

Actualisatie bronnenanalyse nutriënten oppervlaktewaterlichamen Zuiderzeeland

Eindrapport

Peter Schipper, Mattijs Hehenkamp, Yanjiao Mi-Gegotek, Leo Renaud, Gerard Ros

Wageningen Environmental Research
Wageningen, januari 2026

Gereviewd door:
[pm]

Akkoord voor publicatie:
Gert Jan Reinds, Teamleider Duurzaam Bodembeheer

Rapport 3391
ISSN 1566-7197

Schipper, Peter, Mattijs Hehenkamp, Yanjiao Mi-Gegotek, Leo Renaud, Gerard Ros 2026. Actualisatie *bronnenanalyse nutriënten oppervlaktewaterlichamen Zuiderzeeland*.

Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport xxxx

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 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 sinds 2003 met een kwaliteitsmanagementsysteem volgens de ISO 9001. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd volgens de norm ISO 14001. Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan zijn maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport xxxx | ISSN xxxx

Foto omslag: xxxx

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Lijst met definities	8
Samenvatting	10
1 Inleiding	12
1.1 Achtergrond en probleemstelling	12
1.2 Doel	12
1.3 Onderzoeksmethode	12
1.4 Leeswijzer	13
2 Modelleren nutriëntenbelasting	14
2.1 Toestroomgebieden KRW-waterlichamen	14
2.2 Schematisering watersysteem	15
2.3 Overzicht modelinput KRW-ECHO	16
2.4 Uit- en afspoeling landbouw- en natuurgronden	16
2.5 Herkomst uit- en afspoeling landbouw	18
2.6 De bemestingspraktijk	18
2.7 Invloed directe kwel en wellen	19
2.8 Effluënten RWZI's	21
2.9 Inlaat Rijkswater	21
2.10 Overige punt- en diffuse bronnen	22
2.11 Retentie	23
2.12 Modelvalidatie	23
2.13 Nutriëntenbalansen	26
3 Achtergrondbelasting en -gehalten	27
3.1 Methode achtergrondbelasting en achtergrondgehalten	27
3.2 Uitgangspunten	27
3.3 Achtergrondbelasting	29
3.1 Theoretische achtergrondgehalten	29
4 Discussie modelresultaten	32
4.1 Evaluatie modelresultaten nutriëntenbelasting	32
4.2 Onzekerheden berekende emissies	32
4.3 Bandbreedte onzekerheden achtergrondbelasting	33
4.4 Onzekerheden in bemestingspraktijk	35
4.5 Onzekerheden in bodemkwaliteit	38
4.6 Oplossingsrichtingen voor landbouw	39
5 Conclusies en aanbevelingen	42
5.1 Conclusies	42
5.2 Aanbevelingen	43
Literatuur	45
Bijlage 1 Routingschema's toestroomgebieden	47
Bijlage 2 Kwel/wegzijging uit het geohydrologisch model AZURE	50
Bijlage 3 Inlaat Rijkswater	52

Bijlage 4	Grafieken bronverdeling	54
Bijlage 5	Gemeten concentraties toestroomgebieden	58

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: xxxxx 2025

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Gert Jan Reinds

datum: xxxxx 2025

Woord vooraf

Voor de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) zijn in 2020 voor de regionale oppervlaktewaterlichamen in het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland KRW-doelen voor stikstof en fosfor vastgesteld. Deze doelen houden rekening met de achtergrondbelasting zoals die voor de verschillende lijnvormige waterlichamen met een gedetailleerde water- en nutriëntenbalans berekend was voor de periode 2010-2017. Deze doelen zijn opgenomen in het derde Stroomgebied beheerplan (SGBP3) en wijken af van de doelen die eerder voor het SGBP 1 en 2 waren vastgesteld.

Omdat de modellering van belasting en herkomst van de nutriënten gepaard gaat met onzekerheden en de nieuwe doelen in sommige KRW-waterlichamen vragen oproepen, hebben de Provincie Flevoland en Waterschap Zuiderzeeland voor de doelactualisatie voor SGBP4 aan het Nutriënten Management Instituut te Wageningen (NMI) en Wageningen Environmental Research (WEnR) gevraagd om het gebruikte modelinstrumentarium nog verder toe te spitsten op specifieke lokale omstandigheden, en daarmee de balansen, herkomst en achtergrondbelasting opnieuw te berekenen.

Het voorliggende onderzoek is het resultaat van deze geactualiseerde bronnenanalyse. Hierbij is per toestroomgebied de stikstof- en fosforbelasting door de verschillende bronnen gekwantificeerd voor de periode 2017 tot en met 2022 en voor de periode 2010-2016. In de analyse is informatie en kennis benut van het waterschap over de werking van het watersysteem. Ook is informatie gebruikt van de meest recente versie van het regionale grondwatermodel Azure dat adviesbureau Sweco in 2025 voor het waterschap heeft opgeleverd.

Het onderzoek is begeleid door Harry Bouwhuis, Michiel Oudendijk, Arie de Jong en Joan Meijerink van Waterschap Zuiderzeeland en Sandra Lenders en Maarten Fritz van de provincie Flevoland. De auteurs bedanken deze begeleiders. Hun inbreng heeft de betrouwbaarheid van de resultaten vergroot.

Wageningen, januari 2026
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'. 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.
Ecologische doelen	De KRW schrijft voor dat oppervlaktewaterlichamen benoemd en begrensd moeten worden, ingedeeld in categorieën en typen, en dat per type waterlichaam ecologische referentiecondities moeten worden bepaald. In Nederland zijn 42 verschillende KRW-watertypen onderscheiden. De meeste daarvan zijn geen natuurlijke, maar behoren tot de categorie 'sterk veranderd' of 'kunstmatig'. Voor natuurlijke watertypen ligt de norm voor nutriënten bij de kwaliteitsklasse 'Goede Ecologische Toestand'. De ecologische norm voor 'sterk veranderd' en 'kunstmatig' is het Goed Ecologisch Potentieel. Die norm wordt afgeleid van het meest gelijkende natuurlijke watertype. Met een maatlat voor het Ecologisch Potentieel wordt beoordeeld of de toestand van een water 'zeer goed', 'goed', 'matig', 'ontoereikend' of 'slecht' is. De KRW-norm voor nutriënten ligt bij 'goed'.
KRW-doel nutriënten	Voor ieder oppervlaktewaterlichaam zijn voor de beoordeling van de fysisch-chemische toestand de concentraties aangegeven voor stikstof en fosfor die in het zomerhalfjaar (driejarig gemiddelde) niet moeten worden overschreden. Als aan deze concentraties wordt voldaan, vormen deze in principe geen belemmering voor het behalen van de ecologische doelen voor biologie (vis, macrofyten, macrofauna en fyto bentos).
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. Toestroomgebieden worden ook wel aangeduid als vanggebied, catchment en afwateringsgebied.
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.
Erfafspoeling	Afstromend regenwater dat in contact is gekomen met o.a. voer(resten), mest(resten), perssappen en percolaat op het verharde erf van een agrarisch bedrijf.
Meemesten sloten	Bij het bemesten van landbouwgronden kan een klein deel van de mest onbedoeld direct in sloten terecht komen. Dit zorgt voor een belasting van het oppervlaktewater met meststoffen, zoals stikstof en fosfor (P) en diverse zware metalen.

Uitspoeling natuurgronden		Uit- en afspoeling uit gronden die zijn bestempeld als natuur, parken en groenvoorzieningen. Deze gronden worden niet bemest. De emissieoorzaken van de uit- en afspoeling uit landbouwgronden zijn in deze studie uitgesplitst in het deel dat komt door actuele en historische mestgiften, kwel, atmosferische depositie, mineralisatie en uitloging en infiltratie van eerder geïnfiltrerd lokaal oppervlaktewater.
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 dit grondwater is die over de beschouwde tijdperiode (2013-2022) netto opwaarts stroomt over het dieptevlak van 13 meter beneden maaiveld.
	Infiltratie lokaal oppervlaktewater	Uitspoeling van lokaal oppervlaktewater dat eerder (met name in de zomer) in het bodemprofiel is geïnfiltrerd.
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.
Depositie open water		Belasting vanuit de lucht (regenwater en stof) dat rechtstreeks valt op oppervlaktewater. De lucht wordt belast met stoffen afkomstig van onder andere industrie, vervoer en agrarische processen. Via deze weg wordt water belast met stikstof, niet met fosfor. Emissieschatting door Emissieregistratie.
RWZI's AWZI		Afkorting voor rioolwaterzuiveringsinstallaties. Deze installaties verzamelen het rioolwater uit het huishoudelijk rioelstelsel en soms ook industrieel afvalwater. Na verschillende zuiveringsstappen wordt het effluent geloosd op oppervlaktewater. Het hangt van de zuiveringslocatie af uit hoeveel zuiveringsstappen de installatie bestaat en daarmee ook de kwaliteit van het te lozen effluent. In Oostelijk Flevoland is ook een afvalwaterzuivering van een aardappelverwerker aanwezig. Deze is afgekort als AWZI.
Riool overstort		Ongezuiverde uitstoot uit het gemengde rioleringsstelsel in geval van hevige regenval. Dit water is een mengsel van huishoudelijk afvalwater, industrieel afvalwater en afstromend regenwater van wegen en daken. Dit type rioelstelsel wordt gradueel vervangen door (verbeterd) gescheiden rioelstelsels. Emissieschatting door Emissieregistratie.
Regenwaterriolen		Ongezuiverde uitstoot uit regenwaterrioolstelsels. Dit zijn (verbeterd) gescheiden rioelstelsel en bevatten veel minder vervuilende stoffen dan de uitstoot van overstorten. Door de veelheid aan lozingslocaties kan de totale belasting in kg/jaar hoger zijn dan de uitstoot uit overstorten. Emissieschatting door Emissieregistratie.
Achtergrondbelasting en -concentratie		Het deel van de nutriëntenbelasting dat bepaald wordt door bronnen die beleidsmatig worden opgevat als (semi)natuurlijk. De theoretische achtergrondconcentratie wordt berekend door dit aandeel te vermenigvuldigen met de gemeten gehalten.

Samenvatting

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) schrijft voor dat het oppervlaktewater in 2027 voldoende schoon en ecologisch gezond is. Om de fysisch-chemische toestand te beoordelen, zijn doelen vastgesteld voor stikstof en fosfor. In 2020 zijn voor de regionale oppervlaktewaterlichamen in het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland KRW-doelen voor stikstof en fosfor vastgesteld die rekening houden met de achtergrondbelasting zoals die voor de verschillende lijnvormige waterlichamen met een gedetailleerde water- en nutriëntenbalans door de WUR berekend was voor de periode 2010-2017. Deze doelen zijn opgenomen in het derde Stroomgebied beheerplan (SGBP3) en wijken af van de doelen die eerder voor het SGBP 1 en 2 waren vastgesteld.

Met een bronnenanalyse wordt de nutriëntenbelasting door de verschillende punt- en diffuse bronnen van het oppervlaktewater en de retentie van de nutriënten in het oppervlaktewater gekwantificeerd. Omdat de modellering voor de bronnenanalyse gepaard gaat met onzekerheden en de nieuwe doelen in sommige KRW-waterlichamen vragen oproepen, hebben de Provincie Flevoland en Waterschap Zuiderzeeland voor de doelactualisatie voor SGBP4 aan het Nutriënten Management Instituut te Wageningen (NMI) en Wageningen Environmental Research (WEnR) gevraagd om het gebruikte modelinstrumentarium nog verder toe te spitsten op specifieke lokale omstandigheden en daarmee de balansen, herkomst en achtergrondbelasting opnieuw te berekenen.

Het voorliggende onderzoek is het resultaat van de geactualiseerde bronnenanalyse. Ten opzichte van de voorgaande bronnenanalyse die was uitgevoerd voor de periode 2010-2017 zijn de volgende verbeteringen en aanvullingen tot stand gebracht:

- De analyse is nu uitgevoerd voor de periode 2010-2016 en de periode 2017-2022
- Daarin is de meest recente informatie over de kwel vanuit het model Azure verwerkt
- Ook zijn de recente monitoringsgegevens over de inlaat van Rijkswater en waterverdeling tussen de Tochten en Vaarten in de modellering opgenomen
- De indeling in toestroomgebieden is verfijnd zodat beter wordt aangesloten bij de ruimtelijke verdeling van de kwelpatronen
- De validatie is ook uitgevoerd voor de in het model gebruikte mestgiften en bodemkwaliteit
- De analyse is aangevuld met een onzekerheidsanalyse van de berekende achtergrondbelasting

De berekende achtergrondbelasting van stikstof en fosfor is als fractie van de totale belasting gebruikt om theoretische achtergrondconcentraties af te leiden. Aanvullend zijn oplossingsrichtingen aangegeven om de uit- en afspoeling van nutriënten naar water te verminderen.

Resultaten

Per toestroomgebied is de totale belasting en bronverdeling van stikstof en fosfor berekend. De berekeningsresultaten sluiten goed aan bij de beschikbare meetgegevens van de waterafvoeren en uitmetingen afgeleide stofvrachten.

De totale belasting is de som van alle bronnen in het toestroomgebied, de inlaat van Rijkswater en daarbij ook de belasting van het water dat van bovenstroomse gebieden op het gebied wordt afgewenteld. Deze afwenteling is in de routingschema's (bijlage 1) schematisch weergegeven. In het model zijn de bronnen in deze afwenteling gelabeld, zodat voor de totale belasting de bijdrage van alle afzonderlijke bronnen is berekend. De bijdrage van alle afzonderlijke bronnen is per toestroomgebieden voor beide perioden (2010-2016 en 2017-2022, zomer- en winterhalfjaar) weergegeven in bijlage 4.

Op basis van de herkomst is de achtergrondbelasting berekend als fractie van de totale belasting. Hierbij zijn de volgende bronnen beleidsmatig als achtergrond beschouwd:

- Het deel van de uit- en afspoeling uit landbouwgronden die niet komt door mestgiften, maar door kwel, atmosferische depositie, mineralisatie en uitloging en eerder geïnfiltreerd lokaal oppervlaktewater

- Uit en afspoeling uit natuurgronden
- Directe kwel vanuit het watervoerende pakket naar de waterlopen
- Emissies van watervogels
- Atmosferische depositie op open water
- Het emissiedeel van regenwaterriolen die bepaald wordt door instroom van rioolvreemd grondwater
- Het emissiedeel van inlaat Rijkswater waarvan met de recente regionale bronnenanalyse voor Overijssel en Fryslan globaal de achtergrondbelasting van het IJsselmeer is berekend.

Deze uitgangspunten zijn in meer detail beschreven in hoofdstuk 3 (tabel 3.1). met deze uitgangspunten is per toestroomgebied de achtergrondbelasting berekend voor het zomerhalfjaar- en jaargemiddelde situatie in de periode 2010-2016 en 2017-2022.

In het zomerhalfjaar is de achtergrondbelasting van stikstof over de periode 2017-2022 in de ZOF 84% (57% - 95%) en in de NOP 67% (66-68%). In de ZOF is de achtergrondbelasting van stikstof in de Tochten FGIK Zuid het laagst (57%), in de andere gebieden van de ZOF varieert deze van 72-95%.

Over de periode 2010-2016 wordt het aandeel achtergrondbelasting van stikstof een paar procent lager berekend. De verschillen met de jaargemiddelde achtergrondbelasting zijn ook gering, deze zijn in de meeste toestroomgebieden 4-6% lager dan het zomerhalfjaargemiddelde; in Tochten J en in de gebieden van de NOP ongeveer 9 % lager.

Hetzelfde patroon geldt ongeveer voor fosfor. In het zomerhalfjaar is de achtergrondbelasting van fosfor over de periode 2017-2022 in de ZOF 70% (49% - 91%) en in de NOP 52% (49-55%). In de ZOF is de achtergrondbelasting van fosfor relatief laag in de Tochten FGIK Zuid (49%) en Vaarten lage afdeling ZOF (58%), in de andere gebieden van de ZOF varieert deze van 66-91%. Ook voor fosfor zijn de verschillen met de andere periode (2010-2016) gering (minder dan 5%). De jaargemiddelde achtergrondbelasting van fosfor is in de meeste toestroomgebieden iets lager dan het zomerhalfjaargemiddelde (1 tot 11% lager); in enkele gebieden (Tochten hoge afdeling NOP, Vaarten NOP, Tochten DE Almere) is deze juist iets hoger (1 tot 4%).

De theoretische achtergrondgehalten zijn berekend door de gemiddeld gemeten concentraties in het oppervlaktewaterlichaam te vermenigvuldigen met het berekende percentage van de achtergrondbelasting. De achtergrondgehalten zijn met de zomerhalfjaargemiddelde concentraties voor beide perioden berekend op basis van de achtergrondbelasting die voor het zomerhalfjaar is berekend. Deze berekeningen zijn uitgevoerd per toestroomgebied.

Voor stikstof zijn alleen in Tochten J de berekende achtergrondgehalten uitgaande van de periode 2017-2022 hoger dan het huidige KRW-doel. In vier andere gebieden is de marge tussen het KRW-doel en het berekende achtergrondgehalte minder dan 25% (berekend als $(\text{KRW-doelgehalte} - \text{achtergrondgehalte}) / \text{KRW-doel}$). Dit zijn Tochten ABC2, Tochten DE Zuidlob, Tochten FGIK Noord en Tochten FGIK Zuid. Het beeld is nagenoeg hetzelfde als gekeken wordt naar de achtergrondgehalten die zijn berekend voor de periode 2010-2016. Wel is dan de marge tussen het KRW-doel en het achtergrondgehalte in de Vaarten hoge afdeling NOP ook minder dan 25%.

Voor fosfor zijn de berekende achtergrondgehalten uitgaande van de periode 2017-2022 in alle gebieden lager dan het KRW-doel. De marge tussen het KRW-doel en het berekende achtergrondgehalte is in enkele gebieden minder dan 25%. Dit zijn Tochten ABC1 en Tochten DE Zuidlob. Ook hier is het beeld nagenoeg hetzelfde als gekeken wordt naar de periode 2010-2016.

Technische aanpassing van de KRW-doel is aan de orde bij nieuwe technische inzichten, waaronder nieuwe inzichten in achtergrondconcentraties. De resultaten van deze studie worden benut voor de evaluatie en eventuele aanpassing van de KRW-doelen voor stikstof en fosfor. Aanbevolen wordt om daarbij rekening te houden met de onzekerheden van de achtergrondbelasting zoals die in deze studie in beeld zijn gebracht.

De analyse van de bijdrage van de bronnen van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater en daaruit af te leiden achtergrondbelasting wordt berekend met modellen. Resultaten van modelstudies gaan net zoals metingen altijd gepaard met onzekerheden. Met onderhoud en beheer van de modellen worden nieuwe kennis en inzichten verwerkt om de betrouwbaarheid van resultaten te vergroten en onzekerheden te verkleinen. In hoofdstuk 5 zijn aanbevelingen opgenomen voor opvolgende bronnenanalyses.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en probleemstelling

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) schrijft voor dat het oppervlaktewater in 2027 voldoende schoon en ecologisch gezond is. Om de fysisch-chemische toestand te beoordelen, zijn doelen vastgesteld voor stikstof en fosfor. In 2020 zijn voor de regionale oppervlaktewaterlichamen in het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland KRW-doelen voor stikstof en fosfor vastgesteld die rekening houden met de achtergrondbelasting zoals die voor de verschillende lijnvormige waterlichamen met een gedetailleerde water- en nutriëntenbalans berekend was voor de periode 2010-2017. Deze doelen zijn opgenomen in het derde Stroomgebied beheerplan (SGBP3) en wijken af van de doelen die eerder voor het SGBP 1 en 2 waren vastgesteld.

Omdat modellering van belasting en herkomst van de nutriënten gepaard gaat met onzekerheden en de nieuwe doelen in sommige KRW-waterlichamen vragen oproepen, hebben de Provincie Flevoland en Waterschap Zuiderzeeland aan het Nutriënten Management Instituut te Wageningen (NMI) en Wageningen Environmental Research (WEnR) gevraagd om voor de doelactualisatie voor SGBP4 het gebruikte modelinstrumentarium nog verder toe te spitsten op specifieke lokale omstandigheden, de nieuwe inzichten in de kwel te verwerken en daarmee de balansen, herkomst en achtergrondbelasting te berekenen voor een meer recente periode.

De onzekerheden in de eerdere bronnenanalyse hebben betrekking op de onderbouwing van de berekende bronverdeling van de nutriëntenbalansen en op de methode die het waterschap hanteert om op basis van de bronverdeling nieuwe normen af te leiden. Juist vanwege de mogelijke consequenties hiervan voor aanpalende beleidsontwikkelingen zoals het Nitraat Actieprogramma, het Nationaal Programma landelijk Gebied (NPLG), de KRW-midterm review en de opgaves voor het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer (of het Actieplan Bodem en Water) was het belangrijk om de bronnenanalyse op diverse punten te verbeteren. De belangrijkste verbeterpunten (Ros et al., 2022) hadden betrekking op het inbrengen van nieuwe inzichten rond ruimtelijke patronen van kwel, actuele inzichten rond bodemkwaliteit en daarmee samenhangende bemestingspraktijk, en nieuwe inzichten rondom de berekening van onzekerheid op de achtergrondbelasting.

1.2 Doel

Doel van dit onderzoek is om berekeningen van de herkomst van de nutriëntenbelasting na de oppervlaktewaterlichamen te actualiseren en daarbij de output van een verbeterde versie van het geohydrologische model AZURE te gebruiken om de kwel te kwantificeren. Het doel is verder om met de berekende herkomst de achtergrondbelasting en daarvan af te leiden theoretische achtergrondconcentraties af te leiden voor de lijnvormige wateren (tochten en vaarten) in Flevoland. Het doel is ook om de bandbreedte van onzekerheden rond de berekende achtergrondconcentratie in beeld te brengen.

1.3 Onderzoeksmethode

De bronnenanalyse is uitgevoerd met KRW-ECHO (Kroes et al., 2010). In deze methode wordt, in nauwe samenwerking met de waterschappen, een modelschematisering van het oppervlaktewater opgezet. Voor de toestroomgebieden 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. In de balansen wordt voor de verschillende bronnen onderscheid gemaakt in de belasting die beleidsmatig als achtergrondbelasting wordt beschouwd.

Voor de recente periode is gekozen voor de periode 2017 tot en met 2022. Dit sluit aan bij de landelijke bronnenanalyse die met KRW-ECHO voor het 8^e Nitraat Actieprogramma is uitgevoerd (Schipper et al, 2025). Informatie om de uit- en afspoeling voor recentere jaren te kwantificeren waren tijdens de uitvoering van het onderzoek nog niet beschikbaar. Om de bandbreedte van onzekerheden te verkennen, zijn de balansen ook opnieuw berekend voor de periode 2010-2016, zodat er twee perioden zijn om de achtergrondbelasting te kwantificeren.

De modelinput voor het berekenen van de balansen in KRW-ECHO bestaat uit de volgende onderdelen:

- Geografische grenzen toestroomgebieden
- Waterinlaat en waterverdeling
- Uit- en afspoeling landbouw- en natuurgronden
- Kwel die direct uittreedt naar tochten en vaarten (dit is als extra bron toegevoegd)
- RWZI's en AWZI (debieten en stofvrachten)
- Overige punt- en diffuse bronnen vanuit de database Emissieregistratie

Per toestroomgebied zijn de water-, stikstof- en fosforbalansen berekend en gevalideerd. De achtergrondbelasting van stikstof en fosfor is per toestroomgebied afgeleid als fractie van de totale belasting. De theoretische achtergrondgehalten zijn berekend door deze fracties te vermenigvuldigen met de gebiedsgemiddeld gemeten concentraties. Ten slotte is geanalyseerd in hoeverre onzekerheden in de herkomstberekening doorwerken in de berekende achtergrondgehalten.

1.4 Leeswijzer

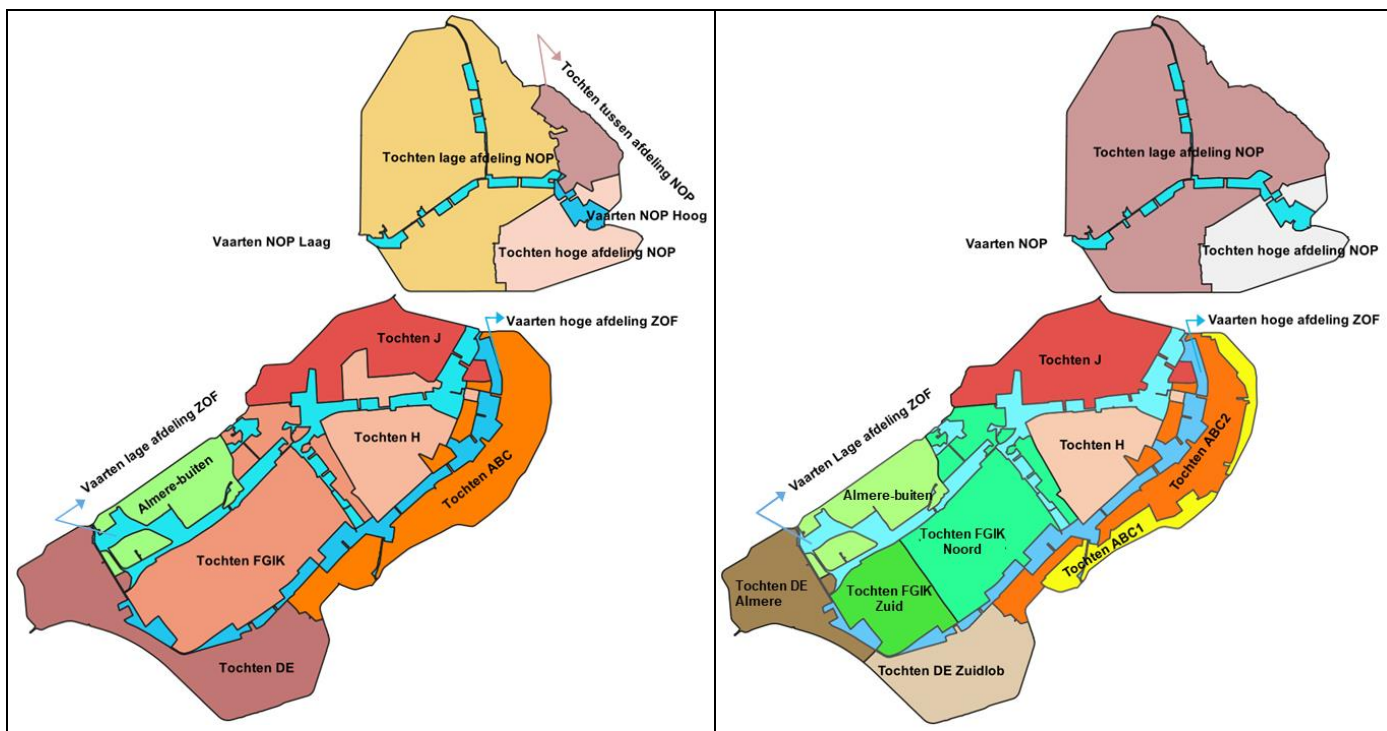
Hoofdstuk 2 beschrijft de modellering van de bronnenanalyse. De resultaten van de bronnenanalyse en hiervan afgeleide achtergrondbelasting en achtergrondgehalten worden beschreven in hoofdstuk 3. De resultaten worden geëvalueerd in hoofdstuk 4. In dit hoofdstuk wordt tevens de analyse van de bandbreedte van onzekerheden behandeld. De conclusies en aanbevelingen zijn geformuleerd in hoofdstuk 5.

In de bijlagen wordt nadere informatie gegeven over de schematisatie van het oppervlaktewater in toestroomgebieden (routing schema's), de kwel en wegzijging uit het grondwatermodel Azure, de gegevens over de inlaat van Rijkswater, de bronverdeling per toestroomgebied en de gemiddeld gemeten concentraties die zijn gebruikt om de theoretische achtergrondconcentraties te berekenen.

2 Modelling nutriëntenbelasting

2.1 Toestroomgebieden KRW-waterlichamen

De bronnenanalyse is gericht op de toestroomgebieden (ook wel aangeduid als vanggebieden) van de lijnvormige oppervlaktewateren die voor de KRW zijn aangewezen. In de voorgaande bronnenanalyse die voor de periode 2010-2017 was uitgevoerd (Schipper et al., 2020), was een indeling in 13 toestroomgebieden gehanteerd (zie figuur 2.1 links). Voor de nieuwe (in deze studie gehanteerde bronnenanalyse) is deze indeling in Zuidelijk en Oostelijk Flevoland verfijnd (zie figuur 2.1 rechts).



Figuur 2.1. Indeling in toestroomgebieden zoals gehanteerd in de vorige bronnenanalyse (Schipper et al., 2020, links) en in de onderhavige bronnenanalyse (rechts).

Om meer rekening te houden met de ruimtelijke variatie van de kwelconcentraties zijn toestroomgebieden van Tochten DE en Tochten FGJK opgesplitst. Verder is op aangeven van het waterschap het toestroomgebied van Tochten ABC gesplitst voor de twee inliggende waterlichamen (Tochten ABC1 en Tochten ABC2) en zijn de grenzen van toestroomgebied van Tochten H iets aangepast, hetgeen beter aansluit op de hydrologische situatie. In de Noordoostpolder zijn de Tochten lage en tussen afdeling samengevoegd, en zo ook de Vaarten NOP hoog en Vaarten NOP laag, omdat er (te) weinig informatie is over de uitwisseling van water naar de Tussenafdeling. Het afvoergebied van Vaarten NOP hoog is nu toegekend aan Tochten hoge afdeling NOP. De Voorstersluis en de inlaat Waterloopbos die uitkomen op Vaarten NOP hoog komen in de nieuwe schematisatie uit op Tochten hoge afdeling NOP. Water vanuit Tochten hoge afdeling NOP wordt afgevoerd naar Kadoelermeer, Tochten lage afdeling NOP en Vaarten NOP.

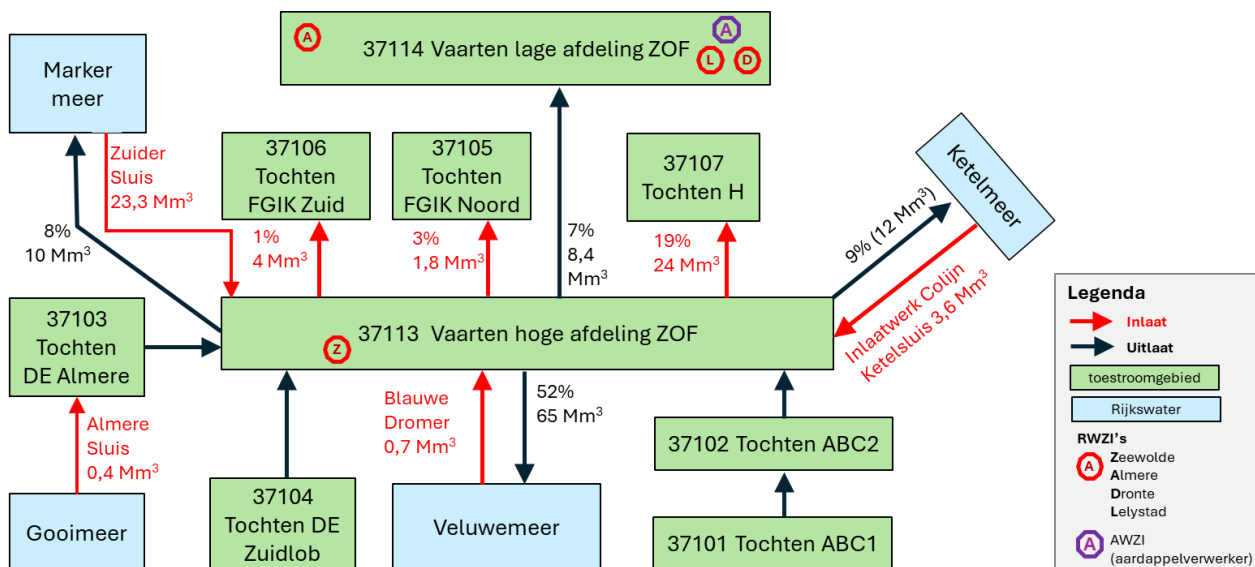
Het landgebruik van de toestroomgebieden is in tabel 2.1 weergegeven. Voor de berekeningen van de uit- en afspoeling is per jaar gerekend met de arealen zoals die in het LGN zijn opgenomen.

Tabel 2.1. Landgebruik zoals afgeleid uit het LGN (gemiddelde LGN 2017-2022)

ID	Naam toestroomgebied	Totaal	Landbouw	Natuur	Open water	Overig
37101	Tochten ABC1	4856	1131	3226	272	227
37102	Tochten ABC2	10455	8420	1506	147	382
37103	Tochten DE Almere	7610	1183	4170	792	1466
37104	Tochten DE Zuidlob	9648	3970	5009	224	444
37105	Tochten FGIK Noord	15325	10416	3449	483	976
37106	Tochten FGIK Zuid	6851	5562	969	94	226
37107	Tochten H	8226	7540	393	88	205
37108	Tochten J	12401	9210	2196	228	767
37109	Tochten lage afdeling NOP	36575	29925	4199	515	1937
37110	Almere-buiten	6971	131	4208	2097	534
37111	Tochten hoge afdeling NOP	8366	7034	867	108	356
37112	Vaarten NOP	3027	1529	1011	204	282
37113	Vaarten hoge afdeling ZOF/Hoge Vaart	6290	4289	1426	323	252
37114	Vaarten lage afdeling ZOF/Lage Vaart	8693	2929	4247	511	1006

2.2 Schematisering watersysteem

De schematisering van het oppervlaktewatersysteem is qua inlaat en watervdeling vastgelegd in een zogenoemd routingschema. Deze schema's zijn opgenomen in bijlage 1. De schematisering is opgesteld op basis van de meetreeksen van de water aan- en afvoer van de verschillende gemalen en andere kunstwerken die het waterschap heeft aangeleverd. De routingschema's zijn opgesteld voor het zomerhalfjaar en winterhalfjaar gemiddelde over de periode 2017 tot en met 2022. Figuur 2.2 geeft als voorbeeld voor het routingschema de aan- en afvoersituatie van de Vaarten hoge afdeling ZOF.



Figuur 2.2. Routingschema oppervlaktewatersysteem in het zomerhalfjaar 2017-2022; de wateraanvoer (inlaat) naar Vaarten hoge afdeling ZOF en de waterafvoer (uitlaat) vanuit de Vaarten hoge afdeling ZOF

Vanuit de randmeren wordt met het schutten van sluisen water ingelaten naar de Vaarten hoge afdeling ZOF. Deze hoeveelheden (m³) zijn als inlaat Rijkswater opgenomen als modelinput. De Tochten DE Almere en DE Zuidlob en Tochten ABC1 en ABC2 wateren af op de Vaarten hoge afdeling ZOF. Vanuit de Vaarten hoge afdeling wordt het water afgevoerd naar Tochten FGIK Noord en Zuid, Tochten H, Vaarten lage afdeling ZOF, Ketelmeer en Markermeer volgens de verdeling (percentages) die hierbij zijn aangegeven. Deze inlaat vanuit de Rijkswateren en de percentages voor de verdeling van de afvoer zijn afgeleid van de

meetgegevens die het waterschap voor het onderzoek gebundeld in Excel (waterbalans2017tm2022.xlsx) heeft aangeleverd. Verder zijn in het schema de RWZI's en AWZI weergegeven.

Voor de periode 2010-2016 is eenzelfde routingschema opgesteld. De wateraanvoer en verdeling van de afvoer is afgeleid van de waterbalansen die in de voorgaande bronnenanalyse (Schipper et al., 2020) voor deze jaren zijn berekend. Voor die periode waren er minder uitwisselpunten met debietmetingen en voor diverse waterinlaatpunten waren meetreeksen alleen vanaf 2015 beschikbaar. In die gevallen zijn de inlaathoeveelheden voor de jaren 2010-2014 ingeschat op basis van de meetreeksen die voor de jaren 2015-2017 beschikbaar waren.

2.3 Overzicht modelinput KRW-ECHO

Met KRW-ECHO is de nutriëntenbelasting door de verschillende punt- en diffuse bronnen inclusief de inlaat van gebiedsvreemd (rijks)water berekend. Tabel 2.2 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.

Tabel 2.2 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 Pwn2005_25m - Kwel/wegzijing operationeel geohydrologisch 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.
Overige bronnen: glastuinbouw, erfafspoeling, meemesten sloten, industrie & bedrijven, depositie open water, riool overstorten, 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 Rijkswater	Hydrologische informatie (debieten en concentraties nutriënten) van het waterschap en aanvullende informatie over gemeten concentraties van het Waterkwaliteitsportaal.
Retentie	- Bodemtypekaart Nederland versie Pwn2005_25m - Type belasting (punt, diffuus, inlaat, afwenteling bovenstrooms) - Afstand RWZI-lozing tot uitstroompunt - Areaal open water

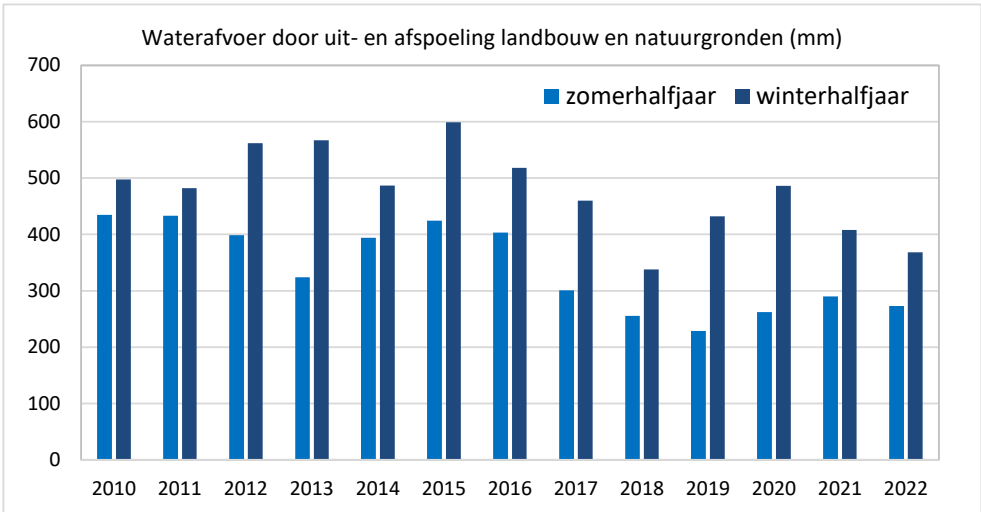
2.4 Uit- en afspoeling landbouw- en natuurgronden

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. Ook is de kwel/wegzijing als kenmerk toegevoegd. Dit op basis van de jaargemiddelde kwel/wegzijing die is berekend met het operationele geohydrologisch model AZURE van Zuiderzeeland. Deze informatie (modeloutput) is aangeleverd door Sweco (Van der Hauw, 2024). In bijlage 2 is de kaart met de kwel/wegzijing naar de deklaag die met AZURE is berekend weergegeven. Deze kwel/wegzijing is voor het selecteren van de rekenplots geschaald naar 5 klassen (intermediair, kwel, sterke kwel, infiltratie, sterke infiltratie).

Per gridcel zijn één of meerdere rekeneenheden van het landelijke model gekoppeld met overeenkomende kenmerken (landgebruik, bodemtype, grondwatertrap, klasse kwel/wegzijing). Elke cel van het rekengrid is toegekend aan een toestroomgebied. Per rekencel is de uit- en afspoeling afgeleid uit de gekoppelde rekeneenheden van het landelijke model. Vervolgens zijn deze waarden gemiddeld per toestroomgebied.

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. De berekende waterafvoer door uit- en afspoeling (drainage afvoer) uit landbouw- en natuurgronden is weergegeven in figuur 2.4. Voor de interpretatie zijn ook de jaren van 2010-2016 hierin weergegeven. Uit de figuur komen duidelijk de relatief droge jaren met geringe drainageafvoeren naar, met name in het zomerhalfjaar.



Figuur 2.3. Waterafvoer door uit- en afspoeling vanuit landbouw en natuurgronden, uitgedrukt in mm. Hierbij zijn de afvoerdebieten gedeeld door het totaalareaal landbouw- en natuurgronden.

De berekende uit- en afspoeling van stikstof en fosfor is weergegeven in tabel 2.3.

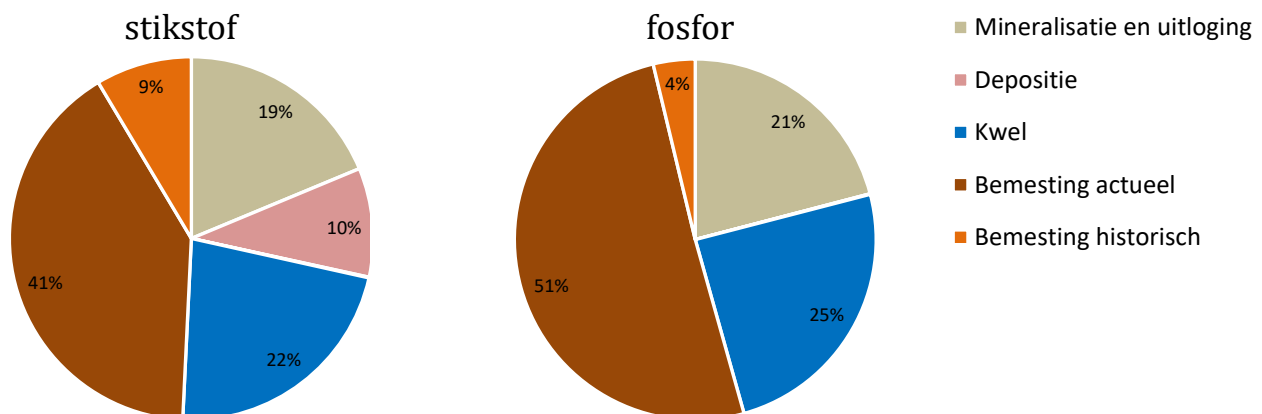
Tabel 2.3. Uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater, zomerhalfjaar (april – september) en jaargemiddeld uit alle landbouw- en natuurgronden in de periode 2010-2016 en 2017-2022.

	Landbouwgronden		Natuurgronden	
	stikstof (ton)	fosfor (ton)	stikstof (ton)	fosfor (ton)
Zomerhalfjaar 2010-2016	576	30	44	2
winterhalfjaar 2010-2016	1484	68	207	8
Jaargemiddeld 2010-2016	2060	98	251	10
Zomerhalfjaar 2017-2022	376	17	28	2
winterhalfjaar 2017-2022	1824	69	237	8
Jaargemiddeld 2017-2022	2200	86	265	10

Jaargemiddeld is de berekende belasting door uit- en afspoeling van landbouwgronden 2 à 2,2 miljoen kg stikstof en 0,9 à 1 miljoen kg fosfor. De uit- en afspoeling in het winterhalfjaar heeft hierin een zeer grote bijdrage, vooral in de periode 2017-2022 (circa 80%). 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.

2.5 Herkomst uit- en afspoeling landbouw

In de voorgaande bronnenanalyse (Schipper et al., 2020) werden verschillende bronnen onderscheiden voor de uit- en afspoeling, namelijk actuele en historische mestgiften, atmosferische depositie, kwel, (semi)natuurlijke mineralisatie en uitloging, en eerder geïnfilterd lokaal oppervlaktewater. Deze verdeling 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 landelijke bronnenanalyse die voor de evaluatie van het concept 8^e Nitraat Actie Programma is uitgevoerd (Schipper et al., 2025), 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. Deze verdeling is voor alle rekenplots berekend. Met de rekenplots die in deze studie voor de toestroomgebieden van Zuiderzeeland zijn gebruikt, is per toestroomgebied de verdeling berekend. De totale verdeling voor Zuiderzeeland is weergegeven in Figuur 2.4.



Figuur 2.4. Herkomst uit- en afspoeling uit landbouwgronden, verdeeld over de verschillende bodembronnen, berekend voor de periode 2013 tot en met 2022.

De bijdrage van bemesting aan de uit- en afspoeling is voor zowel stikstof als fosfor ongeveer de helft en de kwel een kwart van de uit- en afspoeling uit landbouwgronden. Mineralisatie en uitloging draagt ongeveer 20% bij aan de uit- en afspoeling. Atmosferische depositie is alleen relevant voor stikstof en levert een bijdrage van 10%.

2.6 De bemestingspraktijk

De nutriëntenbalans voor wat betreft de aanvoer van stikstof en fosfaat via bemesting en de afvoer via gewasopname is gebaseerd op berekeningen met INITIATOR. Het model maakt gebruik van gedetailleerde ruimtelijke gegevens die afkomstig zijn uit nationale GIS-datasets zoals de geografisch expliciete landbouwtellinggegevens, met het aantal dieren per bedrijf (GIAB; Van Os & Kros, 2022). Belangrijke variabelen zijn: het bedrijfstype, de bedrijfsomvang, arealen per gewas en dieraantallen per diergroep. Vanaf 2011 is ook de verdeling van dieren over de nevenvestigingen en de ligging daarvan in beeld gebracht. Door deze koppeling is het mogelijk om op een hoge ruimtelijke resolutie de N- en P-excretie, stal- en

opslagmissies, mest- en kunstmestverdeling, bodememissie, uit- en afspoeling en N-depositie te berekenen. Op basis van de gewasarealen en de bodemtoestand wordt de plaatsingsruimte bepaald. Dit is gebeurd op basis van de geldende N- en P-normen voor het jaar 2021. Een uitgebreide modelbeschrijving is te vinden bij de Vries et al. (2023). Het modelinstrumentarium gaat er van uit dat alle bemesting wordt toegediend volgens de richtlijnen van de Goede Landbouwpraktijk, dat wil zeggen dat alle stikstof op het juiste moment, in de juiste vorm, in de juiste hoeveelheid en op de juiste plaats wordt toegediend.

Voor stikstof is de bemestingsruimte vooral afhankelijk van derogatiestatus, gewas- en bodemtype. Wanneer derogatie van toepassing is mag de hoeveelheid N uit dierlijke mest verhoogd worden van 170 kg N ha⁻¹ naar 230 á 250 kg N ha⁻¹, een situatie die tussen 2023 en 2026 echter wordt afgebouwd omdat de derogatie is ingetrokken. De totale toegestane hoeveelheid werkzaam stikstof (dierlijke mest wordt hierin gecorrigeerd voor de werkzame N) is afhankelijk van het gewas en het bodemtype. Voor fosfaat is de plaatsingsruimte afhankelijk van de P-toestand van de bodem. De vorm (dierlijk/kunstmest) is afhankelijk van de derogatiestatus van bedrijven en de beschikbaarheid van dierlijke mest.

De overschotten van stikstof en fosfaat in de bodem zijn berekend door het verschil te nemen tussen de aanvoer (via dierlijke/ kunstmest en compost) en de opname van het gewas. Deze overschotten dragen voor een deel bij aan de opbouw van stikstof in de bodem omdat een deel van de stikstof in dierlijke mest in organische vorm aanwezig is en minder reactief is dan kunstmest. Deze organische stikstof kan later via afbraak door het bodemleven weer beschikbaar komen voor gewasopname of deels verloren gaan via uitspoeling en emissies.

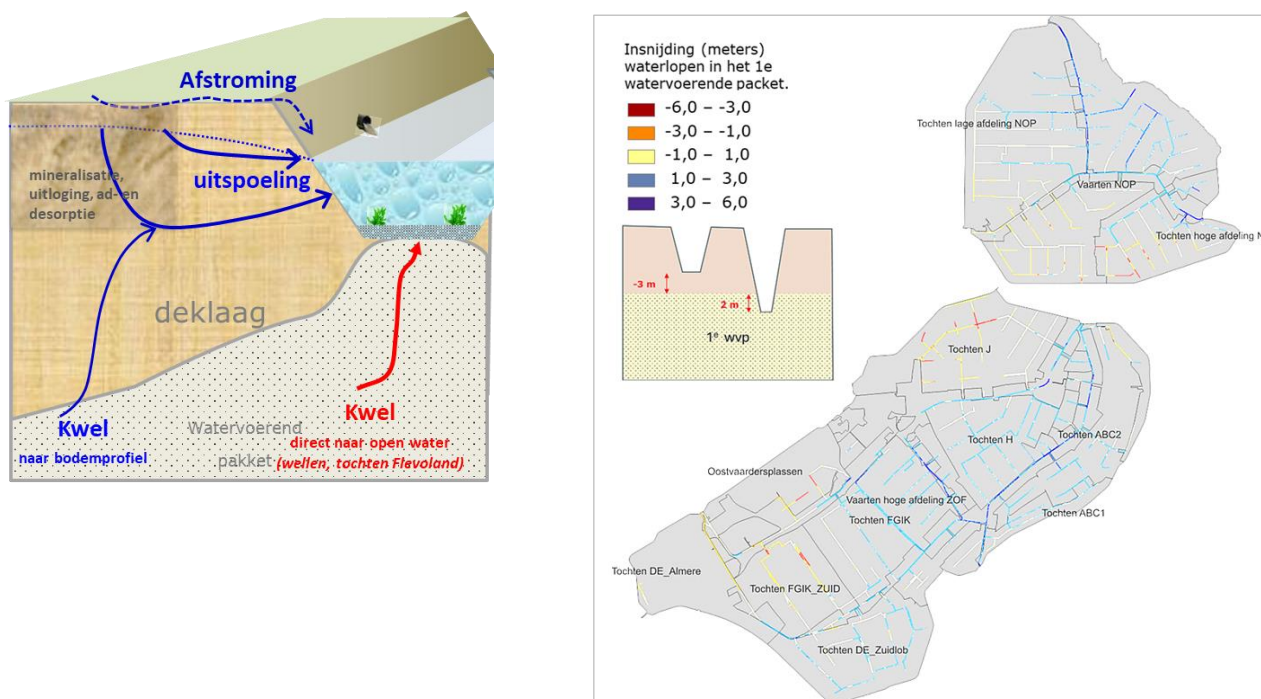
De totale aanvoer van stikstof op bouwlandpercelen in de Noordoostpolder is gemiddeld 221 kg N ha⁻¹, waarvan 62 kg N ha⁻¹ wordt toegediend als stikstof, 13 kg N ha⁻¹ als compost, en 146 kg N ha⁻¹ als dierlijke mest. Voor fosfaat wordt op bouwland 31 kg P ha⁻¹ bemest, waarvan 6 kg P ha⁻¹ als kunstmest en 4 kg P ha⁻¹ als compost. Voor de melkveehouderij (met landgebruik gras en mais) is de aanvoer van zowel N als P hoger dan op bouwland. In de Noordoostpolder is de gemiddelde aanvoer gelijk aan 348 kg N en 35 kg P ha⁻¹ per jaar, waarvan 206 kg N ha⁻¹ en 28 kg P ha⁻¹ wordt aangevoerd via dierlijke mest. De gemiddelde bemestingspraktijk in de Noordoostpolder is vergelijkbaar met de bemesting in de rest van Flevoland (Tabel 2.x).

Tabel 2.4. Aangevoerde bemesting voor stikstof en fosfor, gemiddeld per type landgebruik en Flevolandse regio, zoals gebruikt in de bronnenanalyse.

Aanvoerbron	NOP		Rest Flevoland	
	N	P	N	P
Akkerbouw	221	31	223	39
Dierlijke mest	146	21	148	21
Kunstmest	62	5.9	64	14
Compost	13	4.2	11	3.9
Melkveehouderij	348	35	342	37
Dierlijke mest	206	28	202	27
Kunstmest	137	5.7	134	8
Compost	5.4	1.6	5.7	2.0

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 worden niet in de berekening van de uitspoeling meegenomen. Het verschil tussen deze routes is schematisch weergegeven in Figuur 2.5 (links).



Figuur 2.5. 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). Rechts is de afstand weergegeven 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.

In voorgaande studies (Schipper et al., 2020; 2022) is 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. Het geohydrologische model AZURE is in 2024 zodanig verder ontwikkeld, dat hiermee de directe kwel apart van de kwel naar de deklaag kan worden berekend. Dit is in opdracht van het waterschap voor de bronnenanalyse uitgevoerd door Sweco (Van der Hauw, 2024). Figuur 2.5 geeft een ruimtelijk beeld van de mate waarin de tochten geheel of bijna insnijden in het watervoerende pakket. Uit deze figuur kan worden afgeleid dat directe kwel vooral optreedt in het noordoostelijk deel van de Noordoostpolder en centrale en oostelijke delen van Zuidelijk en Oostelijk Flevoland.

De stikstof- en fosforvruchten door directe kwel en wellen zijn als afzonderlijke bron berekend door de fluxen die met het model AZURE zijn berekend 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). De berekende nutriëntenbelasting door directe kwel is weergegeven in Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Waterafvoer, stikstof- en fosfor belasting oppervlaktewater door directe kwel.

tabel 2.4	waterafvoer (mm)	stikstof (ton)	fosfor (ton)
Noordoostpolder	88	233	8
Zuidelijk en Oostelijk Flevoland	102	908	18

De directe kwel kan vanuit het model AZURE alleen berekend worden voor het langjarig gemiddelde en is voor de gehele periode (2010-2022) gelijk. Uit het resultaat blijkt dat de directe kwel qua orde van grootte gelijk is aan de uit- en afspoeling en dus een belangrijk aandeel heeft in de belasting, vooral in het zomerhalfjaar. Ook levert het een significante bijdrage aan de waterafvoer, vooral in het zomerhalfjaar.

2.8 Effluenten RWZI's

Waterschap Zuiderzeeland heeft vijf RWZI's die lozen op de provinciale hoofdvaarten in de Noordoostpolder en Zuidelijk en Oostelijk Flevoland. Op basis van de geregistreerde dagdebieten van het effluent en de concentraties die daarin frequent (2-3 x per maand) worden gemeten, is de nutriëntenbelasting berekend. Daar waar data ontbraken, is dit aangevuld, ervan uitgaande dat de RWZI's iedere dag hebben geloosd. De berekende vrachten van de RWZI's zijn weergegeven in tabel 2.5. De gemiddelde effluentconcentraties over de periode 2017-2022 zijn weergegeven in Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Nutriëntenbelasting RWZI's gemiddeld over de periode 2010-2016 en 2017-2022

Effluent lozing		stikstof (ton/jaar)		Fosfor (ton/jaar)	
		2010-2016	2017-2022	2010-2016	2017-2022
Almere	Vaarten lage afdeling ZOF	71	76	8	8
Dronten	Vaarten lage afdeling ZOF	32	27	3	3
Lelystad	Vaarten lage afdeling ZOF	23	20	3	2
Tollebeek	Vaarten NOP	48	57	6	7
Zeewolde	Vaarten hoge afdeling ZOF	10	10	1	1

Tabel 2.6 Gemiddelde effluentconcentraties RWZI's over de periode 2017-2022

Effluent concentraties 2017-2022		
RWZI	stikstof (mgN/l)	fosfor (mgP/l)
Almere	6.3	0.7
Dronten	9.4	1.0
Lelystad	4.2	0.4
Tollebeek	8.2	1.0
Zeewolde	6.0	0.5

In totaal lozen de vijf RWZI's ongeveer 190 ton stikstof en 21 ton fosfor per jaar. De stikstofvrachten zijn in het winterhalfjaar duidelijk hoger (gemiddeld 30%) dan in het zomerhalfjaar, de fosforvrachten zijn juist iets kleiner (gemiddeld 11%) in de zomer. De effluentconcentraties variëren over de RWZI's; voor stikstof van 4,2 tot 9,4 mgN/l en voor fosfor van 0,4 tot 1,0 mgP/l. Op de Vaarten lage afdeling wordt ook gezuiverd afvalwater geloosd van een aardappelverwerker (AWZI McCain). De nutriëntenbelasting van deze AWZI is gering (1 - 2%) ten opzichte van de nutriëntenbelasting van de RWZI's die op deze Vaarten lozen.

Naast deze RWZI's is in de Noordoostpolder ook invloed van de RWZI's die lozen op de Rijkswateren dat ingelaten wordt. Dat zijn met name de RWZI's van Heerenveen, Gorredijk en Wolvega.

2.9 Inlaat Rijkswater

Zowel in de NOP als de ZOF wordt op veel plaatsen water vanuit de randmeren en het IJsselmeer ingelaten. Het Waterschap Zuiderzeeland heeft vanaf 2015 de monitoring van het inlaatwater uitgebreid, zodat beter inzicht wordt verkregen in de hoeveelheden inlaatwater. In bijlage 3 zijn de inlaatwerken en bijhorende meetresultaten opgenomen waarmee de debieten, de gemiddelde concentraties en daarvan afgeleide stofvrachten zijn berekend voor het zomer- en winterhalfjaar. 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. De berekende hoeveelheden inlaatwater en bijhorende stofvrachten zijn op polderniveau samengevat in tabel 2.6. In totaal in de periode 2017-2022 ongeveer 108 miljoen m³ Rijkswater per jaar ingelaten. In het winterhalfjaar is dat gemiddeld ongeveer 29 miljoen m³. Voor 2010-2016 zijn de hoeveelheden inlaatwater overgenomen uit de voorgaande bronnenanalyse (Schipper et al., 2020). Deze hoeveelheden in die periode zijn minder goed bekend omdat in die periode (veel) minder metingen beschikbaar waren.

Tabel 2.6. Inlaat Rijkswater, debieten en stofvrachten zomer- en winterhalfjaar 2010-2016 en 2017-2022.

Toestroomgebied	2010-2016			2017-2022		
	debiet (Mm3)	vracht N (ton)	vracht P (ton)	debiet (Mm3)	vracht N (ton)	vracht P (ton)
totaal inlaat NOP zomerhalfjaar	100	242	7.8	81	160	4.4
totaal inlaat ZOF zomerhalfjaar	27	58	3.0	37	44	0.9
totaal inlaat NOP winterhalfjaar	39	147	3.2	21	66	1.9
totaal inlaat ZOF winterhalfjaar	8	21	1.0	8	11	0.3

2.10 Overige punt- en diffuse bronnen

De overige punt- en diffuse bronnen zijn ontleend aan Emissieregistratie (ER¹). 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 2.7 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 's, inlaat Rijkswater in Tabel 2.7 opgenomen.

Tabel 2.7. Stikstof- en fosforbelasting, jaargemiddeld 2010-2016 en 2017-2022 in de toestroomgebieden van de regionale oppervlaktewateren van Zuiderzeeland door punt- en diffuse bronnen en inlaat Rijkswater.

Bronnen	2016-2016		2017-2022		Informatiebronnen
	Stikstof (ton)	Fosfor (ton)	Stikstof (ton)	Fosfor (ton)	
Erf afspoeling	13	4	9	3	Emissieregistratie (uitgifte januari 2025)
Glastuinbouw	15	2	11	1	
Meemesten sloten	50	2	45	1	
Industrie en bedrijven	1	0.2	3	0.0	
Depositie open water	152	0	171	0	
Riool overstorten	2	0.2	3	0.5	
Regen waterriolen	96	11	143	23	
Watervogels	12	5	8	3	
Binnen- en recreatievaart	3	1	3	0.5	
IBA's en overige diffuse	9	2	5	1	
Uit- en afspoeling landbouw	2060	98	2200	86	Berekend met SWAP-ANIMO
Uit- en afspoeling natuur	251	10	265	10	
RWZI's	184	20	191	21	Z-INFO meetreeksen
Directe kwel	2282	52	2282	52	AZURE en kwaliteit grondwater 5-15 m-mv
Inlaat Rijkswater	401	13	281	7	Meetreeksen waterschap
Totaal	5532	219	5618	210	

¹ <https://www.emissieregistratie.nl/documentatie/water-documenten>

Uit Tabel 2.7 komt naar voren dat de uit- en afspoeling uit landbouwgronden en de directe kwel de belangrijkste bronnen zijn van zowel de stikstof- als de fosforbelasting van het regionale oppervlaktewater. Andere bronnen met een belangrijke bijdrage zijn regenwaterriolen, RWZI's, inlaat Rijkswater en uitspoeling uit natuurgronden.

2.11 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 samengevat weergegeven in het Figuur 2.6. Deze methode is ook toegepast in de voorgaande bronnenanalyse van Zuiderzeeland (Schipper et al., 2020).

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
	max90%				max90%			
RWZI's	$Retentie_{RWZI} = 20\% \times \frac{afstand\ RWZI\ tot\ uitstroompunt}{Lengte\ waterlichaam}$							
afwenteling, toestroom buitenland, inlaat rijkswater	20%				20%			

Figuur 2.6. Overzicht van de berekeningswijze van de retentie.

Voor alle toestroomgebieden is de rekenwijze van polders aangehouden. Dat geeft voor stikstof een retentie die afhankelijk is van het areaal open water, terwijl voor fosfor steeds 50% retentie wordt aangehouden. Voor de RWZI's is maximaal 20% retentie aangehouden. Dit percentage is naar beneden bijgesteld op basis van de locatie van de effluentlozing ten opzichte van het uitstroompunt. Voor inlaat Rijkswater is 20% retentie aangehouden. De totale retentie komt voor stikstof uit op circa 16% in het zomerhalfjaar en 10% op jaarbasis. Voor fosfor is een retentie berekend van ongeveer 30% (zomerhalfjaar en jaargemiddeld).

2.12 Modelvalidatie

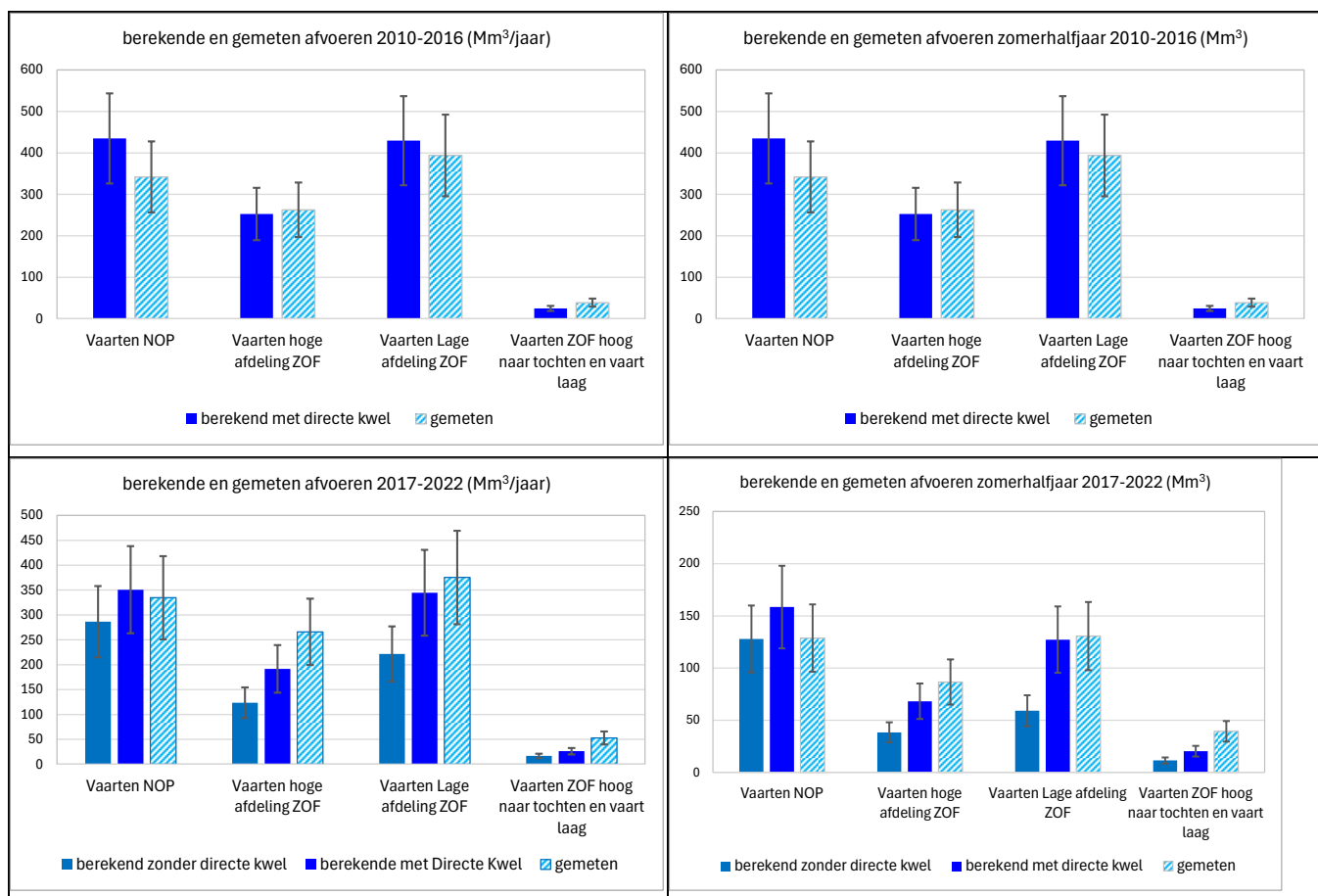
De berekende uitgaande debieten en nutriënten vrachten (som inkomende vrachten minus retentie) zijn voor de validatie vergeleken met de beschikbare metingen van het waterschap (debieten en uit metingen afgeleide vrachten). De uit metingen afgeleide uitgaande vracht is bepaald door de hoeveelheid uitgeslagen water (zoals gemeten bij de gemalen) te vermenigvuldigen met de gemeten nutriëntenconcentraties van dit uitslagwater. Met de beschikbare meetgegevens is de validatie uitgevoerd voor de drie provinciale hoofdvaarten. De volgende meetlocaties zijn bij de validatie gebruikt:

- Vaarten hoge afdeling ZOF naar Markermeer, Veluwemeer en Ketelmeer: Gemalen Colijn hoog, Lovink en De Blocq van Kuffeler Hoog
- Vaarten lage afdeling ZOF naar Markermeer en Ketelmeer: Gemalen Colijn Laag, Wortman en De Blocq van Kuffeler Laag
- Vaarten NOP naar Kadoelermeer en IJsselmeer: Gemaal Buma en Gemaal Vissering

- Vaarten hoge afdeling ZOF naar Vaarten lage afdeling ZOF: Vaartsluis, Hevel Govert Flinckstraat, Stuwput Gruttotocht, aflaatwerk Bloesemtocht, Stuwput Hoge Knartocht, Larservaartsluisen de aflaatwerken Hoekwanttocht, Kubbetocht, Zijdenettentocht, Swifertocht, Ansjovistocht, Palingtocht en Hanzetocht en tenslotte de Kampersluis.

Validatie hydrologie (waterafvoeren)

Als eerste indicatie voor de plausibiliteit zijn in figuur 2.7 de berekende waterafvoeren vergeleken met de uit metingen afgeleide afvoerdebieten, zowel jaargemiddeld als voor het zomerhalfjaar. Ter vergelijking is voor de periode 2017-2022 ook een berekening uitgevoerd waarbij de directe kwel niet is meegenomen. Dit omdat de rekenwijze nieuw is en deze bron in voorgaande bronnenanalyses niet is meegenomen.



Figuur 2.7 Vergelijking berekende en uit metingen afgeleide debieten (miljoen m³, jaargemiddeld (links) en zomerhalfjaar (rechts) over de periode 2010-2016 (boven) en 2010-2017 (onder).

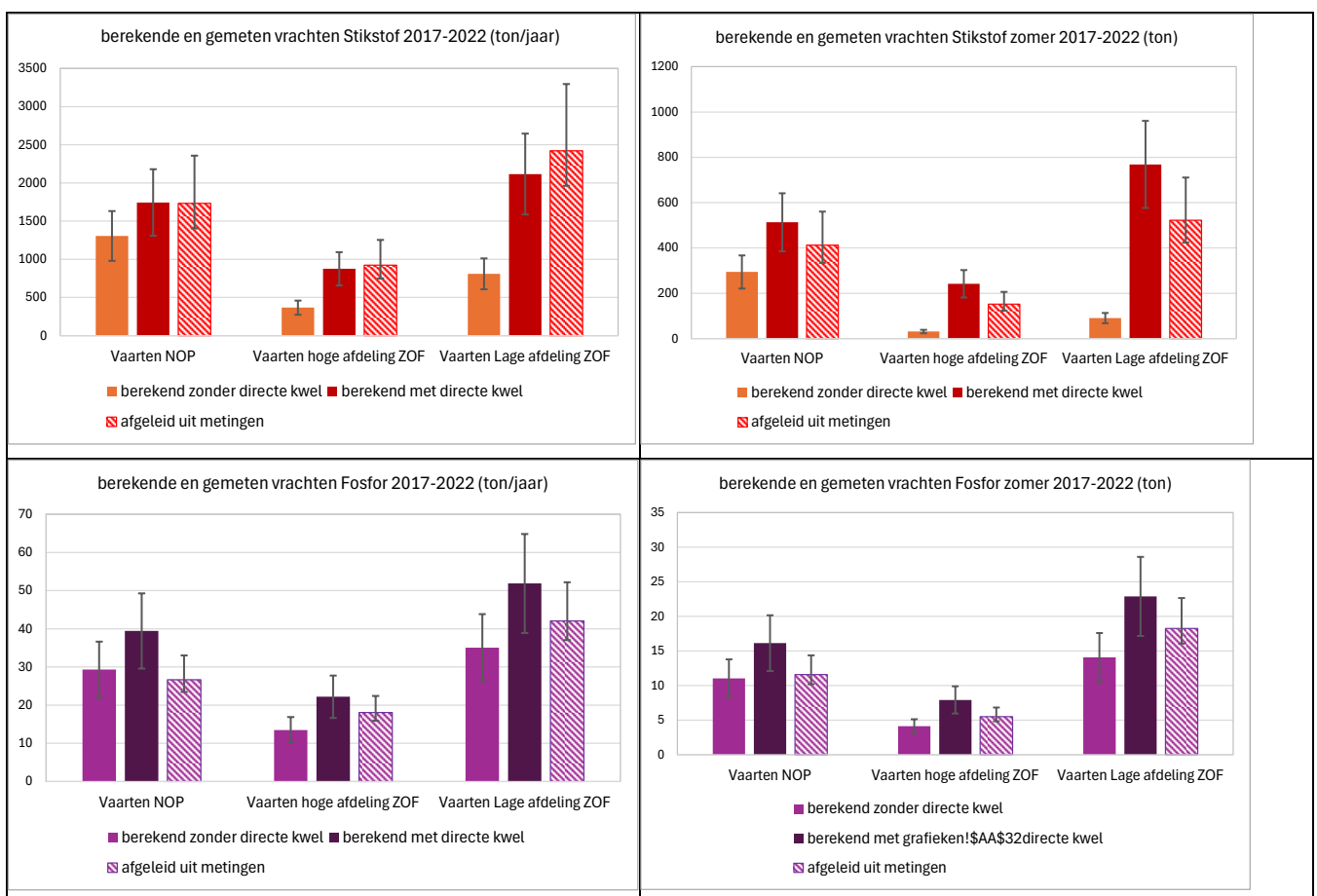
Bij de interpretatie moet er rekening mee worden gehouden dat de meetreeksen voor de debieten vaak incompleet zijn en dat het afleiden van debieten gepaard gaat met onzekerheden. Voor beide reeksen (metingen en modelberekening) is in de figuren op basis van de literatuur (Mulder et al., 2011) een onzekerheidsmarge aangegeven van 25%. Uit de vergelijking kan geconcludeerd worden dat qua ordegrrootte de berekende debieten vrij goed aansluiten bij de uit metingen afgeleide debieten als directe kwel wordt meegenomen. Als deze bron niet wordt meegenomen, worden de waterafvoeren van de Vaarten hoge en lage afdeling ZOF veel te laag berekend. In de voorgaande bronanalyse (Schipper et al., 2020) is de kwel naar open water indicatief berekend op basis van het open water oppervlak en de kwelflux die gemiddeld in de vanggebieden is berekend. Deze indicatieve berekening kwam toen jaargemiddeld voor alle vaarten en tochten uit op 16 miljoen m³, terwijl de directe kwel nu uitkomt op 250 miljoen m³. De hoeveelheden directe kwel in de voorgaande bronanalyse waren dus veel lager dan de kwel zoals die nu met het Azure model is berekend. De validatie op de debieten waarbij directe kwel wordt meegenomen geeft vertrouwen in de hydrologische component van het model.

Validatie stikstof- en fosforbelansen

Voor dezelfde afvoer van de provinciale hoofdvaarten naar het buitenwater zijn de berekende uitgaande stikstof- en fosforvrachten vergeleken met de uit metingen afgeleide vrachten. Daarbij wordt de met KRW-ECHO berekende belasting in het vanggebied verminderd met de berekende bronspecifieke retentie. Deze nettobelasting wordt dan vergeleken met de stofvrachten die kunnen worden afgeleid op basis van de gemeten debieten en het nabijgelegen representatieve meetpunt voor de waterkwaliteit.

De vergelijking van de berekende nutriëntenvrachten met de uit metingen afgeleide vrachten wordt weergegeven in figuur 2.8. Iedere bron heeft een eigen onzekerheidsmarge. Uit onderzoek van Van Boekel (2011) volgt dat als deze tezamen worden genomen, de onzekerheidsmarge 25% is voor de berekende netto uitgaande belasting van zowel stikstof als fosfor. Uit onderzoek van Rozemeijer (2015) komt naar voren dat als jaarlijkse stofvrachten worden afgeleid uit maandelijkse metingen, deze ten opzichte van tweewekelijkse metingen voor N-totaal een afwijking hebben van -36% tot +19% en voor P-totaal een afwijking van -24% tot +12%. Deze waarden zijn in de figuur als onzekerheidsmarges weergegeven.

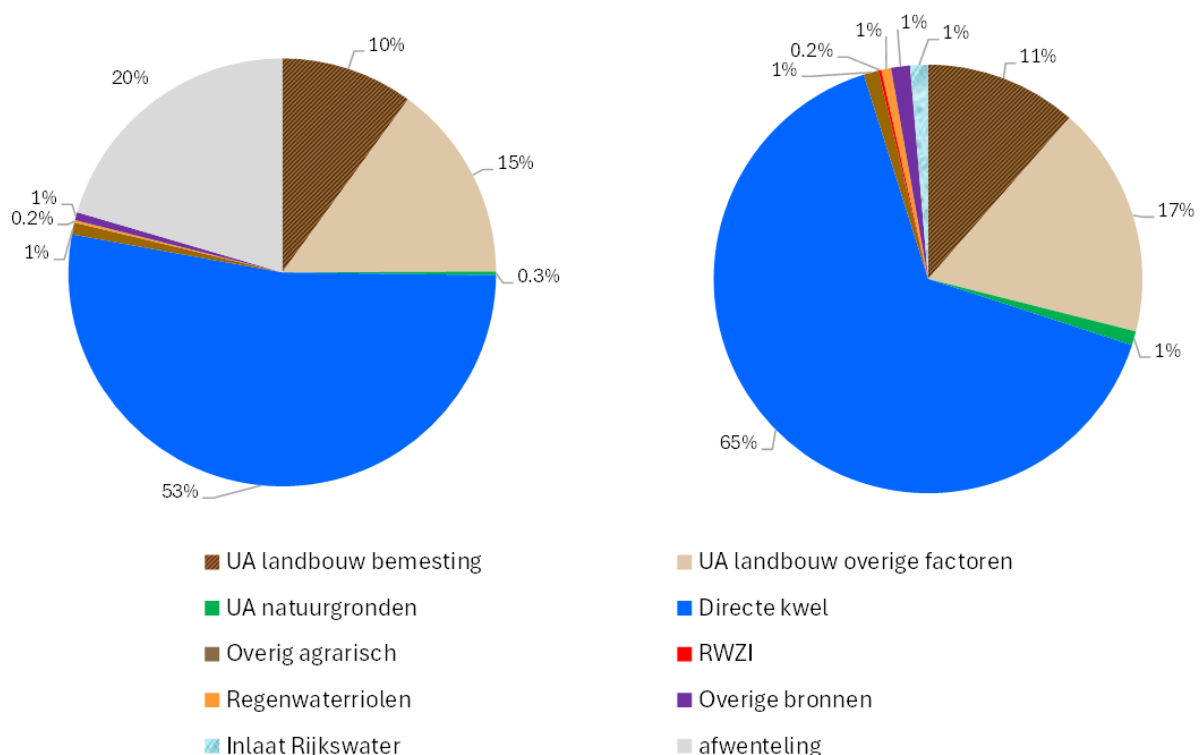
Uit figuur 2.8 blijkt dat de verschillen tussen de berekende en uit metingen afgeleide stikstofbalansen vallen binnen de bandbreedtes van de onzekerheidsmarges als de directe kwel wordt meegerekend. Voor fosfor is het resultaat van de validatie minder duidelijk omdat de berekende fosforvracht zonder directe kwel wordt onderschat en met directe kwel overschat. Het is echter aannemelijk dat de overschatting voornamelijk te maken heeft met de retentie, omdat deze waarschijnlijk onderschat wordt doordat fosfaat bij het uit treden van kwel sterk wordt gebonden aan ijzer. IJzer is namelijk aanwezig in het kwelwater en bij uit treden slaat dat neer als ijzerhydroxides en het fosfaat in de kwel co-precipiteert dan aan deze ijzerhydroxides. Omdat ook de validatie van de waterbalansen vertrouwen geeft in de hydrologische component van de modelberekeningen, kan geconcludeerd worden dat de met het model berekende balansen waarbij directe kwel wordt meegenomen voldoende plausibel zijn om de belasting en herkomstverdeling te bepalen.



Figuur 2.8 Vergelijking tussen uit metingen afgeleide stikstofvrachten (boven) en fosforvrachten (onder) en de met KRW-ECHO berekende netto uitgaande vrachten jaargemiddeld (links) en zomerhalfjaar (rechts).

2.13 Nutriëntenbalansen

Per toestroomgebied is de totale belasting en bronverdeling van stikstof en fosfor berekend. De totale belasting is de som van alle bronnen in het toestroomgebied, de inlaat van Rijkswater en daarbij ook de belasting van het water dat van bovenstroomse gebieden op het gebied wordt afgewenteld. Deze afgwenteling is transparant in de routingschema's aangegeven. In het model worden de bronnen in deze afgwenteling gelabeld, zodat voor de totale belasting de bijdrage van alle afzonderlijke bronnen berekend kan worden. Hierin zijn de bronnen van het water dat op het gebied wordt afgewenteld verdisconteerd in de balans. Dit principe wordt verduidelijkt in figuur 2.9. Hierin is de jaargemiddelde bronverdeling van stikstof in de periode 2017-2022 weergegeven voor Tochten H. De belasting in Tochten H wordt bepaald door de interne bronnen en het water dat toestroomt vanuit Vaarten hoge afdeling ZOF. Links is in de figuur de interne bronverdeling weergegeven waarbij de toestroom vanuit Vaarten hoge afdeling ZOF is weergegeven als "afwenteling". Rechts is in de figuur de totale bronverdeling weergegeven waarin deze afgwenteling is uitgesplitst naar de onderliggende bronnen. In de figuur rechts is daarom te zien dat een klein deel van stikstof in Tochten H afkomstig is van RWZI Zeewolde die loost op Vaarten hoge afdeling ZOF en Rijkswater dat in Vaarten hoge afdeling ZOF wordt ingelaten.



Figuur 2.9 Bronverdeling Stikstof Tochten H jaargemiddeld 2017-2022. Links is het aandeel van de belasting die afkomstig is van bovenstrooms (Vaarten hoge afdeling ZOF) weergegeven als 'afwenteling'. Rechts is deze afgwenteling uitgesplitst naar de onderliggende bronnen.

In bijlage 4 is de totale bronverdeling in staafgrafieken per toestroomgebied weergegeven waarbij de afgwenteling van bovenstrooms in de bronverdeling is verdisconteerd (zoals gedaan in figuur 2.9 rechts). Uit deze grafieken komt naar voren dat de herkomst sterk per toestroomgebied verschilt. In alle gebieden is wel de uit- en afspoeling en directe kwel een belangrijke bron, maar de bijdrage van inlaat Rijkswater, regenwaterriolen en RWZI's verschilt sterk per gebied. De totale bronverdeling is ook de basis voor het afleiden van achtergrondconcentraties. Dit wordt behandeld in het volgende hoofdstuk.

3 Achtergrondbelasting en -gehalten

3.1 Methode achtergrondbelasting en achtergrondgehalten

Iedere KRW-planperiode moeten waterbeheerders de KRW-doelen opnieuw tegen het licht houden en waar nodig actualiseren. Dit geldt ook voor de doelen van stikstof en fosfor. Om te beoordelen of het nodig is om deze doelen te actualiseren, is vanuit de bronnenanalyse die in dit onderzoek is uitgevoerd de achtergrondbelasting afgeleid. Dit is het aandeel van de bronnen die beleidsmatig als achtergrondbelasting worden beschouwd, ten opzichte van de totale belasting. De theoretische achtergrondconcentratie kan vervolgens worden berekend door deze fractie te vermenigvuldigen met de gemeten concentraties. Deze methodiek sluit aan bij de Handreiking KRW-doelen (STOWA, 2018) en de Handreiking technische doelaanpassing (Anoniem, 2025).

De achtergrondbelasting wordt bepaald door de verhouding van de bronnen die beleidsmatig als antropogeen en als natuurlijk worden beschouwd. Dit wordt berekend met de formule:

$$\text{achtergrondbelasting (\%)} = \left(\frac{\text{natuurlijke belasting}}{(\text{antropogene} + \text{natuurlijke belasting})} \right) \times 100$$

De bronnen van de nutriëntenbelasting zijn zodanig gekwantificeerd en uitgesplitst dat deze te verbinden zijn aan sectoren die deze beïnvloeden. Daarnaast is de af- en uitspoeling uit landbouwgronden opgesplitst in het deel dat veroorzaakt wordt door bemesting (actueel en historisch), stikstofdepositie op het land, kwel, mineralisatie en uitloging en uitspoeling van eerder geïnfiltreerd oppervlaktewater (zie paragraaf 2.5). Deze opsplitsing is essentieel omdat alleen het deel door bemesting als antropogeen wordt beschouwd.

De achtergrondconcentratie wordt berekend door de achtergrondbelasting te vermenigvuldigen met de concentraties die in de oppervlaktewaterlichamen worden gemeten; in formule:

$$\text{achtergrondconcentratie (mg.L}^{-1}\text{)} = \text{fractie achtergrondbelasting} \times \text{gemiddeld gemeten concentratie}$$

3.2 Uitgangspunten

De belangrijkste uitgangspunten hangen samen met:

- Welke bronnen worden als antropogeen en als achtergrondbelasting beschouwd?
- Welke jaren worden aangehouden voor de bronverdeling? En wordt daarbij uitgegaan van de belasting in het zomerhalfjaar of jaargemiddelde?
- Wordt er rekening gehouden met nalevering vanuit de waterbodems?
- Welke meetpunten worden gebruikt voor de gemiddeld gemeten concentraties?

Verdeling nutriëntenbelasting antropogeen - achtergrond

De bronverdeling van de nutriëntenbelasting is voor het totaal al weergegeven in het vorige hoofdstuk (tabel 2.7). Voor de afzonderlijke toestroomgebieden is de zomerhalfjaar- en jaargemiddelde bronverdeling voor beide perioden (2010-2016 en 2017-2022) weergegeven in bijlage 3. In de balansen per toestroomgebied is afwenteling ook een belangrijke post. Dit is de belasting van stikstof en fosfor die aanwezig is in het water dat van bovenstroomse gebieden afkomstig is (zie routingschema's bijlage 1). Deze afwenteling is in de berekeningen ook weer opgesplitst in de onderliggende bronnen. Hiermee kan de bronverdeling in het toestroomgebied geheel worden onderverdeeld in het deel dat beleidsmatig als achtergrondbelasting wordt beschouwd.

Voor de toerekening van bronnen aan natuurlijke en antropogene bronnen is aangesloten bij de verdeling uit de Handreiking KRW-doelen (STOWA, 2018). De verdeling is weergegeven in tabel 3.1. Van de uitspoeling uit landbouwgronden is zoals aangegeven alleen het deel mestgiften (actueel en historisch) aangemerkt als antropogeen. Verder is depositie van stikstof op open water, conform de handreiking, aangemerkt als achtergrondbelasting. Een deel van de stikstof dat via de lucht neerkomt zal van antropogene oorsprong zijn, maar het is niet te zeggen hoeveel dat betreft, en er is op regionaal niveau ook geen duidelijke bronverdeling aan te koppelen. De belasting door regenwaterriolen wordt door het waterschap voor 60% (stikstof) en 48 % (fosfor) als achtergrondbelasting beschouwd omdat dit deel volgens de emissieschatting (Emissieregistratie) afkomstig is van rioolvreemd grondwater (zie Langeveld et al., 2017). De belasting door inlaat van Rijkswater is op basis van de globaal berekende bronverdeling van dit Rijkswater ook deels als achtergrond beschouwd.

Tabel 3.1 Verdeling van de bronnen die beleidsmatig door het waterschap als achtergrond en antropogeen worden beschouwd.

Antropogene bronnen	Bronnen die als achtergrondbelasting worden beschouwd
Uit- en afspoeling landbouwgronden door mestgiften (actueel en historisch)	Uit- en afspoeling landbouwgronden door depositie, kwel, mineralisatie, en eerder geïnfiltreerd slootwater
Erfafspoeling, meemesten, glastuinbouw	Kwel die direct uittreedt naar tochten en vaarten die deels of geheel insnijden in het watervoerend pakket
Riool overstorten	Uitspoeling uit natuurgronden
	Depositie stikstof op open water
RWZI's, industriële lozingen, scheepvaart en overige (iba's, ongezuiverd huishoudens)	Watervogels
Regenwaterriolen Omdat in de emissieschatting van regenwaterriolen een belangrijk deel van stikstof (60%) en fosfor (48%) toegeschreven wordt aan instroom van (rioolvreemd) grondwater, wordt dit deel als achtergrondbelasting beschouwd.	
Inlaatwater IJsselmeer en randmeren De inlaat van Rijkswater in de NOP en ZOF wordt deels als achtergrondbelasting beschouwd. Dit aandeel is afgeleid van de balansen die zijn berekend voor de toestroomgebieden in Rijn-Noord en Rijn-Oost die hierop afwateren (Schipper et al., 2026). Het hiermee berekende aandeel achtergrondbelasting is voor stikstof jaargemiddeld 58% en zomerhalfjaar 61%. Voor fosfor is dit jaargemiddeld 45% en zomerhalfjaar 32%.	

Te beschouwen periode

De nutriëntenbalansen zijn berekend voor de periode 2010-2016 en 2017-2022. Voor de latere periode waren meer meetgegevens beschikbaar over de hoeveelheden inlaatwater vanuit het IJsselmeer en de randmeren. Daarom is als basis uitgegaan van deze periode en omdat de KRW-doelen worden getoetst aan de zomergemiddelde concentraties is als basis uitgegaan van het zomergemiddelde in die periode. Echter, om de bandbreedte van onzekerheden te verkennen, is de achtergrondbelasting ook berekend voor de periode 2010-2016 en is voor ook de achtergrondbelasting berekend voor het jaargemiddelde.

Nalevering 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. Afgaande op het onderzoek naar de rol van de waterbodem voor nutriënten in Flevoland (Teurlincx et al, 2021) wordt geconcludeerd dat informatie ontoereikend is om de nalevering voldoende betrouwbaar op het niveau van de toestroomgebieden te kunnen kwantificeren.

Meetpunten waterkwaliteit

In vrij afwaterende gebieden is het meest logisch om de metingen van de KRW-metpunten te gebruiken die benedenstrooms van het toestroomgebied liggen. Dit omdat de bronverdeling van de nutriëntenbelasting

berekend wordt voor het gehele toestroomgebied. Echter, de hier beschouwde toestroomgebieden liggen in polders en de stromingsrichting van de oppervlaktewateren wisselt voortdurend onder invloed van het weer en het inlaatregiem. Daarom zijn alle meetpunten in de toestroomgebieden gebruikt om de jaar- en zomergemiddelde concentratie te berekenen. Deze metingen zijn aangeleverd door het waterschap.

3.3 Achtergrondbelasting

Het aandeel van de achtergrondbelasting volgens de verdeling zoals aangegeven in tabel 3.1 is voor beide perioden weergegeven in tabel 3.2 (stikstof) en tabel 3.3 (fosfor).

In het zomerhalfjaar is de achtergrondbelasting van stikstof over de periode 2017-2022 in de ZOF 84% (57% - 95%) en in de NOP 67% (66-68%). In de ZOF is de achtergrondbelasting van stikstof in de Tochten FGIK Zuid het laagst (57%), in de andere gebieden van de ZOF varieert deze van 72-95%.

Over de periode 2010-2016 wordt het aandeel achtergrondbelasting van stikstof een paar procent lager berekend. De verschillen met de jaargemiddelde achtergrondbelasting zijn ook gering, deze zijn in de meeste toestroomgebieden 4-6% lager dan het zomerhalfjaargemiddelde; in Tochten J en in de gebieden van de NOP ongeveer 9 % lager.

Hetzelfde patroon geldt ongeveer voor fosfor. In het zomerhalfjaar is de achtergrondbelasting van fosfor over de periode 2017-2022 in de ZOF 70% (49% - 91%) en in de NOP 52% (49-55%). In de ZOF is de achtergrondbelasting van fosfor relatief laag in de Tochten FGIK Zuid (49%) en Vaarten lage afdeling ZOF (58%), in de andere gebieden van de ZOF varieert deze van 66-91%. Ook voor fosfor zijn de verschillen met de andere periode (2010-2016) gering (minder dan 5%). De jaargemiddelde achtergrondbelasting van fosfor is in de meeste toestroomgebieden iets lager dan het zomerhalfjaargemiddelde (1 tot 11% lager); in enkele gebieden (Tochten hoge afdeling NOP, Vaarten NOP, Tochten DE Almere) is deze juist iets hoger (1 tot 4%).

3.1 Theoretische achtergrondgehalten

Zoals aangegeven worden theoretische achtergrondgehalten van een toestroomgebied berekend door de gemiddeld gemeten concentraties in het oppervlaktewaterlichaam te vermenigvuldigen met het berekende percentage van de achtergrondbelasting. De zomerhalfjaar- en jaargemiddeld gemeten concentraties zijn voor beide perioden (2010-2016 en 2017-2022) weergegeven in bijlage 4. De achtergrondgehalten zijn met de zomerhalfjaargemiddelde concentraties voor beide perioden berekend op basis van de achtergrondbelasting die voor het zomerhalfjaar is berekend. Dit resulteert in de theoretische achtergrondgehalten die zijn weergegeven in tabel 3.4 (stikstof) en 3.5 (fosfor).

Voor stikstof zijn alleen in Tochten J de berekende achtergrondgehalten uitgaande van de periode 2017-2022 hoger dan het huidige KRW-doel. In vier andere gebieden is de marge tussen het KRW-doel en het berekende achtergrondgehalte minder dan 25% (berekend als $(\text{KRW-doelgehalte} - \text{achtergrondgehalte}) / \text{KRW-doel}$). Dit zijn Tochten ABC2, Tochten DE Zuidlob, Tochten FGIK Noord en Tochten FGIK Zuid. Het beeld is nagenoeg hetzelfde als gekeken wordt naar de achtergrondgehalten die zijn berekend voor de periode 2010-2016. Wel is dan de marge tussen het KRW-doel en het achtergrondgehalte in de Vaarten hoge afdeling NOP ook minder dan 25%.

Voor fosfor zijn de berekende achtergrondgehalten uitgaande van de periode 2017-2022 in alle gebieden lager dan het KRW-doel. De marge tussen het KRW-doel en het berekende achtergrondgehalte is in enkele gebieden minder dan 25%. Dit zijn Tochten ABC1 en Tochten DE Zuidlob. Ook hier is het beeld nagenoeg hetzelfde als gekeken wordt naar de periode 2010-2016.

Tabel 3.2 Achtergrondbelasting stikstof berekend voor het zomerhalfjaar- en jaargemiddelde over de periode 2010-2016 en 2017-2022.

Bronnen	Achtergrondbelasting stikstof 2017-2022		Achtergrondbelasting stikstof 2010-2016	
	zomerhalfjaar	jaargemiddeld	zomerhalfjaar	jaargemiddeld
Tochten ABC1	95%	91%	94%	90%
Tochten ABC2	92%	86%	90%	87%
Tochten DE Almere	72%	77%	75%	78%
Tochten DE Zuidlob	84%	79%	82%	80%
Tochten FGIK Noord	88%	81%	86%	82%
Tochten FGIK Zuid	57%	51%	53%	52%
Tochten H	91%	86%	90%	87%
Tochten J	84%	75%	81%	76%
Tochten lage afdeling NOP	66%	57%	63%	57%
Tochten hoge afdeling NOP	67%	58%	64%	57%
Vaarten NOP	68%	59%	65%	59%
Vaarten hoge afdeling ZOF	88%	84%	87%	85%
Vaarten lage afdeling ZOF	84%	79%	83%	79%

Tabel 3.3 Achtergrondbelasting fosfor berekend voor het zomerhalfjaar- en jaargemiddelde over de periode 2010-2016 en 2017-2022.

Bronnen	Achtergrondbelasting fosfor 2017-2022		Achtergrondbelasting fosfor 2010-2016	
	zomerhalfjaar	jaargemiddeld	zomerhalfjaar	jaargemiddeld
Tochten ABC1	91%	89%	90%	89%
Tochten ABC2	84%	78%	80%	77%
Tochten DE Almere	67%	71%	71%	74%
Tochten DE Zuidlob	66%	64%	64%	63%
Tochten FGIK Noord	69%	61%	64%	59%
Tochten FGIK Zuid	49%	49%	46%	48%
Tochten H	70%	59%	64%	57%
Tochten J	69%	63%	65%	62%
Tochten lage afdeling NOP	55%	53%	53%	52%
Tochten hoge afdeling NOP	49%	50%	46%	49%
Vaarten NOP	52%	53%	51%	53%
Vaarten hoge afdeling ZOF	74%	71%	71%	71%
Vaarten lage afdeling ZOF	58%	57%	55%	56%

Tabel 3.4 Gemeten stikstof concentraties en theoretische achtergrondgehalten stikstof berekend voor het zomerhalfjaar gemiddelde over de periode 2010-2016 en 2017-2022. Ter vergelijking is ook het KRW-doel van stikstof voor SGBP3 weergegeven.

Bronnen	KRW-doel SGBP3 ²⁾	Zomerhalfjaar 2017-2022		Zomerhalfjaar 2010-2016	
	mgN/l	Gemeten (mgN/l)	Achtergrond gehalte stikstof (mgN/l)	Gemeten (mgN/l)	Achtergrond gehalte stikstof (mgN/l)
Tochten ABC1	2.0	1.02	0.97	1.06	0.99
Tochten ABC2	2.4	2.29	2.12	2.28	2.05
Tochten DE Almere	4.0	1.16	0.83	1.28	0.96
Tochten DE Zuidlob		4.38	3.66	5.82	4.80
Tochten FGIK Noord	2.5	2.79	2.45	2.35	2.02
Tochten FGIK Zuid		3.47	1.97	4.04	2.15
Tochten H	2.4	1.78	1.63	1.98	1.78
Tochten J	5.0	7.18	6.06	6.41	5.20
Tochten lage afdeling NOP	3.5	3.54	2.35	4.15	2.60
Tochten hoge afdeling NOP	3.0	2.58	1.74	3.25	2.08
Vaarten NOP	3.8	2.58	1.77	3.33	2.18
Vaarten hoge afdeling ZOF	2.5	1.99	1.76	2.20	1.91
Vaarten lage afdeling ZOF	3.8	3.38	2.85	3.07	2.55

Tabel 3.5 Gemeten fosfor concentraties en theoretische achtergrondgehalten fosfor berekend voor het zomerhalfjaar- en jaargemiddelde over de periode 2010-2016 en 2017-2022. Ter vergelijking is ook het KRW-doel van fosfor voor SGBP3 weergegeven.

Bronnen	KRW-doel SGBP3 ²⁾	Zomerhalfjaar 2017-2022		Zomerhalfjaar 2010-2016	
	mgN/l	Gemeten (mgN/l)	Achtergrond gehalte fosfor (mgP/l)	Gemeten (mgN/l)	Achtergrond gehalte fosfor (mgP/l)
Tochten ABC1	0.15	0.16	0.14	0.15	0.13
Tochten ABC2	0.15	0.09	0.08	0.11	0.09
Tochten DE Almere	0.30	0.10	0.06	0.11	0.07
Tochten DE Zuidlob		0.29	0.20	0.29	0.18
Tochten FGIK Noord	0.22	0.16	0.11	0.16	0.10
Tochten FGIK Zuid		0.19	0.09	0.16	0.07
Tochten H	0.22	0.07	0.05	0.07	0.05
Tochten J	0.27	0.27	0.18	0.27	0.18
Tochten lage afdeling NOP	0.22	0.11	0.06	0.14	0.07
Tochten hoge afdeling NOP	0.22	0.10	0.05	0.14	0.07
Vaarten NOP	0.15	0.08	0.04	0.12	0.06
Vaarten hoge afdeling ZOF	0.10	0.09	0.07	0.10	0.07
Vaarten lage afdeling ZOF	0.15	0.14	0.08	0.16	0.09

² Voor SGBP3 waren er geen normen voor DE Almere, DE Zuidlob, FGIK Noord en FGIK Zuid afgeleid, In tabel 3.4 en 3.5 zijn de doelen opgenomen die afgeleid waren vóór de opsplitsing van deze deelgebieden.

4 Discussie modelresultaten

4.1 Evaluatie modelresultaten nutriëntenbelasting

De resultaten van de bronnenanalyse kunnen op diverse wijzen worden geëvalueerd. Gelet op het primaire doel van het onderzoek, het bepalen van de achtergrondbelasting, is het vooral belangrijk om de bronverdeling te evalueren en de betrouwbaarheid daarvan te beoordelen. Om dat te doen, is gekeken hoe onzekerheden van de verschillende bronnen doorwerken in de berekende achtergrondbelasting. Dit wordt behandeld in paragraaf 4.2. In paragraaf 4.3 wordt op basis van deze onzekerheden ingegaan op de bandbreedte van onzekerheden voor de berekende theoretische achtergrondgehalten.

4.2 Onzekerheden berekende emissies

Onzekerheden in de berekende emissies hebben invloed op het niveau van de berekende belasting en de bronverdeling. De achtergrondbelasting wordt daarbij vooral beïnvloed door onzekerheden over de uit- en afspoeling en daarbij de uitsplitsing van de aan mest gerelateerde uitspoeling, de directe kwel, inlaat van Rijkswater en RWZI's. Aansluitend op de landelijke bronnenanalyse (Schipper et al., 2025), worden de onzekerheden over de emissiebronnen ingeschat zoals weergegeven in tabel 4.1. Voor de schatting van onzekerheden rond de directe kwel is overleg gevoerd met Koen van der Hauw van adviesbureau Sweco die de modellering met het geohydrologische model Azure heeft uitgevoerd.

Tabel 4.1 Onzekerheidsmarges punt- en diffuse nutriënten bronnen

Bron	Marges onzekerheden	Onderbouwing
Uit- en afspoeling landbouwgronden	+/- 25%	Indicatieve schatting die betrekking heeft op de verdeling van de uit- en afspoeling tussen het antropogene (mestgiften) en natuurlijke deel (mineralisatie, kwel, depositie, geïnfiltreerd oppervlaktewater).
Uit- en afspoeling natuurgonden	+/- 25%	Schatting zoals meegegeven aan Emissieregistratie.
Inlaat Rijkswater	+/- 25%	Onzekerheden rond de debietmetingen en concentraties inlaatwater. Deze schatting is ook gehanteerd in voorgaande bronnenanalyses.
RWZI's	+/- 10%	Onzekerheden rond de debietmetingen en de concentraties van het effluent. Omdat de debieten dagelijks worden bemeaten en concentraties 2-4 keer per maand, zijn de onzekerheden relatief gering.
Regenwaterriolen en overige antropogene bronnen	+/- 25%	Schatting op basis van de beoordeling van Emissieregistratie
Directe kwel NOP Directe kwel ZOF	+/- 20% +30% / -10%	Onzekerheden vanuit Azure zijn indicatief geschat in overleg met de modelleur van Sweco op basis van verschillen tussen berekende en gemeten afvoeren van de Vaarten NOP en vaarten ZOF

De retentie heeft overigens geen invloed op de bronverhouding van de gebiedseigen bronnen omdat deze wordt berekend op basis van de bronverhouding van de gebiedseigen belasting. Wel heeft de retentie invloed op de afwenteling en daarmee ook op de totale herkomst in een gebied omdat daarbij de afwenteling wordt meegenomen.

4.3 Bandbreedte onzekerheden achtergrondbelasting

Om de bandbreedte van onzekerheden over de achtergrondbelasting te bepalen is een onzekerheidsanalyse uitgevoerd. Omdat de achtergrondgehalten zijn berekend door de berekende fractie van de achtergrondbelasting te vermenigvuldigen met de gebiedsgemiddeld gemeten concentraties in het zomerhalfjaar is de onzekerheidsanalyse toegespitst op deze berekende fractie (F_{ab}). Hiervoor zijn de volgende stappen uitgevoerd:

stap 1 Bepalen onzekerheidsmarge per bron

stap 2 Vertaling onzekerheidsmarges naar minimale (ondergrens) en maximale (bovengrens) F_{ab}

Deze stappen zijn uitgevoerd op basis van de bronverhouding die is berekend voor het zomerhalfjaar 2017-2022. De resultaten van stap 2 geven een indicatie van de onder- en bovengrens van F_{ab} , gelet op de onzekerheidsmarges van de verschillende antropogene en natuurlijke bronnen.

De resultaten van de eerste stap is weergegeven in de vorige paragraaf 4.2. In stap 2 is de fractie achtergrondbelasting op 2 manieren berekend:

- Met de bovengrens van onzekerheidsmarges van antropogene en ondergrens van natuurlijke bronnen
- Met de ondergrens van onzekerheidsmarges van antropogene en bovengrens van natuurlijke bronnen

In formule:

$$f_{ab \min} = \frac{\sum_{i=1}^n nb \times (1 - \alpha_i)}{\sum_{i=1}^n nb \times (1 - \alpha_i) + \sum_{i=1}^n ab \times (1 + \alpha_i)}$$

$$f_{ab \max} = \frac{\sum_{i=1}^n nb \times (1 + \alpha_i)}{\sum_{i=1}^n nb \times (1 + \alpha_i) + \sum_{i=1}^n ab \times (1 - \alpha_i)}$$

Met

f_{ab} = fractie achtergrondbelasting, met 'min' is minimale schatting en 'max' maximale schatting

nb = belasting natuurlijke bronnen en ab = belasting antropogene bronnen

α_i = onzekerheidsmarge bron i

Dat levert met de onzekerheden rond de emissie schattingen een marge rond de achtergrondbelasting volgens een boven- en ondergrens zoals weergegeven in tabel 4.2.

Tabel 4.2 Achtergrondbelasting stikstof en fosfor berekend voor het zomerhalfjaar 2017-2022.

Bronnen	Achtergrondbelasting N 2017-2022			Achtergrondbelasting P 2017-2022		
	gemiddeld	Bovengrens	Ondergrens	gemiddeld	Bovengrens	Ondergrens
Tochten ABC1	95%	97%	93%	91%	94%	87%
Tochten ABC2	92%	95%	89%	84%	90%	79%
Tochten DE Almere	72%	81%	61%	67%	77%	55%
Tochten DE Zuidlob	84%	90%	78%	66%	77%	56%
Tochten FGIK Noord	88%	93%	83%	69%	79%	60%
Tochten FGIK Zuid	57%	69%	46%	49%	62%	38%
Tochten H	91%	95%	88%	70%	80%	62%
Tochten J	84%	90%	79%	69%	79%	59%
Tochten lage afdeling NOP	66%	76%	55%	55%	67%	43%
Tochten hoge afdeling NOP	67%	77%	57%	49%	61%	38%
Vaarten NOP	68%	78%	59%	52%	61%	43%
Vaarten hoge afdeling ZOF	88%	93%	84%	74%	82%	66%
Vaarten lage afdeling ZOF	84%	89%	80%	58%	68%	50%

Uit tabel 4.2 komt naar voren de verschillen tussen de boven- en ondergrens ten opzichte van het gemiddelde vrij beperkt zijn (minder dan +/- 6%) in de gebieden waar gemiddeld een achtergrondbelasting van meer dan 80% is berekend. In de gebieden waar gemiddeld een lagere achtergrondbelasting is berekend zijn de verschillen groter (tot 13%). Dat geldt door vooral voor fosfor omdat de achtergrondbelasting van fosfor in alle gebieden lager is berekend dan voor stikstof.

De bandbreedte die is weergegeven in tabel 4.2. geeft inzicht in een mogelijke afwijking van de achtergrondbelasting door een structurele over- of onderschatting van natuurlijke en antropogene bronnen.

Voor een meer statistische benadering van de onzekerheid zijn er twee opties mogelijk. De eerste optie is het gebruik van Monte Carlo simulaties waarmee op basis van onzekerheden op de gebruikte modelinvoer in beeld kan worden gebracht wat de onzekerheid is op de berekende belasting vanuit natuurlijke en antropogene bronnen. Deze analyse bleek in de context van deze studie niet haalbaar. Een tweede optie is om een analyse uit te voeren van de onzekerheid op de achtergrondbelasting zodra de onzekerheid op zowel antropogene als natuurlijke bronnen bekend of te schatten is. Deze optie wordt in het navolgende uitgewerkt.

De fractie achtergrondbelasting (f_{ab}) wordt berekend door de totale belasting vanuit natuurlijke bronnen te delen door de som van alle natuurlijke en antropogene bronnen. Omdat de som van de natuurlijke bronnen gecorreleerd is aan de totale belasting uit zowel natuurlijke als antropogene bronnen, kan de standaard deviatie op f_{ab} berekend worden. Voor het gemak wordt hierbij X gebruikt voor de belasting uit natuurlijke bronnen (met σ_x as standaard deviatie), en Y voor de totale belasting (met σ_y as standaard deviatie) en Z staat gelijk aan de fractie achtergrondbelasting (met σ_z as standaard deviatie). Dan geldt dus:

$$Z = \frac{X}{Y}$$

En in het algemeen geldt voor errorpropagatie van twee gecorreleerde variabelen dat:

$$\sigma_z^2 = \left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial Y}\right)^2 \sigma_y^2 + 2 * \frac{\partial Z}{\partial X} * \frac{\partial Z}{\partial Y} * \text{cov}(X, Y)$$

Omdat $\delta Z / \delta X$ gelijk is aan $1/Y$ en $\delta Z / \delta Y$ gelijk is aan $-X/Y^2$, kan de vergelijking worden herschreven tot:

$$\sigma_z^2 = \left(\frac{1}{Y}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{X}{Y^2}\right)^2 \sigma_y^2 - 2 \frac{X}{Y^3} \text{cov}(X, Y)$$

En omdat :

$$\text{cov}(X, Y) = \rho_{xy} * \sigma_x * \sigma_y$$

Betekent dit dat de onzekerheid op de natuurlijke achtergrondfractie belasting berekend kan worden als:

$$\sigma_z^2 = \left(\frac{\sigma_x^2}{Y^2}\right) + \left(\frac{X^2 \sigma_y^2}{Y^4}\right) - 2 \frac{X}{Y^3} * \rho_{xy} * \sigma_x * \sigma_y$$

Of, handiger, relatief geschreven:

$$\left(\frac{\sigma_z}{Z}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_x}{X}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{Y}\right)^2 - 2 * \rho_{xy} * \frac{\sigma_x}{X} * \frac{\sigma_y}{Y}$$

Wat concreet betekent dat de standaard deviatie op de fractie achtergrondbelasting gelijk is aan:

$$\sigma_z = Z * \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{X}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{Y}\right)^2 - 2 * \rho_{xy} * \frac{\sigma_x}{X} * \frac{\sigma_y}{Y}}$$

Een alternatieve en meer statistische benadering van de onzekerheid op de geschatte bijdrage van de achtergrondbelasting kan hiermee dus ook worden berekend via klassieke error-propagatie.

Dat levert met de onzekerheidsmarges in tabel 4.1 een marge rond de achtergrondbelasting volgens een boven- en ondergrens zoals weergegeven in tabel 4.3. Hierbij is voor de boven- en ondergrens twee maal de standaardafwijking ten opzichte van het gemiddelde aangehouden.

Tabel 4.3 Achtergrondbelasting stikstof berekend voor het zomerhalfjaar over de periode 2017-2022, berekend op basis van een statistische berekening van error propagatie, uitgaande van een hoge correlatie tussen de achtergrondbelasting en de totale belasting ($r = 0.96$). De boven- en ondergrens zijn gebaseerd op 2 x de standaardafwijking (SD) van het gemiddelde.

Bronnen	Achtergrondbelasting stikstof 2017-2022			Achtergrondbelasting Fosfor 2017-2022		
	gemiddeld	Bovengrens	Ondergrens	gemiddeld	Bovengrens	Ondergrens
Tochten ABC1	95%	108%	82%	91%	103%	78%
Tochten ABC2	92%	105%	79%	84%	96%	72%
Tochten DE Almere	72%	77%	66%	67%	74%	59%
Tochten DE Zuidlob	84%	94%	74%	66%	74%	58%
Tochten FGIK Noord	88%	100%	76%	69%	78%	60%
Tochten FGIK Zuid	57%	64%	50%	49%	56%	43%
Tochten H	91%	105%	78%	70%	82%	59%
Tochten J	84%	96%	73%	69%	77%	60%
Tochten lage afdeling NOP	66%	72%	61%	55%	61%	49%
Tochten hoge afdeling NOP	67%	73%	61%	49%	53%	44%
Vaarten NOP	68%	75%	62%	52%	58%	45%
Vaarten hoge afdeling ZOF	88%	100%	76%	74%	84%	64%
Vaarten lage afdeling ZOF	84%	97%	71%	58%	69%	47%

Opvallend is hierbij dat de methode op basis van error propagatie een vergelijkbare onzekerheid kwantificeert qua orde grootte (variërend tussen 11-27%), maar dat deze positief gecorreleerd is aan de achtergrondfractie zelf (tabel 4.3), terwijl de hiervoor beschreven methode (op basis van een minimale en maximale afwijking) ervoor zorgt dat de onzekerheid kleiner wordt bij een hogere achtergrondfractie (tabel 4.2). Bedacht moet worden dat in enkele situaties ($n = 3$) de bovengrens, hierbij berekend als twee keer de SD, hoger is dan 100%. Dit is gebaseerd op de aanname dat de correlatie tussen de belasting van natuurlijke bronnen en de totale belasting niet helemaal gelijk is aan 1 (in deze studie is deze gezet op 0.96). Uitgaande van een perfecte correlatie ($r = 1$), dan is de berekende onzekerheid tussen beide methoden vergelijkbaar dan wel lager voor de statistische methode van error-propagatie.

Omdat de onzekerheid op de invoerparameters erg indicatief is (tabel 4.1), is een inhoudelijke afweging van beide methoden niet nuttig voor de berekende achtergrondbelasting in Zuiderzeeland, waarbij geldt dat de onzekerheidsmarges indicatief en groot zijn geschat en de relatieve bijdrage van de achtergrondbelasting hoog is; gemiddeld over alle deelgebieden ligt deze rond de 80% voor stikstof en rond de 67% voor fosfor.

4.4 Onzekerheden in bemestingspraktijk

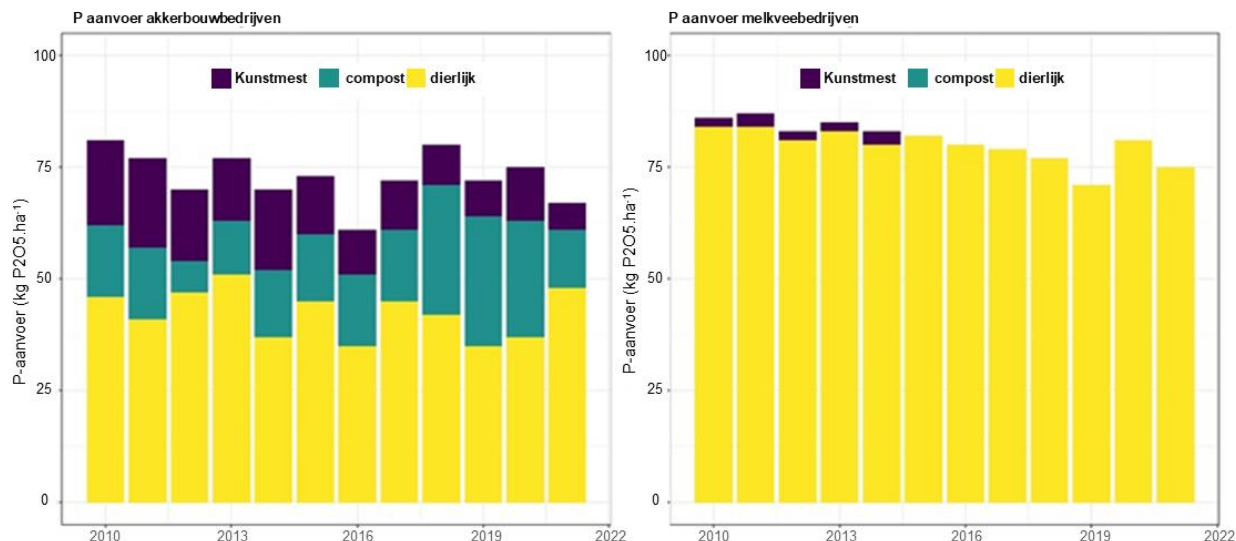
In 2023 is informatie opgevraagd uit het Bedrijveninformatienet in relatie tot de gebruikte bemesting en gewasafvoer in de praktijk. De data die zijn opgenomen zijn gebaseerd op basis van een steekproef vanuit het Bedrijveninformatienet van Wageningen Economic Research (Informatienet). Het Informatienet is een panel van ongeveer 1.500 land- en tuinbouwbedrijven in Nederland, geselecteerd uit de CBS-Landbouwtelling waarvoor een uitgebreide set van gegevens wordt vastgelegd en gecontroleerd. Dit betreft zowel financieel-economische kengetallen als informatie over bedrijfsvoering en duurzaamheid. Het panel representeert ongeveer 82% van alle bedrijven uit de Landbouwtelling en ruim 99% van de totale

agrarische productie (gemeten in standaardopbrengst). De hele kleine bedrijven (< 25.000 euro standaardopbrengst) worden niet gerepresenteerd door de steekproef. Bij het kiezen van de steekproefbedrijven wordt gestratificeerd op bedrijfstype en bedrijfsomvang, maar niet naar regio. Naast de bedrijven die in het Informatienet zijn opgenomen, zijn er ook aanvullend bedrijven geworven in het kader van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM). De bedrijven in het Informatienet, aangevuld met de steekproefbedrijven uit het LMM vormen de basis voor de data gebruikt voor de vergelijkende analyse met bemestingsgegevens zoals gebruikt in deze studie.

Om uitspraken te kunnen doen op basis van deze steekproefbedrijven én zo dicht mogelijk te blijven bij de bedrijfsspecifieke- en locatie specifieke kenmerken van bedrijven in Flevoland, is een vorm van post-stratificatie toegepast, waarbij aan elk bedrijf in de Landbouwtelling de gemiddelde bedrijfsvoering is gekoppeld van vier meest gelijkende bedrijven uit de steekproef. Bij die koppeling is in de eerste plaats gekeken naar de geografische ligging van het bedrijf. Daarnaast zijn andere belangrijke kenmerken zoals het productieregime (biologisch of gangbaar), de bedrijfsomvang (in standaardopbrengst), intensiteit (SO per hectare), het bouwplan en het bedrijfstype meegenomen. Er is tevens rekening gehouden met grondsoort (bijvoorbeeld veen, zand of klei), zodat deze zo gelijk mogelijk zijn op basis van de steekproef én de Landbouwtelling. Met dat als uitgangspunt is voor elk bedrijf in de Landbouwtelling een schatting gemaakt van kengetallen uit het Informatienet. De uitkomsten berusten dus niet op bedrijfsinformatie van bedrijven in de Landbouwtelling zelf, maar zijn schattingen op basis van vergelijkbare bedrijven uit het Informatienet. Door deze methodiek nemen we zoveel mogelijk steekproefbedrijven mee die in de provincie Flevoland zijn gelegen, maar (in mindere mate) dus ook bedrijven die qua bedrijfsopzet en grondsoort vergelijkbaar zijn, maar buiten de provincie gelegen zijn. Hoe 'zwaar' een bedrijf meetelt voor de Provincie Flevoland hangt af in de mate waarin het bedrijf representatief is voor de situatie in Flevoland.

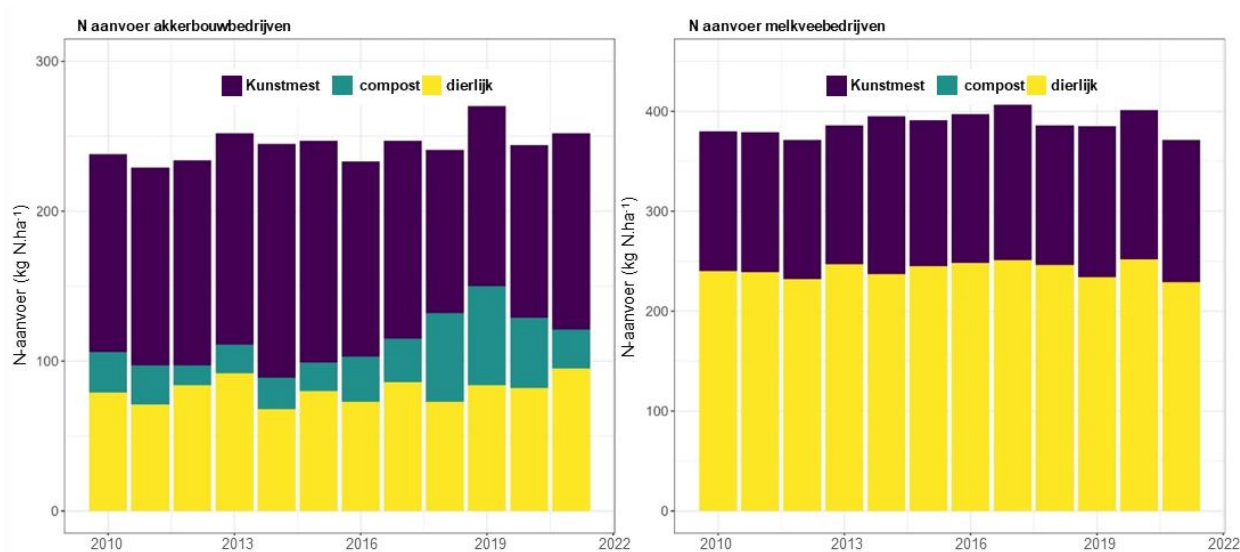
De aanvoer van fosfaat berekend als totaal van dierlijke mest, organische producten en kunstmest in kg P_2O_5 /ha per jaar is gemiddeld 73 kg P_2O_5 (= 32 kg P ha⁻¹) per hectare op een akkerbouwbedrijf en 81 kg P_2O_5 / ha per jaar (= 35 kg P ha⁻¹) voor een melkveehouderijbedrijf. De veranderingen over de tijd zijn relatief stabiel, al daalt het P-gebruik over de afgelopen jaren. Op melkveehouderijbedrijven wordt vrijwel alleen dierlijke mest toegediend (geproduceerd op het eigen bedrijf) terwijl op akkerbouwbedrijven gemiddeld rond de 50 kg P_2O_5 per hectare wordt aangevoerd via dierlijke mest, terwijl het resterende deel voor een groot deel wordt opgevuld met compost (figuur 4.1). De gemiddelde aanvoer via P-kunstmest ligt rond de 5-10 kg P_2O_5 ha⁻¹. Deze bemestingspraktijk betekent dat vrijwel de gehele fosfaatruimte wordt opgevuld; gebaseerd op perceelspecifieke informatie over de bodemfosfaattoestand mag er conform de wet rond de 74 kg P_2O_5 per hectare (voor akkerbouw) en 86 kg P_2O_5 per hectare (voor grasland) worden er bemest.

De gebruikte mestgiftten in deze studie liggen rond de 31-39 kg P ha⁻¹ per jaar voor de akkerbouw en rond de 35-37 kg P ha⁻¹ per jaar voor de melkveehouderij (zie sectie 2.6). De aangevoerde P in de Noordoostpolder is hiermee vergelijkbaar met de informatie uit het Bedrijvenmeetnet (afwijking kleiner dan 2%). Voor de rest van Flevoland ligt de fosfaatbemesting die gebruikt is in de modellering van de uit- en afspoeling 3.5% hoger in de melkveehouderij en 22% hoger in de akkerbouw.



Figuur 4.1. Aanvoerbronnen van fosfaat op akkerbouwbedrijven (links) en melkveehouderijbedrijven (rechts) in de provincie Flevoland (Bron: Bedrijveninformatienet, 2023).

De aanvoer van stikstof op akkerbouwbedrijven en melkveehouderijbedrijven wordt weergegeven in Figuur 4.2. Op akkerbouwbedrijven ligt de meerjarig gemiddelde N-aanvoer via dierlijke mest op 79 kg N ha⁻¹ per jaar terwijl in de melkveehouderij gemiddeld 238 kg N ha⁻¹ wordt aangevoerd. De kunstmestgift is gemiddeld 125 kg N ha⁻¹ in de akkerbouw en 142 kg N ha⁻¹ voor de melkveehouderij. De totale aanvoer van stikstof ligt gemiddeld op 236 kg N ha⁻¹ voor de akkerbouw en op 382 kg N ha⁻¹ voor de melkveehouderij. In vergelijking met de berekende stikstofaanvoer zoals gebruikt in deze studie ligt de werkelijke stikstofbemesting met 221-223 kg N ha⁻¹ op bouwland en met 348-342 kg N ha⁻¹ voor melkveehouderij met 6-9% lager dan de bemesting op de bedrijven uit het Bedrijveninformatienet.

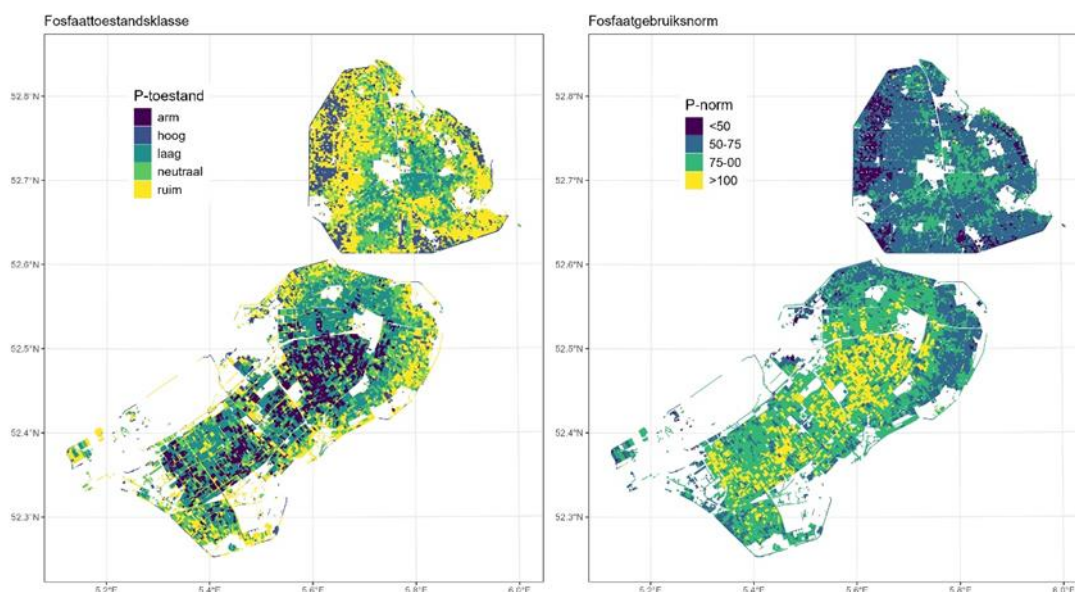


Figuur 4.2. Aanvoerbronnen van stikstof op akkerbouwbedrijven (links) en melkveehouderijbedrijven (rechts) in de provincie Flevoland (Bron: Bedrijveninformatienet, 2023).

Samenvattend betekent deze analyse dat de gebruikte mestgift 5-10% kunnen afwijken van de gebruikte aannames in deze balansstudie. Fosfaatverliezen lijken daarbij iets te worden overschat (aannemend dat op lange termijn de verliezen lineair zijn aan de P-accumulatie in de bodem) en de stikstofverliezen iets te worden onderschat.

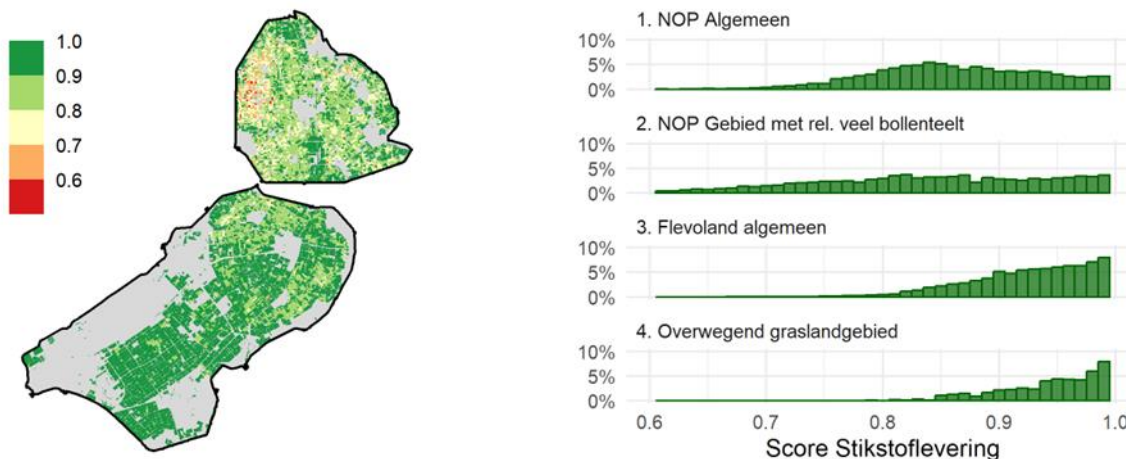
4.5 Onzekerheden in bodemkwaliteit

De belasting van het oppervlaktewater wordt voor een groot deel veroorzaakt door processen in de bodem die nutriënten beschikbaar maken voor gewasopname en uit- en afspoeling. Op basis van gegevens uit agrarische meetnetten is in kaart gebracht wat de ruimtelijke variatie is in de kwaliteit van de bodem. Uit deze analyse blijkt dat de fosfaattoestand met name hoog is aan de randen van Flevoland als ook de Noordoostpolder (Figuur 4.X). In de praktijk betekent dit vervolgens ook dat de hoeveelheid fosfaat wordt beperkt via gebruiksnormen. In het centrum van Flevoland komen echter grote arealen voor met relatief lage fosfaatvoorraden in de bodem (dan wel een hogere fosfaatfixatie). Zolang er niet is gediëpploed, is het normale patroon dat fosfaatgehalten in de ondergrond lager zijn dan in de bovengrond. Dat betekent in deze situatie dat een hoge fosfaatbelasting naar het oppervlaktewater vanuit actuele bemesting niet zo groot is mits er geen preferentiële stroming is of hoge verliezen via korte verliesroutes (bijvoorbeeld drainage via kleischeuren).



Figuur 4.X. Ruimtelijke variatie in de fosfaatklasse (links), gebaseerd op een combinatie van twee metingen (de P-voorraad gemeten via een extractie met ammoniumlactaat, en de P-concentratie in de bodemoplossing gemeten via een extractie met 0.01M CaCl₂) en de fosfaatgebruiksruimte (rechts, in kg P₂O₅ per ha) gebaseerd op de gebruiksnormen van 2025. Metingen zijn gebaseerd op de eerste 25cm van het bodemprofiel.

Het N-leverend vermogen (NLV) van de bodem is voor slechts 5% van alle percelen een knelpunt in relatie tot de gewenste NLV vanuit een bemestingsoogpunt (zie Fujita et al., 2023). De beoordeling van het NLV verschilt tussen bouwland (optimale waarde van 100 kg N/ha) en grasland (140 kg N/ha). De daaruit afgeleid bodemkwaliteitsscore voor de N-levering varieert van 0,46 tot 1, met een gemiddelde waarde van 0,91 voor heel Flevoland (zie figuur 4.X). Dit betekent ook dat de natuurlijke achtergrondbelasting die op kan treden door uitspoelend nitraat dat vrijkomt via mineralisatie relatief hoog is in Flevoland. Aan de andere kant is de potentiële afbraaksnelheid relatief laag, in het bijzonder voor de percelen in de Noordoostpolder (Fujita et al., 2023). Een lage activiteit komt vaak voor in percelen met een relatief laag organische stofgehalte, samenhangend met het meest voorkomende bouwplan als ook de natuurlijk hogere afbraak van organische stof in kalkrijke gronden.



Figuur 4.X. Bodemkwaliteitsscore voor de N-levering, gebruik makend van de BLN-beoordelingssystematiek voor vier regio's binnen Flevoland. De score varieert tussen 1 (goed) en 0 (slecht).

Een recente analyse uitgevoerd door Stokkermans et al. (2025) laat zien dat er regionale grote verschillen kunnen ontstaan tussen de gemodelleerde fosfaatpools in de bodem en de daadwerkelijke variatie zoals deze voorkomt in bodemanalyses uitgevoerd door boeren. De onzekerheid is groot zodra deze toegepast wordt op het schaalniveau van bedrijven en mogelijk ook van deelgebieden binnen een provincie. Dit betekent ook dat de berekende P-belasting vanuit de bodem en ondergrond (dat wil zeggen de invloed van historische bemesting) (nog) niet betrouwbaar in beeld is te brengen voor de verschillende vanggebieden binnen de provincie Flevoland. Nader onderzoek naar de mogelijke oorzaken hiervan is nodig om de onderliggende oorzaken te identificeren en op te lossen. Voor stikstof speelt dit een veel kleinere rol omdat de effecten van bemesting op veel kortere termijn zichtbaar zijn, en een grotere rol spelen dan de achtergrondbelasting vanuit de bodem zelf. Ook hier kan een vergelijking tussen gebiedsgemiddelde bodemeigenschappen – zoals gebruikt in het STONE model – en gegevens uit agrarische meetnetten meer inzicht geven of er ook daadwerkelijk sprake is van een over- dan wel onderschatting van de stikstofuitspoeling naar het oppervlaktewater. Vooralsnog laten de validatiegegevens en de ruimtelijke patronen tussen de verschillende deelgebieden geen onverwachte resultaten zien.

Dit alles betekent dat op basis van de huidige stand van zaken de resultaten in dit rapport de beste indicatie geven van de verschillende verliesroutes van fosfaat en stikstof naar het oppervlaktewater.

4.6 Oplossingsrichtingen voor landbouw

Om de belasting van stikstof naar het grond- en oppervlaktewater te verlagen is het belangrijk dat het verschil tussen de aangevoerde en afgevoerde stikstof (via het geoogste gewas) zo laag mogelijk is. Dit verschil wordt ook wel het stikstofbodemoverschot genoemd. Stikstof kan worden aangevoerd via dierlijke mest, organische reststromen zoals compost, slootbagger en natuurmaaisel, en kunstmest. De gewenste hoeveelheid die nodig is voor een goede gewasproductie wordt per gewas gereguleerd via stikstofgebruiksnormen voor dierlijke mest (gebaseerd op de totale N-aanvoer in deze mest) en andere meststoffen of reststromen (gebaseerd op de hoeveelheid effectieve stikstof in deze producten). De daadwerkelijke beschikbaarheid van de gegeven stikstof voor gewasopname hangt samen met het type meststof, de toedieningstechniek, het tijdstip van toedienen, het weer, en de bodemkenmerken die van invloed zijn op de denitrificatiesnelheid (en daarmee stikstof omzetten naar gasvormige verbindingen) of de uitspoelingsgevoeligheid (waarmee stikstof uit het bodemprofiel lekt naar het grondwater). Maatregelen die ingrijpen op de bemestingspraktijk of de bodemkenmerken die de beschikbaarheid van stikstof vergroten, zorgen in de periode dat het gewas groeit daarmee voor een lagere uitspoeling.

De agronomische behoefte voor stikstof is gebaseerd op gewasbehoefte én de bodemvruchtbaarheid. Het Nederlandse bemestingsadvies en het daarvan afgeleide mestbeleid zijn erop gericht om een economisch optimale opbrengst te realiseren (het gewasgericht advies) én onnodig stikstofgebruik te voorkomen. De

daadwerkelijke optimale stikstofgift is van veel factoren afhankelijk welke niet allemaal verwerkt kunnen worden in de bemestingsrichtlijnen zoals: voorvrucht, bemestingsverleden, vochtvoorziening en ziektedruk. Naast maatregelen gericht op de aanvoer van stikstof, is het ook mogelijk om de afvoer van stikstof te beïnvloeden. Concreet betekent dit dat de teeltomstandigheden optimaal moeten zijn voor een goede gewasgroei. Dit uit zich in een gezonde bodem (chemisch, fysisch en biologisch), de duurzame inzet van gewasbeschermingsmiddelen (de juiste middelen in de juiste hoeveelheid en op de juiste plek als ook het juiste moment), en voldoende beregening in tijden van droogte. Door de gewasopname van stikstof te verhogen verlaagt het N-bodemoverschot en daarmee ook de uitspoeling. Omdat de aanvoer, opname en uitspoeling van stikstof in de tijd niet synchroon lopen, betekent dit ook dat er mogelijkheden zijn om in de timing van werkzaamheden, het aantal gewassen en via de gewasvolgorde te sturen op een hogere stikstofopname vanuit het bodemprofiel.

Er is als laatste ook nog een type maatregel die niet zozeer het N-bodemoverschot beïnvloedt, maar wel zorgt voor minder uitspoeling. Door bijvoorbeeld percelen natter te maken, tijdelijk via inundatie of langdurig via een verhoging van waterpeilen, zal van hetzelfde bodemoverschot een kleiner deel uitspoelen en een groter deel denitrificeren.

Vanuit de literatuur zijn lange lijsten beschikbaar met potentieel inzetbare maatregelen om het N-bodemoverschot te verlagen dan wel de verliezen naar lucht en grond- en oppervlaktewater te beperken (zie Ros & de Vries, 2025). Het grootste deel van de maatregelen ($n = 27$) is gebaseerd op een vermindering van de N-aanvoer bij een gelijkblijvende gewasproductie. In de praktijk betekent dit dat de stikstofgebruiksruimte niet volledig wordt benut, en dat via maatregelen de benutting van de gegeven stikstof toeneemt. Daarnaast zijn er diverse mogelijkheden ($n = 5$) om via het beheer van bodem en het bouwplan te zorgen voor een hoge(re) en stabiele(re) gewasopbrengst. Gekoppeld daaraan zijn er een aantal maatregelen ($n=8$) waarmee de intensiteit (dat wil zeggen de hoeveelheid stikstof per hectare, de benodigde N-aanvoer) wordt verlaagd, en daarmee automatisch ook de verliezen, ofwel end-of-pipe de verliesroute naar het grondwater wordt aangepast.

Een verlaging van het stikstofbodemoverschot heeft niet voor elk bedrijf hetzelfde effect. De ruimtelijke variatie hangt samen landgebruik, grondsoort en hydrologie als ook de stikstofintensiteit. Alle maatregelen die leiden tot lager N-bodemoverschot zorgen desondanks voor een verbetering van de waterkwaliteit. De grootste effecten worden verwacht van maatregelen die ingrijpen op ondiepe af- en uitspoelingsroutes, in het bijzonder voor fosfaat. Voor stikstof kan met bemesting of bodembeheer de belasting met maximaal 35% worden verlaagd. De effectiviteit van een individuele maatregel of set aan maatregelen hangt af van de locatie waar het wordt uitgevoerd en de manier waarop het wordt uitgevoerd. De eigenschappen van de bodem, het bouwplan en de bemestingspraktijk zijn hierbij drie belangrijke sturende factoren. Ter illustratie, de Commissie Deskundigen Meststoffenwet heeft recent een eerste selectie gemaakt van effectieve maatregelen en deze geclusterd op basis van het type maatregel:

- Gewasbeheer om efficiënter om te gaan met stikstof: rijenbemesting bij maïs en groente-gewassen, voorjaarstoediening van mest op kleigrond in plaats van najaarstoediening, uitbreiding van het areaal vanggewas, geen mest toedienen op gescheurd grasland, afvoer van gewasresten en hergebruik van slootbagger.
- Bodembeheer om snelle afvoer naar de sloot te verminderen en de opbrengst te verhogen: uitmijnen van bodemfosfaat in landbouwgronden, goed organische stofbeheer voor een goede infiltratie, de teelt van maïs in stroken uitgefreesd in grasland en minimale grondbewerking.
- Hydrologische maatregelen gericht op het verminderen van afspoeling en het voorkomen van oeverafkalving: aanleg van infiltratie-greppels, bufferzones en verbeterde drainage.
- Technische end-of-pipe maatregelen: het inrichten van reactieve barrières in en op de bodem van een landbouwperceel en fosforverwijdering uit het oppervlaktewater (waterzuivering).
- Ruimtelijke maatregelen: aanpassen van het bouwplan, beperking van beweiding, teelten uit de grond, grasbufferstroken en het saneren van hotspots van uit- en afspoeling.

Door maatregelen te nemen die positief bijdragen aan de kwaliteit van de bodem zal de gewasopname van stikstof toenemen en daarmee het bodemoverschot dan wel het risico op uitspoeling verminderen. Tegelijkertijd zijn er ook maatregelen inzetbaar die gericht bijdragen aan een lager uitspoelingsrisico of afspoelingsrisico. Juist via integraal bodembeheer is het mogelijk om de weerbaarheid van de

landbouwbodem te vergroten, ook in de context van klimaatverandering, en daarmee de bijdrage aan schoon en voldoende grond- en oppervlaktewater te versterken.

Er zijn op basis van expertkennis, modelberekeningen en proeven allerlei maatregelen geïdentificeerd die in de landbouw ingezet kunnen worden om de emissie van stikstof naar de lucht dan wel de uit- en afspoeling naar het water te verkleinen (Ros & de Vries, 2025). Er zijn nog veel onduidelijkheden over mogelijke stapeleffecten en het is evident dat de totale effectiviteit van maatregel-combinaties niet gelijk is aan een simpele optelling van individuele effecten. Ook ontbreken eenduidige prioriterings- en toepassingsregels waarmee integraal op bedrijfsniveau – maar ook op gebiedsniveau – gestuurd kan worden op een duurzame inzet van stikstof. Landelijke modellen als INITIATOR (Kros et al., 2019), LWKM (Van der Bolt et al., 2022) en KRW-ECHO, en beslissingsondersteunende tools als het BBWP (Ros & Verweij, 2025) zijn inzetbaar om maatwerk te faciliteren en combinatie-effecten in beeld te brengen, maar kennen elk hun beperkingen, en worden maar heel beperkt in combinatie met elkaar ingezet. Zeker als het om effectinschattingen van maatregelen op bedrijfsniveau gaat, is de huidige kennis en modelinstrumentarium beperkt.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Deze studie is uitgevoerd om de herkomst van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater te berekenen en daarmee de achtergrondbelasting en theoretische achtergrondconcentraties af te leiden voor de lijnvormige wateren (tochten en vaarten) in Flevoland. Hiertoe is een bronnenanalyse uitgevoerd voor de periode 2010-2016 en 2017-2022 met onderscheid in winter- en zomerhalfjaar gemiddelde.

De resultaten geven een zo goed mogelijke inschatting van de bijdrage van alle relevante bronnen aan de belasting van de oppervlaktewateren met stikstof en fosfor en daarbij het aandeel van de belasting die als achtergrond wordt beschouwd.

Ten opzichte van de voorgaande bronnenanalyse die was uitgevoerd voor de periode 2010-2017 zijn de volgende verbeteringen en aanvullingen tot stand gebracht:

- De analyse is nu uitgevoerd voor de periode 2010-2016 en de periode 2017-2022
- Daarin is de meest recente informatie over de kwel vanuit het grondwatermodel Azure verwerkt
- Ook zijn de recente monitoringsgegevens over de inlaat van Rijkswater en waterverdeling tussen de Tochten en Vaarten in de modellering opgenomen
- De indeling in toestroomgebieden is verfijnd zodat beter wordt aangesloten bij de ruimtelijke verdeling van de kwelpatronen
- De validatie is ook uitgevoerd voor de in het model gebruikte mestgiften en bodemkwaliteit
- De analyse is aangevuld met een onzekerheidsanalyse van de berekende achtergrondbelasting

Per toestroomgebied is de totale belasting en bronverdeling van stikstof en fosfor berekend. De berekeningsresultaten sluiten goed aan bij de beschikbare meetgegevens van de waterafvoeren en uit metingen afgeleide stofvrachten. De totale belasting is de som van alle bronnen in het toestroomgebied, de inlaat van Rijkswater en daarbij ook de belasting van het water dat van bovenstroomse gebieden op het gebied wordt afgewenteld. Deze afwenteling is in de routingschema's (bijlage 1) schematisch weergegeven. In het model zijn de bronnen in deze afwenteling gelabeld, zodat voor de totale belasting de bijdrage van alle afzonderlijke bronnen is berekend. De bijdrage van alle afzonderlijke bronnen is per toestroomgebieden voor beide perioden (2010-2016 en 2017-2022, zomer- en winterhalfjaar) weergegeven in bijlage 4.

Op basis van de herkomst is de achtergrondbelasting berekend als fractie van de totale belasting. Hierbij zijn de volgende bronnen beleidsmatig als achtergrond beschouwd:

- Het deel van de uit- en afspoeling uit landbouwgronden die niet komt door mestgiften, maar door kwel, atmosferische depositie, mineralisatie en uitloging en eerder geïnfilterd lokaal oppervlaktewater
- Uit en afspoeling uit natuurgronden
- Directe kwel vanuit het watervoerende pakket naar de waterlopen
- Emissies van watervogels
- Atmosferische depositie op open water
- Het emissiedeel van regenwaterriolen die bepaald wordt door instroom van rioolvreemd grondwater
- Het emissiedeel van inlaat Rijkswater waarvan met de recente regionale bronnenanalyse voor Overijssel en Fryslan globaal de achtergrondbelasting van het IJsselmeer is berekend.

Deze uitgangspunten zijn in meer detail beschreven in hoofdstuk 3 (tabel 3.1). met deze uitgangspunten is per toestroomgebied de achtergrondbelasting berekend voor het zomerhalfjaar- en jaargemiddelde situatie in de periode 2010-2016 en 2017-2022.

In het zomerhalfjaar is de achtergrondbelasting van stikstof over de periode 2017-2022 in de ZOF 84% (57% - 95%) en in de NOP 67% (66-68%). In de ZOF is de achtergrondbelasting van stikstof in de Tochten FGIK Zuid het laagst (57%), in de andere gebieden van de ZOF varieert deze van 72-95%.

Over de periode 2010-2016 wordt het aandeel achtergrondbelasting van stikstof een paar procent lager berekend. De verschillen met de jaargemiddelde achtergrondbelasting zijn ook gering, deze zijn in de meeste toestroomgebieden 4-6% lager dan het zomerhalfjaargemiddelde; in Tochten J en in de gebieden van de NOP ongeveer 9 % lager.

Hetzelfde patroon geldt ongeveer voor fosfor. In het zomerhalfjaar is de achtergrondbelasting van fosfor over de periode 2017-2022 in de ZOF 70% (49% - 91%) en in de NOP 52% (49-55%). In de ZOF is de achtergrondbelasting van fosfor relatief laag in de Tochten FGIK Zuid (49%) en Vaarten lage afdeling ZOF (58%), in de andere gebieden van de ZOF varieert deze van 66-91%. Ook voor fosfor zijn de verschillen met de andere periode (2010-2016) gering (minder dan 5%). De jaargemiddelde achtergrondbelasting van fosfor is in de meeste toestroomgebieden iets lager dan het zomerhalfjaargemiddelde (1 tot 11% lager); in enkele gebieden (Tochten hoge afdeling NOP, Vaarten NOP, Tochten DE Almere) is deze juist iets hoger (1 tot 4%).

De theoretische achtergrondgehalten zijn berekend door de gemiddeld gemeten concentraties in het oppervlaktewaterlichaam te vermenigvuldigen met het berekende percentage van de achtergrondbelasting. De achtergrondgehalten zijn met de zomerhalfjaargemiddelde concentraties voor beide perioden berekend op basis van de achtergrondbelasting die voor het zomerhalfjaar is berekend. Deze berekeningen zijn uitgevoerd per toestroomgebied.

Voor stikstof zijn alleen in Tochten J de berekende achtergrondgehalten uitgaande van de periode 2017-2022 hoger dan het huidige KRW-doel. In vier andere gebieden is de marge tussen het KRW-doel en het berekende achtergrondgehalte minder dan 25% (berekend als $(\text{KRW-doelgehalte} - \text{achtergrondgehalte}) / \text{KRW-doel}$). Dit zijn Tochten ABC2, Tochten DE Zuidlob, Tochten FGIK Noord en Tochten FGIK Zuid. Het beeld is nagenoeg hetzelfde als gekeken wordt naar de achtergrondgehalten die zijn berekend voor de periode 2010-2016. Wel is dan de marge tussen het KRW-doel en het achtergrondgehalte in de Vaarten hoge afdeling NOP ook minder dan 25%.

Voor fosfor zijn de berekende achtergrondgehalten uitgaande van de periode 2017-2022 in alle gebieden lager dan het KRW-doel. De marge tussen het KRW-doel en het berekende achtergrondgehalte is in enkele gebieden minder dan 25%. Dit zijn Tochten ABC1 en Tochten DE Zuidlob. Ook hier is het beeld nagenoeg hetzelfde als gekeken wordt naar de periode 2010-2016.

Uit de analyse van onzekerheden komt naar voren dat de verschillen tussen de berekende boven- en ondergrens ten opzichte van het gemiddelde achtergrondbelasting vrij beperkt zijn (minder dan +/- 6%) in de gebieden waar gemiddeld een achtergrondbelasting van meer dan 80% is berekend. In de gebieden waar gemiddeld een lagere achtergrondbelasting is berekend zijn de verschillen groter (tot 13%). Dat geldt door vooral voor fosfor omdat de achtergrondbelasting van fosfor in alle gebieden lager is berekend dan voor stikstof.

5.2 Aanbevelingen

Technische aanpassing van de KRW-doel is aan de orde bij nieuwe technische inzichten, waaronder nieuwe inzichten in achtergrondconcentraties. De resultaten van deze studie worden benut voor de evaluatie en eventuele aanpassing van de KRW-doelen voor stikstof en fosfor. Aanbevolen wordt om bij het evalueren van de KRW-doelen rekening te houden met de onzekerheden van de achtergrondbelasting zoals die in deze studie in beeld zijn gebracht. Ook wordt aanbevolen om de aangepaste doelen te vertalen naar de opgave voor de landbouw (ofwel de benodigde verlaging van de uit- en afspoeling) en daarbij inzicht te bieden in de mogelijkheden om deze met maatregelen in te vullen.

De analyse van de bijdrage van de bronnen van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater en daaruit af te leiden achtergrondbelasting wordt berekend met modellen. Resultaten van modelstudies gaan net zoals metingen altijd gepaard met onzekerheden. Met onderhoud en beheer van de modellen worden nieuwe kennis en inzichten verwerkt om de betrouwbaarheid van resultaten te vergroten en onzekerheden te verkleinen. Specifiek voor het afleiden van de achtergrondbelasting zijn vooral de volgende modelresultaten bepalend:

- De uit- en afspoeling en daarbij de onderverdeling daarvan in het aandeel van de mestgiften daarin ten opzichte van de overige factoren (emissieoorzaken) die de uit- en afspoeling bepalen.
- De directe kwel vanuit het watervoerende pakket naar de tochten en andere watergangen
- De inlaat van Rijkswater en daarin het aandeel van de achtergrondbelasting

Om in toekomstige modelstudies de betrouwbaarheid te verbeteren en onzekerheden verder te verkleinen worden enkele aanbevelingen gedaan:

Uit- en afspoeling: In toenemende mate komen er gegevens over de kwaliteit van landbouwbodems beschikbaar. Aanbevolen wordt om deze data te verwerken in de validatie van uit- en afspoelingsberekeningen. Om onzekerheden voor het berekenen van de achtergrondbelasting verder te verkleinen, wordt door de WUR gewerkt aan een nieuwe methode waarbij in het model met virtuele tracers wordt gerekend om de uit- en afspoeling van landbouwgronden beter betrouwbaar uit te splitsen in de onderliggende emissie oorzaken (bemesting, kwel etc, zie Groenendijk et al., 2022). Deze methode zal naar verwachting meer robuuste resultaten geven. Omdat deze uitsplitsing een groot effect heeft op de achtergrondbelasting, wordt aanbevolen om deze nieuwe methode toe te passen in opvolgende bronnenanalyses. Verder wordt momenteel een gedetailleerde modelanalyse uitgevoerd voor de KIWK-pilot Vuursteentocht (Schipper et al., 2022)³. Mogelijk komen hier verbeterpunten uit voor het modelinstrumentarium waarmee de uit- en afspoeling van de nutriënten wordt berekend voor de situatie van de Flevopolders.

Invloed kwelwater: De invloed van de kwel op de uitspoeling en de directe kwel naar oppervlaktewater is nu afgeleid van het grondwatermodel Azure. Aanbevolen wordt om in de verdere ontwikkeling van dit grondwatermodel de resultaten te valideren op de gemeten afvoeren, met name de afvoeren van de watergangen (tochten) die diep insnijden door de deklaag. Ook wordt aanbevolen om de onzekerheden in de berekende kwelfluxen te analyseren, want deze onzekerheden kunnen nu alleen globaal op basis van expert-judgment worden ingeschat. De stofvrachten van de directe kwel worden berekend door de kwelflux te vermenigvuldigen met de gemeten concentraties van het grondwater. Deze berekening is echter onzeker, omdat de concentraties die gemeten worden in de meetfilters (5 – 15 m-mv) mogelijk lang niet overal representatief voor de concentraties van de kwel die direct uittreedt naar de tochten en andere watergangen. Aanbevolen wordt om ook hier de benodigde kennis verder te ontwikkelen.

Inlaat Rijkswater: De modellering maakt gebruik van de monitoringsgegevens van het waterschap voor de hoeveelheden inlaatwater en de afvoeren op de belangrijke uitwisselpunten van het oppervlaktewater. Aanbevolen wordt om deze monitoring voort te zetten omdat deze belangrijk is voor de betrouwbaarheid van de diverse waterkwantiteit- en kwaliteit modelstudies. Omdat de verdeling van inlaatwater uit het IJsselmeer en de Randmeren belangrijk is voor het afleiden van achtergrondconcentraties in de regionale wateren, wordt aanbevolen om de achtergrondbelasting van Rijkswateren in landelijke bronnenanalyses te kwantificeren en daarbij uniforme uitgangspunten te hanteren.

³ https://www.stowa.nl/Kennisimpuls_waterkwaliteit/nutrienten

Literatuur

- Anoniem (2025). *Handreiking technische doelaanpassing*, Ministerie I en W.
<https://iplo.nl/publish/pages/240270/handreiking-technische-doelaanpassing.pdf>
- 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>.
- De Vries W, Kros J, Voogd JC & GH Ros (2023). *Integrated assessment of agricultural practices on the loss of ammonia, greenhouse gases, nutrients and heavy metals to air and water*. Science of the Total Environment 857, 159220.
- Fujita Y, de Pater J, van den Dool K, de Wit D, de Haan J & GH Ros (2023). *Bodemkwaliteit streefwaarden Flevoland*, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1916.N.22, 69 pp.
- 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)
- Hauw, Koen van der 2024. *Detallering AZURE i.v.m. herkomst nutriënten Flevoland*. SWECO notitie 17-12-2024.
- 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., & G. Ros 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>.
- Langeveld, J., E. Lifting, H. de Man, N. van Duijnhoven & R. Berbee. *Update EmissieRegistratie Riolerings*. H2O-Online / 5 juli 2017.
- Lekkerkerk, W., Teurlincx, S., de Senerpont Domis, L., Schipper, P., Smolders, A. J. P., & B. van der Grift 2022. *Nutriënten in de waterbodems in Zuiderzeeland*: NIOO-KNAW-referentie 2020-1026, 27-10-2022.
- 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>.
- Ros GH, Moria L & P Schipper (2022) Evaluatie doelaflading Flevoland. Een analyse van knelpunten en mogelijke oplossingen. NMI-rapport 1837.N.21, 18 pp.
- Ros G & S Verweij (2025). *BBWPC: Calculator for BedrijfsBodemWaterPlan (BBWP)*. R package versie 3.1.0. <https://github.com/AgroCares/BedrijfsBodemWaterPlanCalculator>
- Ros GH & W de Vries (2025). *Overzicht en prioritering van landbouwmaatregelen voor lucht-, water- en bodemkwaliteit en agrobiodiversiteit*. Wageningen, Wageningen Universiteit, Rapport 2025.159; 69 blz.; 3 tab.; 51 ref.
- Schipper, P. L. Jeurissen, R. Hendriks, L. Renaud en E. van Boekel 2020. *Water- en nutriëntenbalansen oppervlaktewater Zuiderzeeland*. Wageningen Environmental Research-rapport 3009.
- Schipper, P.N.M., P. Groenendijk, L. P. A. van Gerven, S. Lukacs and J. Rozemeijer 2022. *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., Hehenkamp, M., Mi-Gegotek, Y., Groenendijk, P., Renaud, L., van Boekel, E., & Savonije, W. (2025). *Landelijke bronnenanalyse nutriënten regionale oppervlaktewaterlichamen Kaderrichtlijn Water*.

(Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3442). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/695609>

Schipper, P., Hehenkamp, M., Mi-Gegotek, Y., Groenendijk, P., Renaud, L., & Voogd, J. C. (2026). *KRW-restopgave nutriënten in Fryslân: Onderzoek naar de benodigde afname van de stikstof- en fosforbelasting van de regionale oppervlaktewaterlichamen om in 2027 te voldoen aan de KRW-doelen*. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3403). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/707808>

Slagter, L., M. Roseboom, D. van Wieringen, I. Phernambucq, R. Nieuwkamer, L. Oosterom, E. Ruijgrok, L. Turlings 2024. Koepelrapport tussenevaluatie KRW. Rapport AT-Osborne, Witteveen & Bos, FLO Legal, 11 december 2024.

Stokkermans L, Römkens PFAM, Mi-Gegotek Y, Ros GH, Groenendijk G, Renaud L & OF Schoumans (2025). Modelling indicators of P availability; assessment of current models to predict the P status in Dutch arable and grassland soils. WEnR-report 3489, 100 pp.

STOWA, 2018. Handreiking KRW-doelen.STOWA-rapport 2018-15.

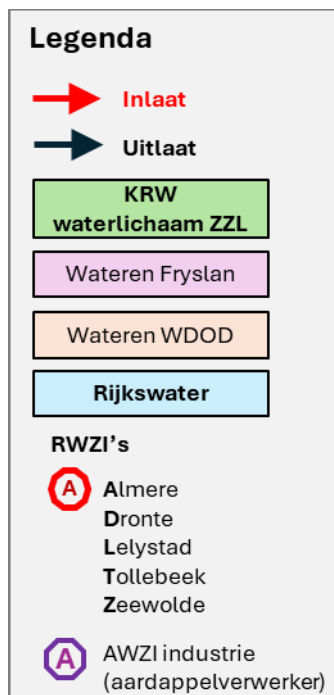
Van der Bolt FJE, van Boekel EMPM, Kuindersma W., Renaud LV, Groenendijk P, Kros J, van den Roovaart J, Marsman A, & W Altena (2022). Het landelijk Waterkwaliteitsmodel: Versie LWKM1.2. Wageningen. Rapport 3148. Wageningen Environmental Research

Van Os, J. & J. Kros, 2022. Geografische Informatie Agrarische Bedrijven 2019: documentatie van het GIAB 2019 bestand. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-technical Report 223

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 Routingschema's toestroomgebieden

De routingschema's geven de waterverdeling van de toestroomgebieden weer voor het zomer- en winterhalfjaar voor de jaren 2017-2022. In het schema staan de toestroomgebieden van de KRW-waterlichamen weergegeven, de water aan- en afvoerrichting, de RWZI's en een AWZI. (zie legenda hieronder). De percentages bij de pijlen geven de afvoerverdeling weer vanuit het betreffende toestroomgebied. Tezamen is dit vanuit het toestroomgebied 100%. Als er voor de afvoer vanuit een gebied 1 pijl staat, gaat al het water naar het volgende toestroomgebied.

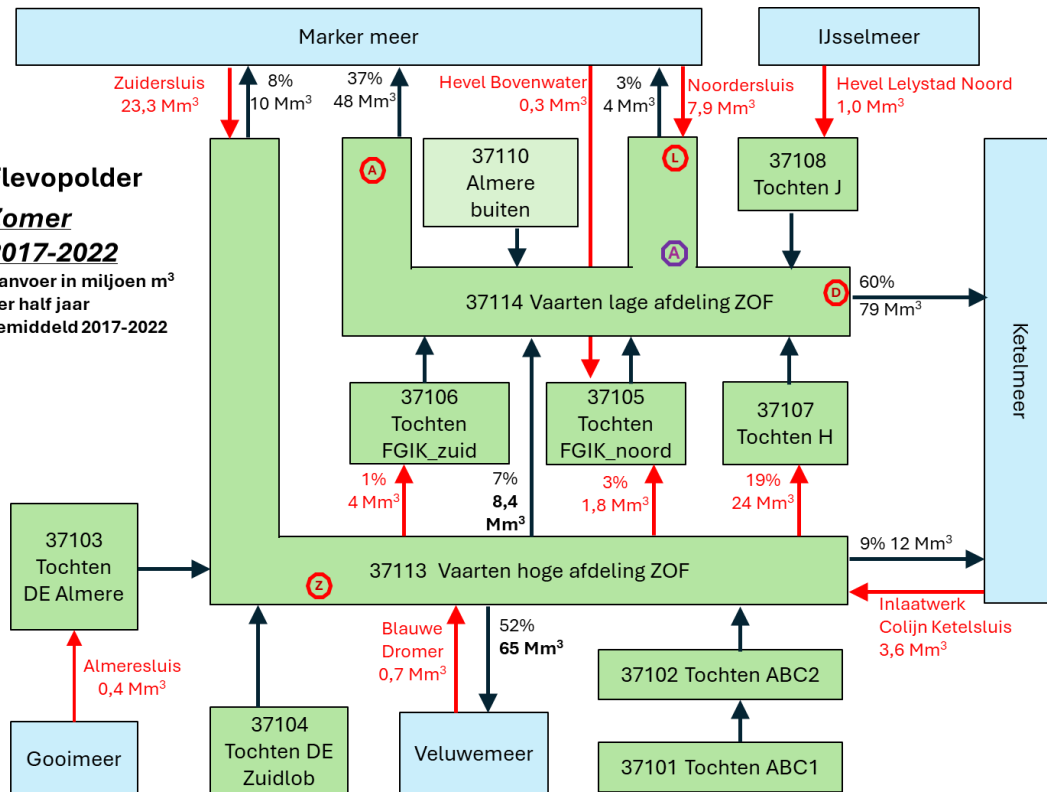


Flevopolder

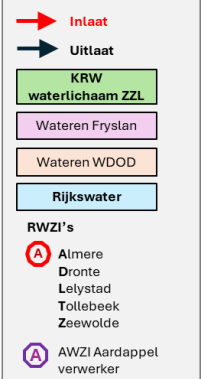
Zomer

2017-2022

Aanvoer in miljoen m³
per half jaar
gemiddeld 2017-2022



Legenda

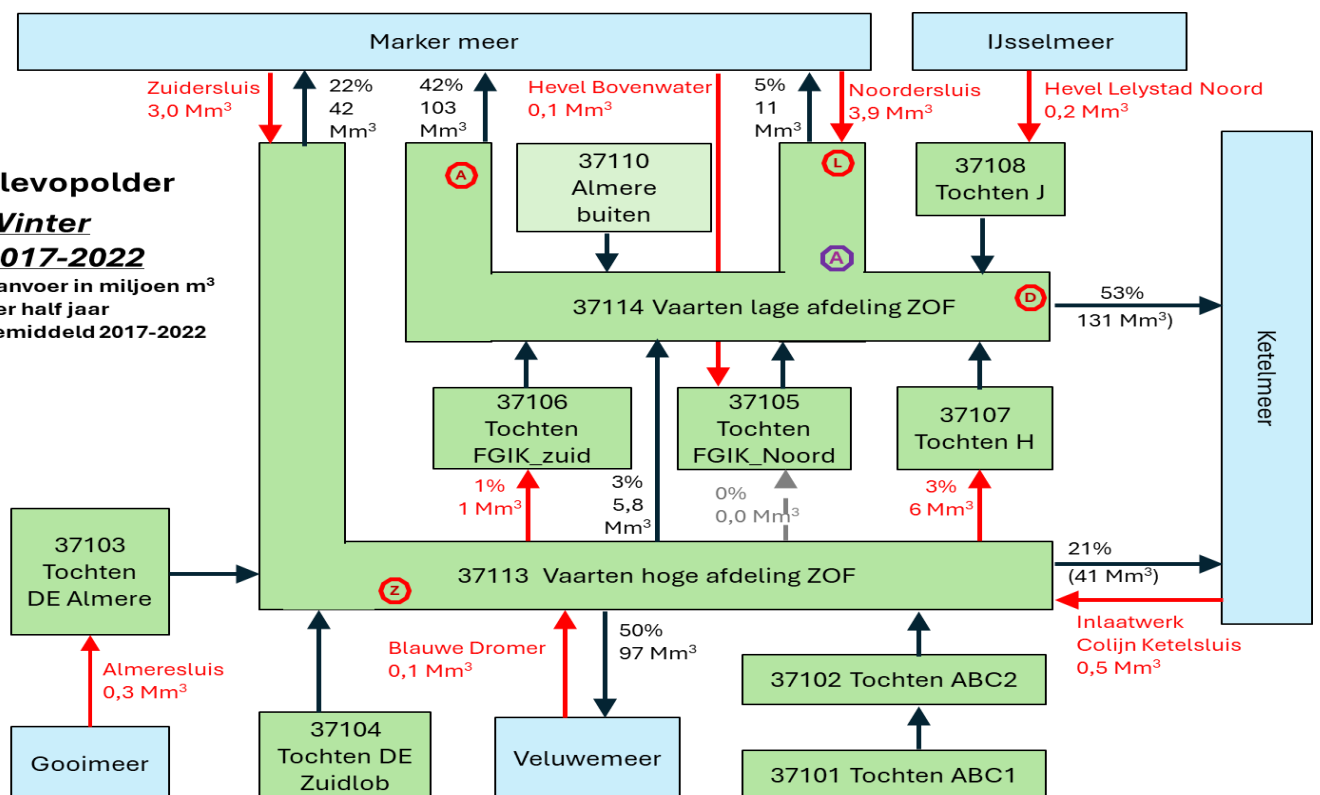


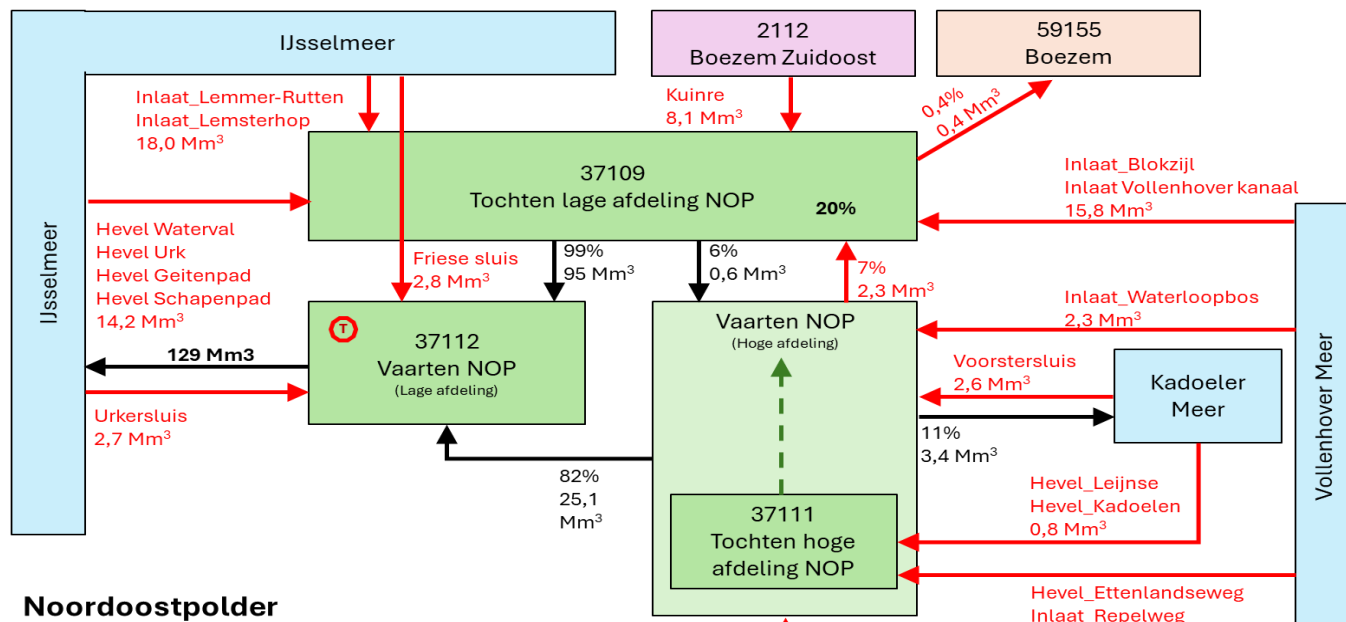
Flevopolder

Winter

2017-2022

Aanvoer in miljoen m³
per half jaar
gemiddeld 2017-2022



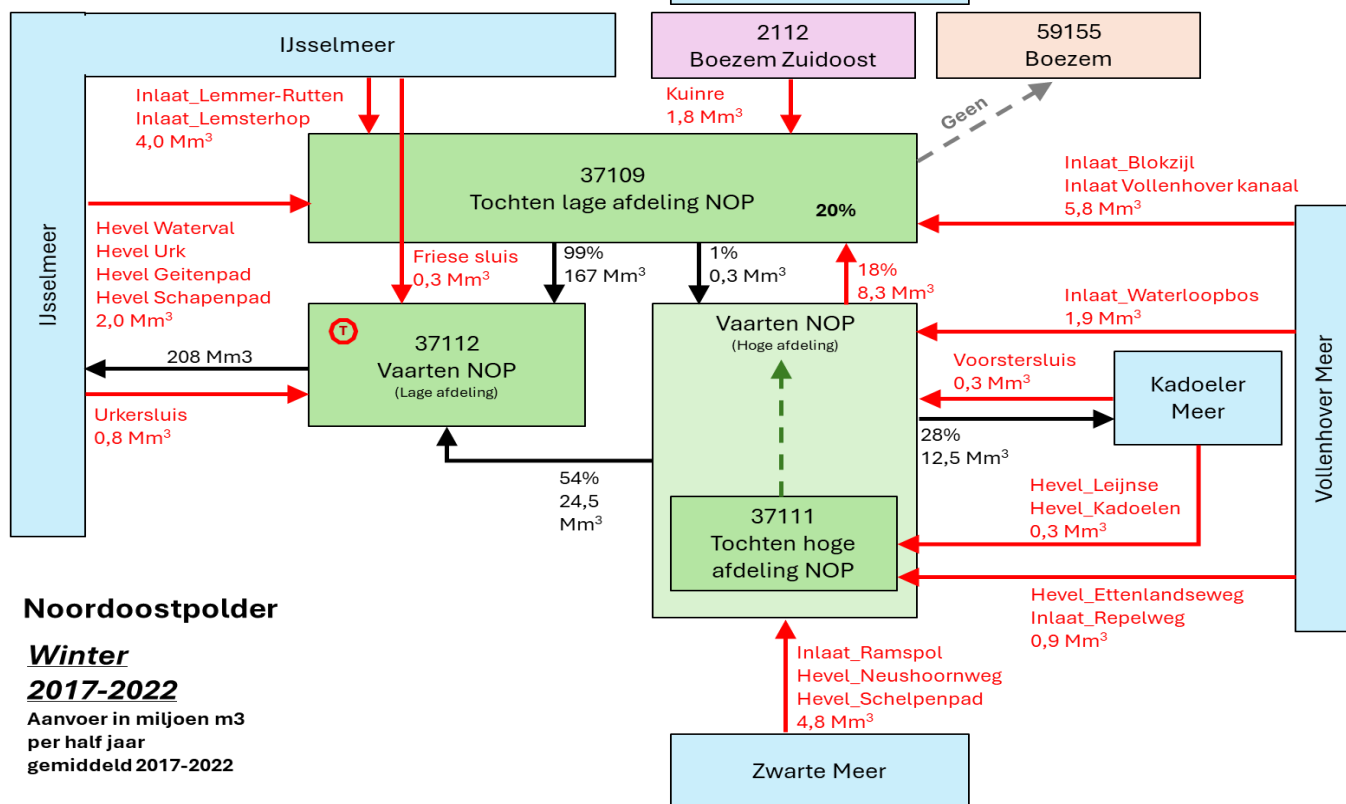


Noordoostpolder

Zomer

2017-2022

Aanvoer in miljoen m³
per half jaar
gemiddeld 2017-2022



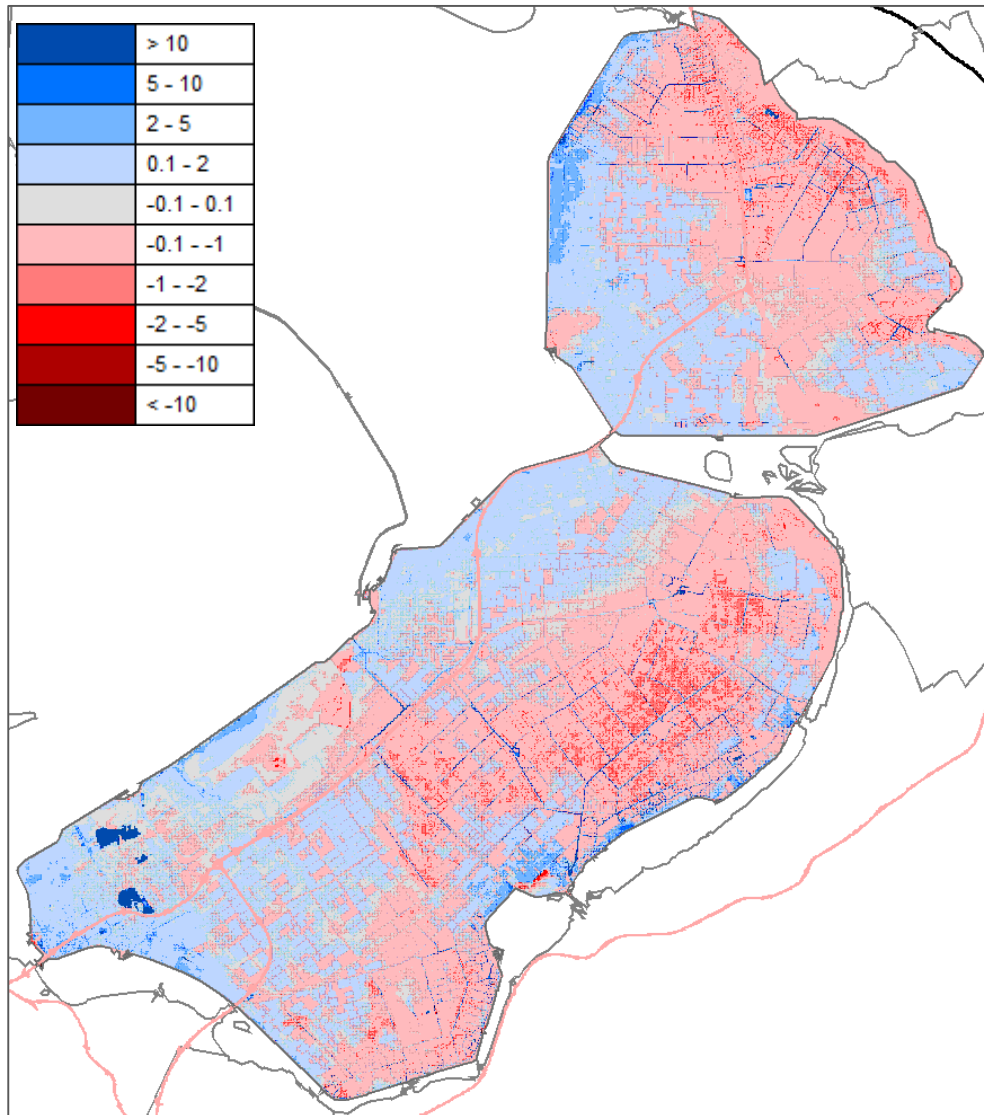
Noordoostpolder

Winter

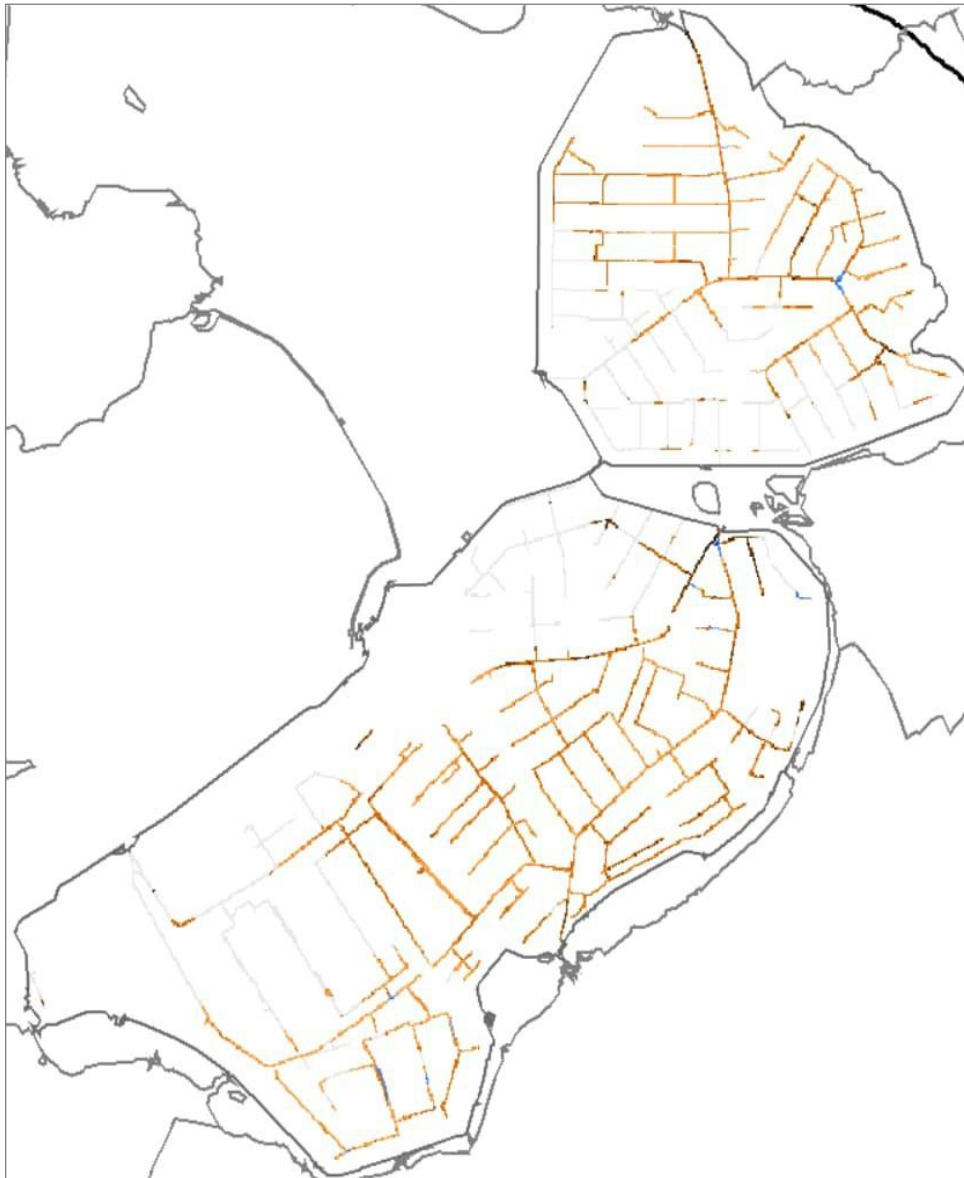
2017-2022

Aanvoer in miljoen m³
per half jaar
gemiddeld 2017-2022

Bijlage 2 Kwel/wegzijging uit het geohydrologisch model AZURE



Kwelflux (mm/d) naar de deklaag berekend met gebruikte modelvariant AZURE v2.0.0. Infiltratie is in de figuur rood weergegeven, kwel blauw. Bron: Sweco, K. van der Hauw 2024.



Kwelflux (m3/d) vanuit watervoerende pakket naar de primaire waterlopen (in het rapport aangeduid als 'directe kwel', geschaald naar 100x100 m op basis van het gemiddelde in verband met de leesbaarheid van de celgrootte. Afvoer is hier met negatieve waarden aangegeven (oranje/bruin) en infiltratie met positieve waarden (blauw). Bron: Sweco, K. van der Hauw 2024.

Bijlage 3 Inlaat Rijkswater

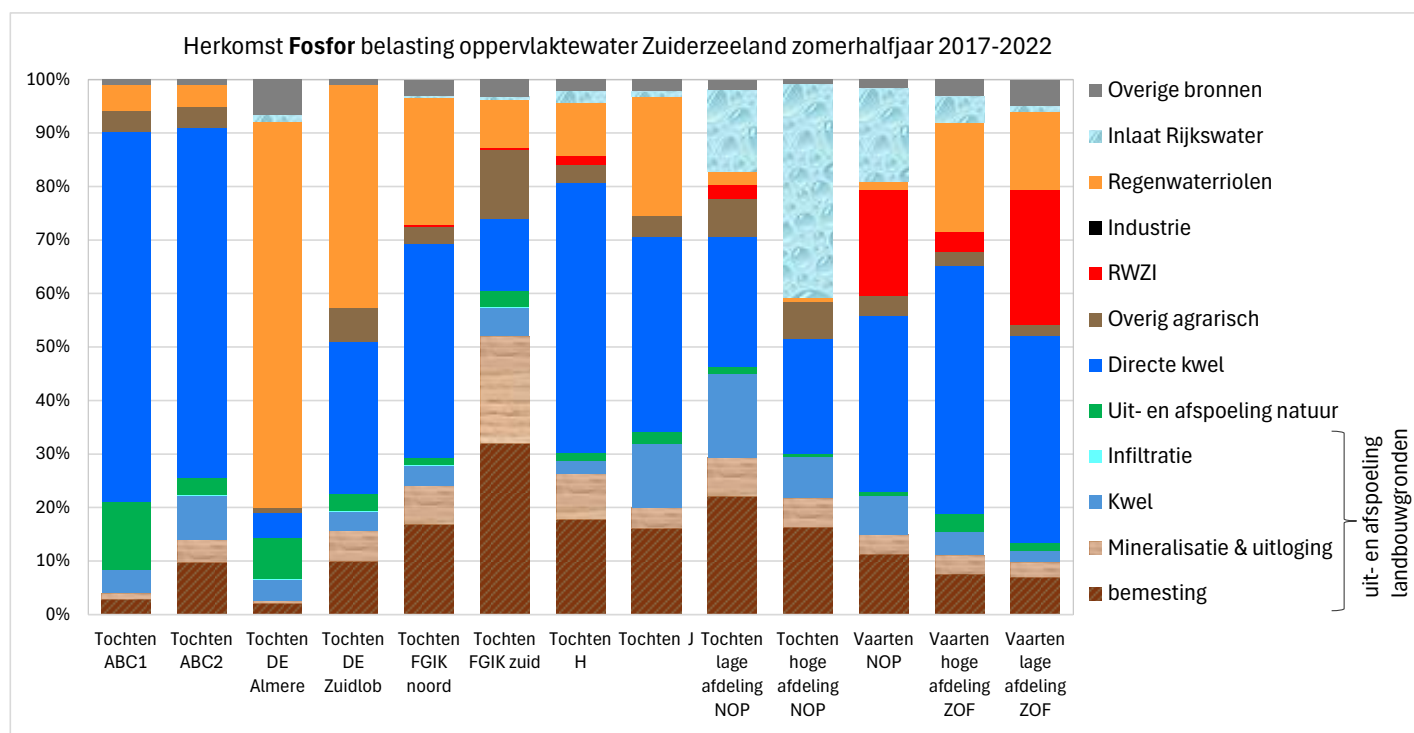
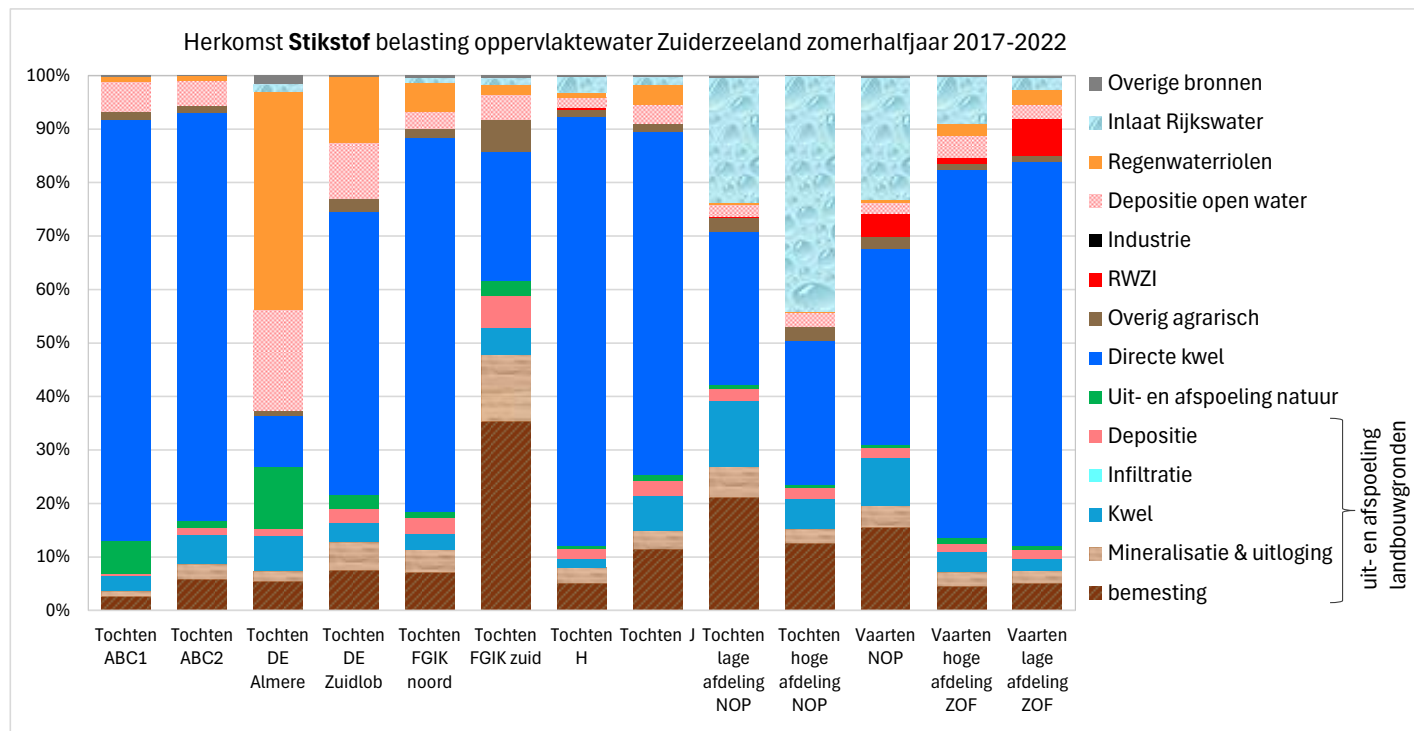
inlaat Rijkswater zomerhalfjaar 2010-2016						
Rijkswater	Naar	Debiet		P (mgP/l)	Vracht N (ton)	vracht P (ton)
		(Mm3)	N (mgN/l)			
ijsselmeer	37109	25.6	2.9	0.09	73.5	2.4
tjonger	37109	12.8	2.8	0.10	35.7	1.3
kadoelermeer	37112	0.3	4.0	0.13	1.0	0.0
ijsselmeer	37112	8.6	2.7	0.09	23.1	0.8
Vollerhoverkanaal	37112	3.7	1.9	0.05	7.0	0.2
Vollerhovermeer	37111	2.6	1.8	0.05	4.5	0.1
Zwarte Meer	37111	24.4	2.6	0.08	62.1	2.0
Vollerhovermeer	37109	21.5	1.6	0.05	34.9	1.0
Almeresluis (Gooimeer)	37103	0.4	1.9	0.17	0.7	0.1
Hevel Bovenwater (Markermeer)	37105	0.3	1.3	0.06	0.5	0.0
Hevel Noord (IJsselmeer)	37108	0.2	1.7	0.08	0.3	0.0
Ketelmeer	37113	3.8	2.7	0.08	10.2	0.3
Markermeer	37113	12.9	1.8	0.10	23.7	1.4
Veluwemeer	37113	0.9	1.5	0.08	1.4	0.1
Markermeer	37114	8.8	2.5	0.12	21.7	1.1

inlaat Rijkswater winterhalfjaar 2010-2016						
Rijkswater	Naar	Debiet		P (mgP/l)	Vracht N (ton)	vracht P (ton)
		(Mm3)	N (mgN/l)			
ijsselmeer	37109	14.7	4.4	0.07	66.1	1.0
tjonger	37109	2.0	4.5	0.10	8.8	0.2
kadoelermeer	37112	0.1	5.0	0.08	0.4	0.0
ijsselmeer	37112	3.1	3.8	0.10	11.9	0.3
Vollerhoverkanaal	37112	3.3	2.4	0.07	8.2	0.2
Vollerhovermeer	37111	1.3	2.4	0.07	3.2	0.1
Zwarte Meer	37111	6.2	4.0	0.11	25.0	0.7
Vollerhovermeer	37109	8.7	2.6	0.07	23.3	0.6
Almeresluis (Gooimeer)	37103	0.0	3.0	0.13	0.0	0.0
Hevel Bovenwater (Markermeer)	37105	0.0	1.9	0.06	0.0	0.0
Hevel Noord (IJsselmeer)	37108	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
Ketelmeer	37113	0.6	3.1	0.06	1.8	0.0
Markermeer	37113	3.2	2.0	0.10	6.4	0.3
Veluwemeer	37113	0.1	2.3	0.05	0.1	0.0
Markermeer	37114	4.4	2.8	0.12	12.8	0.6

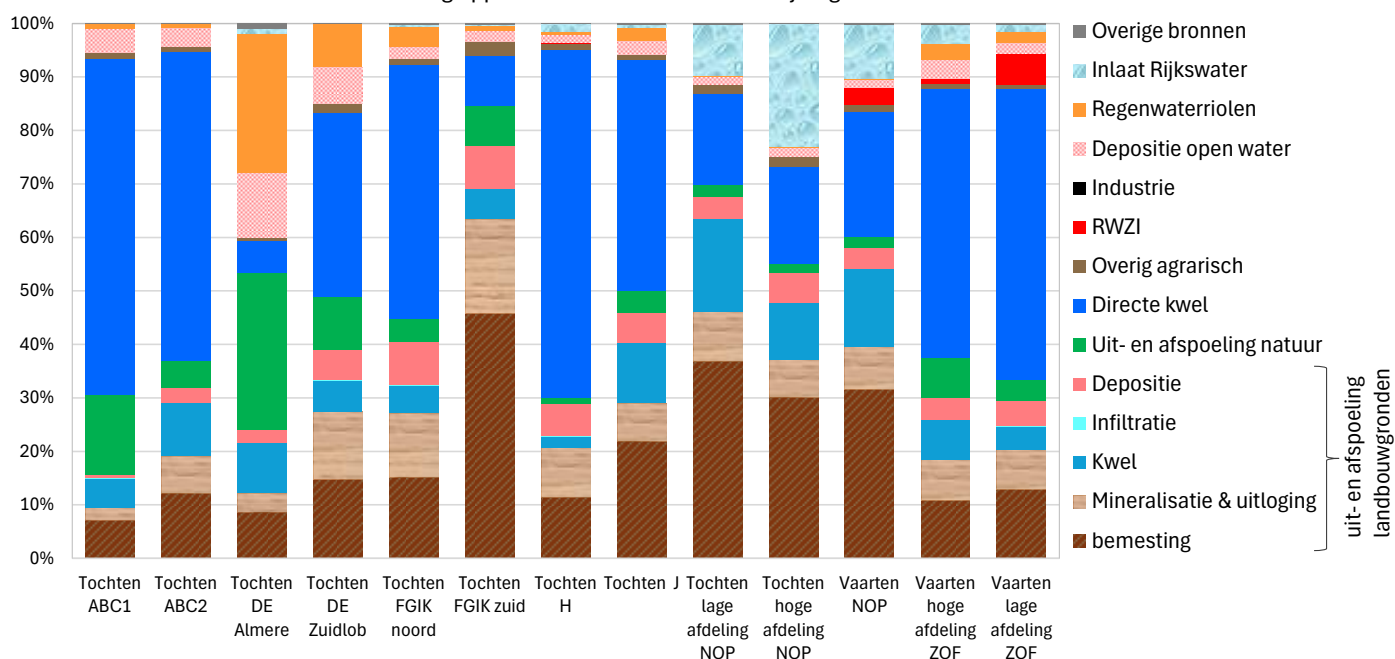
Inlaat Rijkswater zomerhalfjaar 2017-2022								
Rijkswater	Naam_inlaat	Naar	Debiet (Mm3)	meetpunt kwaliteit	N (mgN/l)	P (mgP/l)	Vracht N (ton)	vracht P (ton)
IJsselmeer	Hevel Waterval	37109	6.1	KETMWT	2.7	0.07	12	0.44
IJsselmeer	Hevel Urk	37109	1.3	KETMWT	2.7	0.07	3	0.09
IJsselmeer	Hevel Geitenpad	37109	3.4	KETMWT	2.4	0.07	6	0.23
IJsselmeer	Hevel Schapenpad	37109	3.4	KETMWT	2.4	0.07	6	0.24
IJsselmeer	Inlaat Lemmer-Rutten	37109	12.4	STEILBK	2.5	0.02	27	0.30
IJsselmeer	Inlaat Lemsterhop	37109	5.7	STEILBK	2.5	0.02	12	0.14
IJsselmeer	Urkersluis	37112	2.7	KETMWT	2.3	0.07	6	0.20
IJsselmeer	Friese sluis	37112	2.8	KETMWT	2.3	0.08	5	0.21
Zwarte_Meer	Hevel Neushoornweg	37111	2.0	RAMSDP	2.5	0.06	4	0.12
Zwarte_Meer	Hevel Schelpenpad	37111	9.2	RAMSDP	2.3	0.06	18	0.59
Kadoelermeer	Hevel Leijnse (voorheen Kadoelen)	37111	0.2	21BN-044-01	2.4	0.06	0	0.01
Vollenhoverme	Hevel Ettenlandseweg	37111	0.6	21BN-044-01	2.9	0.05	1	0.03
Kadoelermeer	Hevel Kadoelen	37111	0.5	21BN-044-01	2.3	0.06	1	0.03
Zwarte_Meer	Inlaat Ramspol	37111	8.3	RAMSDP	2.4	0.06	16	0.51
Vollenhoverme	Inlaat Waterloopbos	37111	2.3	21BN-044-01	2.3	0.06	4	0.13
Vollenhoverme	Inlaat Repelweg	37111	1.6	21BN-044-01	2.5	0.06	3	0.09
Kadoelermeer	Voorstersluis	37111	2.6	21BN-044-01	2.2	0.05	5	0.14
Kadoelermeer	Inlaat Blokzijl	37109	9.7	21BN-044-01	2.3	0.06	18	0.52
Kadoelermeer	Inlaatwerk Vollenhover kanaal	37109	6.1	21BN-044-01	2.4	0.06	12	0.34
Gooimeer	Almeresluis	37103	0.4	EEMMDK23	2.2	0.16	1	0.07
Ketelmeer	Inlaatwerk Colijn	37113	1.0	KAMPN	3.1	0.07	2	0.08
Markermeer	Zuidersluis (doorvoer)	37113	16.6	MARKMMDN	1.3	0.01	16	0.23
Markermeer	Zuidersluis (schuttingen)	37113	6.7	MARKMMDN	1.3	0.01	7	0.10
Veluwemeer	Sluis De Blauwe Dromer	37113	0.7	VELWMMDN	2.2	0.01	1	0.01
Ketelmeer	Ketelsluis	37113	2.6	KAMPN	2.6	0.07	6	0.18
IJsselmeer	Hevel Lelystad Noord	37108	1.0	HOUTRHK	3.3	0.04	2	0.04
Markermeer	Hevel Bovenwater	37105	0.3	LELSHVN	1.8	0.02	0	0.01
Markermeer	Noordersluis	37114	7.9	LELSHVN	1.7	0.02	10	0.15

Inlaat Rijkswater winterhalfjaar 2017-2022								
Rijkswater	Naam_inlaat	Naar	Debiet (Mm3)	meetpunt kwaliteit	N (mgN/l)	P (mgP/l)	Vracht N (ton)	vracht P (ton)
IJsselmeer	Hevel Waterval	37109	0.6	KETMWT	4.8	0.09	2	0.06
IJsselmeer	Hevel Urk	37109	1.2	KETMWT	4.7	0.09	4	0.11
IJsselmeer	Hevel Geitenpad	37109	0.1	KETMWT	4.7	0.09	0	0.01
IJsselmeer	Hevel Schapenpad	37109	0.1	KETMWT	4.7	0.09	0	0.01
IJsselmeer	Inlaat Lemmer-Rutten	37109	1.5	STEILBK	2.9	0.04	3	0.06
IJsselmeer	Inlaat Lemsterhop	37109	2.5	STEILBK	3.6	0.04	7	0.09
IJsselmeer	Urkersluis	37112	0.8	KETMWT	4.5	0.09	3	0.07
IJsselmeer	Friese sluis	37112	0.3	KETMWT	4.3	0.09	1	0.02
Zwarte_Meer	Hevel Neushoornweg	37111	0.7	RAMSDP	6.3	0.18	3	0.11
Zwarte_Meer	Hevel Schelpenpad	37111	2.6	RAMSDP	6.2	0.18	12	0.45
Kadoelermeer	Hevel Leijnse (voorheen Kadoelen)	37111	0.1	21BN-044-01	3.4	0.07	0	0.01
Vollenhoverme	Hevel Ettenlandseweg	37111	0.2	21BN-044-01	3.2	0.07	0	0.01
Kadoelermeer	Hevel Kadoelen	37111	0.2	21BN-044-01	2.7	0.07	0	0.01
Zwarte_Meer	Inlaat Ramspol	37111	1.5	RAMSDP	5.9	0.15	6	0.22
Vollenhoverme	Inlaat Waterloopbos	37111	1.9	21BN-044-01	2.8	0.07	5	0.12
Vollenhoverme	Inlaat Repelweg	37111	0.8	21BN-044-01	2.7	0.07	2	0.05
Kadoelermeer	Voorstersluis	37111	0.2	21BN-044-01	2.4	0.06	1	0.01
Kadoelermeer	Inlaat Blokzijl	37109	4.7	21BN-044-01	3.4	0.07	13	0.36
Kadoelermeer	Inlaatwerk Vollenhover kanaal	37109	1.1	21BN-044-01	3.0	0.07	3	0.07
Gooimeer	Almeresluis	37103	0.3	EEMMDK23	3.1	0.16	1	0.05
Ketelmeer	Inlaatwerk Colijn	37113	0.1	KAMPN	5.2	0.10	0	0.01
Markermeer	Zuidersluis (doorvoer)	37113	0.0	MARKMMDN	1.5	0.03	0	0.00
Markermeer	Zuidersluis (schuttingen)	37113	3.0	MARKMMDN	1.4	0.03	3	0.08
Veluwemeer	Sluis De Blauwe Dromer	37113	0.1	VELWMMDN	1.8	0.02	0	0.00
Ketelmeer	Ketelsluis	37113	0.4	KAMPN	4.5	0.10	1	0.04
IJsselmeer	Hevel Lelystad Noord	37108	0.2	HOUTRHK	3.4	0.06	0	0.01
Markermeer	Hevel Bovenwater	37105	0.1	LELSHVN	1.9	0.03	0	0.00
Markermeer	Noordersluis	37114	3.9	LELSHVN	1.4	0.03	5	0.11

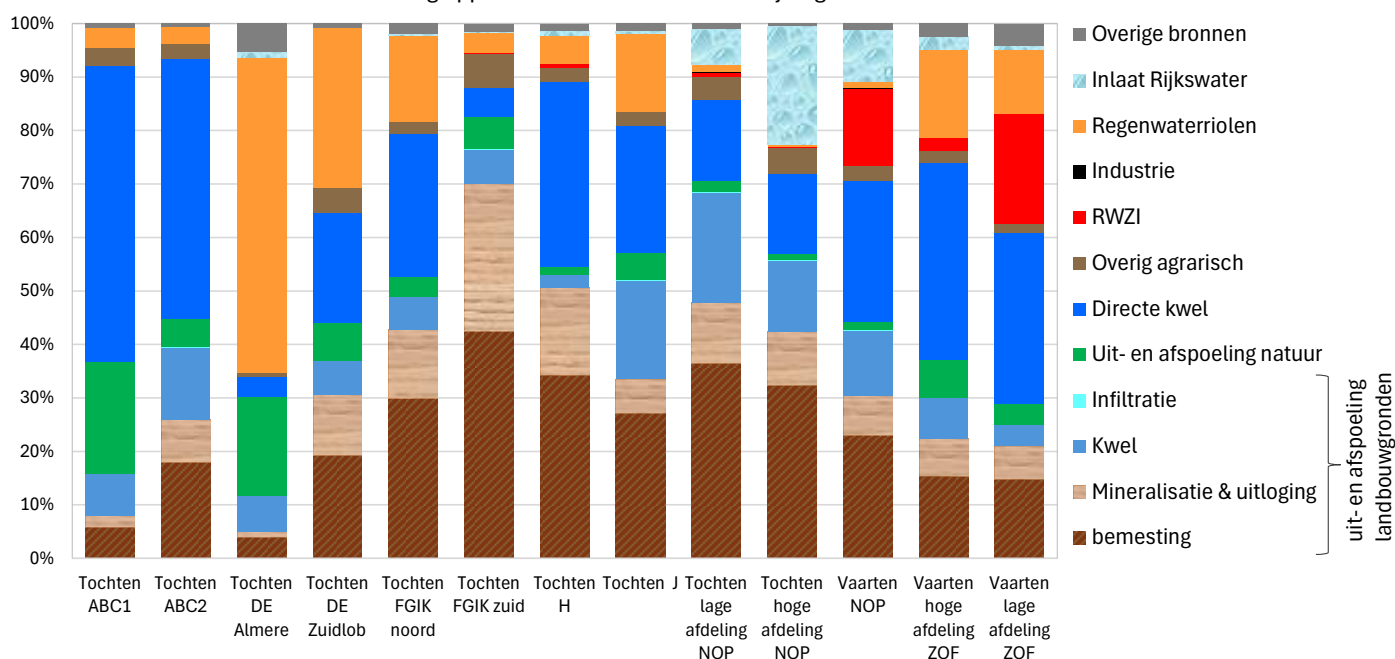
Bijlage 4 Grafieken bronverdeling



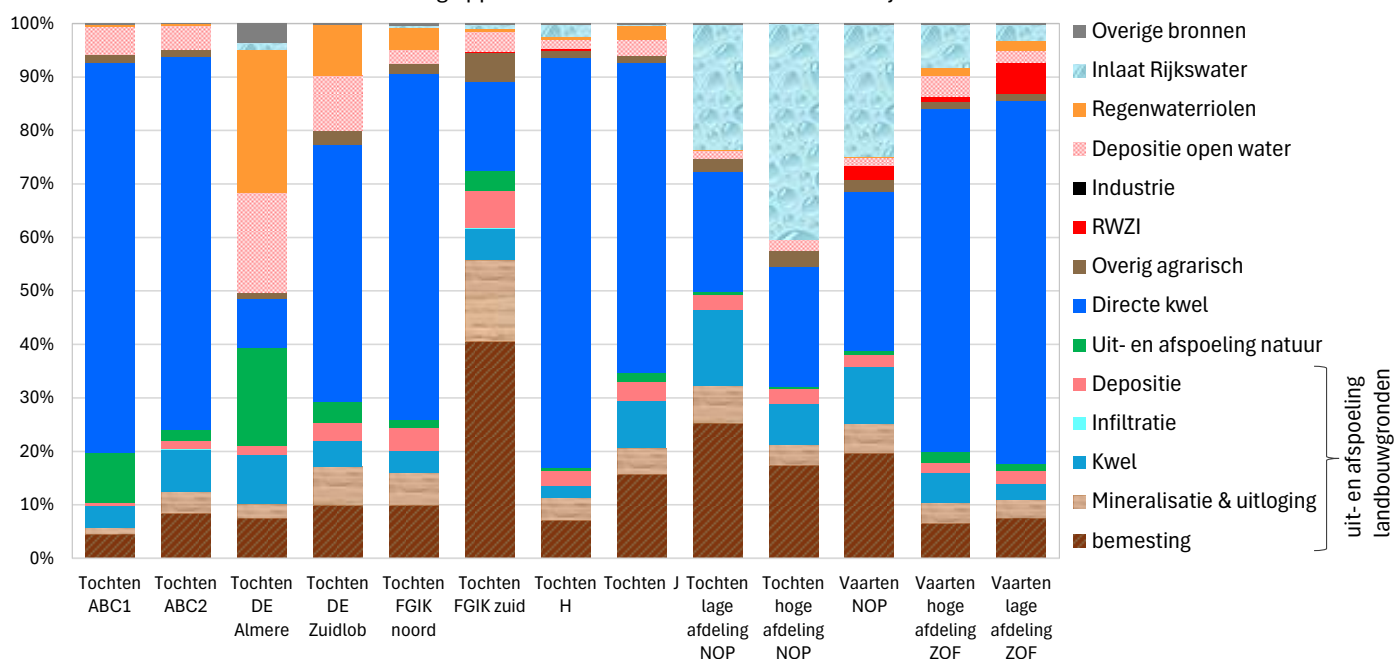
Herkomst **Stikstof** belasting oppervlaktewater Zuiderzeeland jaargemiddeld 2017-2022



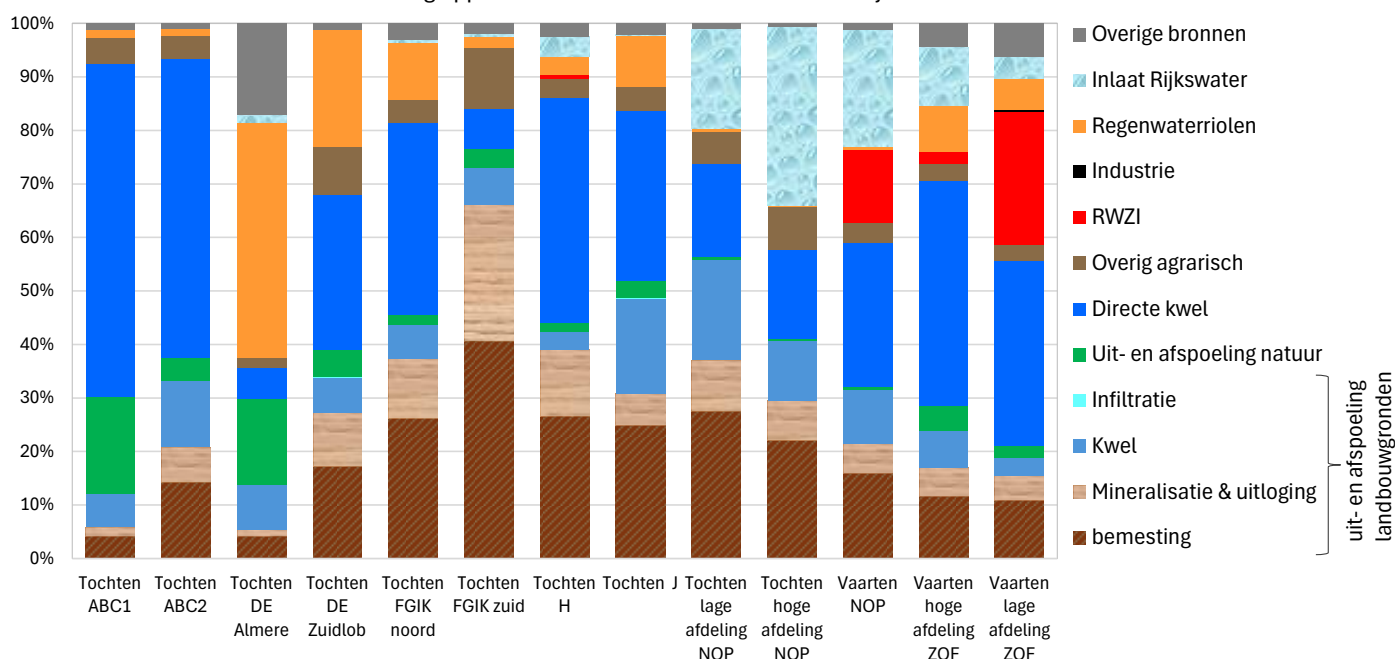
Herkomst **Fosfor** belasting oppervlaktewater Zuiderzeeland jaargemiddeld 2017-2022



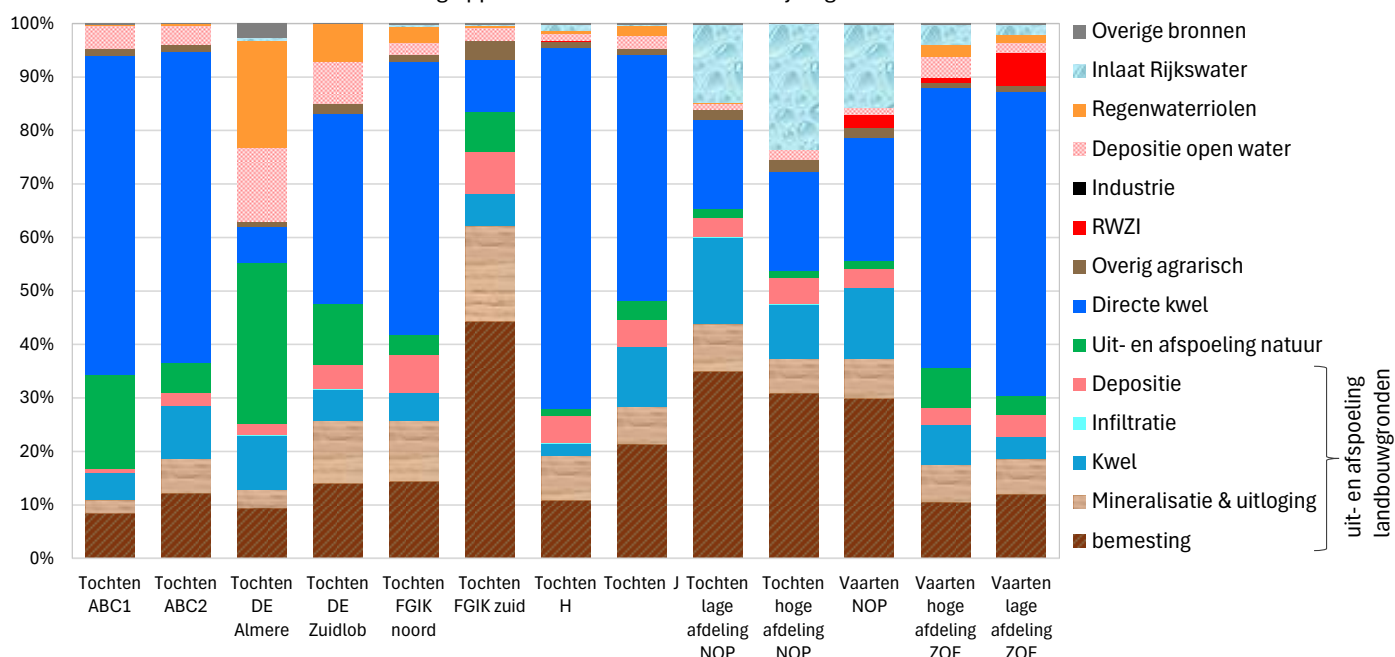
Herkomst Stikstof belasting oppervlaktewater Zuiderzeeland zomerhalfjaar 2010-2016



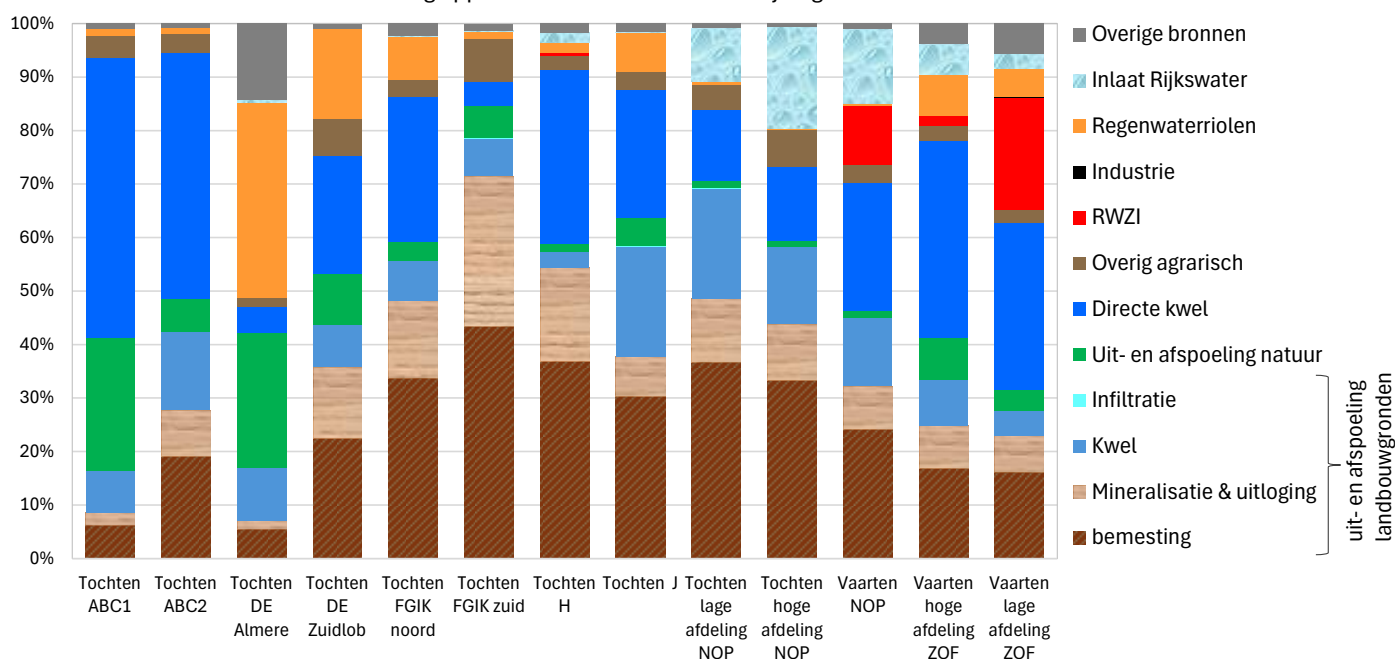
Herkomst Fosfor belasting oppervlaktewater Zuiderzeeland zomerhalfjaar 2010-2016



Herkomst Stikstof belasting oppervlaktewater Zuiderzeeland jaargemiddeld 2010-2016



Herkomst Fosfor belasting oppervlaktewater Zuiderzeeland jaargemiddeld 2010-2016



Bijlage 5 Gemeten concentraties toestroomgebieden

Voor het bepalen van de theoretische achtergrondgehalten is per toestroomgebied de gemiddelde gemeten concentratie bepaald. Deze zijn door het waterschap in Excel aangeleverd (NaarAquokit2010-2024locatie.xlsx).

Gemiddeld gemeten concentraties stikstof, zomerhalfjaar en jaargemiddeld 2010-2016 en 2017-2022.

	aantal meetlocaties	N _{tot} zomer 2010- 2016 (mgN/l)	N _{tot} zomer 2017- 2022 (mgN/l)	N _{tot} jaar 2010- 2016 (mgN/l)	N _{tot} jaar 2017- 2022 (mgN/l)
Tochten ABC1	5	1.06	1.02	1.69	1.90
Tochten ABC2	11	2.28	2.29	2.76	3.19
Tochten DE Almere	2	1.28	1.16	1.44	1.38
Tochten DE Zuidlob	5	5.82	4.38	6.89	6.48
Tochten FGIK Noord	10	2.35	2.79	3.41	4.21
Tochten FGIK Zuid	6	4.04	3.47	5.27	6.16
Tochten H	8	1.98	1.78	3.28	3.42
Tochten J	11	6.41	7.18	7.56	8.61
Tochten lage afdeling NOP	24	4.15	3.54	5.02	4.77
Tochten hoge afdeling NOP	6	3.25	2.58	4.44	4.50
Vaarten NOP	5	3.33	2.58	4.09	4.06
Vaarten hoge afdeling ZOF	8	2.20	1.99	2.95	3.11
Vaarten lage afdeling ZOF	10	3.07	3.38	3.99	4.49

Gemiddeld gemeten concentraties fosfor, zomerhalfjaar en jaargemiddeld 2010-2016 en 2017-2022.

	aantal meetlocaties	P _{tot} zomer 2010- 2016 (mgP/l)	P _{tot} zomer 2017- 2022 (mgP/l)	P _{tot} jaar 2010- 2016 (mgP/l)	P _{tot} jaar 2017- 2022 (mgP/l)
Tochten ABC1	5	0.15	0.16	0.14	0.14
Tochten ABC2	11	0.11	0.09	0.10	0.09
Tochten DE Almere	2	0.11	0.10	0.09	0.09
Tochten DE Zuidlob	5	0.29	0.29	0.26	0.28
Tochten FGIK Noord	10	0.16	0.16	0.14	0.13
Tochten FGIK Zuid	6	0.16	0.19	0.13	0.13
Tochten H	8	0.07	0.07	0.07	0.06
Tochten J	11	0.27	0.27	0.23	0.23
Tochten lage afdeling NOP	24	0.14	0.11	0.12	0.10
Tochten hoge afdeling NOP	6	0.14	0.10	0.14	0.11
Vaarten NOP	5	0.12	0.08	0.10	0.07
Vaarten hoge afdeling ZOF	8	0.10	0.09	0.09	0.08
Vaarten lage afdeling ZOF	10	0.16	0.14	0.15	0.13

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

Wageningen Environmental Research
Rapport 3391
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.
