_{inf,1} + (a_{2,4} + a_{3,1}b_{2,4} + a_{1,3}c_{2,4})OW_{inf,2} + (a_{3,4} + a_{2,3}c_{3,4} + a_{1,3}c_{2,3}c_{3,4})OW_{inf,3} + (a_{1,3} + a_{2,1}b_{1,5} + a_{3,1}b_{1,5}b_{2,1})(BoL_1 > 0) + (b_{2,5} + a_{3,1}b_{2,5} + a_{1,3}c_{2,5})(BoL_2 > 0) + (b_{3,5} + a_{2,3}c_{3,5} + a_{1,3}c_{2,3}c_{3,5})(BoL_3 > 0) \quad (6)$$

Deze vergelijking is te herschrijven als:

$$OppW = f_1Mest + f_2Depo + f_3Kwel + f_{4,1}OW_{inf,1} + f_{4,2}OW_{inf,2} + f_{4,3}OW_{inf,3} + f_{5,1}(BoL_1 > 0) + f_{5,2}(BoL_2 > 0) + f_{5,3}(BoL_3 > 0) \quad (7)$$

Bemesting is voor de meeste landbouwgronden de grootste bron van nutriënten. Een belangrijk deel van deze nutriënten wordt opgenomen door het gewas. Deze 'overheersende' invloed van mest leidt ertoe dat de rekenprocedure voor het afleiden van de coëfficiënten soms instabiel is. Daarom is Vgl. 7 op een alternatieve manier geschreven, waarbij de 'Mest' is vervangen door 'Overschot'. De term 'Overschot' wordt in de analyse berekend als 'Mest – Gewasopname':

$$OppW = f_1^*Overschot + f_2^*Depo + f_3^*Kwel + f_{4,1}^*OW_{inf,1} + f_{4,2}^*OW_{inf,2} + f_{4,3}^*OW_{inf,3} + f_{5,1}^*(BoL_1 > 0) + f_{5,2}^*(BoL_2 > 0) + f_{5,3}^*(BoL_3 > 0) \quad (8)$$

De coëfficiënten in Vgl. 7 zijn te herleiden door:

$$f_i = f_i^* \frac{OppW}{OppW + f_1^*Gewasopname} \quad (9)$$

Waarin de onderschrift in f_i verwijst naar een index in Vgl. 7.

In de term 'verandering van bodemvoorraad' is geen onderscheid gemaakt naar de herkomst van de bodemvoorraad zelf, terwijl het inzicht hierin soms wel is gewenst. De verandering van de bodemvoorraad wordt beïnvloed door een veelheid aan processen, zoals de hoeveelheid en de kwaliteit van de organische stof die aan het begin van de simulatie werd verondersteld, de hoeveelheid en de kwaliteit van de inputs in de recente geschiedenis, de oplading van de hoeveelheid minerale stikstof en fosfor in de waterfase van de bodemkolom en de snelheid waardoor de hoeveelheid verandert als gevolg van veranderingen in het netto-neerslag overschot, de veranderingen van de bemesting en de gewasopname in de rekenperiode waarvoor balansen worden opgesteld.

Om de invloed van historische mestoverschotten op de belasting van het oppervlaktewater te schatten, is een vergelijking opgesteld waarin de verandering van de bodemvoorraad is gerelateerd aan het totale geaccumuleerde overschot over de periode die als representatief voor 'historisch' wordt beschouwd en een restterm.

$$BoL_i = a_i \sum_{j=1941}^{2000} (Mest_j - Gewasopname_j) + b_i \quad (10)$$

Hierin verwijst het onderschrift i in de coëfficiënt a_i en b_i naar het compartiment nummer in Vgl. 7. Het aandeel van de historische overschotten in de verandering van de bodemvoorraad is dan te berekenen als:

$$\{a_i \sum_{j=1981}^{2012} (Mest_j - Gewasopname_j)\} / BoL_i.$$

Deze fracties kunnen worden ingevuld in Vgl.7, waarmee een schatting wordt verkregen van het aandeel van de historische overschotten aan de huidige belasting van het oppervlaktewater.

Referenties Regionale toepassingen KRW-ECHO

- Schipper, P. E. van Boekel, Y. Mi-Gegotek, P. Groenendijk, H. Kros, L. Renaud, J.C. Voogd 2024. KRW-doelbereik en resterende opgave 2027 voor de nutriënten in de Maasregio. Wageningen Environmental Research rapport 3353.
- 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. Jeurissen, R. Hendriks, L. Renaud en E. van Boekel 2020. Water- en nutriënten-balansen oppervlaktewater Zuiderzeeland. Wageningen Environmental Research-rapport 3009.
- 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.
- Boekel, E., L. Renaud en P. Schipper 2020. Herkomst nutriënten waterschap Drents Overijsselse Delta. Wageningen Environmental Research, rapport 2096.
- 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. L. Renaud en E. van Boekel 2019. Bronnenanalyse nutriënten stroomgebied Maas. Wageningen Environmental Research, Rapport 2931.
- Boekel, E., R. Hendriks en P. Schipper 2018. Herkomst nutriënten Alblasserwaard en Vijfheerenlanden. Wageningen Environmental Research-rapport 2891.
- 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. 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.
- Boekel, E., J. Roelsma, H. Massop., H. Mulder, P. Jansen., L. Renaud., R. Hendriks 2013. Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van HHNK: Deelrapport 1: Analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en nutriëntenbalansen voor de Beemster. Wageningen, Alterra rapport 2475.1 – 59. <https://edepot.wur.nl/291048>
- Boekel, E., P. Schipper, R. Hendriks, H. Massop, M. Mulder, J. Roelsma 2013. Herkomst nutriëntenbelasting afvoergebieden HDSR, pilotstudie ECHO: regionale bronnenanalyse nutriëntenbelasting: Keulevaart, Eiland van Schalkwijk, Langbroekerwetering en Zegveld. Wageningen: Alterra (Alterra-rapport 2408) – 108. <https://edepot.wur.nl/251638>
- Kroes, J.G., E.M.P.M. van Boekel, F.J.E. van der Bolt, L.V. Renaud en J. Roelsma, 2010. ECHO, een methodiek ter ondersteuning van waterbeleid; methodiekbeschrijving en toepassing Drentse Aa. Wageningen, Alterra rapport 1913 – 47. <https://edepot.wur.nl/176384>

Referenties Retentie

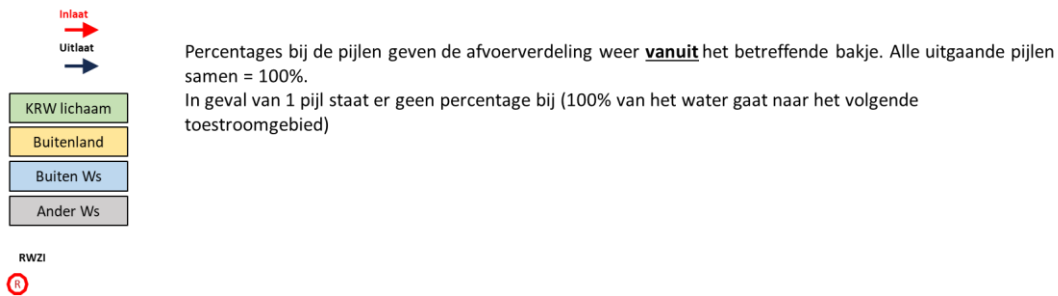
- Boekel, E.M.P.M. van, L.P.A. van Gerven, T. van Hattum, V.G.M. Linderhof, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, N.B.P. Polman, L.V. Renaud en D.J.J. Walvoort, 2011. Ex-ante evaluatie landbouw en KRW. Alterra-rapport 2121, Alterra, Wageningen.
- Gerven, L.P.A. van, A.A.M.F.R. Smit, P. Groenendijk, F.J.E. van der Bolt en J.J.M. de Klein, 2009. Retentieschatting van N en P in het oppervlaktewater op verschillende schaalniveaus. 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 Schuivenbeek. 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)

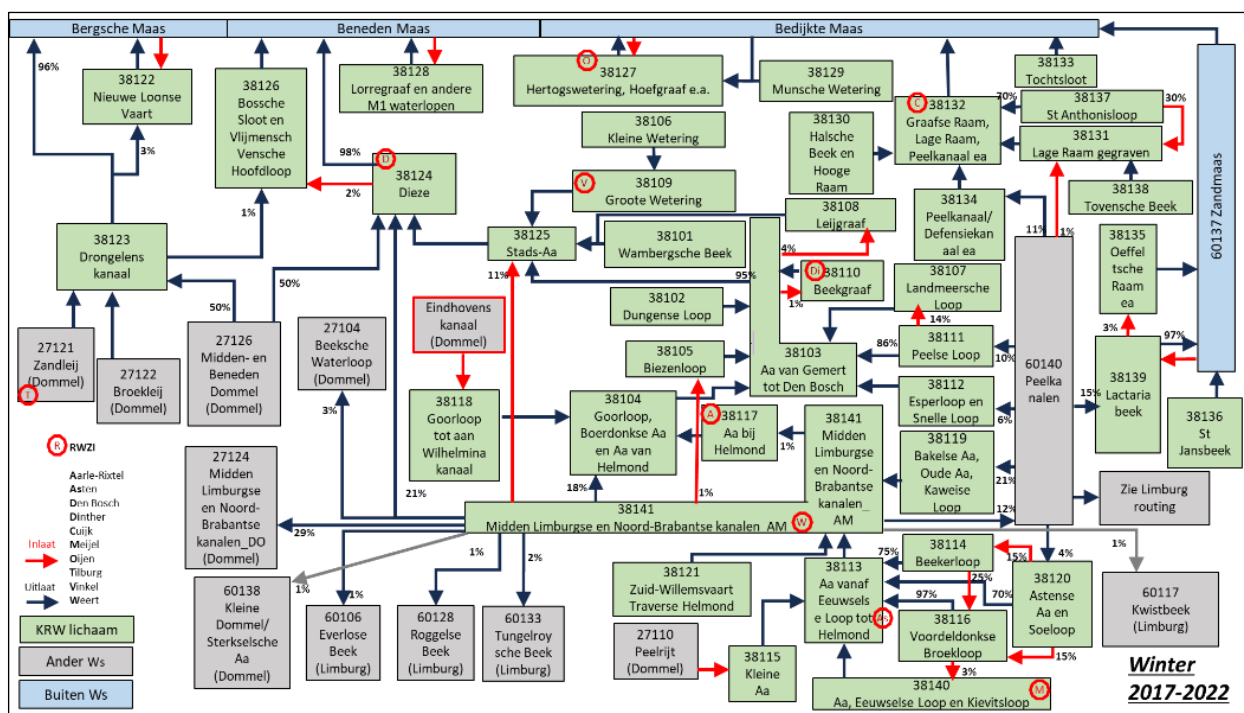
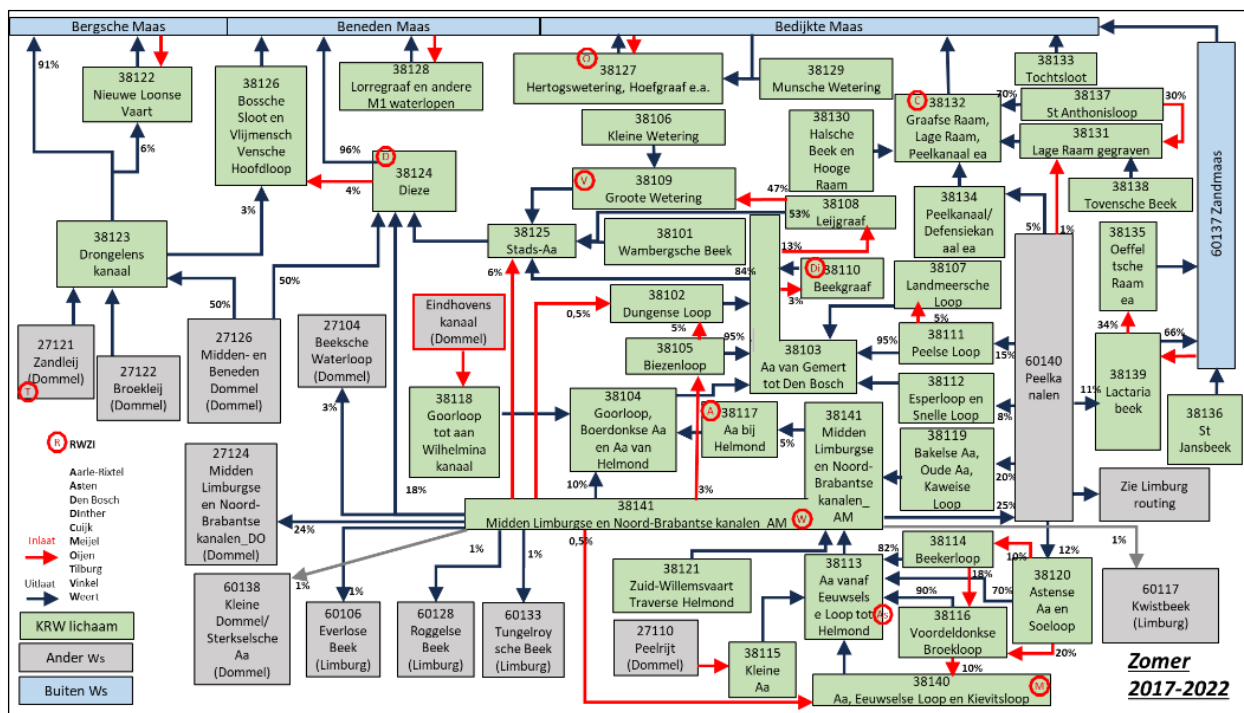
Bijlage 2 Routingschema's toestroomgebieden

Deze bijlage bevat de routingschema's van alle toestroomgebieden per waterschap. Deze laten de waterverdeling per KRW stroomgebied zien voor het zomer- en winterhalfjaar voor de jaren 2017-2022.

Legenda



Waterschap Aa en Maas



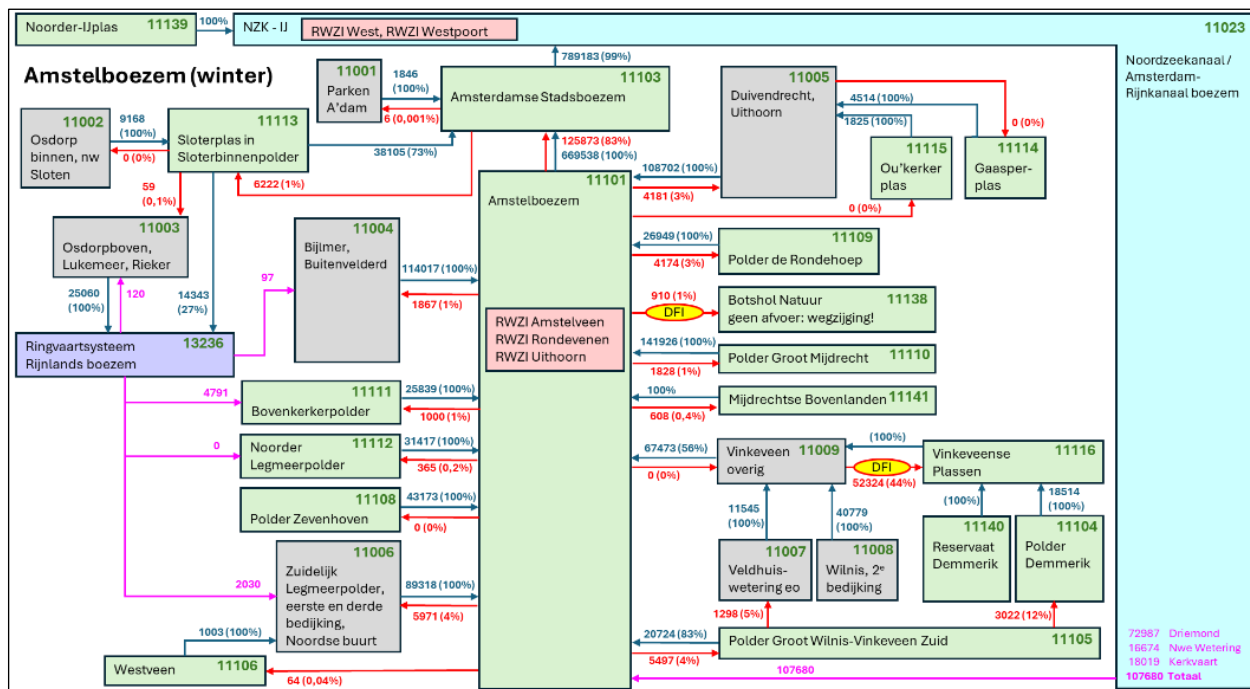
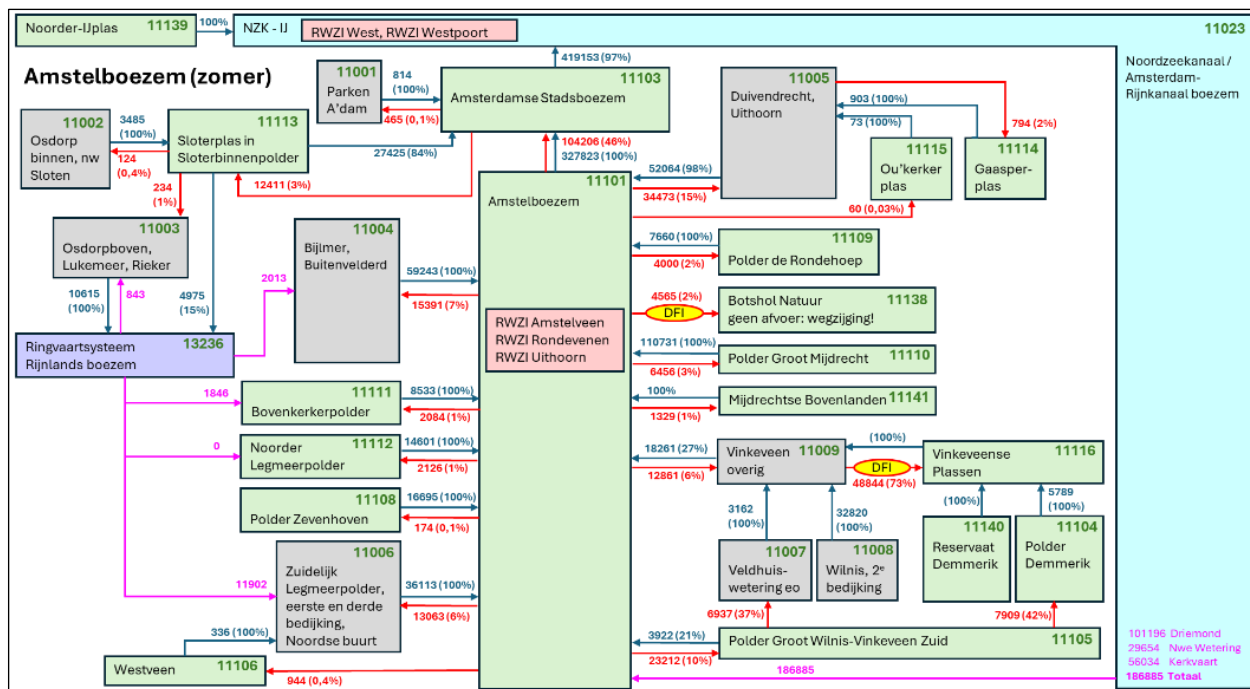
Waterschap Amstel, Gooi en Vecht

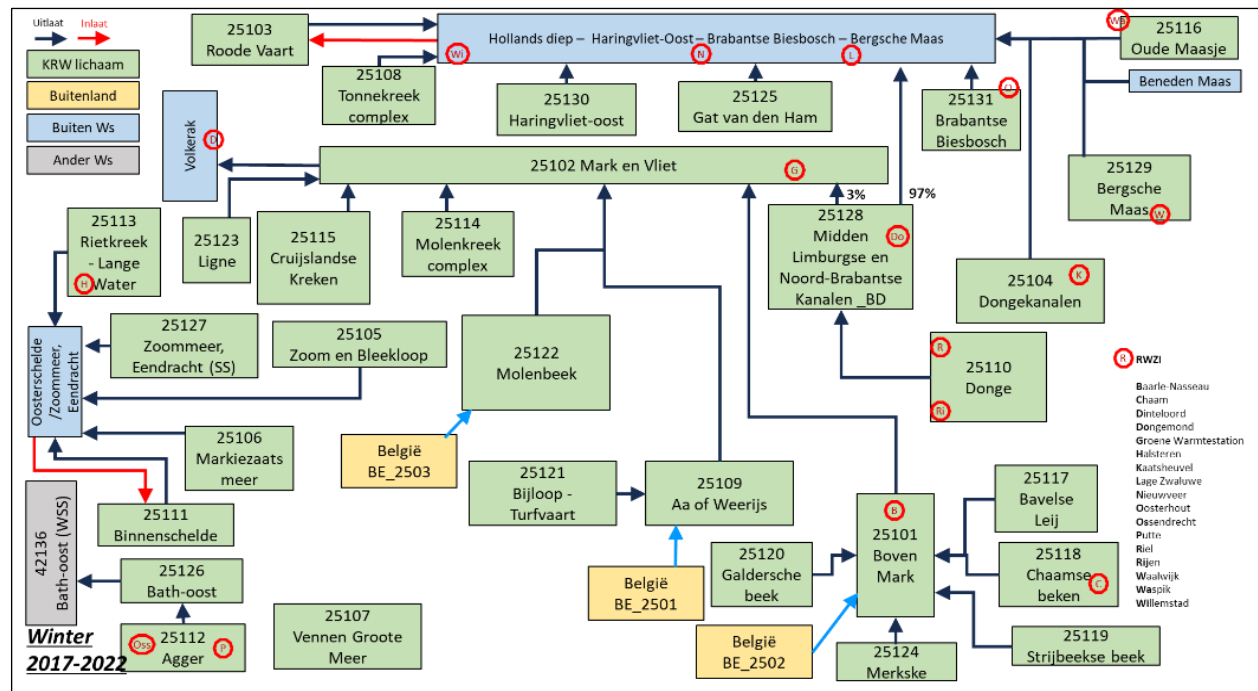
17305 Waterafvoer (waarde in m3/d)
 4067 Wateraanvoer (waarde in m3/d)
 In de figuren weergegeven waarden zijn jaargemiddelden (1 okt 2016 – 30 sep 2022)

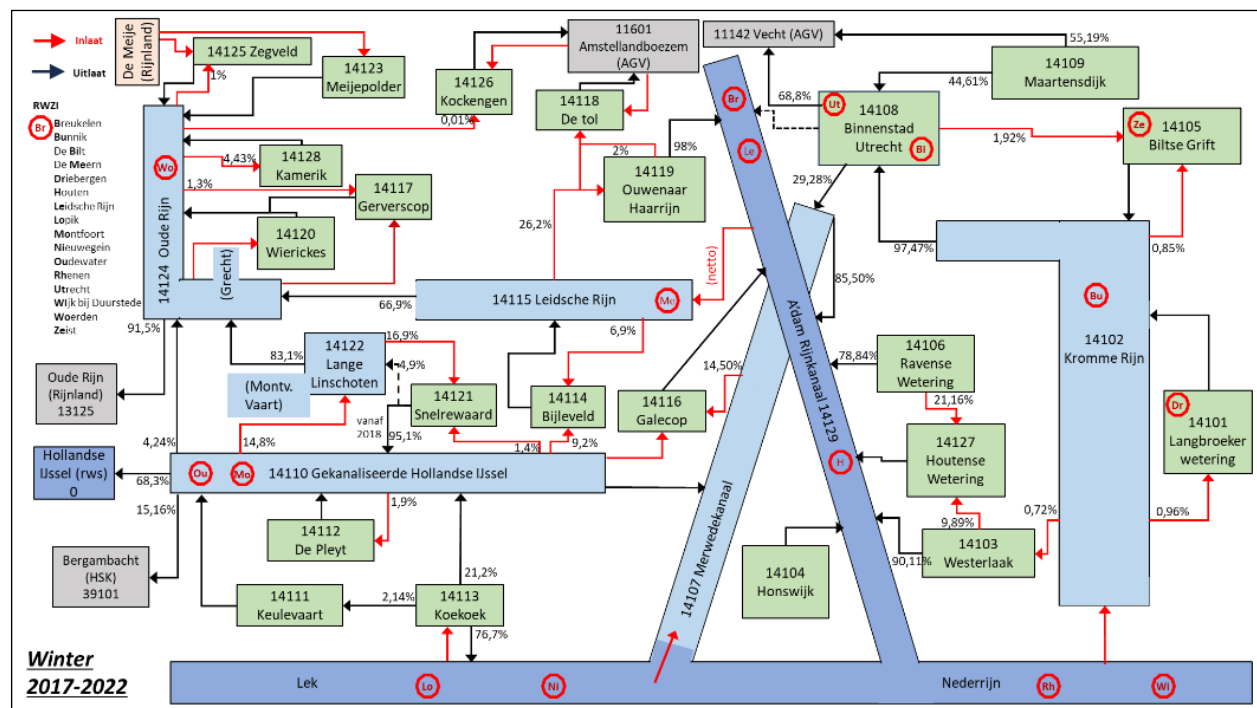
102 Nummer van cluster (1-18) of waterlichaam (101 – 141) waarvoor debieten zijn bijgeleverd in xls: zomerhalfjaar, winterhalfjaar en jaar.
 Omdat wij menen dat de jaargemiddelde waarden het meest relevant zijn (voorgaande winter bepaalt het navolgende zomerhalfjaar) zijn in de figuren de jaardebieten weergegeven

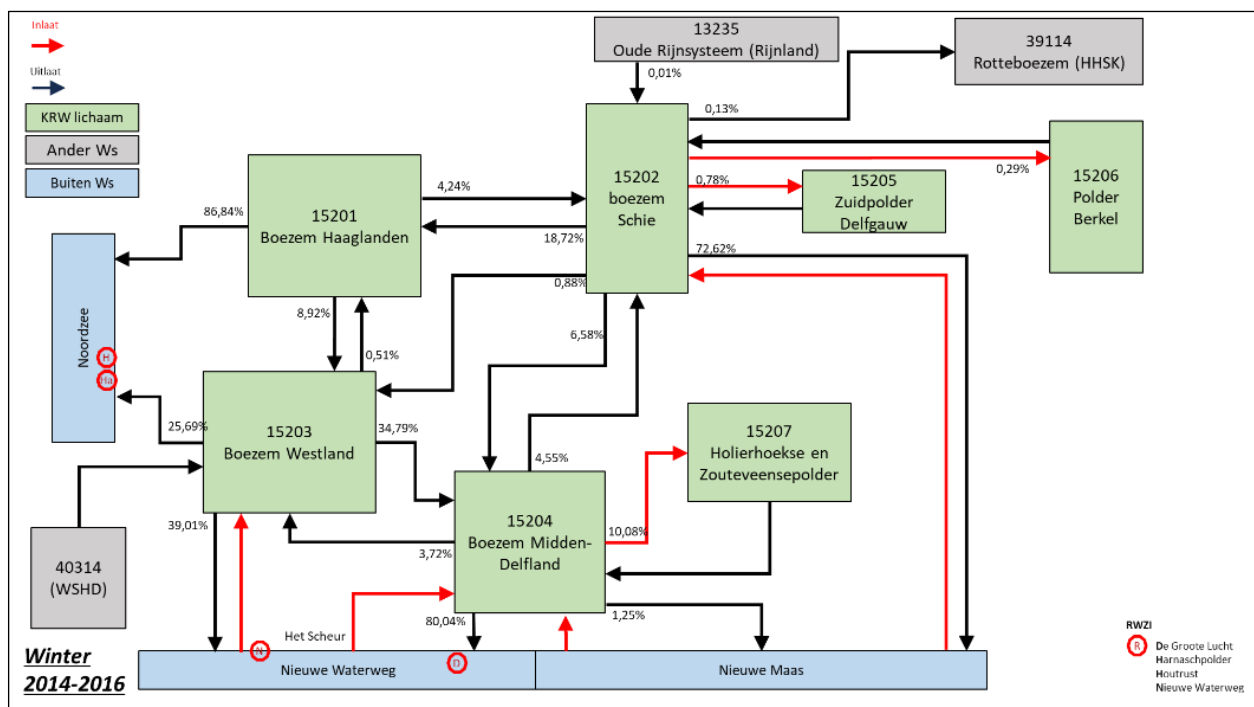
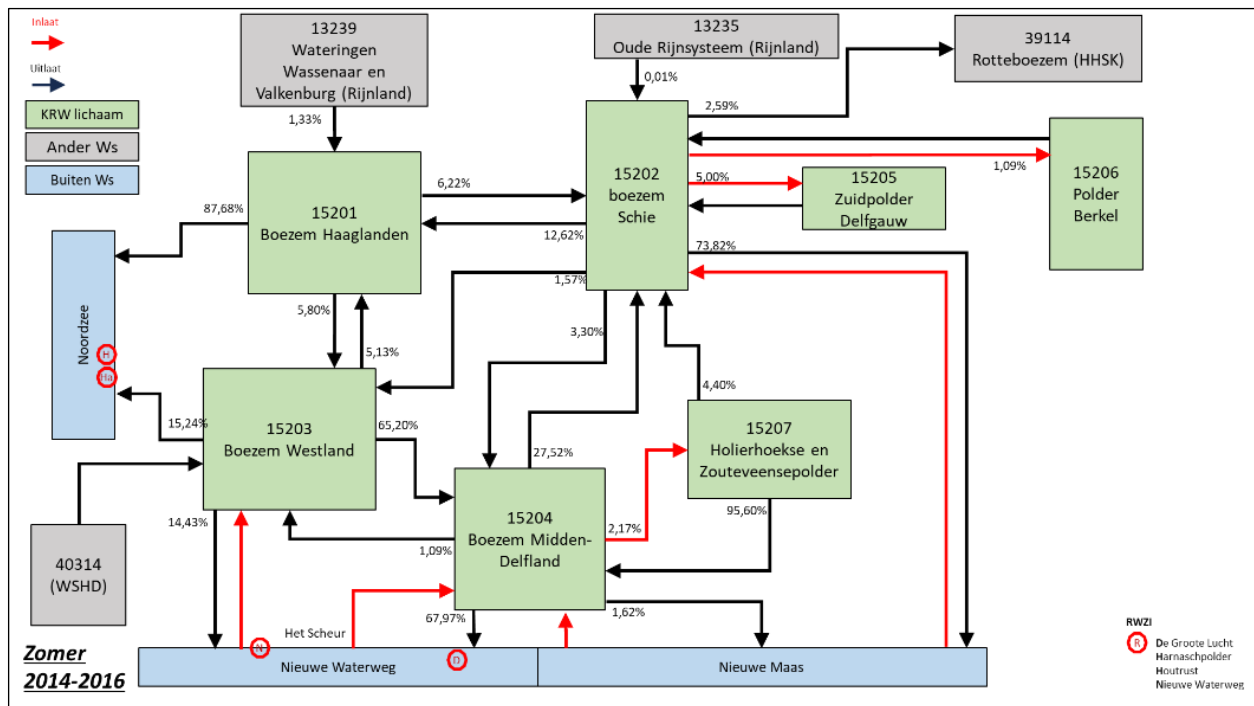
22820 Toevoer van water via de boezem (m3/d)
 (debieten ARK-Amstelland uit gecalibreerd boezemmodel; toevoerdebieten Vecht zijn gemeten)

Percentages bij de pijlen geven de afvoerverdeling weer **vanuit** het betreffende bakje. Alle uitgaande pijlen samen = 100%.
 In geval van 1 pijl staat er geen percentage bij (100% van het water gaat naar het volgende toestroomgebied)

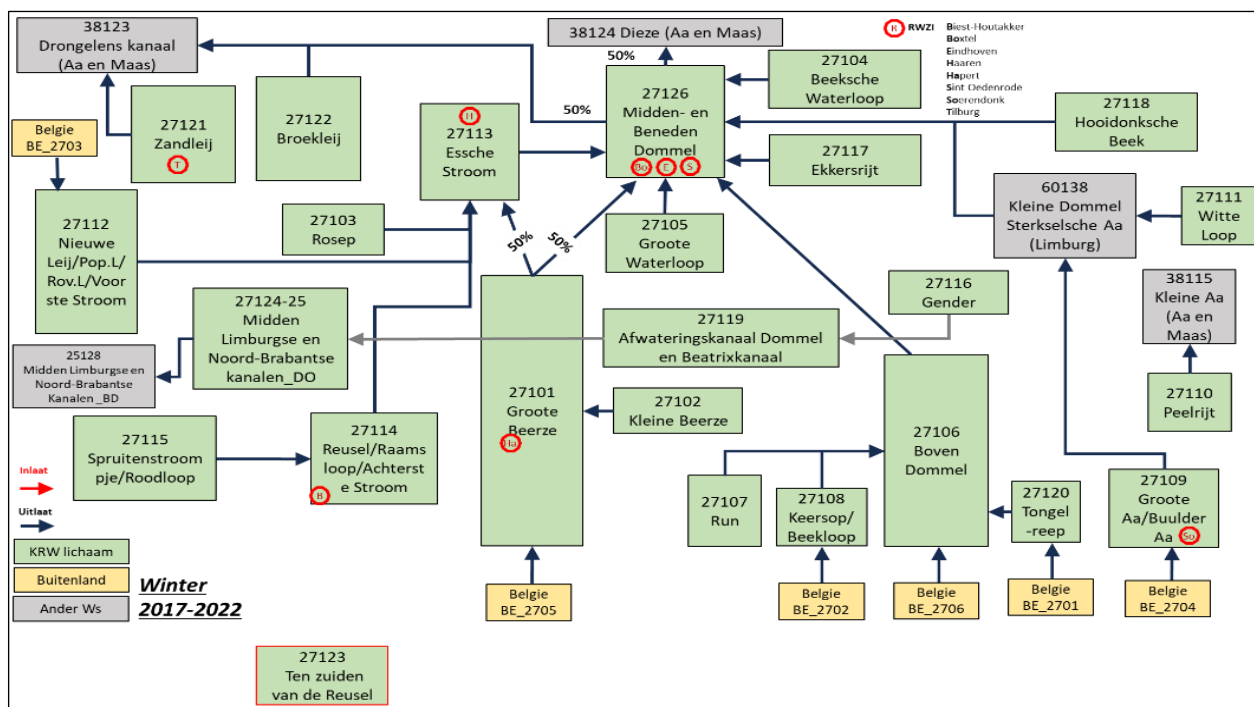
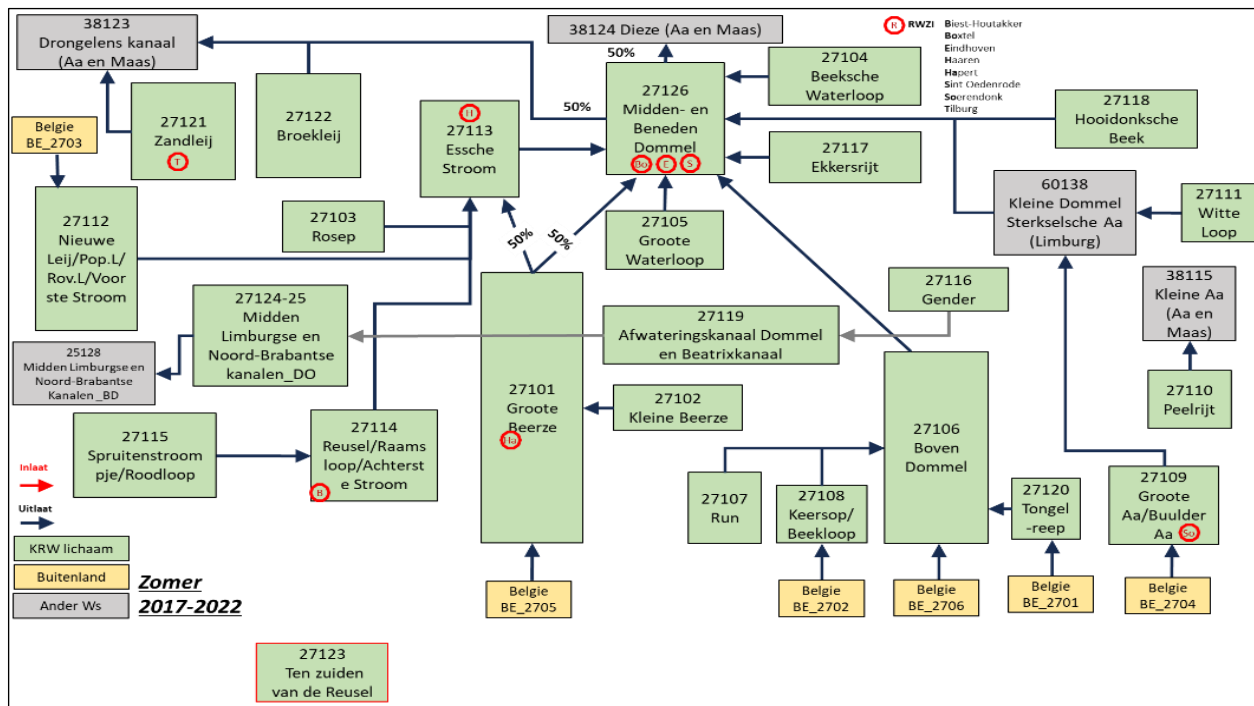




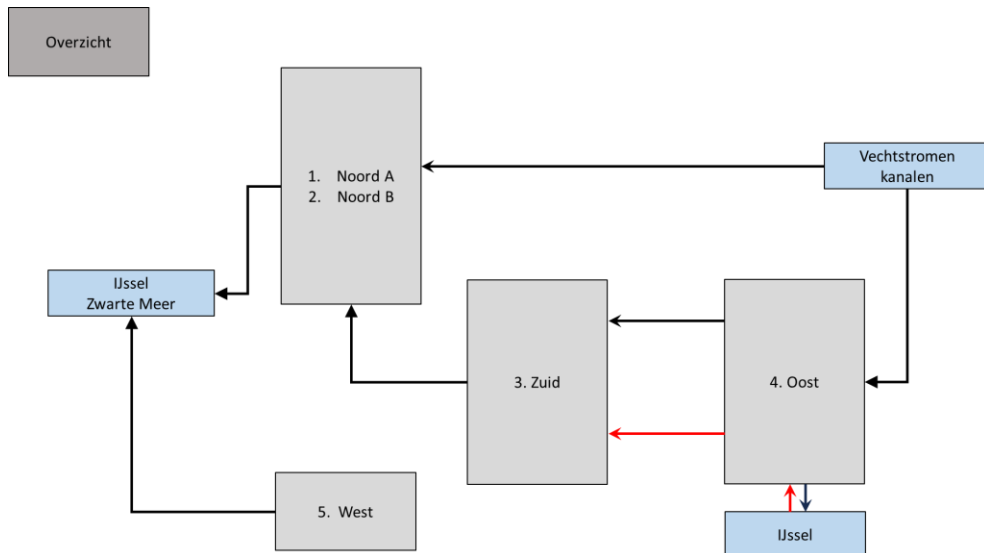




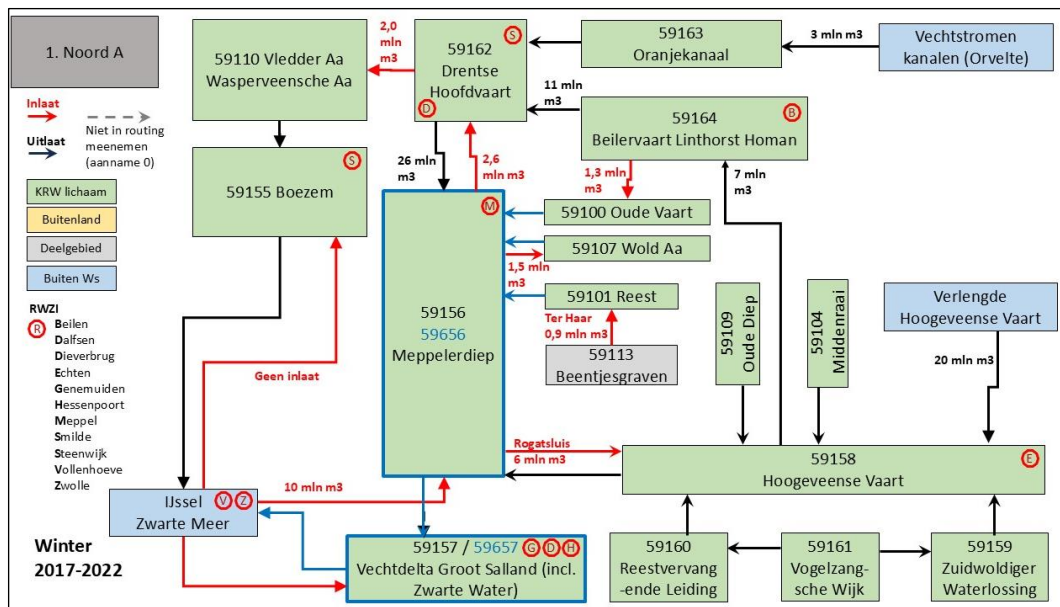
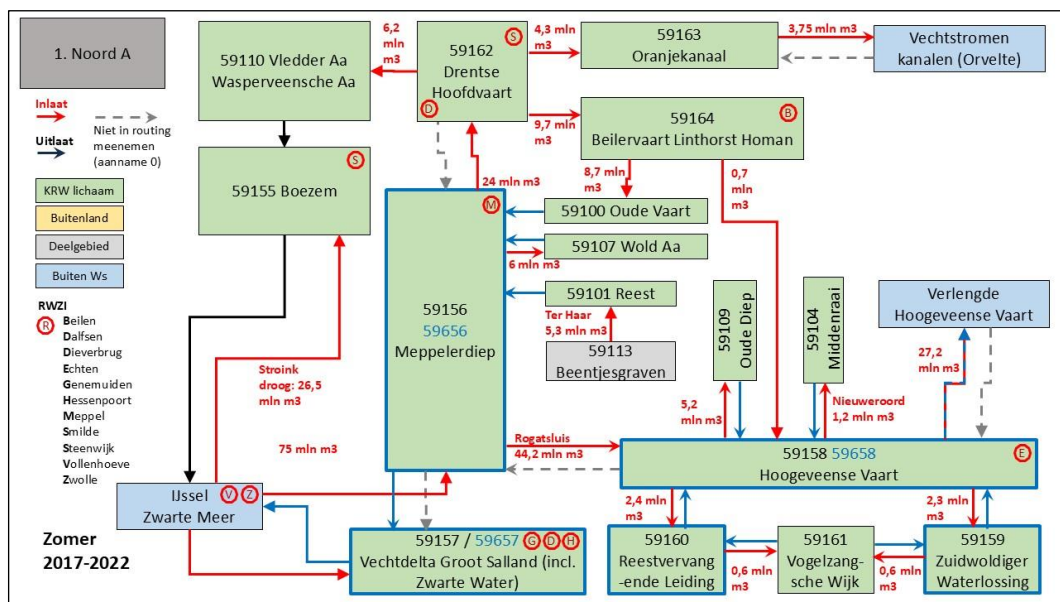
Waterschap De Dommel



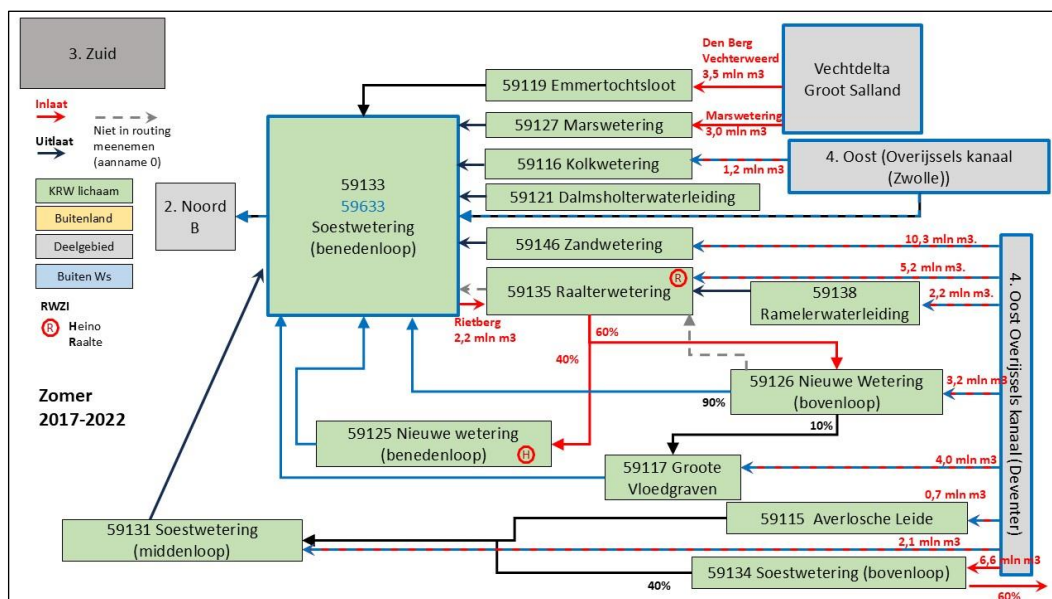
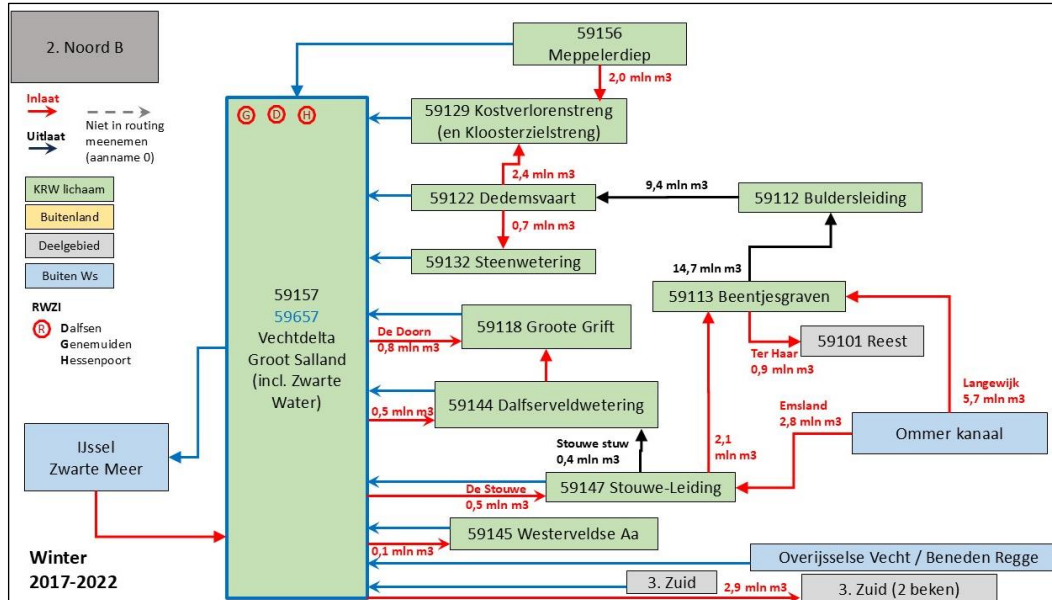
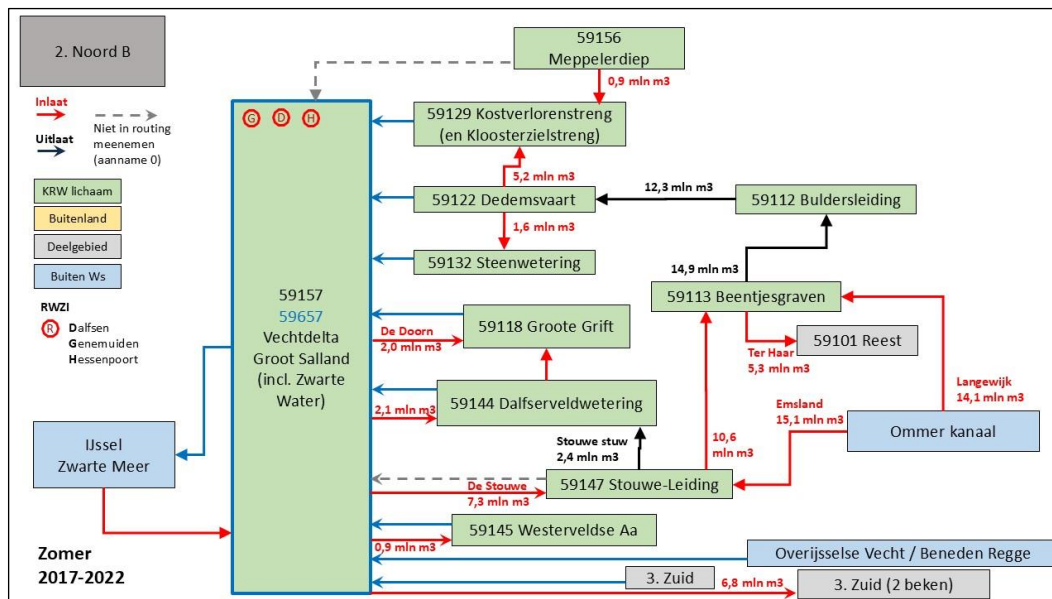
Waterschap Drents Overijsselse Delta, hoofdindeling



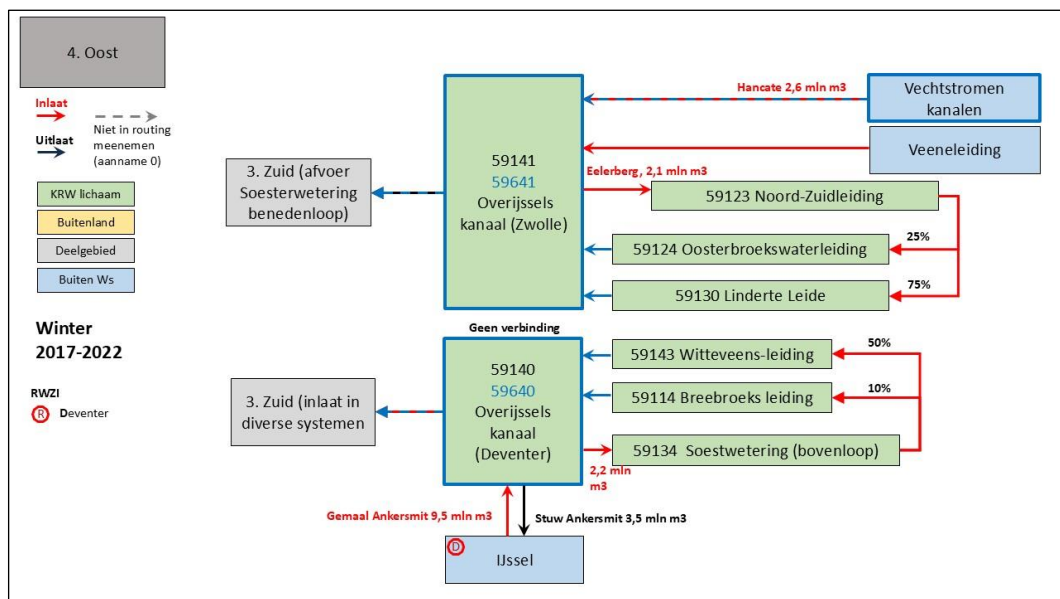
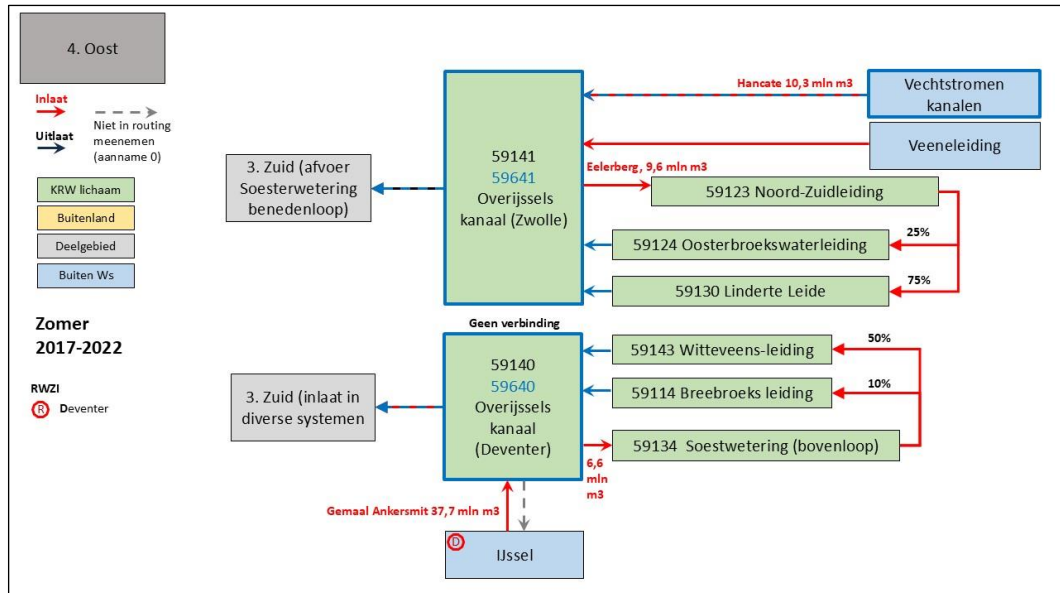
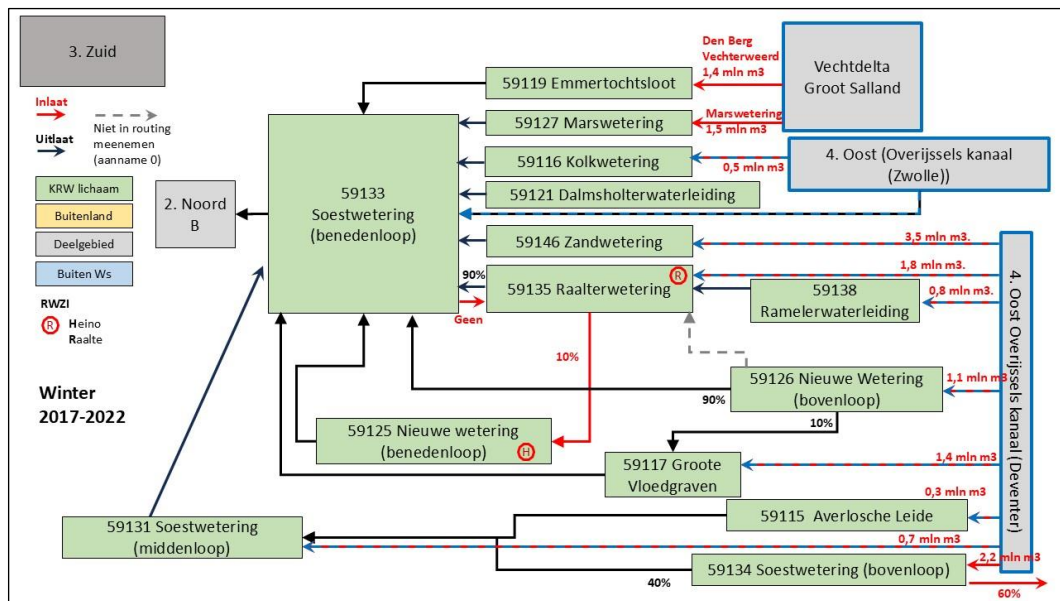
Toestroomgebieden Drents Overijsselse Delta



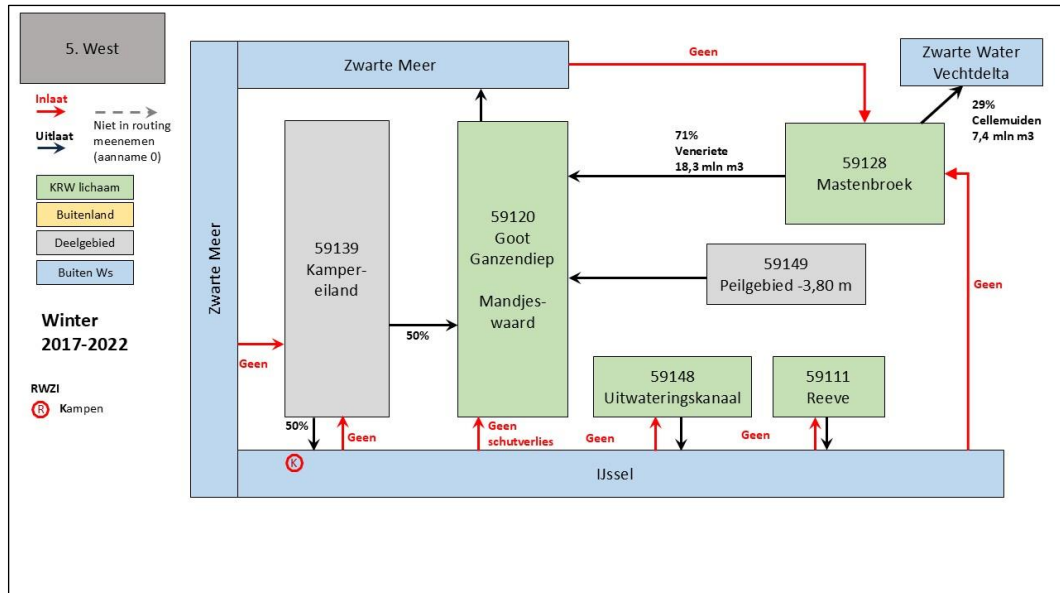
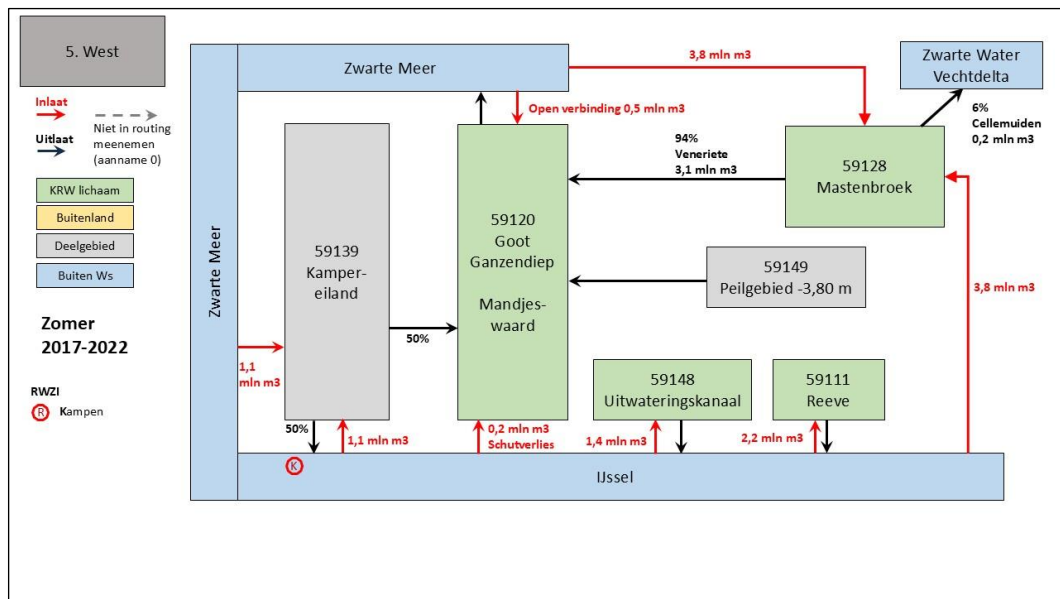
Toestroomgebieden Drents Overijsselse Delta (vervolg)

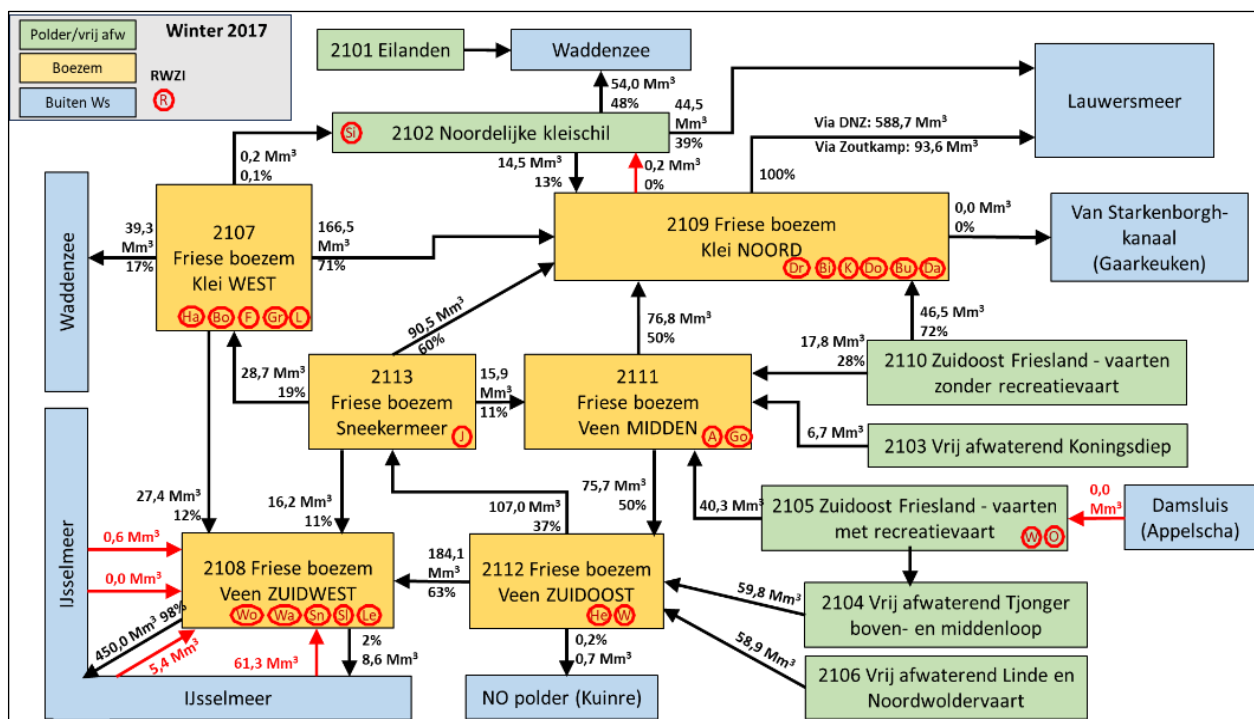
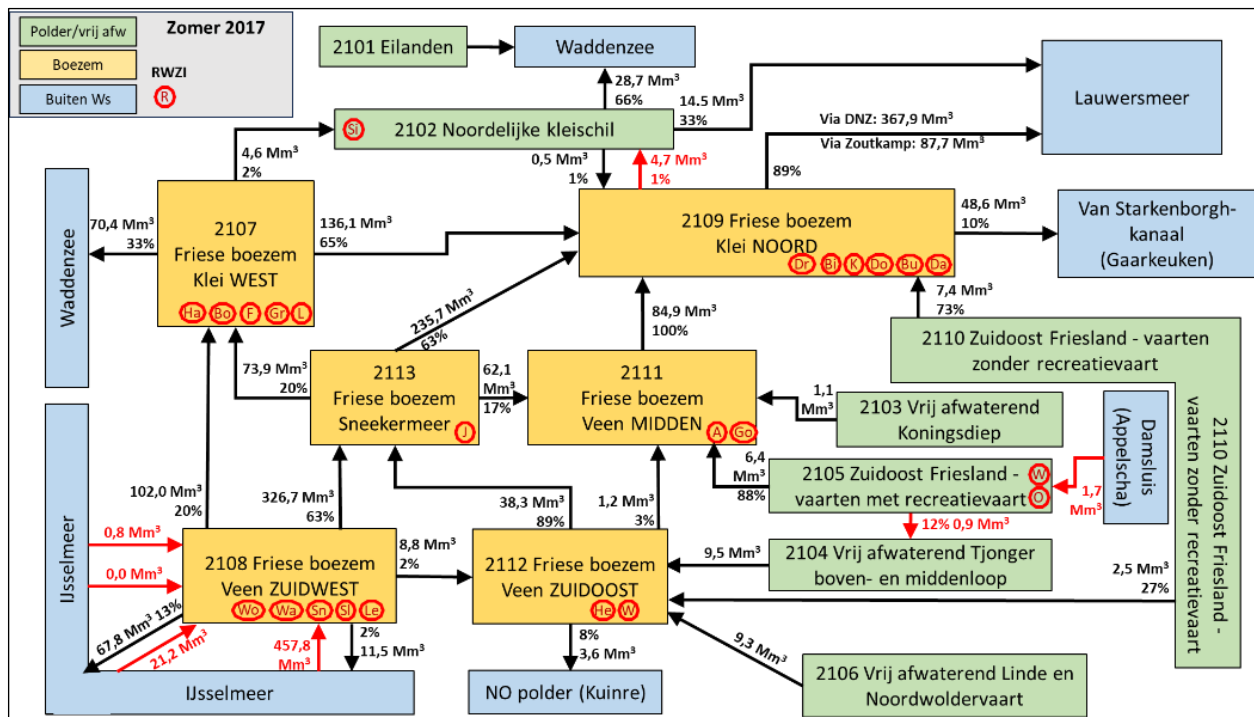


Toestroomgebieden Drents Overijsselse Delta (vervolg)



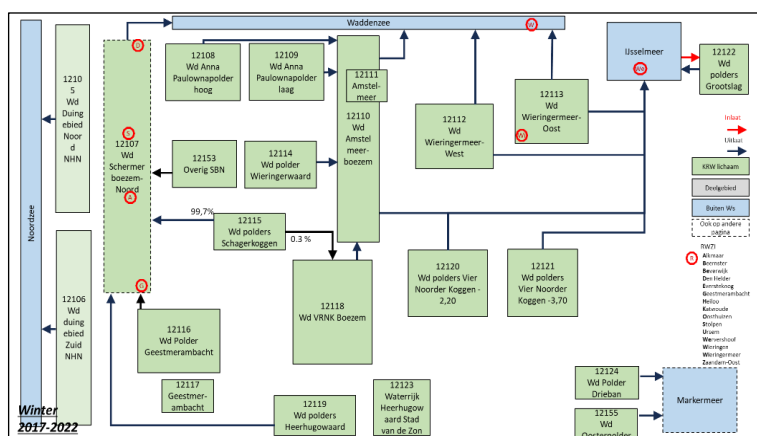
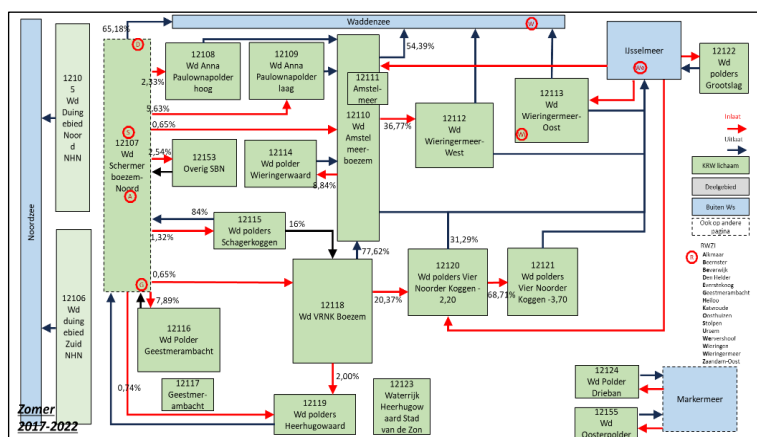
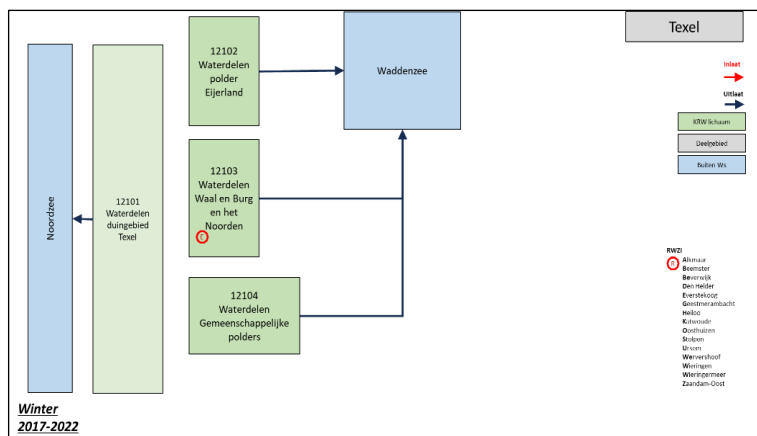
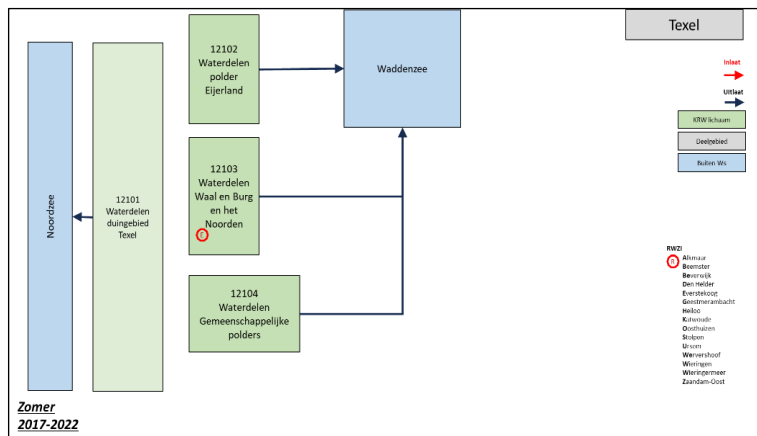
Toestroomgebieden Drents Overijsselse Delta (vervolg)



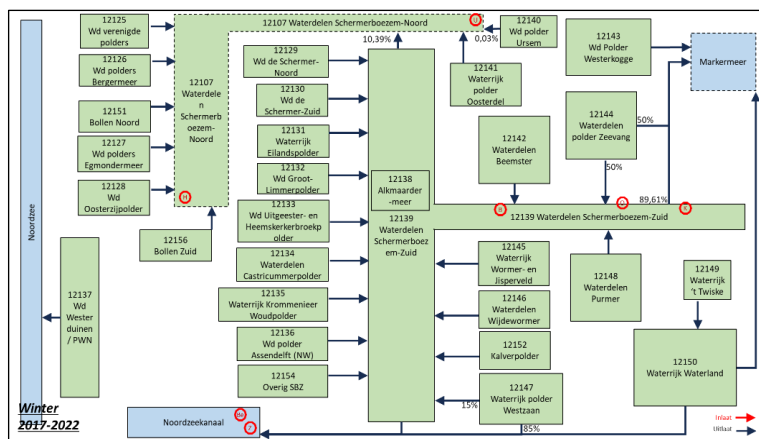
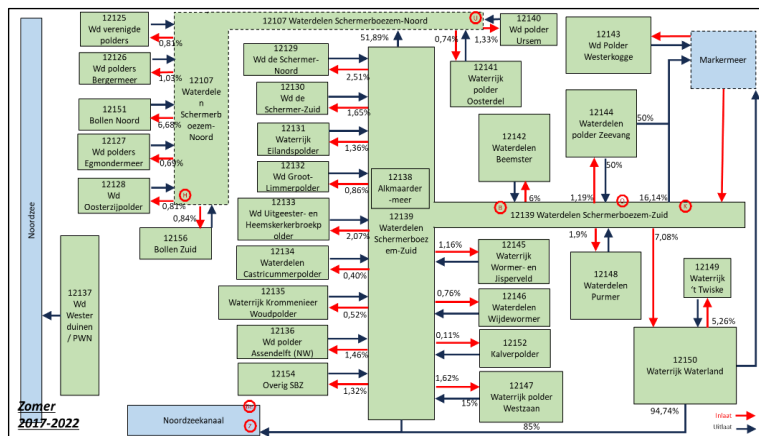


RWZI

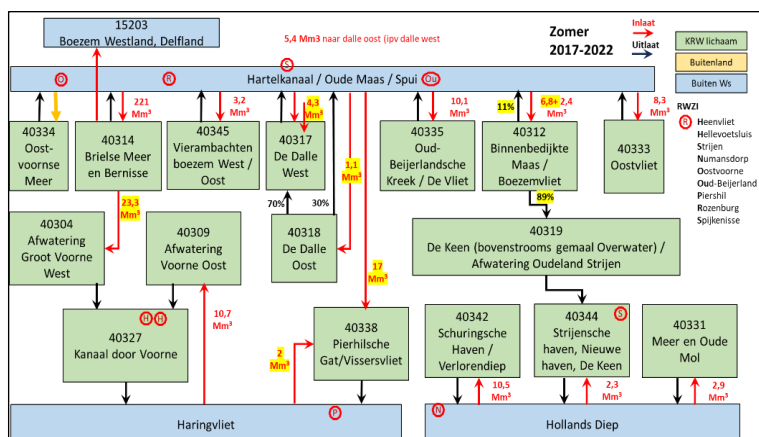
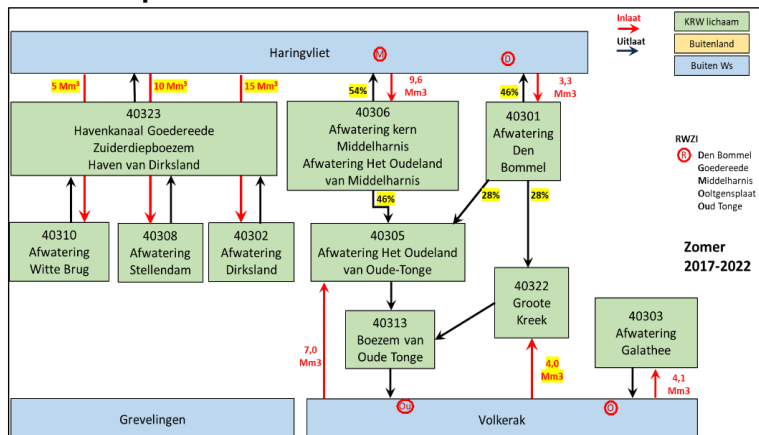
- | | |
|------------|-------------------|
| (R) Akkrum | Joure |
| Birdaard | Kootstertille |
| Bolsward | Leeuwarden |
| Burgum | Lemmer |
| Damwoude | Oosterwolde |
| Dokkum | Sint Annaparochie |
| Drachten | Sloten |
| Franeke | Sneek |
| Gorredijk | Warns |
| Grou | Wolvega |
| Harlingen | Workum |
| Heerenveen | |



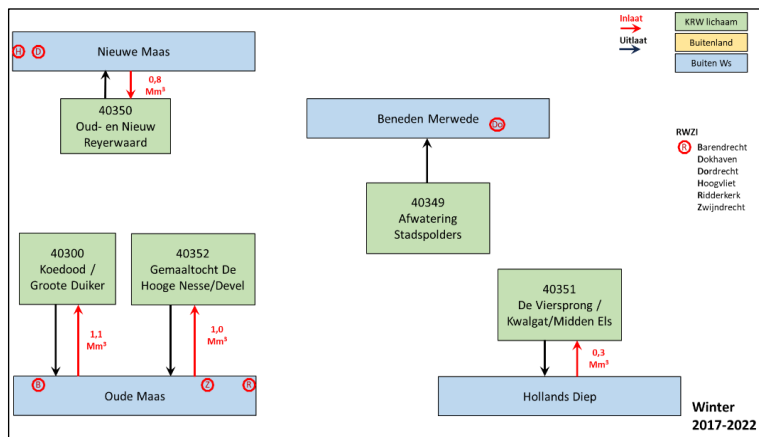
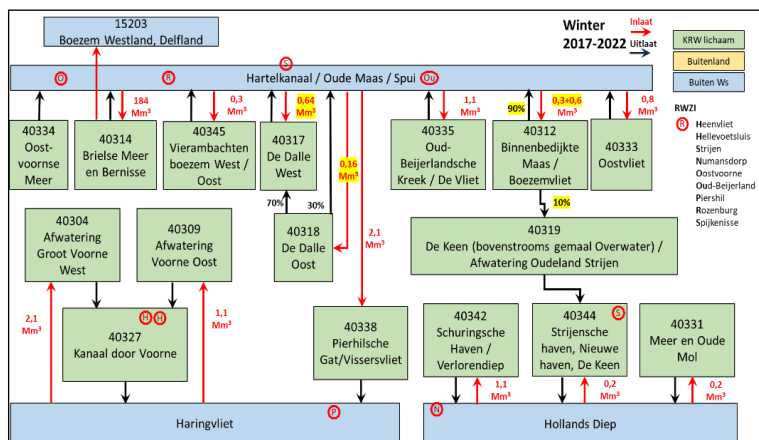
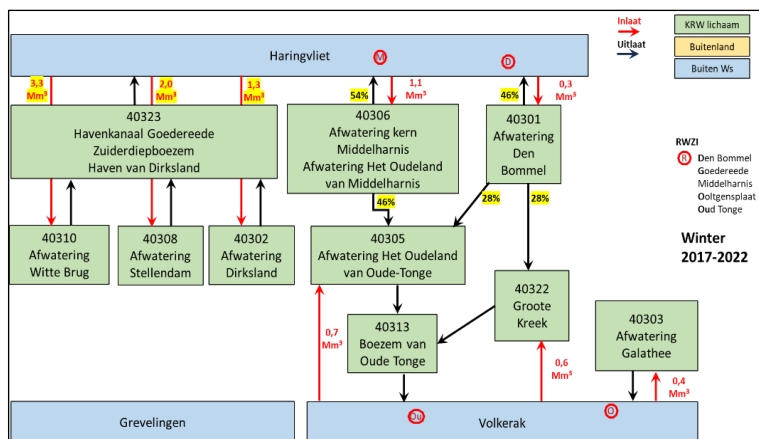
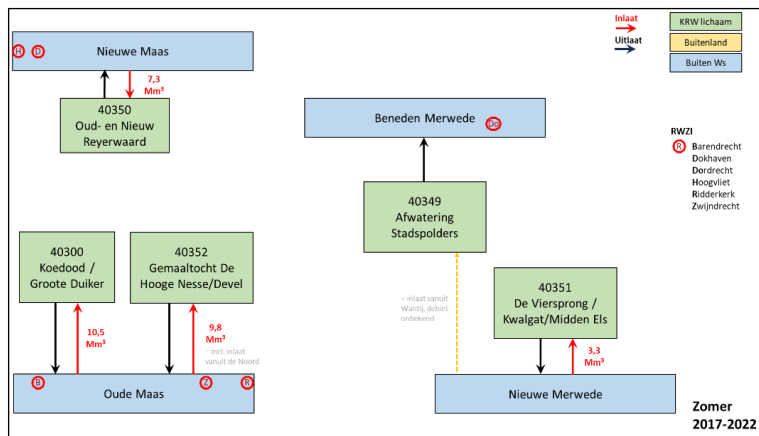
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (vervolg)



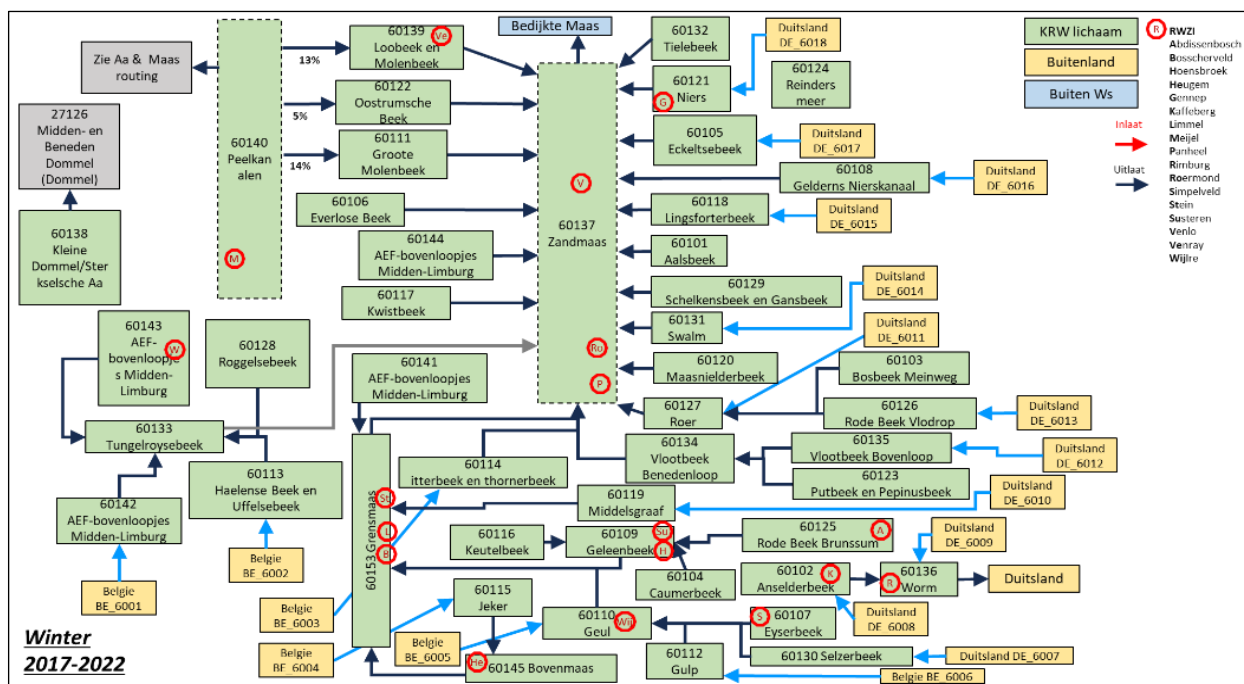
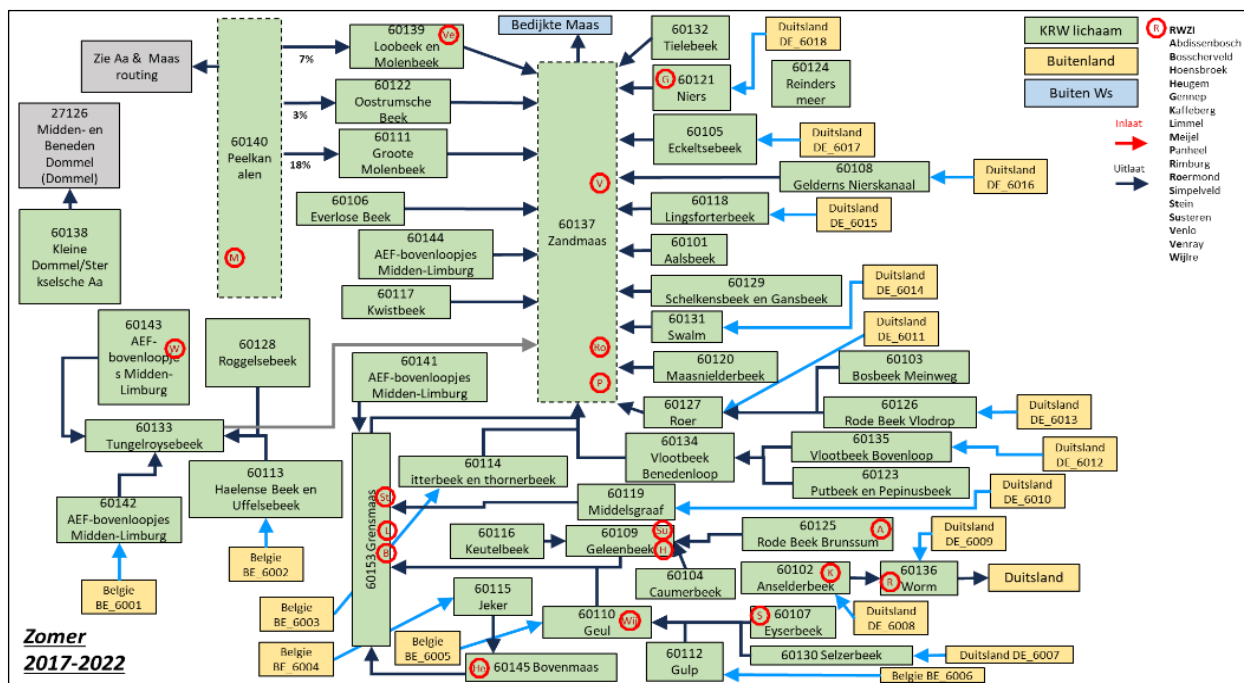
Waterschap Hollandse Delta



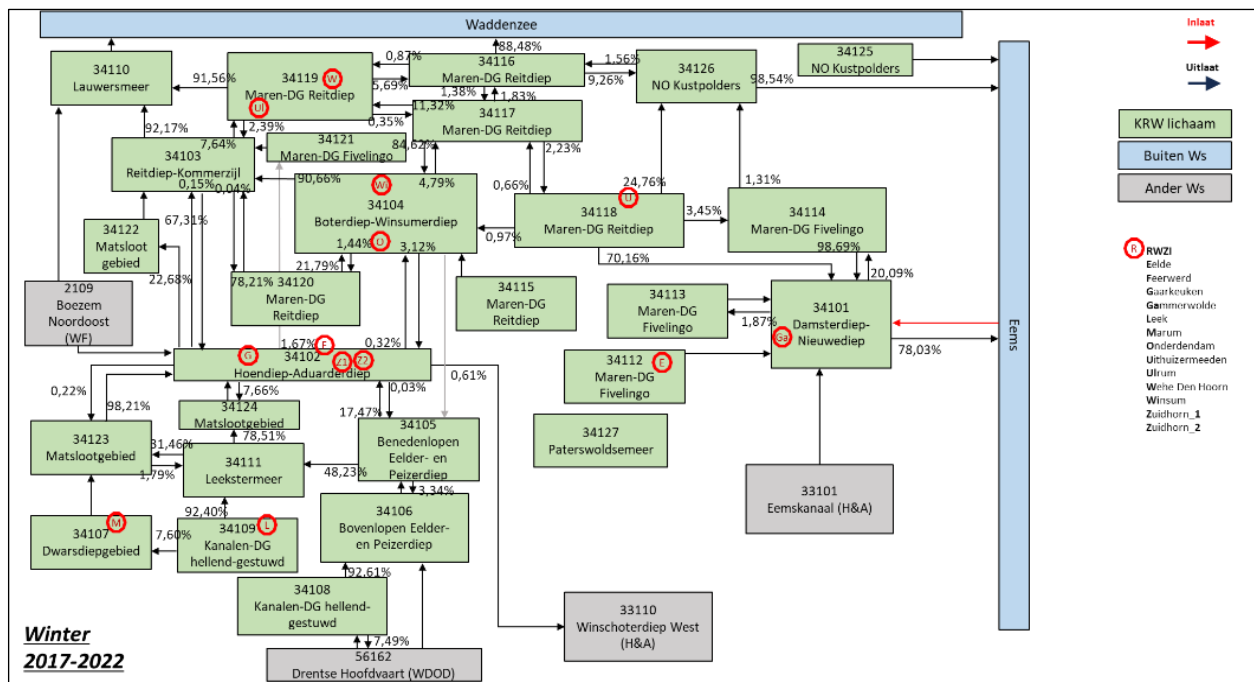
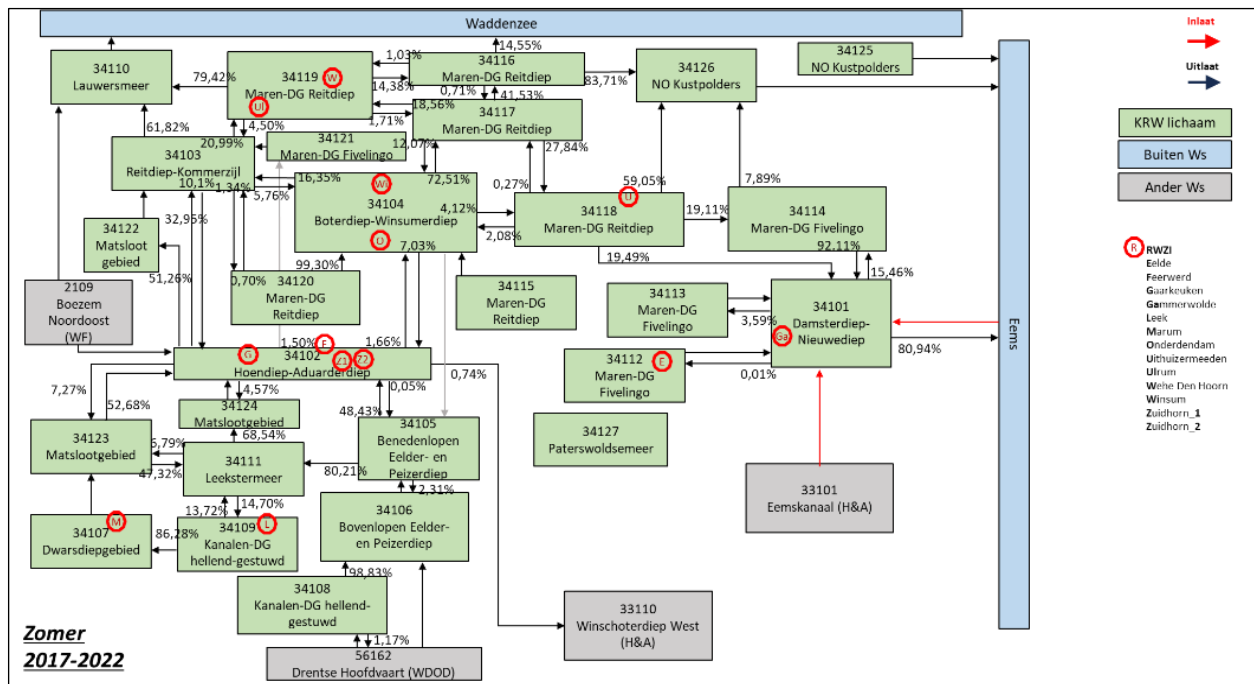
Waterschap Hollandse Delta (vervolg)



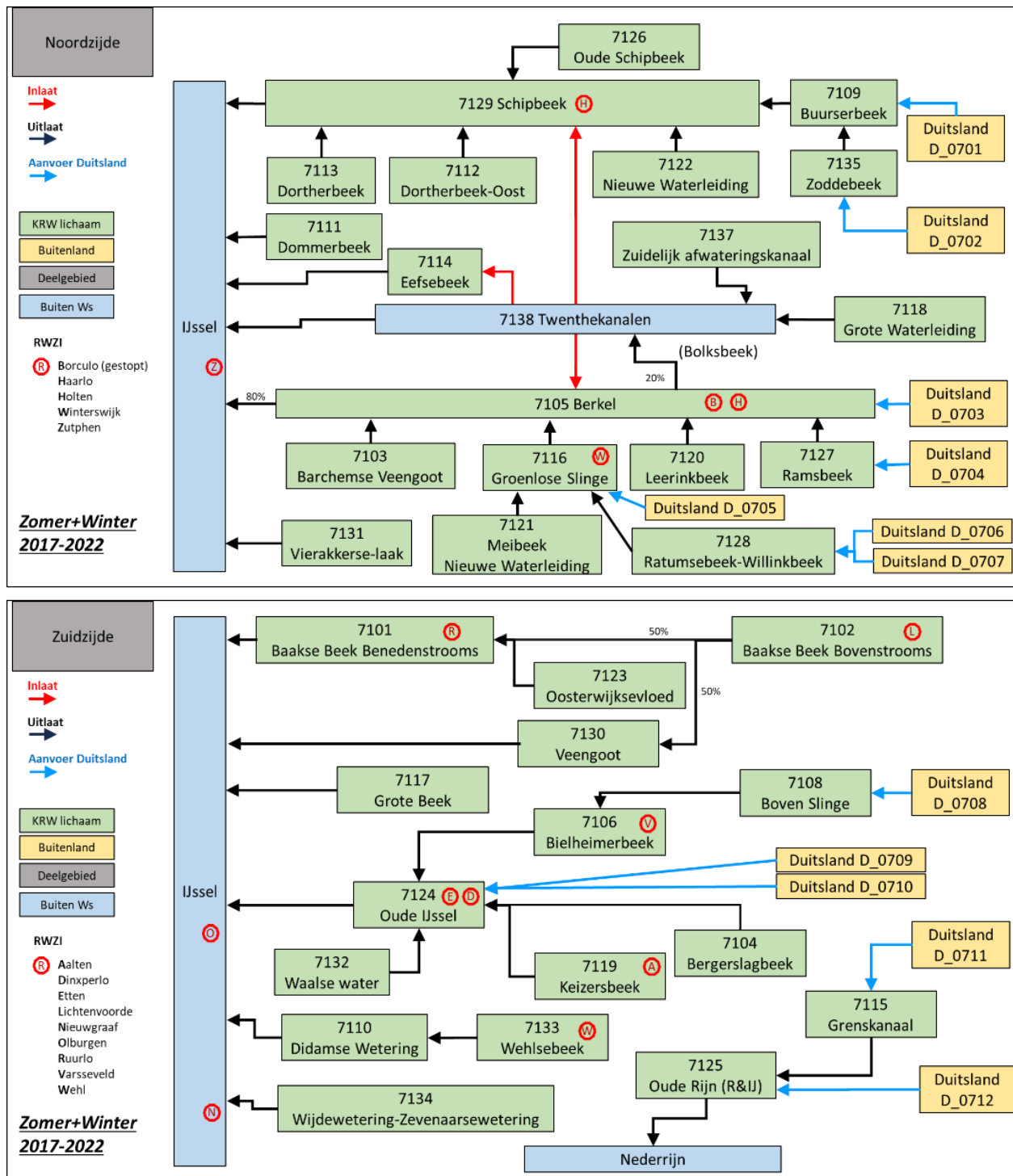
Waterschap Limburg

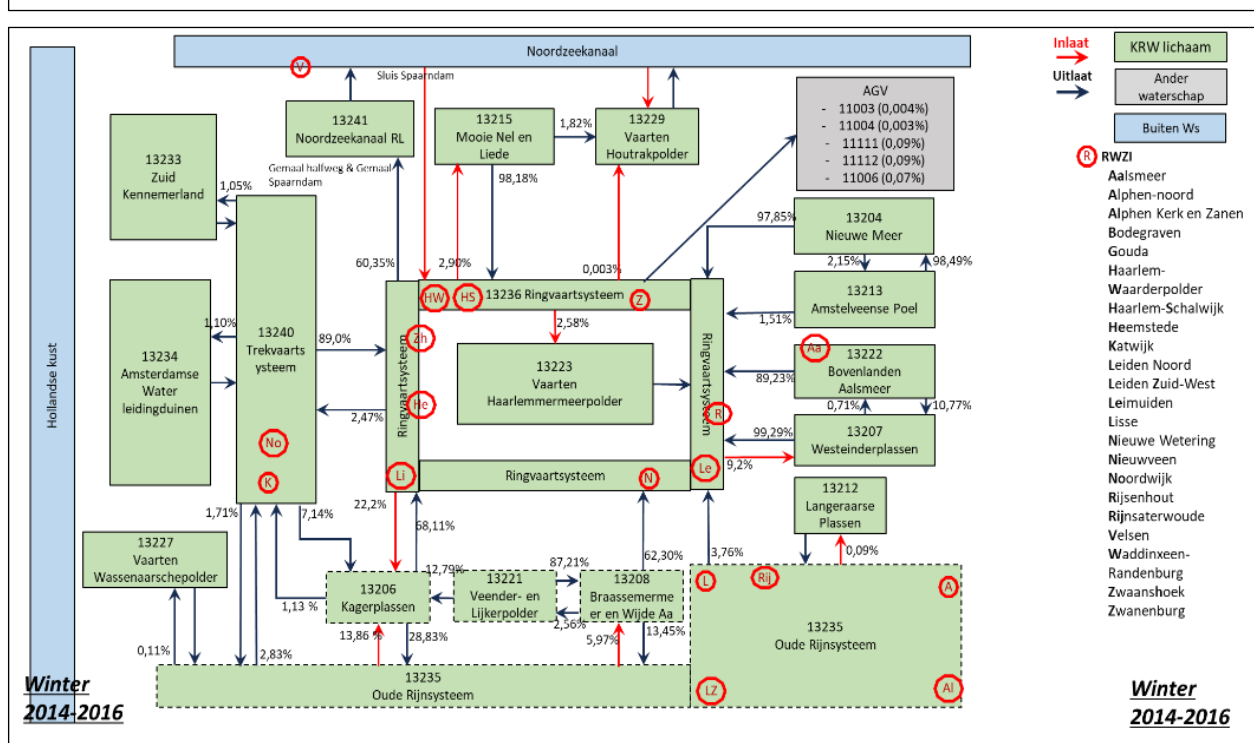


Waterschap Noorderzijlvest

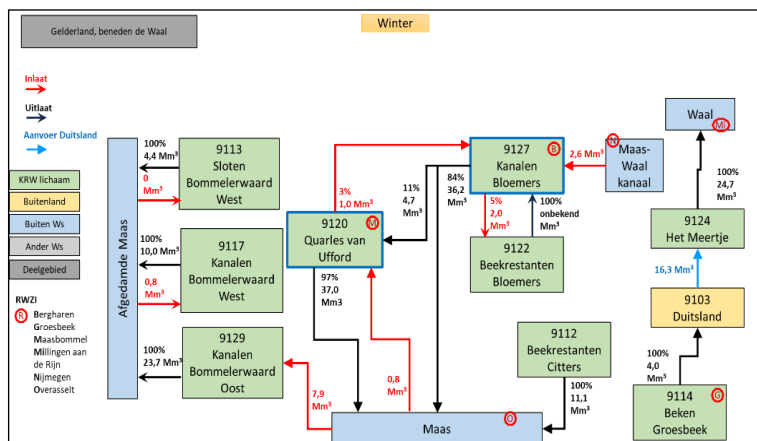
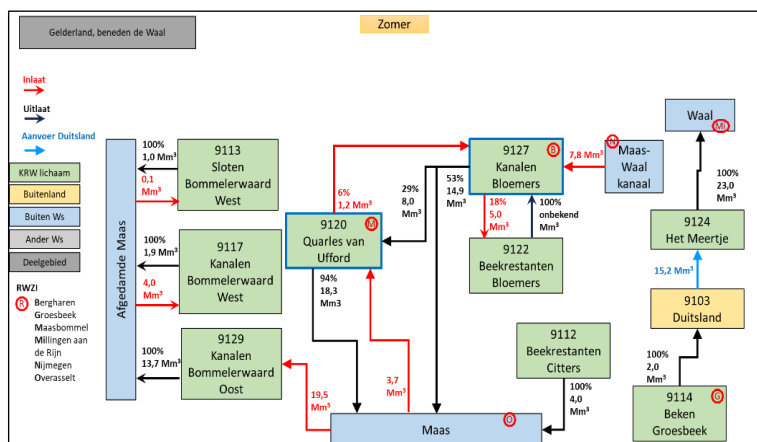
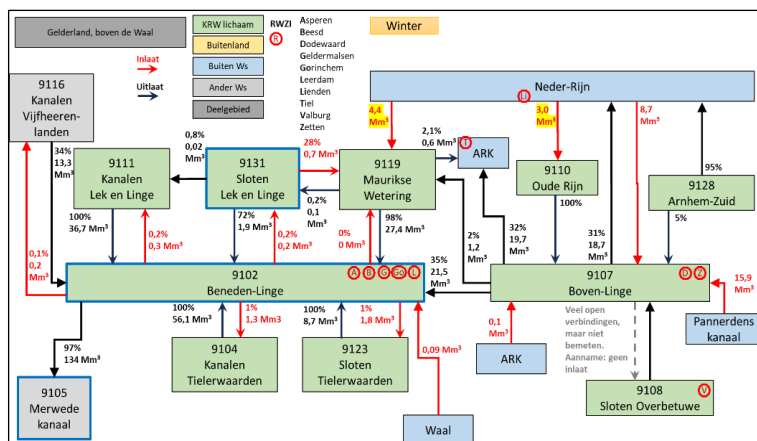
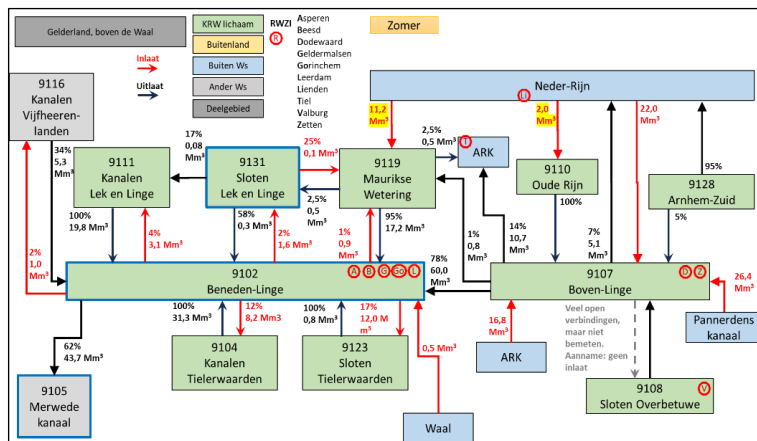


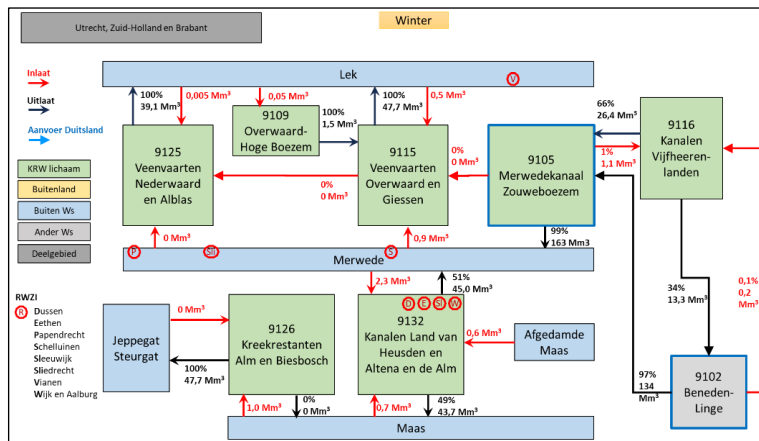
Waterschap Rijn en IJssel





Waterschap Rivierenland



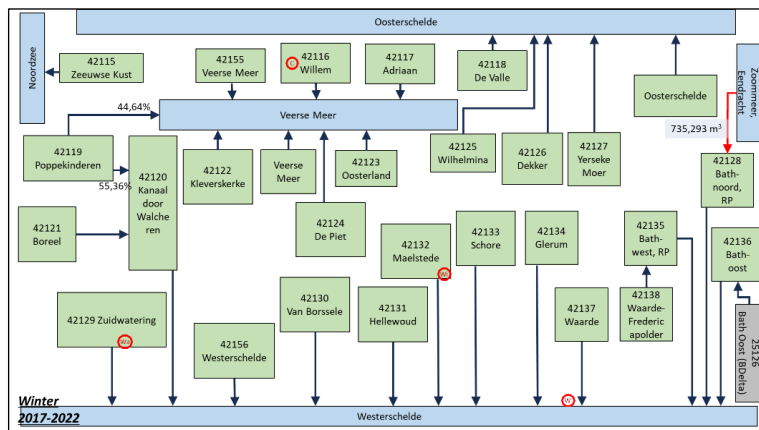
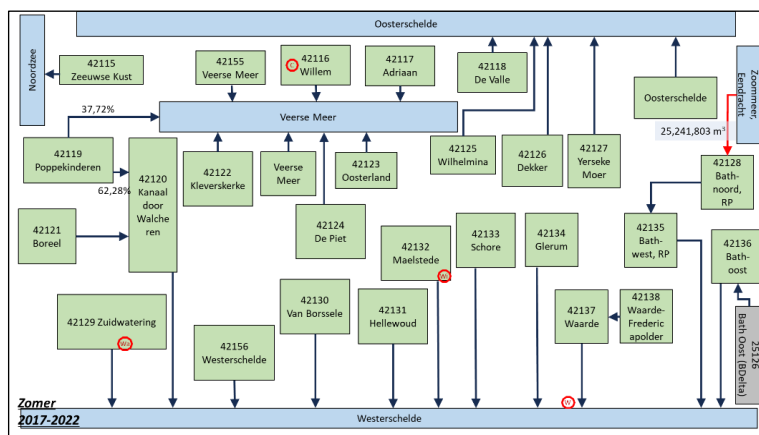
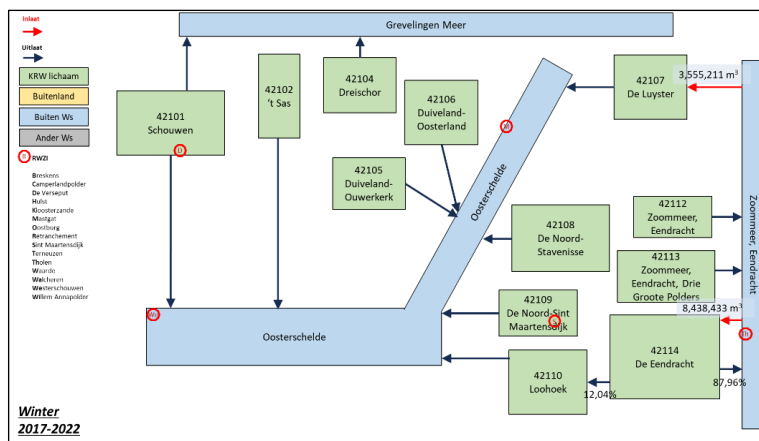
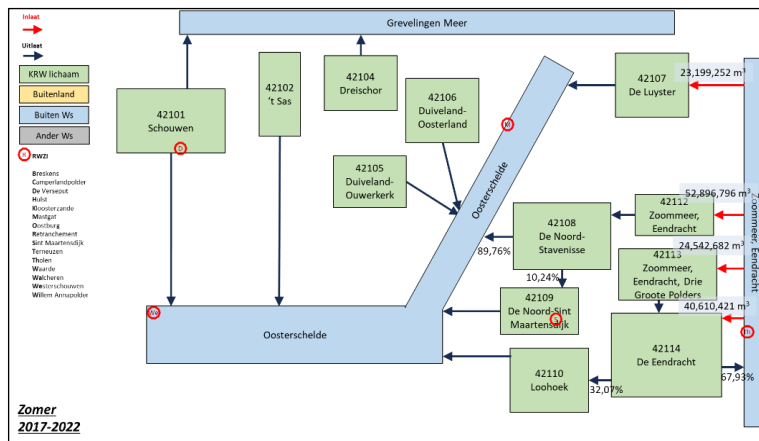


The diagrams illustrate the water distribution network in the Eem region, showing the flow of water between various water bodies and canals. The top diagram represents the Summer 2017-2022 period, and the bottom diagram represents the Winter 2017-2022 period. The diagrams show the flow of water from the Eem river and various canals (33101, 33102, 33103, 33104, 33105, 33106, 33107, 33108, 33109, 33110, 33111, 33112, 33113, 33114, 33115, 33116) to the Veenkolonien en Westerwolde (33109) and the Vechtstromen Kanalen (WSVS) (44147). The diagrams also show the flow of water from the Eem river to the Eemse Hoofdwijk (WOOD) (59162) and the Eemse Hoofdwijk (WOOD) (59162) to the Vechtstromen Kanalen (WSVS) (44147). The diagrams include a legend for 'Ander WS' (grey), 'KRW lichaam' (green), and 'Buiten WS' (blue). Red arrows indicate inflow and blue arrows indicate outflow.

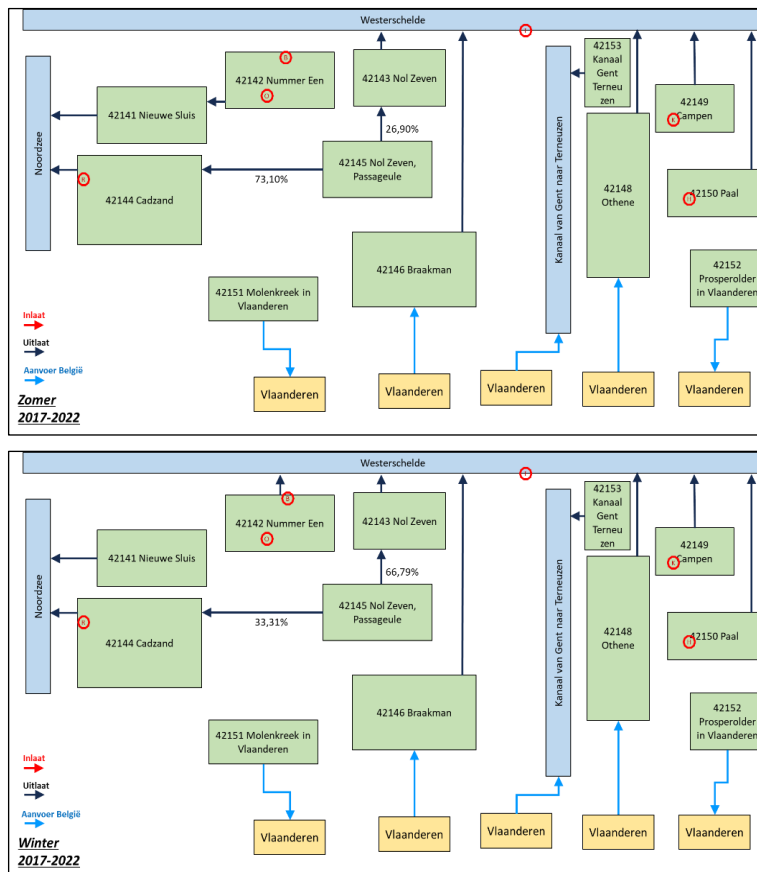
Summer 2017-2022

Winter 2017-2022

Waterschap Scheldestromen



Waterschap Scheldestromen (vervolg)



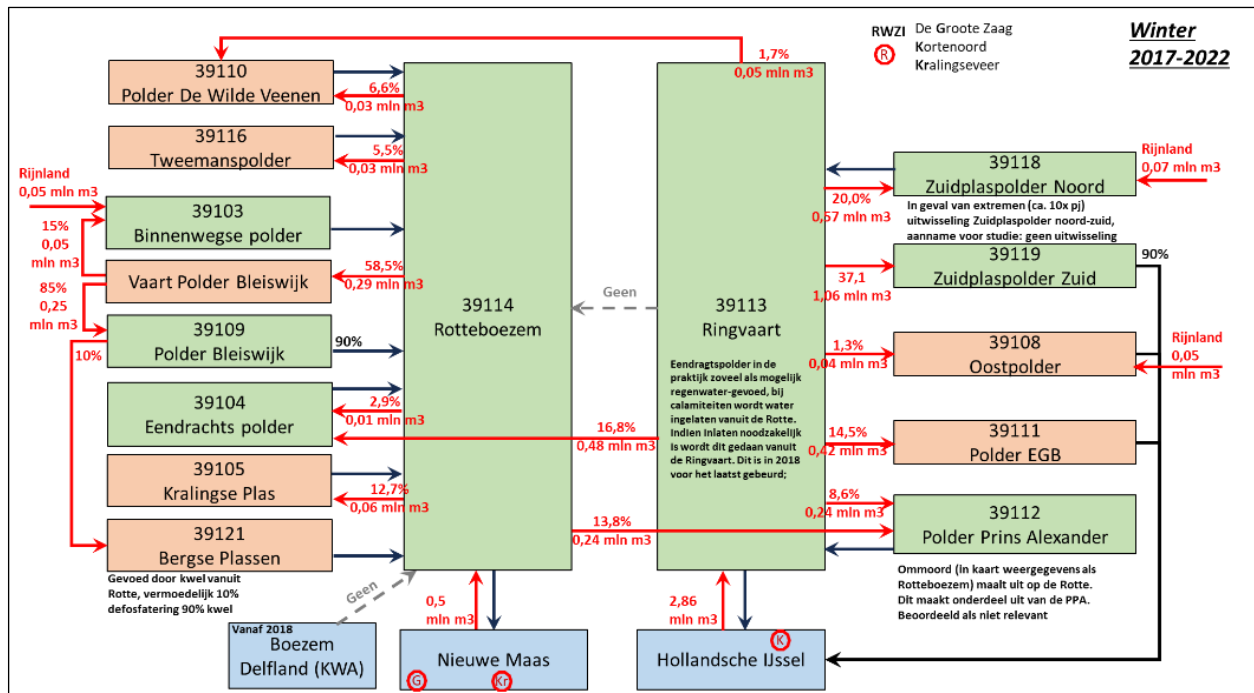
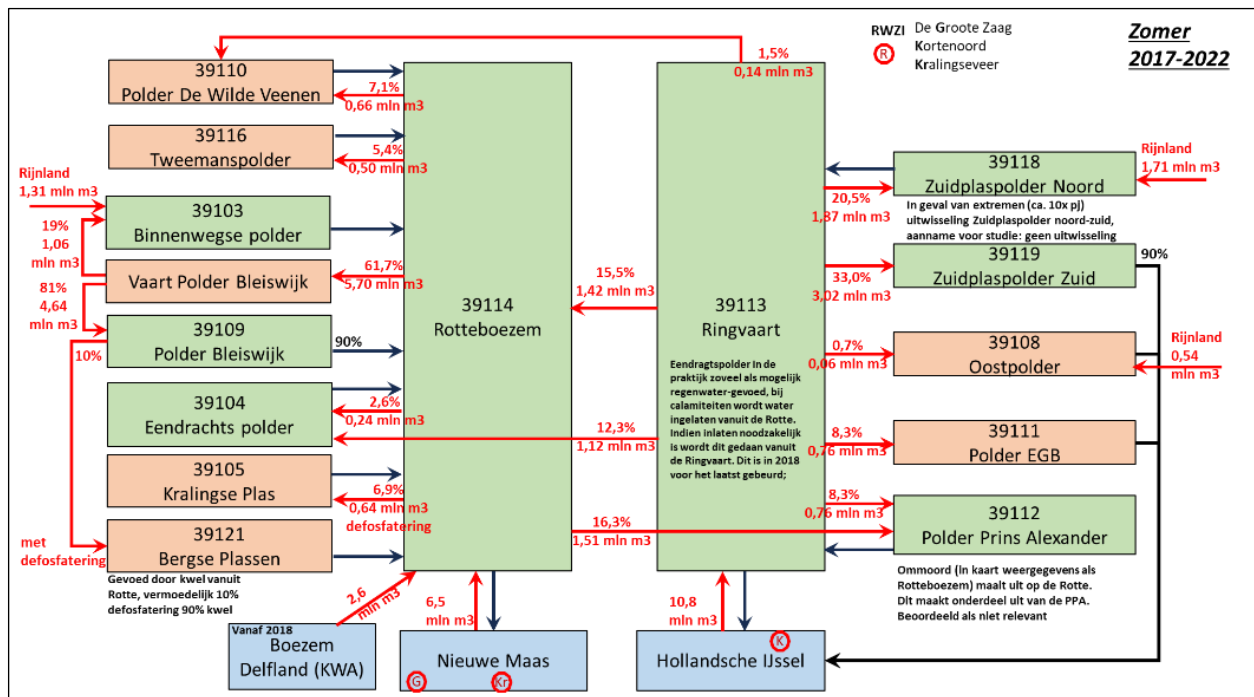
Voor Walcheren geldt dat sprake is van een bijzondere hydrologische situatie, specifiek wat betreft de toestroomgebieden Poppekinderen, Boreel en Zuidwatering. Alle afvoergebieden staan hier d.m.v. 'koppelstuwen' met elkaar in verbinding met als doel om energie te besparen. Bij laag water in de Westerschelde wordt in zowel zomer als winter onder vrij verval het water uit bijna geheel Walcheren bij voorkeur naar het zuiden afgevoerd via de uitwateringssluys Zuidwatering (deze bevindt zich direct naast gemaal Zuidwatering). Bij extreme neerslag wordt het water verdeeld over de gemalen Zuidwatering, Boreel, Poppekinderen en Oostwatering.

In het routingschema wordt het water van toestroomgebied Poppekinderen afgevoerd naar het Veerse Meer (gemaal Oostwatering) en het Kanaal door Walcheren (gemaal Poppekinderen). In werkelijkheid wordt dus ook water naar de Westerschelde afgevoerd (uitwateringssluys Zuidwatering), via de toestroomgebieden Boreel en Zuidwatering.

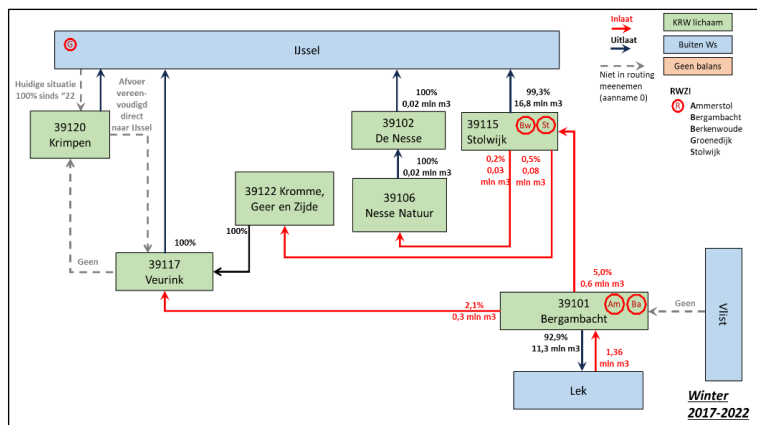
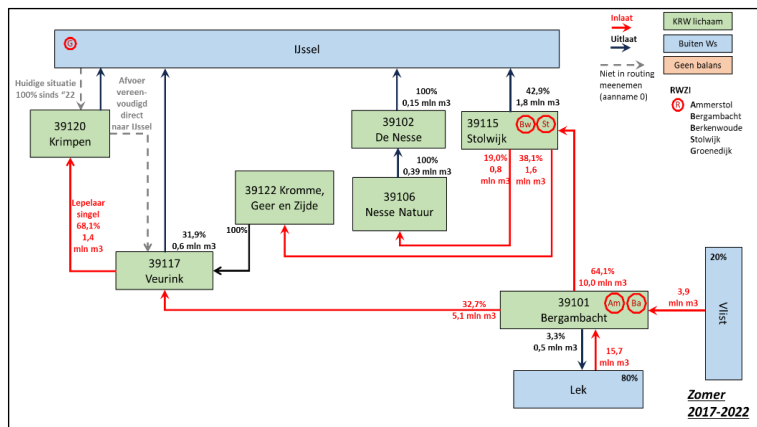
Hetzelfde geldt voor toestroomgebied Boreel, dat niet alleen afvoert naar het Kanaal door Walcheren (gemaal Boreel), maar ook naar de Westerschelde (uitwateringssluys Zuidwatering), via toestroomgebied Zuidwatering.

Omdat dit een complexe situatie is en van de koppelstuwen en de sluis bij Zuidwatering geen debietmetingen beschikbaar zijn, is ervoor gekozen om hiermee geen rekening te houden in het routingschema. Hierdoor kunnen de bijdragen van de bronnen voor de genoemde drie toestroomgebieden in werkelijkheid iets anders zijn dan berekend.

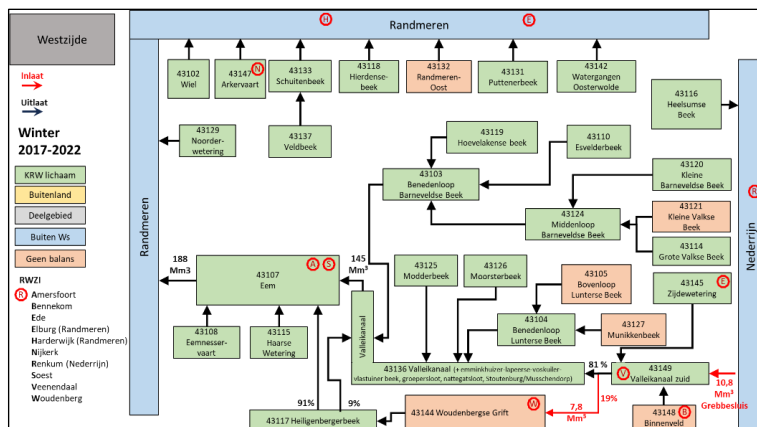
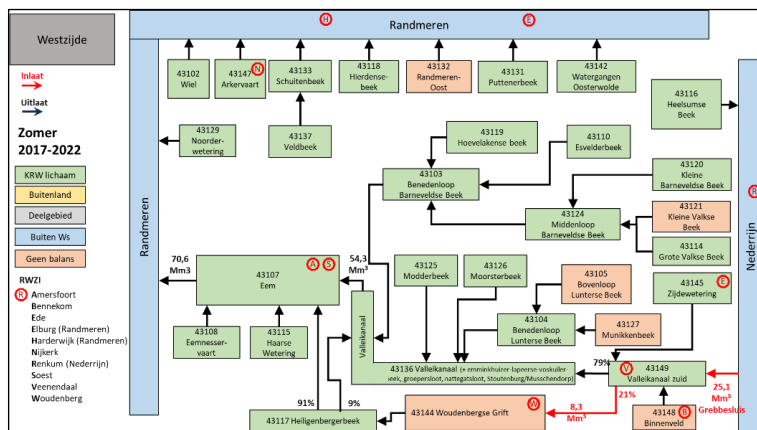
Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard (deel Schieland)

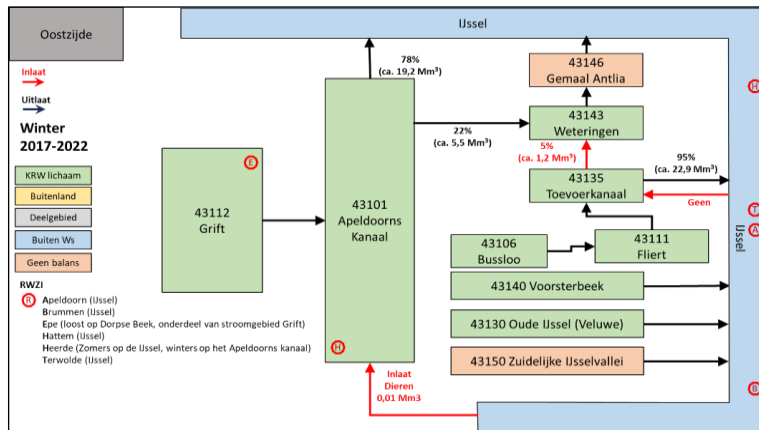
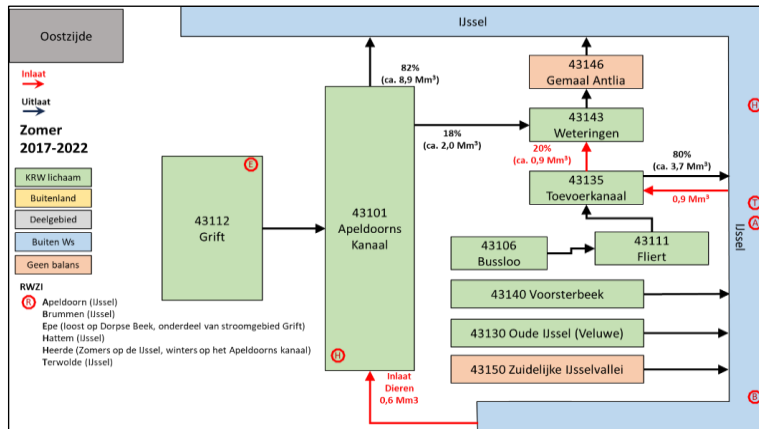


Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard (deel Krimpenerwaard)

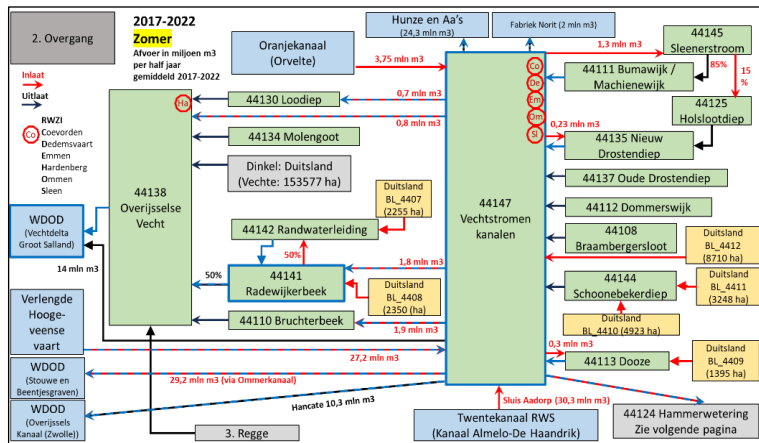
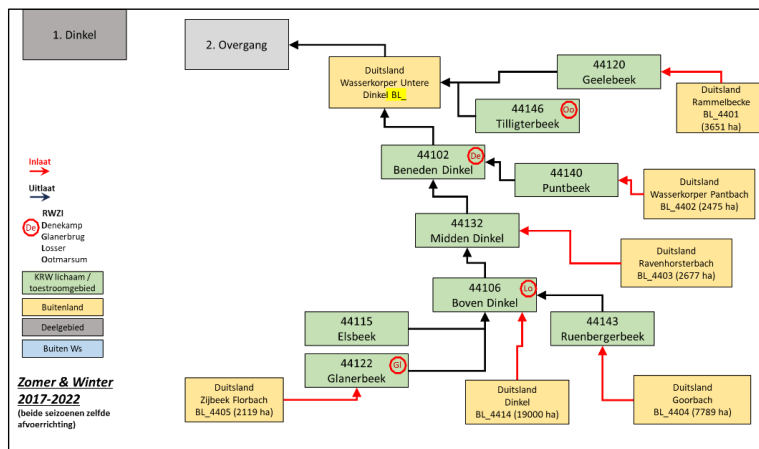


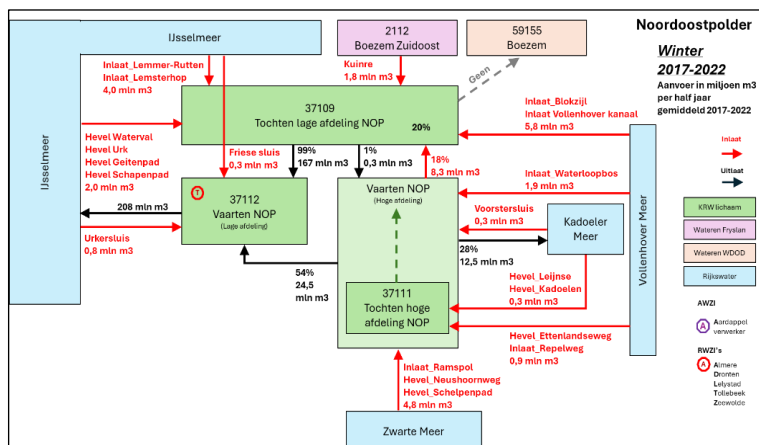
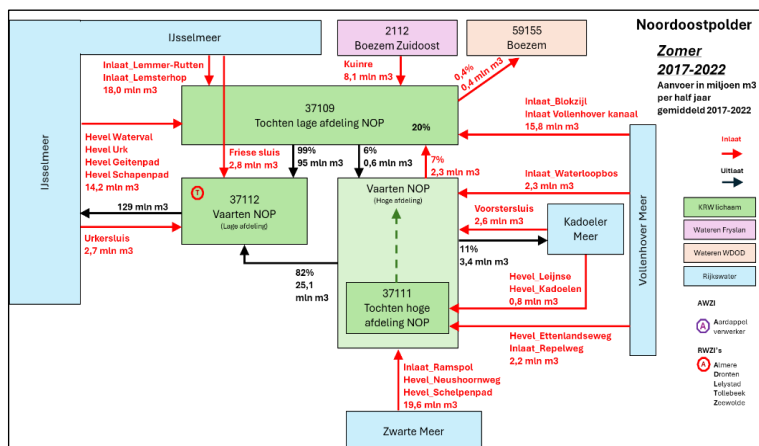
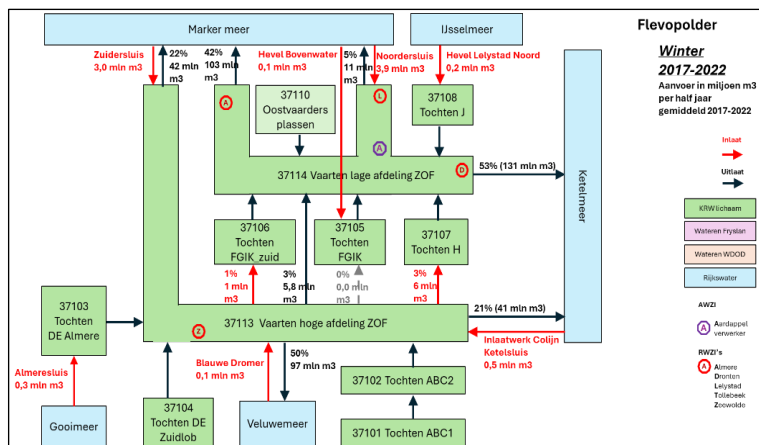
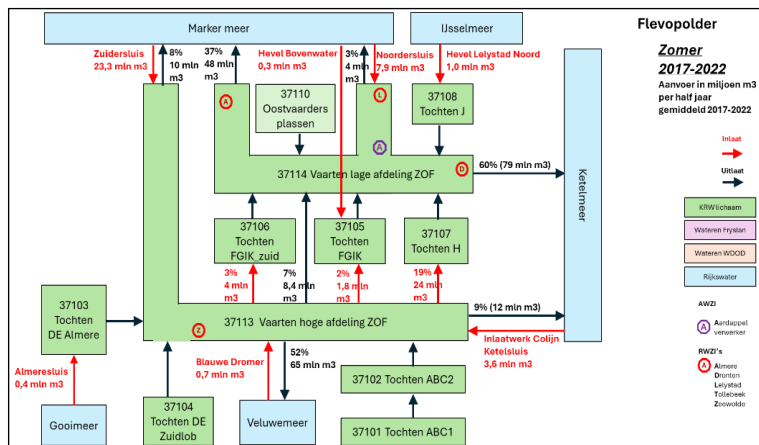
Waterschap Vallei en Veluwe



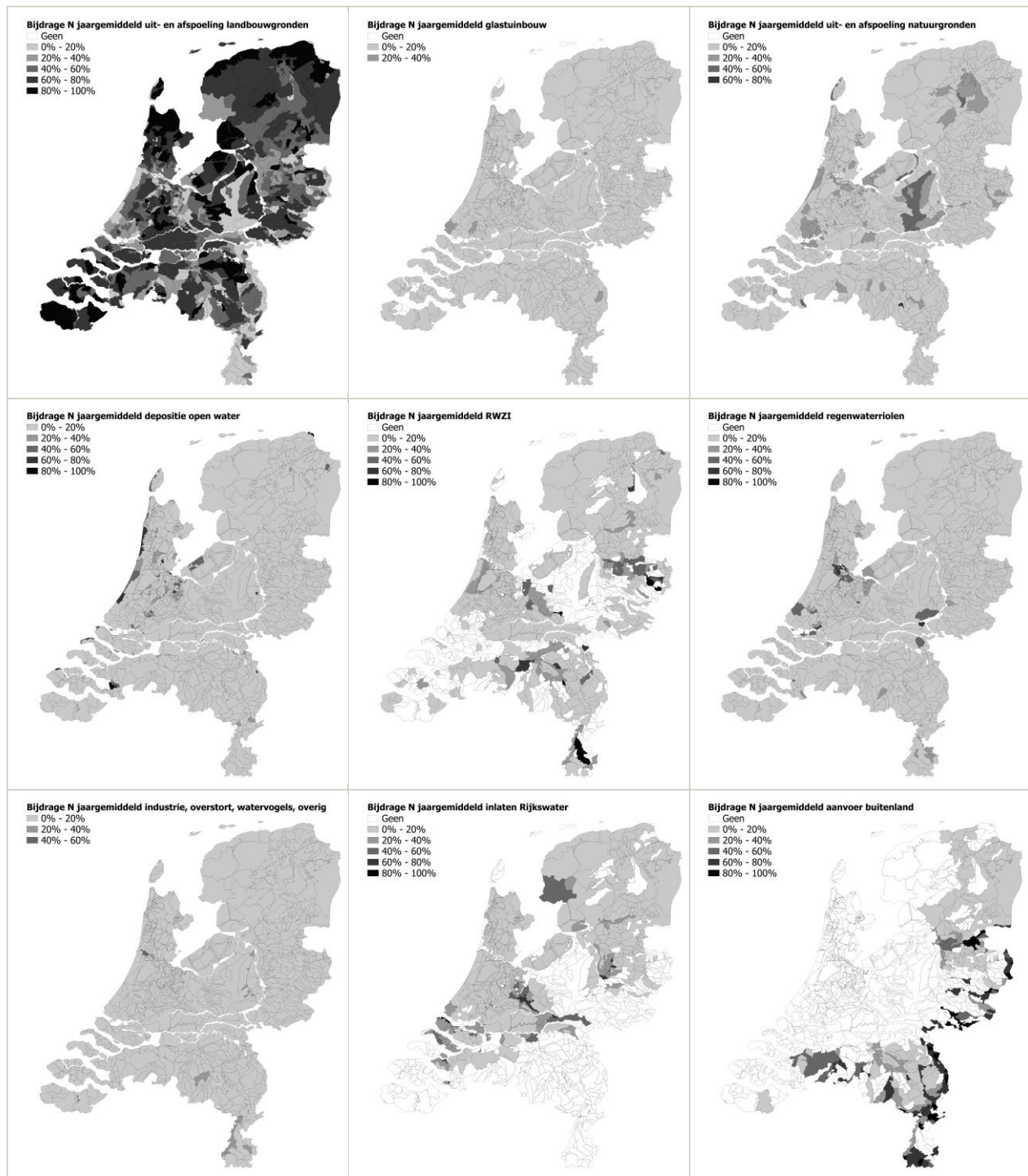


Waterschap Vechtstromen

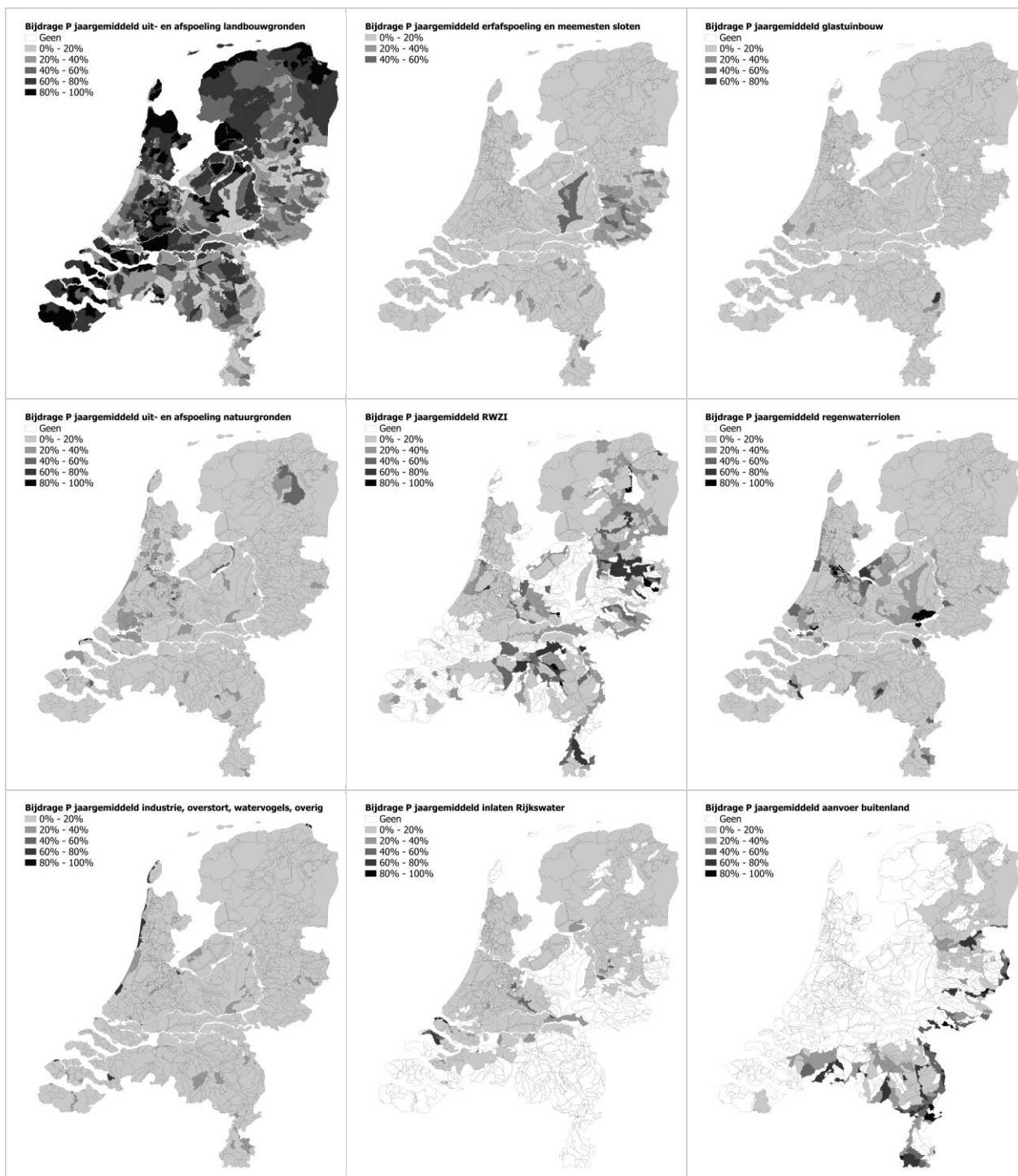




Bijlage 3 Aandeel bronnen jaargemiddeld

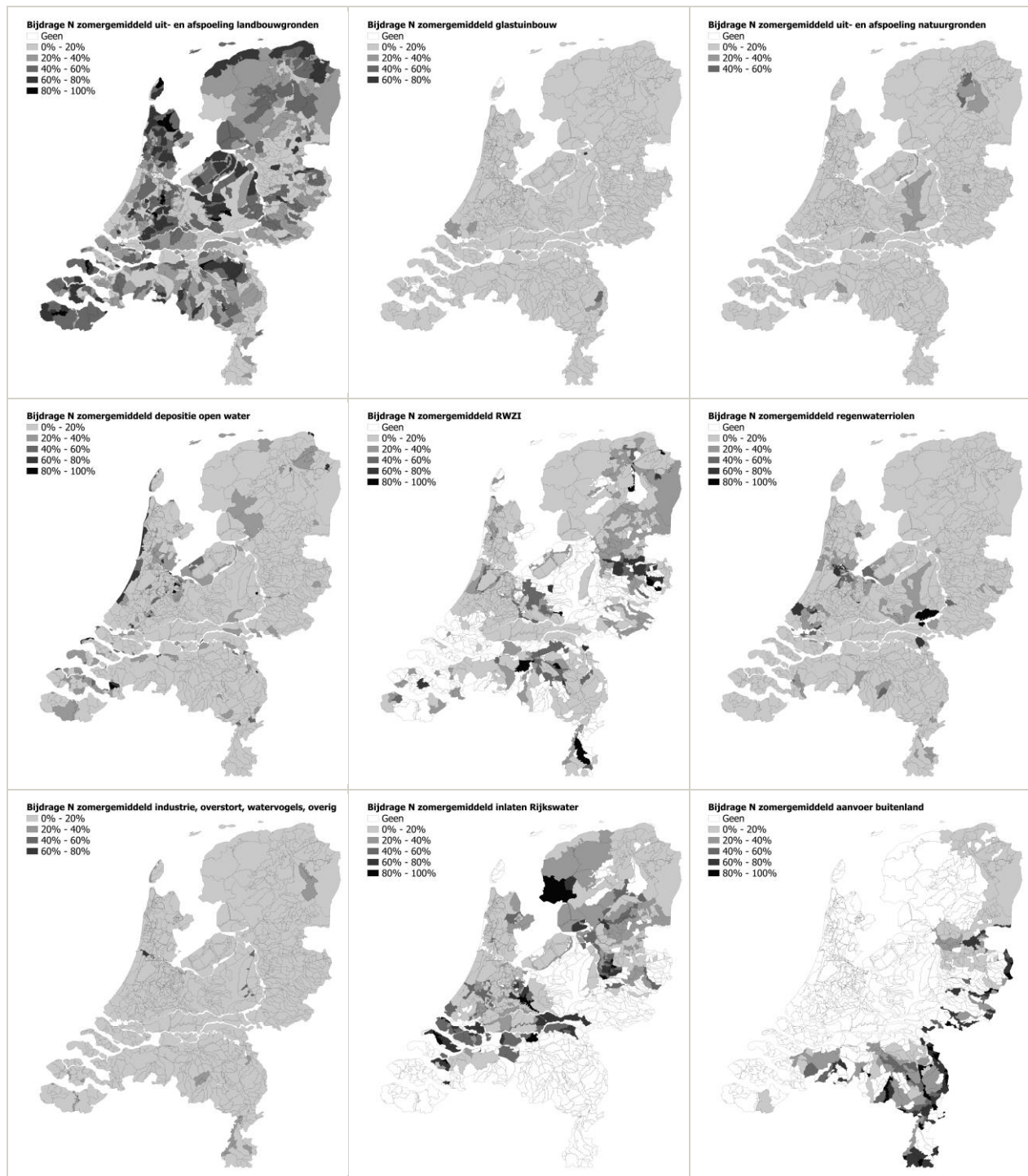


Figuur B3.1 Aandeel bronnen in de jaargemiddelde (2017-2022) stikstofbelasting van het oppervlaktewater. De figuur voor erfafspoeling en meemesten sloten hierin niet opgenomen, omdat het aandeel van de som van beide overal minder is dan 10%.

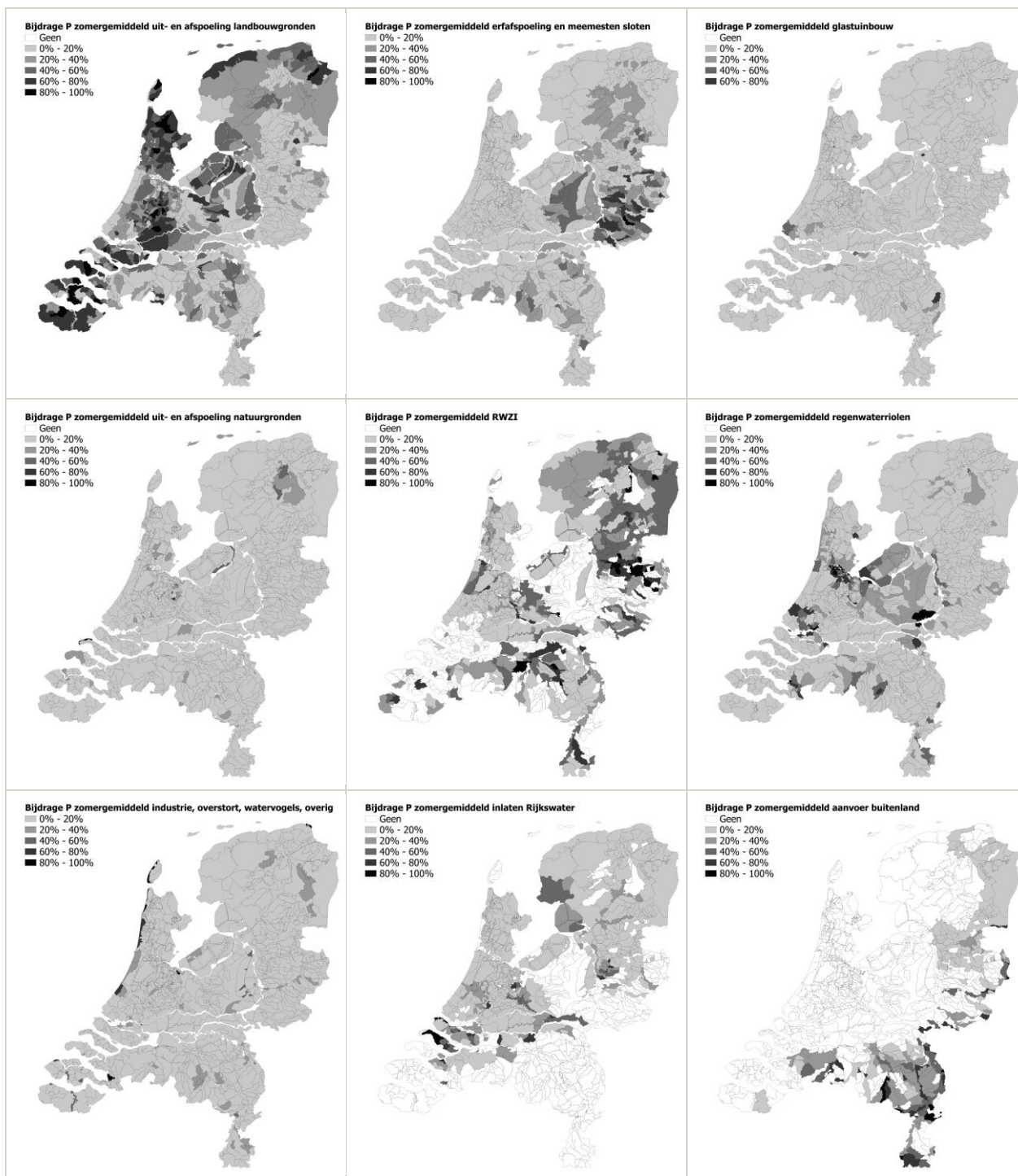


Figuur B3.2 Aandeel bronnen in de jaargemiddelde (2017-2022) fosforbelasting van het oppervlaktewater.

Bijlage 4 Aandeel bronnen zomerhalfjaar



Figuur B4.1 Aandeel bronnen in de zomerhalfjaar gemiddelde (2017-2022) stikstofbelasting van het oppervlaktewater. De figuur voor erfafspoeling en meemesten sloten hierin niet opgenomen, omdat het aandeel van de som van beide overal minder is dan 20%.



Figuur B4.2 Aandeel bronnen in de jaargemiddelde (2017-2022) fosforbelasting van het oppervlaktewater.

Bijlage 5 Nutriëntenbalansen 2017-2022

hydrologische indeling 65 gebieden

Hydrologische indeling Nederland in 65 gebieden

De bronnenanalyse is uitgevoerd op het ruimtelijke niveau van 738 toestroomgebieden. Om de resultaten en met name de bijdrage van de landbouw ook op een grovere schaal te beschouwen, kan de huidige waterschapsindeling worden gehanteerd waarin Nederland is ingedeeld in 21 gebieden. In de studie van Groenendijk et al (2016) zijn resultaten gepresenteerd volgens de oude indeling van waterschappen van voor 2013. Dat resulteerde in 25 gebieden. Gevraagd is om resultaten met een groter ruimtelijk detail te presenteren. Daarbij moet worden afgewogen of het grotere ruimtelijke detail nog past binnen het toepassingsbereik van het model. Door het gebruik van nieuwe landgebruiksgegevens met een groter detail dan in de genoemde studie van 2016 en door het gebruik van actuelere en meer gedetailleerde informatie van bodemtypen, grondwaterstanden kunnen resultaten over de uit- en afspoeling met een iets groter detail dan de waterschapsgebieden worden gepresenteerd. Dat geldt ook voor de overige bronnen. Echter, op het niveau van de 738 toestroomgebieden zijn de resultaten te onzeker om ze te publiceren. Waterbeheerders kunnen de resultaten op dit niveau wel inzien als men de gestelde disclaimer in acht neemt.

Om tegemoet te komen aan de vraag naar een groter detail is een indeling gemaakt waarbij het watersysteem hydrologisch is ingedeeld in 65 gebieden. Voor het maken van deze indeling zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De grenzen van de 738 toestroomgebieden blijven ongewijzigd gehandhaafd. Er wordt dus alleen een clustering toegepast.
- Gestreefd is naar een begrenzing die recht doet aan landschappelijke verschillen
- De indeling is zo veel mogelijk gericht op hydrologisch samen te voegen eenheden
- Gestreefd wordt om geen heel grote verschillen in omvang van de gebieden te krijgen
- De zuidwestelijke delta kan ingedeeld worden in de Eilanden en waarden
- De duingebieden van Noord- en Zuid Holland zijn apart onderscheiden
- Voor Rijnland is vanuit hydrologisch oogpunt alleen het duingebied en de Haarlemmermeer als aparte eenheid onderscheiden

De resulterende kaart is hieronder weergegeven.

Op de volgende bladzijdes in deze bijlage zijn ook de stikstof en fosfor balansen weergegeven. Per bron is de jaargemiddelde belasting over de periode 2017-2022 weergegeven in ton/jaar.

Voor de leesbaarheid zijn de enkele bronnen samengevoegd;

- De uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden is opgedeeld in de som van de actuele en historische mestgiften en de som van de overige bodembronnen: atmosferische depositie, kwel, mineralisatie en uitloging, en eerder geïnfilteerd oppervlaktewater.
- De overige punt- en diffuse bronnen zijn binnen- en recreatievaart, ongezuiverde huishoudelijke lozingen en IBA's, en watervogels.

Indeling in 65 hydrologische deelgebieden



Stikstof belasting jaargemiddeld 2017-2022 (ton/jaar)			Uit- en afspoeling landbouwgronden		Uit- en afspoeling	Overige landbouwemissies			Overige punt- en diffuse bronnen						Externe bronnen			Totale belasting
Waterschap	nr.	Naam	Bemesting actueel en historisch	Overige bodembronnen	Natuur-gronden	Erf afspoeling	Glastuin-bouw	meemesten sloten	RWZI	Industrie	Depositie open water	Riool overstorten	Regenwater riolen	Overige bronnen	Inlaat rijkswater	Toestroom buitenland	Afwenteling bovenstroms	
Fryslan	NL02	Friesche boezem-noordelijke klei	395	252	23	8	3	14	10	1	24	1	5	4	0	0	5	744
Fryslan	NL02	Friesche boezem-veen	437	652	133	32	0	34	123	11	290	4	16	25	1453	0	461	3670
Fryslan	NL02	Friesche boezem-zand en klei	425	337	94	18	0	21	128	9	92	5	17	17	0	0	1384	2548
Fryslan	NL02	Friesche boezem-zuidelijke klei	516	392	62	19	4	21	144	14	49	4	23	7	0	0	174	1429
Fryslan	NL02	Friesche boezem-zand	348	246	97	15	0	17	14	0	24	2	7	4	0	0	3	777
Fryslan	NL02	Friesche waddeneilanden-polders	39	21	11	1	0	1	0	0	10	0	0	1	0	0	0	85
Rijn & IJssel	NL07	Berkel en Schipbeek	311	109	54	29	0	22	71	2	23	4	17	2	31	1206	0	1882
Rijn & IJssel	NL07	Oude IJssel en Baakse beek	386	133	72	31	1	28	138	0	35	8	54	4	0	1568	0	2461
Rivierenland	NL09	Rivierenland-oost	268	202	64	13	9	17	59	0	69	9	62	4	346	80	6	1209
Rivierenland	NL09	Rivierenland-west	591	599	157	29	18	29	106	0	89	10	32	10	216	0	323	2209
AGV	NL11	Amstelgebied	125	460	161	8	15	7	153	18	106	8	356	6	124	0	62	1607
AGV	NL11	Huizen-Gooi	4	2	12	0	0	0	44	0	6	3	30	0	0	0	0	101
AGV	NL11	Vechtgebied-noord	33	44	24	2	0	2	0	0	28	1	13	3	9	0	1	161
AGV	NL11	Vechtgebied-zuid	59	62	40	3	1	2	201	0	70	2	17	2	39	0	439	936
HHNK	NL12	Duinen HHNK	0	0	2	0	0	0	0	0	15	0	2	4	0	0	0	23
HHNK	NL12	Schermerboezem-noord VRNK Amstelmeer	1203	923	166	15	21	30	273	3	114	12	91	17	80	0	169	3115
HHNK	NL12	Schermerboezem-zuid	299	533	122	13	2	15	111	6	134	12	89	8	155	0	0	1499
HHNK	NL12	Texel, polders	258	116	27	2	0	4	14	0	13	0	4	2	0	0	0	440
HHNK	NL12	Texel, duinen	0	0	9	0	0	0	0	0	9	0	0	4	0	0	0	22
HHNK	NL12	Wieringermeer	360	358	19	1	8	8	14	3	19	0	2	1	26	0	2	823
Rijnland	NL13	Haarlemmermeerpolder	122	185	73	0	4	3	0	0	19	3	24	1	0	0	10	444
Rijnland	NL13	Rijnland, duinen	5	2	19	0	0	0	0	0	45	2	8	3	0	0	9	93
Rijnland	NL13	Rijnland, zonder Haarlemmermeer	397	601	218	13	18	14	586	188	183	23	130	15	291	0	795	3471
HDSR	NL14	Stichtse Rijnlanden-west	373	531	113	20	4	15	148	3	64	9	61	9	149	0	125	1623
HDSR	NL14	Utrechtse Heuvelrug	110	56	41	5	0	4	87	0	10	7	39	1	503	0	0	865
Delfland	NL15	Delfland	80	222	188	4	148	3	0	1	51	22	150	5	0	0	63	937
Brab. Delta	NL25	Brabantse Delta, Donge	146	100	30	6	5	6	53	6	21	7	23	1	43	0	0	447
Brab. Delta	NL25	Brabantse Delta, zoom en kleigebied	569	357	60	8	22	21	132	33	77	13	20	9	32	0	1226	2578
Brab. Delta	NL25	Brabantse Delta, zuidelijk zandgebied	295	90	57	10	9	13	10	0	14	7	17	1	0	857	0	1380
Dommel	NL27	Beerze en Reusel	401	95	103	14	2	14	283	13	26	7	45	1	0	116	296	1417
Dommel	NL27	De Dommel	404	111	116	13	2	14	481	10	32	16	34	1	0	403	436	2075
Hunz. Aa's	NL33	Duurswold en Oldambt	267	357	51	4	1	11	331	1	62	2	6	3	0	0	482	1577
Hunz. Aa's	NL33	Hunze en Drentse Aa	280	216	169	5	0	11	146	26	42	4	26	4	0	0	200	1130
Hunz. Aa's	NL33	Veenkolonien	806	387	91	6	5	18	95	24	55	4	14	4	0	0	331	1841
Noorderzijvest	NL34	Noorderzijvest-klei	851	393	86	12	1	23	39	4	100	3	11	10	0	0	2215	3748
Noorderzijvest	NL34	Noorderzijvest-zand	344	277	191	13	0	15	45	11	43	5	19	6	0	0	119	1088
Zuiderzeeland	NL37	Flevopolders	431	608	225	5	3	26	133	3	144	1	137	13	41	0	0	1769
Zuiderzeeland	NL37	Noordoostpolder	631	530	40	3	8	19	57	0	27	1	6	3	241	0	4	1571
Aa & Maas	NL38	Aa en Leigraaf	742	258	97	20	15	20	400	5	31	10	20	4	0	939	91	2652
Aa & Maas	NL38	Koningsvliet, Hertogwetering en Raamgebied	556	235	50	17	5	17	319	1	41	10	18	2	0	0	2276	3548
HHSK	NL39	Krimpenerwaard	82	156	35	5	0	4	10	0	25	1	8	1	6	0	1	334
HHSK	NL39	Schieland	56	119	99	1	44	2	0	0	38	7	65	1	64	0	1	497
HoI. Delta	NL40	Goeree-Overflakkee	243	172	30	1	1	7	6	0	30	1	4	0	154	0	0	650
HoI. Delta	NL40	Hoeksche Waard	290	388	50	1	2	8	3	0	31	3	9	2	163	0	0	950
HoI. Delta	NL40	IJsselmonde Dordrecht	56	85	66	0	5	1	0	0	27	10	45	3	83	0	0	382
HoI. Delta	NL40	Voorne-Putten	138	200	61	2	9	3	50	0	38	4	7	5	1150	0	0	1667
Scheldestromen	NL42	Beveland Walcheren	670	415	102	4	3	18	97	4	82	5	20	5	11	0	39	1475
Scheldestromen	NL42	Schouwen-Duiveland Tholen Sint-Philipsland	345	321	59	2	3	12	10	0	56	2	5	3	72	0	0	890
Scheldestromen	NL42	Zeeuws Vlaanderen	805	506	73	4	1	24	34	6	57	3	11	3	0	67	0	1595
Vallei & Veluwe	NL43	Apeldoorns kanaal	289	153	82	14	2	13	15	30	21	8	18	1	1	0	0	647
Vallei & Veluwe	NL43	Eemgebied	155	132	42	6	0	5	238	0	15	4	48	1	0	0	460	1105
Vallei & Veluwe	NL43	Geldersevallei	426	162	85	16	0	9	169	0	10	7	49	0	0	47	0	981
Vallei & Veluwe	NL43	Randmeren	200	119	48	11	0	7	0	0	17	3	10	1	0	0	0	416
Vallei & Veluwe	NL43	Veluwe	6	1	39	8	0	5	0	0	5	4	13	0	0	0	0	82
Vechtstromen	NL44	Regge	223	89	74	17	0	13	74	1	15	4	12	2	31	10	25	589
Vechtstromen	NL44	Twentse beken en Dinkel	367	191	121	30	2	21	459	1	26	11	48	3	3	440	222	1944
Vechtstromen	NL44	Velt en Vecht	395	273	90	17	4	21	186	17	48	5	22	6	77	1488	99	2749
WDOD	NL59	Groot Salland-IJsselmonding	339	287	50	23	4	18	67	0	42	3	17	7	261	0	3783	4900
WDOD	NL59	Oude Vaart, Wold Aa en Reest	411	247	133	20	0	25	96	7	39	5	17	5	0	0	319	1324
WDOD	NL59	Reest en Wieden - boezem	106	159	33	7	0	7	15	0	78	1	4	8	34	0	86	539
WDOD	NL59	Salland	323	136	60	22	0	17	22	0	23	5	31	4	117	0	1369	2131
Limburg	NL60	Grote Molenbeek, AEF bovenloopjes, Everlose Beek	139	44	27	5	23	15	36	1	14	3	10	1	0	0	171	489
Limburg	NL60	Limburg-zuid	68	61	50	10	1	17	537	535	45	23	56	4	0	3092	3	4502
Limburg	NL60	Tungelroysebeek Haelense Beek Uffelsebeek	96	27	19	4	3	8	0	0	14	2	2	1	0	156	27	359
Limburg	NL60	Zandmaas en oostelijke beken	54	28	15	3	16	7	527	27	68	9	13	8	0	1536	3538	5849

Fosfor belasting jaargemiddeld 2017-2022 (ton/jaar)			Uit- en afspoeling landbouwgronden		Uit- en afspoeling	Overige landbouwemissies			Overige punt- en diffuse bronnen						Externe bronnen			Totale belasting
Waterschap	nr.	Naam	Bemesting actueel en historisch	Overige bodembronnen	Natuur-gronden	Erf afspoeling	Glastuin-bouw	meemesten sloten	RWZI	Industrie	Depositie open water	Riool overstorten	Regenwater riolen	Overige diffuse	Inlaat rijkswater	Toestroom buitenland	Afwenteling bovenstrooms	
Fryslan	NL02	Friesche boezem-noordelijke klei	41	30	3	3	0	0	3	0	0	0	1	1	0	0	1	83
Fryslan	NL02	Friesche boezem-veen	44	60	11	11	0	1	21	0	0	1	3	5	18	0	29	203
Fryslan	NL02	Friesche boezem-zand en klei	32	35	8	6	0	1	17	2	0	1	3	3	0	0	112	219
Fryslan	NL02	Friesche boezem-zuidelijke klei	51	53	9	6	0	1	28	0	0	1	4	1	0	0	10	165
Fryslan	NL02	Friesche boezem-zand	16	14	5	5	0	1	2	0	0	0	1	1	0	0	0	45
Fryslan	NL02	Friesche waddeneilanden-polders	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Rijn & IJssel	NL07	Berkel en Schipbeek	8	6	2	10	0	1	7	0	0	1	3	1	1	23	0	62
Rijn & IJssel	NL07	Oude IJssel en Baakse beek	9	9	2	10	0	1	14	0	0	1	9	1	0	29	0	86
Rivierenland	NL09	Rivierenland-oost	13	12	2	4	1	1	8	0	0	2	10	1	10	3	0	68
Rivierenland	NL09	Rivierenland-west	41	82	14	10	2	1	17	0	0	2	5	2	6	0	13	195
AGV	NL11	Amstelgebied	20	49	21	3	2	0	12	1	0	1	58	1	5	0	7	180
AGV	NL11	Huizen-Gooi	0	0	1	0	0	0	4	0	0	1	5	0	0	0	0	11
AGV	NL11	Vechtgebied-noord	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	13
AGV	NL11	Vechtgebied-zuid	5	5	4	1	0	0	17	0	0	0	3	0	1	0	14	52
HHNK	NL12	Duinen HHNK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
HHNK	NL12	Schermerboezem-noord VRNK Amstelmeer	83	132	27	5	2	1	29	2	0	2	15	3	1	0	18	322
HHNK	NL12	Schermerboezem-zuid	38	98	35	4	0	0	16	0	0	2	15	2	2	0	0	212
HHNK	NL12	Texel, polders	11	15	3	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	32
HHNK	NL12	Texel, duinen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
HHNK	NL12	Wieringermeer	24	49	4	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	2	83
Rijnland	NL13	Haarlemmermeerpolder	14	26	12	0	1	0	0	0	0	1	4	0	0	0	2	59
Rijnland	NL13	Rijnland, duinen	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	6
Rijnland	NL13	Rijnland, zonder Haarlemmermeer	42	98	32	4	2	0	74	10	0	4	21	4	25	0	76	394
HDSR	NL14	Stichtse Rijnlanden-west	37	102	17	7	1	0	24	0	0	2	10	2	6	0	5	212
HDSR	NL14	Utrechtse Heuvelrug	4	5	3	2	0	0	5	0	0	1	6	0	10	0	0	37
Delfland	NL15	Delfland	9	32	28	1	18	0	0	0	0	4	25	1	0	0	2	120
Brab. Delta	NL25	Brabantse Delta, Donge	5	5	1	2	1	0	8	1	0	1	4	0	1	0	0	29
Brab. Delta	NL25	Brabantse Delta, zoom en kleigebied	23	20	2	3	3	1	10	1	0	2	3	2	1	0	52	123
Brab. Delta	NL25	Brabantse Delta, zuidelijk zandgebied	7	5	1	3	1	0	1	0	0	1	3	0	0	32	0	55
Dommel	NL27	Beerze en Reusel	10	6	5	5	0	0	20	1	0	1	7	0	0	3	17	75
Dommel	NL27	De Dommel	11	7	6	4	0	0	46	1	0	3	6	0	0	22	15	122
Hunz. Aa's	NL33	Duurswold en Oldambt	29	29	4	1	0	0	20	0	0	0	1	1	0	0	28	115
Hunz. Aa's	NL33	Hunze en Drentse Aa	10	12	11	2	0	0	20	2	0	1	4	1	0	0	14	77
Hunz. Aa's	NL33	Veenkolonien	30	54	6	2	1	1	14	2	0	1	2	1	0	0	19	132
Noorderzijlvest	NL34	Noorderzijlvest-klei	75	46	14	4	0	1	6	0	0	1	2	2	0	0	181	332
Noorderzijlvest	NL34	Noorderzijlvest-zand	23	13	16	4	0	0	7	3	0	1	3	1	0	0	11	83
Zuiderzeeland	NL37	Flevopolders	25	20	8	2	0	1	14	0	0	0	22	4	1	0	0	97
Zuiderzeeland	NL37	Noordoostpolder	23	19	1	1	1	1	7	0	0	0	1	1	7	0	1	62
Aa & Maas	NL38	Aa en Leigraaf	32	13	6	7	2	1	49	1	0	2	3	1	0	50	5	171
Aa & Maas	NL38	Koningsvliet, Hertogswetering en Raamgebied	20	15	2	6	1	1	48	0	0	2	3	0	0	0	130	226
HHSK	NL39	Krimpenerwaard	12	38	7	2	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	64
HHSK	NL39	Schieland	7	17	14	0	5	0	0	0	0	1	11	0	4	0	0	60
Hol. Delta	NL40	Goeree-Overflakkee	14	25	5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	25	0	0	71
Hol. Delta	NL40	Hoeksche Waard	34	54	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7	0	0	107
Hol. Delta	NL40	IJsselmonde Dordrecht	7	12	11	0	1	0	0	0	0	2	7	1	3	0	0	44
Hol. Delta	NL40	Voorne-Putten	16	30	9	1	1	0	6	0	0	1	1	2	37	0	0	104
Scheldestromen	NL42	Beveland Walcheren	40	74	18	1	0	1	11	1	0	1	3	1	0	0	2	155
Scheldestromen	NL42	Schouwen-Duiveland Tholen Sint-Philipsland	21	54	11	1	0	0	1	0	0	0	1	1	2	0	0	92
Scheldestromen	NL42	Zeeuws Vlaanderen	44	79	12	1	0	1	9	1	0	0	2	1	0	2	0	153
Vallei & Veluwe	NL43	Apeldoorns kanaal	18	12	4	5	0	0	1	3	0	2	3	0	0	0	0	49
Vallei & Veluwe	NL43	Eemgebied	14	9	3	2	0	0	15	0	0	1	8	0	0	0	29	82
Vallei & Veluwe	NL43	Geldersevallei	27	10	4	5	0	0	13	0	0	1	8	0	1	0	0	71
Vallei & Veluwe	NL43	Randmeren	13	7	2	4	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	29
Vallei & Veluwe	NL43	Veluwe	0	0	1	3	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	8
Vechtstromen	NL44	Regge	7	4	3	6	0	0	21	0	0	1	2	0	1	0	1	47
Vechtstromen	NL44	Twentse beken en Dinkel	15	9	5	10	0	1	60	0	0	2	8	1	0	11	22	144
Vechtstromen	NL44	Velt en Vecht	25	14	4	6	0	1	14	4	0	1	4	1	2	40	8	123
WDOD	NL59	Groot Salland-IJsselmonding	19	18	3	8	0	1	9	0	0	1	3	1	9	0	165	237
WDOD	NL59	Oude Vaart, Wold Aa en Reest	18	11	5	7	0	1	14	1	0	1	3	1	0	0	17	78
WDOD	NL59	Reest en Wieden - boezem	10	9	2	2	0	0	2	0	0	0	1	2	1	0	3	32
WDOD	NL59	Salland	13	8	3	7	0	1	2	0	0	1	5	1	3	0	77	121
Limburg	NL60	Grote Molenbeek, AEF bovenloopjes, Everlose Beek	4	3	2	2	3	0	1	0	0	0	2	0	0	0	10	28
Limburg	NL60	Limburg-zuid	3	6	3	3	0	1	50	12	0	4	9	1	0	100	0	191
Limburg	NL60	Tungelroysebeek Haelense Beek Uffelsebeek	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	18
Limburg	NL60	Zandmaas en oostelijke beken	2	2	1	1	2	0	36	2	0	2	2	2	0	26	142	218

Bijlage 6 Betrouwbaarheid gebruikte data

Emissieregistratie

In de bronnenanalyse is de belasting van het oppervlaktewater door de volgende bronnen ontleend aan Emissieregistratie:

- Erfafspoeling
- Meemesten sloten
- Glastuinbouw
- Regenwaterriolen
- Overstorten
- Ongezuiverde huishoudelijke lozingen en IBA's
- Atmosferische depositie (stikstof)
- Binnen- en recreatievaart
- Watervogels

Aan elk onderdeel is in Emissieregistratie een betrouwbaarheid toegekend. De volgende betrouwbaarheidspercentages zijn hierbij gehanteerd: 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 100%, 200% en 400%. Een betrouwbaarheid van 1% wil zeggen dat het desbetreffende onderdeel zeer betrouwbaar is; een betrouwbaarheid van 400% betekent een grote onzekerheid in het desbetreffende onderdeel. Alle percentages ertussen geven van laag naar hoog een steeds kleinere betrouwbaarheid en een grotere onzekerheid. Voor elk van de onderdelen is de betrouwbaarheid ingeschat door een groep experts. Hierbij zijn onder andere de volgende punten in overweging genomen:

- Metingen: zijn er metingen beschikbaar? Om hoeveel metingen gaat het? Zijn ze recent, realistisch en representatief? Hoe groot is de variatie?
- Als er geen metingen voorhanden zijn: is er veel literatuur of zijn er andere informatiebronnen beschikbaar?
- Als de emissie d.m.v. een model wordt verkregen: wat is de schaal van het model en is het model gevalideerd?
- Aannames: moeten er veel aannames gedaan worden en hoe groot zijn die?
- Regionalisatie: geeft de emissieverklarende variabele een goed beeld van de ruimtelijke verdeling van de bron? Hoe groot is de variatie van de emissie in de ruimte en kan deze variatie door de EVV wel goed over Nederland verdeeld worden?

Bij veel onderdelen worden emissies berekend door het vermenigvuldigen van een emissieverklarende variabele (EVV) en een emissiefactor (EF). In het navolgende wordt per bron de betrouwbaarheid van de emissieschattingen beschreven.

Glastuinbouw

Emissies uit de glastuinbouw worden berekend door de vermenigvuldiging van de EVV (hier het teeltoppervlak) met de EF uitgedrukt in stikstof- en fosforemissie per hectare per jaar.¹⁶ Dit wordt berekend per stof (N of P) en per gewas. De verschillende onderdelen van de emissieberekening hebben de volgende betrouwbaarheidspercentages:

Onderdeel emissieberekening	Betrouwbaarheidspercentage (%)
Emissieverklarende variabele	5
Emissiefactor:	
• N	25
• P	50
Verdeling compartimenten	25
Emissieroutes via riool naar water	10
Regionalisatie	100

De oppervlaktes van de verschillende teelten zijn goed bekend, maar niet alle verschillende teelten zijn onderscheiden, daarom wordt aan de EVV een betrouwbaarheidspercentage van 5% toegekend. De

¹⁶ Factsheet Emissieregistratie Lozing nutriënten vanuit glastuinbouw
(https://legacy.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/06%20Water/01%20Factsheets/23B%20-%20Factsheet%20Glastuinbouw_20240530.pdf)

emissiefactor voor N is gebaseerd op de norm die berekend is op basis van emissiegegevens uit de praktijk; deze is gelijk aan de emissie waaraan 70% van de lozende bedrijven in 2008 al voldoet. Aangezien in deze aanname wat onzekerheid zit, is voor N een betrouwbaarheidspercentage van 25% genomen. Voor P is de onzekerheid groter (50%), aangezien ervan uit wordt gegaan dat de hoeveelheid P gecorreleerd is aan de hoeveelheid N. Dit is in werkelijkheid mogelijk anders. Aan de verdeling over compartimenten is een betrouwbaarheidspercentage van 25% toegekend. De getallen zijn gebaseerd op een enquête bij de waterschappen, maar ook bij de waterschappen is er onduidelijkheid over het areaal substraat- en grondgebonden teelt en de verdeling van de lozing over de compartimenten. De emissieroutes via riool naar water krijgen een betrouwbaarheidspercentage van 10%, zoals beschreven in de factsheet van de berekende effluënten RWZI's.¹⁷ Voor de regionalisatie is het betrouwbaarheidspercentage 100%, omdat de totale nationale emissie wordt verdeeld op basis van het areaal aan kassen, maar er wordt geen onderscheid gemaakt naar de gekweekte gewassen.

Erfafspoeling

Erfafspoeling-emissies worden berekend door de vermenigvuldiging van de EV (totale hoeveelheid erfafspoelwater naar oppervlaktewater in Nederland per jaar) met de EF (gemiddelde N- en P-concentratie in het afspoelwater).¹⁸ De verschillende onderdelen van de emissieberekening hebben de volgende betrouwbaarheidspercentages:

Onderdeel emissieberekening	Betrouwbaarheidspercentage (%)
Emissieverklarende variabele	50
Emissiefactor	50
Verdeling compartimenten	25
Emissieroutes via riool naar water	-
Regionalisatie	25

De grootste onzekerheid van de EVV zit in het aantal veehouderijen waar erfafspoeling optreedt, omdat dit is gebaseerd op indirecte aannames en onvolledige data. Ook het percentage veehouderijen dat direct aan een watergang ligt, is onzeker; hiervoor wordt een grove schatting van 50% gebruikt. Het gemiddelde erfoppervlak is gebaseerd op oudere gegevens en houdt geen rekening met variatie tussen bedrijven. De afstromingscoëfficiënt is niet gemeten maar geschat en kan sterk variëren, afhankelijk van de situatie op het erf, wat eveneens bijdraagt aan de onzekerheid. Alleen het neerslagoverschot is relatief betrouwbaar, omdat dit op metingen van het KNMI is gebaseerd, al worden regionale verschillen hierin niet meegenomen. De EF voor erfafspoeling kent aanzienlijke onzekerheid, omdat deze gebaseerd is op beperkte metingen bij een klein aantal relatief 'schone' bedrijven. Door verschillen in bedrijfsvoering, erfverharding en opvangsystemen is de variatie groot, maar die komt niet volledig terug in de EF. Daarnaast verandert de situatie op het erf in de tijd, terwijl de EF als constante wordt toegepast.

Meemesten sloten

Emissies door het meemesten van sloten worden berekend door de vermenigvuldiging van een EVV (hier het slootoppervlak grenzend aan landbouwgrond), met een EF (N en P belasting per km² sloot).¹⁹ De verschillende onderdelen van de emissieberekening hebben de volgende betrouwbaarheidspercentages:

Onderdeel emissieberekening	Betrouwbaarheidspercentage (%)
Emissieverklarende variabele	10
Emissiefactor	100
Verdeling compartimenten	1
Emissieroutes via riool naar water	-
Regionalisatie	100

De getallen voor de berekening voor meemesten sloten zijn sinds 2008 niet meer geüpdatet, wat de onzekerheid vergroot. De EVV is gebaseerd op cijfers van het RIVM en berekend met een aantal aannames (die overigens wel grotendeels gebaseerd zijn op andere, niet recente, onderzoeken). De emissiefactor is

¹⁷ Factsheet Emissieregistratie Effluënten RWZI's (gemeten stoffen) (https://legacy.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/06%20Water/01%20Factsheets/06%20-%20Factsheet%20Effluenten%20rioolwaterzuiveringsinstallaties_juli_2022.pdf)

¹⁸ Factsheet Emissieregistratie Erfafspoeling (https://legacy.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/06%20Water/01%20Factsheets/23A%20-%20Factsheet%20Erfafspoeling_20240523.pdf)

¹⁹ Factsheet Emissieregistratie Meemesten sloten ([Factsheet Meemesten sloten](#))

gebaseerd op cijfers van mestgebruik en vervolgens is met Kantstrooi Advies Systeem (KAS) berekend hoeveel er in de sloten terechtkomt. Er wordt een correctie toegepast, omdat de toedieningsmethodes die de basis vormen van KAS verouderd zijn en niet meer worden toegepast. De emissiefactor krijgt daarom een betrouwbaarheid van 100%.

Depositie open water

Atmosferische depositie van verschillende stoffen wordt berekend voor de emissieregistratie, waaronder N-depositie op open water.²⁰ Zowel de emissieverklarende variabele als de emissiefactor is onderdeel van het OPS-model. Alleen de berekende jaarvrachten met behulp van OPS en de daarbij horende validatie met meetgegevens krijgen een betrouwbaarheidspercentage. Voor stikstof wordt de berekende belasting met OPS niet gevalideerd met meetgegevens, omdat het model redelijk betrouwbare belastingen oplevert. Stikstof krijgt daarom een betrouwbaarheidspercentage van 25%.

Industrie & bedrijven

De individuele emissies naar water betreffen de emissies van individueel geregistreerde bedrijven naar het oppervlaktewater (directe emissie), het riool (indirecte emissie) en op de zuivering van een ander bedrijf (samen zuiverende emissie).²¹ De EVV en EF zijn niet van toepassing, de jaarvrachten komen rechtstreeks uit het elektronisch Milieujaarverslag (eMJV). De verschillende onderdelen van de emissieberekening hebben de volgende betrouwbaarheidspercentages:

Onderdeel emissieberekening	Betrouwbaarheidspercentage (%)
Emissieverklarende variabele	-
Emissiefactor	-
Verdeling compartimenten	1
Emissieroutes naar water	10
Berekende jaarvrachten:	
- direct	50
- indirect	200
- samenzuiverend	100
Regionalisatie:	
- direct	1
- indirect	5

Voor de verdeling van de compartimenten is bekend welke bedrijven er lozen op oppervlaktewater, het riool of een zuivering van een ander bedrijf; hiervoor geldt een betrouwbaarheidspercentage van 1%. De berekende jaarvrachten zijn onzekerder. Door de komst van E-PRTR is de jaarlijkse enquête vervallen en rapporteren alleen grotere bedrijven via eMJV. Kleine vrachten onder de drempel blijven buiten beeld; betrouwbaarheid: 50%. Bij indirect lozende bedrijven wordt minder gerapporteerd, alleen boven de drempel, en er wordt minder gemeten; betrouwbaarheid: 200%. Samen zuiverende bedrijven zijn beter in beeld (100%). Voor regionalisatie geldt: 1% betrouwbaarheid voor directe lozers (locatie en ontvangend water bekend) en 5% voor indirecte lozers (RWZI vaak onbekend in eMJV).

Een bijstelling van de emissies naar water vanuit de industrie wordt gemaakt voor een dertigtal industriële activiteiten²², waarbij de volgende betrouwbaarheidspercentages:

Onderdeel emissieberekening	Betrouwbaarheidspercentage (%)
EVV-productie en werknemers	5
Emissie- en ophoofactoren:	
• N en P	25
• Zware metalen	100
• Overige stoffen	400
Verdeling compartimenten	1
Emissieroutes naar water	Zie elders
Regionalisatie	10

De omvang van de EVV's op basis van productie wordt door het CBS bepaald via de productiestatistieken. Daarbij worden vrijwel alle bedrijven met meer dan 20 werknemers geënuquëteerd, een vrijwel integrale waarneming. De werknemersaantallen (EVV-werknemers) worden eveneens integraal bepaald. De totale onzekerheid in de EVV's is ingeschat op 5%. Voor N en P zijn verhoudingsgewijs meer basisgegevens beschikbaar dan voor andere stoffen en de onzekerheid hierin wordt ingeschat op 25%.

²⁰ Factsheet Emissieregistratie Atmosferische Depositie op Nederland en Nederlands Continentaal Plat

²¹ Factsheet Emissieregistratie Wateremissies vanuit de industrie (individueel)
(https://legacy.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/06%20Water/01%20Factsheets/09%20-%20Wateremissies%20individueel%20geregistreerde%20bedrijven_20240531.pdf)

²² Factsheet Emissieregistratie Bijstelling van de emissies naar water vanuit de industrie
(https://legacy.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/06%20Water/01%20Factsheets/05%20-%20Factsheet%20Bijstelling%20wateremissies%20industrie_juni_2018.pdf)

Vogelmest

Emissies uit vogelmest betreft de externe ofwel gebiedsvreemde belasting van de uitwerpselen van watervogels op het oppervlaktewater veroorzaakt door watervogels in kolonies en op slaapplaatsen. De emissies worden berekend door de vermenigvuldiging van een EV (aantal watervogels in Nederland) met een EF (per watervogel en per stof). De verschillende onderdelen van de emissieberekening hebben de volgende betrouwbaarheidspercentages:

Onderdeel emissieberekening	Betrouwbaarheidspercentage (%)
Emissieverklarende variabele	10
Emissiefactor	10
Verdeling compartimenten	50
Emissieroutes via riool naar water	-
Regionalisatie	50

Onzekerheid zit vooral in de exacte locaties van de vogels (verdeling compartimenten en regionalisatie).

Riooloverstorten, regenwaterriolen, ongezuiverde huishoudelijke lozingen en IBA's

De bepaling van emissies gebeurt in een aantal stappen (niet door middel van EVV's en EF's).²³ De input voor de berekening is de vervuilingsvracht op het rioleringsstelsel. Deze informatie is afkomstig van de bronnen uit de Emissieregistratie voor zowel diffuse als puntbronnen. Vervolgens wordt de wijze vastgesteld waarop de vervuiling door de afvalwaterketen verder wordt verwerkt en welk deel van de vervuiling via welke route op welke plaats terechtkomt. De verdeling van de vervuiling over de routes binnen de afvalwaterketen is gebaseerd op een hydraulisch model. Binnen de afzonderlijke onderdelen van de afvalwaterketen vinden processen plaats waardoor stoffen verwijderd worden. Dit zijn de zuiveringsrendementen van de RWZI, maar ook de verwijdering door reiniging van straatkolken, rioolbuizen en gemalen. De betrouwbaarheidspercentages van de verschillende onderdelen van de emissieberekening zijn te vinden in de Factsheet "Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's". De grootste zekerheden zitten in de jaarlijkse hoeveelheid hemelwaterafvoer en hoeveelheden en routes van overstorten (50%). Ook de emissieroutes van niet-aangesloten huishoudens en IBA-voorzieningen hebben een betrouwbaarheidspercentage van 50%. De betrouwbaarheid van de emissies voor stoffen waarvan metingen beschikbaar zijn, is afhankelijk van de betrouwbaarheid en representativiteit van de concentratiemetingen zelf en van het hydraulisch model. Voor deze stoffen is het betrouwbaarheidspercentage op 50% gezet voor overstorten, hemelwateruitlaten en IBA's. Voor de stoffen waarvan geen concentratiemetingen beschikbaar zijn, is de betrouwbaarheid afhankelijk van het hydraulisch model en de berekende verlies- en resuspensiefactoren. In deze factoren zit relatief veel onzekerheid. Daarom is het percentage voor de stoffen waarvan geen metingen beschikbaar zijn op 200% gezet voor overstorten, hemelwateruitlaten en IBA's. De betrouwbaarheid van de verdeling van de emissie van overstorten over de gemeenten is afhankelijk van de geldigheid van de aanname dat de stelselkenmerken per gemeente gelijk zijn. Dit gaat niet altijd op, daarom is het percentage op 100% gezet. Voor hemelwaterafvoer via de hemelwateruitlaten zijn de verschillen naar verwachting minder groot: 50%. De regionalisatie van de emissie van overstorten binnen de gemeente is relatief onzeker doordat deze sterk afhangt van lokale geomorfologie en lokale keuzes in het stelselontwerp (200%). Voor hemelwateruitlaten en IBA's geldt dit minder, omdat er daar meer van zijn en de emissie evenrediger over deze lozingspunten is verdeeld (100%).

Binnen- en recreatievaart

De emissies betreffen de lozingen van huishoudelijk afvalwater van recreatievaart, chartervaart, passagiersschepen en de binnenvaart. De lozingen hebben vooral betrekking op toiletafvalwater, maar ook het afvalwater dat vrijkomt van andere huishoudelijke activiteiten die aan boord plaatsvinden.²⁴ De emissies worden berekend door de vermenigvuldiging van een EVV (het aantal mensjaren dat per jaar en per boottype op het water wordt doorgebracht) met een EF per stof, uitgedrukt in emissie per eenheid van de EVV. Vervolgens wordt gecorrigeerd voor het opvangen van het huishoudelijk afvalwater aan boord en afgifte

²³ Factsheet Emissieregistratie Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's ([https://legacy.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/06%20Water/01%20Factsheets/31B%20-%20Factsheet%20effluenten%20\(berekend\)_20240603.pdf](https://legacy.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/06%20Water/01%20Factsheets/31B%20-%20Factsheet%20effluenten%20(berekend)_20240603.pdf))

²⁴ Factsheet Emissieregistratie Huishoudelijk afvalwater scheepvaart (https://legacy.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/06%20Water/01%20Factsheets/15F%20-%20Factsheet%20Huishoudelijk%20afvalwater%20scheepvaart_20240515.pdf)

aan een walontvangststation, gevolgd door lozing op de riolering. De verschillende onderdelen van de emissieberekening hebben de volgende betrouwbaarheidspercentages:

Onderdeel emissieberekening	Betrouwbaarheidspercentage (%)
Emissieverklarende variabele	10
Emissiefactor	25
Verdeling compartimenten	50
Emissieroutes via riool naar water	-
Regionalisatie	50

De EVV, het aantal mensjaren dat op het water wordt doorgebracht, is een resultaat van het aantal boten, het aantal passagiers per boot en de tijd die een passagier per jaar in een boot doorbrengt. De schatting van de laatste twee is gebaseerd op een enquête van redelijke omvang. Om deze reden wordt een betrouwbaarheidspercentage van 10% aangehouden. Voor de EF wordt een percentage van 25% aangehouden. De verdeling van de emissies over de verschillende compartimenten, het daadwerkelijk gebruik van een toilet aan boord, is een zwakke plek in de monitoring (betrouwbaarheid 50%). De regionalisatie van de emissies is nogal onbetrouwbaar, wat resulteert in een betrouwbaarheidspercentage van 50%.

Bijlage 7 Validatie

Ter verificatie zijn beschikbare metingen vergeleken met de berekende uitkomsten. Dit is uitgevoerd op twee manieren.

- **Vergelijking concentraties:** metingen van de concentratie (mg/l) op de uitstroompunten vergeleken met de berekende concentratie (mg/l), uitgedrukt als gemiddelde over zes jaar (of minder in geval van een kortere meetreeks). Dit is uitgevoerd voor nagenoeg alle toestroomgebieden, mits meetgegevens beschikbaar waren.
- **Vergelijking vrachten:** metingen van de concentratie (mg/l) en afvoer (m³/dag), gecombineerd tot een vracht (kg/half jaar), vergeleken met de berekende vracht (kg/half jaar). Dit is uitgedrukt in een gemiddelde vracht per jaar over zes jaar (of minder in geval van een kortere meetreeks). Dit is uitgevoerd voor een selectie van toestroomgebieden, waar debietmetingen beschikbaar waren op relevante uitstroompunten in de routing. Dit betroffen voornamelijk de grotere wateren.

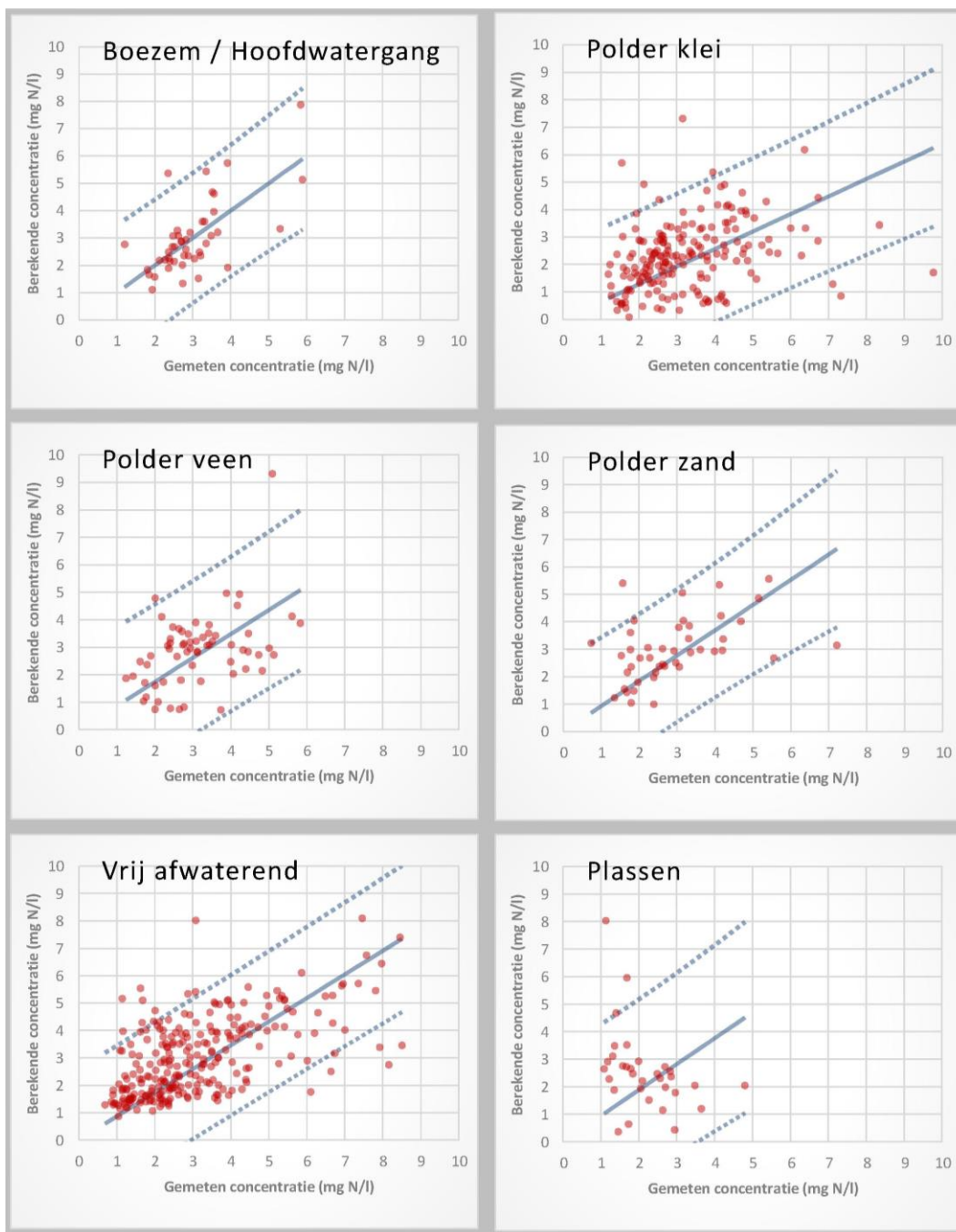
Vergelijking concentraties

In deze landelijke studie is per regionaal KRW-waterlichaam een toestroomgebied gedefinieerd. In sommige gevallen liggen meerdere KRW-waterlichamen in een toestroomgebied (als het stroomgebied feitelijk overeen komt), en soms zijn toestroomgebieden van een KRW-waterlichaam juist verder opgedeeld (als het waterlichaam langs, of toeleverende gebieden apart zijn gehouden). Per gebied is onderzocht welk uitstroompunt representatief is voor het berekende ECHO-gebied. Vaak is dat gelijk aan het KRW-meetpunt, maar in sommige gevallen is gekozen voor een meetpunten dichterbij het feitelijke uitstroompunt, of is een gemiddelde genomen van twee uitstroompunten. Daarnaast is waar nodig rekening gehouden met een wisseling in stroomrichting tussen zomer- en winterhalfjaar. Dit geldt voornamelijk in polder-boezemsystemen, waar in de zomer water in de polder wordt ingelaten, terwijl in de winter juist meer afvoer plaatsvindt.

Van de meetpunten die beschikbaar zijn en voldoende meetjaren beschikbaar hebben is de gemiddelde concentratie per half jaar berekend. Vervolgens is een gemiddelde concentratie per halfjaar berekend, en daarna de jaargemiddelde concentratie.

De modelresultaten zijn berekend als vracht belasting in kg/half jaar. In de berekening is rekening gehouden met een bepaalde retentie in een toestroomgebied, waarna de resultante (belasting minus retentie) het gebied verlaat (afwenteling). Daarnaast is de waterbalans berekend per half jaar. De aan- en afvoer is berekend op basis van: uit- en afspoeling (uit SWAP-ANIMO), RWZI's (metingen), inlaten (metingen), aanvoer buitenland (metingen/berekeningen), en regenwaterriolen (berekeningen landgebruiksgegevens). De overige posten uit de vrachtenbalans zijn afkomstig uit de Emissieregistratie, waarvan het debiet ontbreekt. In relatie tot de overige posten zijn dit relatief kleine posten. Neerslag en verdamping op open water kan in geval van toestroomgebieden die volledig of grotendeels uit open water bestaan een relatief grote post zijn, maar deze is in deze studie niet meegenomen. De aldus berekende water-af- en aanvoer per toestroomgebied is gecombineerd met de berekende afwenteling, waarmee een gemodelleerde concentratie is bepaald. Deze berekende concentratie is vergeleken met de gemeten concentratie.

Ten behoeve van de vergelijking is onderscheid gemaakt in boezem- en hoofdwatgangen, polders (onderverdeeld in grondsoort klei, veen en zand), vrij afwaterende gebieden en plassen. Per type toestroomgebied is in Figuur B7.1 (stikstof) en Figuur B7.2 (fosfor) de gemeten concentratie (x-as) uitgezet tegen de berekende concentratie (y-as). De blauwe doorgetrokken lijn geeft de regressielijn weer, en beide blauwe stippellijnen geven het voorspellingsinterval weer (=kans van 95% dat de werkelijke waarde van de berekende concentratie in de populatie van gemeten concentraties ligt is opgenomen in dit interval). In Tabel B7.1 is de helling van de regressielijn, de determinatie-coëfficiënt en het voorspellingsinterval weergegeven.

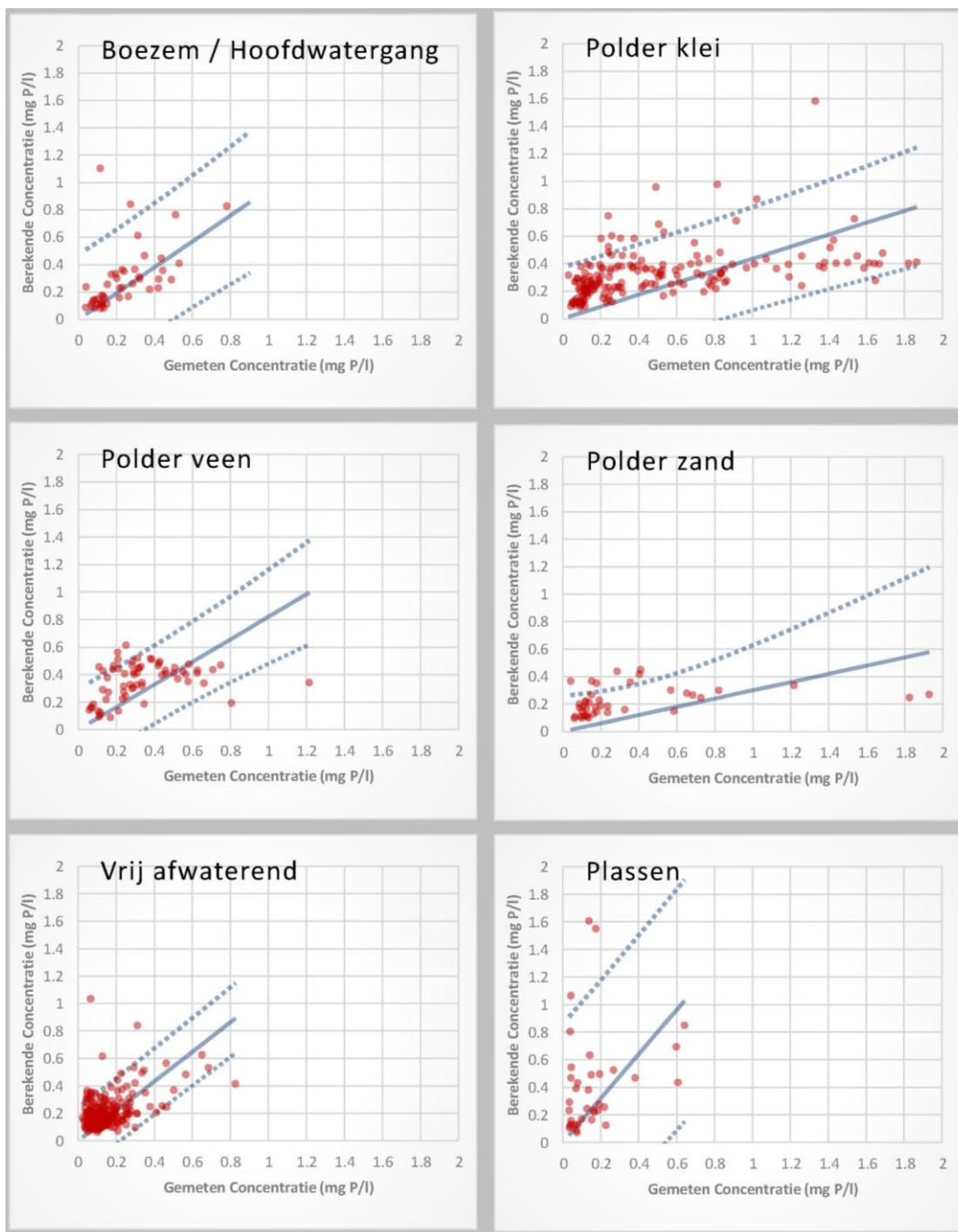


Figuur B7.1 Stikstof: vergelijking gemeten concentratie (x-as) met de berekende concentratie (y-as). De blauwe lijn geeft de regressie weer, de stippellijnen geven het voorspellingsinterval weer.

In het ideale geval liggen alle punten 1:1 op één lijn (helling = 1, determinatie coëfficiënt = 1). In de praktijk wijken de berekende waarden af van de gemeten concentratie. Als de regressielijn de verhouding 1:1 benadert en het voorspellingsinterval klein is, lijken de berekeningen de gemeten waarden goed te voorspellen.

In de grafieken van Figuur B7.1 is te zien dat met uitzondering van de kleipolders de 1:1 lijn redelijk goed wordt benaderd. Bij de kleipolders is de berekening een onderschatting van de gemeten waarde. Uit de grafiek is af te lezen dat dit vooral de kleipolders betreft met een hoge gemeten waarde. Van kleipolders met een gemeten waarde tussen de 2 en 3 mg/l wordt juist een iets hogere concentratie berekend.

Het voorspellingsinterval ligt met uitzondering van de plassen tussen +/- 2.4 en 2.8 mg/l. Bij plassen is de variatie erg groot. Vaak wordt een lagere waarde gemeten terwijl juist een hogere waarde wordt berekend. Dit kan te maken hebben met de retentie die in plassen wordt onderschat in ECHO.



Figuur B7.2 Fosfor: vergelijking gemeten concentratie (x-as) met de berekende concentratie (y-as). De blauwe lijn geeft de regressie weer, de stippellijnen geven het voorspellingsinterval weer.

In de grafieken van Figuur B7.2 is te zien dat met uitzondering van de klei- en zandpolders en de plassen de 1:1 lijn redelijk goed wordt benaderd. Evenals bij stikstof is in kleipolders de berekening van fosfor een onderschatting van de gemeten waarde, en ook hier betreft dit vooral de kleipolders met een hoge gemeten waarde. Van kleipolders met een gemeten waarde tussen de 0.0 en 0.6 mg/l wordt juist een iets hogere concentratie berekend. Eenzelfde beeld kan worden gezien bij de zandpolders. In beide poldertypen is de variatie in gemeten concentraties groter dan in de berekende concentraties.

Het voorspellingsinterval ligt met uitzondering van de plassen tussen +/- 0.2 en 0.5 mg/l. Bij plassen is de variatie erg groot. Vaak wordt een lagere waarde gemeten terwijl juist een hogere waarde wordt berekend. Dit kan te maken hebben met de retentie die in plassen wordt onderschat in ECHO. Het voorspellingsinterval bij vrij afwaterend en veenpolders is veel kleiner. In geval van vrij afwaterende is de berekende en gemeten concentratie zelf ook klein.

Tabel B7.1 Helling regressielijn, determinatie-coëfficiënt en voorspellingsinterval uit de figuren B7.1 en B7.2.

Type	Stikstof			Fosfor		
	Helling regressielijn (-)	Determinatie coëfficiënt (-)	Interval 95% voorspelling (mg/l)	Helling regressielijn (-)	Determinatie coëfficiënt (-)	Interval 95% voorspelling (mg/l)
Boezem / Hoofdwatergang	1.00	0.91	+/- 2.44	0.95	0.65	+/- 0.48
Polder klei	0.64	0.75	+/- 2.71	0.44	0.62	+/- 0.38
Polder veen	0.87	0.84	+/- 2.83	0.82	0.73	+/- 0.31
Polder zand	0.92	0.84	+/- 2.54	0.30	0.46	+/- 0.36
Vrij afwaterend	0.86	0.84	+/- 2.59	1.08	0.68	+/- 0.24
Plassen	0.94	0.54	+/- 3.34	1.60	0.41	+/- 0.86

Vergelijking vrachten

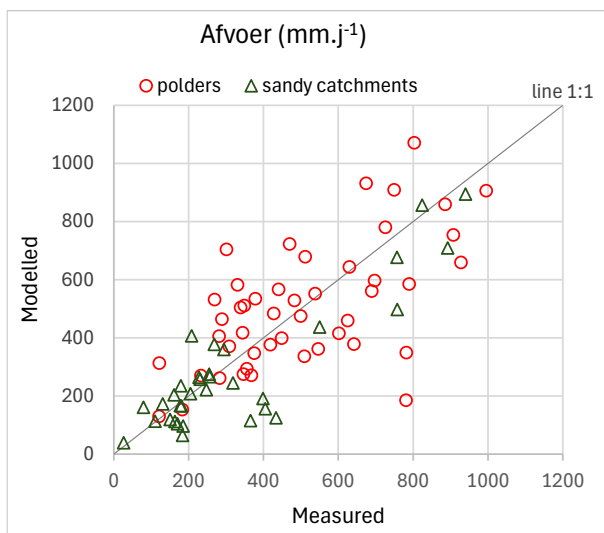
Op enkele uitwisselpunten tussen de toestroomgebieden zijn voldoende debietgegevens beschikbaar (meer dan drie jaar) om de berekende waterafvoer te kunnen vergelijken met gemeten waarden. In de meeste gevallen is bij deze locaties ook een representatief, nabijgelegen meetpunt voor waterkwaliteit aanwezig, waar stikstof- en fosforconcentraties worden gemeten. De debietmetingen zijn doorgaans dagelijks of met een nog hogere frequentie uitgevoerd, terwijl de concentratiemetingen meestal één à twee keer per maand plaatsvinden. De concentraties zijn geïnterpoleerd naar een waarde per dag, evenals de debietmetingen indien dagen ontbraken. Met beide reeksen zijn stikstof- en fosforvrachten berekend. Deze vrachten zijn vervolgens vergeleken met de door KRW-ECHO berekende debieten en stofvrachten. De onzekerheden zijn op basis van onderzoek voor de debieten ingeschat op +/- 25% (Mulder et al., 2012²⁵), evenals de hieruit afgeleide nutriëntenvrachten (Rozemeijer, 2015²⁶), alhoewel deze onzekerheidsmarge mogelijk wat groter is omdat de waterkwaliteit meestal maandelijks en niet tweewekelijks zijn gemeten. De onzekerheidsmarge van de berekende uitgaande vrachten wordt voor zowel stikstof als voor fosfor ook ingeschat op +/- 25% (Boekel et.al., 2011²⁷).

Figuur B7.3 toont de gemeten afvoeren voor 85 toestroomgebieden, onderverdeeld in poldergebieden en vrij afwaterende gebieden (op zandgrond).

²⁵ Mulder, M., P. Schipper, E. Jongman en J. Heijkers, 2012. 'Onzekere debietschattingen'. Artikel in het vakblad Stromingen, jaargang 16, nummer 3, blz. 33 - 43.

²⁶ Rozemeijer, J.C., 2015. Nutriëntenvrachten vanuit zes stroomgebieden in Wetterskip Fryslân voor 2011 t/m 2013. Deltares-rapport 1209597-000-BGS-0003.

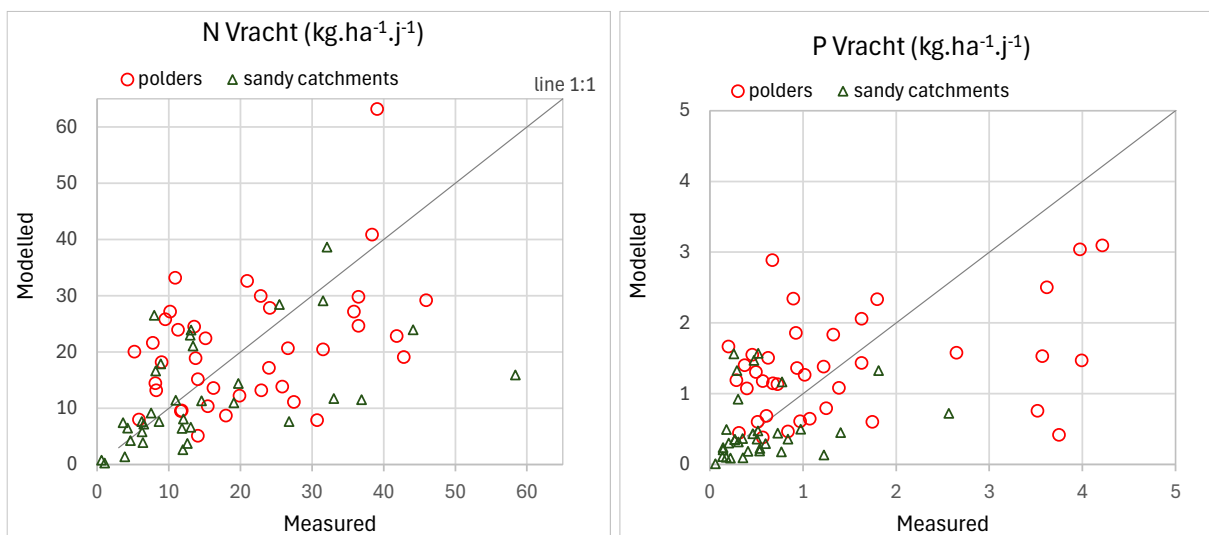
²⁷ Boekel, E.M.P.M. van, L.P.A. van Gerven, T. van Hattum, V.G.M. Linderhof, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, N.B.P. Polman, L.V. Renaud en D.J.J. Walvoort, 2011. Ex-ante evaluatie landbouw en KRW. Alterra-rapport 2121, Alterra, Wageningen.



Figuur B7.3 Vergelijking van gemeten en gemodelleerde waterafvoeren voor 85 toestroomgebieden met meer dan drie jaar afvoerdata, onderverdeeld in polders en vrij afwaterende zandgebieden.

De gemodelleerde afvoeren liggen over het algemeen in dezelfde orde van grootte als de gemeten waarden. In poldergebieden zijn echter grotere uitschieters zichtbaar, wat wijst op een grotere variatie tussen meting en modelberekening in deze gebieden.

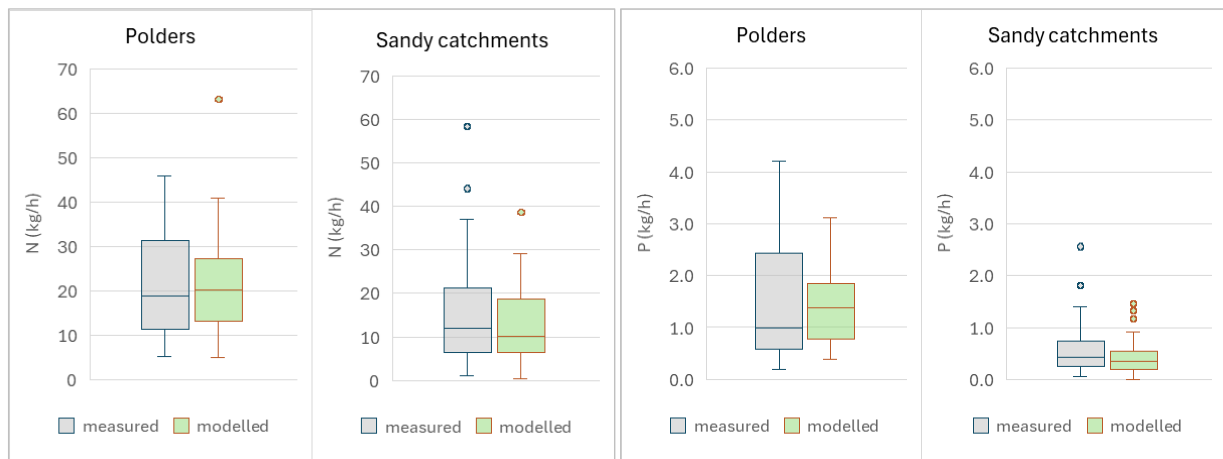
Figuur B7.4 laat de stikstof- en fosforvrachten zien, die berekend zijn op basis van gemeten N en P concentraties en gemeten afvoer, en die modelmatig berekend zijn. De stikstof- en fosforvrachten worden bijna net zo vaak onderschat ($n=41$ en 36 , respectievelijk) als overschat ($n=35$ en 40 , respectievelijk). Opvallend zijn enkele uitschieters bij de fosforvrachten in poldergebieden, waar het model de vrachten duidelijk onderschat ten opzichte van de metingen.



Figuur B7.4 Stikstof-(links) en fosfor (rechts) Vergelijking berekende en uit metingen afgeleide stikstof (links) en fosfor (rechts) vrachten voor 76 toestroomgebieden, waarvan er meer dan drie jaar aan data beschikbaar was, opgedeeld in polder-toestroomgebieden (klein en veen) en vrij afwaterende toestroomgebieden met zandgrond.

Figuur B7.5 laat boxplots zien voor de verdeling van dezelfde gemeten en gemodelleerde stikstof- en fosforvrachten voor polder-toestroomgebieden en vrij afwaterende toestroomgebieden met zandgrond. De mediaan van de gemeten P-vrachten en gemodelleerde P-vrachten wijkt het meeste af in polder-

toestroomgebieden en het minste voor de P gemeten en gemodelleerd in vrij afwaterende toestroomgebieden met zandgrond.



Figuur B7.5 Boxplots van de gemeten en gemodelleerde stikstofvrachten (links) en fosforvrachten (rechts) voor 76 toestroomgebieden, waarvan er meer dan drie jaar aan gemeten data beschikbaar was voor polder-toestroomgebieden en vrij afwaterende toestroomgebieden met zandgrond.

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

Wageningen Environmental Research
Rapport 3442
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, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 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 3442
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, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 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.
