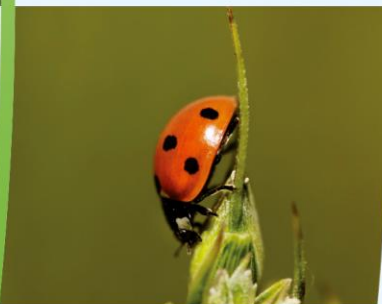
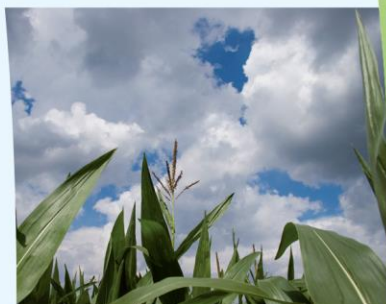
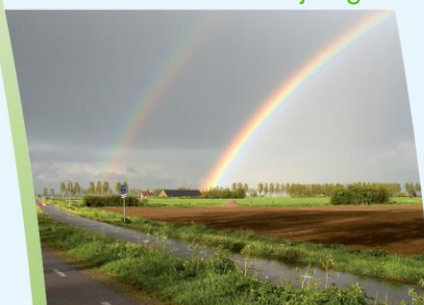


Soil for life

Rapport 1726.N.17

**Bodem- en waterkwaliteit in
het beheergebied van
Wetterskip Fryslân**

Deel 2. Ruimtelijke gebiedsanalyse



Rapport **1726.N.17**

Bodem- en waterkwaliteit in het beheergebied van Wetterskip Fryslân

Een ruimtelijke gebiedsanalyse

Auteur(s) : Dr. ir. G.H. Ros
 Ir. S.E. Verweij

© 2019 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

Wetterskip Fryslân & MesdagFonds

Voorwoord

Wetterskip Fryslân heeft in 2018 samen met het Mesdagfonds een onderzoek opgezet om consensus te krijgen over het belang van bronnen en routes van stikstof- en fosforverliezen naar het watersysteem en over mogelijke oplossingsrichtingen om de kwaliteit van het oppervlaktewater te verbeteren.

De opzet en uitvoering van dit onderzoek is tot stand gekomen in nauw overleg met Wetterskip Fryslân en het Mesdagfonds. De auteurs willen de betrokken medewerkers van Wetterskip Fryslân (Miriam Collombon, Arjen van der Mark, Jan Roelsma en Humphrey Paap) hartelijk danken voor hun inbreng van de gebiedskennis die nodig is om goed grip te krijgen op de gebiedskenmerken die van invloed zijn op de waterkwaliteit. We danken ook Geesje Rotgers en Jan Eggenkamp voor hun enthousiasme en betrokkenheid namens het Mesdagfonds bij dit onderzoek als ook voor de waardevolle suggesties tijdens de voortgangsbijeenkomsten en rapportagefase.

We danken alle betrokkenen voor de motivatie om samen op zoek te gaan en te luisteren naar meetgegevens om zo meer zicht te krijgen op de factoren die de waterkwaliteit sturen. We danken ook Grishja van der Veer voor zijn bijdrage aan de tijdserie-analyse van stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater en zijn focus op de onderliggende mechanistische relaties. Als laatste danken we Wim Bussink als kritische meelezer van dit rapport.

Beleidssamenvatting

Wetterskip Fryslân heeft in 2018 samen met het Mesdagfonds een onderzoek opgezet om consensus te krijgen over het belang van bronnen en routes van stikstof- en fosforverliezen naar het watersysteem en over mogelijke oplossingsrichtingen om de kwaliteit van het oppervlaktewater in Friesland te verbeteren. De kern van dit onderzoek ligt op kwantitatieve onderbouwing van diverse bronnen (zoals rwzi's, watervogels, bodem en bemesting) en emissieroutes *op basis van beschikbare metingen* bij het waterschap, gegevens uit agrarische meetnetten én praktijkexpertise uit de agrarische sector. Met dit inzicht kunnen gebiedsgerichte maatwerkoplossingen worden ontwikkeld voor een gezonde bodem én een betere waterkwaliteit. De huidige studie focust op de zomergemiddelde N- en P-concentraties in het oppervlaktewater.

Uit dit onderzoek blijkt dat:

- De N- en P-concentraties in de periode 2000-2005 zijn gedaald voor 90% van de meetpunten, maar daarna redelijk stabiel blijven. Een vergelijkbare daling is zichtbaar in de N-belasting vanuit rwzi's; ook hier blijft de P-belasting stabiel. De totale aanvoer van N en P via bemesting is Friesland-breed weinig veranderd in de afgelopen 18 jaar (het mestbeleid heeft meer gestuurd op een betere verdeling van de mest en daardoor minder risico op verliezen, dan op de mestgift), evenals de agronomische bodemkwaliteit. Het aantal ganzen daarentegen is bijna verdubbeld, al is deze verdubbeling niet te herleiden tot hogere N- en P-concentraties. De resultaten suggereren ook dat de ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties niet beïnvloed wordt door de grootte van de watervogelpopulatie.
- Een analyse van N- en P-concentraties in het oppervlaktewater onvoldoende informatie geeft om de berekende vrachten vanuit landelijke modellen te onderbouwen. De conclusies rondom beïnvloedbaarheid van N- en P-concentraties én de relatie met (sturende) gebiedskenmerken uit eerdere studies corresponderen echter met de bevindingen van de huidige studie. De landelijke mestverdelingsmodule lijkt de aanvoer van dierlijke mest in sommige bedrijfssystemen te overschatten.
- De belangrijkste bron van nutriënten naar het oppervlaktewater bestaat uit effluënten vanuit rwzi's en de uit- en afspoeling vanuit de landbouwbodem.
- Er tientallen maatregelen zijn die positief bijdragen aan vermindering van N- en P-uitspoeling, zowel gericht op bodembeheer en bemesting als op slootkantbeheer en inrichting van het watersysteem. De onderbouwing van deze maatregelen is vaak gebaseerd op modelberekeningen en logisch redeneren op basis van praktijkervaringen. Uit deze studie blijkt dat de effectiviteit van maatregelen sterk afhangt van de gebiedskenmerken.
- In 74% van het gebied de P-concentratie sterk wordt bepaald door de geohydrologie (grondsoort, ontwatering) en de inrichting van het watersysteem (diepte en vorm sloten, peilbeheer, etc.). Het nutriëntenmanagement van de boer heeft hier weinig invloed op. Wel kan hij invloed uitoefenen via bufferstroken, maaibeheer (van de slootkant) en het op diepte houden van de sloot. In de overige 26% van het gebied zijn het vooral gebiedskenmerken die samenhangen met het bodemtype en de bodemkwaliteit die de P-concentratie beïnvloeden (vooral in het westen en noordoosten van het beheergebied) als ook landgebruik en bemesting (vooral in het zuidoosten van het beheergebied).
- Voor stikstof het agrarisch bodembeheer en de bemesting een grotere rol speelt dan voor fosfor: in 66% van de peilgebieden zijn dit de meest relevante gebiedskenmerken die van invloed zijn op de N-concentraties. Geohydrologische omstandigheden en het water- en slootkantenbeheer zijn vooral belangrijk in het oosten en deels in het noorden van het beheergebied.

De kwantificering voor de N- en P-belasting richting de boezem, en eventuele afwenteling naar het Waddengebied, is in deze studie niet meegenomen.

Uitgebreide samenvatting

Wetterskip Fryslân heeft in 2018 samen met het Mesdagfonds een onderzoek opgezet om consensus te krijgen over het belang van bronnen en routes van stikstof- en fosforverliezen naar het watersysteem en over mogelijke oplossingsrichtingen om de kwaliteit van het oppervlaktewater in het beheergebied te verbeteren. De kern van dit onderzoek ligt op kwantitatieve onderbouwing van diverse bronnen (zoals rwzi's, watervogels, bodem en bemesting) en emissieroutes *op basis van beschikbare metingen* bij het waterschap, gegevens uit agrarische meetnetten én praktijkexpertise uit de agrarische sector. Op basis van dit inzicht kunnen gebiedsgerichte maatwerkoplossingen worden ontwikkeld om de verliezen van stikstof (N) en fosfor (P) naar het oppervlaktewater te verlagen.

De voorliggende studie maakt gebruik van innovatieve statistische methodes (o.a. *machine learning*) om verbanden te ontdekken tussen gebiedskenmerken en de zomergemiddelde N- en P-concentraties in het oppervlaktewater. Het gaat hierbij om gegevens over bodem, bemesting, depositie, landgebruik, weer, watervogels, geohydrologie, rioolwater-overstorten en rwzi's. Het boezemwatersysteem is hierbij niet meegenomen. Op basis van de inzichten die hier uit voortkomen kunnen maatwerkpakketten worden opgesteld voor de verbetering van de waterkwaliteit. Ook is in beeld gebracht hoe de waterkwaliteit, de bemesting, de populatie watervogels en de bodemkwaliteit zijn veranderd over de periode 2000 tot 2018.

Wat zijn de gebiedskenmerken die sturend zijn op de zomergemiddelde N- en P-concentraties?

De belangrijkste bron van nutriënten naar het oppervlaktewater bestaat uit effluenten vanuit rwzi's en uit- en afspoeling vanuit het landelijk gebied. Gezamenlijk zijn deze bronnen verantwoordelijk voor ca 80% van de belasting van het oppervlaktewater, geschat op basis van landelijke modellen. Deze studie laat zien dat in 74% van het gebied de ruimtelijke variatie in P-concentraties bepaald wordt door de vormgeving van het watersysteem, de geohydrologie en het water- en slootkantbeheer. In de overige 26% van het gebied is de P-concentratie sterk afhankelijk van de bodemkwaliteit, het landgebruik en de bemesting. Voor stikstof is dit patroon diffuser en speelt agrarisch bodembeheer en bemesting een grotere rol: in 66% van het gebied zijn dit de meest relevante gebiedskenmerken die van invloed zijn op de N-concentraties. De belasting vanuit rwzi's heeft weinig invloed op de ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties binnen peilgebieden omdat deze grotendeels lozen op de boezem.

Levert een analyse gebaseerd op metingen andere inzichten op dan het STONE-instrumentarium?

Deze vraag draait om de hoogte van de N- en P-belasting van het oppervlaktewater en kan als zodanig (nog) niet accuraat worden beantwoord op basis van deze studie. De gebiedskenmerken die sturend zijn op hogere N- en P-concentraties zoals vastgesteld in deze studie zijn indirect ook sturend op de resultaten van STONE. In vergelijking met STONE biedt de huidige analyse een grotere lokale nauwkeurigheid. De huidige analyse op basis van metingen laat zien dat de bodemkwaliteit, de lokale geohydrologie en het water- en slootkantbeheer van grote invloed zijn op fosfor, terwijl stikstof sterker samenhangt met het bodembeheer en de bemesting. Dit correspondeert met de inzichten vanuit STONE waarbij de lokale ontwatering, drainageweerstand en slootdichtheid de P-belasting sturen. De stabiele concentraties voor fosfor (er zijn geen sterke fluctuaties over de jaren) én de gevonden relaties met gebieds-kenmerken in deze studie suggereren dat P-concentraties sterk gebufferd worden door het bodem- en watersysteem. Effecten van veranderende P-bemesting zijn vrijwel niet terug te vinden in de waterkwaliteitsmetingen én eventuele aanpassingen in het nutriëntenmanagement zijn voor P dan ook pas na een lange periode (> 10 jaar) zichtbaar. Ook deze conclusie correspondeert met de conclusie van STONE simulaties dat verlaging van mestgiften niet de oplossing biedt voor verlaging van P-concentraties in het oppervlaktewater. Maatregelen die ingrijpen op het drainagesysteem en de slootrand zijn effectiever.

In vergelijking met fosfor is er meer dynamiek zichtbaar voor stikstof; de concentraties in het oppervlaktewater zijn in de periode 2000 tot 2005 dan ook gedaald. Goed bodembeheer én bemesting zijn sleutelfactoren om de verliezen van N naar het watersysteem te beperken. Er worden in deze studie diverse gebiedskenmerken geïdentificeerd die direct of indirect samenhangen met bodemkwaliteit en bemesting. In vergelijking met P is er voor N meer winst te behalen, en kan via goed nutriëntenmanagement en bodembeheer de N-concentratie verder dalen.

Wat zijn de meest voorkomende bedrijfssystemen en hoe ziet de mineralenbalans op deze bedrijven eruit gegeven de huidige landbouwpraktijk en de agronomisch gewenste situatie?

In deze studie zijn twee akkerbouw- en drie melkveehouderijsystemen nader onderzocht. Ondanks de variatie in bodemkwaliteit en bouwplannen wordt de agronomische behoefte aan nutriënten grotendeels ingevuld via drijfmest. De daling in gebruiksnormen hebben in Friesland niet gezorgd voor minder aanvoer van drijfmest, maar voor een 'betere' verdeling van mest. Of dit heeft geleid tot een daling in het aantal hotspots is vooralsnog lastig meetbaar te maken omdat de P-afspoeling naar het oppervlaktewater kleiner is dan 1% van de P-gift en de bodem het gedrag van P sterk buffert. De op metingen gebaseerde mestverdelingsmodule van WUR heeft de neiging om de aanvoer van dierlijke mest te maximaliseren. Voor stikstof wordt dat automatisch gecompenseerd door lagere kunstmestgiften, wat voor bouwland op zand tot onrealistische scenario's leidt. De invloed daarvan op de berekende waterkwaliteit is vooralsnog onduidelijk. De bodemkwaliteit in Friesland lijkt op orde te zijn; de aanvoer van organische stof compenseert de afbraak (exclusief veen) waardoor het organische stofgehalte op peil kan blijven. Er lijkt ook enige misbalans te zijn in de aan- en afvoer van kalium, maar dit heeft geen negatieve effecten op de waterkwaliteit.

Is er sprake van een stagnatie in de chemische waterkwaliteit en zo ja, hoe hangt dit samen met het strengere wordende mestbeleid en de ontwikkeling van water- en weide-vogelpopulaties?

De N-concentraties op de meeste meetpunten (90%) zijn met meer dan 10% zijn gedaald over de periode 2000 tot 2018 terwijl het P-gehalte langzaam daalt dan wel stabiel blijft. De verandering heeft vooral plaatsgevonden in de periode 2000 tot 2005. De N-belasting vanuit rwzi's is substantieel gedaald, terwijl de P-belasting stabiel is gebleven. De invloed hiervan buiten het boezemwatersysteem is echter beperkt. De (berekende) aanvoer van N en P via bemesting is over de hele periode weinig veranderd. Het aantal ganzen daarentegen is bijna verdubbeld, al is deze verdubbeling niet te herleiden tot hogere N- en P-concentraties in het oppervlaktewater. De ruimtelijke analyse laat zien dat watervogels in vrijwel geen enkel peilgebied naar voren komen als een belangrijke sturende factor op de N- en P-concentraties. Dit wil overigens niet zeggen dat ze lokaal geen relevante bron kunnen zijn van N en P richting het oppervlaktewater. Het zegt wel dat hun bijdrage overschaduwde dan wel gecompenseerd wordt door andere gebiedskenmerken. De bodemkwaliteit is tussen 2000 en 2018 vrijwel niet veranderd, wat in combinatie met de gegeven geohydrologie de grote stabiliteit in P-concentraties over de tijd kan verklaren.

Welke maatregelen zijn inzetbaar om effectief te sturen op een betere waterkwaliteit?

Er zijn tientallen maatregelen bekend die positief bijdragen aan vermindering van N- en P-uitspoeling, zowel gericht op bodembeheer en bemesting (de kansen voor de boer) als op slootkantbeheer en inrichting van het watersysteem (de kansen voor de waterbeheerder). Deze studie schat op basis van literatuurgegevens in dat via agrarische maatregelen de N-belasting met maximaal 30% kan worden verlaagd. Binnen het huidige mestbeleid is het effect van agrarische maatregelen op de P-belasting kleiner dan 8%. Deze studie laat zien dat P-concentraties (als resultante van P-verliezen) sterk gestuurd worden door het chemische evenwicht in de bodem én het risico op oppervlakkige afstroming en ondiepe uitspoeling vanuit de bodem. Relevante bodemkenmerken zijn de textuur, de ontwatering en de gewasteelt. Hoge P-verliezen kunnen daarbij gebufferd worden door het ontwerp en onderhoud van watergangen: in ondiepe sloten zijn de P-concentraties hoger dan in diepere sloten omdat daar de temperatuur hoger is en het zuurstofgehalte lager.

Hier liggen dan ook kansen voor maatregelen zoals bufferzones en akkerranden. Aanpassen van de bemestingspraktijk zorgt niet voor lagere P-concentraties in het watersysteem. Hoge ijzer-concentraties in de slootbodem kunnen daarnaast zorgen voor extra retentie in de watergang. In de kustzones is er sprake van een hoge natuurlijke achtergrondbelasting, een belasting die lastig beïnvloedbaar is via agrarische maatregelen.

In een groot deel van het beheergebied is de bodemtextuur en de bodemkwaliteit van invloed op de verliezen van nutriënten naar het oppervlaktewater. De grootste verbetering is hier te realiseren voor N, waarbij niet zozeer een lagere N-gift maar verhoging van de bodembenutting gewenst is. Inzet van precisiebemesting en de inzet van vanggewassen kunnen hierbij helpen. Internationaal wordt in de agronomie vanuit duurzaamheidsoogpunt gestuurd op de 4xR strategie: de juiste plaats, het juiste tijdstip, de juiste meststof en de juiste dosering. Zeker voor stikstof liggen hier mogelijkheden om het N-overschot zodanig te verlagen dat het risico op verliezen naar het watersysteem kleiner worden. De tweede belangrijke stuurfactor heeft te maken met de ontwatering van percelen en het landgebruik. Bouwplannen met relatief veel diep wortelende en N-efficiënte gewassen zoals granen en gras hebben relatief minder N-uitspoeling dan bouwplannen met veel rooivruchten en/of mais.

Aanbevelingen

Vanuit dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan om de inzichten van dit onderzoek verder te onderbouwen en openstaande vragen te beantwoorden. De belangrijkste zijn:

1. Verbreed de huidige analyse van zomergemiddelde concentraties naar vrachten gedurende het hele jaar om zo beter zicht te krijgen op afwenteling (o.a. naar de Noordzee), piekbelastingen, seizoeneffecten en de bijdrage van bronnen aan de N- en P-belasting van de boezem.
2. Verdiep het gebiedsinzicht door voor een aantal specifieke polders (die variëren in landgebruik, bemestingsintensiteit, aanwezigheid van watervogels, en riool-overstorten) een water- en stoffenbalans op te stellen om zo de bijdrage en relevantie voor de waterkwaliteit aan te tonen.
3. Onderbouw het handelingsperspectief om P-concentraties in de sloot te verlagen door een goede inrichting en beheer van het drainagesysteem dan wel de watergangen in de gebieden waar dit relevant is.
4. Verken de kansen en risico's van de nieuwe meetmethode (via een combinatie van P-CaCl₂ en P-AL) om de P-toestand van landbouw-percelen voor het mestbeleid te kwantificeren. Is het mogelijk om expliciet te sturen op lagere P-concentraties in het (uitspoelend) bodemvocht zonder risico's op opbrengstschade?

Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	
1. Introductie	2
2. Materiaal & Methode	4
2.1 Werkwijze	4
2.2 Databronnen en - koppeling	4
2.3 Gebiedsanalyse op basis van machine learning technieken	6
2.4 Trends in waterkwaliteit	7
2.5 Kwantificering mineralenbalans	8
3. Trendanalyse: variatie in de tijd	10
3.1 Inleiding	10
3.2 Variatie in waterkwaliteit	11
3.3 Belasting rwzi	15
3.4 Bemesting	18
3.5 Water- en weidevogels	20
3.6 Bodemkwaliteit	24
4. Ruimtelijke variatie in gebiedskenmerken	25
4.1 Beeld vanuit eerder onderzoek	25
4.2 Landgebruik en bodem	27
4.3 Het bodem- en watersysteem	31
4.4 Variatie in waterkwaliteit	34
4.5 Belasting rwzi	36
4.6 Bemesting	38
4.7 Water- en weidevogels	40
4.8 Agronomische gebiedsanalyse	42
5. Intermezzo : maatregelen	45
5.1 Inleiding	45
5.2 Maatregelen	46
5.3 Knelpunten	48
6. Sturende factoren waterkwaliteit	50
6.1 Koppeling met gebiedskenmerken	50
6.2 Sturende factoren voor zes gebiedsclusters	57
6.3 Sturende factoren per peilgebied	62
6.4 Relatie met maatregelen	64
7. Discussie en Conclusie	67
7.1 Onderzoeksvragen	67
7.2 Discussiepunten	70
7.3 Aanbevelingen	72
Referenties	74
Bijlage A. Toelichting Machine Learning Algoritmes	76
Bijlage B. Toelichting Agronomische Bedrijfsanalyse	79
Bijlage C. Effect gebiedskenmerken op waterkwaliteit	82
Bijlage D. Tijdseries emissies en waterkwaliteit	86

1. Introductie

Vanuit de zorg(plicht) voor een duurzaam watersysteem en de ontwikkelingen binnen het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer is bij de Nederlandse waterschappen de behoefte ontstaan om actiever samen te werken met de agrarische sector. Om gericht te kunnen sturen op voldoende en schoon water is inzicht nodig in de verschillende bronnen en routes van water en nutriënten in het bodem- en watersysteem én het handelingsperspectief voor waterbeheerders en agrarische ondernemers om deze bronnen en routes te beïnvloeden. Binnen het complexe samenspel van landbouw, bodem- en waterbeheer zijn er op dit moment vragen rond de stagnerende verbetering van de waterkwaliteit en de mogelijkheden die er liggen om de waterkwaliteit te verbeteren richting de doelen van de Kaderrichtlijn Water.

Wetterskip Fryslân heeft samen met het Mesdagfonds een onderzoek opgezet om consensus te krijgen over het belang van de verschillende bronnen, de aanwezige routes en realistische oplossingsrichtingen. De kern van het dit onderzoek ligt op kwantitatieve onderbouwing van bronnen (zoals rwzi's, watervogels, bodem en bemesting) en routes *op basis van beschikbare metingen* bij het waterschap en gegevens uit agrarische meetnetten én praktijkexpertise uit de agrarische sector. Op basis van dit inzicht kunnen vervolgens gebiedsgerichte maatwerkoplossingen worden ontwikkeld om via goed bodem- én waterbeheer de verliezen van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater te verlagen. Deze maatregelen moeten leiden tot een vruchtbare en gezonde bodem én een betere waterkwaliteit.

Duurzaam waterbeheer in het landelijk gebied gaat onder meer om het nemen van de juiste maatregelen op de juiste plek om zo de waterkwaliteit te verbeteren. Maatwerk staat daarbij centraal. Om per regio effectieve maatregelen te ontwikkelen kunnen drie methoden (apart of in samenhang) worden ingezet waarmee maatregelen worden geselecteerd op basis van i) inzicht in belangrijkste *hotspots* en *hot moments*, ii) expertkennis van landbouwadviseurs en iii) modellen die de effectiviteit van maatregelen ruimtelijk in beeld brengen. De voorliggende studie integreert deze drie methoden in een statistische analyse om verbanden te ontdekken tussen gebiedskenmerken (gebaseerd op alle beschikbare metingen van het bodem- en watersysteem) en de stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater. Het gaat hierbij om gegevens over bodem, bemesting, landgebruik, rioolwaterzuiveringsinstallaties, overstorten, weer, vogels, geohydrologie en inzichten vanuit mechanistische modellen. Gebruik makend van dit inzicht worden thema's gedefinieerd waarop via regionale maatwerkpakketten kan worden gestuurd voor verbetering van de waterkwaliteit.

Concreet wil die onderzoek de volgende vragen beantwoorden:

- Wat zijn de belangrijkste gebiedskenmerken die sturend zijn op de stikstof- en fosfaatbelasting van het watersysteem binnen beheergebied van Wetterskip Fryslân?
- Levert een analyse *gebaseerd op metingen* andere inzichten op dan de resultaten van het landelijke STONE-instrumentarium dat normaliter gebruikt wordt om de belasting van het oppervlaktewater-systeem met nutriënten te kwantificeren?
- Wat zijn de meest voorkomende bedrijfssystemen binnen het beheergebied en hoe ziet de mineralenbalans op deze bedrijven eruit gegeven de huidige landbouwpraktijk en de agronomisch gewenste situatie?
- Is er binnen het beheergebied sprake van een stagnatie in de chemische waterkwaliteit en zo ja, hoe hangt dit samen met het strenger wordende mestbeleid en de ontwikkeling van water- en weidevogelpopulaties?

- Welke maatregelen zijn inzetbaar om effectief te sturen op een betere waterkwaliteit, rekening houdend met locatie-specifieke kenmerken?

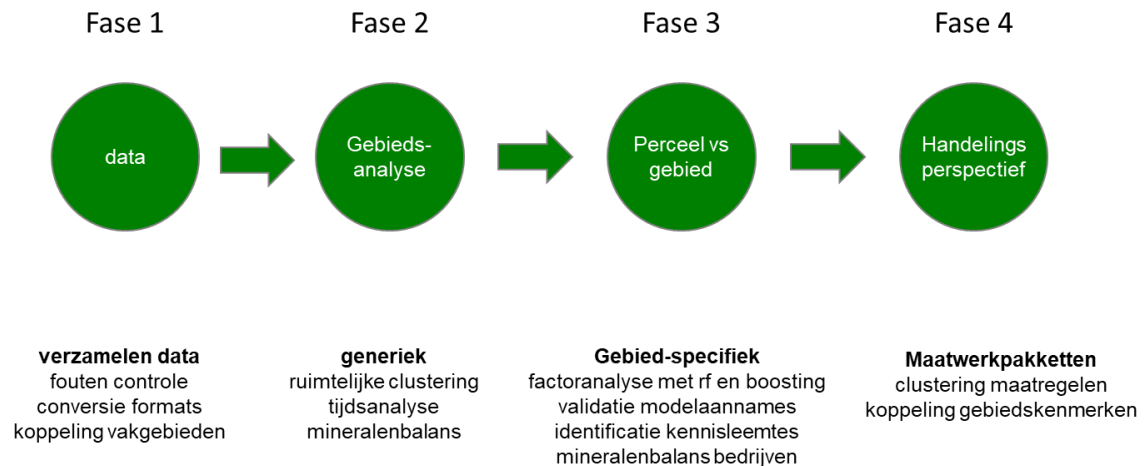
Leeswijzer

In dit onderzoek komen allerlei gegevens aan bod die van invloed zijn op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater. Na deze inleiding wordt eerst een beschrijving gegeven van de gebruikte meetgegevens en methodiek. In hoofdstuk 3 staat de vraag centraal of, en zo ja hoe, de waterkwaliteit is veranderd in de afgelopen jaren, en of deze veranderingen in de tijd samenhangen met trends in de belasting vanuit rwzi's, bemesting, water- en weidevogels en de bodemkwaliteit. In hoofdstuk 4 is onderzocht hoe de belangrijkste bronnen en routes van nutriënten variëren binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Hoofdstuk 5 is een klein intermezzo over agrarische maatregelen die op initiatief van de agrarische sector uitgerold worden om de verliezen van nutriënten naar het watersysteem te verkleinen. In hoofdstuk 6 wordt onderzocht welke ruimtelijke gebiedskenmerken samenhangen met (dan wel verantwoordelijk zijn voor) de variatie in stikstof- en fosforconcentraties binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Op basis van dit inzicht worden deelgebieden benoemd met sturingsmogelijkheden om de waterkwaliteit te verbeteren. Deze studie rondt af met een integrerend hoofdstuk waarbij de resultaten van deze studie worden geëvalueerd en aanbevelingen worden gedaan om via maatwerkoplossingen samen te werken aan een duurzaam bodem- en watersysteem.

2. Materiaal & Methode

2.1 Werkwijze

De rode draad in het onderzoek is het vergroten van inzicht van de bronnen en routes van stikstof- en fosforverliezen op basis van *beschikbare metingen bij het waterschap, gegevens uit agrarische meetnetten en praktijkexpertise* uit de agrarische sector. Op basis van deze gegevens kunnen vervolgens gebiedsgerichte maatwerkoplossingen worden ontwikkeld om de verliezen van N en P naar het oppervlaktewater te verlagen.



Figuur 2.1. Verschillende fases van het gezamenlijk onderzoek van Wetterskip Fryslân en het MesdagFonds.

Binnen dit onderzoek zijn vier fases onderscheiden (Figuur 2.1):

- 1 **Dataverzameling monitoringsmeetnetten:** verzameling en koppeling van gebiedsinformatie rondom het watersysteem, de bodem, en het landgebruik. De verzameling van meetgegevens uit agrarische meetnetten is uitgevoerd in 2018; zie hiervoor de publicatie van Ros et al. (2018).
- 2 **Generieke gebiedsanalyse:** een generieke, gebiedsbrede, statistische analyse om de ruimtelijke en temporele variatie in N- en P-concentraties in het oppervlaktewater te relateren aan de gebiedskenmerken van polders dan wel afwateringseenheden. Dit maakt duidelijk *welke* gebiedskenmerken *hoe* samenhangen met verhoogde N- en P-concentraties in het watersysteem.
- 3 **Onderzoeksfase:** een statistische analyse waarin ingezoomd wordt naar de individuele peilgebieden dan wel afwateringseenheden om zo meer zicht te krijgen op de lokale gebiedskenmerken die van invloed zijn op de N- en P-concentraties in het oppervlaktewater. Kennisleemtes worden hier geïdentificeerd. Dit maakt per afwateringseenheid duidelijk *waarom* de concentraties afwijken van het gebiedsgemiddelde en welke bronnen en gebiedskenmerken hiermee samenhangen.
- 4 **Handelingsperspectief:** op basis van de vele metingen die iets zeggen over de bronnen en routes van nutriënten is per deelgebied aangegeven hoe waterbeheerders en agrariërs effectief kunnen sturen op lagere N- en P-concentraties in het oppervlaktewater.

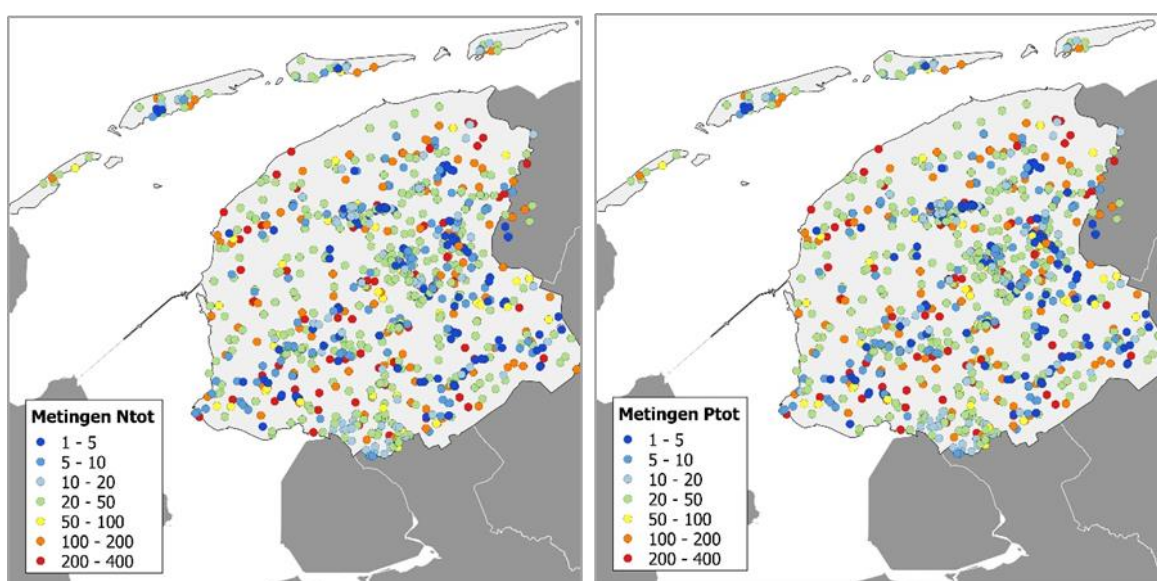
2.2 Databronnen en -koppeling

Voor de gebiedsanalyse in deze studie is gebruik gemaakt van de volgende gegevens (zie Tabel 2.1) waarbij per type is vermeld hoe deze informatie invloed heeft op nutriëntenverliezen vanuit de bodem naar het water: als bron, route of receptor. De details van deze databronnen wordt verder besproken in sectie 3.1.

Tabel 2.1. Verzamelde gebiedsinformatie via monitoringmeetnetten en modellen.

Omschrijving	Type	Relatie met NP
Watersysteem		
Waterkwaliteit oppervlaktewater (periode 2000-2018)	meting	-
Gemalen en waterstanden (peilen en debieten)	meting	bron
Grondwater (GHG, GLG, GVG, kwel/infiltratie)	berekening	bron en route
RWZI gegevens (o.a. N- en P-concentraties en debiet)		bron
Riooloverstorten (zonder emissiegegevens)	locatiegegevens	bron
Grondwaterkwaliteit (nitraat)	indirecte meting	-
Waterfluxen van en naar bodemprofiel	berekening	route
Neerslag en verdamping		route
Geohydrologie (wateroppervlak, slootdichtheid)	indirecte meting	receptor
Landbouwbodem		
Bodemkwaliteit bovengrond (o.a. P-toestand, P-verzadiging, organische stof, pH, kleigehalte, en mineralisatiesnelheid) en indicatie bodemvruchtbaarheid	meting	bron en route
Bodemkwaliteit ondergrond (o.a. P-verzadiging, organische stof, kleigehalte, metalen, en nutriënten)	meting	bron en route
Bodemtype (Bodemkaart 1:50.000) en conform mestwetgeving	indirecte meting	route
Bemesting in 2000 en 2015 conform mestverdelingsmodel	berekening	bron
Verdichtingsrisico	indirecte meting	route
Bodembiodiversiteitsmetingen uit het BOBI-meetnet	indirecte meting	route
Agrarisch landgebruik (gewascode)	meting	bron en route
Tellingen water- en weidevogels (met focus op watervogels)	meting	bron

Door Wetterskip Fryslân zijn oppervlaktewaterkwaliteitsgegevens uit de periode 2000 t/m 2018 verzameld. Doordat de aangeleverde data uit verschillende meetnetten afkomstig zijn, elk met een ander specifiek doel, bevatten de data zowel meetpunten die over een langere periode en met regelmaat zijn bemonsterd, als meetpunten die slechts één of meerdere keren zijn bemonsterd (Figuur 2.2).



Figuur 2.2. Overzicht van het aantal metingen per meetpunt in de periode 2000-2018 voor N-totaal (links) en P-totaal (rechts).

De aangeleverde waterkwaliteitsdata bevatten ruim 800.000 afzonderlijke metingen van een verscheidenheid aan fysisch-chemische parameters. Voor dit onderzoek beperken we ons tot de doelvariabelen N-totaal en P-totaal (circa 50.000 metingen elk).

Bij de Nationale Databank Flora en Fauna (NDFF) zijn gegevens opgevraagd van water- en weidevogels in de provincie Friesland. Van de verschillende soorten watervogels heeft het NDFF meerjarige seizoens-gemiddelden en maandgemiddelden beschikbaar gesteld. Voor deze studie zijn de afzonderlijke soorten onderverdeeld in de volgende soortgroepen: eenden, ganzen, zwanen, meeuwen, reigers en weidevogels. Met name de soortgroepen eenden, ganzen en zwanen, maar ook meeuwen en weidevogels laten een sterke seizoensfluctuatie zien. Eenden, ganzen en zwanen overwinteren in grote aantallen in Nederland waarbij de eerste overwintersaars rond oktober aankomen om in maart weer te vertrekken. Kaarten van de ganzen-dichtheid in januari en in juni laten dan ook sterke verschillen zien (niet weergegeven). De geografische gegevens zijn niet volledig dekkend voor het hele beheergebied. Dit noopt naar voorzichtige conclusies als er voor het hele gebied relaties worden gelegd tussen ruimtelijke verspreiding van watervogels en de ruimtelijke heterogeniteit in waterkwaliteit. Op lokaal niveau of voor een individueel watersysteem kunnen deze relaties wel met meer zekerheid worden vastgesteld.

2.3 Gebiedsanalyse op basis van machine learning technieken

Om met statistische technieken te kunnen vaststellen welke factoren van invloed zijn op de waterkwaliteit zijn de data uit Tabel 2.1 over bodemkwaliteit, het watersysteem, de afvalwaterketen en het landgebruik voorbereid. Alle gegevens hebben namelijk een ruimtelijke dimensie en zijn - zover als mogelijk is - omgezet naar ruimtelijke grids met een resolutie van 250 x 250 m. Data die ook een variatie in tijd kennen, zijn gesplitst in meerdere rasters per tijdvak, namelijk per maand en jaar. Gebaseerd op de ruimtelijke indeling van het beheergebied in 613 afwaterings- dan wel peilgebieden (aangeleverd door het waterschap) is voor elk deelgebied bepaald wat de gemiddelde bodemeigenschappen, het meest voorkomende landgebruik, de gemiddelde vogeldichtheid, de gemiddelde gewasproductie, etc. is. Als van deze metingen en gegevens geen variatie in de tijd bekend was, dan is de meting toegekend als onveranderlijke variabele voor elke tijdstap (zoals bijvoorbeeld grondsoort). Voor categoriale variabelen zoals landgebruik of bodemtype is gekozen voor de meest voorkomende waarde per peilgebied. De waterkwaliteitsmeetpunten zijn in overleg met betrokken waterkwaliteitsmedewerkers van Wetterskip Fryslân toegekend aan een peilgebied op basis van de x- en y-coördinaten van het meetpunt. Alle beschikbare meetpunten zijn daarbij als losse tijdseries meegenomen; dat betekent dat als er meerdere meetpunten per peilgebied aanwezig zijn, deze niet worden gemiddeld maar als individuele tijdserie wordt meegenomen.

Om meer zicht te krijgen op de factoren die van invloed zijn op de waterkwaliteit, is gebruik gemaakt van *tree learning algoritmen*, en wel in het bijzonder van *Random Forest* (Breiman, 2001) en *Gradient Boosted Trees*. Dit zijn bijzonder krachtige algoritmen om verbanden in data te ontdekken en worden de laatste jaren veel toegepast bij het analyseren van grote databestanden (Molnar, 2018). Alle analyses zijn uitgevoerd in het opensource programma R. De gebruikte scripts voor zowel de statische analyse als bijbehorende databases zijn (voor zover niet vertrouwelijk) opvraagbaar bij de auteurs van dit rapport. Meer achtergrondinformatie over de gebruikte statistische methodes voor *machine learning* algoritmen is separaat als bijlage opgenomen.

Voor clustering van gebiedskenmerken is gebruik gemaakt van een het *k-Nearest Neighbour* algoritme (kNN).

2.4 Trends in waterkwaliteit

Voor trendanalyse van nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater zijn veel verschillende statistische methodes beschreven, elk met hun eigen voor- en nadelen. Rozemeijer et al. (2017) heeft voor zijn trendanalyse gebruik gemaakt van LOWESS. Dit is een veel gebruikte en robuuste techniek die een algemene trend berekent waarbij veranderingen op korte termijn, de zogenoemde seizoenfluctuaties, worden genegeerd. Deze trendlijn kan vervolgens visueel worden geïnterpreteerd. Voor deze studie is gekozen voor een Seasonal Mann-Kendall Trend Test (Hirsch-Slack Test). Dit is een robuuste (non-parametrische) test om *lineaire* trends vast te stellen in tijdseries met een sterke seizoencomponent. In het geval van een significante lineaire trend is – naast LOWESS - ook een schatting gemaakt van de absolute toe- of afname van met behulp van Sen's Slope. Analooq aan de Seasonal Mann-Kendall Trend Test is de Sen's Slope methode een robuuste (non-parametrische) methode die goed om kan gaan met sterke fluctuaties in de data.

Voor de trendanalyse in deze studie is allereerst gekeken naar alle meetpunten waarvoor meer dan 45 metingen beschikbaar waren over de periode 2000 tot 2015; dit betekent concreet dat er minimaal vier meetjaren aanwezig zijn gedurende een periode van 15 jaar. Omdat er vaak incomplete meetseries aanwezig zijn, is in meer detail gekeken naar meer completere tijdseries waarbij elk jaar minimaal negen metingen verspreid over negen maanden moet hebben voor zowel stikstof als fosfaat. Voor stikstof en fosfor voldoen slechts 65 van de 1384 meetpunten aan deze voorwaarden. Voor de trendanalyse is de datum van de metingen afgerond op maandniveau. Mochten er meerdere metingen binnen een maand hebben plaatsgevonden dan is daarvan het gemiddelde bepaald. De N- en P-concentraties voor die maanden waarin geen metingen hebben plaatsgevonden zijn geïmputeerd (geschat) met behulp van *Kalman smoothing*.

Een vergelijkbare aanpak is gevolgd om veranderingen in beeld te brengen voor aanwezigheid van vogels, de belasting vanuit de rioolwaterzuiveringsinstallaties en de mestgift. Omdat de beschikbare gegevens met betrekking tot mestgiften alleen op jaarbasis zijn gegeven, maakt de trendanalyse alleen gebruik van jaargemiddelde giften¹ Voor de trends in vogelpopulaties (aantallen per oppervlakte-eenheid) wordt gebruik gemaakt van de jaar- en seizoengemiddelde tellingen (de oorspronkelijke tellingen zijn voor een groot deel van het gebied niet beschikbaar). Er is in deze studie niet gekeken naar temporele veranderingen in bodem-, mest- of gewaskwaliteit omdat deze gegevens niet beschikbaar waren voor dit onderzoek. Wel wordt gebruik gemaakt van eerder uitgevoerde analyses van Wageningen UR en het NMI waarbij per landbouwkundige regio de veranderingen in bodem- en gewaskwaliteit uitgebreid zijn onderzocht.

¹ Voor de gebiedsanalyse om een relatie tussen gebiedskenmerken, bemesting en de zomergemiddelde N- en P-concentratie in het oppervlaktewater te leggen, zijn de jaargiften over de maanden verdeeld gegeven de meest gangbare agrarische bemestingspraktijk.

2.5 Kwantificering mineralenbalans

Binnen deze studie worden verschillende bedrijfssystemen geanalyseerd om een zo goed mogelijk beeld te schetsen van de mineralensituatie op landbouwbedrijven in Friesland. Hierbinnen spelen zaken als bedrijfstype (melkvee/akkerbouw), bouwplan, regio, en grondsoort een rol. Gebaseerd op de structuur van de landbouwsector wordt de mineralenbalans in kaart gebracht voor vijf bedrijfssystemen. Dit zijn:

1. Akkerbouw op lichte en zware klei (circa 24.000 ha). Het gemiddelde bouwplan bevat pootaardappelen, wintertarwe, suikerbieten en zaauijen.
2. Akkerbouw op zandgrond (circa 3000 ha). Het gemiddelde bouwplan bevat zetmeelaardappelen, suikerbieten en granen (zomergerst, zomertarwe, wintertarwe).
3. Melkveehouderij op zand in het Noordelijk weidegebied (>80% gras, <15% mais; 53.000 ha) .
4. Melkveehouderij op klei in het Noordelijk weidegebied (>90% gras, <5% mais; 82.000 ha).
5. Melkveehouderij op veen in het Noordelijk weidegebied (>90% gras, <5% mais; 57.000 ha).

Voor de mineralenbalans wordt de aanvoer van stikstof, fosfaat, kalium, zwavel, calcium, magnesium en organische stof op bedrijfsniveau vergeleken met de gewenste agronomische behoefte aan nutriënten en de behoefte om het organische stofgehalte op peil te houden (zie Bijlage B). Dit geeft een beeld van de huidige en gewenste bemestingspraktijk om het productiepotentieel van de bodem te benutten.

Om de natuurlijke bodemvruchtbaarheid op lange termijn in stand te houden heeft de bodem behoefte aan organische stof en nutriënten. In de praktijk krijgen percelen daarom vaak een combinatie van dierlijke mest en kunstmest. De bemestingsgift over percelen is in kaart gebracht met de mestverdelingsmodule uit het regionale nutriëntenmodel INITIATOR (Ros et al., 2017; de Vries et al., 2018). Per perceel is daardoor de aanvoer van nutriënten bekend voor de bronnen dierlijke mest, kunstmest, compost als ook de levering van nutriënten via mineralisatie vanuit bodem en gewasresten. De landbouwkundige/ agronomische behoefte aan mineralen is in kaart gebracht door gebruik te maken van het landbouwkundig bemestingsadvies, met uitzondering van stikstof. Voor werkzame stikstof (dat wil zeggen de stikstof die ook daadwerkelijk opgenomen kan worden door het gewas) ligt de hoeveelheid die agrariërs aan hun gewassen mogen geven namelijk lager dan wat er agronomisch gewenst is. Dit is het gevolg van het huidige bemestingsbeleid waarbij de gewenste stikstofgift is gedefinieerd als die gift waarbij de uitspoeling naar het grondwater niet hoger mag zijn dan 50 mg NO₃ per liter. Voor een optimale gewasgroei zou voor meerdere gewassen, en in het bijzonder voor grasland, een hogere werkzame N-gift gewenst zijn. De verliezen die desondanks optreden, zijn binnen de huidige bemestingspraktijk en mestwetgeving in zeker zin “onvermijdelijk”.

De agronomische behoefte zoals gebruikt in deze studie is gebaseerd op de behoefte van het gewas, waarbij rekening is gehouden met de bodemvruchtbaarheid. De adviezen uit het bemestingsadvies zijn er op gericht om een economisch optimale opbrengst te realiseren (het gewasgericht advies) én de bodemkwaliteit in een optimale toestand (‘de streeftoestand’) te brengen voor gewasproductie. De optimale bodemkwaliteit is hierbij afgeleid van meerjarige veldproeven. In de praktijk komt dit voor vrijwel alle nutriënten - met uitzondering van stikstof en zwavel - neer op een systeem van evenwichtsbemesting. Evenwichtsbemesting betekent concreet dat de hoeveelheid nutriënten dat via bemesting aangevoerd mag worden gelijk moet zijn aan de afvoer van nutriënten via het gewas, rekening houdend met de zogenoemde “onvermijdbare” verliezen. Afhankelijk van de bodemvruchtbaarheid wordt daarom een correctie aangebracht op de mestgift: bodems die veel nutriënten bevatten, mogen minder bemest worden dan bodems die arm zijn aan nutriënten. Het onderliggende concept van evenwichtsbemesting is gevisualiseerd in figuur 2.3.



Figuur 2.3. Conceptuele visualisatie van het concept van evenwichtsbemesting.

Naast de hoeveelheid beschikbare nutriënten wordt de bodemkwaliteit in belangrijke mate beïnvloed door de hoeveelheid organische stof in de bodem. Organische stof (OS) is namelijk van belang voor de natuurlijke nutriëntenlevering, voor het bodemleven, de bodemstructuur en het vasthouden van water. Onvoldoende aanvoer van OS leidt op den duur dan ook tot een verminderde bodemvruchtbaarheid. Organische stofbeheer heeft alles te maken met bemesting en met het beperken van uit- en afspoeling. Organische stof kan worden aangevoerd door het telen van groenbemesters, achterlaten van stro en gewasresten, en aanvoer van dierlijke of organische mest en organische producten als zwarte grond en compost.

De huidige landbouwpraktijk streeft naar een positieve organische stofbalans waarbij de afbraak van OS in de bodem wordt gecompenseerd via de aanvoer van gewasresten, compost en organische mest. Tussen de verschillende bronnen van OS bestaan echter grote verschillen in afbraaksnelheid. In de agrarische praktijk wordt hierom gebruik gemaakt van de term 'effectief organische stof' (EOS). Hieronder wordt verstaan de hoeveelheid OS die na een jaar nog over is in de bodem. Van de OS in blad en stengels is na een jaar bijvoorbeeld nog maar 20% over, terwijl van de OS uit compost na een jaar nog bijna 90% over is.

3. Trendanalyse: variatie in de tijd

3.1 Inleiding

Vanuit landelijk en regionaal waterbeleid wordt er sinds de jaren '80 gestuurd op verlaging van nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater. Momenteel is de Kaderrichtlijn Water (KRW) leidend ten aanzien van de eisen voor de waterkwaliteit. De KRW stelt specifieke eisen per waterlichaam, die uiterlijk in 2027 gehaald moeten worden. Daarnaast geldt dat de toestand niet mag verslechteren. De eisen gelden voor zowel het waterleven (waterplanten, vissen, algen, macrofauna) als voor stoffen. In 2019 wordt de Kaderrichtlijn Water geëvalueerd. De verwachting is dat het ook toegestaan wordt dat doelen pas later bereikt worden. Alle benodigde maatregelen moeten dan wel voor 2027 genomen zijn en het moet gaan om oorzaken die tijd vragen zoals ecologisch herstel en het verminderen van emissies vanuit de bodem.

Naast de inrichting van het watersysteem door het waterschap wordt vanuit het landelijk mestbeleid gestuurd op vermindering van emissies van nutriënten. Het Nederlandse mestbeleid is in 1986 ingevoerd en is in de afgelopen jaren verschillende keren aangepast om invulling te geven aan de Europese doelstellingen voor schoon oppervlaktewater (zoals verwoord in de KRW, de Grondwater- en de Nitraatrichtlijn). Op 1 januari 2006 is de huidige Meststoffenwet van kracht geworden, waarin onder meer een systeem van gebruiksnormen voor het gebruik van mest is opgenomen. De laatste evaluaties van het mestbeleid laten zien dat het beleid inderdaad effectief is geweest om de nutriëntenbelasting van de bodem te verlagen evenals de daaraan gekoppelde verliezen naar het grond- en oppervlaktewater.

De laatste jaren lijkt de verlaging in N- en P-concentraties in het oppervlaktewater echter te stagneren. In de recente studie van Rozemeijer et al. (2017) worden op basis van de beschikbare waterkwaliteitsmetingen in Friesland de volgende conclusies getrokken:

- Voor N-totaal trad er van 2000 tot 2006 een daling op van de jaargemiddelde concentraties, waarna deze daling vervolgens stagneert.
- Voor P-totaal daalden de jaargemiddelde concentraties licht tussen 2000 en 2006, stegen vervolgens licht tot circa 2013 en sindsdien zijn de concentraties stabiel.
- De zomerconcentraties van N-totaal en P-totaal stijgen licht sinds 2008, wat betekent dat het doelbereik voor nutriënten niet dichterbij komt.
- Voor N-totaal laten gebieden met de hoogste concentraties een neerwaartse trend zien in de periode na 2006, terwijl gebieden met de laagste concentraties juist een opwaartse trend laten zien.

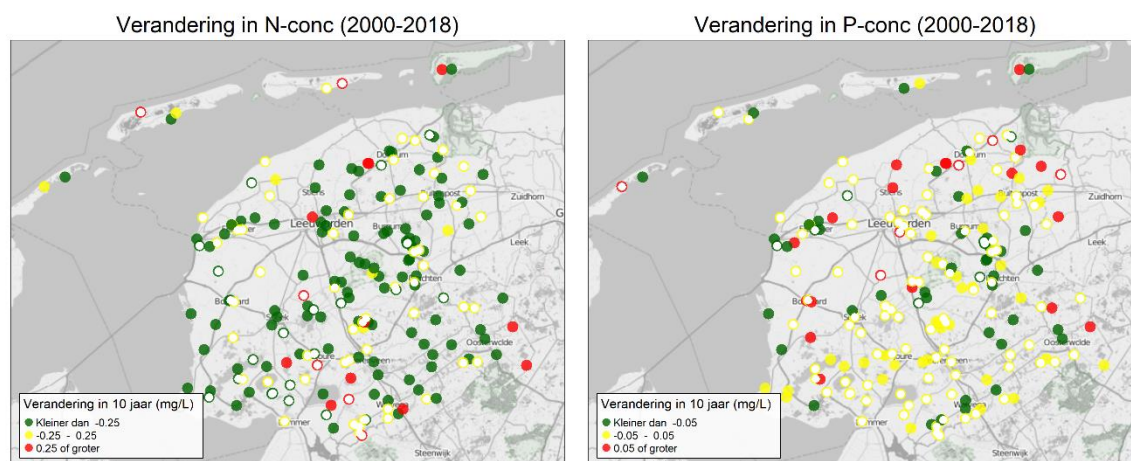
Verliezen van N en P uit de landbouwbodem wordt in verschillende onderzoeksrapporten aangemerkt als de belangrijkste bron van nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in Friesland. De dalende trend voor N-totaal in het oppervlaktewater hangt samen met de landelijke daling in bodemoverschotten, d.w.z. het deel van de gegeven bemesting dat niet wordt opgenomen door het gewas. Voor fosfaat is deze relatie niet waarneembaar: lagere gebruiksnormen zorgen in de praktijk voor een situatie dat er evenveel dan wel meer fosfaat van het land wordt verwijderd dan er wordt aangevoerd (d.w.z., een negatief bodemoverschot). De fosforconcentraties in het oppervlaktewater blijven echter stabiel. In dit hoofdstuk wordt gezocht naar mogelijke verklaringen voor deze stabiliteit door gericht te zoeken naar vergelijkbare trends in mogelijke bronnen van stikstof en fosfaat. Deze zoektocht is afgebakend op beschikbare meetgegevens zoals deze beschikbaar waren bij Wetterskip Fryslân dan wel Nutriënten Management Instituut (zie hoofdstuk 2). Aanvullend is onderzocht hoe de verandering in waterkwaliteit samenhangt met gebiedskenmerken (zie hoofdstuk 6). In de analyse ligt de focus op de zomergemiddelde concentraties omdat deze sturend zijn voor de invulling van de KRW.

3.2 Variatie in waterkwaliteit

Binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân zijn 204 meetpunten aanwezig waar over een langere periode (> 5 jaar) maandelijks meetgegevens beschikbaar zijn voor zowel stikstof als fosfaat. Ook andere chemische en biologische aspecten zijn gemeten zoals het ijzergehalte, de temperatuur, de geleidbaarheid en het zuurstofgehalte.

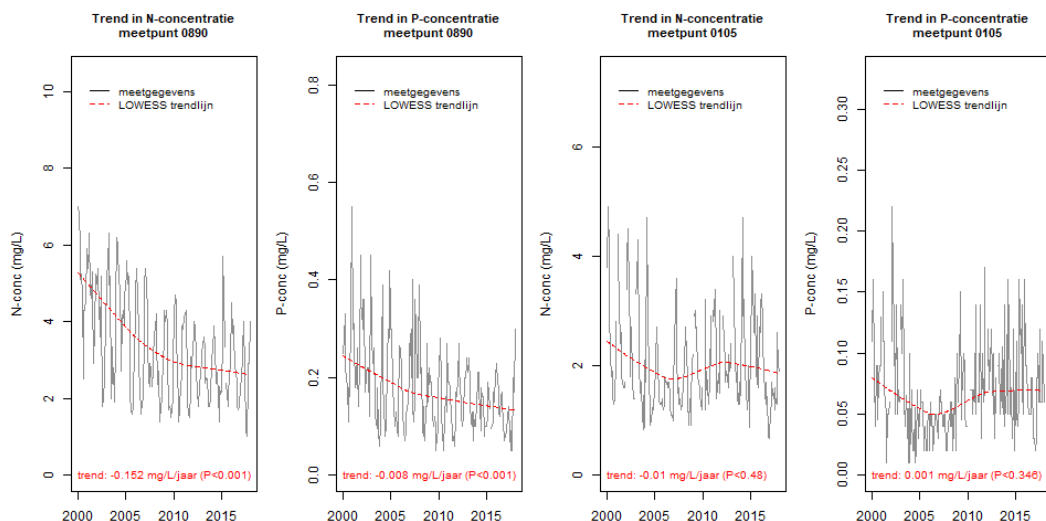
Stikstof en fosfaat

De gemiddelde daling van het stikstofgehalte over een periode van 10 jaar wordt geschat op $0,38 \text{ mg N l}^{-1}$, waarbij 169 meetpunten (~82%) een daling laat zien. Er zijn 109 meetpunten waarbij het N-gehalte significant daalt en er zijn 35 meetpunten die een stijging laten zien, waarvan 13 significant zijn (Figuur 3.1). Dit bevestigt de conclusie van Rozemeijer et al. (2017) dat in het overgrote deel van het gebied het N-gehalte van het oppervlaktewater daalt. Ook voor fosfor zijn er meetpunten die een daling laten zien in de gemeten P-concentraties; dat is het geval voor 58 meetpunten. Gemiddeld over het beheergebied is de verandering gelijk aan nul, dat wil zeggen dat het P-gehalte stabiel blijft over een periode van 10 jaar. Stijgingen in P-concentraties vinden vooral plaats in de kleirijke gebieden binnen het beheergebied. Voor stikstof daarentegen is er geen regionaal patroon waarneembaar. De verandering in het fosforgehalte over een periode van tien jaar varieert van $-0,92$ tot $+0,87 \text{ mg P l}^{-1}$.



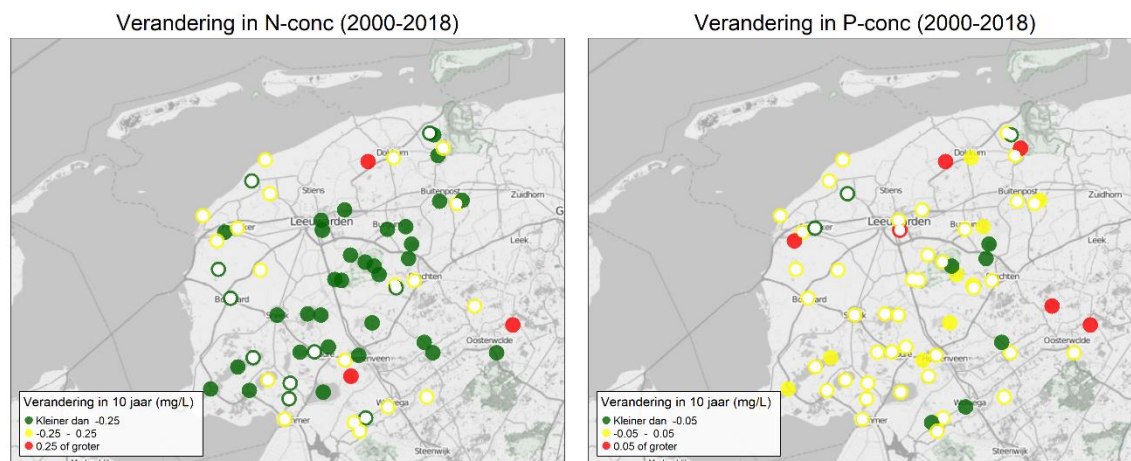
Figuur 3.1. Gemiddelde verandering in N-totaal en P-totaal over een periode van 10 jaar voor alle meetpunten waarvoor meer dan 5 jaar aan meetgegevens beschikbaar waren. Witte stippen (met rand) zijn niet significant.

Ter illustratie worden hieronder twee willekeurige voorbeelden gegeven van de verandering in N- en P-concentraties over een periode van 15 jaar. De tijdsreeksen van alle meetpunten zijn opgenomen als bijlage. Voor meetpunt 0890 (Opeinde, W. Brandsmaloeane) is er bijvoorbeeld zowel voor N als P een significante daling waarneembaar: deze daalt met $0,15 \text{ mg N l}^{-1}$ per jaar en $0,01 \text{ mg P l}^{-1}$ per jaar over een periode van 10 jaar. Voor het meetpunt 0105 (Slotermeer, midden) zien we een initiële daling in de periode tot 2005, waarna de concentratie licht stijgt om vervolgens de laatste vijf jaar te dalen dan wel af te vlakken.



Figuur 3.2. Gemiddelde verandering in N-totaal en P-totaal over een periode van 10 jaar voor meetpunten 0890 en 0105 (in grijs de meetgegevens en in rood de afgeleide LOWESS-trendlijn).

Een deel van de tijdseries bevat incomplete meetseries, die het lastig maken om een goede schatting te geven van een verandering over een langere periode. Hierom is dezelfde analyse ook uitgevoerd op die meetpunten waarvan 15 jaar lang elke maand een meting beschikbaar was. Dit is het geval voor 65 meetpunten. Voor deze meetpunten varieert de verandering van $-1,5$ tot $+4,6$ mg N l⁻¹, en is er sprake van een gemiddelde daling van $0,3$ tot $0,4$ mg N l⁻¹ over een periode van 10 jaar. Slechts op drie punten is er sprake van een stijging groter dan $0,25$ mg N l⁻¹. Voor P zijn er tien meetpunten waar ofwel een stijging dan wel een daling plaatsvindt. Wel is deze verandering relatief klein. Gemiddeld over het beheergebied blijft het fosforgehalte constant. De toename in fosfor ligt vooral in het kleigebied, en in het zandgebied in het Zuid-Oosten van het beheergebied.

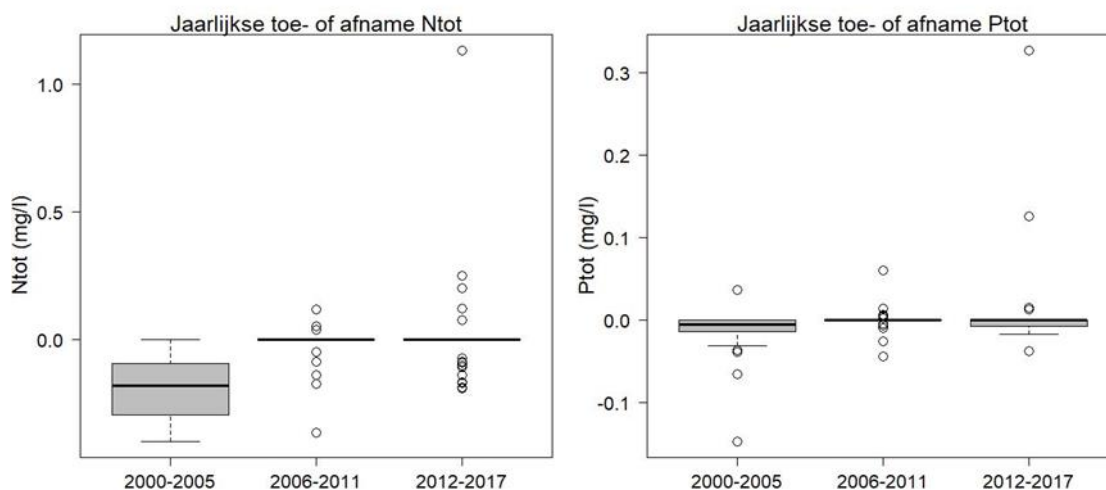


Figuur 3.3. Gemiddelde verandering in N-totaal en P-totaal over een periode van 10 jaar voor alle meetpunten waarvoor 15 jaar aan maandelijkse meetgegevens beschikbaar waren. Witte stippen (met rand) zijn niet significant qua verandering.

In 2017 heeft Deltares in opdracht van Wetterskip Fryslân trendanalyses van de nutriëntconcentraties in het oppervlaktewater uitgevoerd voor de periode 2000-2016 (Rozemeijer et al., 2017). De voor deze trendanalyse gebruikte techniek, LOWESS, is zeer geschikt voor tijdseries met sterke fluctuaties. Echter, door de afzonderlijke LOWESS trendlijnen van verschillende meetpunten te middelen wordt de variatie tussen meetpunten in deze studie niet inzichtelijk gemaakt. In de voorliggende studie is aanvullend op de meerjarige

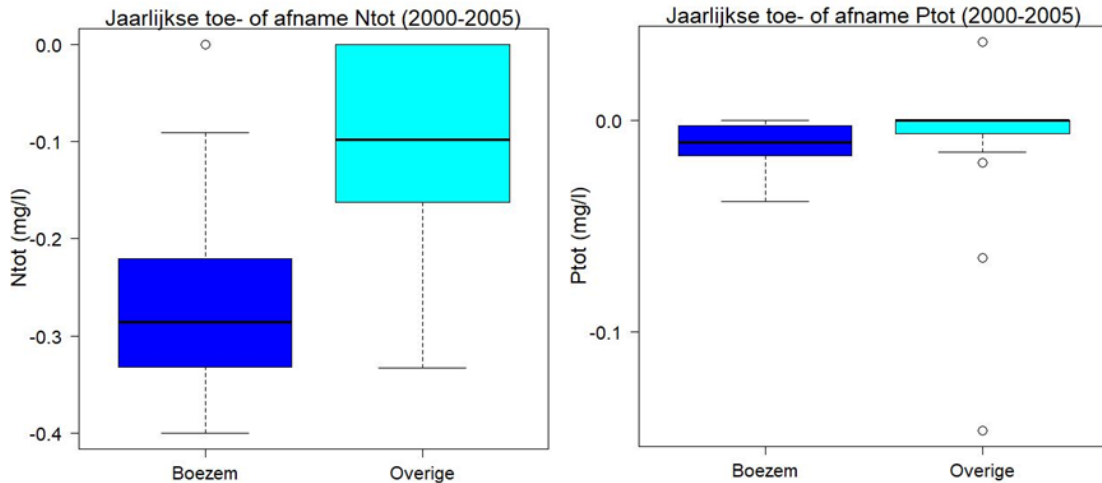
trends (zoals hierboven besproken) gekeken naar de trends binnen drie periodes van zes jaren; 2000-2005, 2006-2011, 2012-2017. Relevant hierbij is dat in het jaar 2006 het huidige mestbeleid (dat gebruik maakt van gebruiksnormen) in werking is getreden. Voor iedere periode is telkens bepaald of er sprake is van een significante trend ($p < 0,05$), en in geval van een significante trend is ook de absolute toe- of afname bepaald. De resultaten van deze trendanalyse bevestigen in hoofdlijnen de resultaten van Rozemeijer et al. (2017).

In de periode 2000-2005 is er in het beheergebied van Wetterskip Fryslân sprake van een significante daling van de concentraties N-totaal en P-totaal in het oppervlaktewater (Figuur 3.4). Voor N-totaal bedraagt de mediane afname 0,18 mg l⁻¹ per jaar, en is daarmee niet alleen significant maar ook relevant. Voor P-totaal bedraagt de mediane afname 0,005 mg l⁻¹ per jaar, oftewel 0,03 mg l⁻¹ afname in de periode 2000-2005. Hoewel de afzonderlijke trends significant zijn, is de mate van afname voor P-totaal niet zo sterk als die voor N-totaal omdat P veel sterker gebufferd wordt in het bodemsysteem dan stikstof. In de periode 2006-2011 tot 2012-2017 is er op de meeste meetpunten geen sprake van een toe- of afname, en in tegenstelling tot de periode 2000-2005 is er nu *op enkele plaatsen* zelfs sprake van een toename. Opvallend hierbij is dat de afname van de concentraties in de periode 2000-2005 het sterkst is in het oppervlaktewater met als omliggend landgebruik bebouwing (steden en dorpen) en in de landgebruiksklasse water (grote meren, kanalen en vaarten). In de landbouwgebieden is er gemiddeld sprake van een afname, terwijl in de natuurgebieden juist de kleinste afname is te zien (niet weergegeven). Vanwege het lage aantal meetpunten in deze natuurgebieden ($n = 6$) is dit beeld mogelijk niet representatief.



Figuur 3.4 – Boxplots van de absolute jaarlijkse toe- of afname van de concentratie N-totaal en P-totaal in drie verschillende periodes (gebaseerd op 65 meetpunten).

Dit sluit aan bij het beeld van de afname in het boezemwater (grote meren, vaarten en kanalen), die duidelijk groter is dan de afname in de overige wateren (Figuur 3.5). De afname in de landbouwgebieden zoals waargenomen voor N-totaal, en in beperkte mate voor P-totaal, in de periode 2000-2005 laat zien dat het mogelijk is om de concentraties van nutriënten in het oppervlaktewater in landbouwgebieden te verlagen via aanpassingen in bodembeheer en nutriëntenmanagement.

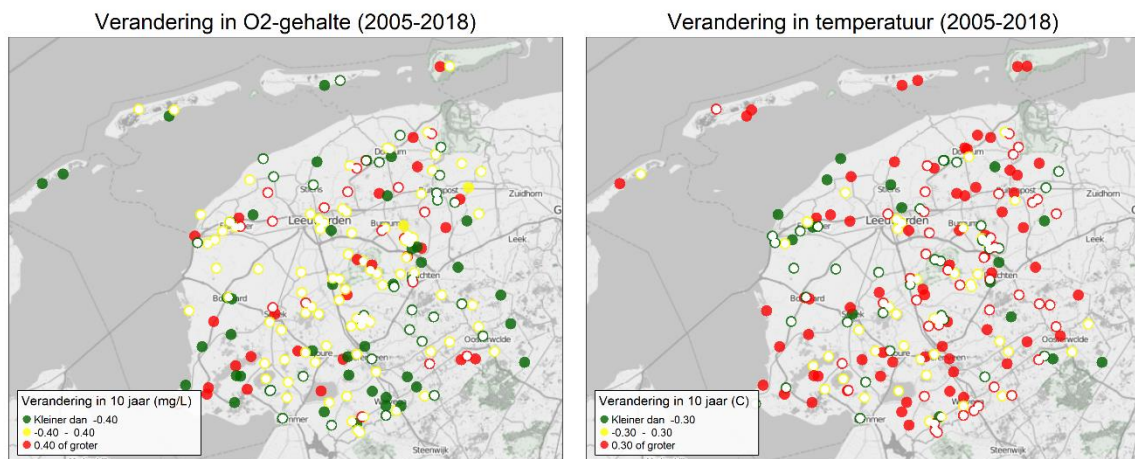


Figuur 3.5 – Boxplots van de jaarlijkse toe- of afname van N-totaal en P-totaal in de periode 2000-2005, onderverdeeld naar boezemwater en overige wateren.

De gemeten concentraties, en de daaruit afgeleide trend (en bijbehorende statistische test), zijn voor elk meetpunt opgenomen als bijlage.

Temperatuur en zuurstofgehalte

Voor een deel kan een verandering in N- en P-concentratie samenhangen met de inrichting van het watersysteem. De diepte van de watergang en aanwezige vegetatie zijn namelijk van invloed op het zuurstofgehalte in de sloot, en daarmee ook op de processen die de N- en P-levering van de waterbodem sturen. Als belangrijke variabelen wordt in deze studie gekeken naar de watertemperatuur ($^{\circ}\text{C}$), het zuurstofgehalte² (mg l^{-1}), de geleidbaarheid (mS m^{-1}) en het doorzicht (cm). Hiervoor is gebruik gemaakt van jaarrondmetingen.



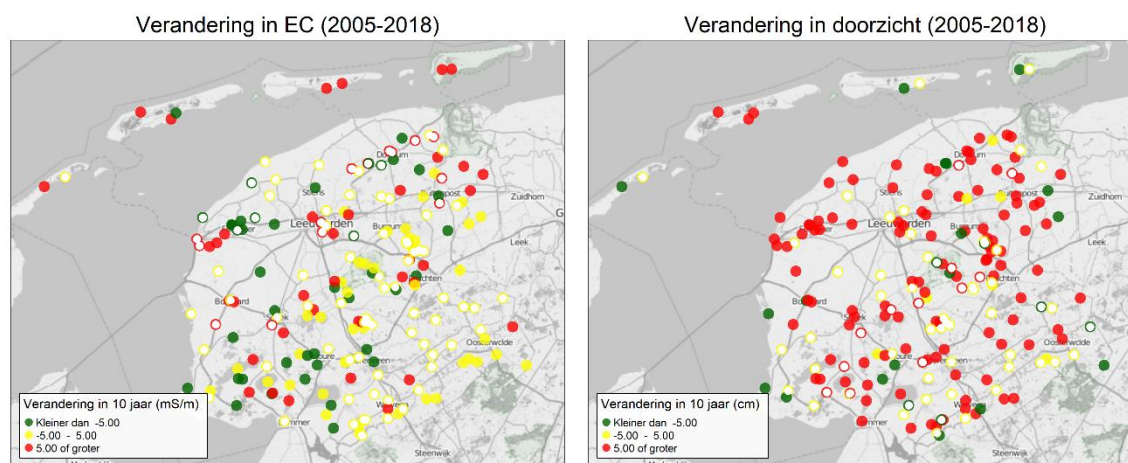
Figuur 3.6. Gemiddelde verandering in O_2 -gehalte en de watertemperatuur over 10 jaar voor alle meetpunten waarvoor minimaal 5 jaar aan meetgegevens beschikbaar waren. Witte stippen (met rand) zijn niet significant.

² Het zuurstofgehalte en temperatuur worden ook beïnvloed door het tijdstip van de dag waarop gemeten wordt. In de analyse wordt aangenomen dat er over de periode van 10 jaar geen structurele verschuiving in meettijd heeft plaatsgevonden. De variatie over de dag heeft daarom geen invloed op de hier gepresenteerde conclusies over veranderingen over jaren.

Gemiddeld over alle meetpunten is er sprake van een gemiddelde daling van het zuurstofgehalte (met 0,1-0,2 mg l⁻¹) en een stijging van de gemiddelde temperatuur (met 0,1 tot 0,4 °C). Het gemiddelde zuurstofgehalte varieert van 8 tot 9 mg l⁻¹, wat betekent dat het effect minimaal is. De watertemperatuur varieert van 12 tot 13 graden in de meeste watergangen. Ook in de langjarige reeksen met minimaal 15 meetjaren is het effect van watertemperatuur zichtbaar, maar hier is het effect omgekeerd: er is een lichte daling van de watertemperatuur (-0,12 mg l⁻¹). Er zijn 40 meetpunten waar het zuurstofgehalte significant daalt; in het overgrote deel van het meetnet (80%) is dat dus niet het geval. Een significante stijgende watertemperatuur is waargenomen in 68 meetpunten.

Geleidbaarheid en doorzicht

De geleidbaarheid van het oppervlaktewater is gemiddeld licht gestegen evenals het doorzicht. Gemiddeld over alle meetpunten varieert de geleidbaarheid van 73 tot 151 mS m⁻¹ en het doorzicht van 45 tot 50 cm.



Figuur 3.7. Gemiddelde verandering in geleidbaarheid (mS m⁻¹) en het doorzicht (cm) over een periode van 10 jaar voor alle meetpunten waarvoor minimaal 5 jaar aan meetgegevens beschikbaar waren. Witte stippen (met rand) zijn niet significant qua verandering.

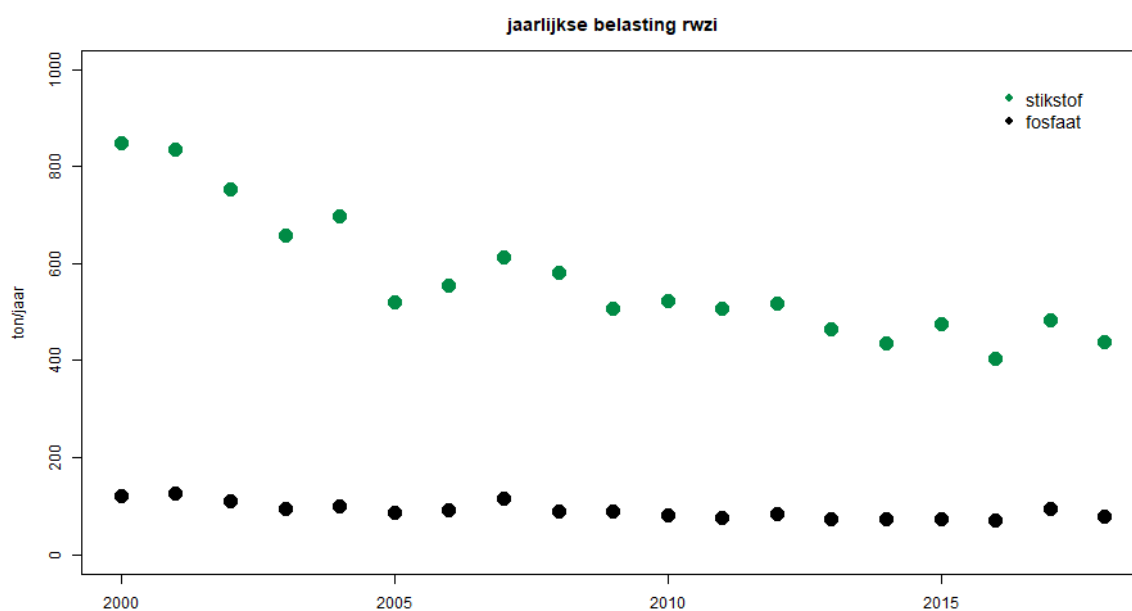
Op circa 33% van de meetlocaties stijgt de geleidbaarheid met gemiddeld 1 mS m⁻¹, wat wel een significante maar geen relevante verandering is op een tijdschaal van 10 jaar (alleen al gegeven de meetfout). Het doorzicht is op 57% van de meetlocaties toegenomen met gemiddeld 8 cm. Op een gemiddelde doorzicht van 45 cm is dat een substantiele toename. Meer doorzicht levert over het algemeen een betere ecologische waterkwaliteit.

3.3 Belasting rwzi

Voor het zuiveren van afvalwater beschikt het waterschap over 27 rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) en één slibontwateringinstallatie. De emissies van de rwzi's hebben een effect op chemische en ecologische toestand van het water. Het zuiveringspercentage voor stikstof en fosfaat ligt hoog: 84 tot 88% van het binnenkomende stikstof en fosfaat wordt verwijderd. Om de emissies naar het oppervlaktewater te verkleinen, wordt actief gestuurd op de normen voor concentraties van het effluent. Om te toetsen of aan de gestelde eisen wordt voldaan, worden jaarlijks 24 tot 60 (afhankelijk van de grootte van de rwzi) metingen uitgevoerd van de chemische samenstelling van het influent en het effluent. De resultaten van deze metingen zijn gebruikt voor deze studie.

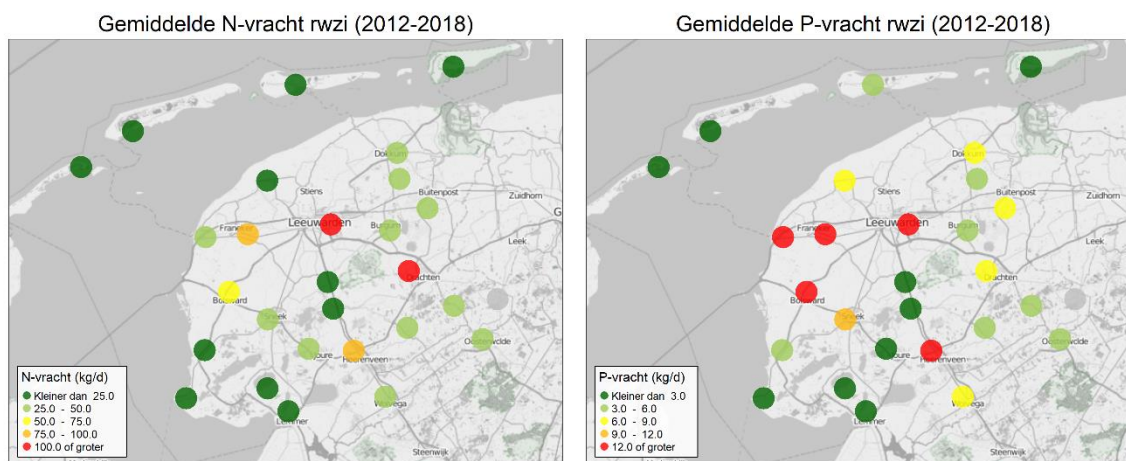
De rwzi's met het hoogste verwijderingsrendement staan in Joure en Grou, terwijl de laagste rendementen

worden behaald in Franeker. Tussen de rwzi's is ook grote variatie wat betreft de belasting op het oppervlaktewater door lozing van effluent. Op jaarbasis varieert de belasting van 3,8 kg N per dag in Schiermonnikoog (kleinste rwzi) tot 195 kg N per dag in Leeuwarden (grootste rwzi). Vergelijkbaar is de belasting van fosfaat (P-PO₄) op het oppervlaktewater; deze varieert van 1 kg P per dag in Vlieland tot 67 kg P per dag in Leeuwarden. In 2017 werd de totale belasting in het hele beheergebied vanuit de rwzi's berekend op 1327 kg N en 261 kg P per dag. De belasting is daarbij de laatste jaren gedaald, in het bijzonder voor stikstof (Figuur 3.8). Ter vergelijking, de totale P-aanvoer op de landbouwbodem via bemesting en depositie is berekend op circa 27.753 kg P per dag, waarvan er 21.397 kg P per dag wordt opgenomen door het gewas en waarvan 219 kg P per dag afspoelt naar het oppervlaktewater (de Vries et al., 2018). De verliezen naar het grondwater onder de bouwvoor worden geschat op 1178 kg P per dag, waarbij niet wordt aangegeven welk deel hiervan op termijn in het oppervlaktewater terechtkomt. Deze berekening gaat er vanuit dat de gebruiksruimte voor fosfaat (gebaseerd op de gemeten P-bodemtoestand van de agrarische percelen) vrijwel volledig wordt opgevuld, een realistische aanname voor het grootste deel van Friesland. De berekende uitspoeling in deze publicatie is overigens een *geschatte en niet gemeten* uitspoeling die afhangt van de bodemtextuur, het landgebruik, de P-toestand en de waterflux vanuit het perceel naar het oppervlaktewater. Gebaseerd op deze inschatting ligt de belasting van het oppervlaktewater vanuit de landbouwbodem in dezelfde orde van grootte als de belasting vanuit de rwzi's.



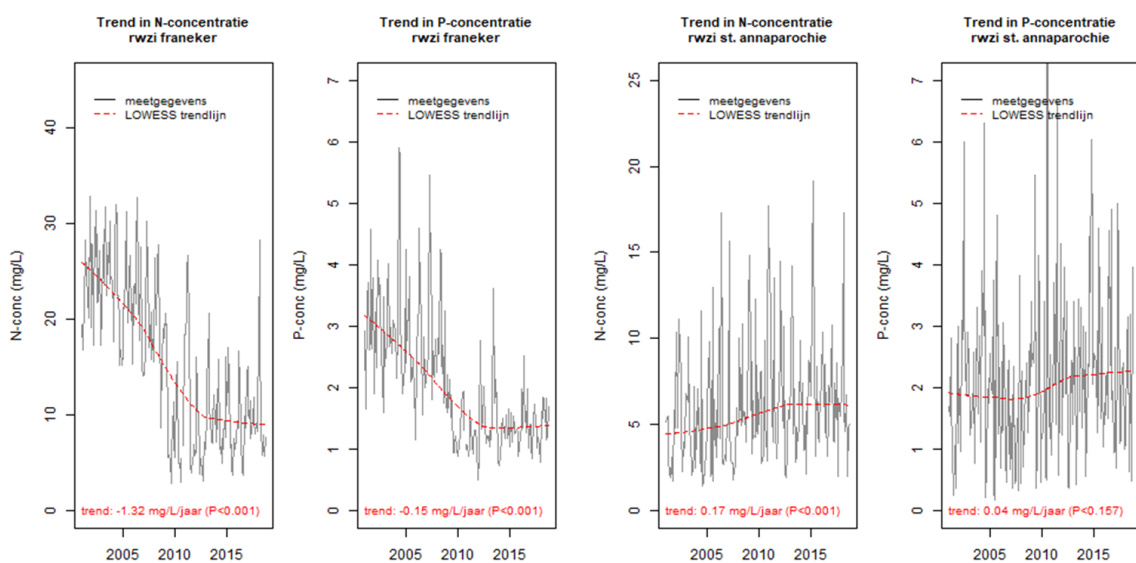
Figuur 3.8. Trends in totale N- en P-vracht vanuit rioolwaterszuiveringsinstallaties op het oppervlaktewater in tonnen per jaar.

De gemiddelde stikstof- en fosforvracht vanuit de rwzi's in de zomerperiode van 2012 tot 2018 varieert van 3 tot 134 kg N en van 1 tot 37 kg P per dag (Figuur 3.9). In de afgelopen jaren zijn in diverse installaties de zuiveringstechnieken verbeterd en is de belasting van het oppervlaktewater substantieel gedaald.



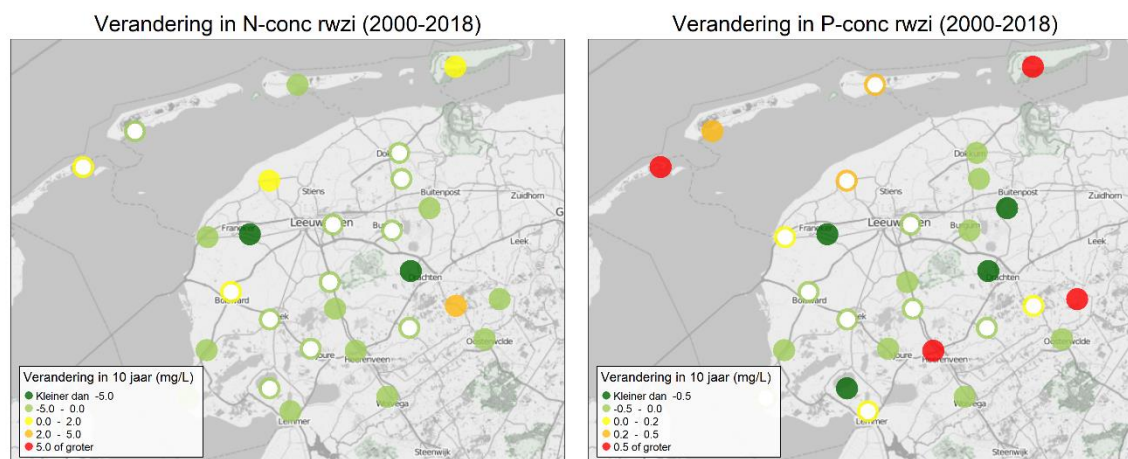
Figuur 3.9. Meerjarig zomergemiddelde belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfaat vanuit rwzi's gemeten over de periode 2012-2018.

Ter illustratie worden hieronder twee willekeurige voorbeelden gegeven van veranderingen in zuiveringsrendement in rwzi Franeker (de concentratie gaat substantieel omlaag) en in rwzi te st. Annaparochie (Figuur 3.10). In beide gevallen gaat het overigens om relatief oude installaties die volgens de planning aangepast zullen worden. In Franeker is nog een verbeteringsslag mogelijk geweest. Voor een verdere verbetering is echter een grote aanpassing aan de zuivering nodig. De rwzi St. Annaparochie wordt mogelijk opgeheven.



Figuur 3.10. Gemiddelde verandering in N- en P-concentraties van het effluent in rwzi's te Franeker (dalende trend) en st. Annaparochie (stijgende trend) over een periode van 2000 tot 2018 (in grijs de meetgegevens en in rood de afgeleide LOWESS trendlijn).

In dertien rioolwaterzuiveringsinstallaties is de concentratie de afgelopen 17 jaar significant gedaald met gemiddeld $4,5 \text{ mg N l}^{-1}$ (Figuur 3.11). De grootste daling is gerealiseerd in Franeker en Drachten in de periode rond 2010; de N-concentraties daalden met $0,13$ tot $0,16 \text{ mg N l}^{-1}$ per jaar over een periode van meer dan 10 jaar. In nog eens tien andere installaties daalde de N-concentratie ook, maar deze verandering was niet significant. De daling werd ook gerealiseerd voor fosfaat al is het aantal locaties waar een verlaging werd gerealiseerd lager dan voor stikstof.



Figuur 3.11. Gemiddelde verandering in de N- en P-concentratie van het effluent uit rioolwaterzuiveringsinstallaties binnen Wetterskip Fryslân.

3.4 Bemesting

Ontwikkelingen mestbeleid

In 2006 is het gebruiksnormenstelsel ingevoerd voor werkzame stikstof, dierlijke mest en totaal fosfaat. De fosfaatgebruiksnormen zijn afhankelijk van de fosfaattoestand van de bodem en zijn in de loop van de tijd aangescherpt. De fosfaatgebruiksnormen in 2006 zijn 95 kg fosfaat (P_2O_5) per ha per jaar voor bouwland, 110-120 kg fosfaat (P_2O_5) per ha per jaar voor grasland, en 120 kg fosfaat (P_2O_5) per ha per jaar voor fosfaatarme en -fixerende gronden. Anno 2019 zijn deze normen gedaald tot 50-75 kg P_2O_5 per ha per jaar voor bouwland en 50-75 kg P_2O_5 per ha per jaar voor grasland. In de praktijk is dat bijna een halvering van de hoeveelheid fosfaat die toegediend mag worden. De stikstofgebruiksnormen (uitgedrukt in werkzame stikstof in meststoffen) zijn afgeleid voor een groot aantal gewassen en grondsoorten (Schröder et al., 2004). Er bestaan dan ook enkele honderden gebruiksnormen.

Sinds 2010 mag op kleigrond extra N worden toegediend aan fritesaardappelen en suikerbieten als er sprake is van een bovengemiddelde hectareopbrengst. Deze toeslag is in het 5^e Actieprogramma uitgebreid naar de teelt van granen. De extra gift bedraagt 15 kg N ha⁻¹ voor suikerbieten, en wintertarwe, 20 kg N ha⁻¹ voor zomertarwe en wintergerst, en 30 kg N ha⁻¹ voor fritesaardappel. Per 1 januari 2014 zijn ook de N-normen voor grasland op kleigrond met 35 kg N ha⁻¹ verhoogd voor grasland.

Sinds 2012 zijn een aantal aanvullende maatregelen doorgevoerd die de toediening van mest reguleren. Dit zijn de aanpassing van de werkingscoëfficiënt van varkensdrijfmest, strengere randvoorwaarden voor het verkrijgen van derogatie, het stelsel van verplichte mestverwerking en verplichte vormen van toediening via wijzigingen in het Besluit Gebruik Meststoffen. Meer achtergrondinformatie hierover is te vinden in het rapport van Velthof et al. (2017). Gebaseerd op mestproductiecijfers, plaatsingsruimte en export van alle agrarische bedrijven én metingen op LMM-bedrijven concluderen zij dat de *gemiddelde aanvoer* van dierlijke mest naar landbouwgronden in Nederland stabiel is gebleven in de periode van 2005 tot 2014. Veranderingen in de aanvoer van N-kunstmest zijn onzeker: CBS-gegevens suggereren een gemiddelde afname van 135 naar 104 kg N ha⁻¹ terwijl de LMM-bedrijven geen afname laten zien. De gemiddelde N-gift op melkveebedrijven ligt sinds 2006 op een relatief stabiel niveau van ongeveer 350 kg N per ha per jaar, waarvan ongeveer 230 kg als dierlijke mest en 120 kg N per ha als kunstmest.

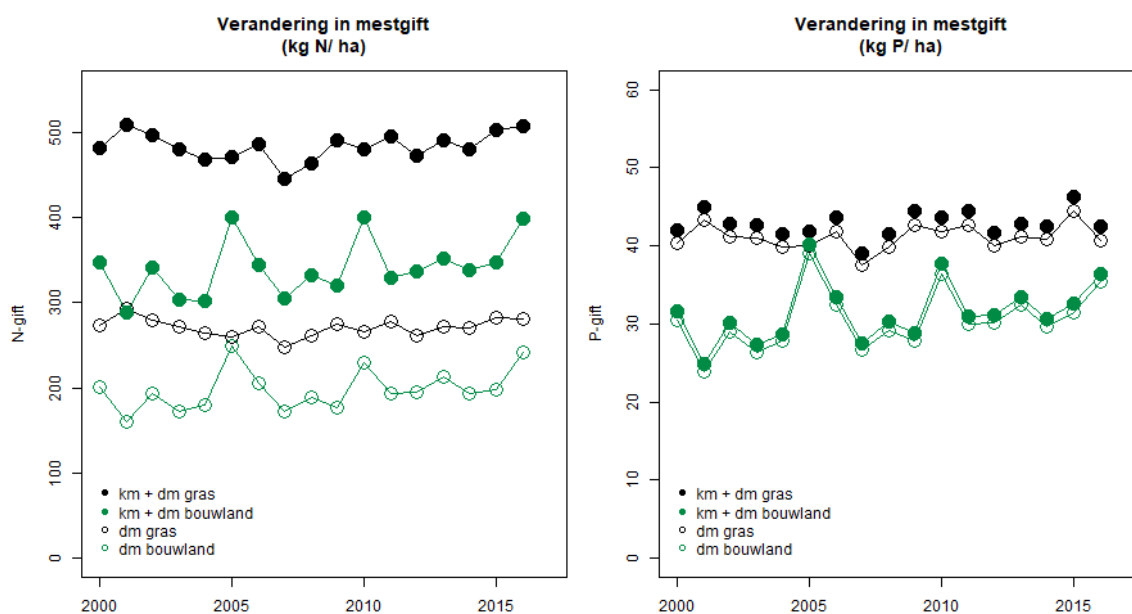
Na de aanscherping van de N-gebruiksnormen in 2009 wordt de gebruiksruijme op melkveebedrijven op zand

vrijwel volledig benut. De gemiddelde aanvoer van fosfaat via dierlijke mest is in de periode van 2005 tot 2014 iets afgenomen: van gemiddeld 74 kg fosfaat per ha per jaar in 2005 tot 69 kg fosfaat per ha in 2014. De hoeveelheid P-kunstmest is sterk afgenomen als gevolg van de aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen en het verbod op het gebruik van P-kunstmest op derogatiebedrijven: van 24 kg fosfaat per ha in 2005 naar 6 kg fosfaat per ha.

Effecten beheergebied Wetterskip Fryslân

Wat betekent dit nu voor de veranderingen die zijn opgetreden in het beheergebied van Wetterskip Fryslân? Gebruik makend van de modelberekeningen van het landelijk mestverdelingsmodel INITIATOR uit 2015 wordt er in provincie Friesland gemiddeld 296 kg N ha⁻¹ per jaar aangevoerd uit dierlijke mest en 165 kg N ha⁻¹ per jaar uit kunstmest (de Vries et al., 2018). Gegeven onze praktijkervaring lijkt deze N-gift vrij hoog, wat mogelijk samenhangt met de aanname van INITIATOR dat niet-plaatsbare³ mest wordt toebedeeld aan het landbouwdeelgebied waar de niet-plaatsbare mest wordt geproduceerd. In Friesland kan deze hoeveelheid oplopen tot 25 kg N ha⁻¹. Desalniettemin, van de gegeven N-bemesting wordt 263 kg N ha⁻¹ opgenomen door gras, mais en bouwlandgewassen. Gemiddeld spoelt er 11 kg N ha⁻¹ naar grond- en oppervlaktewater. De verliezen naar het watersysteem zijn relatief laag in vergelijking met andere provincies door de aanwezigheid van veen en grasland. De fosfaatgift is daarentegen hoog: gemiddeld wordt er 44 kg P ha⁻¹ per jaar aangevoerd, grotendeels via dierlijke mest. Hiervan wordt er 37 kg P ha⁻¹ opgenomen via gewasopname. De bodemvoorraad bouwt jaarlijks op met gemiddeld 9,8 kg P ha⁻¹, terwijl de verliezen naar het oppervlaktewater geschat worden op 0,4 kg P ha⁻¹ per jaar. Dit betekent dat de afspoeling naar het oppervlaktewater kleiner is dan 1% van de bemestingsgift, wat overigens niet betekent dat dit geen knelpunt kan vormen voor de waterkwaliteit. Het laat wel zien dat het in de agrarische praktijk erg lastig is (en zal zijn) om de afspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater te verminderen.

In de periode 2000 tot 2017 is de aanvoer van stikstof en fosfaat naar bodem binnen Friesland vrijwel gelijk gebleven, dan wel licht gestegen (Figuur 3.12).

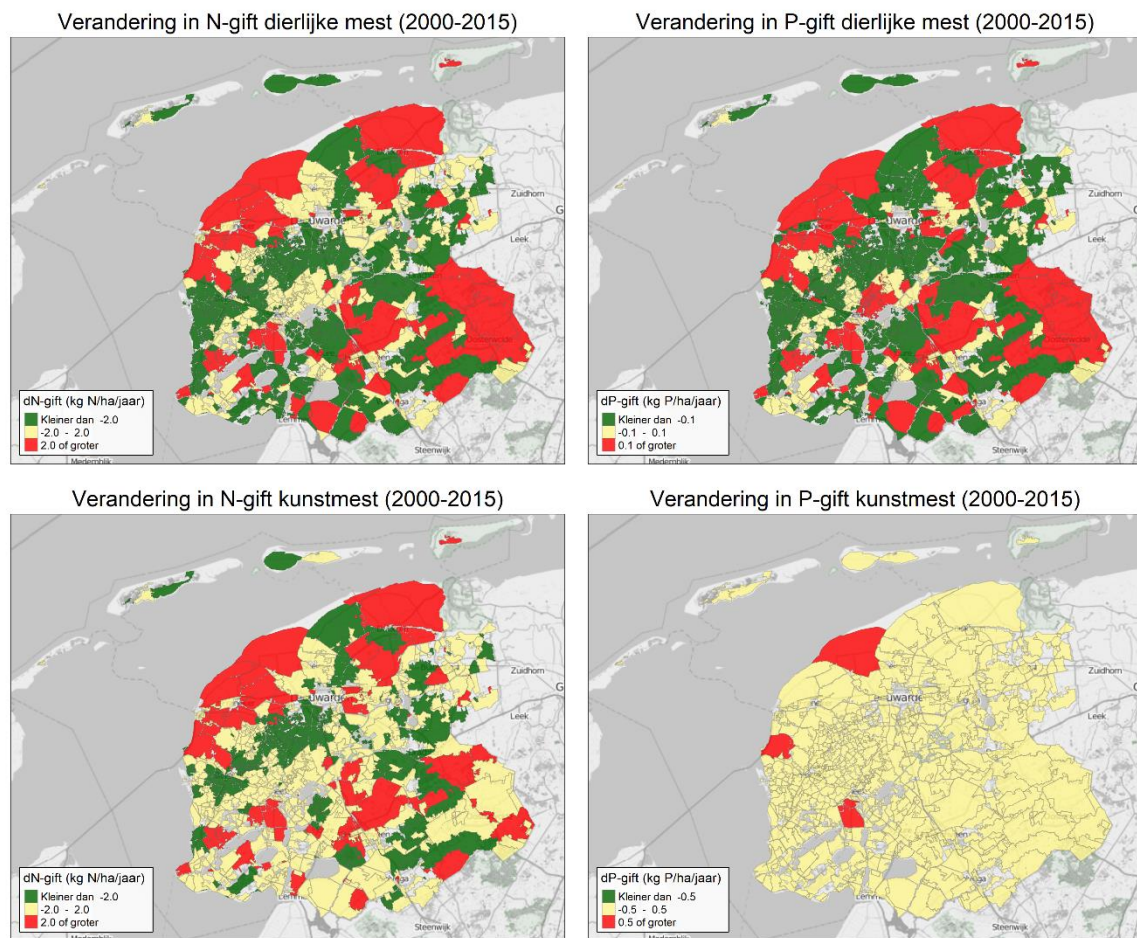


Figuur 3.12. Gemiddelde verandering in de N- en P-mestgiften op gras- en bouwland over de periode 2000 tot 2017 in het beheergebied van Wetterskip Fryslân conform de mestverdelingsmodule INITIATOR.

³ dat wil zeggen de mest die wel geproduceerd, maar niet geëxporteerd is en ook niet toegediend kan worden omdat de gebruiksruijme volledig gevuld is.

Dit suggereert dat het mestbeleid niet gezorgd heeft voor een lagere bemesting maar wel voor een andere verdeling binnen Nederland (en mogelijk ook zelfs binnen Friesland). Dit zou kunnen betekenen dat het aantal “hot spots” vermindert: op fosfaatrijke bodems wordt minder bemest terwijl op de overige bodems meer wordt bemest. Tegelijk lijkt er ook sprake te zijn (geweest) van een toenemende acceptatie en gebruik van drijfmest in akkerbouwmatige teelten. Omdat de gewasproductie per jaar langzaam stijgt, betekent een gelijkblijvende gift overigens ook dat het bodem-overschot langzaam minder wordt.

De veranderingen in dierlijke mestgiften zijn binnen Friesland redelijk heterogeen verdeeld (Figuur 3.13), al lijkt de toename van mestgebruik zich vooral te concentreren in het Noorden en Zuidoosten van het beheergebied. Over een periode van 15 jaar neemt de N- en P-aanvoer met dierlijke mest gemiddeld af met 2 kg N en 0,11 kg P ha⁻¹ jaar⁻¹ (Figuur 3.13). Van de 613 afwateringseenheden (dan wel polders) zijn er 515 waarbij de N- en P-aanvoer afnemen. De N-bemesting met kunstmest laat een vergelijkbaar patroon zien.



Figuur 3.13. Gemiddelde verandering in de mestgiften via dierlijke mest en kunstmest (in kg ha⁻¹ jaar⁻¹) over de periode 2000-2015 (groen is daling; rood is stijging).

3.5 Water- en weidevogels

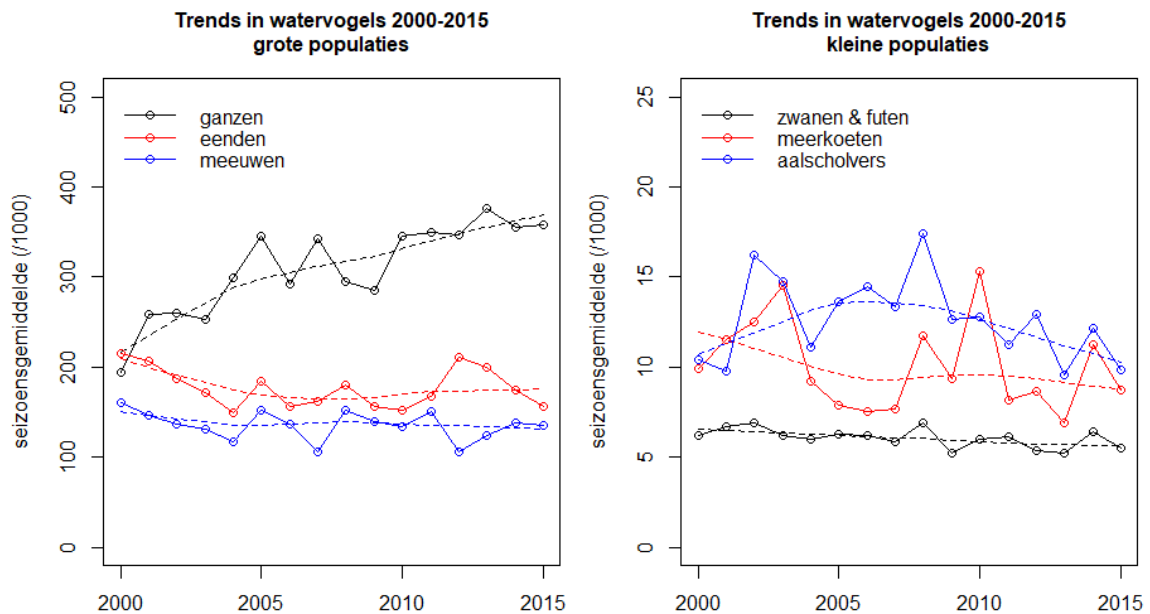
Over de invloed van watervogels als mogelijke bron van stikstof en fosfaat naar het oppervlaktewater is nog weinig bekend. Een publicatie uit 2007 schat de belasting van het oppervlaktewater door watervogels op 382.800 kg N en 34.700 kg P per jaar. Een groot deel van deze watervogels concentreert zich in waterrijke gebieden binnen Friesland. In de voorliggende analyse is gekeken naar de populatieontwikkeling van een

aantal groepen watervogelsoorten:

- Ganzen: Brandgans, Kolgans, Grauwe Gans, Rotgans, Toendrarietgans, Kleine Rietgans, Nijlgans, Grote Canadese Gans, Dwerggans en Taigarietgans;
- Eenden: Bergeend, Smient, Wilde Eend, Topper, Kuifeend, Pijlstaart, Wintertaling, Krakeend, Slobeend, Brilduiker, Tafeleend, Grote Zaagbek, Nonnetje, Middelste Zaagbek en Krooneend;
- Meeuwen: Kokmeeuw, Stormmeeuw, Zilvermeeuw en Grote Mantelmeeuw;
- Zwanen: Knobbelzwaan, Kleine Zwaan, Wilde Zwaan;
- Meerkoeten en Futen: Meerkoet, Waterhoen en Fuut, Dodaars, Geoorde Fuut en Kuifduiker;
- Aalscholwers.

Aalscholwers zijn niet verder gegroepeerd (alleen *P. carbo*). Reigers zijn buiten beschouwing gelaten vanwege de relatief lage aantallen. De groep van Steltlopers (Strandlopers, Plevieren, Grutto's, Wulpen, etc.) zijn niet meegenomen omdat deze vooral buitendijks en in het Waddengebied aanwezig zijn.

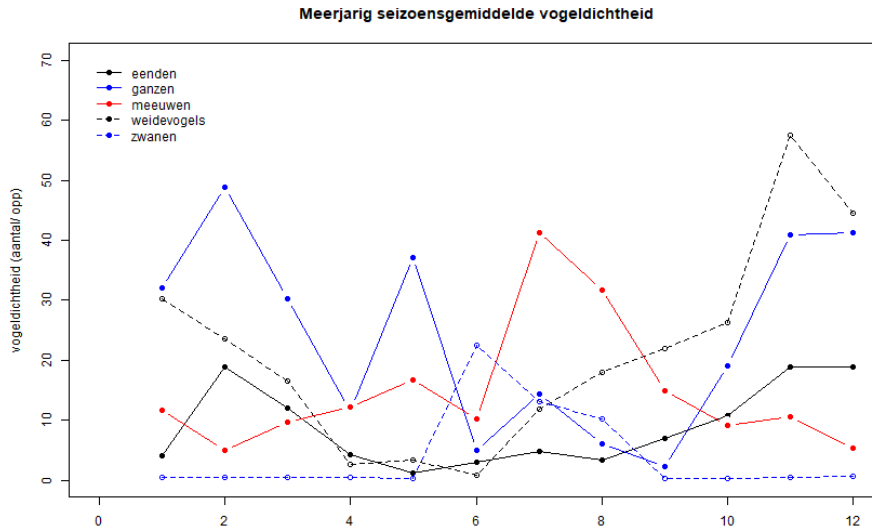
De grootste populatie watervogels in Friesland worden gevormd door de ganzen, eenden en meeuwen. Het seizoens-gemiddelde (van juli tot en met juni van een specifiek jaar) aantal ganzen loopt in de periode 2000 tot 2015 op van 200.000 naar bijna 350.000 (Figuur 3.14). Alle andere watervogelpopulaties zijn relatief stabiel gebleven over deze periode dan wel licht gedaald (maar geen van deze veranderingen is daadwerkelijk significant). Van de onderliggende vogelsoorten wordt de toename in ganzen vooral bepaald door de Brandgans en de Grauwe gans ($P < 0,01$). Deze komen vooral in de wintermaanden voor (Figuur 3.15).



Figuur 3.14. Verloop van de seizoensgemiddelde aantallen van watervogels in de provincie Friesland in de periode 2000-2015. Bron: Netwerk Ecologische Monitoring, Sovon Vogelonderzoek Nederland, RWS & CBS.

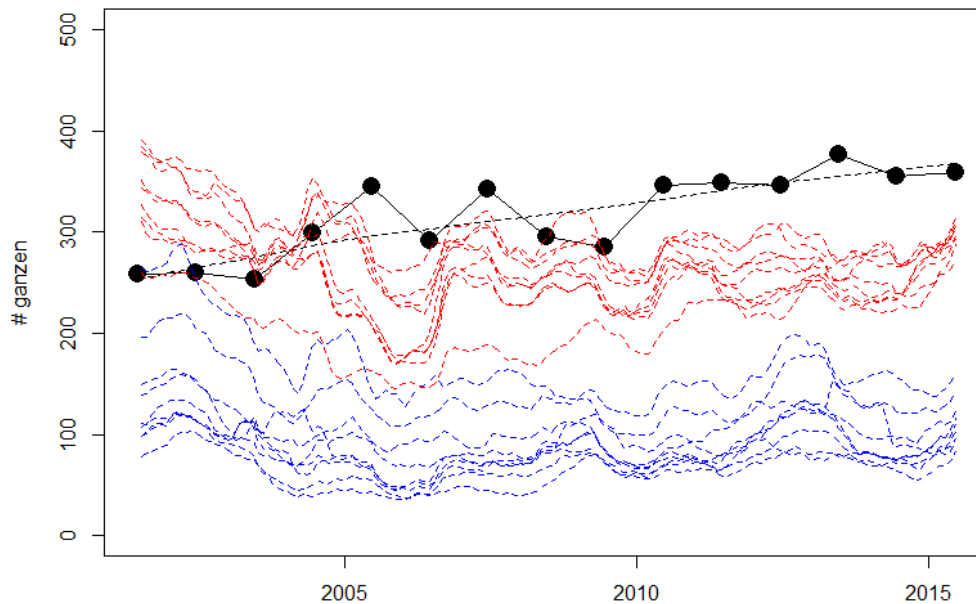
Uit de analyse van meerjarige maandgemiddelden blijkt dat de meest voorkomende watervogels vooral aanwezig zijn in de wintermaanden. Hoewel de aanvoer van stikstof en fosfaat in deze maanden ook zorgt voor ongewenste afwenteling naar de Noordzee, levert dit niet direct negatieve gevolgen op voor de oppervlaktewaterkwaliteit gedurende de zomermaanden. Dit omdat er ook sprake is van een netto waterflux die het gebied uitgaat (in de winter is er namelijk een neerslagoverschot). De bijdrage van de bodem (tijdens piekneerslagen) en rwzi's is daarmee relevanter in de zomerperiode dan de bijdrage vanuit excretie van

watervogels. Opvallend is ook dat de toename met ganzen niet direct weerspiegeld wordt in de N- en P-concentraties van grote watergangen in de omgeving waar de ganzen foerageren.



Figuur 3.15. Verloop van de 5-jaars maandgemiddelde aantallen van watervogels in de provincie Friesland in de periode 2000-2015. Bron: NEM, Sovon Vogelonderzoek Nederland.

Om dit te illustreren is een trendanalyse uitgevoerd op de meetgegevens van alle grote meren en plassen⁴ waarbij de gekleurde lijnen aangeven wat de jaarlijkse trend was in de meetgegevens (Figuur 3.16). Zowel de stikstof- als fosforconcentraties lijken licht te dalen dan wel te stabiliseren, en ze vertonen geen relatie met de toename in de ganzenpopulatie.

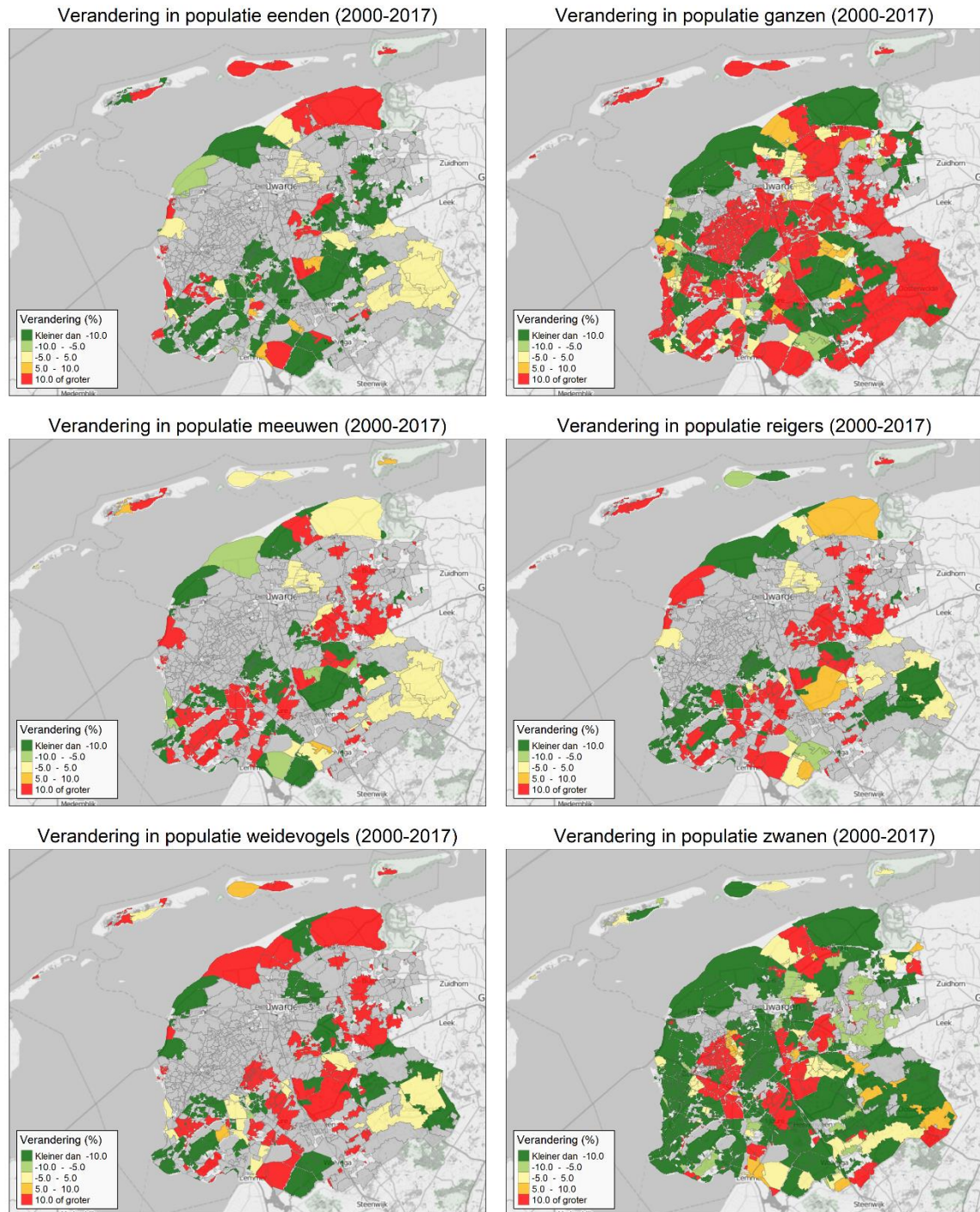


Figuur 3.16. Verloop van de trend in N- en P-concentraties in plassen en meren in Friesland in relatie tot de ontwikkeling van de ganzenpopulatie (in aantallen x 1000) over de periode 2001 tot 2015.

⁴ Het zijn meetpuntcodes '0085', '0086', '0121', '0105', '0142', '0075', '0317', '0045', '0034' voor de meetpunten FLUESSEN, HEEGERMEER, GROOTE BREKKEN, SLOTERMEER, TJEUKERMEER, SNEEKERMEER, TERKAPLESTERPOLEN, DE LEIJE, en BERGUMERMEER)

Lokaal kunnen watervogels overigens wel een grote rol spelen in de beïnvloeding van de concentraties van het oppervlaktewater. Dit wordt bijvoorbeeld bevestigd door de recente watersysteemanalyse van het natuurgebied De Deelen (ten noordwesten van Heerenveen) waaruit blijkt dat ganzen een belangrijke rol spelen in de belasting van het oppervlaktewater.

De ruimtelijke verandering in de verschillende vogelpopulaties over de periode 2000 tot 2017 wordt weergegeven in figuur 3.17.



Figuur 3.17. Verloop van vogelpopulaties, als percentage verandering over de periode 2000 tot 2017.

In overeenstemming met de provinciale tellingen zien we ook hier voor vrijwel alle vogelsoorten een toename optreden groter dan 10%, in het bijzonder voor de ganzenpopulatie. Aandachtspunt hierbij is wel dat er niet van alle afwateringsgebieden (dan wel polders) tellingen beschikbaar zijn gesteld. Van de niet-gekleurde gebieden is geen informatie bekend, dan wel er zijn geen tellingen uitgevoerd.

3.6 Bodemkwaliteit

Voor deze studie zijn bodemgegevens gebruikt uit het agrarische meetnet en zoals deze beschikbaar zijn in openbare datasets. Deze gegevens zijn als ruimtelijke kaart beschikbaar, zonder informatie over het tijdstip van monsternamen. Met de huidige dataset kan daarom geen inzicht worden gegeven in het effect van bodem- en waterbeheer op de kwaliteit van de bodem. Er is dan ook geen statistische analyse uitgevoerd op mogelijke veranderingen in de bodemkwaliteit.

Uit eerdere studies die zijn uitgevoerd op nationale schaal (waarbij rekening wordt gehouden met de landbouwkundige regio) blijkt dat de temporele variatie in bodemmetingen niet erg groot is. De belangrijkste bevindingen zijn (zoals samengevat in Velthof et al., 2007; Brolsma et al., 2006):

- Het organische stofgehalte op agrarische percelen is stabiel dan wel stijgt voor grasland, bouwland en maïsland over de periode van 1985 tot 2015. Een gedetailleerde analyse van trends in de periode 2005-2015 voor combinaties van gewassen en grondsoorten laat ook geen daling zien.
- De hoeveelheid fosfaat in landbouwgronden (P-ammoniumlactaat) is gemiddeld genomen stabiel in de periode van 2005 tot 2015. Dit correspondeert met het feit dat er tot 2014 in de meeste gebieden nog sprake was van een fosfaatoverschot op de bodembalans.
- De hoeveelheid fosfaat in de bodemoplossing (geschat via een 0,01M CaCl₂-extractie) laat voor verschillende combinaties van gewassen en grondsoorten een daling zien. De lagere fosfaatbemesting door mestwetgeving is hier waarschijnlijk de oorzaak van. Hierbij wordt wel opgemerkt dat de huidige P-CaCl₂-gehalten in vrijwel de meeste bodems landbouwkundig als ruim voldoende tot hoog kunnen worden beschouwd. Een dalende trend in P-CaCl₂ levert daarmee een positief effect voor het watersysteem zonder negatieve gevolgen voor de gewasproductie.
- Een eerdere analyse van bodemanalyses van Eurofins Agro geeft aan dat het Pw-getal vanaf 1984 tot 2004 is gestegen. De resultaten sinds 2005 laten zien dat het Pw-getal niet meer stijgt en voor sommige gewas- en grondsoortcombinaties daalt.
- Er lijken nog geen grote veranderingen te zijn opgetreden in de stikstofmineralisatie van landbouwgronden over de periode van 2010 tot 2015. De beperkte verandering in de gift aan dierlijke mest is waarschijnlijk een belangrijke verklaring hiervoor.
- Gemiddeld nam de opbrengst van akkerbouwgewassen in Nederland volgens de oogstramingen van CBS in de periode 2006-2015 jaarlijks met 1,7% toe op zandgronden met 1,6% op kleigrond. Alleen de opbrengststijging van zomergerst en zetmeelaardappelen bleef achter bij deze autonome opbrengststijging. Groentegewassen ontbreken in deze analyse. De opbrengst van grasland in Noord- en West-Nederland bleef stabiel in de periode van 2006 tot 2014. Ondanks de aanscherping van N- en P-gebruiksnormen en ondanks de daling in fosfaattoestand in sommige regio's, stegen de gewasopbrengsten op praktijkbedrijven in der periode 2006-2015. De stikstofgehalten van weidegras en kuilgras daalden significant in de periode 200-2012 wat waarschijnlijk veroorzaakt wordt door de daling in N-gebruiksnormen. Het gemiddelde P-gehalte van snijmais en gras veranderde niet tussen 2006 en 2013.
- Veeljarige veldproeven laten zien dat de bodem veel fosfaat nalevert. Over langere tijd – dat wil zeggen enige tientallen jaren – blijft de fosfaattoestand bij evenwichtsbemesting op afdoende peil.

4. Ruimtelijke variatie in gebiedskenmerken

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties in het oppervlaktewater binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Daarnaast wordt ook een beschrijving gegeven van de ruimtelijke variatie in gebiedskenmerken die van invloed zijn op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater. Dit gaat bijvoorbeeld over de variatie binnen bodemeigenschappen, het watersysteem, het landgebruik en de bemesting, en de aanwezigheid van watervogels. Als introductie begint dit hoofdstuk met een overzicht van eerder onderzoek over gebiedskenmerken dan wel bronnen die van invloed zijn op N en P.

4.1 Beeld vanuit eerder onderzoek

De stikstof- en fosfaatbelasting van het oppervlaktewater wordt beïnvloed door verschillende bronnen. Vanuit de Emissieregistratie blijkt dat de belangrijkste bron van N en P afkomstig is vanuit de uit- en afspoeling uit het landelijk gebied, depositie en rioolwaterzuiveringsinstallaties (Tabel 4.1.). De totale N-emissie naar het oppervlaktewater wordt in 2016 geschat op 4.304.733 kg terwijl de totale emissie van P wordt geschat op 457.561 kg. Het grootste deel van deze nutriënten komt via uit- en afspoeling vanuit het landelijk gebied in het oppervlaktewater. In vergelijking met de andere bronnen draagt de afspoeling⁵ van N en P vrijwel niet bij aan de totale emissie naar het oppervlaktewater.

Tabel 4.1. Emissie van nutriënten naar het oppervlaktewater (Emissieregistratie, 2016).

Wetterskip Fryslân	Stikstof emissie	Fosfaat emissie
Atmosferische depositie	10%	0%
Uitspoeling landelijk gebied	71,8%	71,1%
Afspoeling landelijk gebied	0,2%	0,2%
Effluent rwzi	8,9%	15%
Regenwaterriolen	1,4%	2,3%
Overstorten	0,4%	0,6%
Industrie	1,0%	1,2%
Erfafspoeling	2,4%	7,4%
IBA's	0,4%	0,6%
Overig	3,8%	2,2%

De gegevens van de Emissieregistratie (die de basis vormen van Tabel 4.1.) geven aan dat er in 2016 in totaal 381.271 kg N en 66.791 kg P afkomstig is vanuit rwzi's. Dit komt neer op een emissie van 1045 kg N en 183 kg P per dag. Dit correspondeert met de gegevens zoals deze beschikbaar zijn gesteld door Wetterskip Fryslân (zie sectie 3.3). De belasting vanuit het landelijk gebied op het oppervlaktewater ligt een factor 8 hoger en komt neer op een emissie van 8.488 kg N en 893 kg P per dag (Emissieregistratie, 2016). Deze geschatte belasting ligt deels in de zelfde orde grootte van de belasting zoals deze in de studie van de Vries et al. (2018) is gekwantificeerd. Wel lijkt de NP-verhouding te verschuiven, wat mogelijk samenhangt met de invloed van individuele weerjaren en de gekozen N- en P-vorm. De gegevens in de Emissieregistratie variëren namelijk per jaar afhankelijk van de weersomstandigheden, terwijl de studie van de Vries et al. (2018) gebaseerd is op meerjarig gemiddelde weersomstandigheden. Ook brengt de laatste studie alleen de verliezen van ortho-P en

⁵ Let wel, hier speelt mogelijk ook een definitiekwestie. In STONE wordt rekening gehouden met diverse soorten van drainagefluxen. Afspoeling is hier waarschijnlijk gedefinieerd als de oppervlakkige afspoeling van water over het maaiveld. Ondiepe uitspoeling via greppels, buisdrainage en ondiepe uitspoeling zijn waarschijnlijk onderdeel van de definitie uitspoeling. Omdat alle bronnen en routes terechtkomen onder het kopje 'uitspoeling' kan dit mogelijk ook verklaren waarom de relatieve bijdrage van het landelijk gebied vrijwel identiek is voor beide nutriënten. Detailstudies die ingaan op de bronnen en routes laten normaliter een duidelijk verschil zien voor stikstof en fosfor (zie bijv. Groenendijk et al., 2016).

anorganisch N in beeld, terwijl de Emissieregistratie (die gebaseerd is op STONE) ook rekening houdt met verliezen in organische dan wel gecompliceerde vorm. De studie van de Vries et al. (2018) berekent dat er jaargemiddeld 6301 kg N en 1397 kg P per dag verloren gaan naar het grond- en oppervlaktewatersysteem.

Voor Friesland wordt geschat dat circa 70% van de belasting afkomstig is vanuit het landelijk gebied. Dit omvat emissies van zowel landbouw als natuur als ook van natuurlijke bronnen zoals kwel en veenafbraak. Deze schatting is gebaseerd op basis van berekeningen met het nationale model STONE (Renaud et al., 2015). Dit is een modelinstrument dat ontwikkeld en getoetst is om op nationale schaal effecten van mestbeleid zichtbaar te maken voor verschillende combinaties aan bodemgebruik, grondsoort en hydrologische omstandigheden. Hiervoor is Nederland opgedeeld in 6405 ruimtelijke eenheden of plots. Van iedere plot wordt de water- en nutriëntenbalans en de emissie naar grond- en oppervlaktewater berekend.

De betrouwbaarheid van de modelberekeningen met STONE op het niveau van de afwateringsheden is (nog) niet vastgesteld. De kans bestaat (en is reëel) dat de uitkomsten in bepaalde gebieden kunnen afwijken van de werkelijkheid. Het organische stofgehalte van de bodem speelt bijvoorbeeld een rol bij de mineralisatie van de stikstof en fosfor in de bodem en beïnvloedt daarmee de nalevering en achtergrondbelasting. De onzekerheid in organische stofgehalte werkt vooral door in de N-uitspoeling en heeft op de P-uitspoeling weinig effect. Voor de uiteindelijke onzekerheidsschatting wordt voor de landelijke toepassing een onzekerheid van 10% en voor de regionale toepassing een onzekerheid van 25% toegekend aan de berekende N-vrachten als gevolg van variatie in het gehalte aan organische stof (Emissieregistratie, 2016). Het fosfaatgehalte van de toplaag van de bodem is daarentegen vaak sterk bepalend voor de ondiepe uitspoeling en de oppervlakkige afspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater. Deze wordt sterk beïnvloed door veronderstellingen over het historische landgebruik. Voor landelijke berekeningen van P-vrachten moet rekening worden gehouden met een onzekerheid van 10% en voor de regionale toepassing met een onzekerheid van 25% op basis van de onzekerheid in de P-toestand van de bodem en het verondersteld historisch landgebruik (Emissieregistratie, 2016). De gewasopname heeft invloed op het N- en P-overschot dat achterblijft in de bodem. De onzekerheid van N- en P-uitspoeling wordt geschat op 5% voor de landelijke toepassing en 10% voor de regionale toepassing. De totale onzekerheid voor toepassing op het niveau van watersystemen varieert tussen de 100 en 200% terwijl deze varieert tussen 25 en 50% voor toepassing op landelijke schaal (Emissieregistratie, 2016).

Ook een detailstudie voor zes polders in provincie Fryslân op basis van het ECHO-instrumentarium bevestigt de conclusie dat diffuse uit- en afspoeling van stikstof en fosfor het meest bijdragen aan de belasting van het oppervlaktewater (Van Boekel et al., 2016). De gemiddelde stikstofbelasting voor twee veenpolders en een zandpolder ligt hoger dan 25 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. In twee kleipolders varieert deze tussen de 15 en 20 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. De gemiddelde fosforvracht naar het oppervlaktewater is het hoogst voor de kleipolders (3 tot 3,6 kg P ha⁻¹ jaar⁻¹) en het laagst voor de zandpolder (1,2 kg P ha⁻¹ jaar⁻¹). Een verdere uitsplitsing van de uit- en afspoeling laat zien dat de N-belasting in de zand- en kleipolders voornamelijk afkomstig is van actuele bemesting (43-56%), terwijl inlaatwater voor 19-31% bijdraagt aan de N-belasting, gevolgd door nalevering vanuit de landbouwbodem (11-14%). Voor de veenpolders is inlaatwater de belangrijkste bron voor de N-belasting van het oppervlaktewater, gevolgd door bemesting en nalevering van de landbouwbodem. Opvallend is ook dat uit deze modelstudie blijkt dat de fosforbelasting van het oppervlaktewater in alle zes onderzochte polders voornamelijk afkomstig is uit actuele bemesting (39-60%). Dit is opvallend omdat de huidige P-bemesting vrijwel gelijk is aan de P-afvoer (het beleid en de bemestingsadviezen sturen op evenwichtsbemesting), en de bodem de aangevoerde fosfaat enorm sterk buffert. De verklaring hiervoor wordt in deze studie gezocht in de aanwezigheid van snelle drainagefluxen.

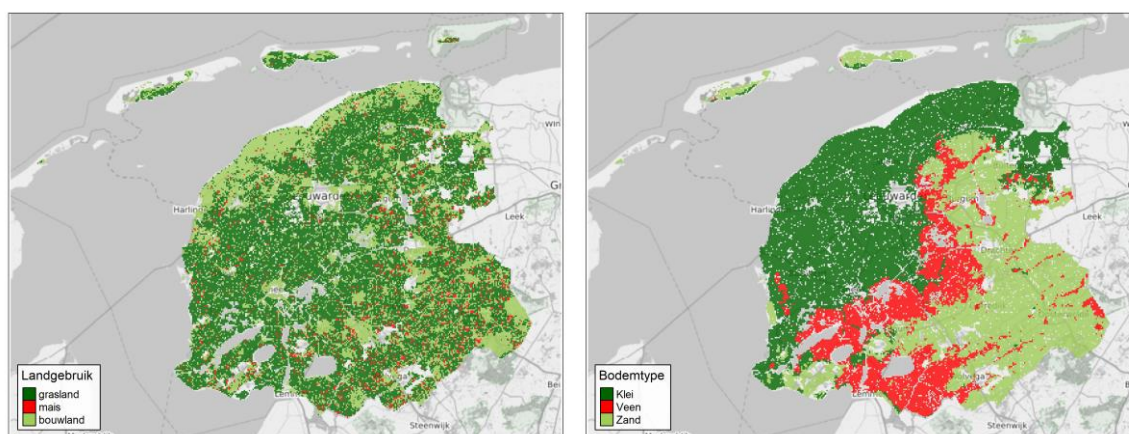
In het voorliggende rapport wordt inzicht gegeven in de onderliggende meetgegevens die uiteindelijk ook sturend zijn voor de invoer van STONE om zo meer (en op data gebaseerd) inzicht te krijgen in de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Hierbij ligt de focus op metingen dan wel schattingen van de water- en bodemkwaliteit, de bemesting, de watervogels (in bron 'overig'), en de rwzi's. Van de overige bronnen zijn namelijk vrijwel geen metingen bekend.

4.2 Landgebruik en bodem

De ruimtelijke variatie in bodemeigenschappen van de bovengrond (0-10 cm voor grasland en 0-25 cm voor bouwland) is in 2017 in kaart gebracht voor de parameters pH, stikstof, fosfaat, organische stof en textuur. De gebruikte meetgegevens en de ontwikkeling van deze kaarten voor het beheergebied van Wetterskip Fryslân zijn beschreven in de rapportage van Ros et al. (2018).

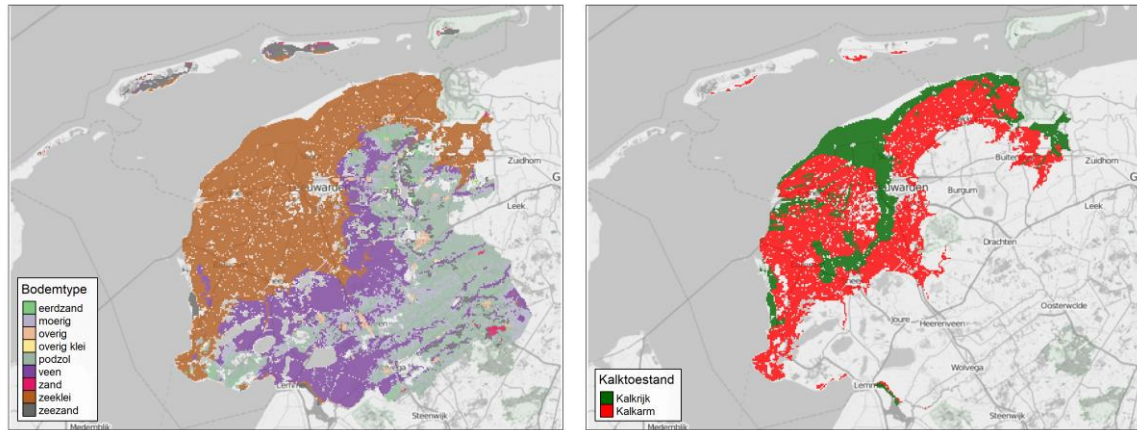
Landgebruik en bodemtype

Het grootste deel van het landbouwareaal in provincie Fryslân wordt gebruikt door melkveehouders. In 2016 werd het oppervlakte grasland en groenvoeder-gewassen geschat op bijna 200.000 ha terwijl er op ruim 20.000 ha akkerbouwgewassen werden geteeld (CBS, 2017). De akkerbouw vindt voornamelijk plaats in de noordelijke strook met lichte klei (Figuur 4.1.). De gewassen die hier verbouwd worden, zijn aardappel, tarwe en suikerbiet.



Figuur 4.1. Landgebruik (links) en belangrijkste grondsoorten (conform mestwetgeving).

In het beheergebied komen drie grondsoorten voor, waarbij het noorden gekenmerkt wordt door zware zavel- en zware kleigronden. In het zuidwesten komt relatief veel veen voor met aan de randen moerig zand. Het zuidoosten en oosten van het beheergebied bestaat vooral uit zandgrond. De meest voorkomende bodemtypes variëren van podzols en moerige zandgronden in het Zuidoosten tot veen in het Zuidwesten en zeeklei in het Noorden van het beheergebied (Figuur 4.2).

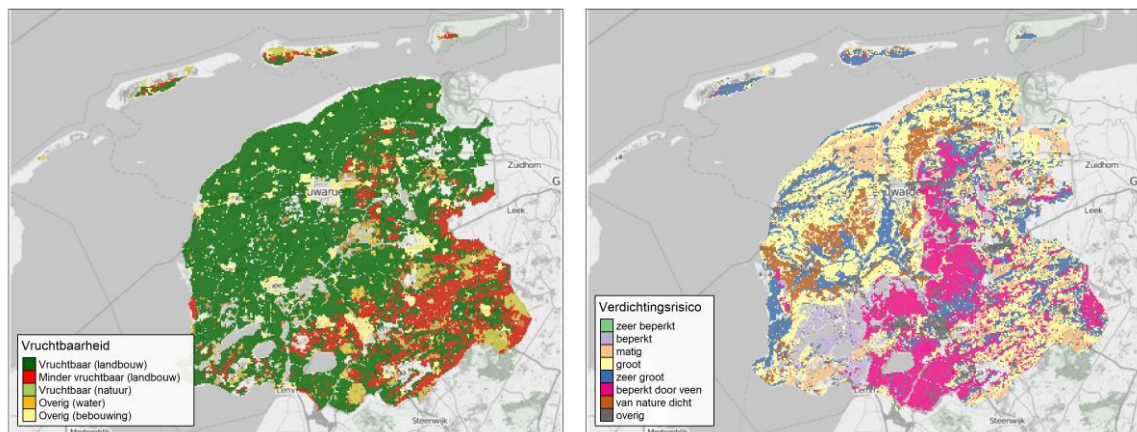


Figuur 4.2. Bodemtype (links) en kalktoestand (bij kleigronden; rechts) in het beheergebied.

De jongere zeekleibodems zijn nog kalkrijk. Deze jonge zeekleigronden zijn bijna alle ontstaan door inpoldering ten behoeve van de landbouw. Doordat de gronden nog jong zijn, bevat de laag onder de bouwvoor nog weinig organische stof en heeft er weinig homogenisering plaatsgevonden. Het kalkgehalte kan sterk wisselen (Figuur 4.2).

Bodemvruchtbaarheid en risico op verdichting

Organische stof (humus) heeft belangrijke functies in de bodem en is naast de textuur en de kationen-omwisselcapaciteit van directe invloed op de bodemvruchtbaarheid. Het grootste deel van de landbouw-bodems bevat voldoende organisch stof en bevat voldoende bindingscapaciteit om kationen te bufferen (Ros et al., 2018). Om deze redenen worden de bodems in Friesland in landelijke studies als heel vruchtbaar geclassificeerd (Figuur 4.3).



Figuur 4.3. De ruimtelijke variatie in algehele bodemvruchtbaarheid, en het risico op dan wel aanwezigheid van verdichting het beheergebied van Wetterskip Fryslân.

Het organische stofgehalte in de bodems in het beheergebied van Wetterskip Fryslân varieert tussen de 2 en 32% en is vooral hoog op de veengronden met een gehalte van gemiddeld 18%, gevolgd door gemiddelde organische stofgehalten van 10% op kleigronden en 8% op de zandgronden. Het organische stofgehalte in de bodem is sterk gecorreleerd aan de textuur, het landgebruik en de N-rijkdom van de bodem.

Gebruik makend van de gegevens uit het Bodemkundig Informatiesysteem en het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland is met het bodemverdichtingsmodel SOMOCO bepaald of de gebruikelijke wiellasten bij

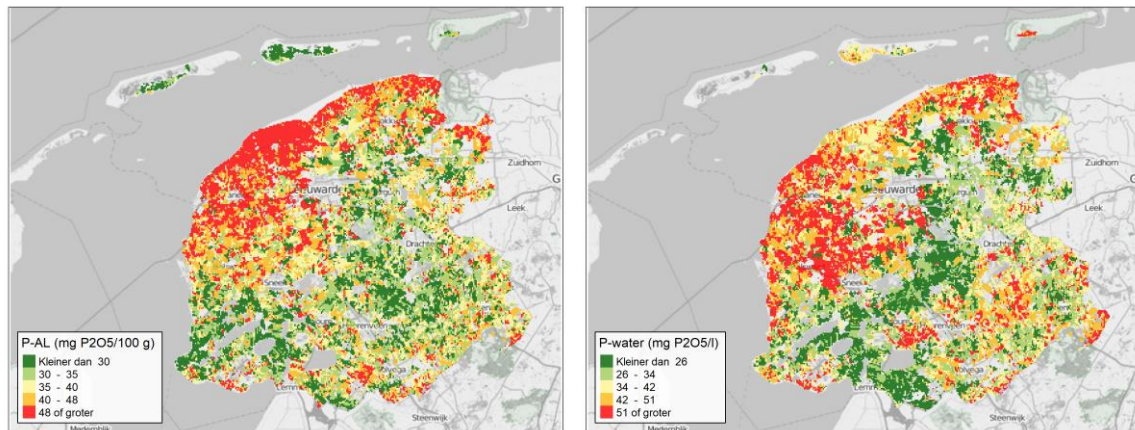
dat landgebruik de sterkte van de ondergrond in natte of vochtige omstandigheden overschrijden. Vervolgens is aan de hand van de bodemeigenschappen en de grondwatertrappen bepaald of de ondergrond extra gevoelig is voor verdichting of dat natuurlijk herstel door bijvoorbeeld droogtekrimp mogelijk is. Sterkte, landgebruik en bodemeigenschappen bepalen zo samen het risico op ondergrondverdichting (Figuur 4.3). Dit heeft geresulteerd in bovenstaande kaart waarop het risico op ondergrondverdichting is aangegeven (Van den Akker, 2012). De meeste gronden in het landelijk gebied blijken een matig tot zeer groot risico te hebben op ondergrondverdichting. Concreet betekent dit dat er een groot risico is op slechte doorworteling en daarmee gekoppelde hogere risico's op opbrengstdepressies, droogtestress en oppervlakkige afspoeling.

De gemiddelde bodemvruchtbaarheidskaart is in 1990 gemaakt door WEnR en deze deelt alle bodems in naar hun natuurlijke bodemvruchtbaarheid. Vruchtbare bodems hebben als gevolg van de ontstaanswijze en het moeder materiaal van nature namelijk gunstige chemische, biologische en fysische eigenschappen voor de productie van landbouwgewassen. Bij de minder vruchtbare bodems zijn deze eigenschappen niet optimaal; deze bodems zijn van oorsprong arm en hebben vaak een lage pH. Omdat deze natuurlijke vruchtbaarheid sterk gerelateerd is aan de grondsoort, is hier ook een duidelijk verband te zien met het voorkomen van kleibodems, veen en zandbodems (Figuren 4.1 en 4.2). Een vergelijkbare correlatie is te vinden in de ruimtelijke kaart met het risico op bodemverdichting, zoals deze is ontwikkeld door Van den Akker et al. (2012).

Stikstof en fosfaat

In het beheergebied van Wetterskip Fryslân varieert het gehalte N-totaal van minder dan 1,5 g N kg⁻¹ in de zeeklei-gronden in het Noorden tot meer dan 6 g N kg⁻¹ in de veengronden in het Zuidwesten. Voor minerale bodems neemt de natuurlijke N-levering bijna lineair toe met de hoeveelheid stikstof in de bodem. In het bemestingsadvies (gebaseerd op graslandproeven) wordt de N-levering uit minerale bodems geschat op minimaal 70 kg N ha⁻¹, en wordt deze verhoogd met 30 tot 35 kg N ha⁻¹ per gram N-totaal per kg grond. Voor akkerbouwgronden kan de N-levering variëren tussen 75 en 150 kg N ha⁻¹. Veengronden zijn van nature rijk aan stikstof: het landbouwkundig advies stelt bijvoorbeeld dat er gemiddeld meer dan 250 kg N ha⁻¹ vrijkomt via natuurlijke afbraakprocessen voor gewasopname. In de praktijk varieert de N-opname op onbemeste proefpercelen tussen 100 en 600 kg N ha⁻¹ (gebaseerd op meer dan 600 bemestingsproeven, Bussink et al., 2016). Bodems die rijk zijn aan stikstof worden daardoor ook gekenmerkt door grotere N-verliezen in de winterperiode.

De fosfaattoestand van de bodem geeft aan of er voldoende fosfaat in de bodem zit voor een optimale gewasproductie en wordt gebruikt in zowel bemestingsadviezen als de mestwetgeving. Op grasland varieert de gemiddelde PAL-waarde van 28 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ op veen tot 42 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ op klei (Figuur 4.4). Op gronden die als bouwland gebruikt worden, varieert de gemiddelde Pw-waarde van 37 mg P₂O₅ l⁻¹ op veen tot 54 mg P₂O₅ l⁻¹ op klei. Dit betekent dat 70% van alle agrarische percelen in de toestandsklasse neutraal ligt. De overige percelen liggen voor 13% in de klasse hoog en voor 13% in de klasse laag. Bodems met een hoge P-toestand worden gekenmerkt door een hoge P-beschikbaarheid en hebben geen tot weinig aanvullende P-bemesting nodig om een goede gewasproductie te realiseren.

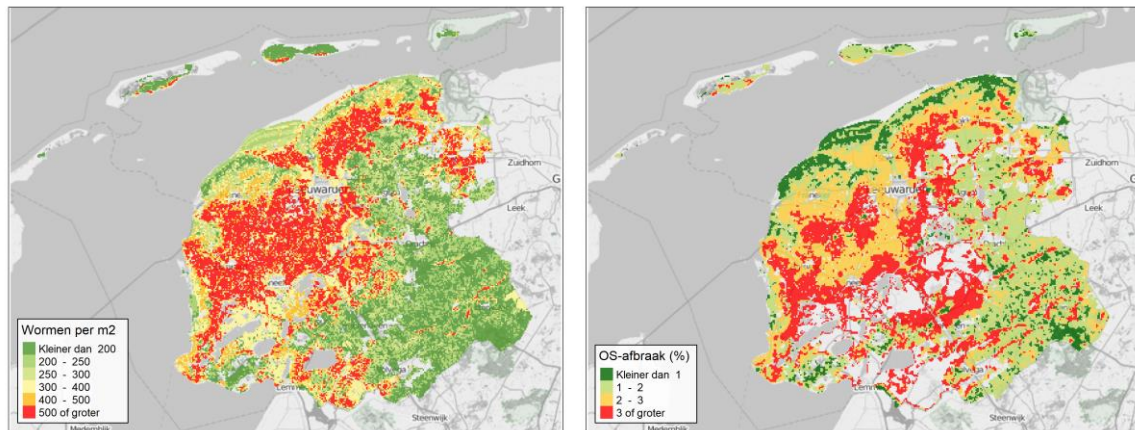


Figuur 4.4. Het fosfaatgehalte in agrarische percelen, gemeten via een extractie met ammonium lactaat (P-AL, links) dan wel water (P-water, rechts).

Als er veel fosfaat in de bodemoplossing aanwezig is (wat vaak de praktijk is bij percelen met een hoge P-toestand) dan bestaat er een relatief groot risico op P-verliezen. Of het aanwezige fosfaat ook daadwerkelijk uitspoelt, hangt af van de buffercapaciteit van en de mogelijke retentie in de bodem. Vaak wordt hiervoor gebruik gemaakt van de zogenoemde P-verzadigingsgraad: het deel van de fosfaatvastleggingscapaciteit (geschat via de hoeveelheid aluminium- en ijzer-oxiden in de bodem) dat 'bezet' is met fosfaat. Bij percelen met een hoge verzadigingsgraad is het risico op uit- en afspoeling van fosfaat groter. De studie van Schoumans et al. (2004) definieert een kritieke P-verzadigingsgraad van 25% voor kleigronden en kalkarme zandgronden. Voor veengronden en kalkrijke zandgronden ligt deze lager, en wel op respectievelijk 10 en 5%. Zoals blijkt uit de studie van Ros et al. (2018) betekent dit dat de meeste agrarische percelen in het beheergebied van Wetterskip Fryslân een P-verzadiging hebben boven de kritische grens.

Bodembiodiversiteit en biologische activiteit

Het voorkomen van regenwormen is een belangrijke biologische indicator voor de functioneren van het ecosysteem in de bodem. In Nederland is hiervoor een (geëxtrapoleerde) kaart van beschikbaar, gebaseerd op gegevens uit het landelijke Bodembioologische (Bobi)-meetnet van RIVM. De aanwezigheid van regenwormen (Figuur 4.5) en de soortensamenstelling, is een indicator van bodemverdichting, bemestingsverleden en aggregaatstabiliteit (d.w.z., de stabiliteit van bodemaggregaten). Het aantal regenwormen is op klei vaak hoger dan op zand, evenals op grasland in vergelijking met bouwland. Hogere dichtheid aan regenwormen zijn ook zichtbaar in gebieden met een hogere afbraak van organische stof: bodems die biologisch erg actief zijn hebben in de praktijk een hogere afbraaksnelheid en N-levering gedurende het groeiseizoen (en daarbuiten). Het ruimtelijke patroon in koolstofafbraak hangt sterk samen met het ruimtelijke patroon in N-voorraden in de bodem, de kwaliteit van de organische stof, en de potentiële N-afbraaksnelheid (niet weergegeven; zie Ros et al., 2018). Bodems met een hoge afbreekbaarheid zijn relatief rijker aan stikstof en worden gekenmerkt door een hogere afbraaksnelheid. Bij een hogere afbreekbaarheid is er een groter risico op nitraatverliezen tijdens de winterperiode.

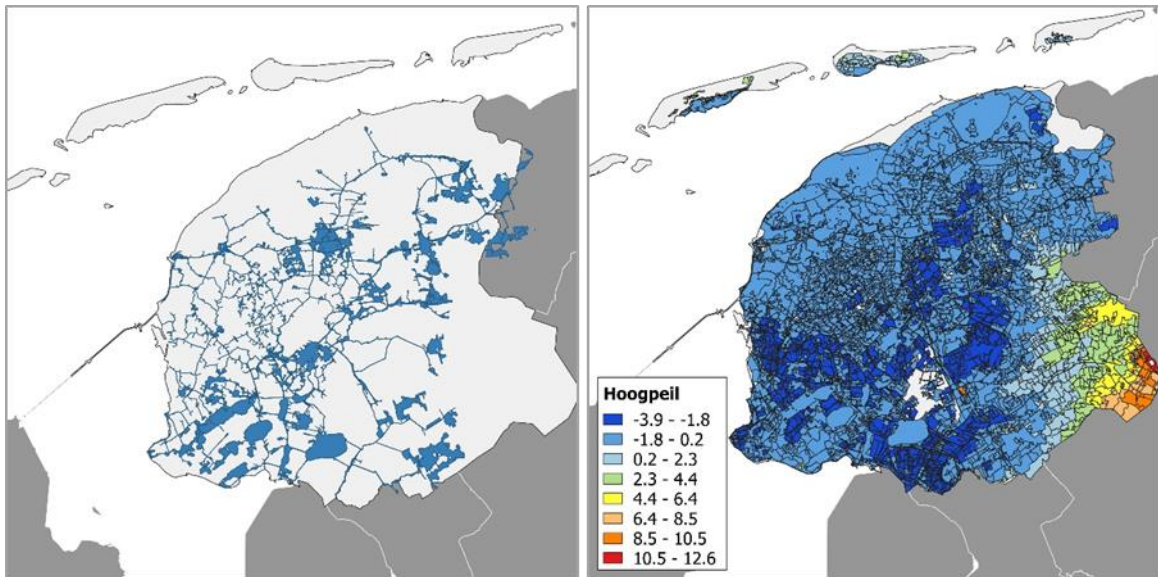


Figuur 4.5. Het voorkomen van regenwormen (links) en de geschatte afbraaksnelheid van organische stof (rechts) in agrarische bodems binnen beheergebied van Wetterskip Fryslân (bron: RIVM).

4.3 Het bodem- en watersysteem

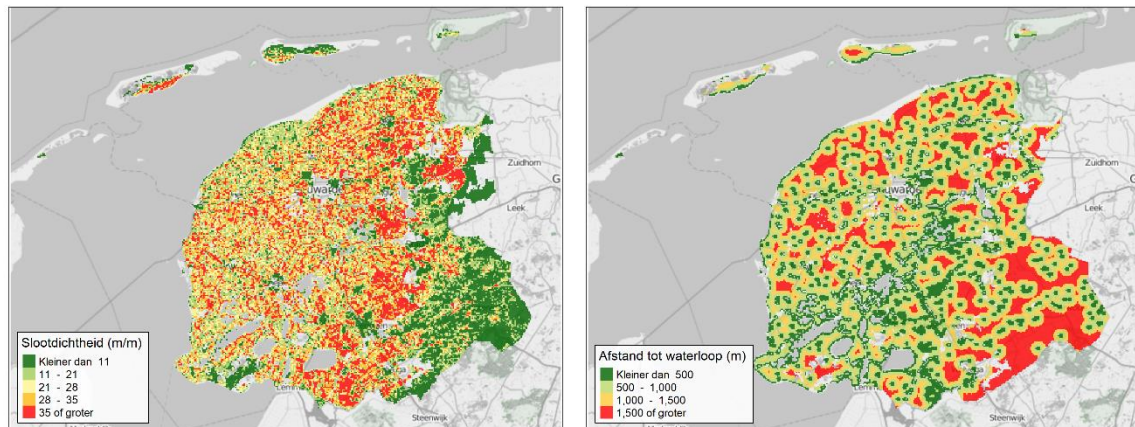
Het grootste deel van het beheergebied van Wetterskip Fryslân bevat poldersystemen met vaste en regelbare stuwen en inlaten. Gemalen slaan het overtollige water uit op de Friese boezem, waarna dit water wordt afgevoerd naar het IJsselmeer, de Waddenzee en het Lauwersmeer. Landbouw is de overwegende vorm van landgebruik, al bevinden zich binnen het beheergebied wel een aantal grotere natuurgebieden, zoals in de beekdalen, en de weidevogel- en moerasgebieden. In het noorden van de provincie bestaat de ondergrond voornamelijk uit klei, is er sprake van akkerbouw en bestaat het watersysteem vooral uit brede watergangen met een diep waterpeil in de sloten. Dit resulteert in grote peilvakken met een grote drooglegging, terwijl het aantal gemalen relatief klein is. Het westelijk deel van het gebied bestaat uit weidegronden op klei en klei op veen. Door ruilverkavelingen in het verleden is hier gekozen voor relatief kleine bemalingseenheden, waardoor er in het gebied veel kleinere gemalen zijn. Het centrale veenweidegebied wordt gekenmerkt door een relatief geringe drooglegging en veel peilvakken met een zomer- en winterpeil. Door veenoxidatie daalt het maaiveld en wordt het waterpeil voortdurend verlaagd om zo voldoende ontwatering te hebben voor een optimale gewasproductie en bewerkbaarheid. Het zuidoosten en oosten bestaat uit een zandgebied dat boven NAP ligt en waarbij de afwatering plaatsvindt via stuwen richting de beekdalen en de Friese boezem. In sommige delen van het vrij afwaterende gebied moet in droge perioden water worden aangevoerd.

Het beheergebied van Wetterskip Fryslân is opgedeeld in 614 watersystemen waarvan het boezemsysteem het grootste aaneengesloten systeem is (Figuur 4.6). Hierbinnen zijn er circa 8200 peilgebieden en 838 bemalingseenheden. Met deze uitgebreide en gedetailleerde infrastructuur kan het waterschap maatwerk leveren en zodoende wateroverlast voorkomen dan wel -tekorten minimaliseren. De huidige gebiedsanalyse focust zich op de chemische waterkwaliteit in de polders en vrij afstromende gebieden (voor wat betreft stikstof en fosfor) om verbanden te vinden met gebiedskenmerken. Meetpunten die sterk beïnvloed worden door gebiedsvreemd water maken het lastig om deze verbanden goed te leggen, als ook om op basis van deze metingen gebiedsinzicht te ontwikkelen waarmee maatwerk mogelijk gemaakt kan worden voor agrarisch bodembeheer en nutriëntenmanagement. Om deze reden is het boezemwatersysteem niet meegenomen in de analyse. Concreet betekent dit dat de metingen in de boezem niet zijn meegenomen in deze gebiedsanalyse omdat ze vooralsnog niet aan een specifiek gebied gekoppeld kunnen worden (er is veel transport in verschillende richtingen door de boezem). Dit zou deels opgevangen kunnen worden door gebruik te maken van het watersysteemmodel van de boezem, maar dit past niet zo goed bij de insteek van deze studie waarbij de analyse echt op metingen gebaseerd wordt.



Figuur 4.6. Kaart van het Friese boezemsysteem (links) en het peilbeheer binnen de watersystemen (rechts).
Bron: Wetterskip Fryslân.

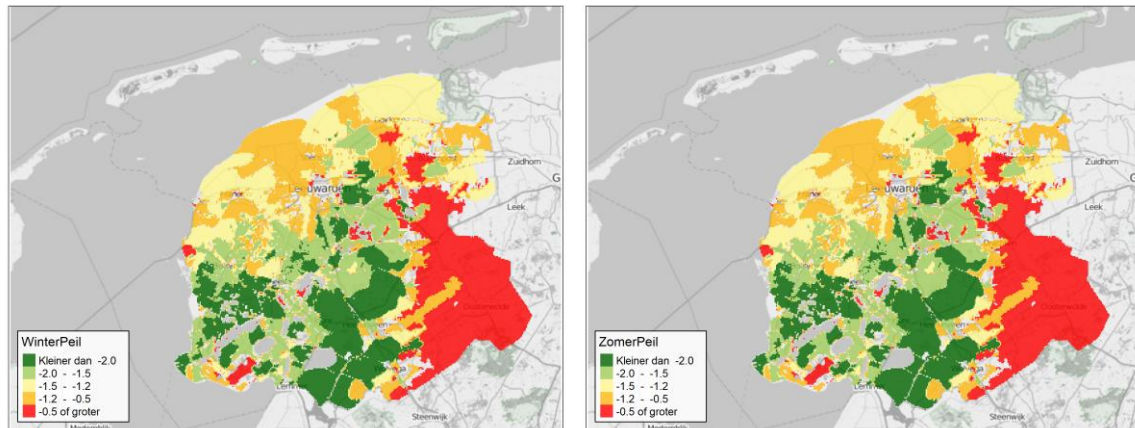
Omdat het risico op verliezen van stikstof en fosfaat sterk samenhangen met de waterflux vanaf en vanuit percelen naar omliggende watergangen, zijn in deze studie diverse kenmerken van het watersysteem meegenomen die het risico op af- en uitspoeling kwantificeren. Twee generieke gebiedskenmerken zijn de slootdichtheid (in m/m) en de afstand van een agrarisch perceel tot een hoofdwatergang (in m) (Figuur 4.7). De slootdichtheid is hierbij geschat als de lengte van een watergang – de schouwsloten – per gridcel van 500 x 500 m². De slootdichtheid varieert sterk over het beheergebied met een sterke gradiënt van zuidoost naar noordwest. De afstand tot de waterloop vertoont een wat grilliger patroon, waarbij duidelijk de aanwezigheid van de boezem terug te zien is.



Figuur 4.7. De gemiddelde slootdichtheid (in m m⁻¹) en de afstand tot primaire watergangen (m) binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân.

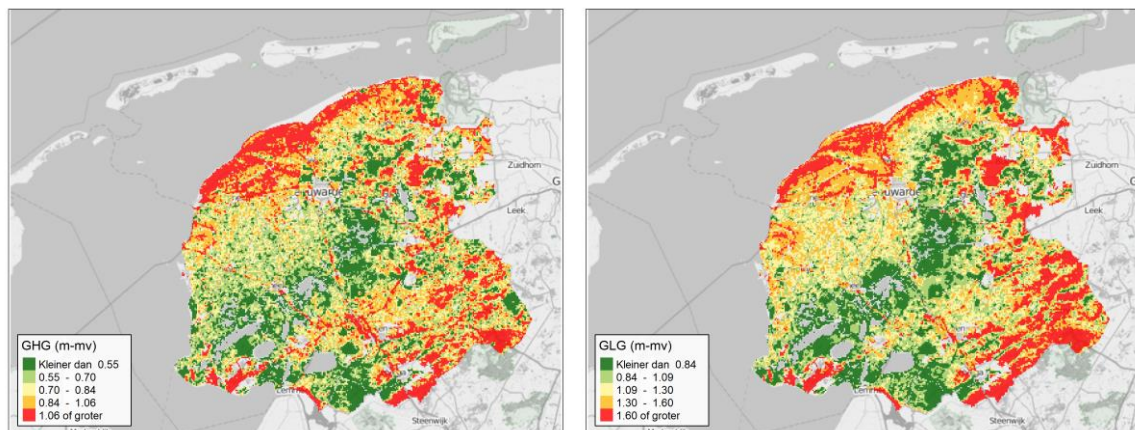
In het groot deel van het beheergebied zijn de zomer- en winterpeilen vrijwel vergelijkbaar (Figuur 4.8). Het centrale veehouderijgebied wordt hierbij gekenmerkt door lagere peilen dan de noordelijke kleibodems en het zuidoostelijk vrij afwaterend zandgebied. Over het algemeen kan het waterschap het streefpeil van het oppervlaktewater in de boezem- en de deelsystemen lang handhaven, ook in droge omstandigheden. Daarvoor wordt in de zomerperiode zoet water aangevoerd vanuit het IJsselmeer. Ook in (een deel van) de hoger gelegen zandgebieden kan onder droge omstandigheden door het opmalen van water nog lang water

worden aangevoerd. Met name het noordelijk akkerbouwgebied en het vrij afwaterende gebied zijn kwetsbaar voor watertekorten onder droge omstandigheden.



Figuur 4.8. Gemiddelde zomer- en winterpeilen per polder / watersysteem. Bron: Wetterskip Fryslân.

De watersystemen zijn per gebied afgestemd op de aanwezige functies. Hierbij zijn het waterbeheer en de drooglegging vrijwel overal afgestemd op het overwegende landbouwkundig grondgebruik (hoge doelrealisatie voor landbouw). In natuurgebieden is dat over het algemeen minder optimaal (relatief lage doelrealisatie voor natuur). De gemiddelde hoogste en laagste grondwaterstand worden hieronder ruimtelijk expliciet weergegeven (Figuur 4.9). Duidelijk zichtbaar is de koppeling met grondsoort en grondwatertrap: gebieden op veen worden gekenmerkt door hogere grondwaterstanden – en een minder diepe ontwatering – dan gebieden met klei en zandbodems.



Figuur 4.9. Ruimtelijke variatie in de Gemiddeld Hoogste (GHG) en Laagste (GLG) Grondwaterstand, afgeleid van het MIPWA-grondwatermodel van Noord-Nederland. Bron: Wetterskip Fryslân.

Vanuit de lopende pilot van het Landelijk Waterkwaliteitsmodel zijn op jaarbasis water- en stoffstromen bekend voor het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Vooruitlopend op de pilot Rijn-Noord (die gepland staat in 2019) zijn enkele water- en stoffluxen meegenomen als covariabele in de gebiedsanalyse. Een aantal relevante variabelen zijn bijvoorbeeld de geschatte hoeveelheid oppervlakkige afvoer, de waterafvoer via drainage, de aanvoer van stikstof en fosfaat via kwel, de aanvoer van stikstof via depositie én de optredende N-verliezen via denitrificatie. Hoge drainagefluxen en oppervlakkige afvoer zijn indicatief voor hogere P-verliezen naar het oppervlaktewater. Uit modelstudies blijkt dit – naast kwel – de belangrijkste verliesroute te zijn voor fosforverliezen naar het watersysteem (Groenendijk et al., 2016). De aanvoer van stikstof vanuit de

lucht neemt af van circa 25 kg N ha⁻¹ in het zuidoosten tot minder dan 20 kg N ha⁻¹ aan de kust. Stikstofverliezen via denitrificatie treden op onder anaerobe omstandigheden en dit proces verloopt sneller bij de aanwezigheid van koolstof (als energiebron) en hogere temperaturen. In het beheergebied lopen deze verliezen op van zandgronden naar kleigronden naar veengronden. Hogere denitrificatieverliezen zorgen indirect voor lagere verliezen naar het watersysteem.

4.4 Variatie in waterkwaliteit

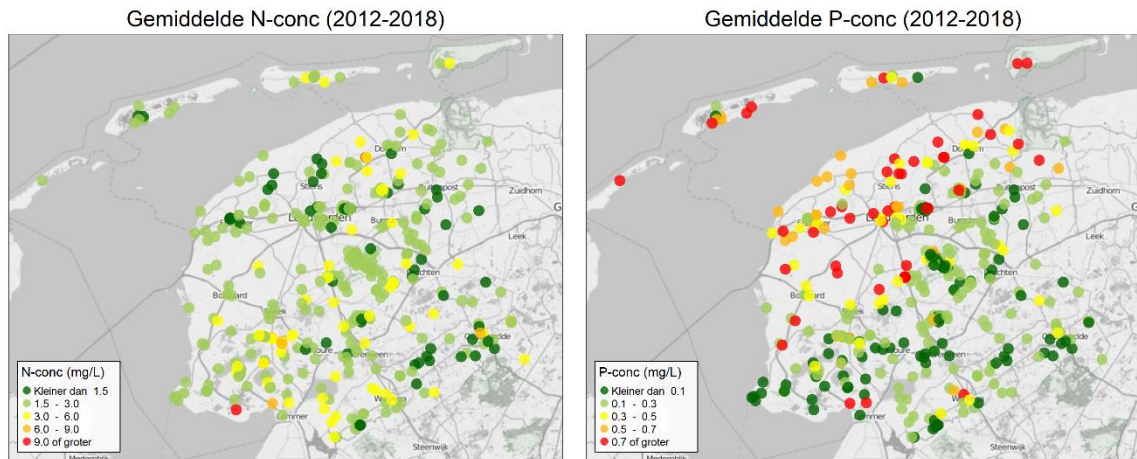
Het waterkwaliteitsbeheer van het waterschap heeft als doel de ecologische waterkwaliteit te beschermen en te verbeteren. Een goede chemische waterkwaliteit draagt daaraan bij. Dit betekent dat er weinig verontreinigende stoffen – evenals nutriënten – in het water aanwezig zijn. Geen enkel waterlichaam verkeert echter in een ecologisch goede toestand (Toestandsbeoordeling KRW 2018, Waterkwaliteitsportaal). De meeste waterlichamen scoren ontoereikend of matig ten aanzien van de normen voor algen, waterplanten, macrofauna en vis. Ook een groot deel van de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater voldoen niet aan de eisen. Eerder onderzoek heeft laten zien dat de N-concentraties van 2000 tot 2006 een licht dalende trend vertoonden, maar dat deze daling na 2006 is gestagneerd. De P-concentraties in de genoemde periode zijn stabiel of vertonen in sommige waterlichamen zelfs een licht stijgende trend. Zonder aanvullende maatregelen is het niet waarschijnlijk dat deze concentraties verder zullen afnemen. De eisen ten aanzien van zuurstof, temperatuur, chloride en zuurgraad zijn op vrijwel alle locaties op orde.

De grootste opgaven voor het bereiken van een goede ecologische toestand van het oppervlaktewater zijn het verminderen van nutriëntenemissies en gewasbeschermingsmiddelen en het natuurvriendelijk inrichten van het watersysteem. Het terugdringen van de emissies van nutriënten is een algemene opgave die geldt voor vrijwel het gehele beheergebied van Wetterskip Fryslân. De emissies van bestrijdingsmiddelen in kleinere wateren vormen in de akkerbouwgebieden een knelpunt. Via het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer wordt actief en goed samengewerkt met de agrarische sector om zo de sector te verduurzamen en de emissie vanuit de bodem, via oppervlakkige afspoeling en vanaf erven te verminderen. De Land- en Tuinbouworganisatie Nederland heeft daarbij de ambitie uitgesproken om in 2021 tachtig procent van de waterkwaliteitsproblemen op te lossen en in 2027 100%.

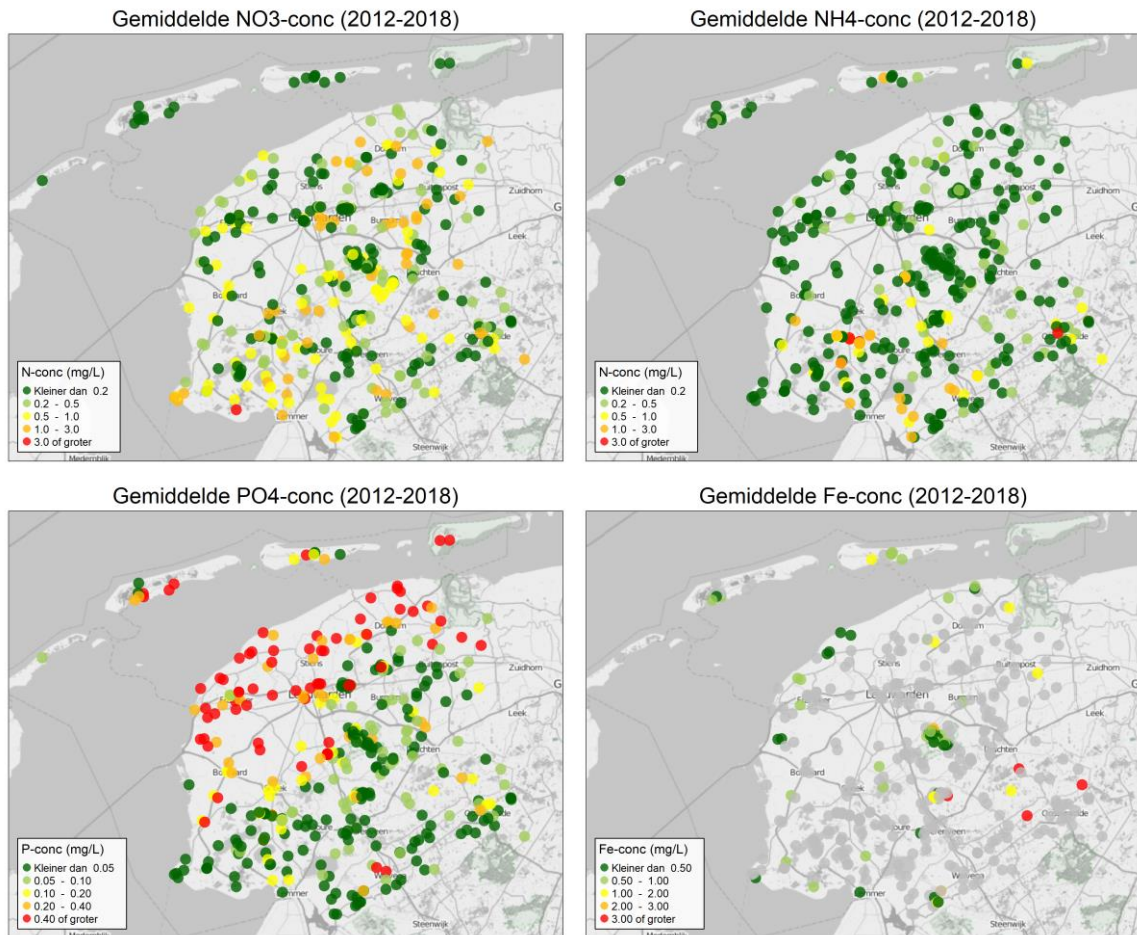
Om de ecologische omstandigheden te verbeteren richt Wetterskip Fryslân het watersysteem natuurvriendelijker in. In de boezem en polders gaat het dan vooral om het vergroten van het voor waterplanten begroeibaar areaal. In de meren ontwikkelt het waterschap hiertoe vooral ondiepe, luwe zones in bestaande boezemlanden en zomerpolders. In (boezem)kanalen en in watergangen in polders worden natuurvriendelijke oevers aangelegd en hoofdwatergangen in polders worden verbreed waardoor de watergangen nog maar één maal per jaar onderhouden hoeven te worden en een deel van de waterplanten kan blijven staan. In polders worden maalkommen voor gemalen aangelegd, waarin nutriëntenrijk zwevend materiaal uit polderwater kan bezinken. Het waterschap richt de maalkommen natuurvriendelijk in, zodat ze een bijdrage leveren aan de ecologie en het verlagen van de emissie van nutriënten vanuit de polder naar de boezem. Ondiepere watergangen hebben overigens wel een groter risico op hogere temperaturen en lagere zuurstofconcentraties in de zomer, waardoor de P-concentratie toe kan nemen.

Het meerjarig zomergemiddelde N-gehalte van het oppervlaktewater (in de periode 2012-2018) varieert tussen 0,65 en 12,4 mg L⁻¹ binnen het beheergebied, waarbij hogere concentraties vaker voorkomen in het centrale veehouderijgebied op veen. Vergelijkbare trends zijn zichtbaar voor de concentraties ammonium (variërend van 0,03 tot 4,4 mg L⁻¹) en nitraat (variërend van 0,05 tot 3,9 mg L⁻¹). Veengebieden en kleigebieden hebben gemiddeld hogere N-verliezen dan zandgronden door de hogere N-levering van deze bodems en het

grotere risico op verliezen via snelle afvoerroutes (drains, oppervlakkige afvoer, ondiepe uitspoeling).



Figuur 4.10. Het meerjarig zomergemiddelde concentratie in het oppervlaktewater over de periode 2012-2018 voor totaal-N en totaal-P.

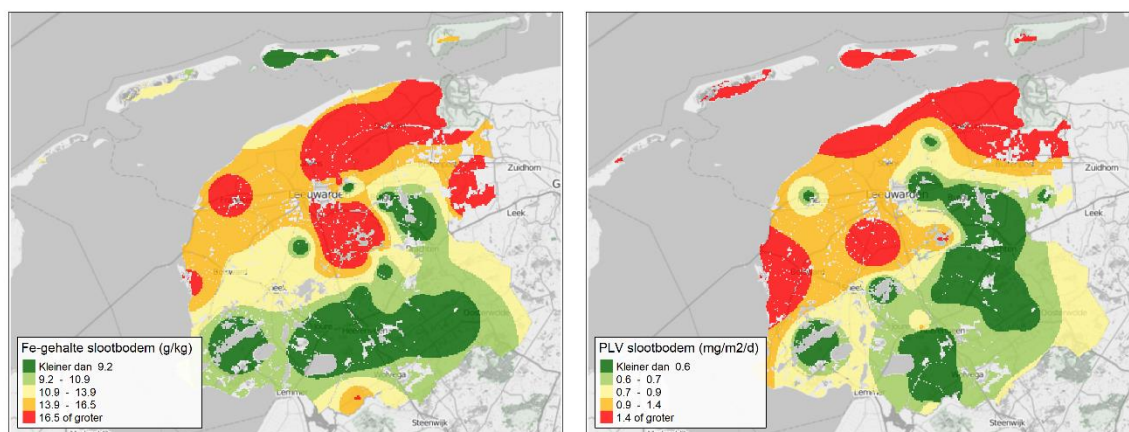


Figuur 4.11. Het meerjarig zomergemiddelde concentratie in het oppervlaktewater over de periode 2012-2018 voor NH_4 , Fe, PO_4 en NO_3 .

Een hoge belasting van het oppervlaktewater met nutriënten zorgt niet noodzakelijkerwijs voor hogere concentraties in het watersysteem. Voor veengebieden is het namelijk bekend dat hoge verliezen van fosfor samengaan met (nog) hogere verliezen aan ijzer- en aluminiumoxiden vanuit de veraarde bovengrond. Zolang

er voldoende zuurstof in het water aanwezig zijn, zal het aanwezige fosfaat coaguleren met de oxides en bezinken op de slootbodembodem dan wel afgevoerd worden met het stromende water. In de zomerperiode is er echter sprake van een netto watertekort, waardoor eventuele verliezen tijdens piekbuien in de sloten aanwezig blijven en daar bezinken. Dit fosfaat kan later in het jaar weer vrijkomen onder natte omstandigheden (bij zuurstofloze omstandigheden verbreekt de verbinding van fosfaat met de ijzeroxiden waardoor fosfaat mobiel wordt). De waterbodem als zodanig is daarmee een belangrijk bron – en buffer – van fosfaat. Omdat de fosfaat in de waterbodem oorspronkelijk afkomstig is van andere bronnen (kwel dan wel af- en uitspoeling vanuit de landbouwbodem of vanuit het onderliggende P-rijke moedermateriaal) is het beter om dit als een secundaire bron te benoemen.

Binnen het waterschap zijn hierover beperkt gegevens aanwezig: op circa 62 meetpunten is in 2017 de slootbodembodem geanalyseerd op de beschikbaarheid van ijzer, fosfor en zwavel in de bodem en het bodemvocht. Op basis hiervan kan via een empirische relatie een indicatie worden gegeven van de actuele fosforaflevering vanuit de slootbodembodem. Op 41 van de 62 locaties was de nalevering kleiner dan $0,8 \text{ mg P m}^{-2}$ per dag. Op circa 14 locaties was de situatie matig tot slecht, waarbij de P-nalevering in de worst-case scenario op kan lopen tot 13 mg P m^{-2} per dag. Omdat de slootbodembodem de eigenschappen van de omringende landbouwbodem reflecteert, is op basis van de bestaande gegevens een ruimtelijk interpolatie uitgevoerd.



Figuur 4.12. Het meerjarig zomergemiddelde concentratie in het waterbodem voor Fe en de geschatte P-levering (afgeleid van P-totaal, Fe-totaal en S-totaal in de slootbodembodem en het porievocht).

4.5 Belasting rwzi

Voor het zuiveren van afvalwater beschikt het waterschap over 27 rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) en één slibontwateringinstallatie. De emissies van de rwzi's hebben een effect op chemische en ecologische toestand van het water. Het zuiveringspercentage voor stikstof en fosfaat ligt hoog: 84 tot 88% van het binnenkomende stikstof en fosfaat kan worden verwijderd. Om de emissies naar het oppervlaktewater te verkleinen, wordt actief gestuurd op de normen voor concentraties van het effluent. Om te toetsen of aan de gestelde eisen wordt voldaan, worden jaarlijks 24 tot 60 (afhankelijk van de grootte van de rwzi) metingen uitgevoerd van de chemische samenstelling van het influent en het effluent. De resultaten van deze metingen zijn gebruikt voor deze studie.

De kwaliteit van het gezuiverde water wordt getoetst aan de wettelijke eisen in het Activiteitenbesluit Milieubeheer en de Activiteitenregeling Milieubeheer. De standaardvoorschriften zijn:

- stikstof 10 mg l⁻¹ bij rwzi's met een ontwerpcapaciteit van 20.000 inwonerequivalenten of meer en 15 mg l⁻¹ bij rwzi's met een ontwerpcapaciteit van 2.000 tot 20.000 inwonerequivalenten.
- Fosfor 1,0 mg l⁻¹ bij rwzi's met een ontwerpcapaciteit van meer dan 100.000 inwonerequivalenten en 2,0 mg l⁻¹ bij rwzi's met een ontwerpcapaciteit van 2.000 tot en met 100.000 inwonerequivalenten.

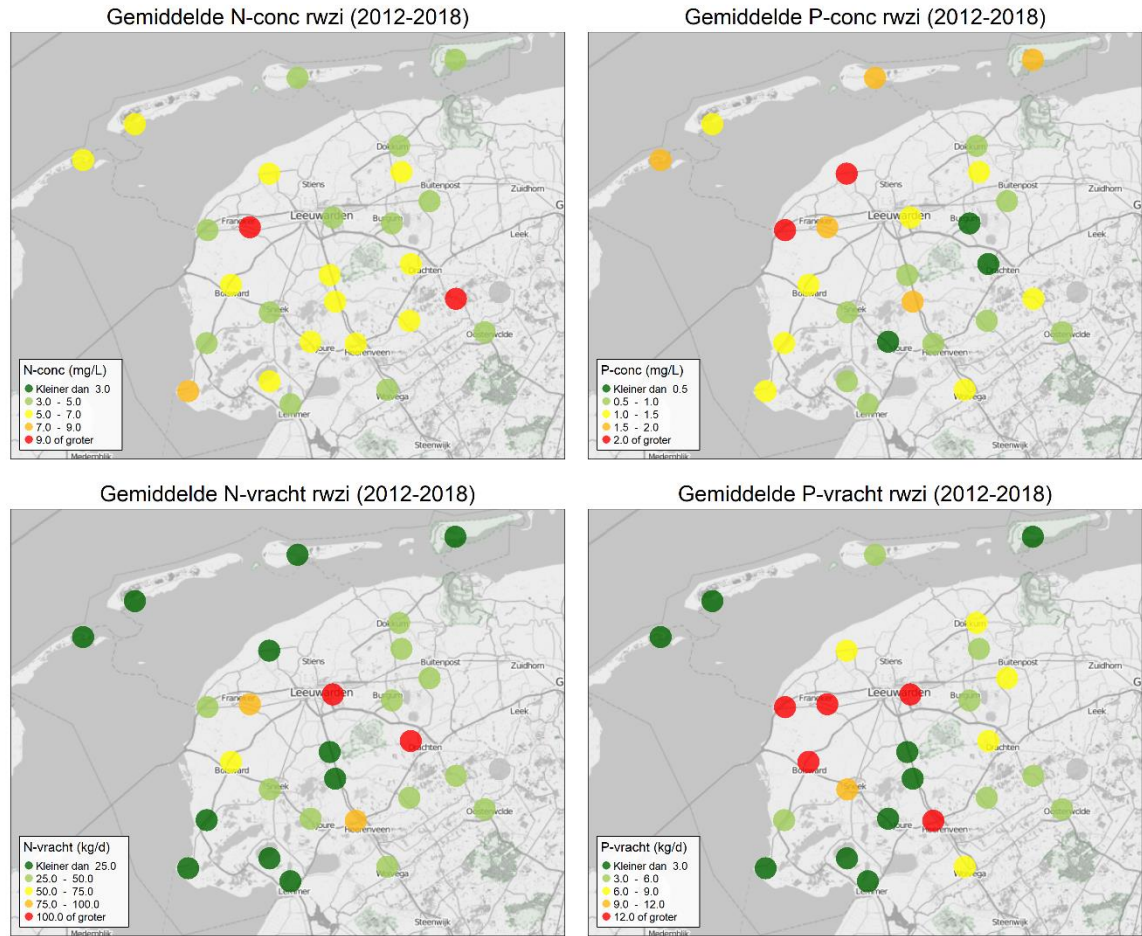
Voor een aantal zuiveringen zijn maatwerkvoorschriften opgesteld met afwijkende lozingseisen. Vanuit de KRW heeft Wetterskip Fryslân het doel gesteld dat de emissies vanuit de waterketen geen belemmering mogen vormen voor het realiseren van de chemische en ecologische kwaliteit van het oppervlaktewater. Dit doel is vervolgens in het zuiveringsbeleid vertaald naar "interne" doelstellingen voor de zuiveringen. Hierbij is op een pragmatische manier bepaald welk effluentwaarde technische haalbaar is tegen acceptabele kosten.

In het zuiveringsbeleidsplan uit 2013 zijn acht rwzi's benoemd die directe invloed hebben op het bereiken van de juiste waterkwaliteit voor de KRW. Eén van deze acht, rwzi Wijnjewoude, is in de tussenliggende periode opgeheven, waarbij het afvalwater is aangekoppeld op rwzi Drachten. Daarnaast is voor rwzi St. Annaparochie het inzicht in de lokale lozingssituatie gewijzigd. Dan zijn er nog zes rwzi's met een invloed op de KRW-doelstellingen: Dokkum, Drachten, Gorredijk, Oosterwolde, Sneek en Workum. Voor stikstof zijn de interne doelstellingen voor deze rwzi's vrijwel gehaald.

In Workum en Drachten zijn de rwzi's inmiddels (anno 2019) aangepast. Op de rwzi's Dokkum, Oosterwolde en Gorredijk is de procesregeling verbeterd met online N- en P-analyzers. Deze maatregel zal in de komende vijf jaar naar verwachting ook op rwzi Sneek worden genomen.

De jaargemiddelde maandconcentraties variëren in het grootste deel van het gebied tussen de 4,5 en 7,7 mg N l⁻¹ en 0,7 en 1,4 mg P l⁻¹ (Figuur 4.13). Relatief hoge concentraties voor stikstof (> 9 mg l⁻¹) komen voor in twee installaties en voor fosfaat (> 1,5 mg l⁻¹) in zeven installaties. De emissies van de zuiveringsinstallaties zijn getoetst aan de huidige stikstof- en fosfaateisen voor nutriëntenconcentraties naar het oppervlaktewater. Volgens recente inzichten zijn de vrachten echter ook een belangrijke factor voor het behalen van de vereiste ecologische toestand, ook als de concentraties aan de huidige waterkwaliteitsnormen voldoen. In de nieuwe beleids- en beheernota zuiveren (vastgesteld in februari 2019) van Wetterskip Fryslân wordt ook uitdrukkelijk naar maximale vrachten te lozen N en P gekeken.

De debieten van rwzi's variëren van 463 tot 53.000 m³ per dag, waardoor de totale jaargemiddelde maandbelasting per rwzi op kan lopen tot 134 kg N per dag en 37 kg P per dag. Kijkend naar de vrachten, dan zijn er twee á drie relatief grote bronnen voor stikstof en drie á vier voor fosfaat. Door verschillen in samenstelling van afvalwater en processen voor de verwijdering van N en P zijn de belastingen voor N en P niet sterk aan elkaar gekoppeld.



Figuur 4.13. Het meerjarig zomergemiddelde concentratie in effluent – en daarvan afgeleide vrachten - van aanwezige rwzi's binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân.

4.6 Bemesting

In 2018 is voor heel Noord-Nederland de mineralenbalans voor koolstof, stikstof, fosfaat, calcium, magnesium en zwavel in kaart gebracht (de Vries et al., 2018). De aan- en afvoer van mineralen voor stikstof en fosfaat wordt hieronder samengevat weergegeven (Tabel 4.2.). In heel Friesland komt er ca 48 kg P per hectare beschikbaar voor gewasopname, waarbij het merendeel wordt aangevoerd via rundveedrijfmest. Netto Friesland een exporteur van mest.

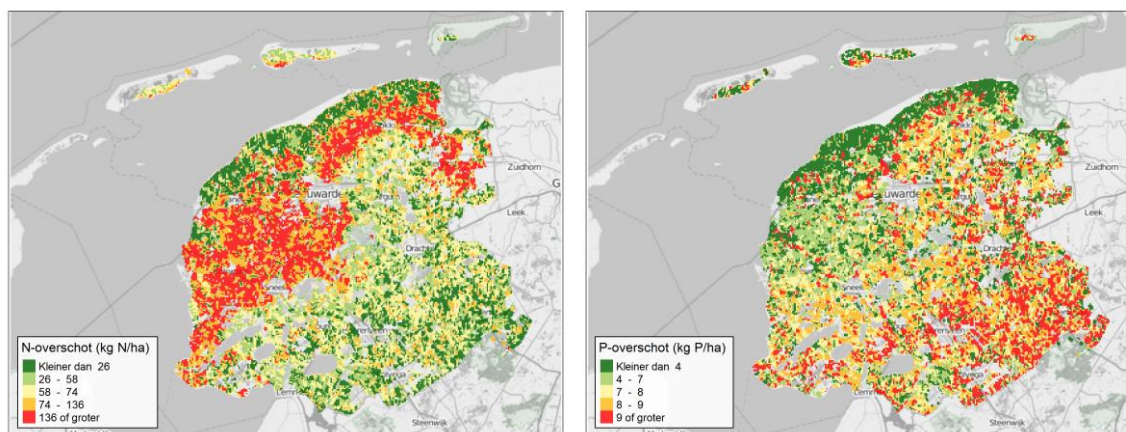
Tabel 4.2. Aan- en afvoer van stikstof en fosfaat (in kg ha⁻¹ jaar⁻¹) gemiddeld over de provincie Friesland.

Aanvoerpost	P	N	Afvoerpost	P	N
Dierlijke mest	43,8	296	Gewasopname	37,2	263
Kunstmest	1,6	165	Export / transport	7,2	41
Depositie	0,5	26	Bodemopbouw	1,3	12
Compost	0,8	2	Watersysteem	2,4	11
Mineralisatie	1,5	40	Denitrificatie	-	148
Fixatie	-	10	Ammoniak	-	62
Totaal	48,2	538	Totaal	48,2	538

Het grootste deel van de toegediende fosfaat wordt opgenomen door het gewas, wordt geëxporteerd of blijft achter in de bodem. Vergeleken met de toegediende gift spoelt circa 5% uit richting grond- en oppervlaktewater, waarbij het overgrote deel zicht verplaatst naar de bodemlaag onder de bouwvoor: 2 kg P ha⁻¹ gaat naar grondwater en 0,4 kg P ha⁻¹ naar oppervlaktewater). Voor stikstof spelen ook andere processen een rol: van het N-overschot gaat het grootste deel verloren richting de atmosfeer, via denitrificatie en ammoniakverliezen. De verliezen naar het watersysteem worden gemiddeld ingeschat op 11 kg N ha⁻¹ waarbij het overgrote deel (6,9 kg N ha⁻¹) verloren gaat naar het oppervlaktewatersysteem.

De aanvoer van fosfaat uit dierlijke mest en kunstmest varieert weinig binnen het hele beheergebied (voor details, zie publicatie van Ros et al., 2018). De kleinste P-aanvoer is te vinden op percelen met akkerbouw, en vooral in het noordelijke kleigebied. Giften hoger dan 40 kg P ha⁻¹ zijn vooral te vinden op melkveehouderijbedrijven met grasland en mais. Het gemiddelde op veen ligt met 35 kg P ha⁻¹ een aantal kg P ha⁻¹ hoger dan op zand (28 kg P ha⁻¹). Fosfaat wordt in de praktijk vrijwel niet via kunstmest toegediend omdat (1) het verboden is op derogatiebedrijven, (2) dierlijke rundveedrijfmest als belangrijkste fosfaatbron een goede basismeststof is, en (3) akkerbouwbedrijven geld ontvangen wanneer ze deze drijfmest gebruiken (boeren betalen om het overschot aan mest kwijt te raken). Gebieden met de hoogste P-toestand en P-verzadiging (vooral bij akkerbouw op klei) hebben conform de mestwetgeving en de bemestingsadviezen weinig behoefte aan P-bemesting. De aanvoer van stikstof uit dierlijke mest is kleiner in het noordelijke kleigebied (voornamelijk akkerbouw) dan in gebieden waar vooral zand- en veenbodems aanwezig zijn. Percelen die voornamelijk door de veehouderij worden gebruikt (grasland en mais) hebben een grotere N-aanvoer. Dit is gekoppeld aan de gebruiksnormen voor dierlijke mest, die vrijwel altijd opgevuld worden om kosten te besparen. Voor de aanvoer uit dierlijke mest geldt de derogatie-norm van 250 kg N ha⁻¹. De totale (werkzame) N-gebruiksruimte bepaalt de hoeveelheid N-kunstmest die mag worden aangevoerd en deze is gewas- en bodemafhankelijk. De gebruiksnorm op klei ligt hoger dan op zand en veen, en de norm voor grasland is hoger dan die voor akkerbouwgewassen. Dit verklaart waarom de meeste kunstmest wordt aangevoerd op grasland in kleigebieden.

Relevant voor de waterkwaliteit zijn de zogenoemde bodemoverschotten; het deel van de gegeven bemesting dat niet wordt opgenomen door het gewas (Figuur 4.14). De grootste overschotten voor werkzame N zijn te vinden op grasland op klei (met gemiddeld 140 kg N-werkzaam ha⁻¹). Grasland op zand heeft een kleiner overschot van gemiddeld 60 kg N ha⁻¹. Grasland op veen heeft een vergelijkbaar overschot met die op zand. De gemiddelde overschotten voor N-totaal op maisland en akkerbouw variëren een stuk minder tussen de verschillende grondsoorten: deze overschotten zijn het kleinst voor akkerbouw op klei (50-60 kg N ha⁻¹) en het grootst op mais op zand (70 kg N ha⁻¹). De gemiddelde overschotten voor werkzame N voor akkerbouw en mais liggen in de categorie kleiner dan 50 kg N ha⁻¹, wat betekent dat de gewasopname vergelijkbaar is met de aanvoer van werkzame N via bemesting.

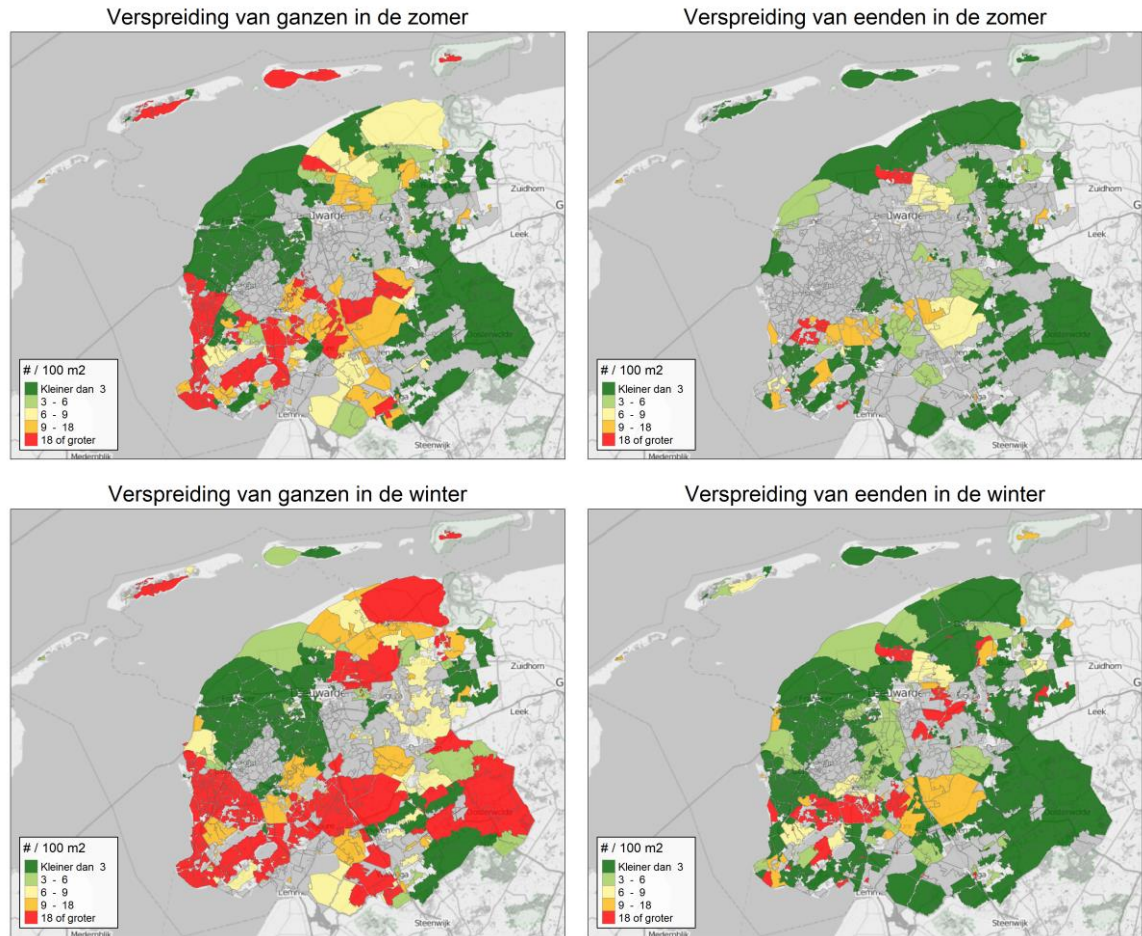


Figuur 4.14. Het gemiddelde werkzame N-overschot (links) en P-overschot (rechts) in het jaar 2015 (in kg per ha) conform de modelberekeningen van het landelijke mestverdelingsmodel INITIATOR. Kleuren geven geen waardeoordeel aan en klassegrenzen zijn gebaseerd op kwantielen.

Grote overschotten komen over het algemeen overeen met gebieden waar veel dierlijke mest aanwezig is (d.w.z., de gebieden waar de hoogste gebruiksnormen gelden). Op klei gelden hogere normen dan op de overige graslandgebieden op zand en veen. Een groter bodemoverschot betekent in de praktijk ook een groter risico op verliezen richting het watersysteem. De daadwerkelijke uit- en afspoeling hangt af van de belangrijkste verliesroutes richting het watersysteem en de mogelijkheid van denitrificatie. Het overschot van fosfaat is gemiddeld $7 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Dit overschot is groter op mais ($12 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$) dan op grasland ($7 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$). Dit komt door de lage fosfaatopname in het maisgewas. Op akkerbouw zit de P-balans rond de nul (gemiddeld $-0.6 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$). In tegenstelling tot stikstof is fosfaat een nutriënt waarvan de uitspoeling sterk bepaald wordt door de bodemeigenschappen en de grondwaterstand. Directe verliezen vanuit actuele bemesting treden nauwelijks op omdat de wetgeving en de praktijk uitgaat van een systeem van evenwichtsbemesting (m.u.v. toedieningsverliezen bij ondeskundig gebruik); de bijdrage van actuele bemesting op de uitspoeling van fosfaat is veelal kleiner dan 10%.

4.7 Water- en weidevogels

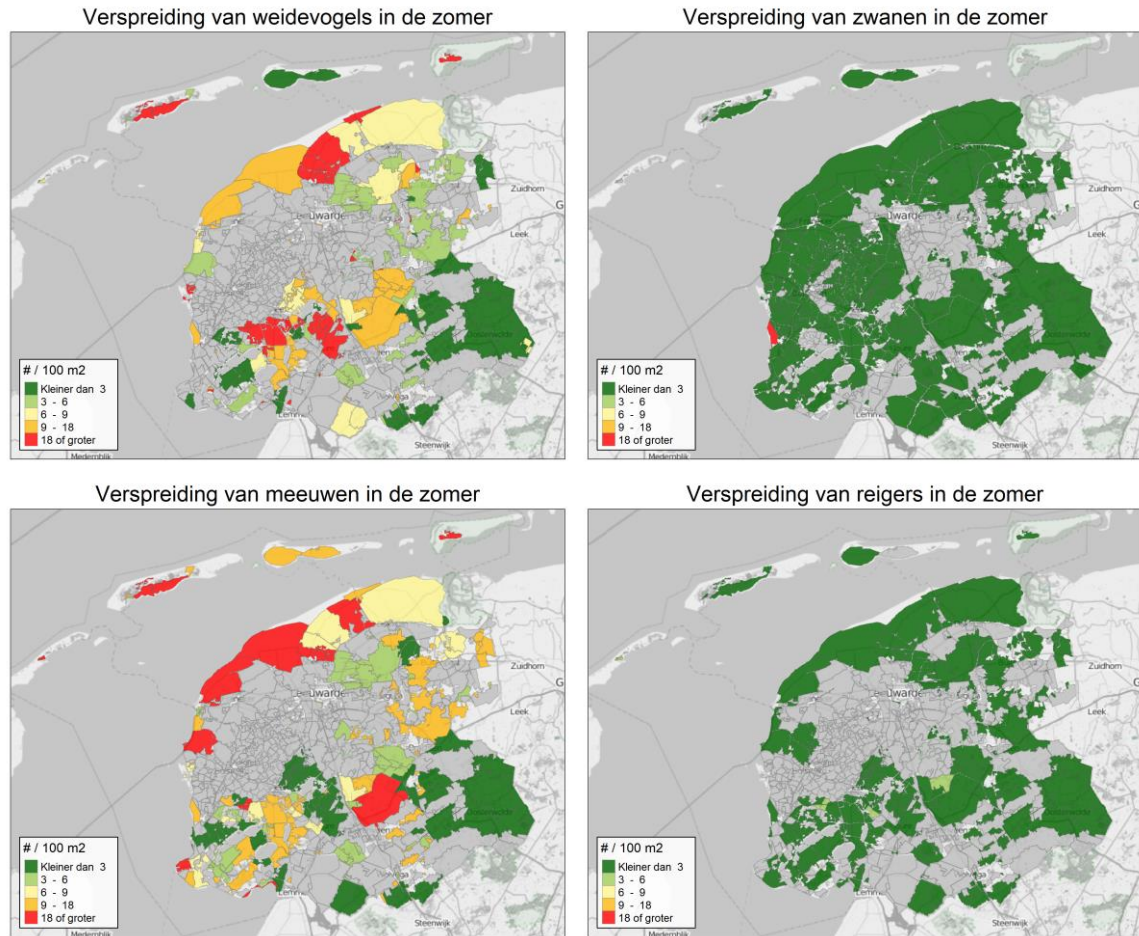
De verspreiding van water- en weidevogels binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân laat zien dat een groot deel voorkomt in het waterrijke zuidoostelijke deel, de kustzones langs het IJsselmeer en de kustzone in het noordoosten langs de Waddenzee (Figuren 4.15 en 4.16). De populatie van ganzen en eenden is in de winterperiode hoger dan in de zomerperiode, en ook de verspreiding neemt toe in de winterperiode. Het gaat hier overigens om de meerjarige maandgemiddelde tellingen uit de landelijke SOVON-database.



Figuur 4.15. De meerjarige maandgemiddelde vogeltellingen voor ganzen en eenden in de zomer- en winterperiode.

Ganzen kunnen een grote impact hebben in gebieden waar ze foerageren. Ganzen zijn namelijk herbivoren en eten veel plantaardig voedsel omdat ze een slechte spijsvertering hebben. Dit leidt tot een hoge graasdruk en keutelproductie. De keutels zijn rijk aan nutriënten. Het effect van ganzen op de waterkwaliteit in de voedselrijke veengebieden is voornamelijk nog onduidelijk. Eerder onderzoek heeft laten zien dat de P-belasting substantieel kan bijdragen aan de belasting van het oppervlaktewater. Of dat een substantieel effect heeft op de concentraties van stikstof en fosfaat is minder duidelijk. Watersystemen die rondom een ecologisch omslagpunt bevinden of een hoge graasdruk kennen, zijn hierbij kwetsbaar (de Fouw en Van der Hut, 2017).

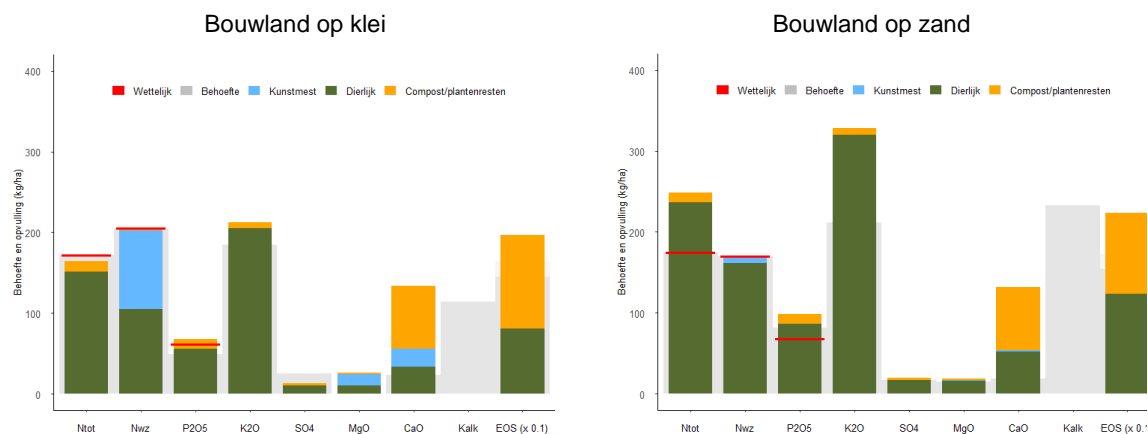
De verspreiding van zwanen en reigers in het gebied is erg laag gedurende de zomermaanden. Meeuwen en weidevogels komen vooral voor in de waterrijke deelgebieden van het waterschap en de kustzones.



Figuur 4.16. De meerjarige maandgemiddelde vogeltellingen voor weidevogels, zwanen, meeuwen en reigers in de zomermaanden.

4.8 Agronomische gebiedsanalyse

De aanvoer en agronomische behoefte aan organische stof en nutriënten voor de akkerbouwmatige bedrijfssystemen is weergegeven in figuur 4.17. Uit dit overzicht blijkt dat voor zowel bij akkerbouw op zand als op klei de wettelijke ruimte voor dierlijke mest volledig wordt opgevuld. Vanwege het gebruik van dierlijke mest als P-bron wordt er vrijwel geen P-kunstmest meer gebruikt. Om aan de agronomische behoefte van stikstof te voldoen is nog wel N-kunstmest nodig omdat de hoeveelheid werkzame stikstof in dierlijke mest beduidend lager is dan de gewenste hoeveelheid. De aanvoer van alle andere nutriënten is voldoende om de agronomische behoefte te vullen. Opvallend is dat op zand veel bouwlandpercelen ook derogatie hebben; hierdoor mag er netto meer stikstof uit dierlijke mest worden toegediend. De fractie bedrijven die derogatie hebben, is over heel het beheergebied van Wetterskip Fryslân gemiddeld 78% (Ros et al., 2018). Vooral in het noorden van de provincie is dit lager, aangezien hier weinig melkveebedrijven zitten. Over het hele beheergebied zijn 88% van de graslandpercelen onderdeel van een bedrijf met derogatie. Voor bouwland is dat voor 46% van de percelen het geval. De melkveebedrijven op zware klei en op veen hebben vrijwel allemaal derogatie (> 85%). Op de zandgronden zijn ook andere bedrijfstypen actief, waardoor het aandeel bedrijven dat derogatie heeft daar lager ligt.



Figuur 4.17. Agronomische behoefte (grijs) en aanvoer van OS, kalk en nutriënten (in kg ha⁻¹) via dierlijke mest (groen), kunstmest (blauw) en compost/ gewasresten (oranje) voor twee akkerbouw bedrijfssystemen. Voor N totaal is de grijze balk de wettelijke ruimte. De aanvoer van kalk is onbekend. De aanvoer van OS is om visuele redenen uitgedrukt in eenheden van 10 kg ha⁻¹, waarbij de lichtgrijze balk gelijk is aan de OS-afbraak uit veen. Bron: de Vries et al. (2018).

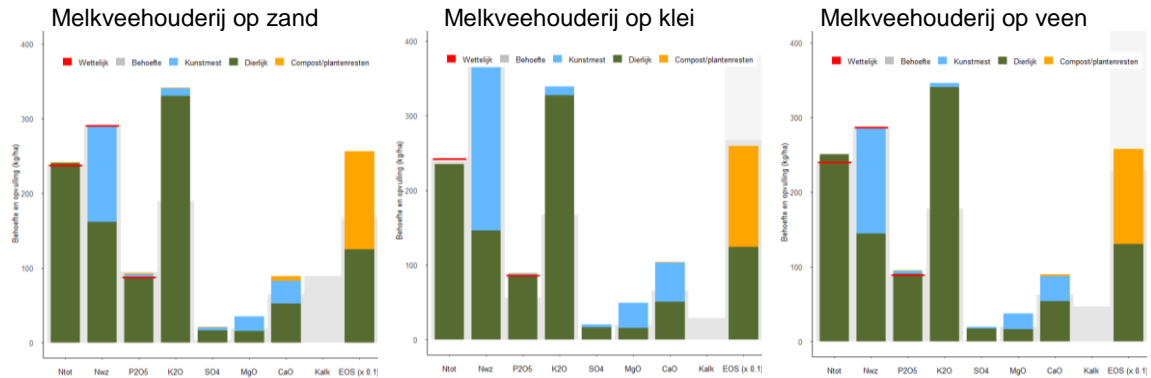
Opvallend is hierbij de hoge aanvoer van drijfmest op het gemiddelde akkerbouwbedrijf op zand. Of hier de modelberekeningen de daadwerkelijke bemesting overschatten is onduidelijk. De oorzaak van de hoge bemesting is het feit dat een groot deel van de akkerbouwpercelen op zand eigendom zijn (dan wel beheerd worden) door bedrijven die derogatie⁶ hebben. Mogelijk speelt een eventueel aanwezig mestoverschot op gemeenteniveau hier ook een rol: gemeenten waar mest wordt geproduceerd en waar alle gebruiksruimte wordt opgevuld kunnen als gevolg van overbenutting (op papier) extra mest krijgen.

De hoeveelheid fosfaat dat mag worden aangevoerd wordt beperkt door de gebruiksnorm die afhangt van de P-toestand van een perceel. De gemiddelde Pw-waarde wordt geschat op 48 mg P₂O₅ l⁻¹ voor het akkerbouwbedrijf op klei en op 43 mg P₂O₅ l⁻¹ voor het bedrijf op zandgrond. Wanneer de PAL- of Pw-waarde groter is dan 45, dan is de bodem fosfaatrijk en hoeft alleen de gewasopname te worden gecompenseerd (Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 2013). Van alle akkerbouwpercelen op klei heeft bijna de helft een PAL-waarde groter dan 45. Op zandgrond komt dat op 25% van het areaal voor. De bemesting voor deze beide akkerbouwbedrijfssystemen is sterk vergelijkbaar. Herverdeling van dierlijke mest binnen Friesland zorgt blijkbaar voor een homogenisering van de bemestingspraktijk. De aanvoer van zwavel via dierlijke mest ligt op veel akkerbouwbedrijven rond dan wel onder de gewenste agronomische behoefte; voor kalium is dat slechts beperkt het geval. In overeenstemming met langjarige bodemanalyses van agrarische percelen is er in alle situaties sprake van een positieve organische stofbalans. Dit betekent dat er meer organische stof wordt aangevoerd dan dat er via afbraak verdwijnt. Het grootste deel van de aangevoerde EOS is daarbij afkomstig vanuit gewasresten. De aanvoer van EOS via dierlijke mest compenseert slechts 30% van de afbraak van bodem organische stof.

Voor de drie melkveehouderijbedrijfssystemen wordt de volledige gebruiksruimte voor dierlijke mest opgevuld, voor zowel fosfaat als stikstof (Figuur 4.18). Omdat de meeste bedrijven derogatie hebben, betekent dit ook dat er geen P-kunstmest meer gebruikt kan worden. Ook de P-ruimte voor bodemverbeteraars is daardoor heel beperkt. De aanvoer van kalium overstijgt in alle situaties de gewenste agronomische behoefte. Dit komt

⁶ De resultaten van deze bedrijfsstudie zijn gebaseerd op modelberekeningen met INITATOR versie 4 op basis van de STONE-systematiek (de Vries et al., 2018). Omdat deze bedrijven maar op ene klein areaal voorkomen (3.000 ha) is het effect hiervan op de in deze studie uitgevoerde gebiedsanalyse naar alle waarschijnlijkheid beperkt. Bovendien compenseert het model de overschatting van dierlijke mest met een verlaging van de kunstmestgift.

grotendeels door de frequente aanvoer van kalium via drijfmest waardoor de bodem jaarlijks veel kalium krijgt. Bodems met een lage K-toestand komen dan ook vrijwel niet voor.



Figuur 4.18. Agronomische behoefte (grijs) en aanvoer van organische stof, kalk en nutriënten (in kg ha⁻¹) via dierlijke mest (groen), kunstmest (blauw) en compost/ gewasresten (oranje) voor drie melkveehouderij bedrijfssystemen in Friesland. Voor N totaal, Nwz en P₂O₅ is de grijze balk de gebruiksnorm (de wettelijke ruimte). De aanvoer van kalk is onbekend. De aanvoer van EOS is om visuele redenen uitgedrukt in eenheden van 10 kg ha⁻¹, waarbij de donkergrijze balk de vereiste aanvoer geeft om de bodemorganische stof op peil te houden en de lichtgrijze balk de vereiste aanvoer om de C-afbraak uit veen(lagen) te compenseren.

Door de inzet van rundveedrijfmest wordt ruim voorzien in de aanwezige behoefte aan fosfaat, kalium, zwavel, magnesium, en calcium. De aangevoerde zwavel vanuit dierlijke mest is echter weinig beschikbaar wat betekent dat extra kunstmest-zwavel positief kan bijdragen aan de gewasontwikkeling. De hoge aanvoer van kalium met 125-175 kg K₂O ha⁻¹ is vanuit de duurzaamheids-gedachte (en kringlooplandbouw) ongewenst, maar niet schadelijk voor de ontwikkeling van vegetatie in het watersysteem (zover bekend). Tekorten treden op voor organische stof in die gronden met afbraak van veen. Als de veenafbraak ook gecompenseerd moet worden, moet rekening worden gehouden met een jaarlijkse extra EOS-aanvoer van ca 1.500 (op klei) tot 6.700 (op veen) kg ha⁻¹. Een dergelijk hoge afbraak is niet te compenseren door extra aanvoer van compost, een hogere aanvoer van lokale biomassa of meer granen of grasland binnen de rotatie.

Concluderend blijkt dat met de inzet van rundveedrijfmest voor alle drie bedrijfssystemen de gebruiksnormen voor fosfaat en dierlijke stikstof zijn bereikt. De agronomische behoefte aan werkzame stikstof kan daarmee op de melkveehouderijbedrijven echter niet behaald worden. De N in dierlijke mest is te weinig werkzaam en er moet dus kunstmest bij. Vanuit milieukundig oogpunt is een goede afstemming van kunstmest en organische bemesting essentieel. Volledige bemesting met organische mest verhoogt het risico op mineralisatie buiten het groeiseizoen, met bijbehorende verliezen.

5. Intermezzo : maatregelen

5.1 Inleiding

Tot halverwege de jaren '80 is de landbouwbodem intensiever gebruikt om te voldoen aan de groeiende vraag naar voedsel. Hiervoor wordt ingezet op nauwkeurige teelt- en bewerkingstechnieken (precisie-landbouw), maar ook op een optimaal waterbeheer. Deze intensivering heeft de afgelopen jaren echter ook geleid tot een gelijkblijvende (dan wel te hoge) belasting van het oppervlaktewater. De afgelopen jaren zijn de waterschappen en de landbouwsector nader tot elkaar gekomen omdat de realisatie van de waterkwaliteitsdoelen alleen bereikt kan worden als beiden samenwerken. Steeds vaker verzamelen agrariërs zich in gebiedscollectieven die natuur- en waterbeheer integreren in hun bedrijfsvoering (de zogenoemde groenblauwe diensten). Daarnaast levert de landbouw een belangrijke bijdrage via het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer. In 2027 moeten deze problemen verholpen zijn. Gezien de huidige ecologische (en chemische) toestand van het oppervlaktewater zijn aanvullende maatregelen nodig om deze doelen te realiseren.

In het rapport '*Nutriënten op hun plek. Arrangementen van waarde voor voedselproductie, bodem en water*' gaan de auteurs in op de institutionele randvoorwaarden waarmee rekening moet worden gehouden bij het stimuleren van agrarische maatregelen voor waterkwaliteit (Westerhof et al., 2016). Zij onderscheiden **vier strategieën** om de N- en P-belasting *vanuit de landbouw* naar het oppervlaktewater te verlagen:

1. inzet van maatregelen die onderdeel zijn van de Goede Landbouw Praktijk (GLP);
2. inzet van een verbeterde GLP;
3. inzet van maatregelen die de huidige praktijk verder extensiveren ofwel de impact verkleinen; dan wel
4. het verlaten van de hoofdfunctie landbouw (a) of de versoepeling van milieudoelen (b).

Let wel, hierbij ligt de focus op maatregelen in de landbouwsector. Naast deze maatregelen zijn er ook maatregelen nodig in de inrichting van het watersysteem om de ecologische randvoorwaarden te optimaliseren (voldoende licht, voldoende zuurstof, voldoende diepte, etc.) en de vermindering van stikstof- en fosfaatbelasting van puntbronnen zoals rioolwaterzuiveringsinstallaties en overstorten. De noodzakelijke Ecologische Sleutelfactoren voor de ontwikkeling van een gewenste ecologische toestand varieert per waterlichaam, waardoor de opgave per waterlichaam ook anders kan zijn (STOWA, 2015). Dit vraagt maatwerk, waarbij de vermindering van de diffuse belasting vanuit bodems één van de grootste uitdagingen is omdat er deels sprake is van een historische erfenis die niet op korte termijn met het huidig agrarisch management op te lossen is.

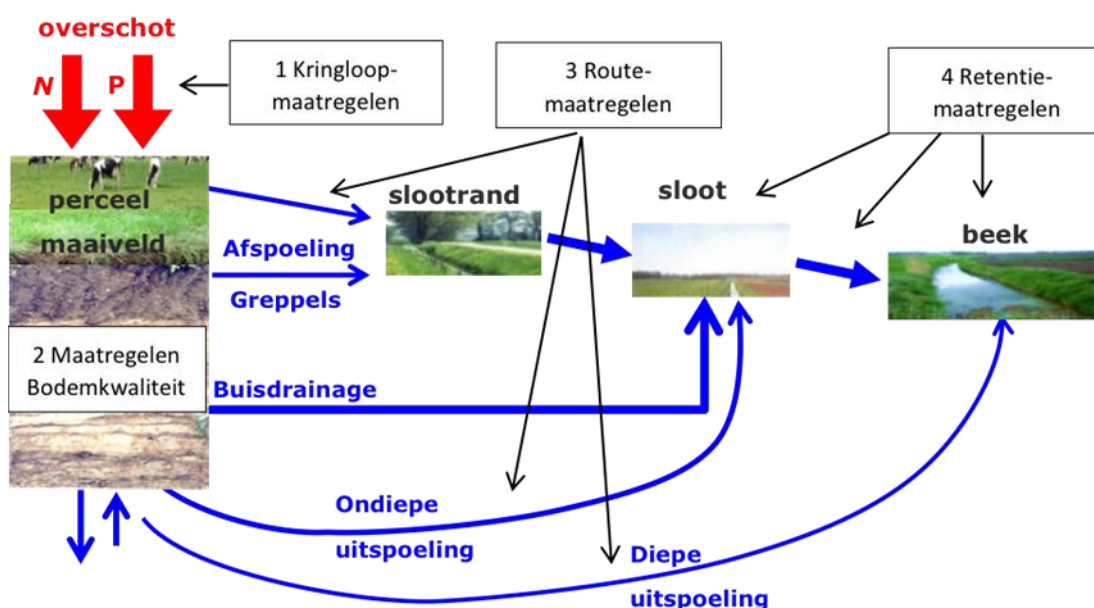
Voor de hierboven genoemde vier strategieën is regionaal maatwerk essentieel, waarbij de KRW-doelen voor stikstof binnen de gewenste periode gerealiseerd kunnen worden. De opgave voor fosfor is met de bestaande maatregelen echter niet te realiseren in alle gebieden (Grinsven & Bleeker, 2017; Groenendijk et al., 2016) en vraagt inzet van extra maatregelen die ingrijpen op de transportroute naar, dan wel de retentie in het waterlichaam (strategie 3). Van de honderd maatregelen op de BOOT-lijst valt het merendeel onder de GLP. Ook veel initiatieven binnen het huidige Deltaplan Agrarisch Waterbeheer zijn gefocust op verdere implementatie van GLP. Dit betekent ook dat de belasting van het oppervlaktewater met fosfaat daardoor weinig tot niet vermindert. In gebieden met een grote N- en P-opgave zullen daarom maatregelen nodig zijn vanuit de derde of mogelijk zelfs de vierde strategie. Op basis van beschikbare kennis en inzichten is het aan te bevelen om de GLP (strategie 1) breed uit te rollen omdat dit bijdraagt aan het sluiten van kringlopen, meerwaarde biedt voor de agrariër en positief bijdraagt aan lagere emissies naar het oppervlaktewater. Voor gebieden met een grotere opgave voor N en P is het aan te bevelen om aan de slag te gaan met

maatregelpakketten die naar verwachting het meest effectief zijn voor vermindering van de nutriëntenverliezen (strategie 2-3) en hierop te monitoren. Focus hier niet alleen op het agrarisch landgebruik, maar bekijk het bodem- en watersysteem als geheel. Op basis van de monitoringsresultaten kan dan periodiek worden bijgestuurd.

De keuze voor de juiste maatregelen op de juiste plek vereist inzicht in de belangrijkste bronnen en routes van stikstof en fosfaat naar het oppervlaktewater én de stuurbaarheid ervan. Dit is relevant voor zowel de technische implementatie (waar zijn welke maatregelen zinvol) als de sociale motivatie (maatregelen moeten ook uitgevoerd worden) en het noodzakelijke instrumentarium om veranderingen in beweging te brengen. De belasting vanuit rwzi's is relatief eenvoudig stuurbaar, al vereist het wel interne afstemming binnen waterschappen om bestaande uitgangspunten van waterzuivering (die stuurt op concentraties) te combineren met ecologische doelen (die geformuleerd zijn op basis van belastingen). Vermindering van de diffuse belasting vanuit de bodem is veel lastiger te realiseren, in het bijzonder voor fosfaat.

5.2 Maatregelen

Er zijn honderden maatregelen bekend die de belasting vanuit landbouwbodems kunnen verlagen, zowel vanuit de BOOT-lijst, de DAW-factsheets als vanuit het landbouwportaal Noord-Holland. Deze maatregelen kunnen gegroepeerd worden in vier type maatregelen die achtereenvolgens ingrijpen op het nutriëntenoverschot (bron), de efficiëntie van bemesting⁷ (maatregelen bodemkwaliteit), de verliesroutes dan wel de retentie in het ontvangende waterlichaam (Figuur 5.1.).



Figuur 5.1. Indeling van maatregelen voor het verlagen van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater naar aangrijpingspunt: kringloop, bodem, route en retentie (Rozemeijer et al., 2016).

Het mestbeleid in Nederland was tot 2016 vooral op gericht om de aanvoer van mest naar de bodem te verlagen (reductie overschot). Dit gebeurde via gewasspecifieke gebruiksnormen voor werkzame N, P-

⁷ Het onderscheid tussen historische en actuele bemesting heeft als zodanig geen relatie met te nemen maatregelen om de P-belasting te verlagen. Maatregelen die ingrijpen op het bodemoverschot zijn veelal brongericht, terwijl maatregelen die de efficiëntie verhogen de agrariër in staat stelt om beter gebruik te maken van aanwezige nutriënten in de bodem (natuurlijk dan wel opgebouwd in het verleden).

normen afhankelijk van de bodemtoestand, en gebruiksvoorschriften wanneer mest wel of niet toegediend mag worden. In het laatste (zesde) Nitraatactieprogramma wordt meer dan voorheen aandacht besteedt aan maatregelen die ingrijpen op de transportroutes richting het oppervlaktewater (routemaatregelen). Uit eerdere studies blijkt dat deze aanvullende acties essentieel zijn om de doelen van de KRW te bereiken (Grinsven & Bleeker, 2017). Anno 2018 krijgt dat vooral vorm via het bovenwettelijke spoor binnen het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer (DAW). In het kader van het DAW is in 2017 de zogenoemde BOOT-lijst⁸ uitgebreid met allerlei maatregelen die de diffuse belasting naar het oppervlaktewater verlagen. De nieuwe BOOT-lijst is 7 juni 2017 in het Bestuurlijk Overleg Open Teelt (BOOT) vastgesteld. Het grootste deel van de hierin voorgestelde maatregelen focust op kringloopmaatregelen en bodemkwaliteit.

De BOOT-lijst vermeldt groene en rijpe maatregelen zonder onderscheid te maken. Voor de maatregelen op deze lijst geldt overwegend dat een positief effect op de waterkwaliteit wordt verwacht op basis van logisch redeneren, soms ondersteund met modelberekeningen. Slechts van een klein aantal maatregelen zijn de effecten werkelijk onderzocht in veldonderzoek. Daarbij komt dat veel maatregelen op deze lijst in algemene termen gedefinieerd zijn waardoor de daadwerkelijke effectiviteit afhangt van de manier waarop de maatregelen worden ingezet⁹. De meeste maatregelen zijn namelijk alleen effectief in specifieke bodems of bouwplannen of gelden alleen voor stikstof, fosfor of gewasbeschermingsmiddelen. Of bij het combineren van maatregelen versterking of uitdoving van effecten verwacht mag worden, is niet bekend. De link tussen maatregelen en effecten op de ecologische waterkwaliteit zijn daarbij vaak indirect, en vaak alleen op langere termijn zichtbaar. Op basis van expertkennis is geconcludeerd dat met combinaties van de geselecteerde maatregelen, bovenop de maatregelen van bestaand beleid, een substantiële daling van de stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater kan worden gerealiseerd (Groenendijk et al., 2016; Rozemeijer et al., 2016). De toepassing, effectiviteit, de kosteneffectiviteit en termijn waarop effecten op de waterkwaliteit zichtbaar zijn, is echter sterk afhankelijk van regionale omstandigheden.

De *Commissie Deskundigen Meststoffenwet* (Velthof et al., 2018) heeft recent een eerste selectie gemaakt van effectieve maatregelen van de BOOT-lijst en deze geclusterd op basis van het type maatregel:

- gewasbeheer: rijenbemesting bij maïs en groentegewassen, 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: uitmijnen van bodemfosfaat in landbouwgronden, de teelt van maïs in stroken uitgefreesd in grasland en minimale grondbewerking.
- hydrologische maatregelen: beperken van oppervlakkige afspoeling en verbeterde drainage.
- technische 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.

⁸ In het Bestuurlijk Overleg Open Teelt en Veehouderij (BOOT) is in 2015 een eerste lijst opgesteld met maatregelen die – beoordeeld op basis van expert-judgement – bijdragen aan een betere waterkwaliteit. De nieuwe BOOT-lijst is 7 juni 2017 in het Bestuurlijk Overleg Open Teelt (BOOT) vastgesteld, en gepubliceerd op agrarischwaterbeheer.nl

⁹ Een aantal voorbeelden:

- Maatregelen die zorgen voor betere bemesting werken alleen als ook daadwerkelijk de hoogte van de gift wordt aangepast aan de hogere werking;
- Maatregelen voor een goed slootkantbeheer / bufferstroken zijn alleen effectief bij een goede uitvoering.
- Maatregelen die pleiten voor meer organische stof werken alleen als er minder dan 2% in de bodem aanwezig is, en ingepast zijn binnen een goed doordacht bouwplan (met bodembeheer). Zonder deze inbedding kan een verhoging van organische stof via aanvoer van reststromen (die deels buiten de mestboekhouding vallen) zelfs zorgen voor negatieve effecten op waterkwaliteit.
- Voor maatregelen zoals het toevoegen van bacteriemengsels, bovenwettelijke waterberging, de juiste keuze van organische mest, mestbewerking, ca-mg-ratios, en het telen van maïs in ruitverband is de meerwaarde voor schoon water onduidelijk.

De mogelijke reductie in N- en P-belasting die te realiseren is via bodemverbeterende maatregelen of maatregelen die ingrijpen op de efficiëntie van bemesting varieert tussen klei en zandgronden waarbij de effecten voor stikstof groter zijn dan die voor fosfaat (Tabel 5.1.). Of deze reductie ook daadwerkelijk gerealiseerd kan worden, hangt in een sterke mate samen met de implementatiegraad van de maatregelen. Daarnaast laat de trendanalyse in dit rapport (hoofdstuk 3) zien dat het effect van veranderingen in landgebruik en bemesting maar heel langzaam zichtbaar worden in de N- en P-concentraties in het oppervlaktewater. Een effectieve aanpak stuurt daarom via goed afgestemd bodem- én waterbeheer op een hoge benutting en retentie waarbij rekening wordt gehouden met de lokale geohydrologie. 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.

Tabel 5.1. Mogelijke reductie in N- en P- belasting (%) op zand en kleibodems via sturing op bodemoverschot, bodemverbetering en drainage (Groenendijk et al., 2016).

Maatregelen	N-zand	N-klei	P-zand	P-klei
bodemverbetering	7-25	11-18	0-8	onduidelijk
bodemoverschot	12-23	0-6	gering	gering
nieuwe regelbare drains in natte grond	negatief	negatief	25	25
vernieuwing conventionele drains	30	27-35	negatief	negatief

* voor de exacte definitie en toepassing van deze maatregelen, zie de studie van Groenendijk et al. (2016)

5.3 *Knelpunten*

Veel kennis om te komen tot een betere nutriëntenefficiëntie en minder verliezen naar het oppervlaktewater (de kern van kringlooplandbouw) is in Nederland aanwezig bij kennisinstellingen en adviesbureaus en er zijn inmiddels ook de nodige ondersteunende instrumenten ontwikkeld om die kennis toe te passen. Toch komt de implementatie ervan maar heel beperkt van de grond. Diverse ervaringsdeskundigen geven aan dat er belemmeringen liggen rond (Westerhof et al., 2016):

- Ondernemers die weinig gevoel en betrokkenheid hebben met waterkwaliteit;
- Er onvoldoende aandacht is voor en kennis van de bodem en bodembeheer bij de boeren zelf;
- Risicomanagement: hogere mestgiften in risicovolle teelten compenseren de eventuele fouten in bodembeheer en effecten van onvoorspelbare weersomstandigheden;
- Gebrek aan kennis over de financiële aspecten van de nutriëntenkringloop, waardoor goed renderende maatregelen blijven liggen;
- Peer pressure: de invloed van andere boeren in de omgeving is groot¹⁰ en afwijken van de standaard is moeilijk;
- Weinig samenhang en samenwerking in de sector en veel wantrouwen.

Naast deze feedback vanuit het agrarische werkveld zelf noemt Westerhof et al. (2016) ook de complexiteit van adviesdiensten rondom de agrariër én de geringe impact van waterkwaliteit op de agrarische bedrijfsvoering. Agrariërs krijgen namelijk adviezen van allerlei erfbetreders die daarmee grote invloed hebben op het handelen van de boer. Het gaat hierbij om adviseurs, de loonwerker en collega-boeren. Daarnaast zien boeren de LTO, de agrarische collectieven, het waterschap en de zuivelfabriek als belangrijke partijen die

¹⁰ Dit kan overigens ook de andere (positieve) kant opwerken. Binnen Friesland is het project 'Schoon erf, Schoon Water' daar een goed voorbeeld van. Ook de implementatie van het ANLB is een voorbeeld van stimulerende peer pressure.

dicht bij hun bedrijfsvoering staan (Westerhof et al., 2016). In de praktijk zijn de adviezen van deze partijen echter niet altijd eenduidig, wat de implementatie van effectieve maatregelen voor schoon grond- en oppervlaktewater belemmert. Daarnaast ziet een groot deel van de agrariërs momenteel nog weinig bedrijfsbelang bij het veranderen van de bedrijfsvoering ten behoeve van een betere waterkwaliteit (Westerhof et al., 2016). Dit wordt versterkt door recente studies die de bijdrage van de landbouw aan de waterkwaliteit in twijfel trekken als ook bijdragen van kennisinstellingen die aangeven dat met aanscherping van generieke mestwetgeving het niet mogelijk is om de KRW-opgave voor het oppervlaktewater te realiseren voor 2027 (Groenendijk et al., 2016; Grinsven & Bleeker, 2017). De oorzaak ligt voor een groot deel in de hoge P-toestand die nog jaren invloed zal hebben op de P-belasting. Omdat de huidige mestwetgeving voor fosfaat een brongerichte en geen effectgerichte aanpak is, betekent dit ook dat de gebruiksnormen voor fosfaat op de korte termijn losstaan¹¹ van de gewenste P-vracht om waterkwaliteitsdoelen te realiseren¹².

De studie van Westerhof et al. (2016) benoemt daarnaast de kennisleemte over effecten van maatregelen in relatie tot de KRW-opgave als groot knelpunt. De toepassing, effectiviteit, de kosteneffectiviteit en termijn waarop effecten van maatregelen op de waterkwaliteit zichtbaar zijn, zullen namelijk sterk variëren. Om gericht te sturen op de inzet van effectieve (agrarische) maatregelen, is het nodig inzicht te krijgen in effectiviteit, inpasbaarheid en betaalbaarheid.

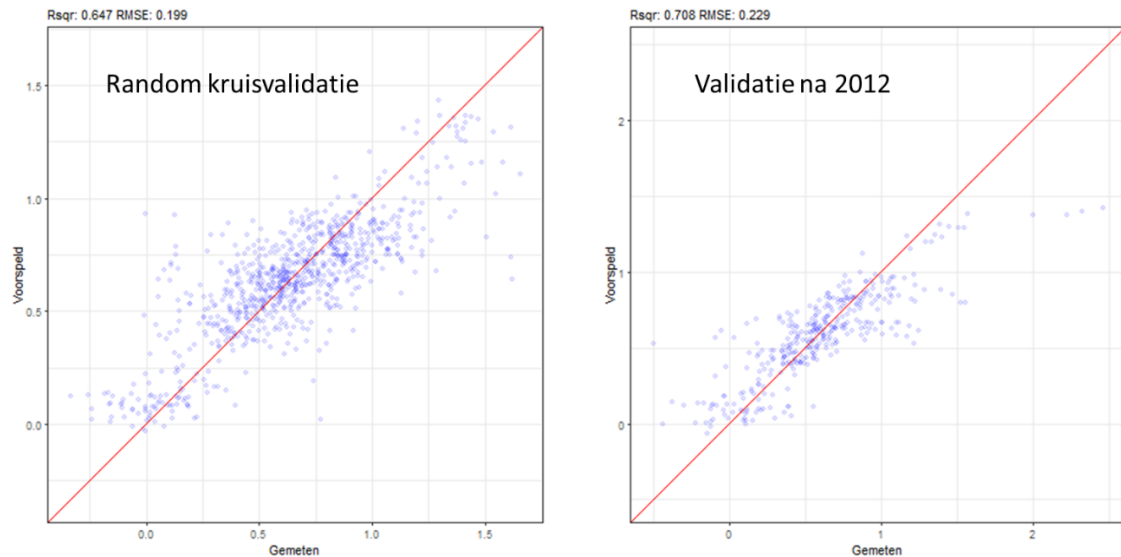
¹¹ Dit betekent overigens niet dat agrarische ondernemers geen mogelijkheden hebben om via goed vakmanschap te sturen op vermindering van de belasting naar het oppervlaktewater.

¹² Wel wordt in 2021 de meetmethodiek voor P-beschikbaarheid in de bodem gewijzigd in een systematiek (conform het onderzoek van D. Los – van Rotterdam) die beter aansluit bij de daadwerkelijke P-beschikbaarheid voor gewasopname, waardoor het niet alleen mogelijk is om gericht te sturen op gewasopname maar ook op uitspoelingsrisico's.

6. Sturende factoren waterkwaliteit

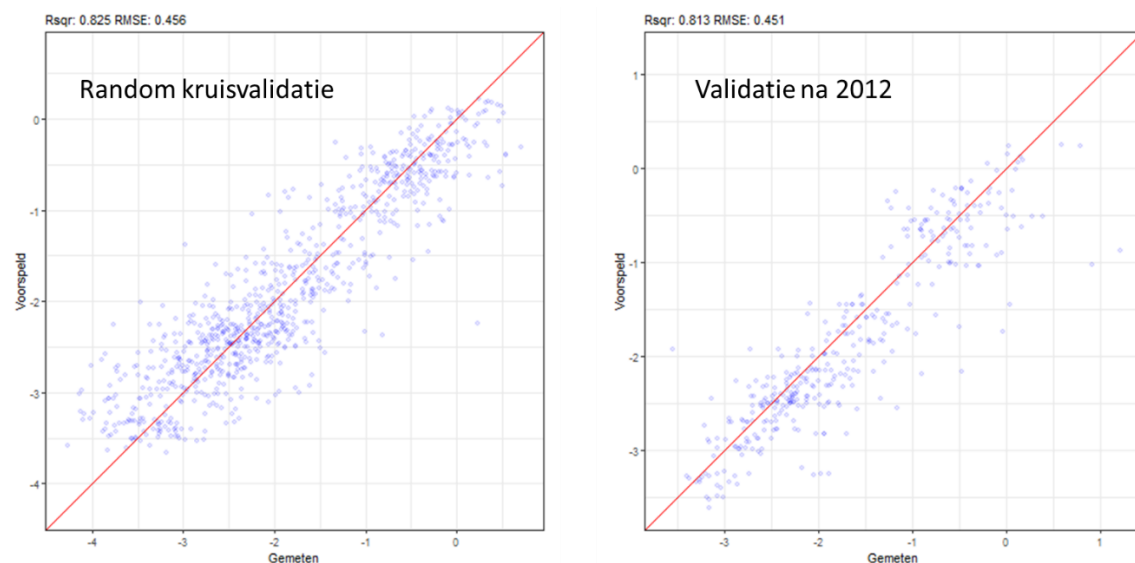
6.1 Koppeling met gebiedskenmerken

Om inzicht te geven in de ruimtelijke gebiedskenmerken die van invloed zijn op de gemeten stikstof- en fosforconcentraties zijn statische modellen ontwikkeld en getoetst. Uit deze toetsing blijkt dat het mogelijk is om 65% van de variatie in de zomergemiddelde concentratie van N te verklaren (Figuur 6.1, links). Toetsing op een onafhankelijke set (zie bijlage A voor de statistische relevantie hiervan) geeft een vergelijkbaar resultaat (Figuur 6.1, rechts). De gemiddelde fout ligt tussen 0,20 en 0,23 mg N l⁻¹.



Figuur 6.1. Modelnauwkeurigheid (met R^2 voor verklaarde variantie en RMSE voor de gemiddelde afwijking) voor het voorspellen van het N-totaalgehalte in het oppervlaktewater gedurende de zomer, gevalideerd via random kruisvalidatie (links) dan wel via een onafhankelijk test op metingen na 2012 (rechts).

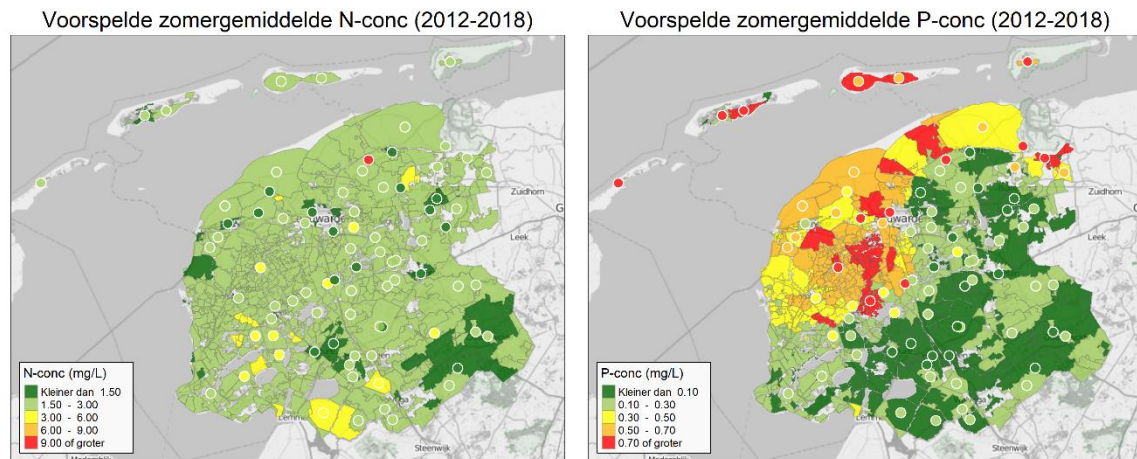
Voor fosfor is er veel minder spreiding waarneembaar, en deze variatie is goed te beschrijven: 80 tot 83% van de variatie die optreedt in het waterlichaam kan worden verklaard op basis van gebiedskenmerken.



Figuur 6.2. Modelnauwkeurigheid voor het voorspellen van het P-totaalgehalte in het oppervlaktewater gedurende de zomer, gevalideerd via random kruisvalidatie (links) en een onafhankelijk test (rechts).

Het gebruikte statistische model maakt gebruik van gebiedskenmerken als bodem, landgebruik, bemesting, weer, de emissies vanuit rwzi's, de locaties van overstorten en geohydrologie. Gegevens rond weide- en watervogels waren maar beperkt ruimtelijk beschikbaar en hebben daardoor geen hele grote invloed op het statistisch model dat verbanden zoekt tussen gebiedskenmerken en de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater. Water- en stofstromen vanuit modellen geven nuttige informatie en zijn als zodanig wel als covariabele meegenomen ook al overlappen deze qua relevantie met de hierboven genoemde meetgegevens. Omdat we in deze studie focussen op het gebruik van *meetbare* gebiedskenmerken om inzicht te krijgen in de ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties in het oppervlaktewater, ligt de focus op meetbare gebiedskenmerken.

Gebruik makend van de verbanden tussen gebiedskenmerken en de gemeten stikstof en fosforconcentraties in het oppervlaktewater is een gebiedsdekkende kaart gemaakt die ruimtelijk inzicht geeft in de optredende verliezen van nutriënten naar het watersysteem (Figuur 6.3). De overliggende meetpunten laten zien dat het ontwikkelde statistische gebiedsmodel goed in staat is om op basis van gebiedskenmerken een schatting te geven van de zomergemiddelde stikstof- en fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater.

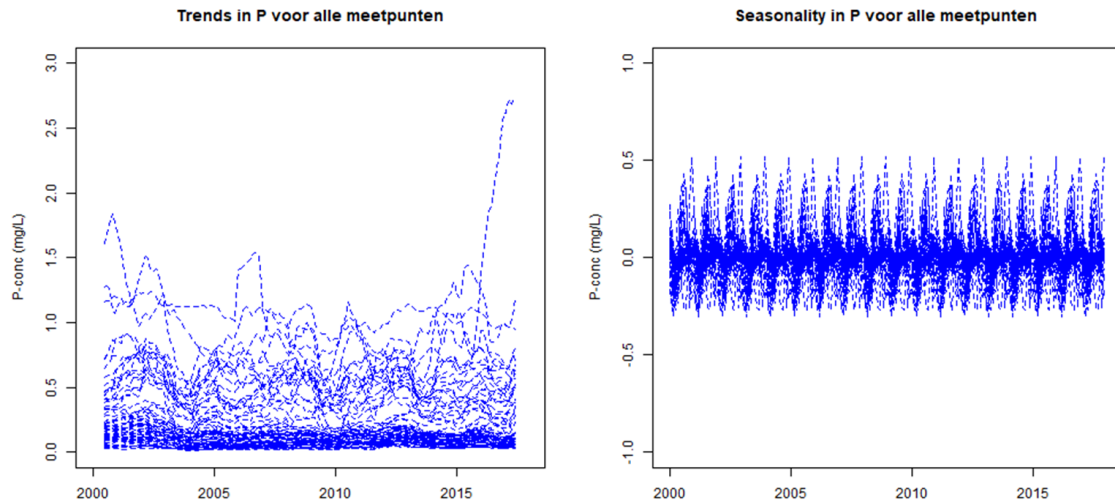


Figuur 6.3. Voorspelde en gemeten N-totaal en P-totaalconcentraties in het oppervlaktewater gedurende de zomermaanden in het beheergebied van Wetterskip Fryslân. De meetpunten zijn als cirkels weergegeven bovenop de voorspelde concentraties per peilgebied.

Uit deze analyse blijkt dat de grootste fosforverliezen optreden in de kleirijke bodems in het noorden van het beheergebied. Het is een regio die van nature hoge achtergrondconcentraties heeft vanuit mariene afzettingen. De bodem is daarbij sterk verzadigd met fosfaat, er is een groot risico op bodemverdichting, en er zijn veel peilgebieden waar er in de bodem weinig regenwormen aanwezig zijn. Ook is er op deze bodems vaak sprake van een intensief bouwplan met veel rooivruchten waardoor de zorg voor de bodemkwaliteit onder druk staat. Gecombineerd zijn dit factoren die bijdragen aan een groter risico op P-verliezen naar het oppervlaktewater.

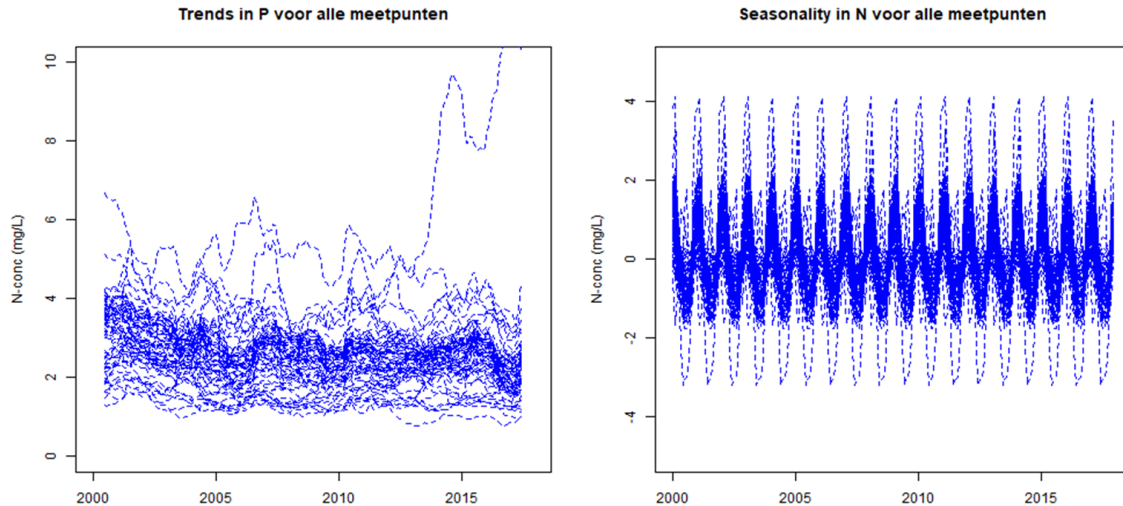
Over de tijd varieert de concentratie van P-totaal in het oppervlaktewater relatief weinig. In figuur 6.4. worden de langjarige trends weergegeven van alle meetpunten waarvoor minimaal 180 metingen aanwezig waren over de periode 2000 tot 2018. Er is een duidelijke seizoensvariatie aanwezig met hogere concentraties in de zomer dan in de winter. Dit seizoeneffect varieert met een bandbreedte van $1,0 \text{ mg P l}^{-1}$. De variatie binnen het seizoen is daarmee groter dan de variatie tussen de jaren. Hogere concentraties in de zomermaanden kunnen samenhangen met snellere bodemprocessen, hogere temperaturen in het water met mogelijke

anaerobe omstandigheden op de slootbodern, en mogelijk ook met de groei van algen. Het is minder waarschijnlijk dat dit patroon te maken heeft met bemesting, omdat er gedurende de zomermaanden een neerslagtekort optreedt. Een detail-analyse naar het voorkomen van piekmomenten in P-concentraties gedurende het jaar laat ook geen correlatie zien met gangbare maanden waarin mest wordt uitgereden. Dit betekent overigens niet dat er geen P-verliezen kunnen optreden tijdens piekevents in de zomerperiode, maar dat deze met de huidige meetmethodiek niet wordt waargenomen. En als deze piekmomenten in een periode van minimaal 15 jaar vrijwel niet detecteerbaar zijn in de waterkwaliteitsmeetpunten suggereert dat op zijn minst dat een eventuele piekflux dermate gebufferd wordt dat het niet zichtbaar is in de concentratie.



Figuur 6.4. Spreiding in de jaarlijkse trends (links) en seizoenvariatie (rechts) in P-totaalconcentraties in het oppervlaktewater voor alle meetpunten met minimaal 180 metingen over de periode 2000-2018.

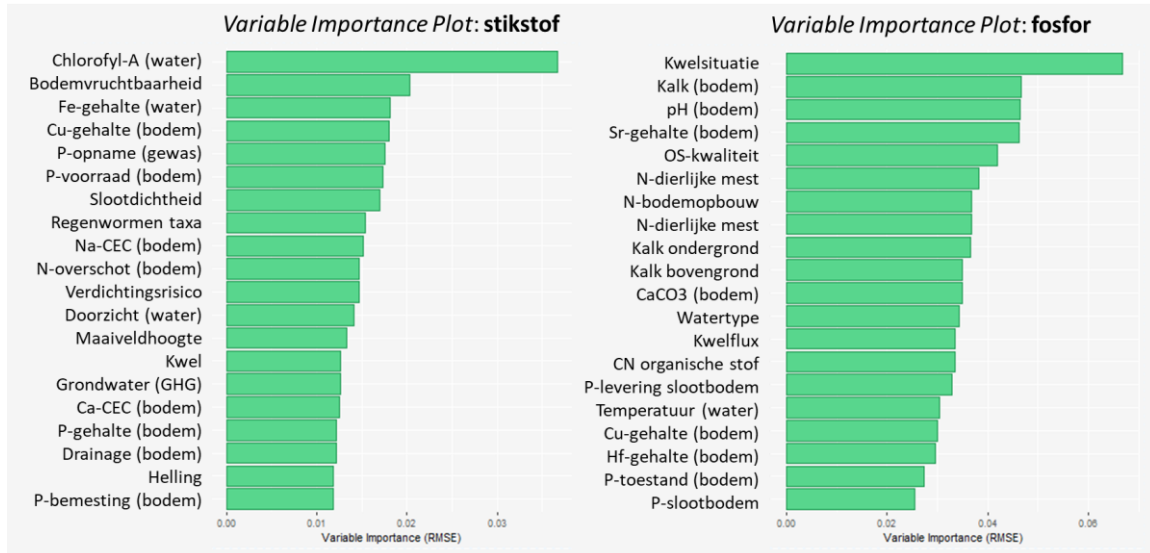
Voor stikstof is het beeld heterogener en er is een duidelijke trend tot lagere concentraties over de afgelopen 17 jaar (Figuur 6.5). In tegenstelling tot fosfaat worden de hoogste concentraties gemeten in de winter. Er is een duidelijk seizoenspatroon aanwezig in de stikstofmetingen en deze varieert met gemiddeld 4 mg N l^{-1} over het jaar. Dit effect binnen het jaar is groter dan de veranderingen over de jaren heen. Dit patroon hangt samen met de flux van water vanuit de bodem naar het oppervlaktewater en hogere denitrificatieverliezen in de zomerperiode (vanuit de watergang): in de winter is er een netto neerslagoverschot waardoor de niet opgenomen stikstof vanuit het bodemprofiel alsnog kan uitspoelen naar het watersysteem.



Figuur 6.5. Spreiding in de jaarlijkse trends (links) en seizoensvariatie (rechts) in N-totaalconcentraties in het oppervlaktewater voor alle meetpunten met minimaal 180 metingen over de periode 2000-2018.

De belangrijkste sturende variabelen die samenhangen met de ruimtelijke variatie in fosfor en stikstofconcentraties *over het hele beheergebied* van Wetterskip Fryslân worden weergegeven in Figuur 6.6. Hierbij is een selectie gemaakt van de top-20 variabelen (geselecteerd van de 404 gebiedskenmerken die zijn onderzocht). De ruimtelijke variatie in de zomergemiddelde P-concentraties blijkt sterk samen te hangen met het bodemtype en moedermateriaal: variabelen die gerelateerd zijn aan de gehalten van metalen en nutriënten in de ondergrond (bron: geochemische atlas), de fosfaattoestand van de bovengrond, de zuurtegraad (gekoppeld aan kalkrijke afzettingen), de geschatte wegzijgingsflux en de afbreekbaarheid van de aanwezige organische stof zijn de belangrijkste sturende variabelen. De aanwezigheid van kwel en het watertype (en bijbehorende watertemperatuur, ijzergehalte, en P-levering vanuit de waterbodem) zijn evenzo relevant. De relatieve impact van deze kenmerken wordt weergegeven in Figuur 6.6.

Voor stikstof zijn ook de variatie in watersysteem zelf (ijzergehaltes, chlorofyl), als wel de grondsoort (o.a. de biochemie van de ondergrond, het N-overschot, de Ca-bezetting van de CEC en het risico op verdichting), de bodemvruchtbaarheid (zichtbaar in soortenrijkdom van wormen, de P-voorraad en de indicator bodemvruchtbaarheid), het landgebruik en de gemiddelde ontwatering belangrijke variabelen. De bijdrage vanuit rioolwaterzuiveringsinstallaties en overstorten hebben weinig invloed op de ruimtelijke variatie in stikstof- en fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater. Let wel, dit is overigens ook een consequentie van de huidige studie die focust op de waterkwaliteit *binnen* de polders. De boezem, gekoppelde meren en de Waddenzee is als waterlichaam niet meegenomen in de huidige studie. Omdat vrijwel alle rwzi's lozen op de boezem dan wel de Waddenzee is het niet verwonderlijk dat de impact ervan op de waterkwaliteit relatief klein is. Ook wordt duidelijk dat de aanwezigheid van watervogels weinig bijdraagt aan het verklaren van de ruimtelijke variatie in waterkwaliteit binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân.



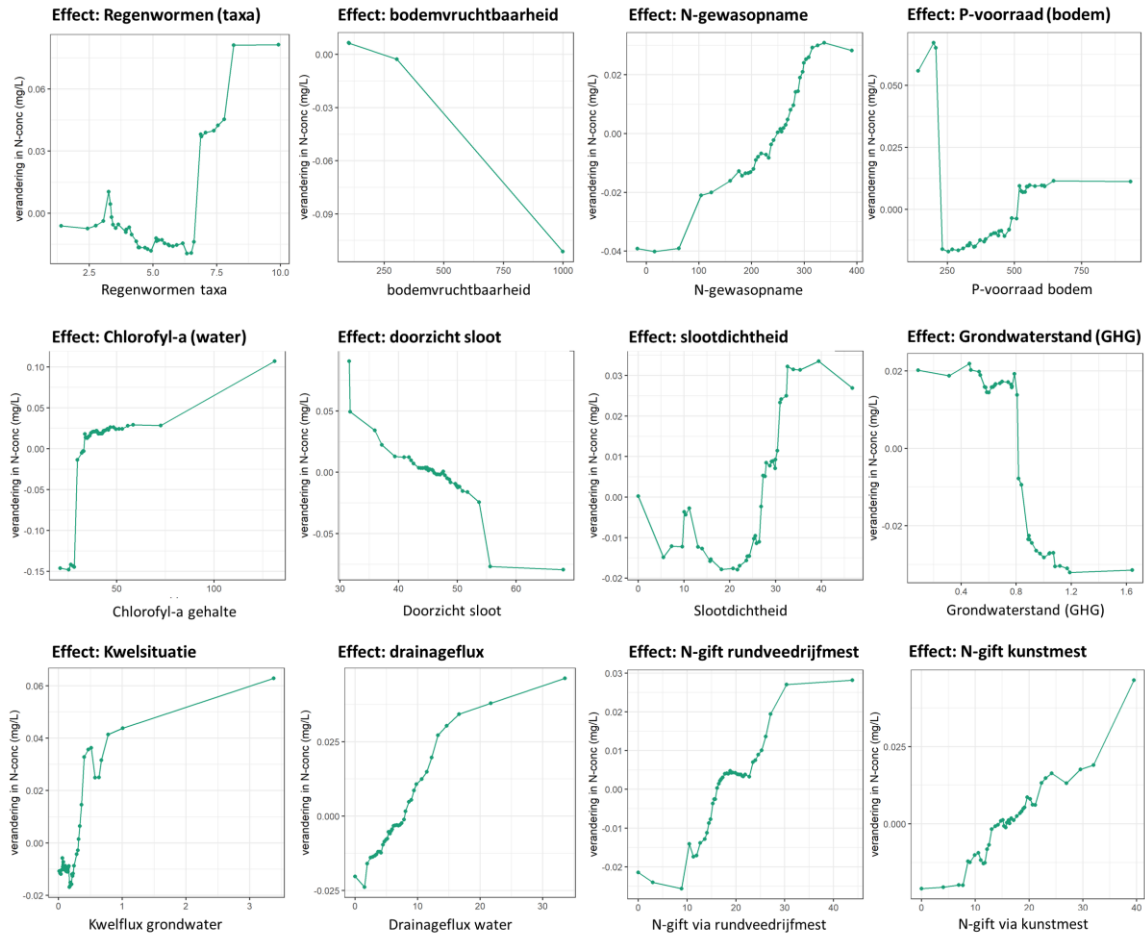
Figuur 6.6. De belangrijkste (top-20) sturende factoren die samenhangen met de ruimtelijke variatie in N-totaal (links) en P-totaal (rechts) binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Variabelen zijn gesorteerd naar mate van de relevantie in het verklaren van de ruimtelijke variatie.

Om meer zicht te krijgen *hoe* deze gebiedskenmerken samenhangen met de variatie in zomergemiddelde stikstof- en fosforconcentraties wordt hieronder voor de belangrijkste gebiedskenmerken inzicht gegeven in de mate waarin de voorspelde concentratie wijzigt als er een verandering optreedt in een gebiedskenmerk (Figuren 6.7 en 6.8). Deze zogenoemde *Accumulated Local Effect plots* (ALE) geven inzicht in zowel de grootte als de richting van de invloed die een gebiedskenmerk heeft op *regionale* verschillen in nutriëntenconcentraties. Voor een theoretische onderbouwing en uitgebreide toelichting op de interpretatie van ALE-plots verwijzen we naar de rapportage van Molnar (2013). Hieronder wordt de relatie tussen N- en P-concentraties en een aantal invloedrijke gebiedskenmerken geïllustreerd (waarbij de invloedrijke parameters zijn geselecteerd op basis van hun impact op de ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties in het oppervlaktewater); de niet besproken figuren zijn opgenomen in bijlage B.

De middelste rij figuren beschrijft het effect van waterkwaliteitskenmerken zoals het gehalte aan chlorofyl en het doorzicht als ook twee geohydrologische kenmerken zoals de slootdichtheid en de gemiddeld hoogste grondwaterstand. De hoeveelheid chlorofyl in de zomer heeft daarbij de sterkste invloed: de N-concentratie varieert sterk in afhankelijkheid van het chlorofylgehalte en kan daardoor met $0,25 \text{ mg l}^{-1}$ afwijken van het gemiddelde. Een hoger chlorofyl-gehalte hangt daarbij positief samen met het gemeten N-gehalte. Dit chlorofyl gehalte kan worden beschouwd als een maat voor de algendichtheid en het is een bekend biologisch fenomeen dat hogere nutriëntenconcentraties het voorkomen van algen bevordert. Een positief verband met algen gaat tegelijkertijd samen met een negatief verband met doorzicht (Figuur 6.7). Waterplanten zijn afhankelijk van voldoende licht op de bodem om de competitie met algen aan te kunnen gaan, en in troebel water zullen waterplanten vrijwel geheel verdwijnen. Gebieden met een hoge slootdichtheid en hoge grondwaterstanden (in de praktijk zijn dat de veenrijke gebieden binnen Friesland) laten een positief verband zien met het N-gehalte. Wel is dit effect klein: de afwijking van het gebiedsgemiddelde N-gehalte is maximaal 0.03 mg N l^{-1} .

Er is een positief verband tussen N-totaalconcentraties in het oppervlaktewater en de soortenrijkdom van regenwormen (een indicator voor een vruchtbare en biologisch actieve bodem) en een negatief verband met de variabele 'bodemvruchtbaarheid' (Figuur 6.7, midden). Hier speelt indirect een relatie met het bodemtype

een rol: kleirijke gebieden worden gekenmerkt door een hogere soortenrijkdom en een hogere bodemvruchtbaarheid (als gevolg van het gehalte aan organische stof, de pH en de beschikbaarheid van kationen). Een hogere bodemvruchtbaarheid hangt samen met een hogere afbraaksnelheid (de biologische bodemkwaliteit) en daarmee ook een hogere achtergrondbelasting. Dit effect kan oplopen tot $0,06 \text{ mg N l}^{-1}$.

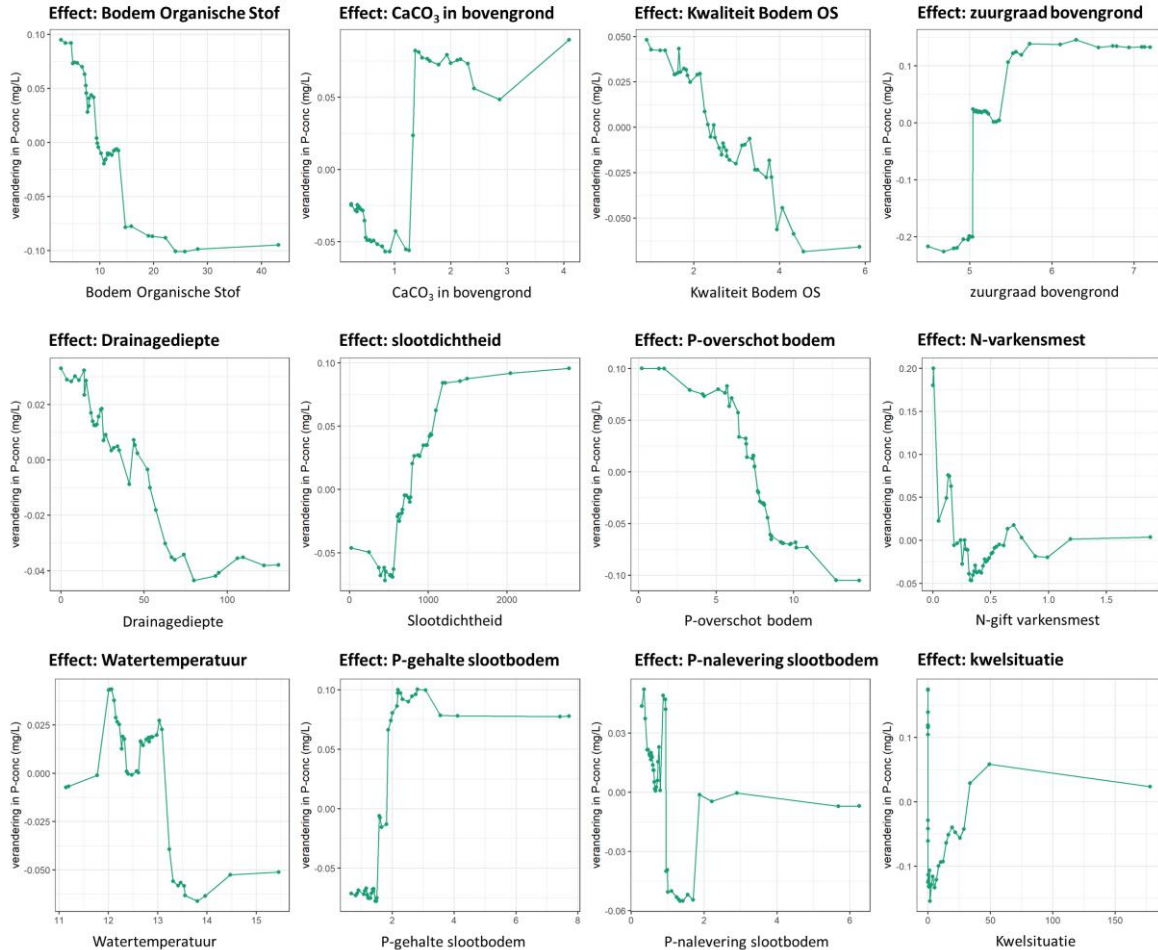


Figuur 6.7. Invloed van een aantal gebiedskenmerken op de ruimtelijke variatie in het N-totaalgehalte in het oppervlaktewater. De figuren laten zien hoe de voorspelde N-totaalconcentratie wijzigt als reactie op een verandering in het geselecteerde gebiedskenmerk.

Het positieve verband met de geschatte N-opname (Figuur 6.7) is een indirect verband dat samenhangt met de bemestingspraktijk op en het voorkomen van grasland. Gebieden met veel grasland (met meer dan 250 kg N ha^{-1} gewasopname) gaan samen met een licht hogere N-gehalte (van maximaal $0,02 \text{ mg N l}^{-1}$) in het oppervlaktewater. Polders en peilgebieden waarbinnen veel percelen zijn met een hoge P-voorraad in de bouwvoor worden ook gekenmerkt door hogere N-concentraties in het oppervlaktewater, waarbij de grote sprong rond 200 kg P ha^{-1} samenhangt met de lage bodemdichtheid van veengronden. In beide situaties (op veen- en minerale gronden) zorgt een hogere P-toestand echter voor hogere N-concentraties. Het effect is maximaal $0,08 \text{ mg N l}^{-1}$. Peilgebieden met veel kwel zorgen voor hogere N-concentraties in het oppervlaktewater, zoals zichtbaar wordt in het positieve verband tussen de berekende N-aanvoer via kwel en het gemeten N-gehalte. Dit effect is substantieel: het N-gehalte in gebieden met weinig kwel ligt bijna $0,1 \text{ mg N l}^{-1}$ lager dan het N-gehalte in gebieden met hoge kwel. In overeenstemming met de modelberekeningen en logisch redeneren zorgt een hogere mestdruk ook voor hogere N-gehalten in het oppervlaktewater. Hierboven wordt dit geïllustreerd voor de aanvoer van rundveedrijfmest en kunstmest. In gebieden met een hoge N-bemesting

(hier als maandgemiddelde gift in kg N ha^{-1}) ligt het N-gehalte in het oppervlaktewater $0,07 \text{ mg N l}^{-1}$ hoger dan in gebieden met een lage bemesting.

Voor de invloed van gebiedskenmerken op de P-totaalconcentratie zijn ook twaalf variabelen geselecteerd om inzicht te geven in het effect ervan op de gemeten P-concentraties (Figuur 6.8).

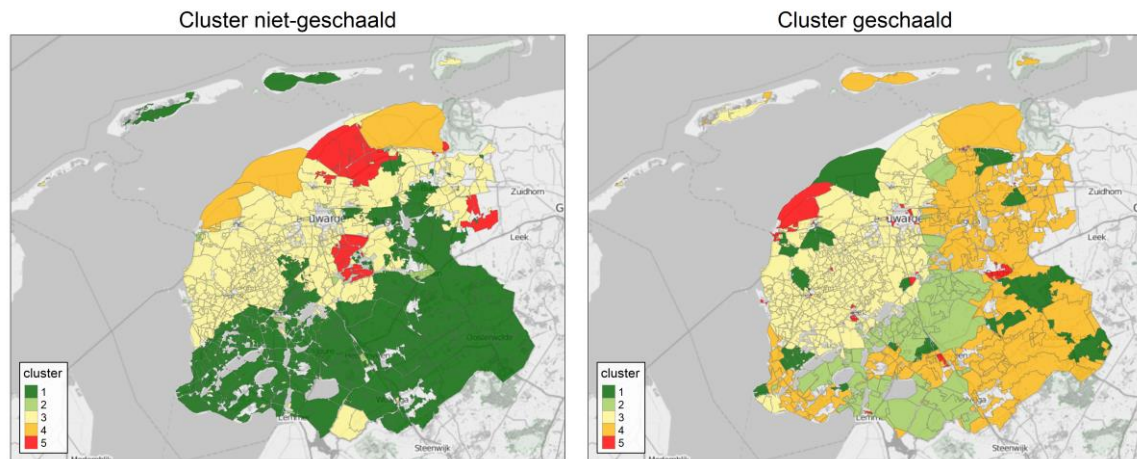


Figuur 6.8. Invloed van een aantal gebiedskenmerken op de ruimtelijke variatie in het P-totaalgehalte in het oppervlaktewater. De figuren laten zien hoe de voorspelde P-totaalconcentratie wijzigt als reactie op een verandering in het geselecteerde gebiedskenmerk.

De eerste vier figuren laten zien dat gebieden met veel organische stof (lees: veen), een grote hoeveelheid kalk en een pH groter dan 5,5 in de toplaag van de bodem (lees: mariene klei) een duidelijk ander P-gehalte vinden in het oppervlaktewater. Hierbij is het effect van de zuurgraad van de bodem het grootst: gebieden met een hoge pH hebben gemiddeld een P-concentratie die $0,3 \text{ mg P l}^{-1}$ hoger ligt dan de P-concentratie in gebieden met een lage zuurgraad. Er is ook een negatief verband met de afbreekbaarheid van organische stof: gebieden met een hoge afbraaksnelheid hebben een lagere P-concentratie, waarbij het verschil kan oplopen tot $0,1 \text{ mg P l}^{-1}$. Let wel, de genoemde verschillen in concentraties ten gevolge van de gebiedskenmerken zijn niet additief. Het oppervlaktewater in gebieden met een ondiepe drainage en een intensief slootpatroon (zoals in veen- en kleigebieden) vertonen hogere P-concentraties dan gebieden met diepere drains. Binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân hebben ook gebieden met een laag P-overschot waarbij wel varkensdrijfmest wordt gebruikt een hogere P-concentratie.

6.2 Sturende factoren voor zes gebiedsclusters

De hierboven beschreven resultaten laten zien dat het mogelijk is om op basis van gebiedskenmerken inzicht te geven in de ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties in het oppervlaktewater. Dit betekent dus dat het mogelijk is om op basis van gebiedskenmerken de aanwezige polders/ peilgebieden te groeperen op basis van gebiedskenmerken die van invloed zijn op de emissie naar dan wel retentie van stikstof en fosfaat in het oppervlaktewater. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een clusteringsalgoritme zoals KNN (zie hoofdstuk 2). Op basis van bodem, landgebruik, bemesting, geohydrologie, belasting vanuit het rwzi en weersinvloeden kunnen binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân vijf groepen van polders / peilgebieden (ook wel clusters genoemd) worden onderscheiden (Figuur 6.9).



Figuur 6.9. Clusters van peilgebieden binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân met vergelijkbare gebiedskenmerken, gebaseerd op geschaalde (rechts) en niet-geschaalde gegevens (links). Let op, gebruikte kleurschaal varieert per kaart en heeft hier geen inhoudelijke betekenis.

De clustering op basis van de originele data laat daarbij weinig variatie zien als gevolg van grote variatie in eenheden, wat betekent dat één of enkele gebiedskenmerken een onevenredig grote invloed uitoefenen op de clustering. Om dit te voorkomen zijn alle gebiedskenmerken geschaald via een zogenoemde z-score¹³ transformatie. Na het schalen zijn in grote lijnen de belangrijkste landbouwkundige systemen – als combinatie van bodem en landgebruik – goed herkenbaar (Figuur 6.9). Om een indruk te krijgen van de invloed van de berekende water- en stofstromen uit modellen, is de clustering uitgevoerd zonder deze modelvariabelen. Het verschil tussen het wel of niet meenemen van deze modelgegevens is erg klein (niet weergegeven) wat laat zien dat het gebruik van meetbare gebiedskenmerken voldoende informatie geeft om gebieden met hoge of lage N- en P-belasting te identificeren.

De gemiddelde gebiedskenmerken per cluster wordt hieronder kort toegelicht voor die eigenschappen die sterk variëren tussen de clusters. Let wel, deze clustering is daarmee een reflectie van alle gebiedskenmerken die een invloed kunnen hebben op de belasting naar het oppervlaktewater en geeft als zodanig niet per direct aan welke verschillen optreden in N- en P-concentraties (zie daarvoor Figuur 6.3). Belangrijke gebieds-

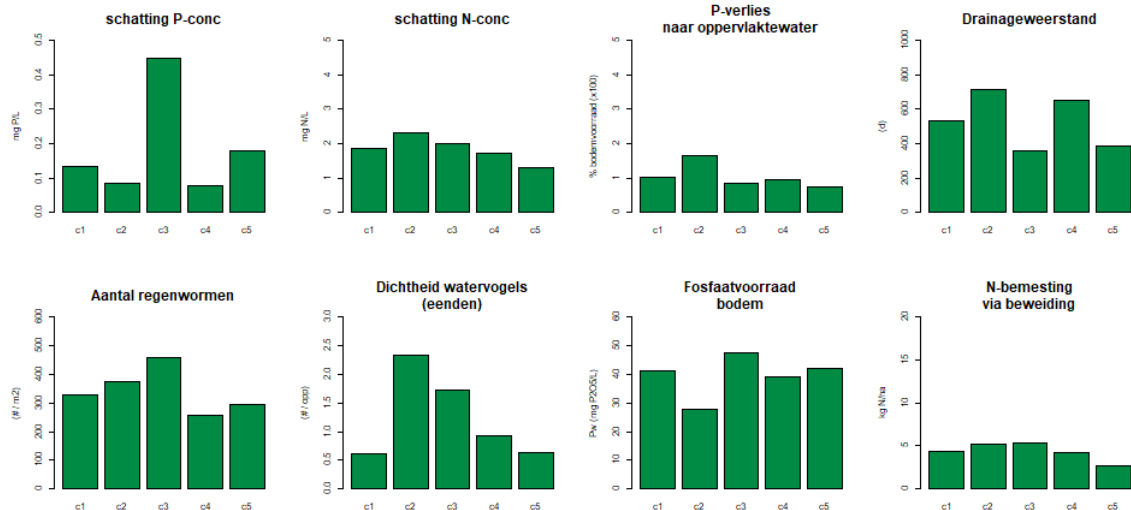
¹³ De oorspronkelijke metingen worden daarbij getransformeerd via zogenoemde z-scores. De z-score is een gestandaardiseerde vorm van een stochastische variabele en wordt berekend door de gemiddelde waarde af te trekken van elke meting waarna het gedeeld wordt door de standaardafwijking. De waarde geeft daarmee aan hoe ver een meetpunt verwijderd is van het gemiddelde, uitgedrukt in eenheid standaardafwijking. De z-score maakt het daarmee mogelijk om metingen uit verschillende populaties op een zinvolle manier met elkaar te vergelijken. Door het schalen van de metingen heeft elke parameter namelijk dezelfde eenheid, waardoor alle gebiedskenmerken relatief evenveel invloed krijgen. Het gebruik van geschaalde data heeft de voorkeur boven niet-geschaalde data, omdat we geïnteresseerd zijn in de relevante gebiedskenmerken en niet de invloed van verschillen in eenheden.

kenmerken die verantwoordelijk zijn voor de verschillen tussen de clusters zijn vooral gekoppeld aan het bodemtype (zoals drainageweerstand), het gewastype en bouwplan (zichtbaar in bouwplan-intensiteit en abundantie van regenwormen), de grondwaterstand, de P-rijkdom van de bodem, het N-overschot en de biodiversiteit in de bodem (gebruik makend van regenwormen als indicator).

De vijf clusters zijn gebaseerd op een analyse van 382 gebiedskenmerken. De voorspelde P-concentratie is het hoogst in cluster 3 en het laagst in cluster 4 terwijl de N-concentratie afneemt van cluster 2 naar cluster 5 (Figuur 6.10). In meer detail, de belangrijkste gebiedskenmerken die van invloed zijn op de clustering zijn:

1. de gehanteerde zomer- en winterpeilen,
2. de slootdichtheid,
3. het ijzergehalte in het oppervlaktewater en de slootbodembodem,
4. de hoeveelheid P-bemesting via kunstmest,
5. de hoeveelheid N-bemesting via varkensmest,
6. de soortenrijkdom aan regenwormen,
7. de hoeveelheid plant-beschikbaar ijzer
8. en de hoeveelheid Mg aan het kationomwisselcomplex.

De belangrijkste gebiedskenmerken hebben te maken met de geohydrologie en de bodemkwaliteit. Het voorkomen van vogels (met uitzondering van eenden), de belasting vanuit de rwzi en variatie in gewaskeuze zijn wel relevant, maar zijn relatief weinig onderscheidend voor specifieke polders binnen het beheergebied. Dit betekent niet dat het geen relevante bronnen zijn, maar betekent wel dat de ruimtelijke variatie in deze bronnen niet samenhangt met de ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties in het oppervlaktewater.



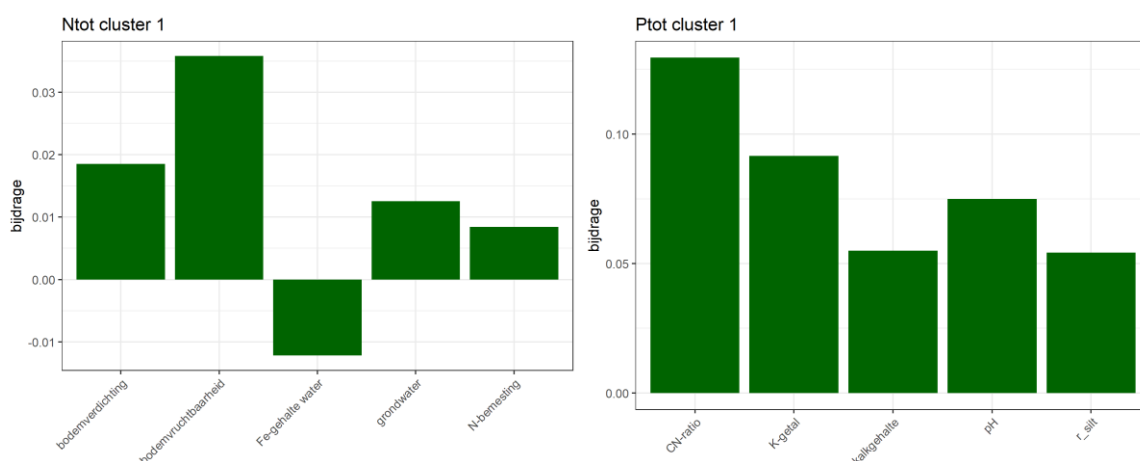
Figuur 6.10. Gemiddelde kenmerkende gebiedseigenschappen van de vijf geïdentificeerde clusters binnen het beheergebied van waterschap Friesland.

Een eerste indruk van variërende gebiedskenmerken per cluster wordt hierboven weergegeven (Figuur 6.10). Hiermee wordt aangegeven hoe de verschillende gebiedskenmerken variëren tussen de clusters. Om een indruk te krijgen van de invloed van deze gebiedskenmerken op de N- en P-concentraties is per cluster van peilgebieden in kaart gebracht hoe deze gebiedskenmerken bijdragen aan de variatie in waterkwaliteit. Deze worden hieronder per cluster toegelicht.

Cluster 1

De polders en vrij afstromende gebieden binnen cluster 1 (donkergroene peilgebieden in Figuur 6.9, rechts) hebben een relatief lage P-concentratie en een gemiddelde N-concentratie in vergelijking met de andere clusters. Polders en peilgebieden die in dit cluster vallen, komen over het hele beheergebied voor. De gemiddelde P-concentratie in dit cluster ligt 20% lager dan het gemiddelde van alle clusters ($0,19 \text{ mg P l}^{-1}$), terwijl de gemiddelde N-concentratie slechts 2% hoger ligt dan het gemiddelde ($1,8 \text{ mg N l}^{-1}$). Veel gebiedskenmerken zijn gemiddeld; wel is het oppervlaktewater relatief rijk aan ijzer ($1,8 \text{ mg Fe l}^{-1}$) waardoor er onder de juiste condities veel P gebonden kan worden. Ook komen er weinig vogels (vooral eenden) voor.

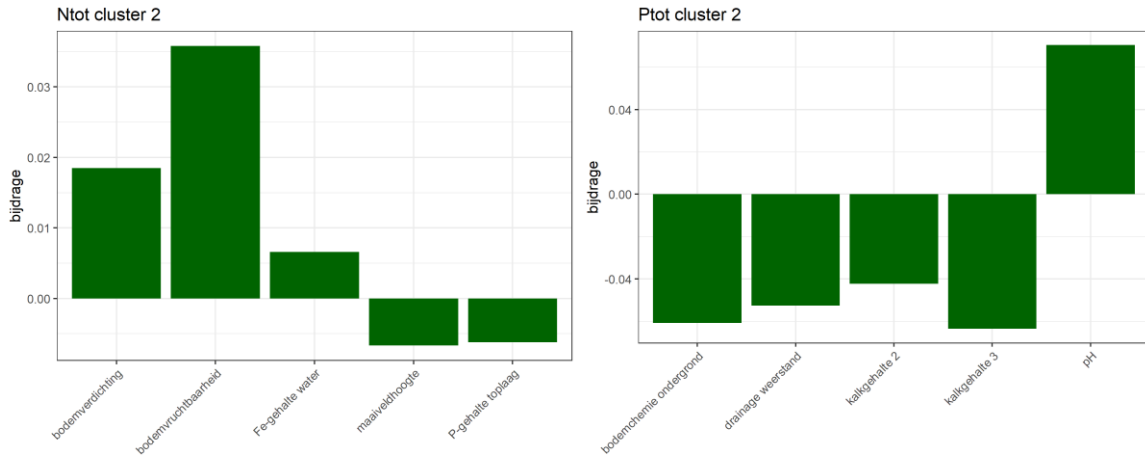
De invloed van de hierboven genoemde gebiedskenmerken wordt bevestigd door de lokale modelanalyse van de meest invloedrijke factoren die van invloed zijn op de N- en P-concentraties (Figuur 6.11). De gebiedskenmerken die een sterk positief effect hebben op de N-concentratie zijn: de bodemvruchtbaarheid (deze is relatief laag), de grondwaterstand in het voorjaar (deze is gemiddeld), de N-bemesting (deze is 5% hoger dan gemiddeld) en een laag risico op bodemverdichting. De hoge ijzerconcentraties zorgen juist voor lagere N-concentraties. In vergelijking met stikstof zijn de belangrijkste gebiedskenmerken die zorgen voor hogere P-concentraties vooral gekoppeld aan bodemkenmerken, waarbij een deel samenhangt met het moeder-materiaal (zoals het silt- en kalkgehalte in de bouwvoor) en een deel beïnvloedbaar is via agrarisch management (zoals kaliumgehalte, CN-ratio en pH).



Figuur 6.11. Bijdrage van de belangrijkste (top-5) gebiedskenmerken aan het verschil in gemeten N- en P-concentraties in cluster 1 ten opzichte van de concentraties in het hele beheergebied.

Cluster 2

Peilgebieden in **cluster 2** (lichtgroen cluster, Figuur 6.9, rechts) komen voor op het veen en de moerige bodems in het Noordelijke Weidegebied. De P-concentratie in het oppervlaktewater ($0,09 \text{ mg P l}^{-1}$) is hier het laagst in vergelijking met alle andere clusters, terwijl de N-concentratie het hoogst is van alle clusters ($2,3 \text{ mg N l}^{-1}$). In het veenrijke gebied is het geschatte verdichtingsrisico het laagst, en het maaiveld ligt relatief laag vergeleken met de andere gebieden in Friesland. Kenmerkend voor veen is ook hier dat de drainageweerstand hoog is, terwijl de hoeveelheid carbonaten in de bodem en de pH relatief laag zijn. De hoeveelheid totaal P in de bovengrond is daarentegen het hoogst.

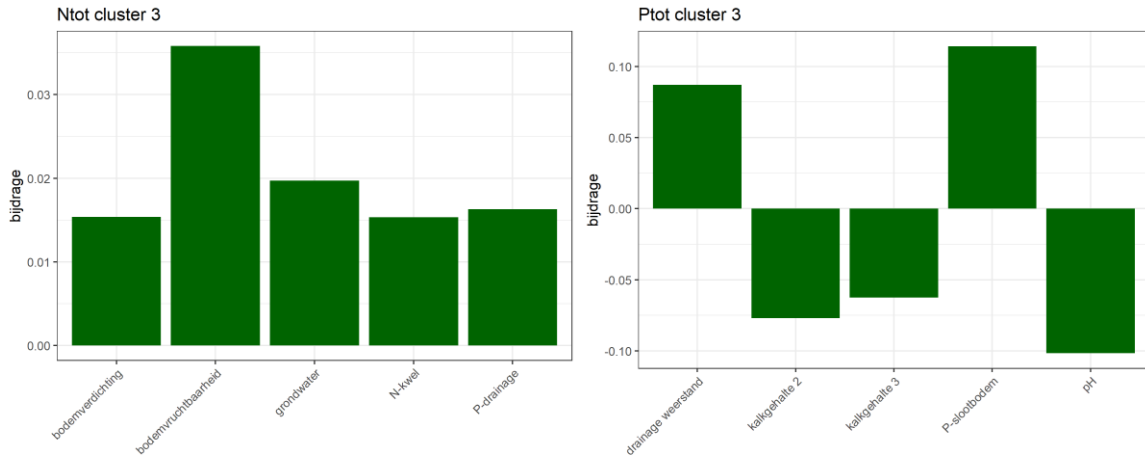


Figuur 6.12. Bijdrage van de belangrijkste (top-5) gebiedskenmerken aan het verschil in gemeten N- en P-concentraties in cluster 2 ten opzichte van de concentraties in het hele beheergebied.

De hoge N-uitspoeling wordt het sterkst beïnvloed door de bodemvruchtbaarheid (veel mineralisatie van veen), een relatief laag mobiel ijzergehalte in het oppervlaktewater (kenmerkend voor veen) en relatief natte omstandigheden (Figuur 6.12). De erg lage fosforconcentraties worden het sterkst beïnvloed door de zuurtegraad (deze is lager in veen), de hoge drainagewaterstand (veel oppervlakkige afspoeling en ondiepe uitspoeling) en weinig carbonaten in de bouwvoor (kenmerkend voor veen). De hoeveelheid plant-beschikbaar (en uitspoelbaar) fosfaat in de bodem is relatief laag ($1,6 \text{ mg P kg}^{-1}$) vergeleken met andere peilgebieden (met een gemiddelde hoeveelheid $>2,6 \text{ mg P kg}^{-1}$).

Cluster 3

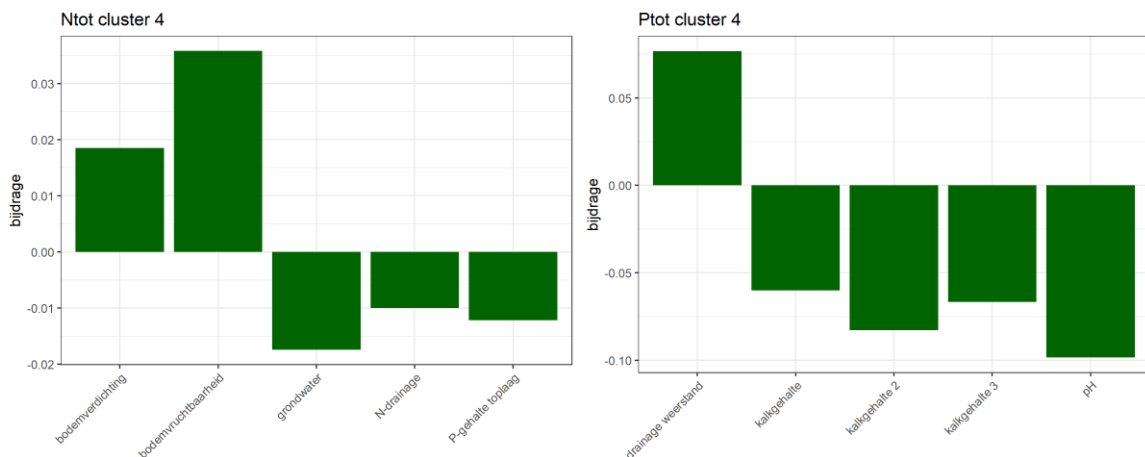
Peilgebieden in cluster 3 (lichtgeel cluster, Figuur 6.9, rechts) worden vooral gekenmerkt door fosfaatrijke zeekleibodems die voorkomen in het noordwesten van de provincie Friesland. Het gemiddelde P-gehalte in dit cluster is het hoogst in deze regio ($0,45 \text{ mg P l}^{-1}$) terwijl ook het N-gehalte meer dan 10% hoger ligt dan het gemiddelde van $1,8 \text{ mg N l}^{-1}$. De hogere N-concentratie hangt samen met een gemiddelde bodemvruchtbaarheid, ondiepe grondwaterstanden (83 cm-mv), en N-aanvoer via kwel. De aanwezigheid van kalk in de bouwvoor (het hoogste in heel Friesland) en een gemiddelde drainagewaterstand en hoge pH (groter dan 6) zijn indicatief voor kleirijke bodems met een hoog risico op P-afspoeling. Omdat de slootbodem niet heel sterk buffert (dan wel opgeladen is of van nature rijk is aan fosfaat) zorgt dit voor een hoge P-nalevering naar het oppervlaktewater. Van alle onderzochte gebiedskenmerken zorgen deze kenmerken voor de relatief hoge P-concentraties in vergelijking met de andere clusters.



Figuur 6.13. Bijdrage van de belangrijkste (top-5) gebiedskenmerken aan het verschil in gemeten N- en P-concentraties in cluster 3 ten opzichte van de concentraties in het hele beheergebied.

Cluster 4

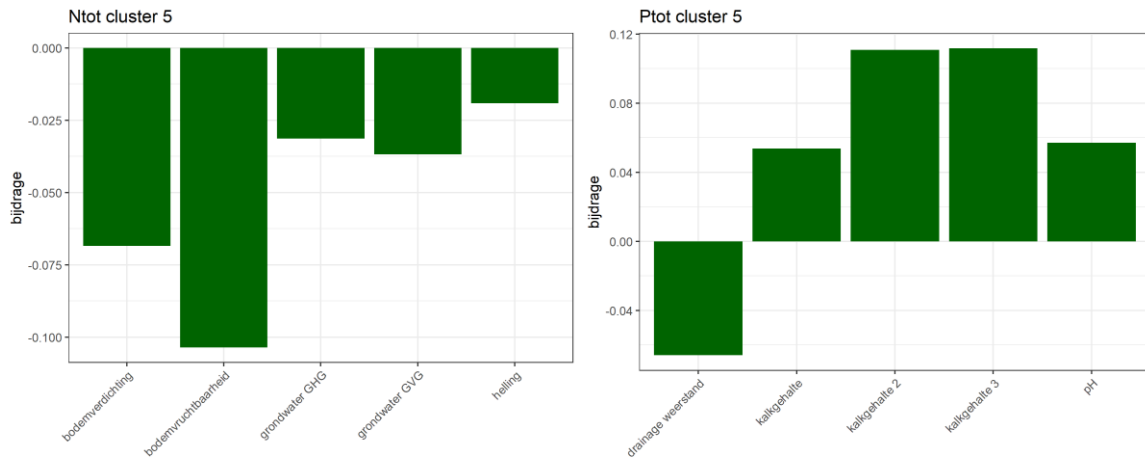
Peilgebieden in cluster 4 (oranje peilgebieden in Figuur 6.9, rechts) hebben een relatief ondiepe drainage- (37 cm-mv) en ontwateringsdiepte (87 cm-mv), een hoge drainageweerstand (650 dagen), een hoge CN-ratio van de organische stof in de bodem (ratio = 14,5) en een lage hoeveelheid bodemleven (128 mg kg⁻¹) en biodiversiteit qua regenwormen als ook een lage kationomwisselcapaciteit (145 mmol+ kg⁻¹). De peilgebieden worden gekenmerkt door relatief lage P-concentraties (50% lager dan gemiddeld) en N-concentraties (6% lager dan gemiddeld). De peilgebieden dit cluster krijgen in vergelijking met de andere gebieden in Friesland de meeste aanvoer van varkensmest. Het risico op bodemverdichting is hier relatief laag. De lage bodemvruchtbaarheid en ontwatering hangen positief samen met hogere N-concentraties in het oppervlaktewater (meer oppervlakkige en ondiepe af- en uitspoeling), terwijl de hoge drainageweerstand sterk samenhangt met hogere P-concentraties. De hoeveelheid kalk in de bovengrond is er laag en hangt samen met de lagere P-concentraties in het oppervlaktewater.



Figuur 6.14. Bijdrage van de belangrijkste (top-5) gebiedskenmerken aan het verschil in gemeten N- en P-concentraties in cluster 4 ten opzichte van de concentraties in het hele beheergebied.

Peilgebieden in cluster 5 (rode peilgebieden in Figuur 6.9, rechts) vormen de uitzondering binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân. In deze gebieden zijn de gemiddelde P-concentraties van het oppervlaktewater (0,18 mg P l⁻¹) vergelijkbaar met de andere clusters, maar de gemiddelde N-concentraties

(1,2 mg N l⁻¹) zijn relatief laag. De bodems in deze peilgebieden zijn kwetsbaar voor P-verliezen, wat zichtbaar wordt in een hoge P-voorraad en P-beschikbaarheid (2,9 mg P kg⁻¹) in zowel de bouwvoor als de ondergrond, weinig bodemleven, een laag gehalte aan organische stof, een lage drainageweerstand, en een hoog risico op bodemverdichting. Er wordt relatief weinig bemest in deze peilgebieden: de gemiddelde mestgift is het laagst van alle clusters.



Figuur 6.15. Bijdrage van de belangrijkste (top-5) gebiedskenmerken aan het verschil in gemeten N- en P-concentraties in cluster 5 ten opzichte van de concentraties in het hele beheergebied.

6.3 Sturende factoren per peilgebied

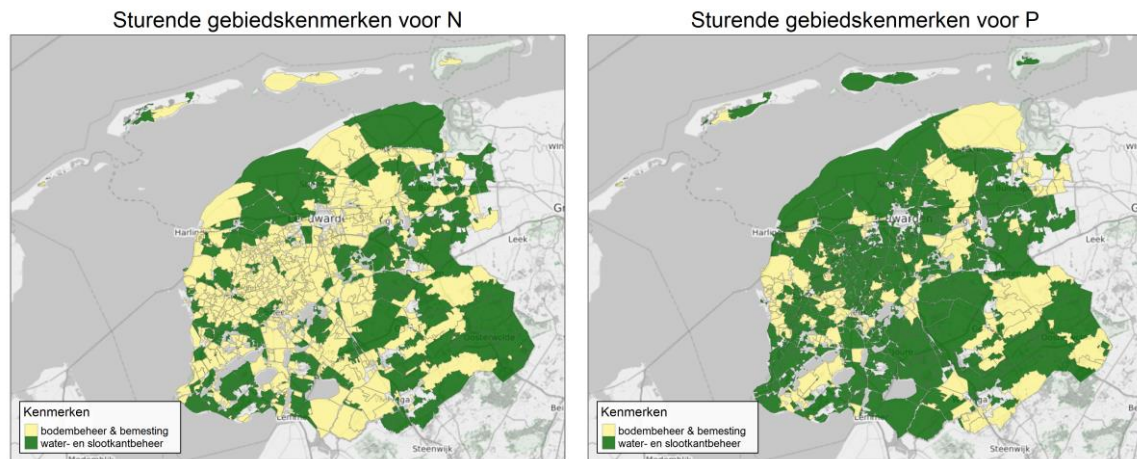
Naast de analyse per cluster (waarbij peilgebieden die op elkaar lijken zijn gegroepeerd) is ook per peilgebied apart geanalyseerd wat de meest invloedrijke gebiedskenmerken zijn die samenhangen met de ruimtelijke variatie in stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater. Hiervoor is per peilgebied onderzocht wat de veertig meest invloedrijke gebiedskenmerken zijn, waarna deze kenmerken zijn gegroepeerd in factoren die samenhangen met het agrarisch bodembeheer, de bodemfysica (structuur, bodemtype), het nutriëntenmanagement (dan wel bemesting) en het water- en slootkantenbeheer. Deze groepen zijn gemaakt om een eenvoudig overzicht te creëren en omdat dit inzicht geeft in passende maatregelen om de uit- en afspoeling van nutriënten te sturen.

In meer detail zijn de gebiedskenmerken toegekend aan de volgende groepen:

- **Agrarisch bodembeheer:** alle gebiedskenmerken die samenhangen met de chemische, biologische en fysische eigenschappen van de bouwvoor als ook de geschatte gewasproductie.
- **Landgebruik en bemesting:** alle gegevens die iets zeggen over het bouwplan, de bemestingsgift en het bijbehorende N- en P-overschot dat niet opgenomen wordt door het gewas.
- **Waterbeheer en slootkantenbeheer:** alle gegevens die beïnvloed worden door de morfologie van de watergangen, het peilbeheer, gemaaldebieten, en de buffering van nutriënten in de slootbodem.
- **Geohydrologie en bodemfysica:** alle gebiedskenmerken die gerelateerd zijn aan het moedermateriaal en de positie in het landschap. Dit omvat bodemtype, geochemische analyses van de boven- en ondergrond, de maaiveldhoogte en de aanwezigheid van kwel dan wel infiltratie.
- **Overige externe bronnen:** dit omvat alle gegevens over beschikbare weide- en watervogels en de debieten en concentraties (en daarmee ook N en P-vrachten) uit de rioolwaterzuiveringsinstallaties.

Omdat de huidige analyse focust op de top-40 gebiedskenmerken, komt het in de praktijk niet voor dat overige externe bronnen als relevant gebiedskenmerk bijdragen aan het verklaren van de ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties. Voor de belasting van de rioolwaterzuiveringsinstallaties is dat niet vreemd omdat deze vrijwel nooit water lozen op het watersysteem in de polders, maar veelal direct lozen op de boezem dan wel de Waddenzee. Ook watervogels komen in geen enkel polder of peilgebied voor in de top-40 sturende gebiedskenmerken. Dit wil overigens niet zeggen dat ze lokaal geen relevante bron kunnen zijn van stikstof- en fosfaat richting het oppervlaktewater. Het zegt wel dat hun bijdrage overschaduwt dan wel gecompenseerd wordt door andere gebiedskenmerken.

Omdat in de praktijk het water- en slootkantenbeheer sterk samenhangen met de geohydrologische gebiedskenmerken én er (nog) geen metingen beschikbaar zijn van het bagger- en slootkantenbeheer, zijn deze voor de huidige rapportage gecombineerd in de groep 'water- en slootkantbeheer'. Maatregelen die te maken hebben met het agrarisch landgebruik omvatten zowel het agrarisch bodembeheer als de bemesting zijn op dezelfde manier gecombineerd in de groep 'bodembeheer en bemesting'. Hieronder staat voor heel het beheergebied aangegeven welke groepen van gebiedskenmerken, geselecteerd uit de top-40 kenmerken per gebied, het meest sturend zijn op de ruimtelijke verdeling van N en P in het oppervlaktewater (Figuur 6.16).



Figuur 6.16. Ruimtelijke weergave van de meest sturende gebiedskenmerken (gegroepeerd per type, en geselecteerd uit de top-40 kenmerken voor stikstof als fosfor) die van invloed zijn op het verschil in gemeten N- en P-concentraties in elk peilgebied ten opzichte van de concentraties in het hele beheergebied.

Als in een peilgebied het agrarisch bodembeheer als belangrijk kenmerk wordt geïdentificeerd voor P-concentraties in het oppervlaktewater, dan betekent dat concreet dat meerdere bodemkenmerken (zoals N-totaal, het bodemleven, de P-toestand of de hoeveelheid beschikbare fosfaat in de bodem) samenhangen met het verschil tussen de P-concentratie in het desbetreffende peilgebied en de gemiddelde P-concentratie in het hele beheergebied. In 74% van de peilgebieden is de vormgeving van het watersysteem, de geohydrologie en het water- en slootkantbeheer de belangrijkste sturende factor voor het verklaren van de ruimtelijke variatie in fosforconcentraties in het oppervlaktewater. In de overige 26% van de peilgebieden zijn het vooral gebiedskenmerken die samenhangen met het bodemtype en de bodemkwaliteit (vooral in het westen en noordoosten van het beheergebied) als ook landgebruik en bemesting (vooral in het zuidoosten van het beheergebied). Voor stikstof is dit patroon diffuser ten opzichte van fosfor en speelt agrarisch bodembeheer en bemesting een grotere rol: in 66% van de peilgebieden zijn dit de meest relevante gebiedskenmerken die van invloed zijn op de ruimtelijke variatie in N-concentraties in het oppervlaktewater. Geohydrologische omstandigheden en het water- en slootkantenbeheer oefenen vooral invloed uit op de N-concentraties in het oosten en deels in het noorden van het beheergebied.

Uit de bronnenanalyse van zes poldersystemen binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân (Van Boekel et al., 2016) blijkt de actuele bemesting voor zowel N als P een belangrijke rol te spelen in de nutriëntenbelasting van het watersysteem. Daarbij wordt vervolgens aangenomen dat 50% van de uit- en afgespoelde stikstof en fosfaat vastgelegd wordt in de slootbodem of de slootvegetatie dan wel verdwijnt via gasvormige emissies. Voor de belasting van puntbronnen als rwzi's, overstorten en watervogels wordt aangenomen dat 20% wordt vastgelegd of verwijderd. De uit- en afspoeling in de zomermaanden is hierbij circa 10 tot 33% van de totale uitspoeling op jaarbasis, zowel voor stikstof als fosfaat. In vergelijking met de zand- en kleipolders is de uit- en afspoeling in de veenpolders in de zomerperiode relatief hoog. Een directe vergelijking tussen deze studie én de hierboven gepresenteerde resultaten is lastig omdat de bronnenanalyse gebaseerd is op vrachten over het hele jaar én omdat het onduidelijk is hoe de retentie doorwerkt op de verdeling van bronnen tussen bodem, bemesting en inlaatwater dan wel andere puntbronnen. De hierboven gemaakte analyse maakt daarentegen rechtstreeks gebruik van de concentraties in het oppervlaktewater gedurende de zomer, en houdt daarmee direct rekening met de retentie in het watersysteem.

De studie van Van Boekel et al. (2016) bevestigt echter dat voor fosfaat de belangrijkste verliezen optreden via maaiveld drainage en snelle afvoerroutes. De gemodelleerde hoge P-vrachten naar het watersysteem in deze modelstudie met ECHO hangen sterk samen met het voorkomen van maaiveldgreppels. Tegelijk wordt hierbij aangegeven dat 50% van de belasting wordt vastgelegd in de slootbodem dan wel het watersysteem. Beide resultaten corresponderen met de resultaten uit de voorliggende analyse, waar gebiedskenmerken als drainage weerstand, ontwatering, slootdichtheid, het ijzergehalte van het oppervlaktewater en de P-nalevering van de slootbodem belangrijke sturende factoren zijn voor de P-concentraties in het oppervlaktewater. Het zijn namelijk deze gebiedskenmerken die ervoor zorgen dat de fosfaat in de bodem (en de gegeven bemesting) een groot dan wel klein effect hebben op de P-concentraties. Actuele N-bemesting daarentegen heeft een veel directer effect op de N-concentraties in het oppervlaktewater, en ook deze bevinding correspondeert met de conclusies van Van Boekel et al. (2016).

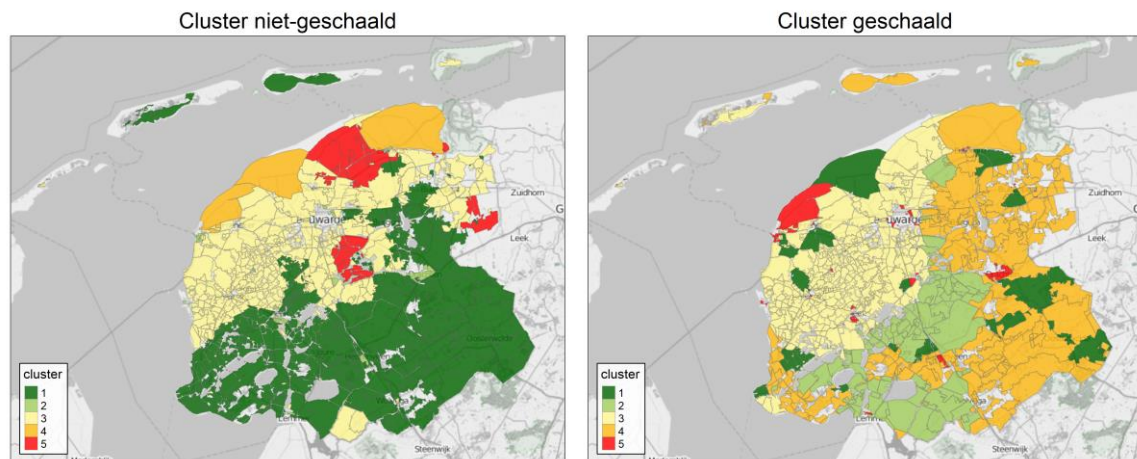
6.4 *Relatie met maatregelen*

Op basis van gebiedskenmerken en de gemeten N- en P-concentraties in de zomer is voor het hele beheergebied in beeld gebracht welke factoren sturend zijn op de waterkwaliteit. De verschillen voor N en P laten zien dat de bronnen en routes voor beide nutriënten verschillen. Fosforverliezen worden daarbij sterk gestuurd door het chemische evenwicht in de bodem, en het risico op oppervlakkige afstroming en ondiepe uitspoeling vanuit de bodem. Relevante bodemkenmerken zijn de textuur, de ontwatering en de gewasteelt. Hoge P-verliezen kunnen daarbij sterk gebufferd worden door het ontwerp en onderhoud van watergangen: in ondiepe sloten zijn de P-concentraties hoger dan in diepere sloten omdat daar de temperatuur hoger is en het zuurstofgehalte lager. Hier liggen dan ook kansen voor verlaging van P-concentraties in het oppervlaktewater. Als oppervlakkige afvoer een probleem is, dan kan gebruik worden gemaakt van bufferzones en akkerranden. Hoge ijzer-concentraties in de slootbodem kunnen daarnaast zorgen voor extra retentie in de watergang. In Friesland speelt in de kustzones daarbij een hoge natuurlijke achtergrondbelasting vanuit de mariene afzetting.

De focus in deze studie op de waterkwaliteit in polders en peilgebieden die afwateren op de boezem, en niet de boezem zelf, heeft direct consequenties voor de kwantificering van zowel de N- en P-belasting vanuit rioolwaterzuiveringsinstallaties als ook de aanwezigheid van water- en weidevogels.

In een groot deel van het beheergebied is de bodemtextuur en de bodemkwaliteit van invloed op de verliezen van nutriënten naar het oppervlaktewater. Een goede bodemvruchtbaarheid, als resultante van een doordacht bouwplan, bodembeheer en bemesting zorgt hier voor meer buffering in de bodem en minder N- en P-verliezen. De grootste verbetering is hier te realiseren voor stikstof, waarbij niet zozeer een lagere N-gift maar verhoging van de bodembenutting gewenst is. Inzet van precisiebemesting en de inzet van vanggewassen kunnen hierbij helpen. Internationaal wordt in de agronomie vanuit duurzaamheidsoogpunt gestuurd op de 4xR strategie: *'the right place, the right time, the right source, the right dose'* (de juiste plaats, het juiste tijdstip, de juiste meststof en de juiste dosering). Zeker voor stikstof liggen hier mogelijkheden om het N-overschot zodanig te verlagen dat het risico op verliezen naar het watersysteem kleiner worden. Voor verliezen van fosfaat liggen de belangrijkste sturingsvariabelen in het watersysteem zelf, dan wel in het verminderen van ondiepe uitspoeling en oppervlakkige afspoeling. De P-voorraden in de bodem zijn groot, en vormen een grote bron van fosfaat richting het watersysteem. Dit effect is in de huidige analyse minder zichtbaar omdat de P-toestand van de bodem, en de P-verzadiging van de bodem- en ondergrond, vrijwel overal hoog is. Omdat deze zo hoog is over het hele beheergebied, draagt het niet sterk bij aan de verklaring van verschillen *tussen* peilgebieden. De gemiddelde P-toestand van de bodem en de bemestingspraktijk dat de P-norm vrijwel volledig wordt opgevuld, zijn wel een aandachtspunt om de P-concentraties in het oppervlaktewater verder te verlagen. De langzaam dalende trends in waterkwaliteit bevestigen dat het zeker mogelijk is om de P-concentraties te laten dalen; wel is dat effect pas op langere termijn zichtbaar.

De tweede belangrijke stuurfactor heeft te maken met de ontwatering van percelen en het landgebruik. Bouwplannen met relatief veel diep wortelende en N-efficiënte gewassen zoals granen en gras hebben relatief minder N-uitspoeling dan bouwplannen met veel rooivruchten en/of mais. Binnen het beheergebied van Friesland is dat gedeeltelijk zichtbaar, omdat het grootste deel van het gebied gebruikt wordt voor teelt van grasland. Door intensieve bodembewerking en ruggenteelten in de akkerbouw is er op de zandgronden een verhoogd risico op N- en P-afspoeling, en staat de bodemkwaliteit onder druk.



Figuur 6.17. Clusters van peilgebieden binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân met vergelijkbare gebiedskenmerken, gebaseerd op geschaalde (rechts) en niet-geschaalde gegevens (links). Let op, gebruikte kleurschaal varieert per kaart en heeft hier geen inhoudelijke betekenis.

Wanneer specifiek gekeken wordt naar de vijf groepen van peilgebieden (hierboven opnieuw weergegeven), dan zijn de volgende maatregelen inzetbaar om de waterkwaliteit te verbeteren:

- **Cluster 1.** In de peilgebieden die bij deze groep horen wordt zowel de N- als P-concentratie sterk beïnvloedt door het agrarisch bodembeheer en de bemestingspraktijk. De P-concentraties zijn

relatief laag in deze peilgebieden. De lage bodemvruchtbaarheid zorgt voor hogere N-concentraties in het oppervlaktewater. Dit betekent concreet dat maatregelen die zorgen voor een goede bodemstructuur, en een bemesting afgestemd op de natuurlijke N-levering van de bodem bijdragen aan een hogere gewasopbrengst, een hogere benutting van stikstof en minder verliezen naar het watersysteem. Er is relatief veel bouwland in deze peilgebieden. Aandacht voor bouwplan, vanggewassen en inzet van precisiebemesting is daarom zinvol.

- **Cluster 2.** Peilgebieden in dit cluster komen vooral voor op veengrond en de moerige bodems binnen het Noordelijke Weidegebied. Grasland is hierbij het meest voorkomende landgebruik, en 88% van het areaal is onder beheer bij derogatiebedrijven. Stikstofverliezen vanuit bemesting zijn hier niet hoog, mede door de hoge denitrificatieverliezen veroorzaakt door de natte omstandigheden. De hoge N-concentraties hangen sterk samen met de natuurlijke N-levering vanuit de venige bodems, dan wel via oeverafkalving. Goed bodembeheer is ook hier belangrijk, evenals het beheer van grasland waarbij gestuurd kan worden via beweidingsmanagement, gebruik van drinkbakken, onderhoudsbekalking en bij voorkeur het gebruik van meerjarig grasland. Fosforconcentraties worden zeer sterk beïnvloed door het gevoerde waterbeheer en de eigenschappen van het slootsysteem. De P-concentraties zijn hier het laagst, wat betekent dat eventueel vrijgekomen P wordt vastgelegd in de slootbodem. Sturing op lagere P-concentraties heeft hier geen prioriteit.
- **Cluster 3.** Peilgebieden in dit cluster liggen vooral op klei in het Noorden van het beheergebied van Wetterskip Fryslân. De P-concentraties in deze gebieden zijn het hoogst en worden primair veroorzaakt door eigenschappen van het bodem- en watersysteem, dat wil zeggen het moeder-materiaal en de positie in het landschap. Er is een hoge nalevering vanuit de slootbodem, wat betekent dat er sturingsmogelijkheden liggen om via sloot(kant)beheer de waterkwaliteit te verbeteren. Agrarisch bodembeheer (preventie en oplossen van verdichting) kan in de helft van de aanwezige peilgebieden nog bijdragen aan een hogere benutting, in het bijzonder op de akkerbouwmatige teelten in dit gebied. Voor stikstof liggen hier juist kansen om te sturen op een laag bodemoverschot via gewasopvolging, en toepassing van de 4xR strategie. Dit begint met het opvolgen van de landbouwkundige adviezen uit het Bemestingsadvies en kan doorgroeien richting precisiebemesting.
- **Cluster 4** zijn peilgebieden gedomineerd door zandgronden, met afwisselend grasland en bouwland. Bodembeheer en bemesting zijn ook hier de belangrijkste sturende variabelen voor stikstof, terwijl de P-concentraties vooral bepaald worden door de ontwatering en het water- en slootkantbeheer. De bodemkwaliteit is in deze regio het laagst van alle peilgebieden. Verbetering van de chemische, fysische en biologische bodemkwaliteit zal zo bijdragen aan een hogere opbrengstpotentie en lagere emissies naar het watersysteem. Fosfaatverliezen zijn relatief laag in vergelijking met de rest van het beheergebied, wat kan betekenen dat er hier niet gericht gestuurd hoeft te worden op lagere P-emissies.
- **Cluster 5** omvat maar een beperkt aantal peilgebieden waardoor het niet nodig is om hier specifieke maatregelen uit te rollen. De concentraties in het oppervlaktewater zijn bovendien niet extreem hoog of laag. Stimulering van de Goede Landbouwpraktijk is hier voldoende om zo te weerbaarheid van de bodem te verhogen.

7. Discussie en Conclusie

De voorliggende studie beschrijft en integreert de resultaten van diverse studies die voor het beheergebied van Wetterskip Fryslân zijn uitgevoerd. De gebruikte methode is uniek; tot op heden is deze analyse nog niet toegepast op de problematiek van nutriëntenverliezen vanuit landbouwbodems naar het oppervlaktewater. Terugkijkend naar de gestelde onderzoeksvragen in de inleiding, trekken we in dit hoofdstuk enkele conclusies, bediscussiëren we de resultaten en worden aanbevelingen gegeven om antwoorden te krijgen op openstaande vragen.

7.1 Onderzoeksvragen

De insteek van deze studie is om *op basis van beschikbare metingen* bij het waterschap, gegevens uit agrarische meetnetten én praktijkexpertise uit de agrarische sector inzicht te geven in de belangrijkste bronnen en routes van stikstof- en fosforverliezen. Belangrijke randvoorwaarde daarvoor is dat de waterkwaliteitsmeetpunten representatief zijn voor het gebied waar ze liggen. Dit betekent concreet dat of i) de meetpunten weinig beïnvloed mogen worden door gebiedsvreemd water of ii) dat in de analyse gecorrigeerd wordt voor deze invloed. Omdat deze informatie (nog) niet beschikbaar was voor het boezemwatersysteem, is dit systeem niet meegenomen in de ruimtelijke analyse. Voor de tijdserie-analyse zijn deze metingen wel gebruikt omdat deze los staat van de koppeling met gebiedskenmerken.

Om inzicht te geven in de N- en P-vrachten is een tweede belangrijke randvoorwaarde dat er informatie moet zijn over de hoeveelheid water die een polder of afwateringseenheid binnenkomt en weer verdwijnt. Een N- en P-vracht vanuit het landelijk gebied kan namelijk niet gemeten worden; het bestaat altijd uit een combinatie van een gemeten of berekende waterflux én een gemeten N- of P-concentratie in die desbetreffende waterflux. Omdat er nog geen betrouwbare gegevens voorhanden zijn van de waterfluxen in en uit de boezem, focust deze studie op de ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties in plaats van N- en P-vrachten.

De chemische kwaliteit wordt bepaald door de concentraties van de prioritaire stoffen van de KRW. Deze studie beperkt zich tot stikstof en fosfor. Omdat bij de KRW-normtoetsing voor nutriënten vooral gekeken wordt naar de gemeten concentraties in het zomerhalfjaar (april t/m september), focust de ruimtelijke analyse in deze studie zich ook op de zomergemiddelde concentraties.

De oorspronkelijke onderzoeksvragen zijn waar nodig dan ook licht aangepast aan deze afbakening.

Wat zijn de belangrijkste gebiedskenmerken die sturend zijn op de zomergemiddelde N- en P-concentraties binnen beheergebied van Wetterskip Fryslân?

De ruimtelijke variatie in de zomergemiddelde P-concentraties blijkt sterk samen te hangen met het bodemtype en moedermateriaal: gebiedskenmerken die gerelateerd zijn aan de gehalten van metalen en nutriënten in de ondergrond, de fosfaattoestand van de bovengrond, de pH (gekoppeld aan kalkrijke afzettingen), de geschatte wegzijgingsflux en de afbreekbaarheid van de aanwezige organische stof zijn de belangrijkste sturende variabelen. De aanwezigheid van kwel en slootkenmerken (zoals de watertemperatuur, ijzergehalte, en P-levering vanuit de waterbodem) zijn evenzo relevant. In 74% van de peilgebieden zijn de vormgeving van het watersysteem, de geohydrologie en het water- en slootkantbeheer dan ook de belangrijkste sturende factor voor de ruimtelijke variatie in P-concentraties. In de overige 26% van de peilgebieden zijn het vooral gebiedskenmerken die samenhangen met de bodemkwaliteit als ook het landgebruik en bemesting. Voor stikstof is dit patroon diffuser en speelt agrarisch bodembeheer en bemesting

een grotere rol: in 66% van de peilgebieden zijn dit de meest relevante gebiedskenmerken die van invloed zijn op de ruimtelijke variatie in N-concentraties. Daarbij gaat het onder andere om de bodemkwaliteit (o.a. de biochemie van de ondergrond, het N-overschot, de Ca-bezetting van de CEC en het risico op verdichting), de bodemvruchtbaarheid (zichtbaar in soortenrijkdom van wormen en de P-voorraad), het landgebruik en de ontwatering. De bijdrage vanuit rwzi's heeft weinig invloed op de ruimtelijke variatie in stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater omdat deze grotendeels lozen op het boezemwatersysteem.

Levert een analyse gebaseerd op metingen andere inzichten op dan de resultaten van het landelijke STONE-instrumentarium dat normaliter gebruikt wordt om de belasting van het oppervlaktewater-systeem met nutriënten te kwantificeren?

Deze vraag draait om de hoogte van de N- en P-belasting van het oppervlaktewater en kan als zodanig (nog) niet accuraat worden beantwoord. De gebiedskenmerken die sturend zijn op hogere N- en P-concentraties zoals vastgesteld in deze studie zijn indirect ook sturend op de resultaten van het STONE-instrumentarium. Gedetailleerde STONE-toepassingen voor zes peilgebieden binnen Friesland laten bijvoorbeeld zien dat de bijdrage van 'actuele bemesting' grotendeels samenhangt met het voorkomen van maaiveldgreppels waardoor de lokale ontwatering, de drainageweerstand en slootdichtheid de cruciale factoren zijn die de P-belasting sturen. De conclusies van dit onderzoek zijn daarom complementair aan de conclusies van STONE. In vergelijking met het STONE-instrumentarium biedt de huidige analyse wel een grotere nauwkeurigheid omdat STONE ontwikkeld is voor nationale toepassingen en bij het gebruik ervan voor regionale en lokale toepassingen een grote mate van schijnnaauwkeurigheid oplevert. De betrouwbaarheids-percentages variëren tussen 100 en 200% voor toepassing op regionaal schaalniveau¹⁴.

De stabiele concentraties voor fosfor (er zijn geen sterke fluctuaties over de jaren) én de gevonden relaties met gebiedskenmerken in deze studie suggereren dat P-concentraties sterk gebufferd worden door het watersysteem. Effecten van P-bemesting zijn vrijwel niet terug te vinden in de waterkwaliteitsmetingen én eventuele aanpassingen in management zijn voor P dan ook pas na een lange periode (> 10 jaar) zichtbaar. Deze conclusie correspondeert met de laatste Evaluaties Mestbeleid die gebaseerd op STONE aantonen dat verlaging van mestgiften niet de oplossing biedt voor verlaging van P-concentraties in het oppervlaktewater. Maatregelen die ingrijpen op het drainagesysteem en de slootrand zijn conform STONE effectiever. Dit betekent ook dat een verlaging van P-concentraties mogelijk is via de inrichting van het watersysteem en beïnvloeding van het slootkantbeheer.

In vergelijking met fosfor is er meer dynamiek zichtbaar voor stikstof; de concentraties in het oppervlaktewater zijn in de periode 2000 tot 2005 dan ook gedaald. Goed bodembeheer én bemesting zijn sleutelfactoren om de verliezen van stikstof naar het watersysteem te beperken. Er worden in deze studie diverse gebiedskenmerken geïdentificeerd die direct of indirect samenhangen met bodemkwaliteit en bemesting. In vergelijking met P is er voor stikstof nog meer winst te behalen, en kan via goed nutriëntenmanagement en bodembeheer de N-concentratie verder dalen.

Wat zijn de meest voorkomende bedrijfssystemen en hoe ziet de mineralenbalans op deze bedrijven eruit gegeven de huidige landbouwpraktijk en de agronomisch gewenste situatie?

In deze studie zijn twee akkerbouw- en drie melkveehouderijsystemen nader onderzocht. Ondanks de variatie in bodemkwaliteit en bouwplannen wordt de agronomische behoefte aan nutriënten grotendeels ingevuld via drijfmest. De gebruiksruimte voor fosfaat wordt daarbij maximaal opgevuld. De daling in gebruiksnormen

¹⁴ Aandachtspunt is ook de grote variatie in terminologie en modelconcepten: uitspoeling van nutriënten uit het landelijk gebied is bijvoorbeeld een verzamelterm voor allerlei bronnen en routes waarbij de bijdrage van elke bron en route lokaal sterk kan variëren.

hebben in Friesland niet gezorgd voor minder aanvoer van drijfmest, maar voor een 'betere' verdeling van mest over de ruimte. Of dit heeft geleid tot een daling in het aantal hotspots is vooralsnog lastig meetbaar te maken omdat de P-afspoeling kleiner is dan 1% van de P-gift en de bodem daarin sterk buffert. De op metingen gebaseerde mestverdelingsmodule van WUR heeft de neiging om de aanvoer van dierlijke mest te maximaliseren (soms resulterend in overbenutting, dat er meer wordt toegediend dan wettelijk mag). Voor stikstof wordt dat automatisch gecompenseerd door lagere kunstmestgiften, wat voor bouwland op zand tot onrealistische scenario's leidt. De invloed daarvan op de berekende waterkwaliteit is vooralsnog onduidelijk. De bodemkwaliteit in Friesland lijkt op orde te zijn; de aanvoer van organische stof compenseert de afbraak (exclusief de veenafbraak) waardoor het organische stofgehalte op peil kan blijven. Er lijkt ook enige misbalans te zijn in de aan- en afvoer van kalium, maar dit heeft geen negatieve effecten op de waterkwaliteit.

Is er binnen het beheergebied sprake van een stagnatie in de chemische waterkwaliteit en zo ja, hoe hangt dit samen met het strenger wordende mestbeleid en de ontwikkeling van water- en weide-vogelpopulaties?

De N-concentraties op de meeste meetpunten (90%) zijn met meer dan 10% zijn gedaald over de periode 2000 tot 2018 terwijl het P-gehalte langzaam daalt dan wel stabiel blijft. De verandering heeft vooral plaatsgevonden in de periode 2000 tot 2005. De N-belasting vanuit rwzi's is substantieel gedaald, terwijl de P-belasting stabiel is gebleven. De invloed hiervan buiten het boezemwatersysteem is echter beperkt. De (berekende) aanvoer van N en P via bemesting is over de hele periode weinig veranderd. Het aantal ganzen daarentegen is bijna verdubbeld, al is deze verdubbeling niet te herleiden tot hogere N- en P-concentraties in het oppervlaktewater. De ruimtelijke analyse laat zien dat watervogels in vrijwel geen enkel peilgebied naar voren komen als een belangrijke sturende factor op de N- en P-concentraties. Dit wil overigens niet zeggen dat ze lokaal geen relevante bron kunnen zijn van stikstof- en fosfaat richting het oppervlaktewater. Het zegt wel dat hun bijdrage overschaduwet dan wel gecompenseerd wordt door andere gebiedskenmerken. De agronomische bodemkwaliteit (gemeten via organische stof, P-voorraden en P-beschikbaarheid) is tussen 2000 en 2018 vrijwel niet veranderd, wat in combinatie met de gegeven geohydrologie de grote stabiliteit in P-concentraties over de tijd kan verklaren.

Welke maatregelen zijn inzetbaar om effectief te sturen op een betere waterkwaliteit, rekening houdend met locatie-specifieke kenmerken?

Deze studie laat zien dat P-concentraties (als resultante van P-verliezen) sterk gestuurd worden door het chemische evenwicht in de bodem, en het risico op oppervlakkige afstroming en ondiepe uitspoeling vanuit de bodem. Relevante bodemkenmerken zijn de textuur, de ontwatering en de gewasteelt. Hoge P-verliezen kunnen daarbij gebufferd worden door het ontwerp en onderhoud van watergangen: in ondiepe sloten zijn de P-concentraties hoger dan in diepere sloten omdat daar de temperatuur hoger is en het zuurstofgehalte lager. Hier liggen dan ook kansen voor verlaging van P-concentraties in het oppervlaktewater. Als oppervlakkige afvoer een probleem is, dan kan gebruik worden gemaakt van bufferzones en akkerranden. Hoge ijzerconcentraties in de slootbodem kunnen daarnaast zorgen voor extra retentie in de watergang. In de kustzones is daarnaast een hoge natuurlijke achtergrondbelasting vanuit de mariene afzetting, een belasting die lastig beïnvloedbaar is via agrarische maatregelen..

In een groot deel van het beheergebied is de bodemtextuur en de bodemkwaliteit van invloed op de verliezen van nutriënten naar het oppervlaktewater. De grootste verbetering is hier te realiseren voor stikstof, waarbij niet zozeer een lagere N-gift maar verhoging van de bodembenutting gewenst is. Inzet van precisiebemesting en de inzet van vanggewassen kunnen hierbij helpen. Internationaal wordt in de agronomie vanuit duurzaamheidsoogpunt gestuurd op de 4xR strategie: de juiste plaats, het juiste tijdstip, de juiste meststof en de juiste dosering. Zeker voor stikstof liggen hier mogelijkheden om het N-overschot zodanig te verlagen dat

het risico op verliezen naar het watersysteem kleiner worden. De tweede belangrijke stuurfactor heeft te maken met de ontwatering van percelen en het landgebruik. Bouwplannen met relatief veel diep wortelende en N-efficiënte gewassen zoals granen en gras hebben relatief minder N-uitspoeling dan bouwplannen met veel rooivruchten en/of mais.

7.2 Discussiepunten

De kracht van de gebruikte statistische analyse is dat het sterk leunt op daadwerkelijk metingen die in het gebied zijn uitgevoerd én als zodanig inzicht geeft in de belangrijkste gebiedskenmerken die van invloed zijn op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Een mogelijk nadeel is dat er via data manipulatie (in de goede zin van het woord) en statistiek ook schijnverbanden ontdekt kunnen worden die indirect veroorzaakt worden door een variabele die niet gemeten/ bekend is. Om dit risico te verkleinen, is gebiedskennis en inzicht in de daadwerkelijke processen die van invloed zijn op de N- en P-emissie naar het watersysteem cruciaal. Een harde randvoorwaarde is wel dat er voldoende gegevens beschikbaar zijn om überhaupt verbanden tussen gebiedskenmerken en de N- en P-concentraties in het oppervlaktewater te ontdekken. Deze studie beperkt zich tot de invloed van gebiedskenmerken op de N- en P-concentraties in de zomer; de vertaalslag naar vrachten is niet uitgevoerd omdat een betrouwbare waterbalans op het niveau van een afwateringseenheid dan wel polder nog niet voorhanden is. Dit is een aandachtspunt, zeker omdat een groot deel van het watersysteem in de zomer gevoed wordt vanuit de boezem.

Discussiepunt 1. De huidige analyse zoekt naar gebiedskenmerken die relevant zijn voor het verklaren van de ruimtelijke variatie in de waterkwaliteit binnen het beheergebied. Als zodanig geeft het ook inzicht in de gebiedskenmerken die beïnvloed kunnen worden om de N- en P-concentraties te verlagen. Als gebiedskenmerken maar heel beperkt variëren (zoals de hoge P-voorraden in de bodem) dan draagt het desbetreffende gebiedskenmerk weinig bij aan de verklaarde variantie binnen het beheergebied. Dit betekent niet dat het gebiedskenmerk dus uitgesloten kan worden als bron van nutriënten. Het betekent wel dat andere gebiedskenmerken relevanter zijn om de ruimtelijke variatie te verklaren dan wel dat deze de invloed ervan overrulen.

Discussiepunt 2. De huidige analyse focust op de zomergemiddelde N- en P-concentraties in het oppervlaktewater. Dit is een gemaakte keuze in het licht van de beoordeling van de waterkwaliteit voor de realisatie van de KRW-doelen. Wel wordt opgemerkt dat de concentratie in een watersysteem de resultante is van allerlei biochemische, fysische en biologische processen. Omdat informatie over waterfluxen binnen de polders niet of maar heel beperkt aanwezig waren, is in deze studie niet de vertaalslag gemaakt naar vrachten. Voor een zinvolle vergelijking van de in deze studie gevolgde methodiek (gebaseerd op metingen) en landelijke modellen die op basis van processen de emissie van N en P in beeld brengen, is het nodig om de vertaalslag van concentraties naar vrachten wel te maken.

Binnen de context van deze studie ligt er een sterke focus op de identificatie van sleutelfactoren en gebiedskenmerken die sturend zijn in de regionale variatie in N- en P-concentraties. De invloed van deze sleutelfactoren en gebiedskenmerken wordt verder kwalitatief beschreven, en deels kwantitatief gemaakt per deelgebied (ook wel clusters genoemd) in dit rapport. Een kwantitatieve analyse van *hoe* deze sleutelfactoren en gebiedskenmerken samenhangen per peilgebied, en de identificatie van het optimale traject om een gewenste N- en P-concentratie te bereiken, is in de voorliggende studie niet opgenomen. Wel zijn er kwalitatieve keuzes gemaakt op basis van zogenoemde Shapley-waarden, die inzicht geven in de relevantie van sleutelfactoren en gebiedskenmerken, om zo een koppeling mogelijk te maken richting maatwerk-

pakketten per deelgebied. Een concrete uitwerking en beschrijving van effectieve maatregelen kan aanvullend nodig zijn om gericht sturing te geven aan het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer. Deze studie geeft richting op het type maatregelen en de ruimtelijke inzet ervan voor verbetering van de waterkwaliteit.

Discussiepunt 3. De huidige gebiedsanalyse focust zich op de chemische waterkwaliteit in de polders (voor wat betreft stikstof en fosfor) om verbanden te vinden met gebiedskenmerken. Watergangen die beïnvloed worden door gebiedsvreemd water maken het onmogelijk om deze verbanden goed te leggen. De interactie met de boezem is in deze studie voorsnog genegeerd, omdat dit inzicht vereist in de waterfluxen van- en naar de boezem en deze gegevens (nog) niet aanwezig zijn. Dit betekent ook dat het vraagstuk van bronnenverdeling voor het hele beheergebied van Wetterskip Fryslân (wat komt uit rwzi's, van watervogels en vanuit de bodem) beperkt beantwoord wordt. In het tertiaire watersysteem binnen de polders is de impact vanuit rwzi's niet zichtbaar. De impact van watervogels is voor een deel te kwantificeren (alhoewel een deel van de meetgegevens niet beschikbaar waren), maar bleek in de meeste peilgebieden / polders geen relevante factor die gerelateerd was aan de ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties. Ook in gebieden waar grote toename in watervogels zichtbaar waren, wordt dit niet zichtbaar in de veranderingen in concentraties in het oppervlaktewater. Dit laat zien dat effecten op N- en P-concentraties worden gebufferd vanuit het watersysteem.

Discussiepunt 4. De gebruikte gegevens rondom de bemesting van landbouwpercelen zijn afgeleid van modelberekeningen van *Wageningen Environmental Research*. Deze gegevens worden gebruikt in alle landelijke studies rondom de evaluatie van mestbeleid. Een opvallend resultaat is dat de mesttoediening binnen Friesland relatief stabiel is gebleven de afgelopen jaren, ondanks de dalende gebruiksnormen. Dit suggereert een toenemende herverdeling van mest tussen bedrijven. De modelberekeningen zijn voor het grootste deel gebaseerd op metingen en bedrijfscijfers (o.a. aantal dieren en mesttransporten per bedrijf), waardoor ze de werkelijkheid redelijk nauwkeurig reflecteren. Een actuele toetsing van deze mestverdeling op basis van praktijkgegevens (zoals KringloopWijzer) is (nog) niet gebeurd. Omdat de uit- en afspoeling van stikstof en fosfaat sterk samenhangt met de mestgift op percelen (in combinatie met afspoelingsroutes), is het aan te bevelen om de gebruikte aannames kritisch te evalueren vanuit een praktisch gebruikersperspectief.

Vanuit de problematiek van de KRW richt de analyse in deze studie zich op het meerjarig zomergemiddelde. Dat betekent ook dat mogelijke verliezen buiten de zomerperiode (en eventuele afwenteling naar andere gebieden) voorsnog buiten beschouwing zijn gelaten. Voor maatregelen die ingrijpen op het watersysteem of het zuiveringsrendement van rioolwaterzuiveringsinstallaties is er een directe (en meetbare) invloed op de belasting van het watersysteem. Vooral in de zomerperiode kan de bijdrage vanuit rwzi's relatief groot zijn. Deze bijdrage is in dit rapport niet expliciet gekwantificeerd omdat de boezem niet is meegenomen in de analyse. Een aanpassing van de zuiveringsrendement heeft snel zichtbare effecten. Voor veel agrarische maatregelen die de waterkwaliteit verbeteren, is dit onderscheid echter lastiger te maken, omdat maatregelen integraal ingrijpen op de kwaliteit van de bodem, het bouwplan en het bemestingsplan van de ondernemer. Door de hoge voorraden in de bodem zijn effecten van fosfaat-gerelateerde maatregelen pas zichtbaar over periodes langer dan tien jaar.

De voorliggende studie geeft op basis van metingen inzicht in de kenmerken van het beheergebied in relatie tot de waterkwaliteit, en kan zo sturing geven aan de inzet van agrarische maatregelen. De grootste impact van agrarische maatregelen is te realiseren voor stikstof en niet voor fosfaat. Dit omdat de belangrijkste

sturende variabelen voor fosfaat vooral liggen in het bodem- en watersysteem zoals deze vanuit het moedermateriaal is gevormd en zoals deze wordt beheerd via sloot(kant)onderhoud, peilbeheer en ontwatering. Wel is het mogelijk om via goed bodembeheer de retentie van water en nutriënten in de bodem te verhogen, als wel de gewasopname. Het gaat hierbij concreet om maatregelen die bodemverdichting, verslemping en verstuiving voorkomen (dan wel te genezen) als wel om maatregelen die de bindingscapaciteit en biodiversiteit van de bodem vergroten. Ook mitigerende maatregelen als inzet van groenbemesters, en een optimale gewasopvolging binnen de rotatie zijn cruciaal om de bodem te verbeteren én de nutriëntenverliezen te voorkomen. Hierbij wordt tevens opgemerkt dat effecten van maatregelen eerder zichtbaar zijn voor stikstof dan voor fosfor. De bodem in vrijwel het hele beheergebied is rijk aan fosfaat. De grootste verliezen treden op via ondiepe uitspoeling en oppervlakkige afvoer. Brongerichte maatregelen voor fosfor zijn binnen het huidige mestbeleid maar matig effectief. Sturing op het transport van uitspoelend fosfor (dus meer waterberging in de bodem, dan wel afvangen in akkerranden) dan wel de retentie in de sloot (via slootbeheer) is in de praktijk effectiever dan vermindering van mestgiften. Sturing van mest op basis van de daadwerkelijke P-buffering van de bodem (zoals verwerkt in de recente bemestingsadviezen) kan in potentie zorgen voor lagere uitspoelingsrisico's naar het oppervlaktewater, maar zijn als zodanig nog niet beproefd.

Naast verbetering van de bodem is in veel peilgebieden sturing mogelijk op lagere N-emissies via precisiebemesting en landgebruik. Op grasland zijn er twee momenten waarop verliezen optreden, en wel in het vroege voorjaar én de late nazomer. Door rekening te houden met het weer en de draagkracht van de bodem, kunnen onnodige verliezen naar het watersysteem worden voorkomen. Onder grasland zijn overigens de verliezen minimaal, en het risico op N- en P-verliezen neemt toe van gras naar granen, mais en naar rooivruchten. Fosfaat wordt in de praktijk in de akkerbouw eenmalig toegediend en wel voor de teelt, zodat er weinig mogelijkheden zijn om bij te sturen gedurende het seizoen. Voor stikstof zijn er diverse bijmestsystemen beschikbaar om ook gedurende het seizoen de N-gift af te stemmen op de gewasbehoefte.

7.3 Aanbevelingen

Op basis van deze studie wordt het volgende aanbevolen:

- Gebruik de gemaakte schattingen van de N- en P-concentraties in de polders / peilgebieden om zo een nutriëntenbalans van de boezem te verfijnen, en de bijdrage vanuit het landelijk gebied te vergelijken met de aanvoer via andere bronnen. Op het moment dat een sluitende waterbalans gemaakt kan worden voor de boezem, kan er ook een terugkoppeling plaatsvinden om de huidige analyse – die gericht is op concentraties – te verbreden richting vrachten. Dit betekent overigens ook een verbreding van focus naar de winterperiode en het vergroten van het inzicht rondom retentie van stikstof en fosfor in het watersysteem.
- De huidige studie focust zich op langjarige trends en zomergemiddelde concentraties. Dit betekent ook dat een eventueel effect van duurzaam agrarisch bodembeheer op het voorkomen van piekevents (de zogenoemde *hot moments*) in de huidige analyse onderbelicht zijn. Een eerste analyse van de tijdseries voor stikstof en fosfor suggereren dat de fluctuaties binnen het jaar als gevolg van “random fluctuaties” (dat wil zeggen niet verklaarbaar door meerjarige trends of seizoensvariatie) kleiner worden en dat het voorkomen van deze *hot moments* willekeurig over het jaar zijn verdeeld.
- De huidige analyse integreert alle gegevens op het niveau van een polder dan wel peilgebied. Dat betekent ook dat de aanwezige variatie binnen deze ruimtelijke eenheid niet wordt meegenomen. Voor de vertaalslag naar effectieve maatregelen is het zinvol om een aantal deelgebieden te selecteren waarvoor in detail een water- en stoffenbalans kan worden opgesteld en gericht gestuurd kan worden op maximale benutting van nutriënten op de landbouwbodem en maximale retentie in

het watersysteem. Het is aan te bevelen om hierbij ook een gebied te kiezen waar een groot deel van het jaar veel watervogels aanwezig zijn, om zo meer grip te krijgen op de bijdrage van deze bron aan de kwaliteit van het watersysteem.

- Een ontbrekende factor in de huidige gebiedsanalyses is de invloed van overstorten. In de huidige analyse is alleen meegenomen of er overstorten aanwezig zijn in een peilgebied, en zo ja hoeveel, maar er zijn verder geen gegevens voorhanden van de hoeveelheid water dat geloosd wordt dan wel van de concentraties van stikstof en fosfor in het water.
- Recente inzichten in het gedrag van fosfaat in de bodem suggereren dat het chemisch evenwicht te beïnvloeden is door de hoeveelheid en het type bemesting dat plaatsvindt. Het bemestingsadvies voor grasland en mais (de belangrijkste gewassen in Friesland) is daarop al voorbereid. In het mestbeleid wordt de aangepaste meetmethodiek ook opgenomen vanaf 2021. Onduidelijk is nog in welke mate deze aanpassing tot daadwerkelijk lagere emissies zal leiden, en zo ja onder welke omstandigheden een verschuiving van het chemisch evenwicht in de bodem ook te realiseren is. Het is aan te bevelen om te kijken binnen welke grenzen van P-buffering het mogelijk is om een maximale gewasproductie te combineren met een lage P-concentratie in het bodemvocht.
- De inrichting van de sloten en het beheer ervan zijn twee van de belangrijkste gebiedskenmerken die van invloed zijn op de P-concentratie in de watergang. Het is aan te bevelen om dit inzicht gericht experimenteel te toetsen om zo ook inzicht te krijgen in het potentiële effect ervan, het handelingsperspectief van deze maatregelen voor waterbeheerders en landgebruikers. Ook is het belangrijk om zicht te krijgen op eventueel aanwezige afwenteling naar opvolgende seizoenen of jaren.
- Dit onderzoek geeft aanwijzingen dat snelle transportroutes een belangrijke route zijn waarlangs stikstof- en fosfaatverliezen optreden. Dit wordt bevestigd door de modelstudie van Van Boekel et al. (2016). Aanbevolen wordt om dit in de praktijk te toetsen in welke mate oppervlakkige afspoeling daadwerkelijk optreedt na periodes van intensieve neerslag. Als deze transportroute inderdaad relevant is, dan kan met intensieve buisdrainage en een aangepaste perceelsligging een deel van de afspoeling/ maaiveldrainage worden verminderd.
- In het beheergebied komen op diverse meetpunten hoge ammoniumconcentraties voor tot boven de maximale norm voor toxische effecten. Vergelijkbare observaties worden ook bij andere waterschappen gedaan. Het is vooralsnog onduidelijk waar deze ammonium vandaan komt. Dit is een kennisleemte waarnaar extra onderzoek nodig is, qua verspreiding en qua relevantie voor de ontwikkeling van de plantengemeenschappen in de watergangen

Referenties

- Breiman L (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32.
- De Fouw J & RMG van der Hut (2018) Effecten van ganzen in Friese natuurgebieden. A&W rapport 2335, 54 pp.
- De Leeuw C & ML Meijer (2003). Proefgebieden herstel zoet-zout overgangen in Noord-Nederland. Een beschrijving van 18 projecten. Rapport RIKZ/2003.010, 104 pp.
- De Vries W, Kros H, Voogd JC, van Duijvendijk K en GH Ros (2018). Kansen voor het sluiten van de mineralenbalans in Noord-Nederland, WenR-rapport, 74 pp.
- Emissieregistratie (2016). Uit en afspoeling van nutriënten door landbouw- en natuurbodems. Emissieschattingen Diffuse bronnen, EmissieRegistratie, 9 pp.
- Friedman JH (2001). Greedy function machine: A gradient boosting machine. *The Annals of Statistics*, 29(5), 1189–1232.
- Groenendijk et al. (2016). Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren. WenR-rapport 2749, 150 pp.
- Groenendijk et al. (2017). Effecten van verbetering bodemkwaliteit op waterhuishouding en waterkwaliteit. WenR rapport 2811, 132 pp.
- Groenendijk et al. (2017). Milieueffectrapportage van maatregelen zesde Actieprogramma Nitraatrichtlijn; op Planniveau, WenR-rapport 2842, 110 pp.
- Molnar C (2018). *Interpretable Machine Learning. A guide for Making Black Box Models Explainable*. Open source publicatie, beschikbaar via <https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/>
- Reijneveld A (2013). *Unravelling changes in soil fertility of agricultural land in the Netherlands*, PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, 240 pp.
- Renaud LV, Bonten LTC, Groenendijk P & BJ Groenberg (2015). Berekening van uit- en afspoeling van nutriënten- en zware metalen ten behoeve van de EmissieRegistratie 2013. Alterra-rapport 2638.
- Ros GH (2018). QuickScan bronnen NP-belasting Vechtstromen. NMI-rapport 1589.N17.26, 19 pp.
- Ros et al. (2018) Advies nutriëntensie Rijn-Oost. Inventarisatie van knelpunten en oplossingen. NMI-rapport 1589.N18.21, 33 pp.
- Ros GH, Kros H, van Vliet P & K van Duijvendijk (2018). Kwantificering nutriëntensituatie van de bodem in het beheergebied van Wetterskip Fryslân. NMI-rapport 1708.N.17, 25 pp.
- Rozemeijer et al. (2016) Expertbeoordeling van landbouwmaatregelen voor oppervlaktewaterkwaliteit. H2O / 28 november 2016, 6 pp.
- Rozemeijer et al. (2018) Monitoring voor een gebiedsgerichte aanpak van nutriënten. *Water Matters* juni 2018, 4 pp.
- STOWA (2015). *Ecologische sleutelfactoren in het kort*. STOWA-rapportnummer 2015-31.
- Rozemeijer J, Klein J, van der Grift B & A Hooijboer (2017). Trends waterkwaliteit in het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Update tot en met 2016. Deltares rapport 11200271-000.
- Van Boekel EMPM, Groenendijk P & LV Renaud (2016). Bronnen van nutriënten in het oppervlaktewater in het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Alterra rapport 2727, 52 pp.
- Van den Akker et al. (2012). Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied in kaart. Alterra-rapport 2409, 80 pp.
- Van der Veer G, Vriend SP, Van Gaans PFM, Klaver GTh & BJJ Van Os (2006). Appendix III: Geochemical atlas of the soils and their parent material in the Netherlands, digital version 1.1. In: Van der Veer G (2006). *Geochemical soil survey of the Netherlands. Atlas of major and trace elements in topsoil and parent material; assessment of natural and anthropogenic enrichment factors*. Netherlands Geographical Studies 347, 248 pp.

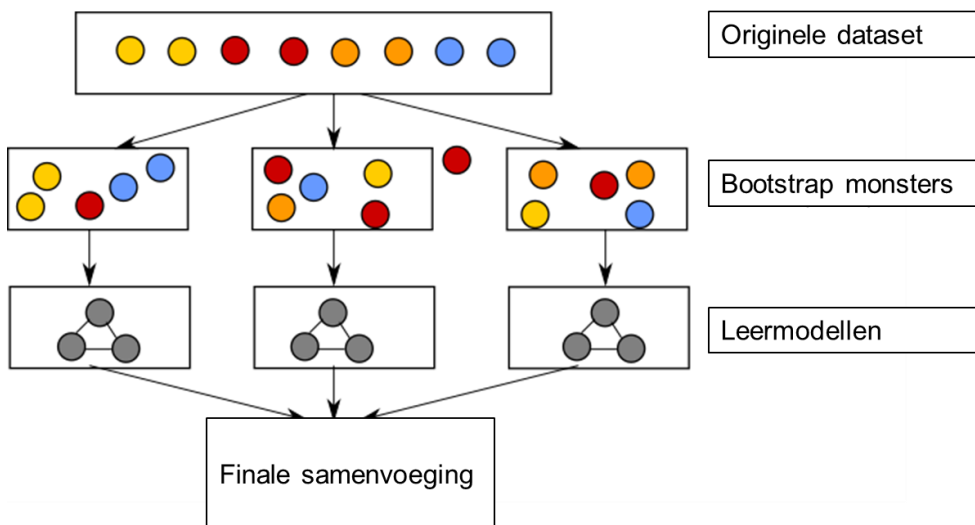
- Van Grinsven, JJM, A Tiktak & CW Rougoor (2016). Evaluation of the Dutch implementation of the nitrates directive, the water framework directive and the national emission ceilings directive, NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, Vol 78, Pages 69-84.
- Van Grinsven H & Bleeker A (2017). Evaluatie Meststoffenwet 2016: syntheserapport. PBL-rapport 2258, 196 pp.
- Velthof et al. (2018). Wettelijk instrumentarium voor landbouwmaatregelen om waterkwaliteit te verbeteren. Realisatie van nutriëntendoelstellingen uit de Kaderrichtlijn Water. WOt-rapport 129, 118 pp.
- Westerhof et al. (2016). Nutriënten op hun plek. Arrangementen van waarde voor voedselproductie, bodem en water. ORG-ID, 71 pp.

Bijlage A. Toelichting Machine Learning Algoritmes

Algemene introductie

Machine Learning (ML) is een wetenschappelijke discipline om patronen in grote hoeveelheden data te vinden. Deze patronen vormen de basis voor een voorspellend algoritme (wiskundig model). Met data uit het verleden wordt een model getraind om voor de toekomst voorspellingen te doen. *Machine learning* wordt heel veel toegepast. Het succes van ML berust op de combinatie van geavanceerde algoritmes, grote hoeveelheden data en snelle computers. Er is een breed scala aan *machine learning* algoritmen maar algoritmen die het goed doen (in vergelijking tot klassieke regressie modellen) zijn *Random Forest*, *Gradient Boosted Trees* en neurale netwerken (Fernandez-Delgado et al., 2014, Fawagreh et al., 2014, Olsen et al., 2017). De eerste twee methodieken gebruiken ensembles van *decision trees* (beslisbomen).

Random Forest is een algoritme dat gebruik maakt van meerdere beslisbomen om een zo goed mogelijke voorspelling te maken. Tijdens de training van een beslisboom wordt de data opgesplitst in clusters die zoveel mogelijk gelijke waarden voor de variabelen hebben. Elke split zoekt een verklarende variabele met een waarde die de data zo sterk mogelijk opsplijst. Als er meerdere van die splits achter elkaar worden gemaakt, ontstaat er zo een boomstructuur. Wanneer de data niet verder kunnen of mogen worden opgesplitst dan is er een eindpunt (ook wel node genoemd). Het trainen van een beslisboom komt in principe neer op het vinden van de optimale drempelwaarde op elk knooppunt om de meetgegevens op te splitsen (Figuur A.1). Als er een voorspelling wordt gedaan, dan volgen de nieuwe data de splits tot het een node bereikt. De voorspelling voor de nieuwe observatie is dan het gemiddelde van de observaties uit de trainingsdata in dat eindpunt. Om de nauwkeurigheid van een beslisboom te verhogen is het mogelijk om op dezelfde dataset van metingen meerdere beslisbomen te trainen en deze te combineren. Dit is wat een *Random Forest* doet. Een *Random Forest* traint meerdere beslisbomen, waarbij voor elke split een willekeurige fractie van de verklarende variabelen bekeken. Hierdoor ontstaat er variatie tussen de verschillende beslisbomen. De nauwkeurigheid van een individuele beslisboom uit een *Random Forest* is dan lager dan “complete” individuele beslisboom, maar de gemiddelde voorspelling gecombineerd uit de meerdere beslisbomen is daarentegen beter dan de individuele “complete” beslisboom. Algoritmes gebaseerd op ensembles van beslisbomen zijn daarom uitermate goed in het vinden van niet lineaire patronen en zijn ook eenvoudig te interpreteren.



Figuur A1. Schematische weergave van de werking van Random Forest.

Gradient Boosted Trees is een algoritme dat ook gebruik maakt van meerdere beslisbomen, maar in tegenstelling tot *Random Forest* worden de beslisbomen “achter elkaar” getraind met een fractie van de observaties uit de trainingsdata. Deze fractie is niet willekeurig, maar heeft een voorkeur voor observaties, waarbij in de vorige beslisboom in de training de voorspelling een grote fout heeft. Hierdoor stijgt de nauwkeurigheid van het model met het toevoegen meer beslisbomen. Het nadeel van het gebruik complexe algoritmes is dat deze over het algemeen meer data nodig hebben en moeilijker te interpreteren zijn. Voor meer achtergrond informatie over deze algoritmes wordt verwezen naar James et al. (2013), Chen et al. (2016), Friedman (2001) en Breiman (2001).

De te verkrijgen modelparameters zijn mede afhankelijk van een ander soort parameters (hyperparameters) die hogere eigenschappen van het model uitdrukken zoals de complexiteit, hoe snel het model moet leren, het aantal “bladeren” en de “diepte” van de beslisboom. *Random Forest* en *XGBoost* hebben elk een aantal verschillende hyperparameters.

Toepassing in deze studie

Voor deze studie is gericht gekeken naar gebiedskenmerken die samenhangen met de variatie in de jaargemiddelde zomerconcentraties van totaal-N en totaal-P in het oppervlaktewater. Om te weten te komen of het model de juiste patronen vindt, is het van belang het model te valideren. ML-modellen zoals *Gradient Boosted Trees* zijn namelijk erg flexibel en kunnen met de verkeerde configuratie zorgen voor een overfitting waardoor het model heel goed in staat is om individuele peilgebieden en maanden te herkennen, maar slecht in staat is om inzicht te geven in de onderliggende generieke verbanden. Juist deze verbanden zijn zinvol omdat die inzicht kunnen geven in sturende factoren voor de waterkwaliteit. Om dit probleem te voorkomen, is het belangrijk om de modellen te valideren op een onafhankelijke dataset.

Voor de huidige studie worden twee validatietechnieken gebruikt: allereerst wordt een 10-voudige kruisvalidatie toegepast én de dataset wordt daarnaast gesplitst in een trainingstest (met alle gegevens van voor 2012) en een validatieset (met alle gegevens van na 2012). Bij de kruisvalidatie worden alle beschikbare gegevens willekeurig verdeeld in tien groepen. De modellen om de N- en P-concentratie in het oppervlaktewater te beschrijven worden vervolgens tien keer getraind, met steeds negen groepen in de training en één groep voor de validatie. Hierna worden de resultaten van deze trainingssessies gemiddeld. De tweede validatie is uitgevoerd op een volledig onafhankelijke dataset als een extra controle.

Aangezien *machine learning* modellen zogenoemde ‘black boxes’ zijn, kan er niet eenvoudig “in het model” gekeken worden wat er precies gebeurt. Daarom zijn er verschillende methodes ontwikkeld om machine learning modellen te interpreteren (Molnar, 2018). Dit kan op twee niveaus: globaal en lokaal. Een globale interpretatie brengt in beeld welke metingen of factoren relevant zijn om over het hele beheergebied de variatie in N- en P-concentraties in het oppervlaktewater te verklaren. Hierbij kan per factor aanvullend in beeld gebracht worden hoe de voorspelde N- en P-concentratie afhangt van de meegenomen gebiedskenmerken. In elk peilgebied kunnen echter bijzondere omstandigheden voorkomen waarbij één of meerdere factoren een hele grote invloed hebben op de nutriëntenconcentraties. Denk bijvoorbeeld aan een rioolwaterzuiveringsinstallatie of lokale ijzerrijke kwel die de concentraties in één peilgebied kunnen beïnvloeden. Om dit te analyseren kan per peilgebied inzicht worden gegeven in de meest sturende factoren voor de nutriëntenconcentraties door gebruik te maken van een “Shapley-analyse” (Molnar, 2018). Deze Shapley-waarden laten zien welke variabelen het meeste effect hebben op de voorspelde concentratie ten opzichte van de gemiddelde voorspelling voor alle andere peilgebieden. Voor een uitgebreide theoretische afleiding en onderbouwing van deze analyse, verwijzen we graag naar de publicatie *Interpretable Machine Learning* van

Molnar (2018).

Voor clustering van gebiedskenmerken is gebruik gemaakt van een het *k-Nearest Neighbour* algoritme (kNN). kNN is een veel gebruikte en robuuste (niet-parametrische) machine learning techniek die wordt gebruikt voor classificatie en regressie. Hierbij maakt het algoritme gebruik van een aantal (gedefinieerd als k) meest dichtbijgelegen punten in de multivariate ruimte. De optimale keuze voor k is voor iedere data set anders, maar in algemene zin is het zo dat lage waardes voor k leiden tot meer grillige grenzen van de groepen, terwijl hogere waardes voor k leiden tot meer afgeronde grenzen van de groepen. kNN clustering is een “supervised” techniek waarbij het aantal groepen en de groepenindeling van de data punten vooraf bekend is.

Alle analyses zijn uitgevoerd in het opensource programma R, gebruik makend van o.a. packages mlr, AgroEye, DALEX, sf en data.table. De gebruikte scripts voor zowel de statische analyse als het maken van figuren als bijbehorende databases zijn (voor zover niet vertrouwelijk) opvraagbaar bij de auteurs van dit rapport.

Bijlage B. Toelichting Agronomische Bedrijfsanalyse

Voor de mineralenbalans wordt de aanvoer van stikstof, fosfaat, kalium, zwavel, calcium, magnesium en organische stof op bedrijfsniveau vergeleken met de gewenste agronomische behoefte aan nutriënten en de behoefte om het organische stofgehalte op peil te houden. Dit geeft een beeld van de huidige en gewenste bemestingspraktijk om het productiepotentieel van de bodem te benutten. Om de gewenste bemestingspraktijk in beeld te brengen, wordt gebruik gemaakt van bodemgegevens uit het agrarische meetnet en het bouwplan, omdat beide invloed hebben op de gewasproductie en gewasopname van N en P.

De landbouwkundige behoefte aan mineralen is in kaart gebracht door gebruik te maken van het landbouwkundig bemestingsadvies, met uitzondering van stikstof. Voor werkzame stikstof (dat wil zeggen de stikstof die ook daadwerkelijk opgenomen kan worden door het gewas) ligt de hoeveelheid die agrariërs aan hun gewassen mogen geven namelijk lager dan wat er agronomisch gewenst is. Dit is het gevolg van het huidige bemestingsbeleid waarbij de gewenste stikstofgift is gedefinieerd als die gift waarbij de uitspoeling naar het grondwater niet hoger mag zijn dan 50 mg NO₃ per liter. Voor een optimale gewasgroei zou voor meerdere gewassen, en in het bijzonder voor grasland, een hogere werkzame N-gift gewenst zijn. De verliezen die desondanks optreden zijn binnen de huidige bemestingspraktijk en mestwetgeving in zeker zin daardoor onvermijdelijk.

De adviezen die in deze studie gebruikt zijn, worden kort samengevat in Tabel 2.2, waarbij voor elk nutriënt aangegeven wordt welke factoren van invloed zijn op de agronomisch gewenste mestgift, en waar deze informatie is terug te vinden in het in Nederland geldende bemestingsadvies.

Tabel 2.2. Gebruikte systematiek om agronomische behoefte aan nutriënten te kwantificeren.

	Grasland	Mais	Overig bouwland
N	N-gift conform gebruiksnorm	N-gift conform gebruiksnorm	N-gift conform gebruiksnorm
P	P-gift snede 1 afhankelijk van PAL en PAE. Overige sneden afhankelijk van PAL. AB tabel 2.10 en 2.11.	P-gift afh. van PAL en PAE en gewasonttrekking. AB tabel 3.7 en 3.8.	Maximum van gewas- en bodemadvies. P-gift afh. van Pw, gewasgroep en grondsoort. AB tabel 3.3 en 3.4.
K	K-gift afh. van CEC en K-beschikbaar. Per snede ander advies. AB tabel 2.16.	K-gift afh. van K-getal, organische stof, en grondsoort. Max. van gewas- en bodemadvies. AB tabel 3.11 tot 3.14.	K-gift afh. van K-getal, organische stof, en grondsoort. Max. van gewas- en bodemadvies. AB tabel 4.1 tot 4.8.
S	S-gift afh. van S-leverend vermogen en grondsoort, waarbij SLV wordt geschat via S-totaal en dichtheid. AB tabel 2.19.	S-gift afh. van S-leverend vermogen en productievermogen. AB tabel 3.20.	S-gift afh. van S-leverend vermogen, grondsoort en gewasgroep. AB tabel 6.3.
Mg	Mg-gift afh. van MgO-gehalte en grondsoort. AB tabel 2.30, eerste jaar.	Mg-gift afh. van MgO-gehalte en grondsoort. AB tabel 3.15.	Mg-gift afh. van MgO-gehalte, grondsoort en kleigehalte. AB tabel 6.1 en 6.2
Kalk	Kalkgift afh. van kleigehalte, pH en organische stof. AB tabel 1.21 tot 1.26.	Idem als grasland. AB tabel 3.1 tot 3.4.	Kalkgift afh. van bouwplan, pH, grondsoort en kleigehalte. AB tabel 5.1 tot 5.13.

* AB staat voor Adviesbasis

De adviezen zijn afkomstig uit twee bronnen: de adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen' (Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 2018) en de adviesbasis bemesting van de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, 2017). Een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte methode wordt gegeven in de publicatie van de Vries et al. (2018). Daarom wordt hier slechts een korte samenvatting gegeven van de gebruikte methodiek.

Om de natuurlijke bodemvruchtbaarheid op lange termijn in stand te houden heeft de bodem behoefte aan organische stof en nutriënten. In de praktijk krijgen percelen daarom vaak een combinatie van dierlijke mest en kunstmest. De bemestingsgift over percelen is in kaart gebracht met de mestverdelingsmodule uit het regionale nutriëntenmodel INITIATOR (Ros et al., 2017; de Vries et al., 2018). Per perceel is daardoor de aanvoer van nutriënten bekend voor de bronnen dierlijke mest, kunstmest, compost als ook de levering van nutriënten via mineralisatie vanuit bodem en gewasresten. De landbouwkundige/ agronomische behoefte aan mineralen is in kaart gebracht door gebruik te maken van het landbouwkundig bemestingsadvies, met uitzondering van stikstof. Voor werkzame stikstof (dat wil zeggen de stikstof die ook daadwerkelijk opgenomen kan worden door het gewas) ligt de hoeveelheid die agrariërs aan hun gewassen mogen geven namelijk lager dan wat er agronomisch gewenst is. Dit is het gevolg van het huidige bemestingsbeleid waarbij de gewenste stikstofgift is gedefinieerd als die gift waarbij de uitspoeling naar het grondwater niet hoger mag zijn dan 50 mg NO₃ per liter. Voor een optimale gewasgroei zou voor meerdere gewassen, en in het bijzonder voor grasland, een hogere werkzame N-gift gewenst zijn. De verliezen die desondanks optreden zijn binnen de huidige bemestingspraktijk en mestwetgeving in zeker zin daardoor onvermijdelijk.

In deze studie zijn de volgende aannames gedaan voor de agronomische behoefte van grasland:

- Op bedrijven zonder derogatie mag maximaal 170 kg N ha⁻¹ aan dierlijke mest worden toegediend. Als derogatie is aangevraagd, mag tot 250 kg N ha⁻¹ aan dierlijke mest worden toegediend. Ongeveer 10 tot 80% van de stikstof in organische meststoffen zoals compost en drijfmest is ook daadwerkelijk beschikbaar voor gewasopname. De werkzaamheid van organische meststoffen is wettelijk vastgelegd door middel van de werkingscoëfficiënt en deze varieert van 10% tot 80% ten opzichte van de werking van kunstmest (deze is per definitie op 100% gesteld). Voor vaste dierlijke meststoffen gelden waarden tussen 30 en 60%. Voor dunne dierlijke mest liggen de waarden tussen 45 en 80%. Omdat een deel van de gegeven stikstof uit dierlijke mest niet beschikbaar is voor gewassen, is er in Nederland ook een norm voor de hoeveelheid werkzame stikstof dat mag worden bemest. De gebruiksnorm voor werkzame N varieert tussen 250 en 385 kg N-werkzaam ha⁻¹ afhankelijk van grondsoort en het graslandgebruik (wel/ geen beweiding). Op bedrijfsniveau moet aan beide normen worden voldaan, dus zowel aan de norm voor dierlijk mest als de norm voor werkzame stikstof.
- De gewenste bemesting met fosfaat, kalium, zwavel, en magnesium is gebaseerd op het bemestingsadvies voor grasland zonder klaver. Voor het P-advies gaan we uit van een maaipercantage van 260% (dat wil zeggen dat elk grasland perceel gemiddeld 2,6 keer gemaaid wordt) met voor elke snede een minimale opbrengst van 2,5 ton droge stof per hectare. Voor het kaliumadvies nemen we aan dat de eerste snede gemaaid wordt bij een opbrengst van 3,5 ton droge stof per hectare. Voor de overige sneden wordt uitgegaan van een opbrengst groter dan 2,0 ton droge stof per hectare. Zwavel wordt alleen bemest voor de eerste twee sneden conform het bemestingsadvies. De Mg-gift wordt berekend als het gemiddelde vijfjarig advies (het eerste jaar na grondbemonstering krijgt namelijk een ander advies dan de opvolgende jaren).

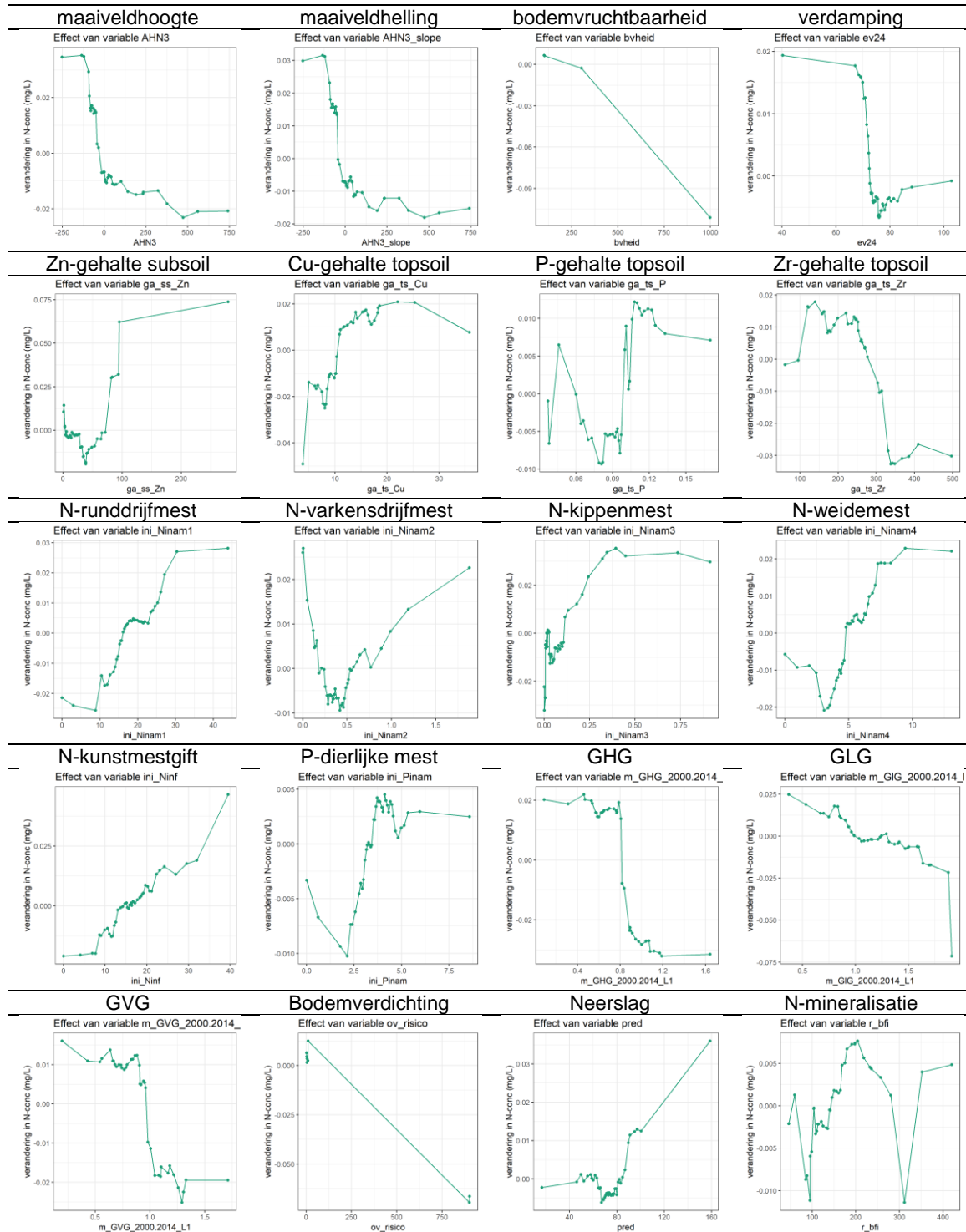
Voor mais en overige akkerbouwgewassen zijn de volgende aannames gedaan:

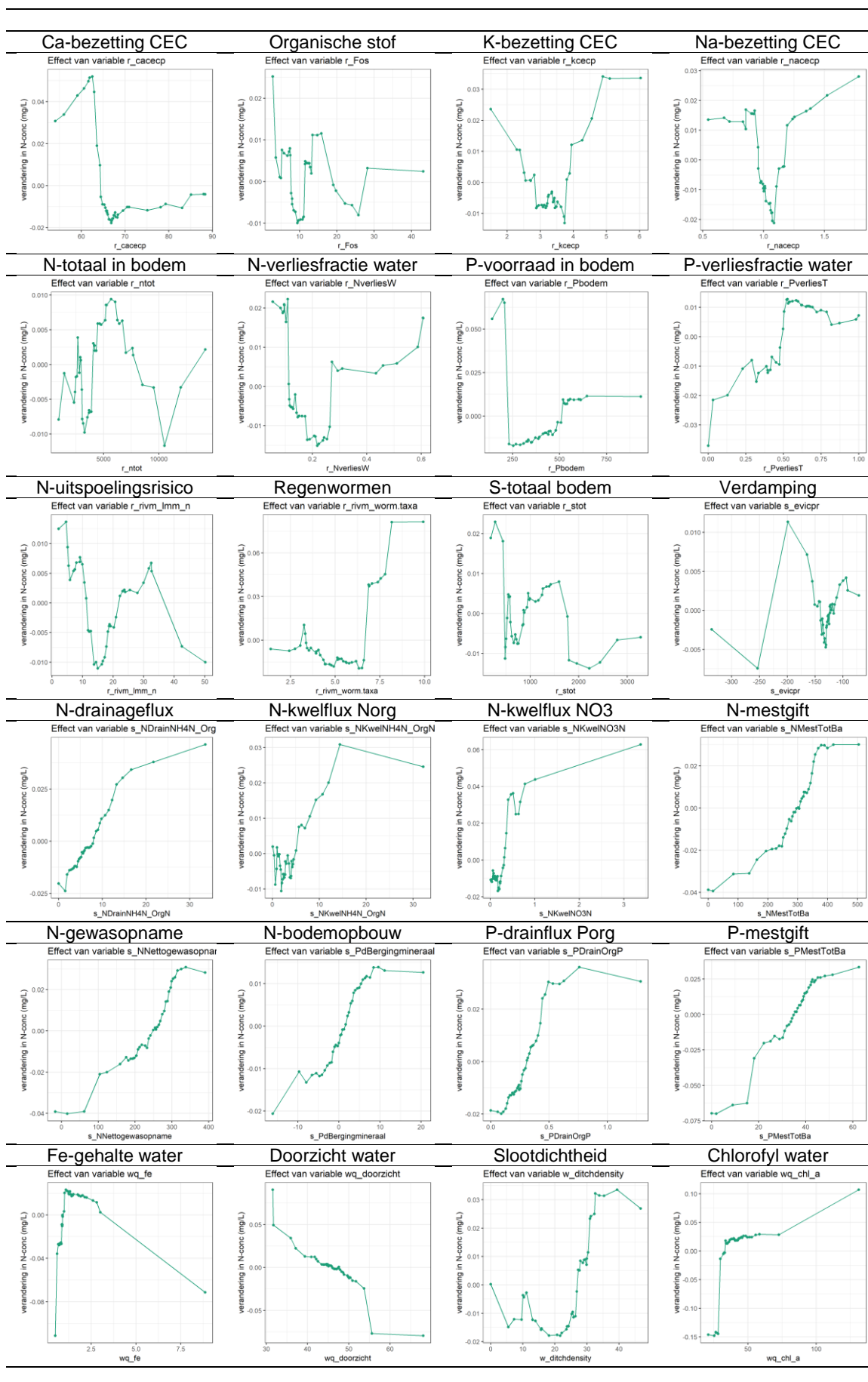
- De gebruiksnorm voor aanvoer van stikstof uit dierlijke mest is berekend aan de hand van de derogatiefractie per gemeente. Bij niet-derogatiebedrijven is de aanvoer gemaximaliseerd op 170 kg N ha⁻¹. De aanvoer van werkzame N varieert van 140 tot 275 kg N-werkzaam ha⁻¹ afhankelijk van gewas en grondsoort. Het fosfaatadvies bevat een gewas- en een bodemcomponent en is in het geval van extreem arme gronden gemaximaliseerd op een P-gift van 500 kg P₂O₅ ha⁻¹, een situatie die in de praktijk vrijwel niet voorkomt. Voor overige akkerbouwgewassen wordt eenzelfde systematiek gevolgd als voor mais, waarbij rekening wordt gehouden met de fosfaatbehoefte van de aanwezige gewassen.
- Het kaliumadvies is gebaseerd op het K-getal van de bodem waarbij voor mais gebruik wordt gemaakt van het advies voor mais in vruchtwisseling. Voor het zwaveladvies bij mais is uitgegaan van een gemiddeld productievermogen van 14-18 ton droge stof ha⁻¹. Het Mg-advies is gebaseerd op het gemiddelde advies voor 5 jaren.

Het bemestingsadvies geeft aan hoeveel *werkzame* nutriënten moet worden aangevoerd. Omdat een deel van de nutriënten in dierlijke mest en organische producten als compost slechts na afbraak van de organische stof beschikbaar komen, wordt de berekende aanvoer hiervoor gecorrigeerd (de zogenoemde werkingscoëfficiënt). In deze studie is aangenomen dat percelen frequent dierlijke mest krijgen: de werking van de toegediende fosfaat uit dierlijke mest wordt daarom geschat op 100%. De K-beschikbaarheid uit dierlijke mest is hoog en wordt ook geschat op 100%. De werkingscoëfficiënt voor zwavel is 20%, voor magnesium 25% en voor calcium 50%. De werkzaamheid van N hangt af van het type dierlijke mest, en wordt geschat op basis van de werkingscoëfficiënten: op jaarbasis varieert deze tussen de 45 en 80% van de totale aanvoer van N (Adviesbasis, 2018).

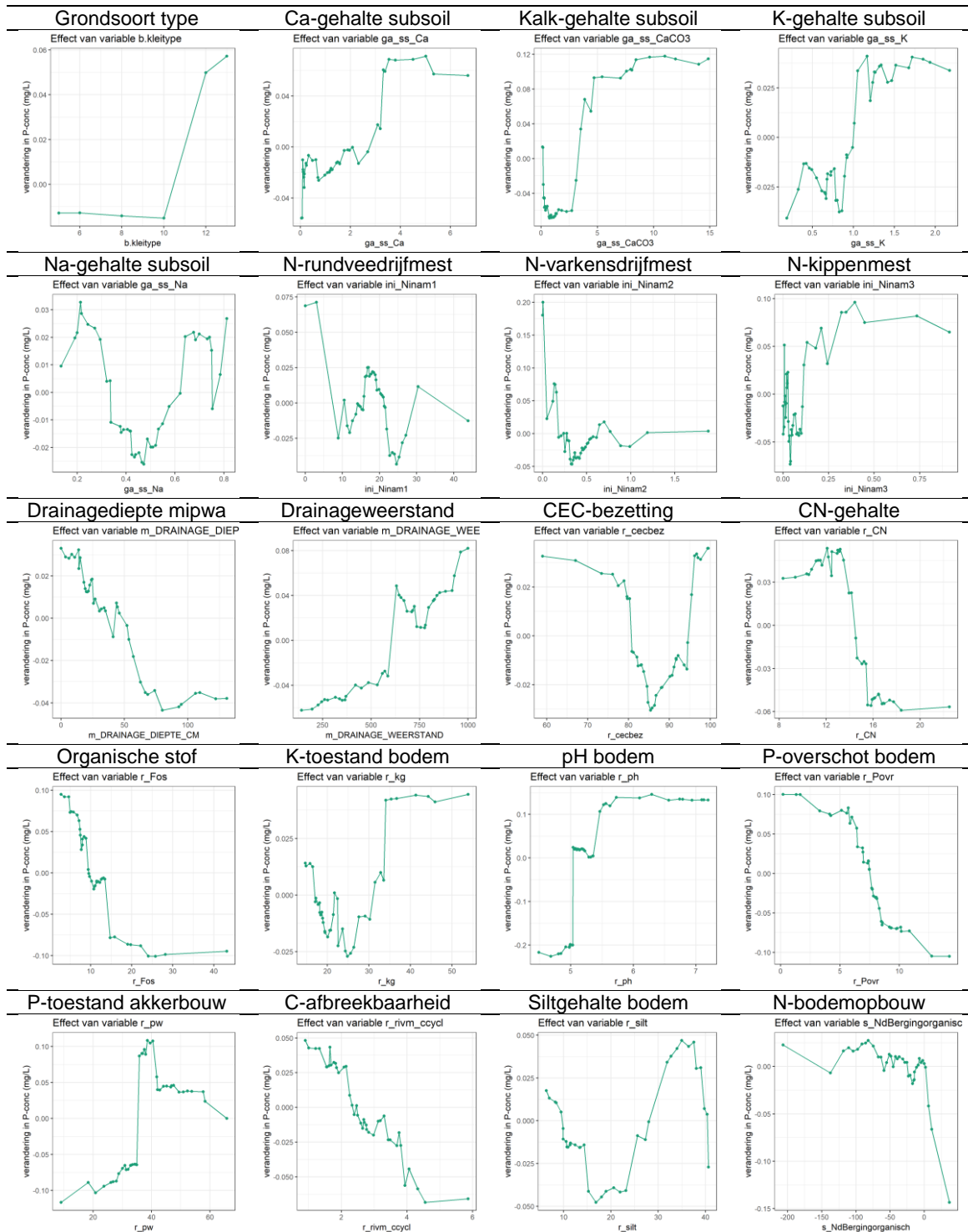
Bijlage C. Effect gebiedskenmerken op waterkwaliteit

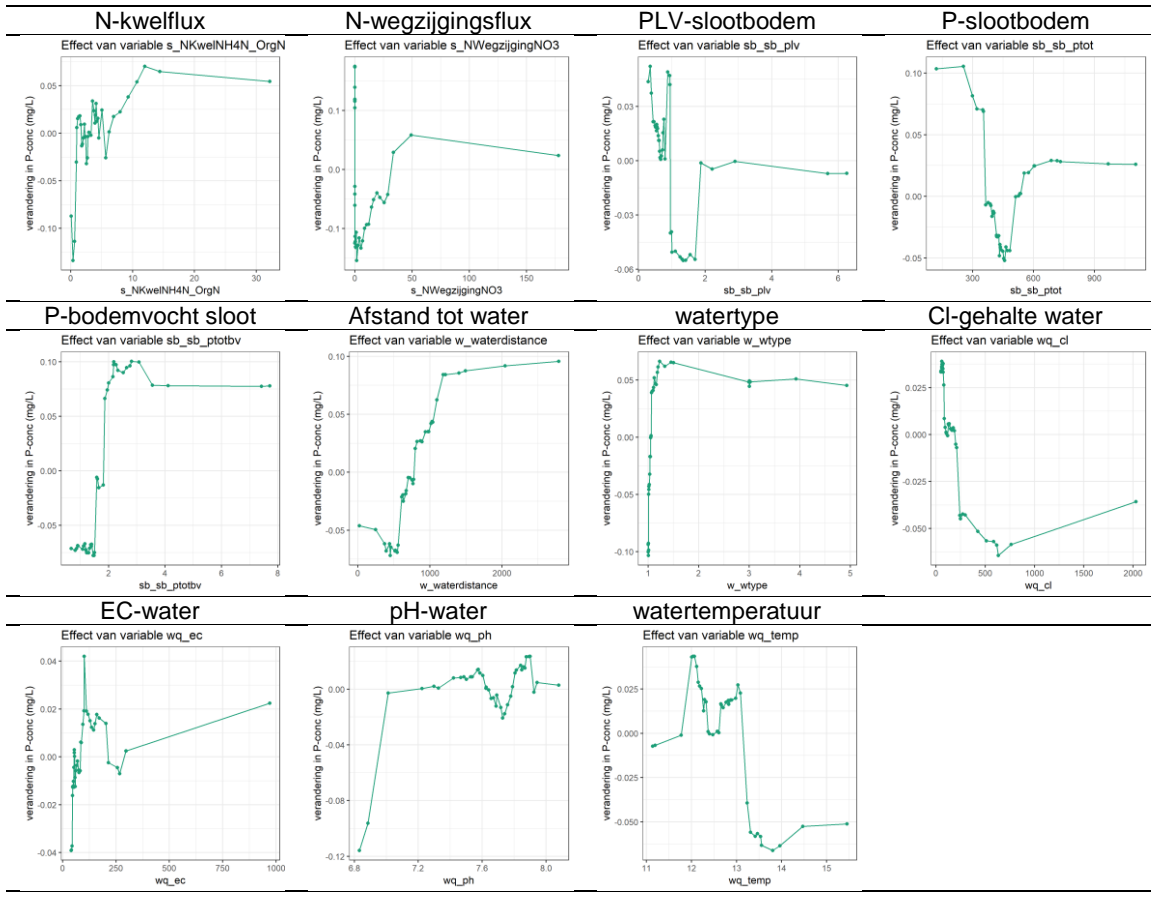
Effect van gebiedskenmerken op de zomergemiddelde N-concentratie in het oppervlaktewater





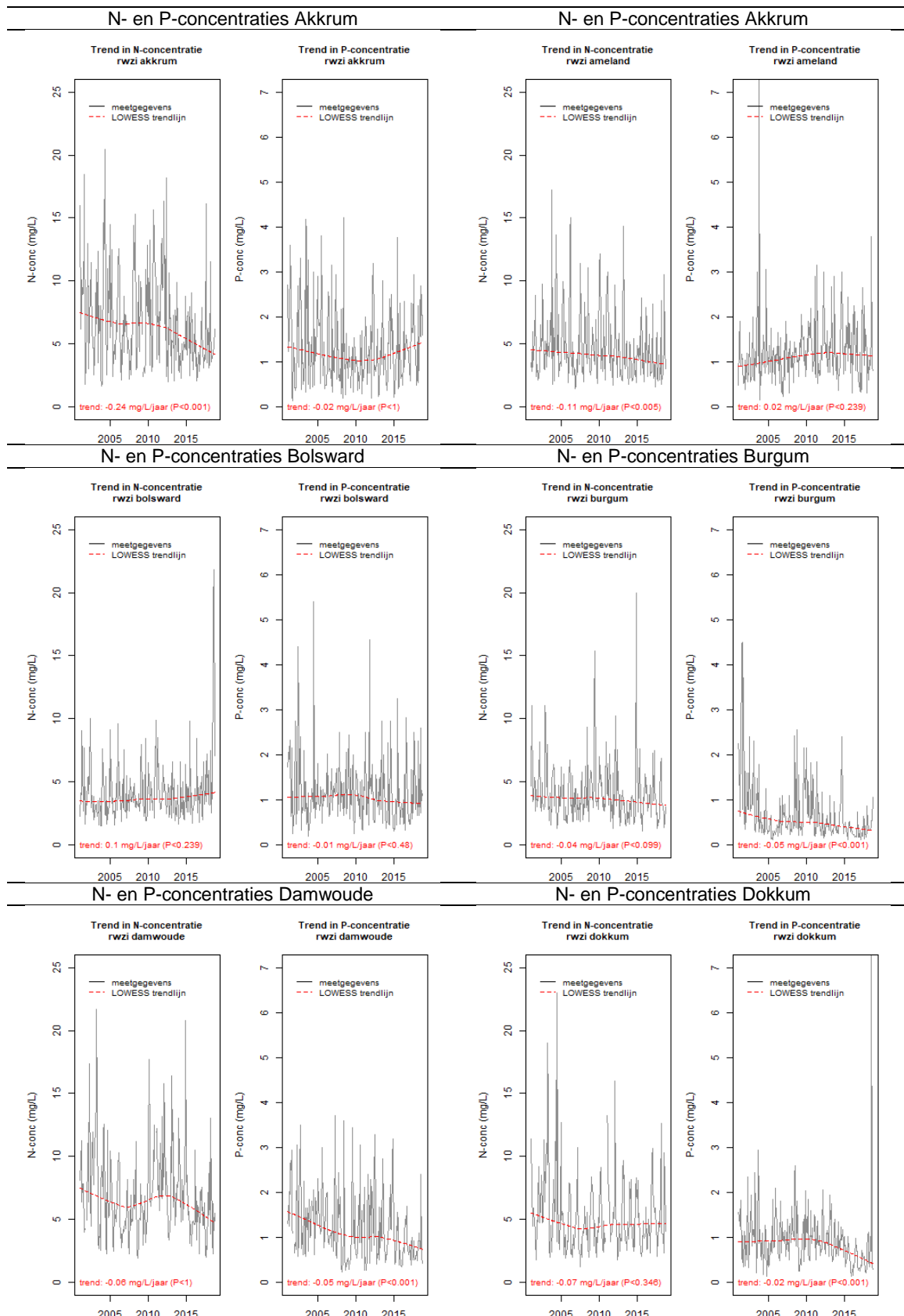
Effect van gebiedskenmerken op de zomergemiddelde P-concentratie in het oppervlaktewater
(selectie van de meest relevante gebiedskenmerken)

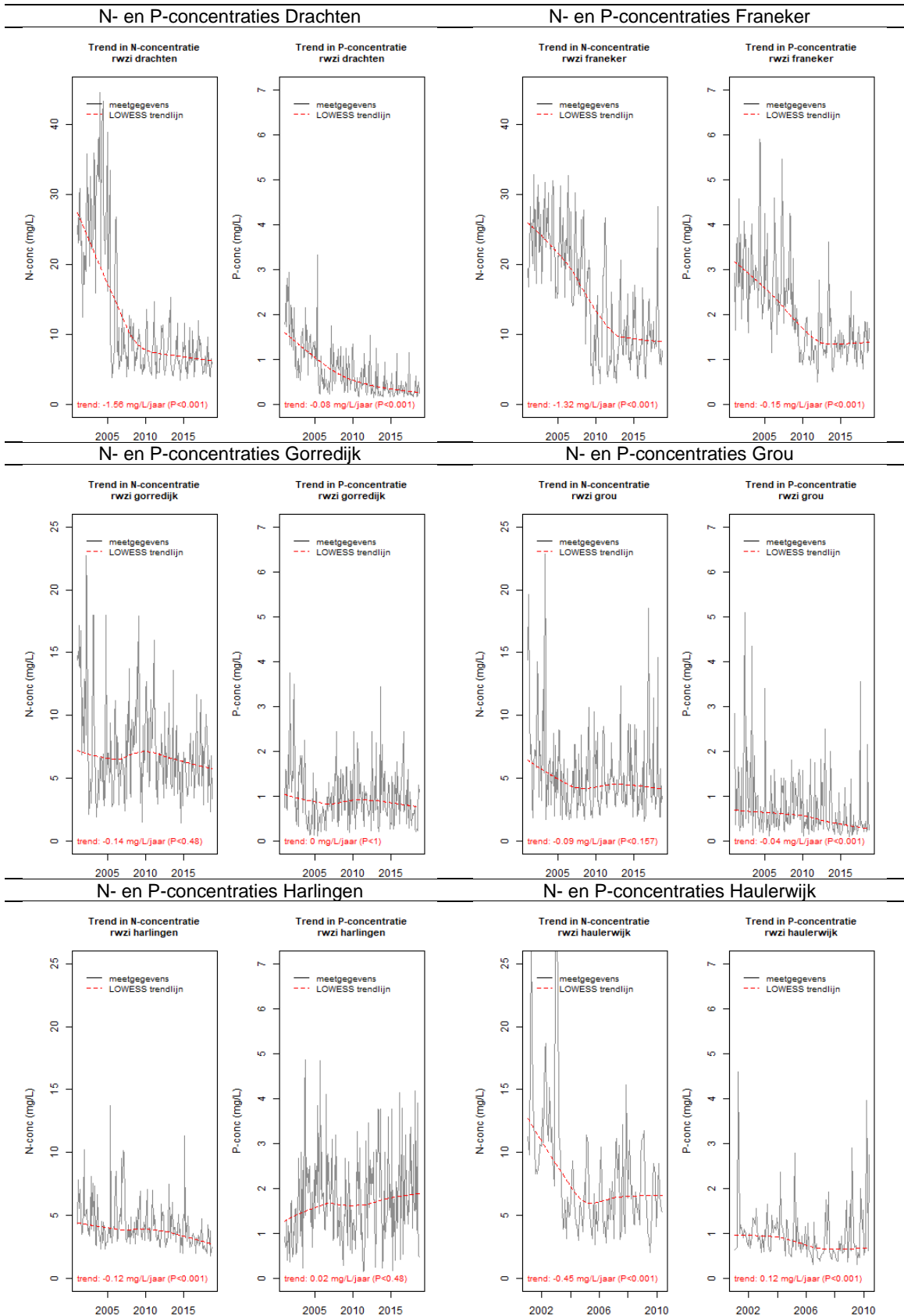


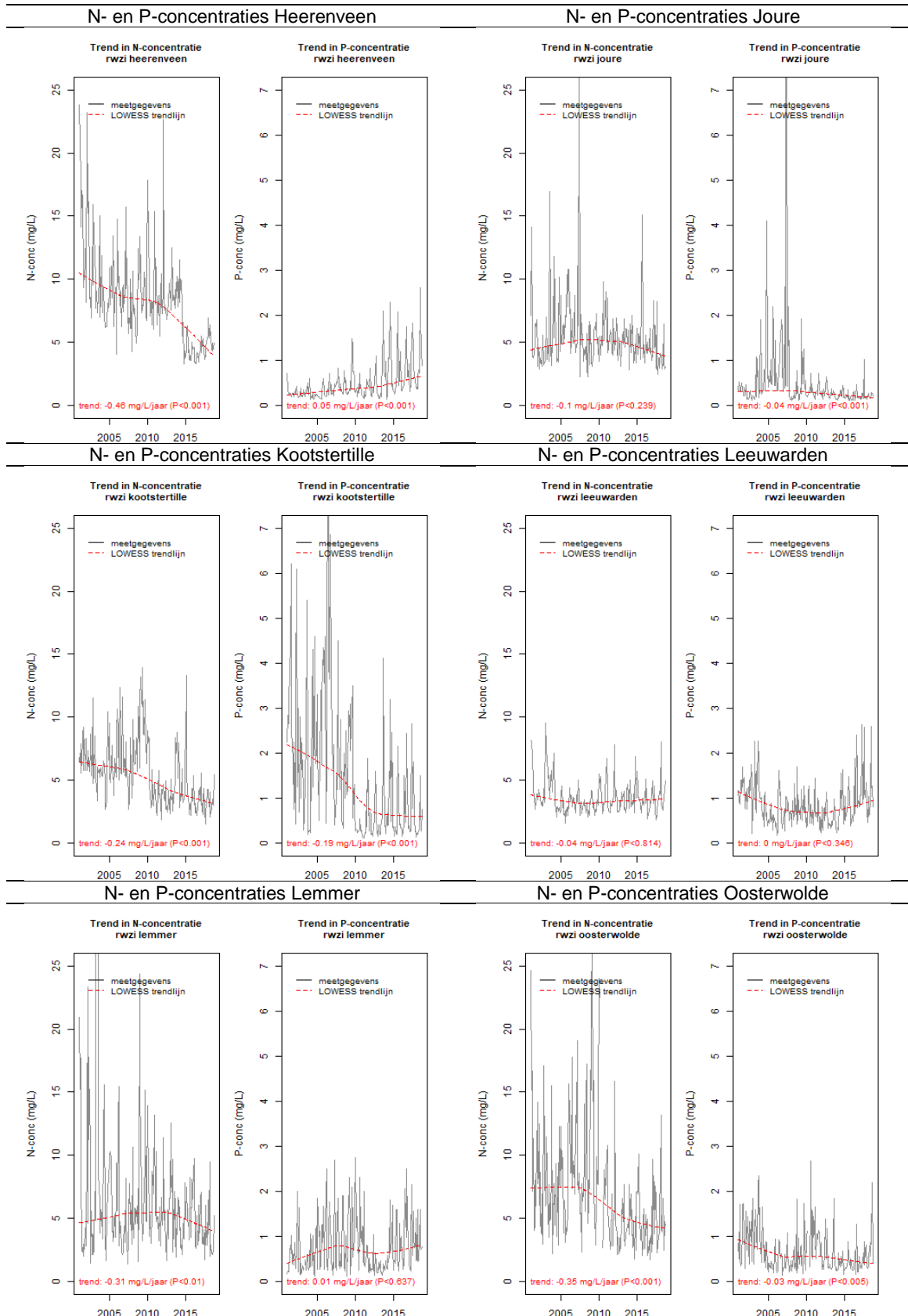


Bijlage D. Tijdseries emissies en waterkwaliteit

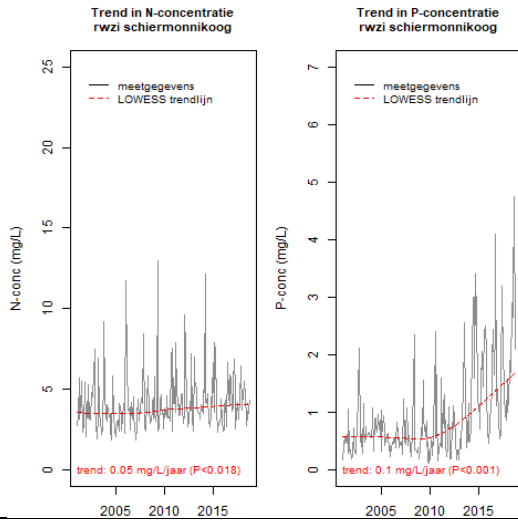
Tijdseries RWZI



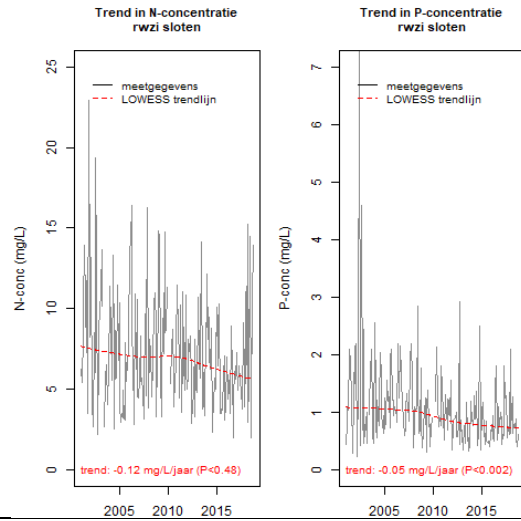




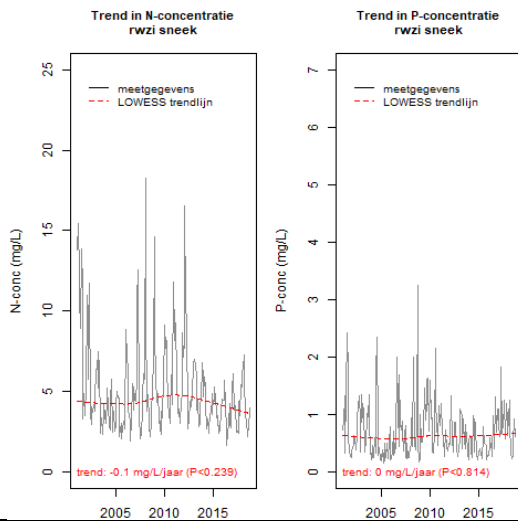
N- en P-concentraties Schiermonnikoog



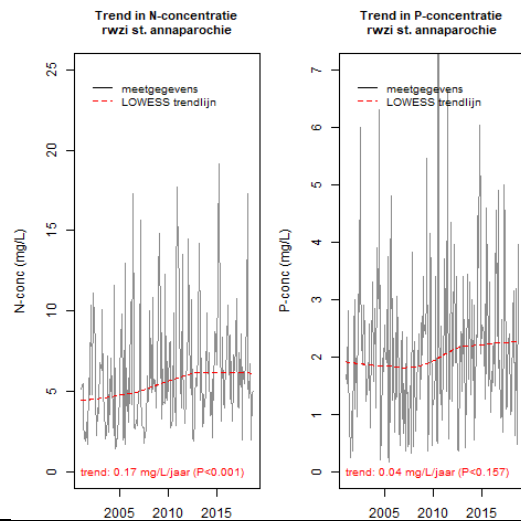
N- en P-concentraties Sloten



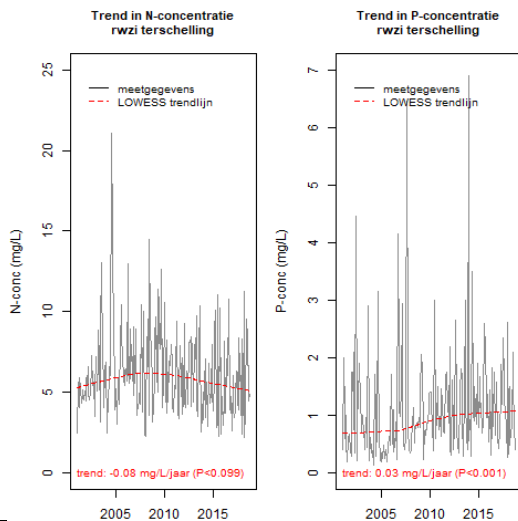
N- en P-concentraties Sneek



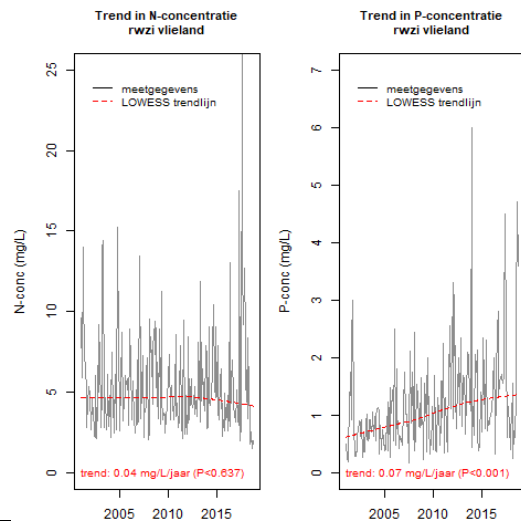
N- en P-concentraties st. Annaparochie



N- en P-concentraties Terschelling

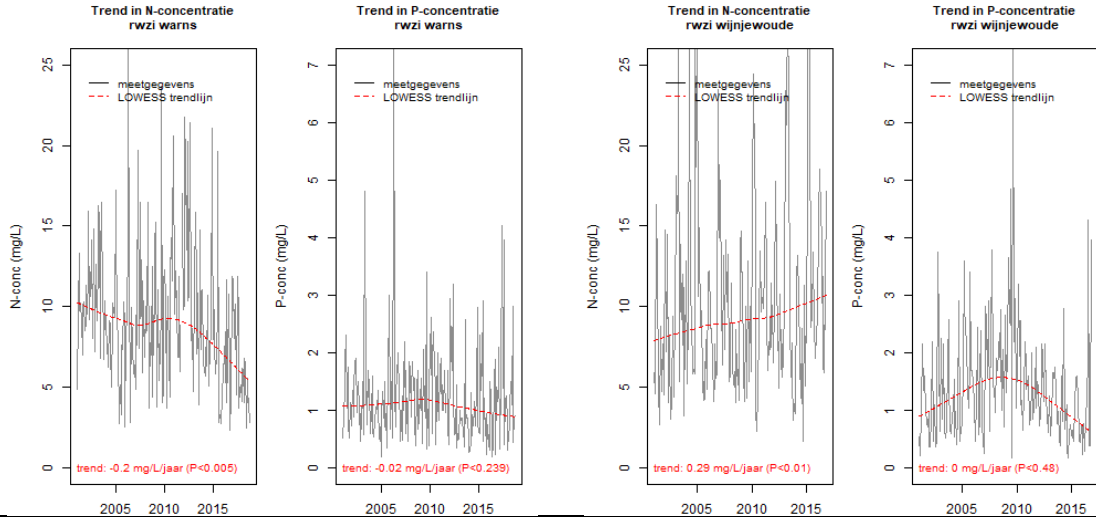


N- en P-concentraties Vlieland

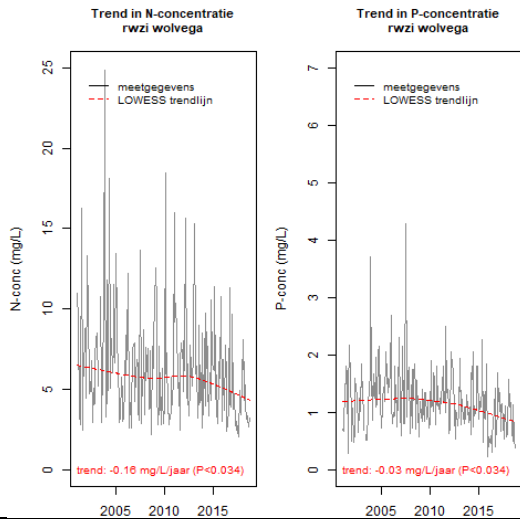


N- en P-concentraties Warns

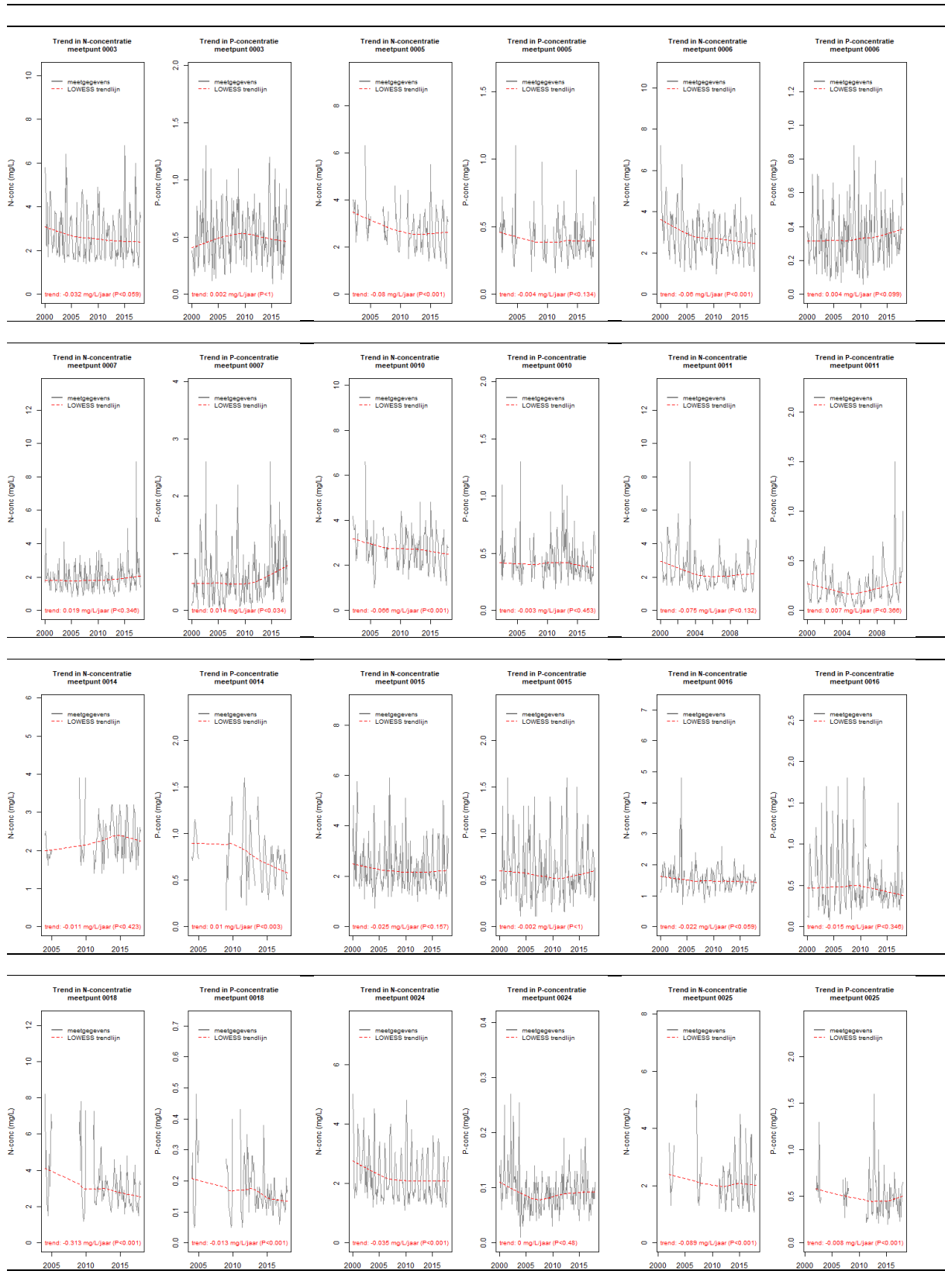
N- en P-concentraties Wijnjewoude

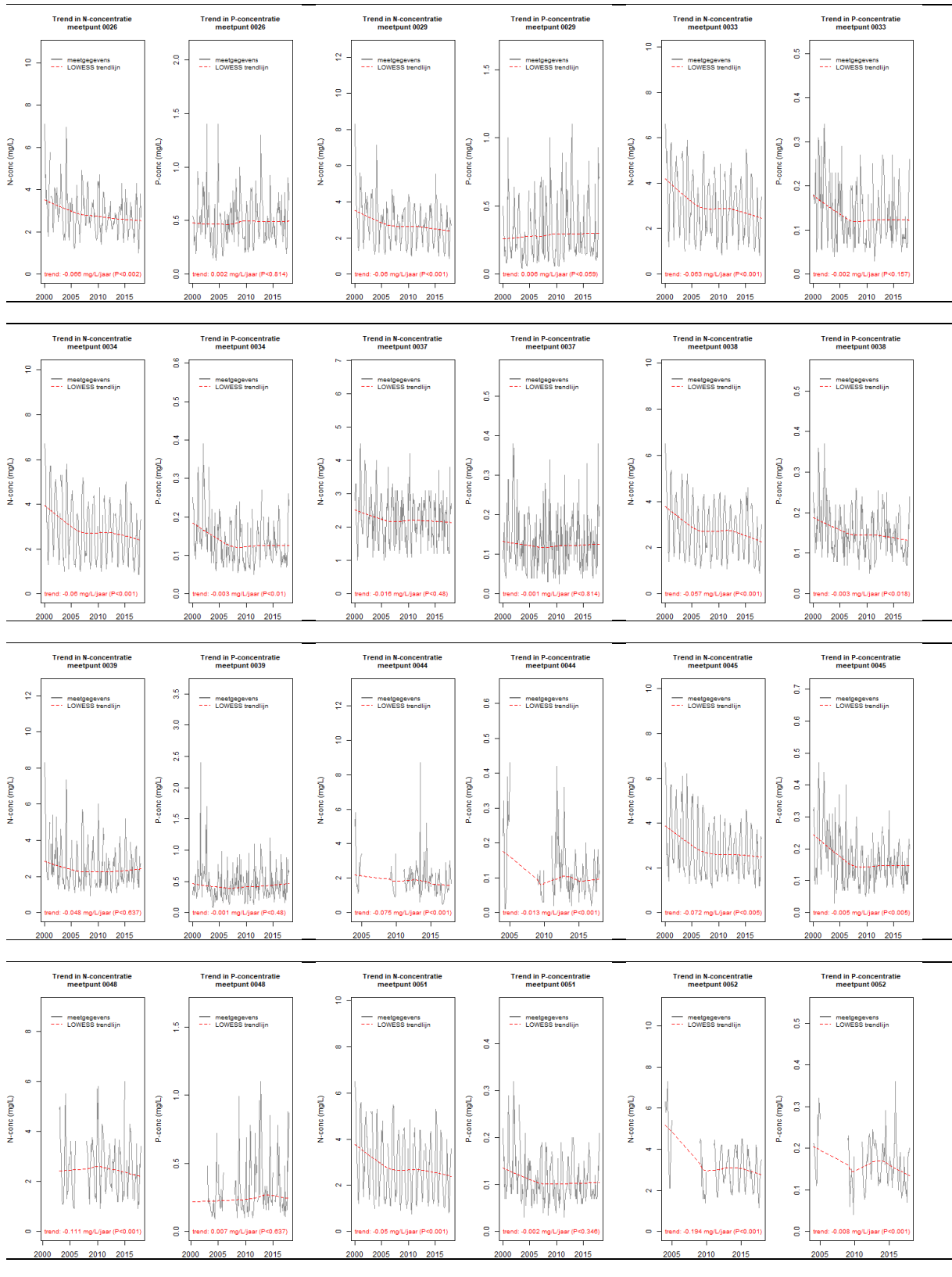


N- en P-concentraties Wolvega



Tijdsreefs waterkwaliteitsmeetpunten









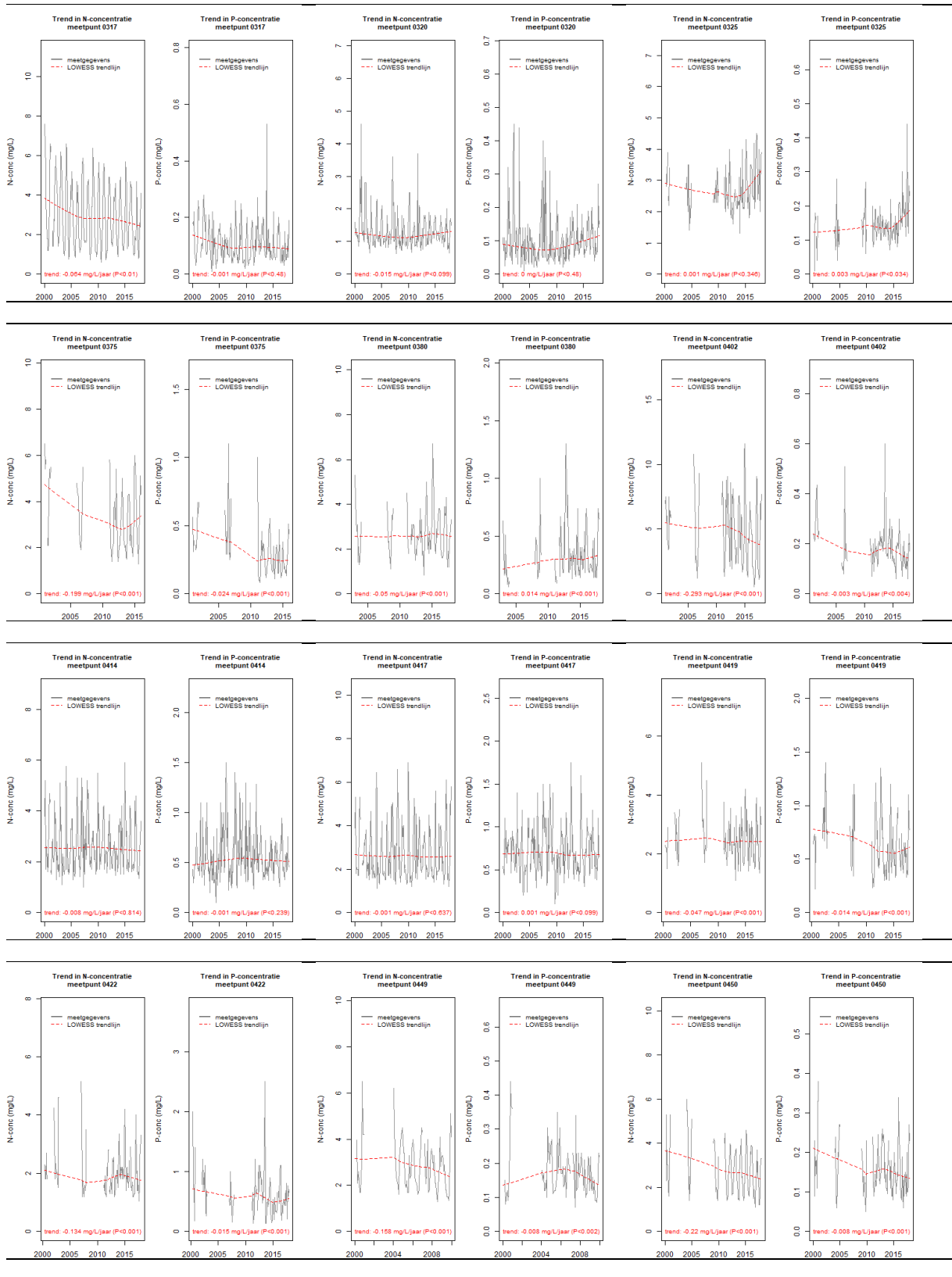


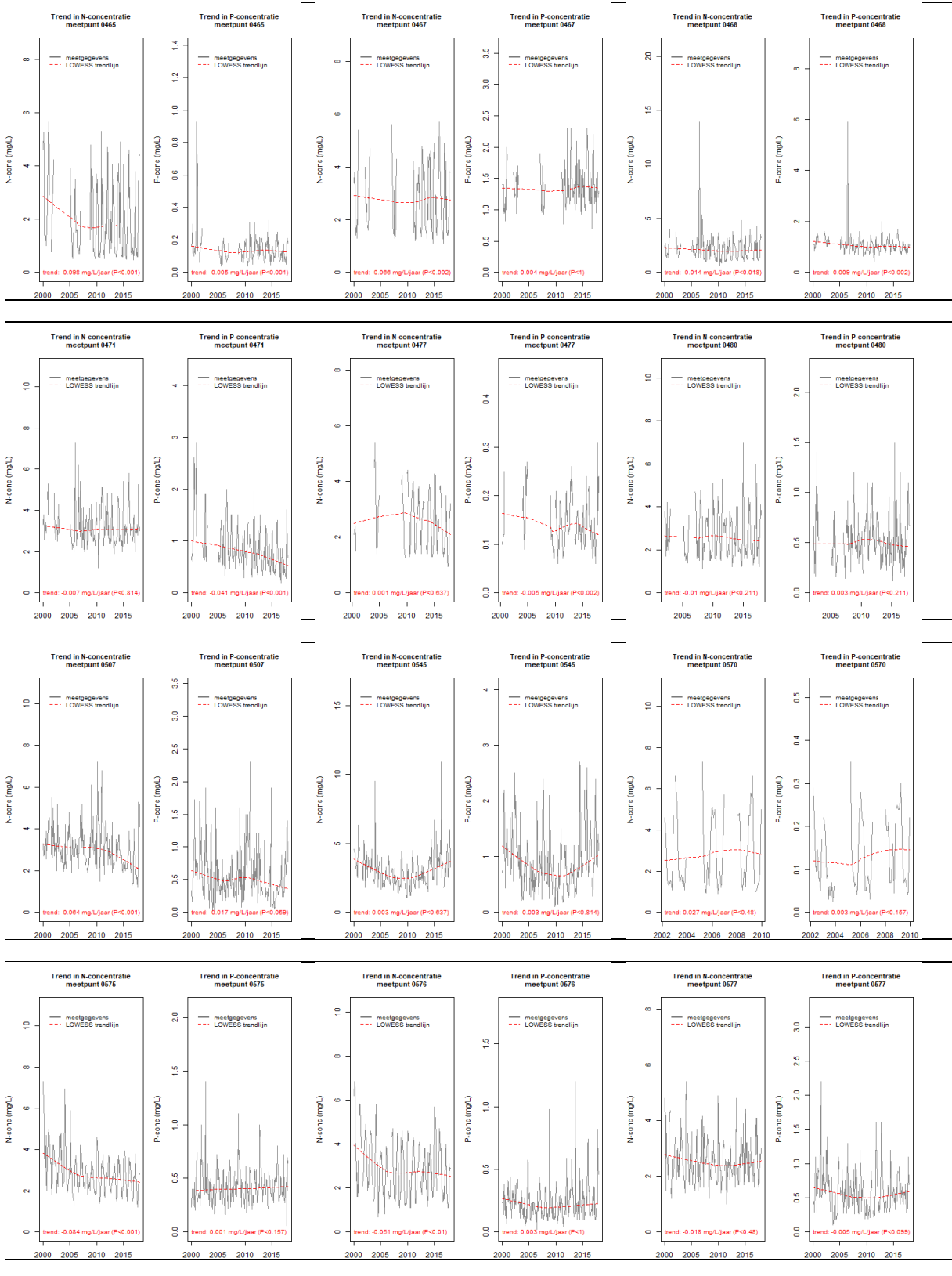


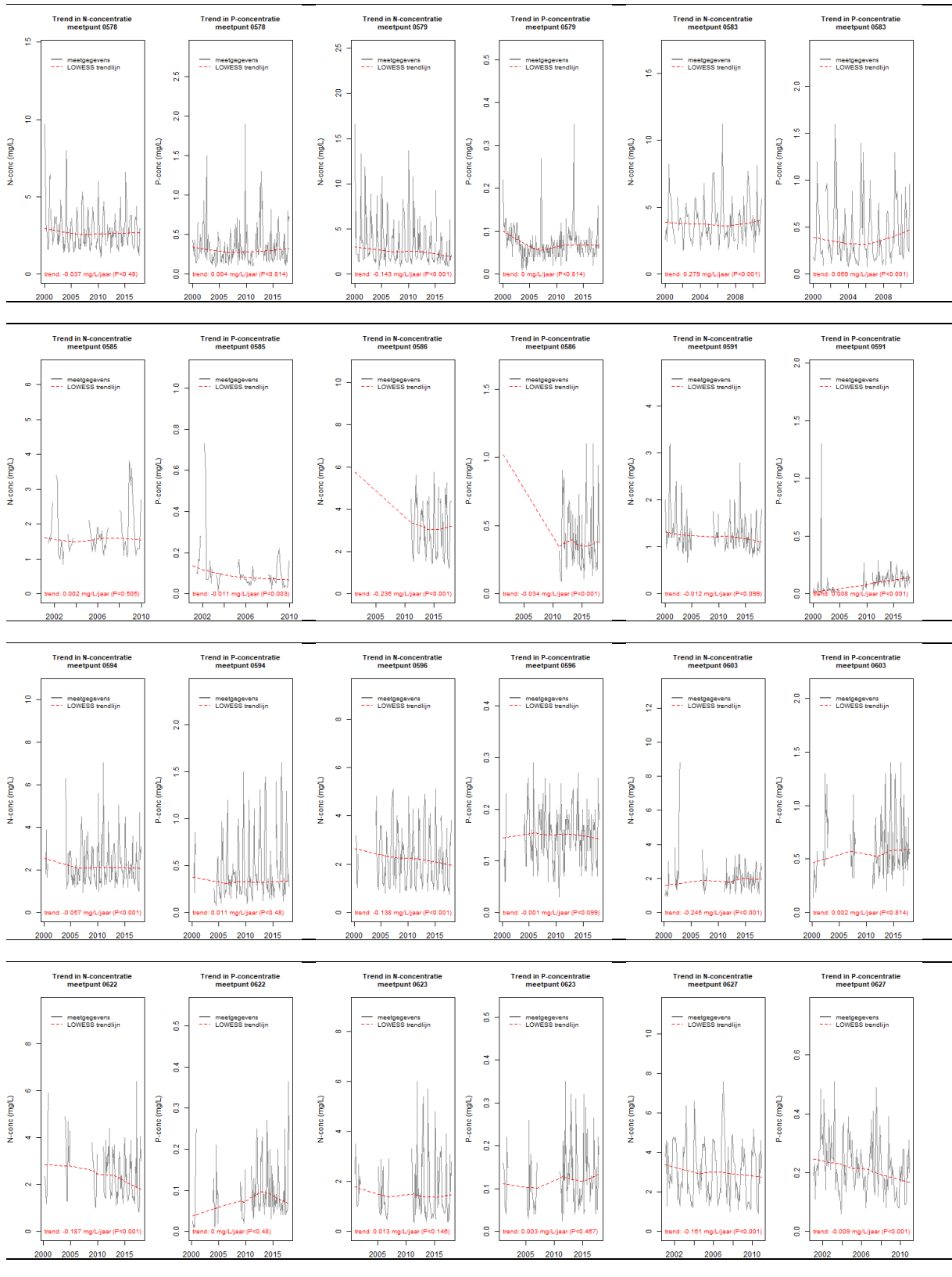


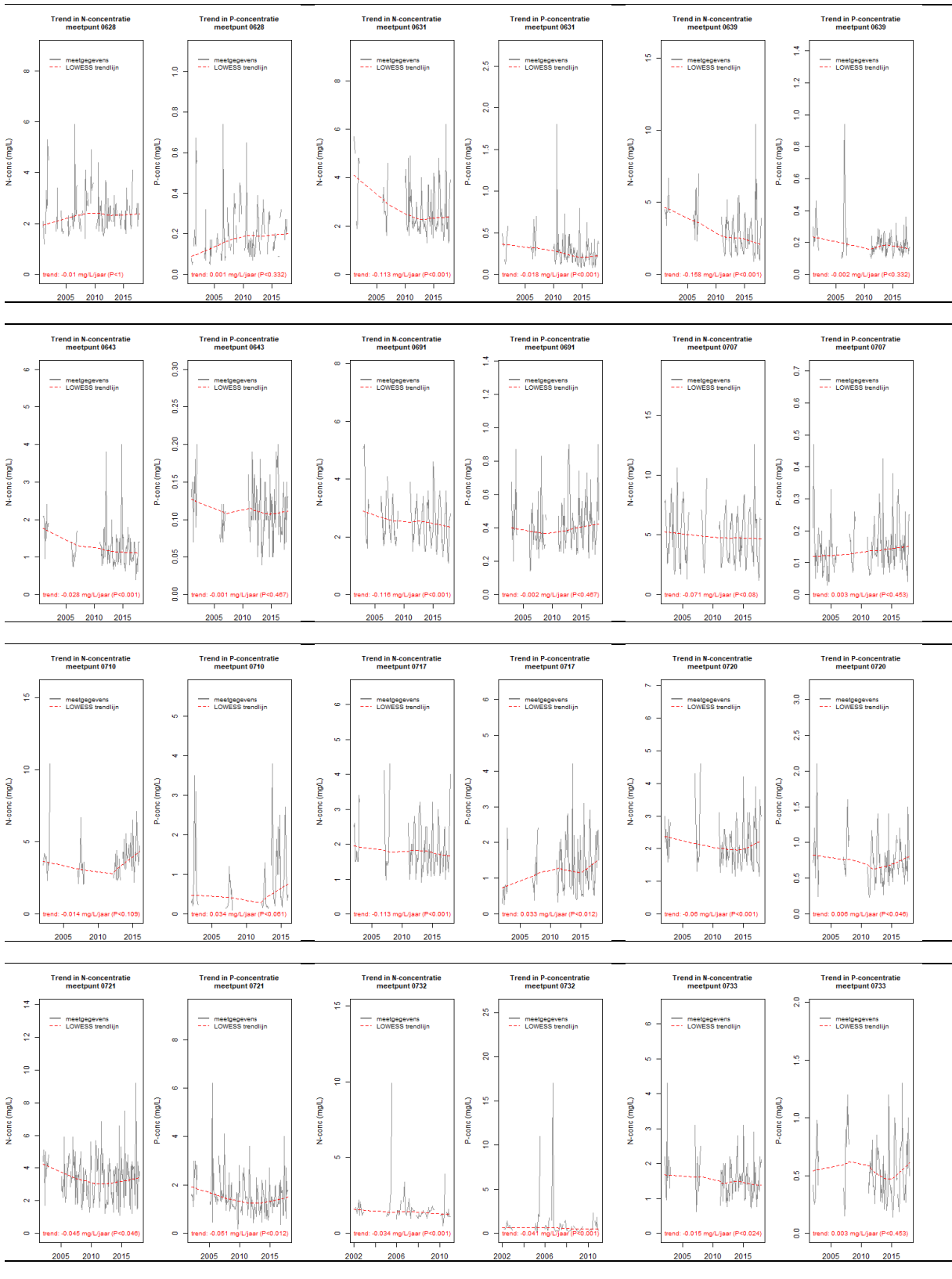






















www.nmi-agro.nl

nutriënten management
instituut nmi bv
nieuwe kanaal 7c
6709 pa wageningen
nmi@nmi-agro.nl