Soil for life

Report 1742.N.18

Ontwikkeling maatwerkpakketten waterkwaliteit Hunze en Aa's

Deel 1. Ruimtelijke gebiedsanalyse











nmi

www.nmi-agro.nl

tel. (088) 876 1280

Rapport 1742.N.18

Ontwikkeling maatwerkpakketten waterkwaliteit

Deel 1. Ruimtelijke gebiedsanalyse waterschap Hunze en Aa

Auteur(s) : dr. ir. G.H. Ros
ir. Sven 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

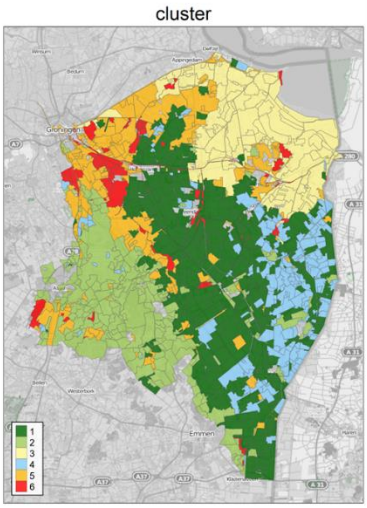
Samenvatting

Het waterschap Hunze en Aa's zorgt voor voldoende en schoon water in een beheergebied dat bestaat uit de watersystemen de Drentse Aa, Duurswold, Hunze, Oldambt, Fiemel, Veenkoloniën en Westerwolde. De fysisch-chemische waterkwaliteit lijkt de afgelopen jaren te stagneren met als resultante een mogelijke verslechtering van de ecologische waterkwaliteit. Als onderdeel van een tienstappenplan zijn de afgelopen jaren daarom gegevens verzameld van zowel de geohydrologie als het landbouwsysteem om zo het inzicht te vergroten en gericht sturing te geven aan maatregelen die de waterkwaliteit verbeteren.

Om sturing te geven aan maatregelen is het belangrijk om:

1. inzicht te hebben in hotspots en hot moments van stikstof en fosforverliezen;
2. expert-kennis van landbouwadviseurs over de inzetbaarheid van maatregelen te benutten; en
3. de effectiviteit en geschiktheid van maatregelen in beeld te brengen in relatie tot het gebied.

De voorliggende studie is onderdeel van een tweeluik en integreert bovenstaande kennis en inzichten via innovatieve statistische methodes (o.a. *machine learning*) om verbanden te ontdekken tussen gebiedskenmerken en de N- en P-concentraties in het oppervlaktewater. Het gaat hierbij om gegevens over bodem, bemesting, landgebruik, weer, vogels, geohydrologie en gemodelleerde nutriëntenbelastingen per peilgebied. Op basis hiervan zijn doelen gedefinieerd waarop regionale maatwerkpakketten kunnen sturen op verbetering van de waterkwaliteit (zie figuur hieronder).



Maatregelpakketten per cluster

1. Investeringen in bodemkwaliteit, verbetering gewasvolgorde, en inzet precisiebemesting voor N en P. Focus gewenst op N.
2. Stimulering Goede Landbouw Praktijk (GLP) is voldoende.
3. Investeringen in bodemstructuur. Sturen op P is niet haalbaar.
4. Investeringen in bodemkwaliteit, -structuur, en inzet precisiebemesting voor N en P als ook uitrol van routemaatregelen. P is een zorgpunt.
5. Stimulering GLP is voldoende met een focus op de timing van bemesting en gewasvolgorde. Investering in sloot(kant)beheer zijn mogelijk gewenst.
6. Idem als 5.

Figuur S.1. Ruimtelijke weergave van regio's waarbinnen via maatregelpakketten gestuurd kan worden op verbetering van de waterkwaliteit. Let op, de gebruikte kleurschaal heeft hier geen inhoudelijke betekenis.

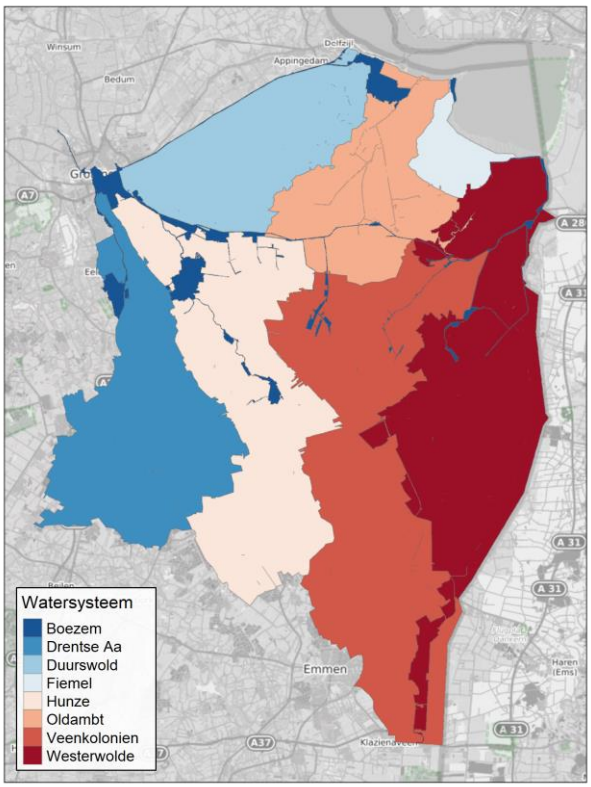
De voorliggende studie beschrijft en integreert de resultaten van diverse studies die voor het beheergebied van waterschap Hunze en Aa's zijn uitgevoerd. Via *machine learning* technieken wordt kwantitatief in beeld gebracht welke gebiedskenmerken invloed hebben op de ruimtelijke variatie in de zomergemiddelde N- en P-concentraties. Ook wordt in beeld gebracht *hoe* bodembeheer, sloot(kant)beheer en bemesting van invloed kunnen zijn op de waterkwaliteit. Gekoppeld aan dit inzicht worden maatregelpakketten voorgesteld die ingrijpen op de meest sturende gebiedskenmerken. De kracht van de gebruikte analyse is dat deze sterk leunt op metingen. Na afronding van deze studie bleek een deel van de meetgegevens echter sterk beïnvloedt te zijn door gebiedsvreemd water en emissies vanuit glastuinbouw. De N- en P-concentraties in Westerwolde werden daarom overschat. In deel twee van dit tweeluik wordt deze gebiedsanalyse geüpdatet waarbij expliciet rekening wordt gehouden met beide factoren. Ook wordt specifiek gekeken naar het voorkomen van hoge ammoniumconcentraties.

Inhoud

		pagina
Samenvatting en conclusies		2
1.	**Introductie**	**2**
2.	**Materiaal & Methode**	**4**
2.1	Gebruikte databronnen	4
2.2	Datakoppeling	4
2.3	Analyse van sturende factoren waterkwaliteit	5
2.4	Kwantificering mineralenbalans	6
3.	**Ruimtelijke variatie in gebiedskenmerken**	**9**
3.1	Bodemkenmerken	9
3.2	Bemesting	14
3.3	Waterkwaliteit	16
3.4	Watersysteem	18
3.5	Water- en weidevogels	19
3.6	Agronomische analyse mineralenbalans	20
4.	**Maatregelen**	**22**
5.	**Sturende factoren waterkwaliteit**	**25**
5.1	Voorspelling N- en P-concentraties	25
5.2	Vergelijking per watersysteem	26
5.3	Analyse sturende gebiedskenmerken	28
5.3.1.	Sturende factoren over hele beheergebied	*28*
5.3.2.	*Sturende factoren per peilgebied*	*30*
5.3.3.	*Sturende factoren voor zes gebiedsclusters*	*32*
5.4	Relatie met maatregelen	39
6.	**Discussie en Conclusie**	**41**
Referenties		**43**

1. Introductie

Het waterschap Hunze en Aa's zorgt voor voldoende en schoon water in een beheergebied dat onderdeel is van het stroomgebied Nedereems. Binnen dit beheergebied worden verschillende watersystemen onderscheiden: de Drentse Aa, Duurswold, Hunze, Oldambt, Fiemel, Veenkoloniën en Westerwolde (Figuur 1.1.). De fysisch-chemische waterkwaliteit is in een groot deel van de aanwezige waterlichamen op orde. De afgelopen jaren lijkt er echter een stagnering dan wel een verslechtering op te treden van de waterkwaliteit. Het waterschap Hunze en Aa's heeft daarom een tienstappenplan opgezet om de waterkwaliteit te verbeteren. Als onderdeel van dit plan zijn de afgelopen jaren allerlei gegevens verzameld van zowel het geohydrologische (o.a. water- en stoffenbalansen) als het landbouwkundige (o.a. bodem- en mest-gegevens) systeem om zo het systeeminzicht te vergroten en gericht maatregelen te nemen om de waterkwaliteit te verbeteren. De vraag die in deze studie centraal staat, is hoe deze informatie met elkaar samenhangt en hoe deze gebiedskennis richting kan geven aan de uitrol van Duurzaam Agrarisch Waterbeheer.



Figuur 1.1. Belangrijkste watersystemen binnen beheergebied van Hunze en Aa's.

Duurzaam Agrarisch Waterbeheer gaat onder meer om het nemen van de juiste maatregelen op de juiste plek om daarmee de waterkwaliteit te verbeteren. Maatwerk staat daarbij centraal. Er zijn in Nederland meer dan honderd maatregelen beschikbaar om ingezet te worden voor een betere waterkwaliteit. Deze maatregelen kunnen worden onderverdeeld in vijf categorieën die ingrijpen op

1. de nutriëntenkringloop op het bedrijf,
2. de bodemkwaliteit,
3. de routes van nutrienten of
4. de vastlegging in dan wel verwijdering uit het watersysteem.

Diverse studies laten zien dat regionaal maatwerk cruciaal is om bestaande (beleids)-instrumenten effectief in te zetten en agrariërs te stimuleren tot landbouwpraktijken met minimale verliezen naar het

oppervlaktewater (Groenendijk et al., 2016; Westerhof et al., 2016). Om per regio effectieve maatregelen te ontwikkelen kunnen drie methoden (apart of in samenhang) worden ingezet waarbij maatregelen worden geselecteerd op basis van i) inzicht in de belangrijkste hotspots en hot moments, ii) expert-kennis 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 en modelberekeningen) en de N- en P-concentraties in het oppervlaktewater. Het gaat hierbij om gegevens over bodem, bemesting, landgebruik, weer, vogels, geohydrologie en gemodelleerde nutriëntenbelastingen per peilgebied. Gebruik makend van dit inzicht worden thema's gedefinieerd waarop regionale maatwerkpakketten kunnen sturen op verbetering van de waterkwaliteit.

2. Materiaal & Methode

2.1 Gebruikte databronnen

Voor de gebiedsanalyse in deze studie is gebruik gemaakt van de gegevens die zijn gepresenteerd in Tabel 2.1 waarbij is vermeld hoe deze informatie invloed heeft op nutriëntenverliezen vanuit de bodem naar het water: als bron, pad of receptor. De details van deze databronnen wordt verder besproken in sectie 3.1.

Tabel 2.1. Verzamelde gebiedsinformatie via monitoringmeetnetten en mechanistische modellen.

Type gegevens	Relatie met NP-verlies
Watersysteem	
Waterkwaliteit oppervlaktewater (periode 1990-2016)	Meting
Gemalen (peilen en debieten)	Meting
Grondwater (GHG, GLG, GVG, kwel/infiltratie vanuit mipwa-model)	Pad
RWZI gegevens (N- en P-vracht)	Bron
Grondwaterkwaliteit (nitraat)	Meting
Waterfluxen van en naar bodemprofiel SWAP, en neerslag en verdamping	Pad
Neerslag en verdamping	Pad
Geohydrologie (wateroppervlak, slootdichtheid)	Receptor
Bronnen ECHO-analyse WenR	Bron
Landbouwbodem	
Bodemkwaliteit bovengrond (P-toestand, P-verzadiging, organische stof, pH, kleigehalte, mineralisatiesnelheid, etc.) en indicatie bodemvruchtbaarheid	Bron en pad
Bodemkwaliteit ondergrond (P-verzadiging, organische stof)	Bron en pad
Bodemtype (Bodemkaart 1:50.000) en conform mestwetgeving	Pad
Bemesting 2015 INITIATOR	Bron
Verdichtingsrisico	Pad
Bodembiodiversiteit (voorkomen wormen) uit het BOBI meetnet	Pad
Agrarisch landgebruik (gewascode)	Bron en pad
Watervogels	
Langjarige maand- en seizoensgemiddelden	Bron

De gebruikte bodemgegevens van de landbouwbodem hebben vooral betrekking op de bodemchemie, -biologie en fysica van de bouwvoor. In deze bodemlaag vinden ook de belangrijkste processen plaats die het vrijkomen van nutriënten sturen én als zodanig levert dit inzicht op in de potentiële verliezen die op kunnen treden naar het watersysteem. De aan- en afvoer van N en P via kwel en infiltratie vanuit en naar diepere bodemlagen worden in deze analyse meegenomen door gebruik te maken van geschatte water- en stofstromen vanuit mechanistische modellen. Deze maken gebruik van het gehele bodemprofiel tot aan het diepe grondwater.

2.2 Datakoppeling

Voor de huidige analyse is gebruik gemaakt van gegevens over bodemkwaliteit, het watersysteem en het landgebruik (Tabel 2.1.). Alle gegevens hebben een ruimtelijke dimensie en zijn daarom 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. Per peilgebied (n = 1361) zijn vervolgens de gemiddelde bodemeigenschappen, bemestingsgiften en waterfluxen berekend. Als van deze metingen geen

variatie in de tijd bekend was, is de meting toegekend als onveranderlijke variabele voor elke tijdstap (zoals bijvoorbeeld grondsoort). Voor categoriale variabelen is gekozen voor de meest voorkomende waarde per peilgebied. De waterkwaliteitsmeetpunten zijn toegekend aan een peilgebied op basis van de x- en y-coördinaten van het meetpunt. Al deze meetpunten worden als losse tijdseries meegenomen in de analyse.

2.3 Analyse van sturende factoren waterkwaliteit

Om meer zicht te krijgen op de factoren die van invloed zijn op de waterkwaliteit, is gebruik gemaakt van verklarende statistische technieken zoals '*Gradient Boosted Trees'*. Deze techniek is een ensemble methode waarbij de voorspelling van meerdere beslisbomen (*decision trees*) wordt gecombineerd. Deze beslisbomen zoeken patronen (clusters) in de data om een zo goed mogelijke voorspelling te doen van een gewenste doelvariabele. Voor deze studie is gericht gekeken naar gebiedskenmerken die samenhangen met de variatie in de gemiddelde zomerconcentraties van totaal-N en totaal-P in het oppervlaktewater. De focus op de zomergemiddelde concentraties is gekozen omdat deze sturend zijn voor de invulling van de KRW.

Bij *Gradient Boosted Trees* worden meerdere beslisbomen achter elkaar getraind, waarbij het model gedurende de training zelf leert welke gebiedskenmerken daadwerkelijk relevant zijn, en gebruikt kunnen worden om de ruimtelijke variatie in de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater te verklaren. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van willekeurige selecties uit de verzamelde meetgegevens, en 'leert' het model van elke voorgaande analyse. De kracht van deze aanpak (*machine learning*) is dat het op de achtergrond slim gebruik maakt van honderden beslisbomen; in combinatie kan zo een betere voorspelling worden gegeven dan het gebruik van één fine-getuned lineair regressiemodel.

Om te weten te komen of het model de juiste patronen vindt, is het van belang het model te toetsen (valideren). Machine learning 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 van 'zelfherkenning' 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 2008) en een validatieset (met alle gegevens van na 2008). 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 gebeurd. Daarom zijn er verschillende methodes ontwikkeld om machine learning modellen te interpreteren. 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 ook lokale 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 lokale factoren voor de nutriënten-concentraties door gebruik te maken van zogenoemde “Shapley-waarden”. Deze 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).

Alle analyses zijn uitgevoerd in R, gebruik makend van o.a. packages mlr, AgroEye, DALEX, sf, en data.table. De gebruikte scripts en meetgegevens (voor zover het openbare data betreft) zijn opvraagbaar bij de auteurs van deze publicatie.

2.4 Kwantificering mineralenbalans

Om inzicht te krijgen in het handelingsperspectief dat ondernemers op landbouwbedrijven in het beheergebied van waterschap Hunze en Aa’s hebben om via bodembeheer en bemesting te sturen op minder verliezen naar het oppervlaktewater zijn verschillende bedrijfssystemen geanalyseerd. Belangrijke informatie om een zo goed mogelijk beeld te schetsen van de aanvoer en afvoer van nutriënten is het bedrijfstype (melkvee/ akkerbouw) als ook het bouwplan, de bodemvruchtbaarheid, en de grondsoort.

In het beheergebied van Hunze en Aa’s zijn 2.214 agrarische bedrijven die samen 126.910 hectare landbouwgrond beheren (gegevens van het Kadaster, 2018). Het grootste deel van het areaal wordt beheerd door akkerbouwers (1.106 bedrijven), melkveehouders (524 bedrijven) en overige graasdieren (417 bedrijven). Vanuit de Basis Registratie Percelen (BRP) – zoals gebruikt in deze studie – is er in het gebied 134.640 hectare landbouwgrond onder beheer bij agrariërs. Hiervan wordt 28% gebruikt als grasland en 8,6% als maïs. De andere belangrijke gewassen zijn granen (24%), aardappels (23%) en suikerbieten (8%).

De bedrijfssystemen (op basis van de perceelkenmerken uit de BRP) waar een mineralenbalans voor is doorgerekend zijn:

1. Akkerbouw op lichte en zware klei. Dit bedrijfstype komt op circa 14% van het areaal voor, en de belangrijkste gewassen zijn tarwe, aardappelen en overige akkerbouwgewassen.
2. Akkerbouw op zandgrond. Dit bedrijfstype is het meest voorkomend (bijna 45% van het beheergebied) en het bouwplan bestaat voornamelijk uit aardappel (21%), suikerbieten (6%), en granen (12%).
3. Melkveehouderij op zand met gras en maïs. Deze teelten komen voor op bijna 23% van het areaal.
4. Melkveehouderij op klei komt maar heel beperkt voor en wel op circa 8%.
5. Melkveehouderij op veen komt voor op de resterende 5% van het landbouwareaal.

Voor de mineralenbalans op bedrijfsniveau is de aanvoer van stikstof, fosfaat, kalium, zwavel, calcium, magnesium en organische stof 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. Daarbij is ook de N- en P-benutting per teelt in kaart gebracht om zo meer inzicht te krijgen in potentiële verliezen van nutriënten gedurende de teelt. Om de gewenste bemestingspraktijk in beeld te brengen, is gebruik gemaakt van de verzamelde bodemgegevens en het bouwplan, omdat beide invloed hebben op de productie en opname van N en P.

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 van *Wageningen Environmental Research* (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. Dit omdat in Nederland het landbouwkundig advies voor stikstof wordt overruled door de gebruiksnormen: de agronomische gewenste bemesting voor werkzame N is voor veel gewassen namelijk gelijk aan of hoger dan de geldende gebruiksnorm. De adviezen zijn afkomstig uit twee bronnen: 'de adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroente-gewassen' (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.

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 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 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 2.1.



Figuur 2.1. Conceptuele visualisatie van het concept van evenwichtsbemesting.

Naast de hoeveelheid beschikbare nutriënten wordt de bodemkwaliteit in belangrijke mate beïnvloedt door de hoeveelheid organische stof in de bodem. Organische stof (OS) is namelijk van belang voor de natuurlijke nutriëntenlevering, voor de stimulering van 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 uitspoeling. Organische stof kan worden aangevoerd door het telen van groenbemester, achterlaten van stro en gewasresten, en aanvoer van mest en organische producten als zuiveringsslib, 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 organische stof 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 organische stof 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 organische stof uit compost na een jaar nog bijna 90% over is.

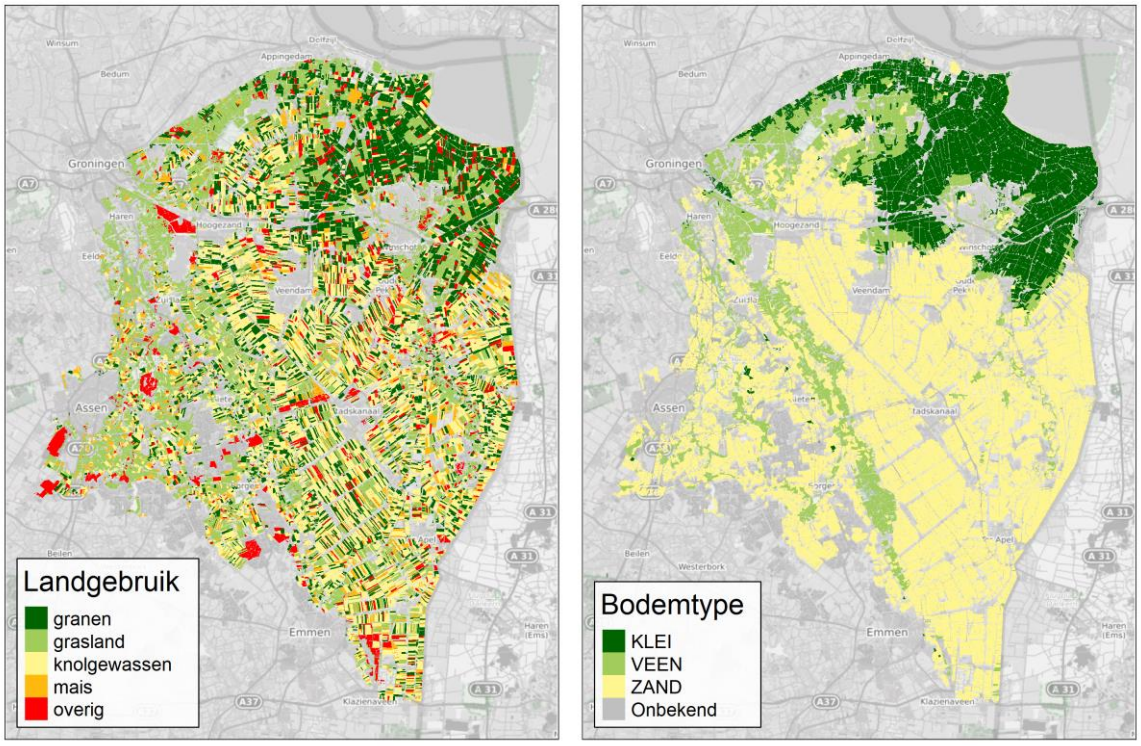
3. Ruimtelijke variatie in gebiedskenmerken

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties in het oppervlaktewater binnen het beheergebied van waterschap Hunze en Aa's en de gebiedskenmerken die deze concentraties beïnvloeden. Dit hoofdstuk start daarom met een beschrijving gegeven van de ruimtelijke variatie in de verschillende gebiedskenmerken die van invloed zijn op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater. Concreet gaat dit gaat bijvoorbeeld over de variatie binnen bodemeigenschappen, het watersysteem, het landgebruik en de bemesting, en de aanwezigheid van watervogels.

3.1 Bodemkenmerken

Zowel het landgebruik als het bodemtype spelen een sleutelrol in de bemestingsbehoefte en de gebruiksruimte voor stikstof en fosfaat. Tegelijk zijn beide gebiedskenmerken sturend in de uit- en afspoeling van nutriënten. De stikstofverliezen richting watersysteem en met name richting grondwater zijn groter op zand dan op klei. Op klei verdwijnt namelijk een groter deel van het N via gasvormige verliezen uit de bodem (grotere denitrificatieverliezen). Fosfaatverliezen naar het watersysteem, en met name richting het oppervlaktewater zijn daarentegen vaker groter op kleibodems omdat er meer sprake is van afspoeling en drainageverliezen. Diep en/of intensief wortelende gewassen zoals granen, grassen en suikerbieten worden vaak gekenmerkt door weinig uit- en afspoeling van nutriënten. Gewassen als maïs, bollen, groenten en aardappels worden gekenmerkt door een korte groeiperiode en een relatief ondiep wortelstelsel. Dit betekent concreet grotere risico's op verliezen van stikstof en fosfaat.

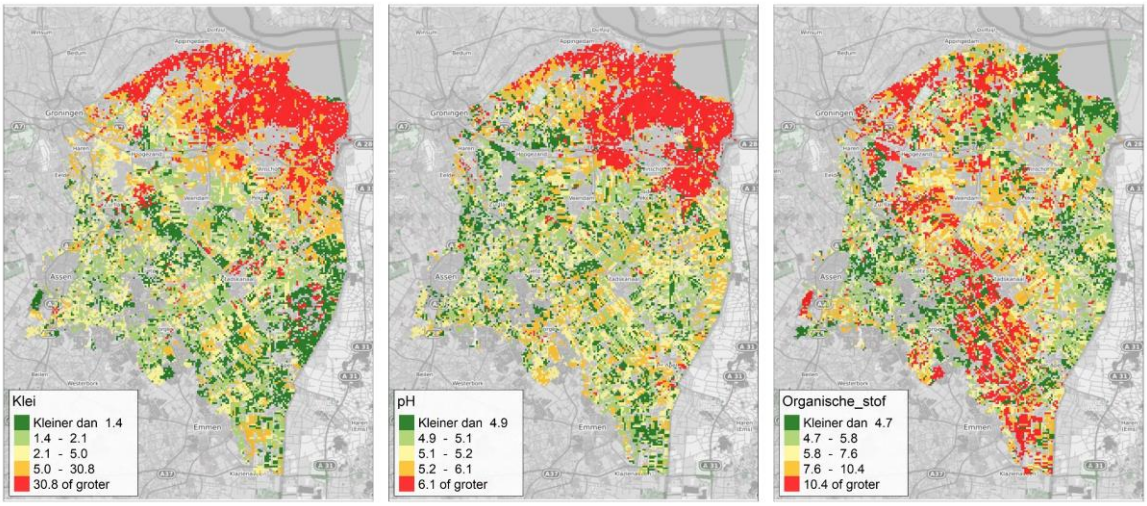
Het grootste deel van het landbouwareaal in het beheergebied van waterschap Hunze en Aa wordt beheerd door circa 1100 akkerbouwbedrijven met 52.600 ha aardappels, suikerbieten en granen op zandgrond en circa 1100 veehouderijbedrijven (waarvan circa de helft uit melkveehouderijbedrijven bestaat) met 31.500 ha gras- en maïsland op zand (Figuur 3.1).



Figuur 3.1. Landgebruik (links) en bodemtextuur (conform mestwetgeving) in beheergebied Hunze en Aa.

Het Westen van het beheergebied heeft relatief veel gras, terwijl het Oosten gekenmerkt wordt door akkerbouw. Het landbouwareaal op de kleigronden in het Noordoosten bestaat voornamelijk uit bouwland (16.300 ha). Daarnaast wordt er op klei ook veel gras en maïs (10.700 ha) geteeld. Dit landgebruik betekent ook dat een groot deel van het landbouwareaal binnen het beheergebied beteeld wordt met rooivruchten en ondiep wortelende gewassen die gevoelig zijn voor uit- en afspoeling van nutriënten.

Figuur 3.2 is een ruimtelijke weergave van de belangrijke bodemkarakteristieken kleigehalte, pH en organische stofgehalte in de bouwvoor in het gehele beheergebied van Hunze en Aa. De zuurgraad (pH) van de bodem beïnvloedt de vorm waarin nutriënten in de bodem aanwezig zijn en de beschikbaarheid ervan. De zuurgraad heeft niet alleen een groot effect op de chemische vorm van de verbindingen en hun omzettingen, maar ook op biologische processen. Een optimale zuurgraad voor het bodemleven ligt tussen de 6 en 7. Bij lage pH's onder de 4,5 wordt de gewasopname van nutriënten geremd. Binnen het beheergebied van Hunze en Aa varieert de pH sterk met een oplopende gradiënt van Zuid naar Noord (Figuur 3.2.). Het centrale en zuidelijke deel van het beheergebied bestaat voornamelijk uit zand- en veengronden. De pH van deze gronden ligt doorgaans lager dan dat van klei en ligt gemiddeld lager dan 5,2. Dit hangt samen met hogere verliezen van calcium en magnesium, hogere natuurlijke verzuring via afbraak van organische stof en de afwezigheid van kalk (zoals schelpen en carbonaten) in het moedermateriaal. De kleigronden worden gekenmerkt door een relatief hoge pH van rond de 6,5. In alle bodems vindt jaarlijks verzuring plaats door o.a. gewasonttrekking, uitspoeling en de verzurende werking van meststoffen. Wat het effect is op de pH van de bodem is afhankelijk van het zuur bufferende vermogen. In gronden met kalk wordt de pH bijvoorbeeld gebufferd rond pH 7.

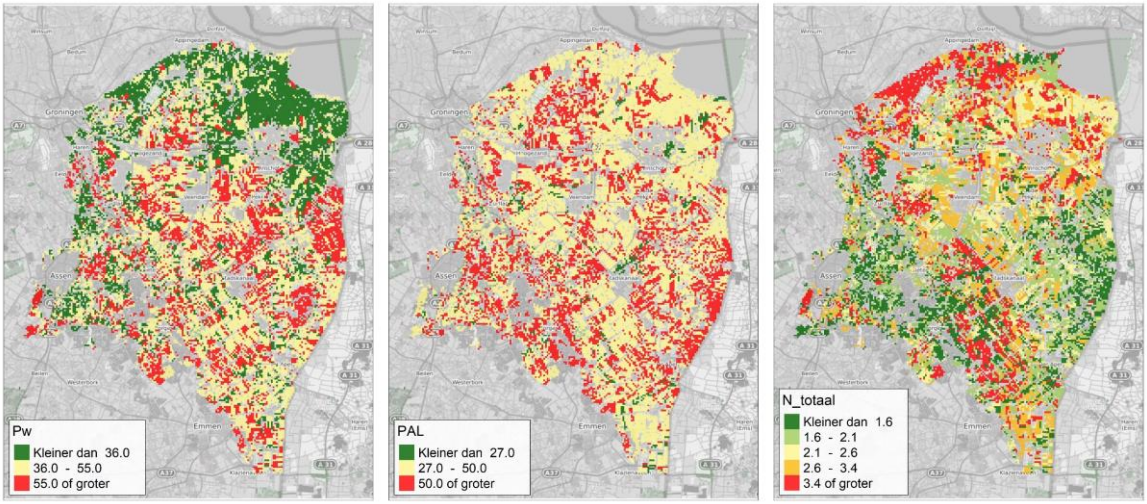


Figuur 3.2. Het gehalte aan klei (%), de zuurgraad (-) en het gehalte aan organische stof (%) in de bouwvoor van agrarische percelen. Kleurschaal is gebaseerd op kwantielen met een evenredige hoeveelheid metingen per klasse.

Organische stof (humus) heeft belangrijke functies in de bodem en is van directe invloed op de bodem-vruchtbaarheid. Het verbetert de structuur, bevordert de bewerkbaarheid en verhoogt het vochtvasthoudend vermogen. Daarnaast zorgt organische stof voor extra kationomwisselcapaciteit waardoor meer kationen als kalium, calcium en magnesium kunnen worden vasthouden. De organische stof bevat daarnaast ook zelf nutriënten als stikstof, fosfor en zwavel, die na afbraak beschikbaar komen voor gewasopname. Het organische stofgehalte varieert tussen de 1,8 en 26% (Figuur 3.2). Dit is vooral hoog op de moerige (veen)gronden met een gehalte van gemiddeld 12%, gevolgd door OS-gehaltes van 8% op klei en 7% op de zand.

Het organische stofgehalte in de bodem is sterk gecorreleerd aan de textuur, het landgebruik en de N-rijkdom van de bodem. Veengronden zijn per definitie rijk aan organische stof. Daarbij komt dat onder grasland het OS-gehalte toeneemt met de leeftijd van de graszode. Recente tijdserie-analyses op tienduizenden grondmonsters uit Nederland door Van Reijneveld (2013) laten zien dat het OS-gehalte de laatste 20 jaar stabiel blijft of licht stijgt. Om deze reden is er weinig risico op een dalende bodemvruchtbaarheid. Enige uitzondering zijn de Veenkoloniale gronden waar sprake is van afbraak van voormalig veen. Deze gronden zijn ook sterk stuifgevoelig en raken daardoor veel organische stof kwijt door erosie.

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. In Nederland wordt daarvoor gebruik gemaakt van twee analysemethodes die ingezet worden afhankelijk van het landgebruik. Voor grasland wordt de hoeveelheid plant-beschikbaar fosfaat gemeten via een extractie met ammonium-lactaat. Deze methode levert per perceel daarmee de zogenoemde PAL-waarde. Voor bouwland wordt gebruikt gemaakt van een analysemethode waarbij de bodem wordt geschud met water. Dit resulteert in de zogenoemde Pw-waarde. Afhankelijk van deze waarden wordt een bodem vervolgens geclassificeerd als een toestand ‘arm’, ‘laag’, ‘neutraal’ of ‘hoog’. Deze toestand bepaalt in de mestwetgeving vervolgens de hoeveelheid fosfaat die mag worden toegediend. Figuur 3.3. beschrijft de ruimtelijke variatie in PAL en Pw waarbij de kleuren corresponderen met de drie bodemtoestanden als ook de variatie in N-totaal.

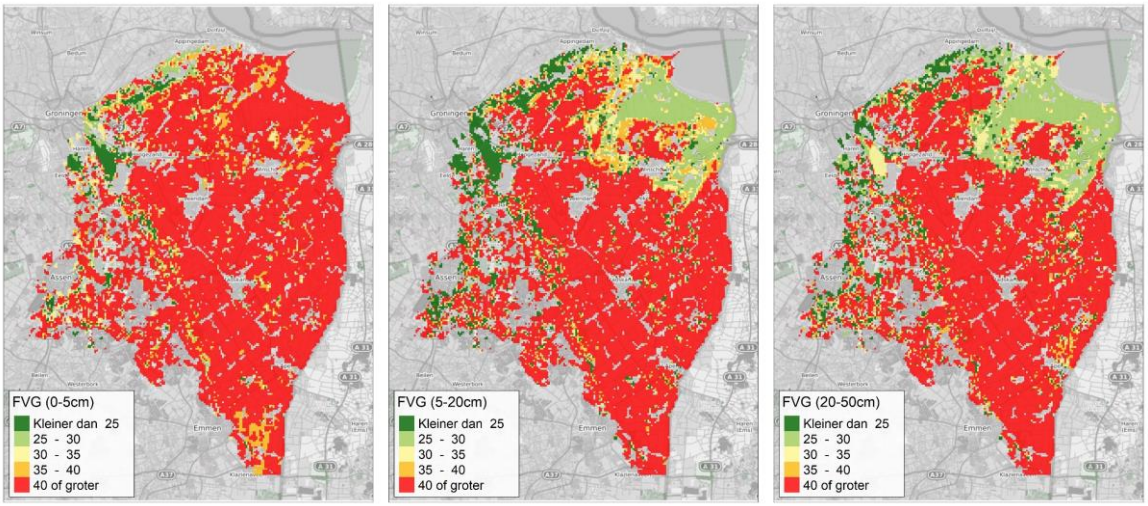


Figuur 3.3. De geïnterpoleerde fosfaattoestand op basis van Pw (links, mg P_2O_5 l^{-1}), PAL (midden, mg P_2O_5 100 g^{-1}) en het gehalte aan stikstof (g N kg^{-1}) in de bouwvoor van agrarische percelen. Kleurschaal is gebaseerd op kwantielen met een evenredige hoeveelheid metingen per klasse.

Op grasland varieert de gemiddelde PAL-waarde van 42 mg P_2O_5 100 g^{-1} op veen tot 44 mg P_2O_5 100 g^{-1} op klei en zand. Op gronden die als bouwland gebruikt worden varieert de gemiddelde Pw-waarde van 30 mg P_2O_5 l^{-1} op klei tot 52 P_2O_5 l^{-1} op zand. Dit betekent ook dat 59% van alle agrarische percelen in de toestandsklasse neutraal ligt. De overige percelen liggen voor 27% in de klasse hoog en voor 10% in de klasse laag. Slechts 3% van de percelen heeft een erg arme bodemtoestand. Op bodems met een lage P-toestand mag wettelijk meer fosfaat via mest toegevoerd worden, een regel die aansluit bij het landbouwkundig bemestingsadvies. 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. 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.

Een hoge P-toestand betekent niet altijd een hogere belasting van het oppervlaktewater, al gaat dat wel vaak samen. 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 (Schoumans, 2004, 2008).

De fosfaatverzadigingsgraad (FVG) zoals gebruikt in studies van *WenR* zijn voor de toplaag (0 - 5 cm) van de bodem het hoogste (> 50%) op de zandgebieden met akkerbouw in het oosten van het beheergebied (Figuur 3.4.). Dit zijn geïnterpoleerde schattingen van de fosfaatverzadigingsgraad op basis van slechts ca. 1000 metingen die in de periode 1992-1998 zijn uitgevoerd (Schoumans, 2004). In diepere lagen blijft de FVG het hoog. Op graslandpercelen ligt de P-verzadiging van de bodems meer dan de helft lager dan in de maïs- en akkerbouwpercelen. Dit heeft enerzijds te maken met de hoge afvoer van fosfaat via opname door gras en anderzijds dat het historische (en actuele) fosfaat-bodemoverschot (via bemesting) hoger is in akkerbouw- dan in graspercelen. De FVG in het hele beheergebied varieert tussen 23 en 55% (gemiddeld 49%) in de bovengrond (eerste 5 cm), tussen 14 en 60% (gemiddeld 48%) op de diepte 5 – 20 cm en tussen 12 en 76% (gemiddeld 50%) op de diepte 20 – 50 cm. Conform verwachting is de FVG het hoogst in de toplaag.

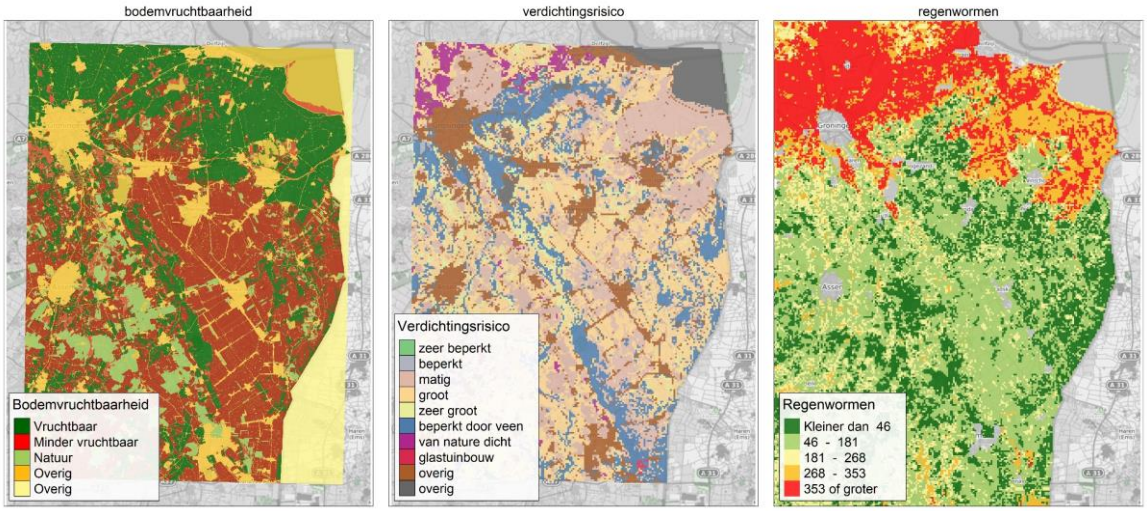


Figuur 3.4. De fosfaatverzadigingsgraad conform metingen van WenR. Van links naar rechts gaat dit om de P-verzadiging op de dieptes 0 – 5 cm, 5 – 20 cm en 20 – 50 cm.

In vergelijking met de drie andere Noordelijke provincies ligt de P-verzadiging in Drenthe en Groningen bijna 10-15% hoger dan in Friesland. Dit hangt samen met het feit dat klei- en veenrijke bodems in Friesland vaker voorkomen: meer klei en veen zorgt voor een lagere FVG. De hoeveelheid fosfaat dat gebonden is aan de oxiden is namelijk vergelijkbaar tussen de drie provincies (niet weergegeven). Een lagere P-verzadiging betekent dan ook dat er meer retentie mogelijk is in de veen- en kleirijke bodems; de hoeveelheid Al- en Fe-oxiden in en onder de bouwvoor is in deze bodems groter dan op zandige bodems. De P-rijkdom van de bovengrond in het beheergebied van Hunze en Aa's wordt overigens ook bevestigt door het feit dat 27% van de aanwezige percelen in de klasse 'hoog' valt, terwijl dat percentage circa 10 % lager ligt in de agrarische percelen binnen Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân. Als consequentie daarvan liggen de berekende P-verliezen naar het oppervlaktewater in landelijke modellen structureel hoger in het beheergebied van Hunze en Aa in vergelijking met de twee andere genoemde waterschappen. De achterliggende oorzaak hiervan (en een vergelijking tussen de drie waterschappen) is in de huidige studie niet in detail onderzocht.

De studie van Schoumans et al. (2004) definieert een kritieke P-verzadigingsgraad van 25% tot het freatische grondwater voor kleigronden en kalkarme zandgronden. Voor veengronden en kalkrijke zandgronden ligt deze lager, en wel op respectievelijk 10 en 5%. Dit betekent dat vrijwel alle agrarische percelen in het beheergebied veel risico lopen op P-uitspoeling naar diepere bodemlagen en deels ook naar het oppervlaktewater.

Een ruimtelijke weergave van de gemiddelde bodemvruchtbaarheidskaart is gemaakt door WEnR (Figuur 3.5). Vruchtbare bodems hebben als gevolg van de ontstaanswijze en het moedermateriaal van nature namelijk gunstige chemische, biologische en fysische eigenschappen voor de productie van landbouw-gewassen. 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. 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).



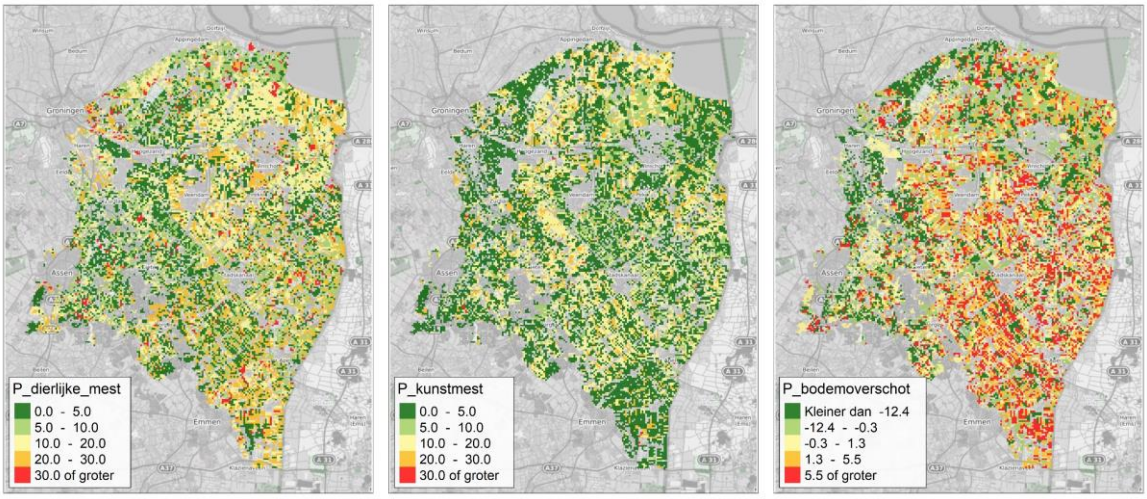
Figuur 3.5. De ruimtelijke variatie in algehele bodemvruchtbaarheid, risico op en aanwezigheid van verdichting en abundantie van regenwormen in het BOBI-meetnet binnen het beheergebied van Hunze en Aa.

Gebruik makend van de gegevens uit het Bodemkundig Informatiesysteem en het Landelijk Grondgebruiks-bestand 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. Dit heeft geresulteerd in bovenstaande kaart waarop het risico op ondergrondverdichting is aangegeven (Van den Akker, 2012). De meeste gronden in het beheergebied van Hunze en Aa's blijken een matig tot groot risico te hebben op ondergrond-verdichting.

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 Bobi-meetnet van RIVM. De aanwezigheid van regenwormen, en de soortensamenstelling, is een indicator van bodemverdichting, bemestingsverleden en aggregaatstabiliteit. Het aantal regenwormen is op klei vaak hoger dan op zand, evenals op grasland in vergelijking met bouwland.

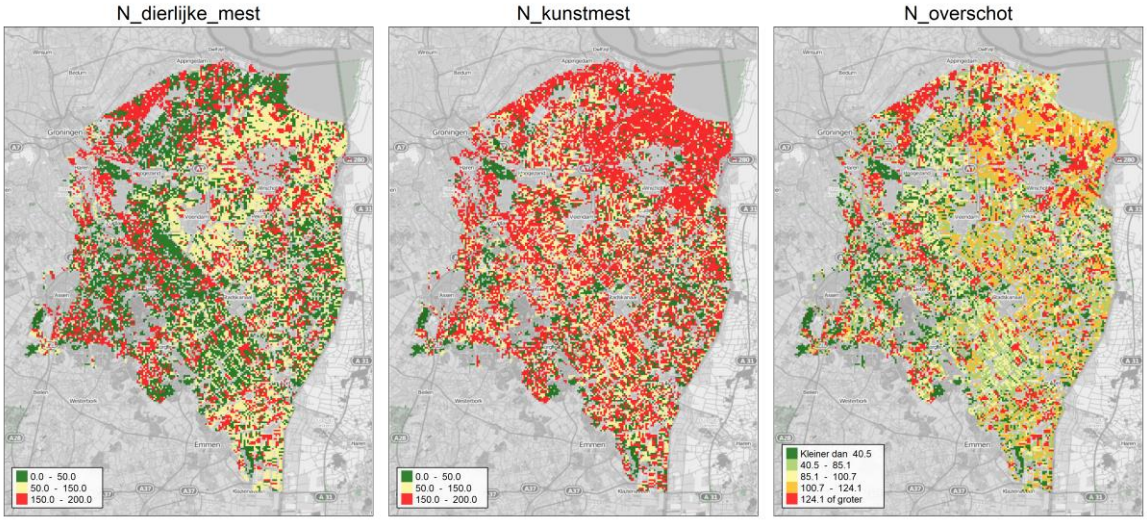
3.2 Bemesting

De aanvoer van fosfaat uit dierlijke mest en kunstmest is te zien in Figuur 3.6. De laagste P-aanvoer is te vinden op de percelen met akkerbouw. Op melkveehouderijbedrijven varieert de gemiddelde P-aanvoer via dierlijke mest van 15 tot 20 kg P ha^{-1} terwijl deze varieert tussen 7 en 9 kg P ha^{-1} op de akkerbouwbedrijven. Akkerbouwbedrijven voeren wel tot vier keer meer P-kunstmest aan, waarbij de verschillen tussen de grondsoorten erg klein zijn. Op veengronden wordt het minste fosfaat toegediend. Fosfaat wordt in de melkveehouderij vrijwel niet via kunstmest toegediend omdat het verboden is op derogatiebedrijven en dierlijke rundveedrijfmest (als belangrijkste fosfaatbron) een goede basismeststof is. Door de hoge opname van fosfaat door gras is er over het hele gebied gemiddeld een negatief berekend P-overschot: er wordt meer fosfaat afgevoerd via het gewas dan dat er via mest wordt aangevoerd. Op bouwland is er een klein P-overschot dat fluctueert rond 5 kg P ha^{-1}.



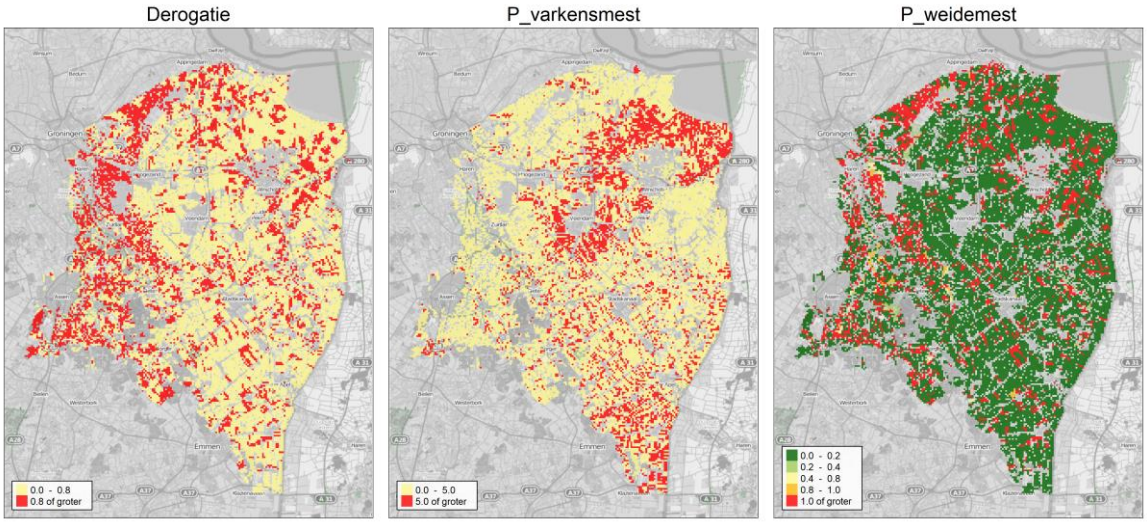
Figuur 3.6. Aanvoer van fosfaat via dierlijke mest en kunstmest en het P-overschot (in kg ha^{-1} $jaar^{-1}$).

De aanvoer van stikstof uit dierlijke mest (Figuur 3.7.) is kleiner in gebieden met veel akkerbouw en ligt gemiddeld op 40-52 kg N ha^{-1}. Op melkveehouderijbedrijven wordt 170 tot 205 kg N ha^{-1} aangevoerd, waarbij de bemesting structureel lager ligt op het veen dan op de minerale gronden. De hogere N-aanvoer via drijfmest op grasland en maïs is gekoppeld aan de gebruiksnormen voor dierlijke mest, die vrijwel altijd opgevuld worden om kosten te besparen. Voor de N-aanvoer uit dierlijke mest geldt de derogatie-norm van 250 kg N ha^{-1} en op akkerbouwbedrijven is deze maximaal 170 kg N ha^{-1}. De totale (werkzame) N-gebruiksruimte bepaalt daarnaast de hoeveelheid N-kunstmest die mag worden aangevoerd en deze is gewas- en bodem-afhankelijk. 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 (Figuur 3.7). Het totale N-bodemoverschot varieert van 66 tot 96 kg N ha^{-1} voor de akkerbouw-bedrijven en van 84 tot 183 kg N ha^{-1} voor de melkveehouderijbedrijven.



Figuur 3.7. Aanvoer van stikstof via dierlijke mest, kunstmest en de totale N-gift (in kg ha^{-1} $jaar^{-1}$).

Bedrijven die derogatie hebben mogen meer dierlijke mest aanvoeren. Deze bedrijven liggen vooral in het Westen van het beheergebied (Figuur 3.8.). Ter illustratie is ook de ruimtelijke verdeling van varkensmest en weidemest weergegeven.

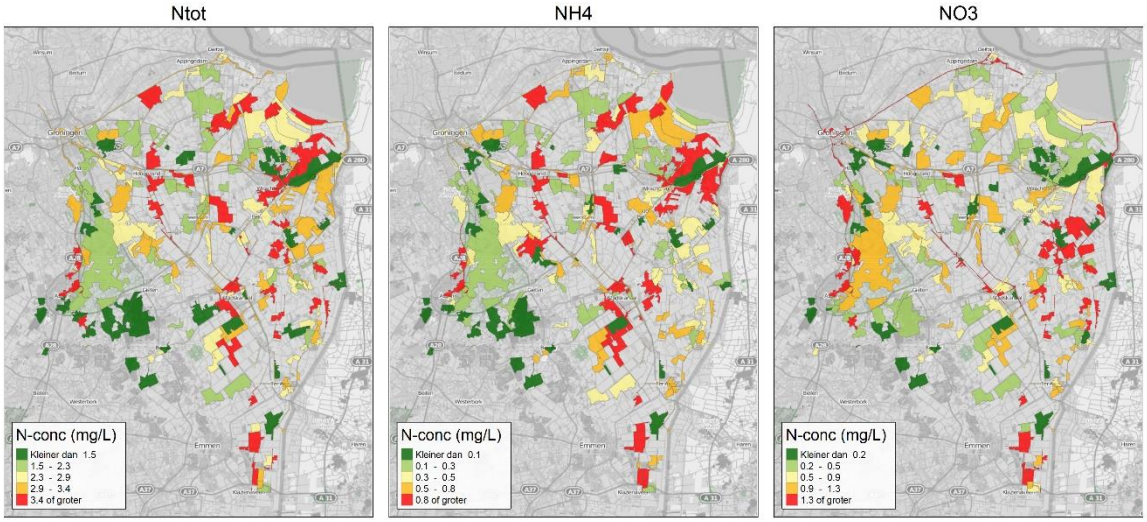


Figuur 3.8. De fractie bedrijven per gemeente dat derogatie heeft (links) en de ruimtelijke verdeling van het gebruik van varkensdrijfmest en de aanwezigheid van beweiding.

Bedrijven die veel varkensmest aanvoeren, hebben vaak (niet altijd) een verleden van veel aanvoer van fosfaat (varkensmest bevat namelijk meer P dan rundveemest). De fosfaattoestand van de bodem ligt op deze bedrijven dan ook vaak hoger dan gemiddeld. Binnen het beheergebied wordt er voornamelijk varkensmest gebruikt op bouwlandpercelen, met een sterke concentratie in het Noordelijk kleigebied en het Zuidelijk zand. Bedrijven met beweiding hebben een groter risico op vertrapping van oevers en erosie van bodemdeeltjes naar het watersysteem. Dit effect is in het beheergebied van Hunze en Aa echter klein. Beweiding vindt vooral plaats in het Noorden en Westen van het beheergebied.

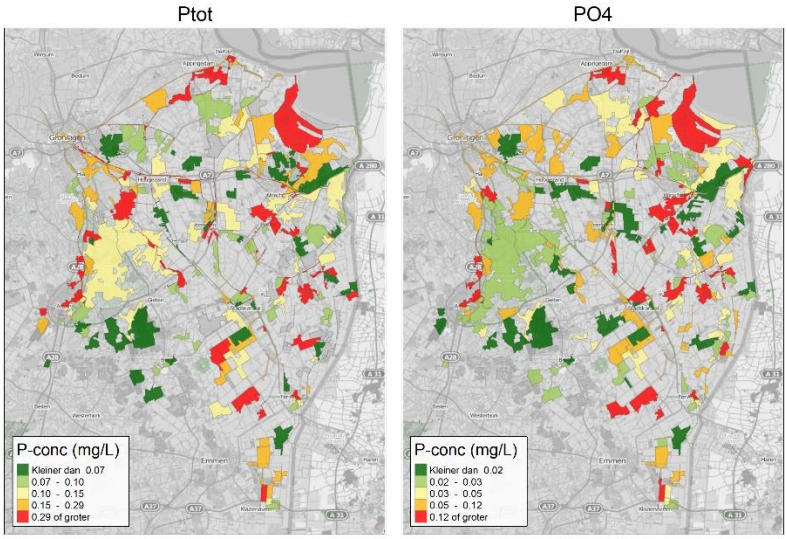
3.3 Waterkwaliteit

Gebruik makend van de waterkwaliteitsmetingen vanuit het waterkwaliteitsportaal is in beeld gebracht wat de ruimtelijke variatie is in het meerjarig zomergemiddelde stikstof- en fosfaatgehalte in het oppervlaktewater. Het meerjarig zomergemiddelde N-gehalte van het oppervlaktewater varieert tussen 0,5 en 8,7 mg L^{-1} binnen het beheergebied, waarbij hogere concentraties vaker voorkomen in de watersystemen Duurswold, Westerwolde en de Veenkoloniën. Vergelijkbare trends zijn zichtbaar voor de concentraties ammonium (variërend van 0,1 tot 2,5 mg L^{-1}) en nitraat (variërend van 0,06 tot 4,85 mg L^{-1}).



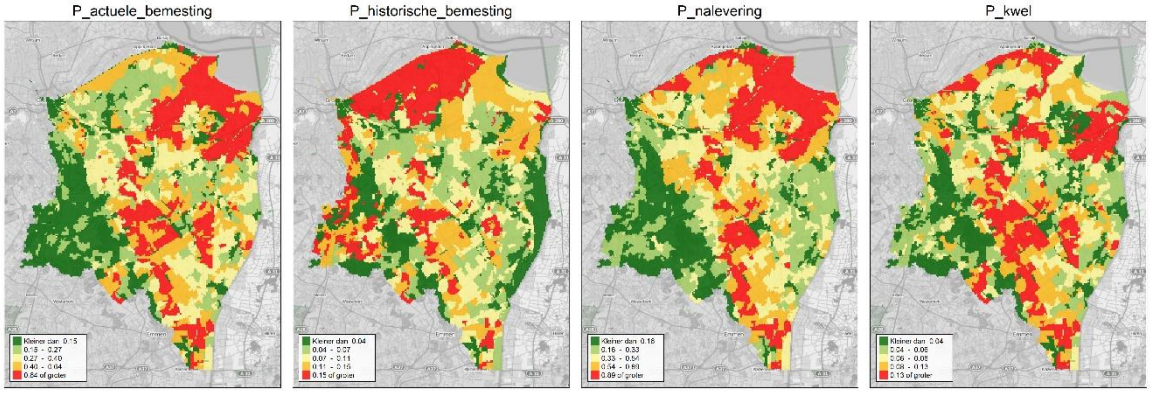
Figuur 3.9. Het meerjarig zomergemiddelde concentratie in het oppervlaktewater (gemiddeld per peilgebied) over de periode 2010-2016 voor totaal-N, ammonium en nitraat.

Veengebieden en kleigebieden hebben gemiddeld hogere verliezen van stikstof naar het oppervlaktewater wat samenhangt met de hogere N-levering van deze bodems en het grotere risico op verliezen via snelle afvoerroutes (drains, oppervlakkige afvoer, ondiepe uitspoeling). Analoog aan stikstof is het meerjarig zomergemiddelde voor fosfor en fosfaat vooral hoog in het Noordoosten van het beheergebied (Figuur 3.10). De concentraties kunnen maximaal oplopen tot 2,3 mg fosfor L^{-1} en tot 1,7 mg ortho-fosfaat L^{-1}. Het grootste deel van de meetgegevens in het hele beheergebied varieert echter tussen 0,1 en 0,2 mg P L^{-1}. Gegeven de hoge P-verzadiging van de bodems en de huidige praktijk van evenwichtsbemesting betekent dit dat eventueel uitspoelend fosfaat in de watergang (dan wel slootbodem) wordt vastgelegd.



Figuur 3.10. Het meerjarig zomergemiddelde concentratie in het oppervlaktewater (gemiddeld per peilgebied) over de periode 2010-2016 voor totaal-P en ortho-P.

Dit beeld wordt deels bevestigd door modelstudies van WEnR waarbij de belasting van het oppervlaktewater in kaart is gebracht met behulp van de ECHO-systematiek (Groenendijk et al., 2016). Via deze methode worden de belangrijkste bronnen en verliesroutes zijn van N en P naar het oppervlaktewater gekwantificeerd. Uit deze analyse blijkt dat de totale P-verliezen naar het oppervlaktewater kunnen oplopen tot 5 kg P ha^{-1} $jaar^{-1}$. Voor fosfor is er een duidelijke link te leggen met het bodemtype zowel qua nalevering als historische bemesting (Figuur 3.11).

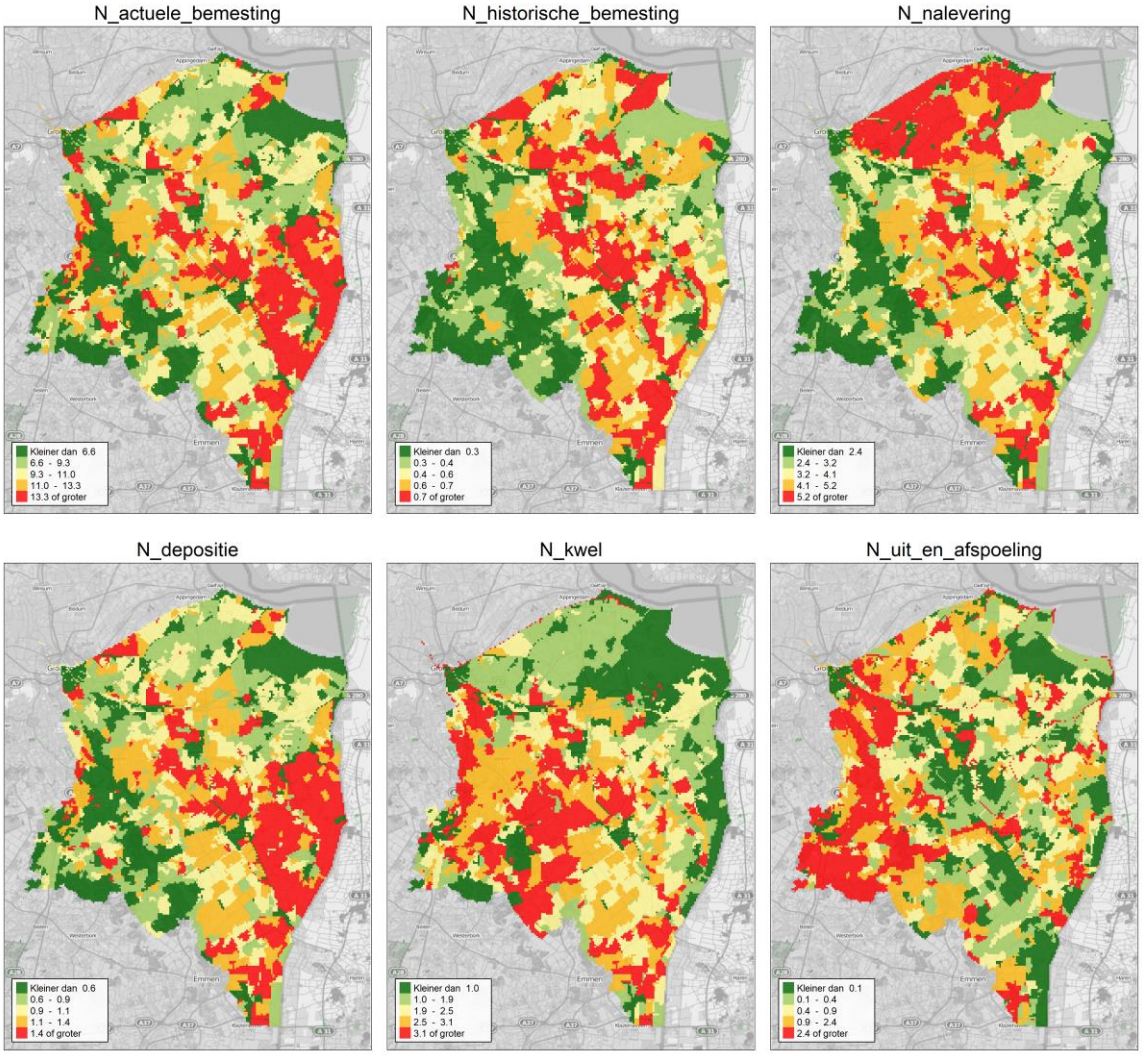


Figuur 3.11. Herkomst van P-afspoeling en uitspoeling naar het oppervlaktewater vanuit de bodem (in kg P ha^{-1} $jaar^{-1}$), afkomstig vanuit actuele bemesting, historische bemesting, nalevering bodem, en kwel berekend met ECHO-systematiek.

De gemiddelde P-belasting uit actuele bemesting, gedefinieerd als de P-uitspoeling in 2027 als gevolg van de bemesting in 2010-2013, varieert van 0,15 kg P ha^{-1} rond de Drentse Aa tot 0,81 kg P ha^{-1} in het kleirijke watersysteem Fiemel. De bijdrage vanuit de bodem is ook het hoogst in deze mariene kleiafzetting. De hoogste bijdrage van historische P-bemesting (d.w.z., de bemesting vanaf 1970 tot 2010) is te vinden in Duurswold, terwijl deze erg laag is (kleiner dan 0,07 kg P ha^{-1}) in grote delen van de Veenkoloniën en Westerwolde. Aanvoer van fosfaat via kwel varieert door het beheergebied met de hoogste bijdrage in watersysteem de Hunze (gemiddeld 0,1 kg P ha^{-1}).

Voor stikstof zien we een gespiegeld beeld ten opzichte van fosfor, omdat voor stikstof de grootste verliezen

optreden rond de Drentse Aa terwijl de P-verliezen daar het laagst zijn. De grootste N-verliezen op jaarbasis zijn afkomstig van actuele bemesting en kunnen oplopen tot 56 kg N ha^{-1}. De gemiddelde verliezen afkomstig uit actuele bemesting variëren van 5,5 kg ha^{-1} in Duurswold tot 12 kg N ha^{-1} in Westerwolde. De gemiddelde bijdrage vanuit historische bemesting is laag en wordt geschat op maximaal 0,5 kg N ha^{-1}. De invloed van de bodem is relatief klein; de uit- en afspoeling vanuit natuurlijke afbraak van organische stof in de bodem varieert gemiddeld van 2,2 tot 3,8 kg N ha^{-1}.

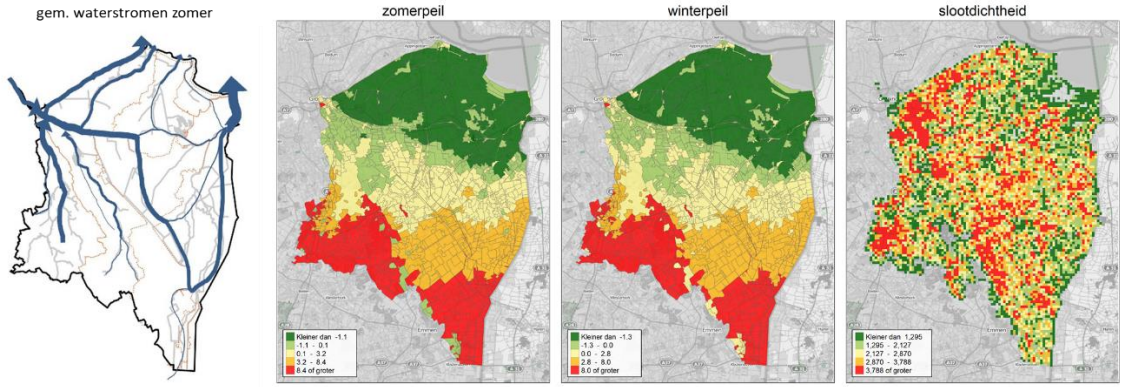


Figuur 3.12. Herkomst van N-afspoeling en uitspoeling naar het oppervlaktewater vanuit de landbouwbodem (in kg N ha^{-1}), afkomstig vanuit actuele en historische bemesting, nalevering bodem, depositie, kwel en af- en uitspoeling vanuit natuurgebieden berekend met ECHO-systematiek.

3.4 Watersysteem

Het oppervlaktewatersysteem bestaat uit negen watersystemen. Voor een zomergemiddelde situatie stroomt het water overwegend van Zuid naar Noord, waarbij er bij Groningen water binnenkomt vanuit het naburige waterschap (Figuur 3.13). Dit water stroomt voor een deel rechtstreeks naar de Eem via watersysteem Duurswold en voor een deel naar het Zuiden om de Veenkoloniën van voldoende water te voorzien. Vlakbij Rütenbrock stroomt het water via Westerwolde weer naar het Noorden waar het uiteindelijk aflaat op de Dollart. Dit betekent ook dat een groot deel van de watersystemen in de zomer gevoed wordt door inlaatwater. De gehanteerde zomer- en winterpeilen lopen op van Noord naar Zuid. De slootdichtheid (bepaalt als de

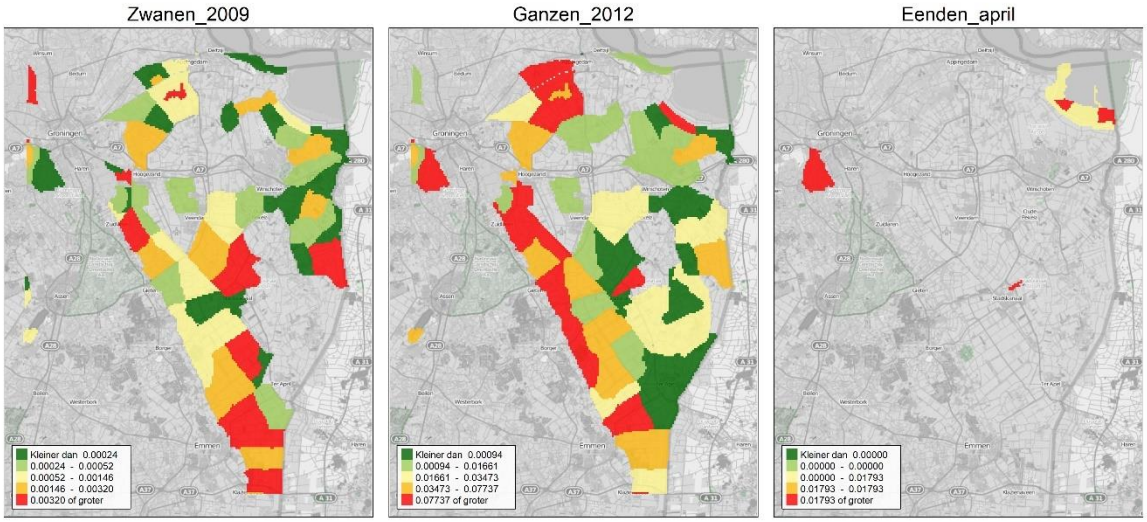
lengte van een watergang – de schouwsloten – per gridcel van 500 x 500 m^2) varieert sterk, waarbij deze relatief hoger is rond Groningen, in de Drentse Aa en in delen van de Veenkoloniën.



Figuur 3.13. Meest voorkomende waterstromen in beheergebied van Hunze en Aas in een zomersituatie (links), de gehanteerde zomer- en winterpeilen (midden) en de slootdichtheid (rechts) als illustratie van een aantal hydrologische kenmerken van de onderzochte watersystemen.

3.5 Water- en weidevogels

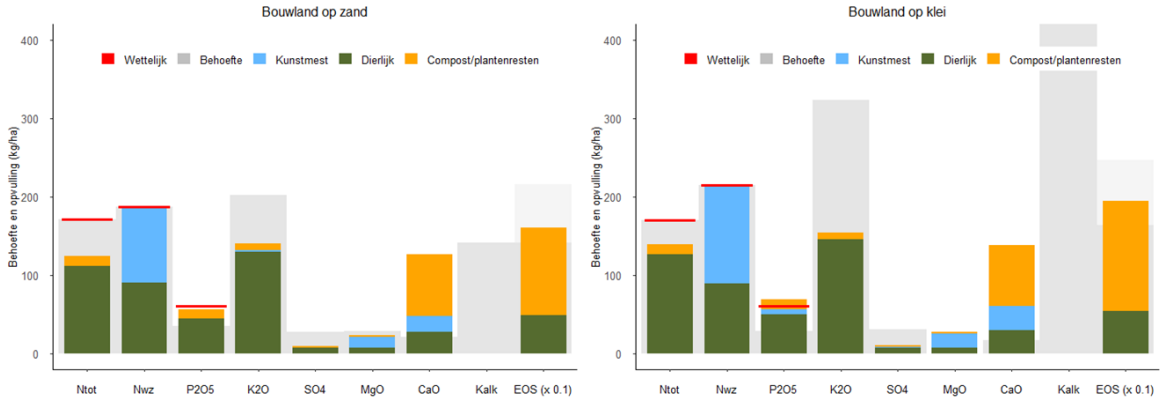
Hoewel er veel gegevens bekend zijn van vogelaantallen uit de Nationale Databank Flora en Fauna, is de ruimtelijke verspreiding per jaar en vogelsoort te fragmentarisch om deze volledig mee te nemen in de gebiedsanalyse. Per vogelsoort zijn er namelijk meerjarige maandgemiddelde tellingen beschikbaar als ook het jaargemiddelde per vogelsoort. Ter illustratie zijn hieronder een aantal voorbeelden gegeven van de verspreiding van zwanen in 2009, ganzen in 2012 en de verspreiding van eenden in de maand april.



Figuur 3.14. Een selectie van beschikbare gegevens uit de NDFF voor wat betreft de ruimtelijke verspreiding van zwanen, ganzen en eenden over het beheergebied van Hunze en Aa's.

3.6 Agronomische analyse mineralenbalans

De agronomische behoefte aan organische stof en nutriënten en de invulling van deze behoefte met verschillende producten is voor de akkerbouw bedrijfssystemen weergegeven in figuur 3.15. Uit dit overzicht blijkt dat voor beide bedrijfssystemen (gemiddeld over het hele beheergebied) de wettelijke ruimte voor dierlijke mest voor een groot deel wordt opgevuld met drijfmest. Vanwege het gebruik van dierlijke mest als P-bron wordt er vrijwel geen P-kunstmest meer gebruikt. Opvallend is de lagere agronomische P-behoefte in vergelijking met de gebruiksnorm. Dit suggereert dat het op vrijwel alle akkerbouwbedrijven voldoende fosfaat beschikbaar is voor gewasopname. 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. Zorgwekkend zijn de aanwezige tekorten aan zwavel en kalium; dit kan betekenen dat de bodembenutting van fosfaat en stikstof verhoogd kan worden door een goed op elkaar afgestemd bodembeheer- en bemestingsplan. Informatie over gebruik van kalk is niet bekend.



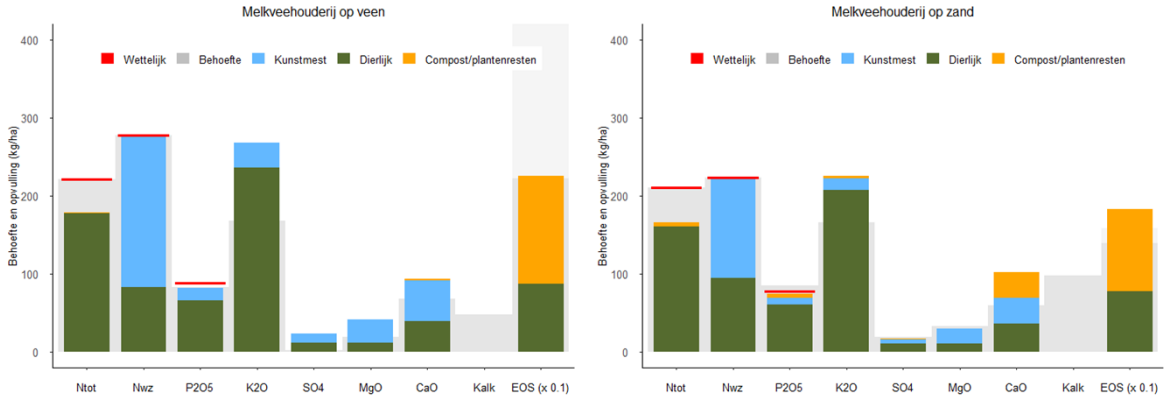
Figuur 3.15. Agronomische behoefte (grijs) en aanvoer van OS, kalk en nutriënten (in kg ha^{-1}) via dierlijke mest (groen), kunstmest (blauw) en compost/ gewasresten (oranje) voor twee akkerbouw bedrijfssystemen. Voor N totaal is de grijze balk de wettelijke ruimte. De aanvoer van kalk is onbekend. 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 / venig materiaal.

De lagere agronomische P-behoefte van akkerbouwbedrijven in vergelijking met de gebruiksnorm hangt sterk samen met de hoge P-toestand van de bodem. Op gronden die als bouwland gebruikt worden, varieert de Pw-waarde van 30 mg P_2O_5 l^{-1} op klei tot 52 mg P_2O_5 l^{-1} op zand. Bijna de helft van de percelen heeft echter een Pw-waarde groter dan 45, wat betekent dat er voldoende fosfaat beschikbaar is voor niet-fosfaatgevoelige gewassen.

In overeenstemming met langjarige bodemanalyses van agrarische percelen is er in alle situaties sprake van een positieve organische stofbalans voor wat betreft de bodem organische stof. Dit betekent dat er meer organische stof wordt aangevoerd dan dat er via afbraak uit de bodem verdwijnt. Het grootste deel van de aanvoer van effectieve organisch stof (EOS) is daarbij afkomstig vanuit gewasresten. De aanvoer van EOS via dierlijke mest compenseert slechts 30% van de afbraak van bodem organische stof. Naast de afbraak van de bodem organische stof is er ook nog sprake van afbraak van veen. Zodra er veen in de bodem zit is de afbraak dermate hoog dat deze niet gecompenseerd kan worden binnen de gangbare bemestingspraktijk. Als het organische stofgehalte lager wordt dan 2% is er een vergroot risico op verslemping en verstuiving en wordt er weinig water vastgehouden (evenals nutriënten). Dit lage OS-gehalte komt voor op minder dan 1% van de

percelen. Voor verbetering van waterkwaliteit via bodembeheer is potentie omdat bodemverdichting één van de grootste problemen is in het landelijk gebied (van den Akker et al., 2012).

Voor de verschillende melkveehouderijbedrijfssystemen wordt niet de volledige gebruiksruimte voor dierlijke mest opgevuld met drijfmest (Figuur 3.16.). Dat betekent dat in het beheergebied geen groot mestoverschot aanwezig is. De bemesting volgt in grote lijnen het agronomisch advies, wat betekent dat het gewas optimaal gebruikt maakt van de gegeven bemesting en er sprake is van evenwichtsbemesting. De aanvoer van kalium overstijgt in alle situaties de gewenste agronomische behoefte. Dit komt grotendeels door de frequente aanvoer van kalium via drijfmest waardoor de bodem relatief verrijkt is met kalium: bodems met een lage K-toestand komen dan ook vrijwel niet voor.



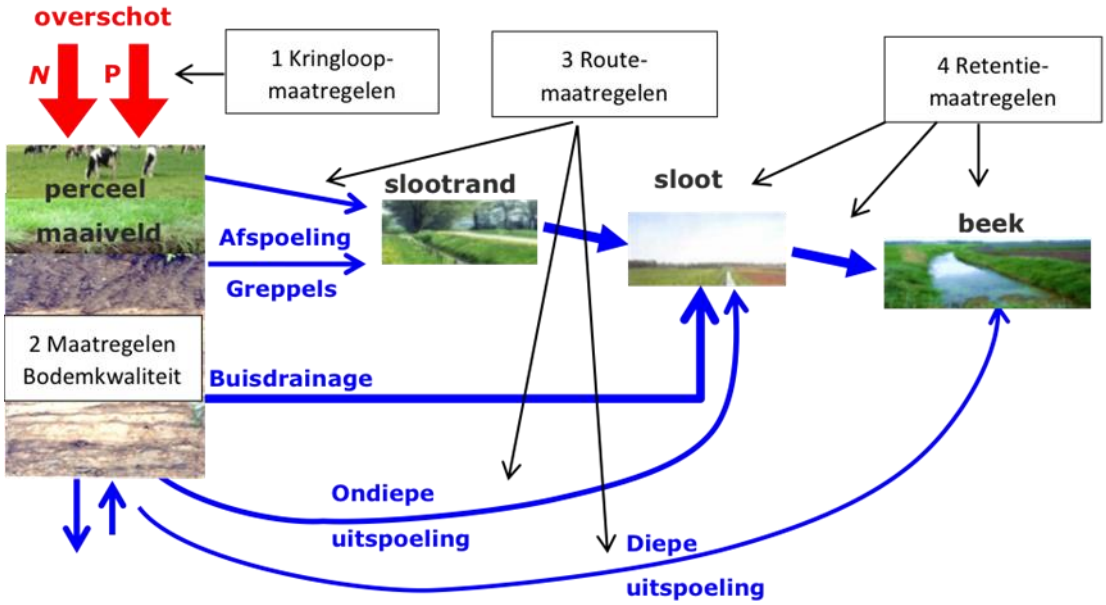
Figuur 3.16. Agronomische behoefte (grijs) en aanvoer van OS, kalk en nutriënten (in kg ha^{-1}) via dierlijke mest (groen), kunstmest (blauw) en compost/ gewasresten (oranje) voor twee melkveehouderijbedrijfs-systemen. Voor N totaal is de grijze balk de wettelijke ruimte. De aanvoer van OS is om visuele redenen uitgedrukt in eenheden van 10 kg ha^{-1}, waarbij de lichtgrijze balk gelijk is aan de OS-afbraak uit veen.

Door de inzet van rundveedrijfmest wordt ruim voorzien in de aanwezige behoefte aan fosfaat, kalium, zwavel, magnesium, calcium. De overmaat van kalium met 100-175 kg K_2O ha^{-1} is vanuit de duurzaamheidsgedachte ongewenst. Extra zwavelbemesting via kunstmest is voor vrijwel alle melkveehouderijbedrijven niet nodig. De OS-balans is negatief als ook gecompenseerd moet worden voor veenafbraak. Deze afbraak is binnen de huidige mestwetgeving echter 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 bedrijfssystemen de gebruiksnormen voor fosfaat grotendeels worden opgevuld. 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, evenals de timing in het groeiseizoen. Volledige bemesting met organische mest verhoogt het risico op mineralisatie buiten het groeiseizoen, met bijbehorende verliezen.

4. Maatregelen

Er zijn meer dan honderd maatregelen bekend die de belasting vanuit landbouwbodems kunnen verlagen. Deze maatregelen kunnen gegroepeerd worden in maatregelen die achtereenvolgens ingrijpen op het nutriëntenoverschot (bron), de efficiëntie van bemesting[1] (maatregelen bodemkwaliteit), de verliesroutes dan wel de retentie in het ontvangende waterlichaam (Figuur 4.1.).



Figuur 4.1. 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-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-lijst[2] 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

[1] 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 nutrienten in de bodem (natuurlijk dan wel opgebouwd in het verleden).

[2] 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

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 ingezet[3]. 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.

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 4.1.).

Tabel 4.1. 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)

[3] Een aantal voorbeelden:

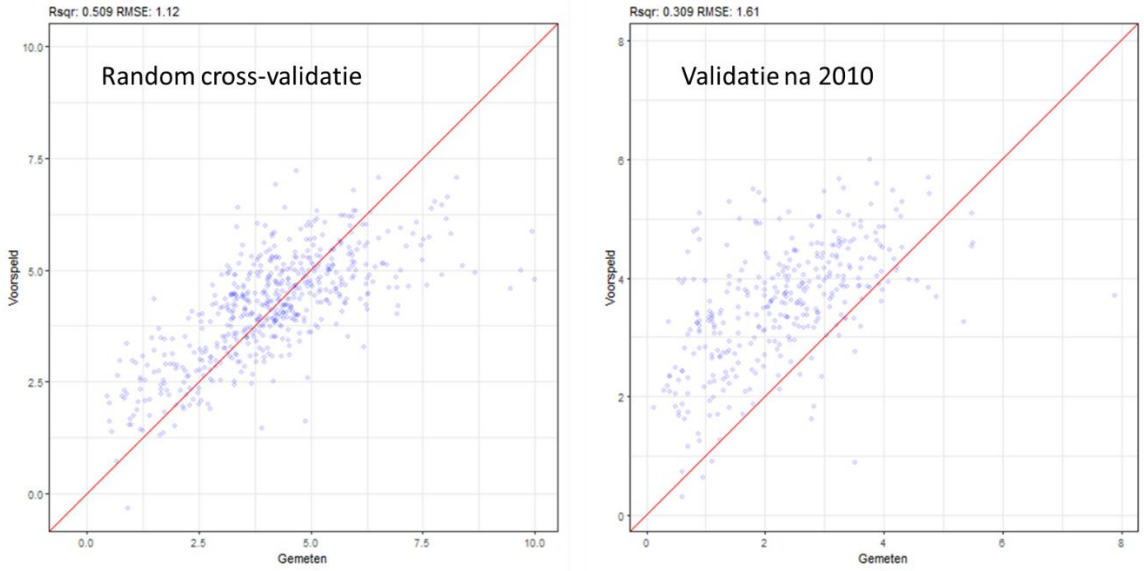
- Maatregelen die zorgen voor betere bemesting werken alleen als ook daadwerkelijk de hoogte van de gift wordt aangepast aan de hogere werking;
- Maatregelen voor een goed slootkantbeheer / bufferstroken zijn alleen effectief bij een goede uitvoering.
- Maatregelen die pleiten voor meer organische stof 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 mais in ruitverband is de meerwaarde voor schoon water onduidelijk.

Via inzet van deze bovenwettelijke maatregelen kan de opgave voor uit- en afspoeling van stikstof grotendeels worden gerealiseerd. De opgave voor fosfor is met de bestaande maatregelen echter niet te realiseren (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 (Figuur 4.1).

5. Sturende factoren waterkwaliteit

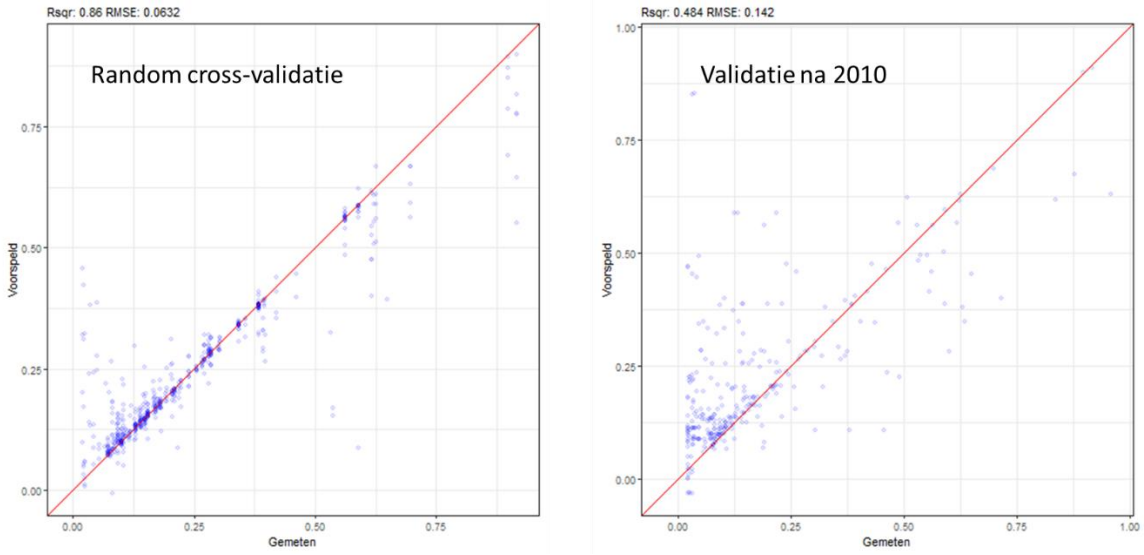
5.1 Voorspelling N- en P-concentraties

Om inzicht te geven in de ruimtelijke gebiedskenmerken die van invloed zijn op de gemeten stikstof- en fosforconcentraties in het beheergebied van Hunze en Aa zijn statische modellen ontwikkeld en getoetst. Uit deze toetsing blijkt dat via kruisvalidatie het mogelijk is om 51% van de variatie in de zomergemiddelde concentratie van N-totaal te verklaren (Figuur 5.3., links). Toetsing op een onafhankelijke set geeft een vergelijkbaar resultaat (Figuur 5.3., rechts) al lijkt er een constante overschatting op te treden van de voorspelde concentraties. De gemiddelde fout ligt tussen 1,1 en 1,6 mg N L^{-1}.



Figuur 5.3. 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.

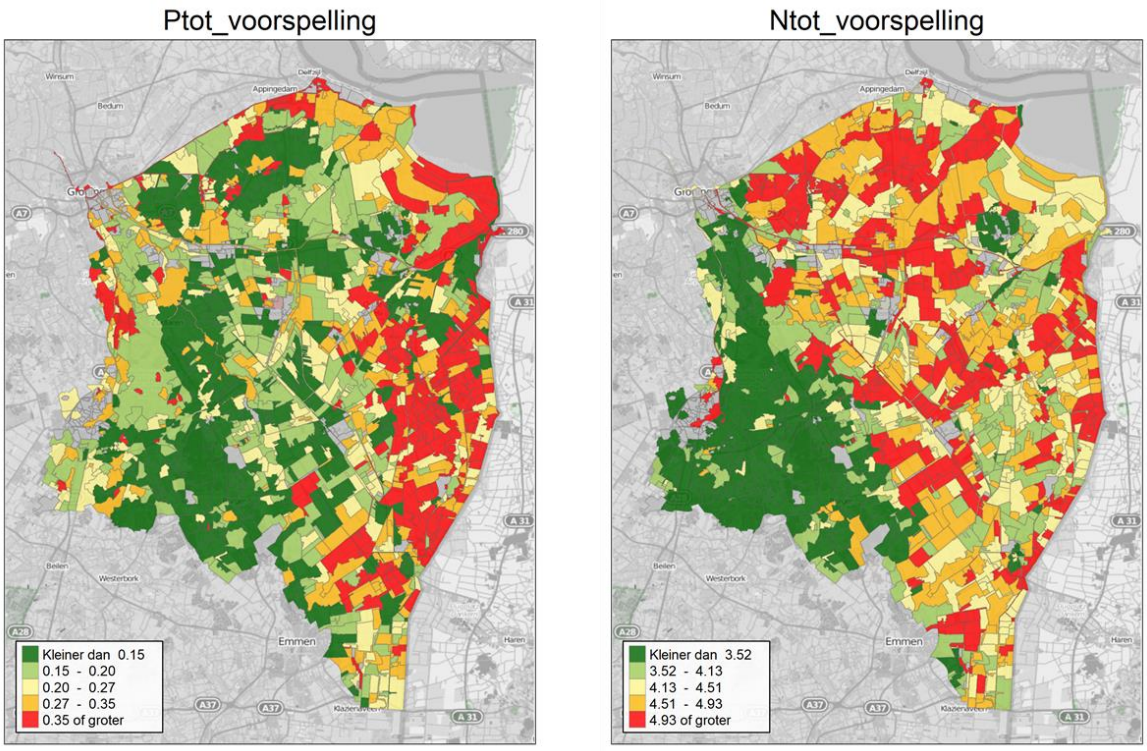
Voor fosfor is er veel minder spreiding in de zomergemiddelde concentraties waarneembaar, en deze variatie is goed te beschrijven op basis van gebiedskenmerken; het model verklaart 86% van de variatie.



Figuur 5.4. Modelnauwkeurigheid (met R^2 voor verklaarde variantie en RMSE voor de gemiddelde afwijking) voor het voorspellen van het P-totaalgehalte in het oppervlaktewater gedurende de zomer.

Het gebruikte statistische model maakt gebruik van gebiedskenmerken als bodem, landgebruik, bemesting (incl. bronnenstudie), weer en geohydrologie. Gegevens rond weide- en watervogels waren onvoldoende ruimtelijk beschikbaar. Water- en stofstromen vanuit mechanistische modellen gaven nuttige informatie, maar overlapten 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, zijn de water- en stofstromen niet meegenomen in de statistische analyse. De resultaten van de bronnen-analyse (berekend met ECHO) zijn daarentegen wel meegenomen, omdat deze extra inzicht geven die niet direct gerelateerd (kunnen) zijn aan meetgegevens.

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 mogelijke verliezen van nutrienten naar het watersysteem (Figuur 5.5). De ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties sluit aan bij de gebiedsexpertise van betrokken medewerkers van het waterschap met uitzondering van de hoge voorspelde P-concentraties in Westerwolde. In overleg met gebiedsexperts blijkt deze overschatting waarschijnlijk het gevolg te zijn van i) enkele meetpunten die zeer sterk beïnvloedt worden door gebieds-vreemd water, en ii) het gebruik van gefragmenteerde meetseries van fosfaat vanuit het waterkwaliteitsportaal. Deze twee aandachtspunten worden nader onderzocht (en opgelost) in de studie van Ros & Verweij (2019).



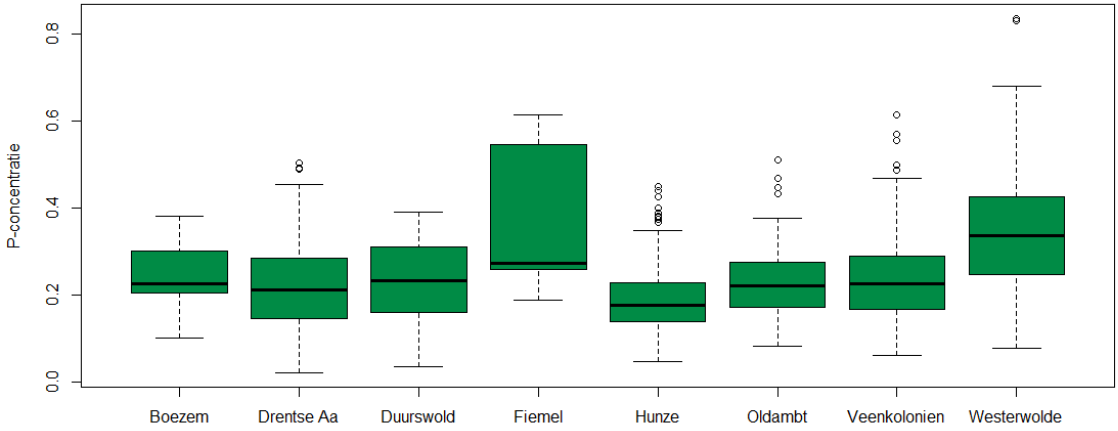
Figuur 5.5. Voorspelde N-totaal en P-totaalconcentraties (mg / L) in het oppervlaktewater gedurende de zomermaanden in het beheergebied van Hunze en Aa.

5.2 Vergelijking per watersysteem

Uit deze analyse blijkt dat de grootste fosforverliezen optreden in watersystemen Westerwolde, Fiemel, en een klein deel van de Veenkoloniën (Figuren 5.5 en 5.6). Opvallend zijn de hoge P-concentraties in Westerwolde, omdat deze lijken te contrasteren met de inzichten vanuit de ECHO-systematiek waar in deze regio zowel vanuit de actuele bemesting als de historische bemesting en nalevering vanuit de bodem relatief

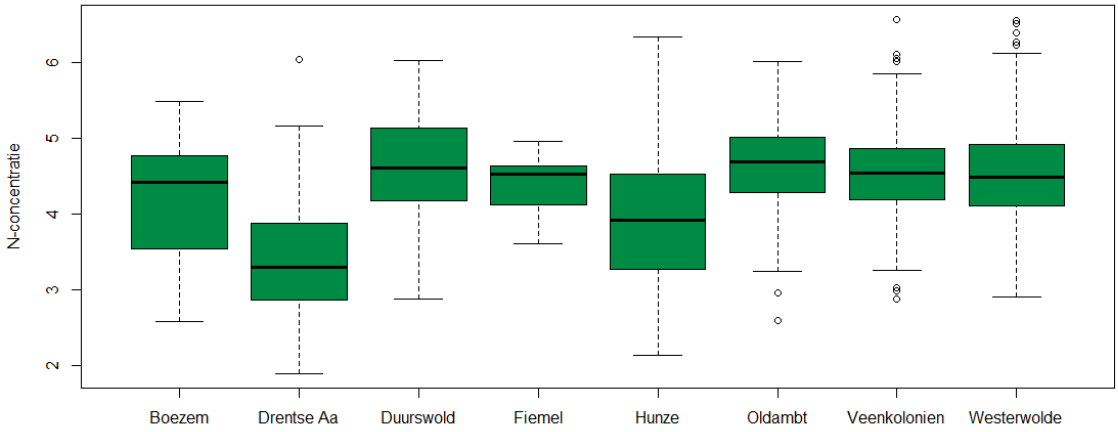
minder verliezen optreden in vergelijking met de Hunze, Fiemel, Oldambt en Duurswold. Anderzijds is het wel een regio waar veel gebruik wordt gemaakt van dierlijke mest en er nog steeds sprake is van een netto P-opbouw van de bodem. Bovendien is de bodem sterk verzadigt met fosfaat, heeft de bodem een groot risico op bodemverdichting, en lijken er weinig regenwormen aanwezig te zijn. Ook is er sprake van een intensieve bouwplan waardoor zorg voor de bodemkwaliteit onder druk staat. Dit zijn allemaal factoren die bijdragen aan een groter risico op P-verliezen naar het oppervlaktewater. Zoals eerder genoemd zijn er echter een paar knelpunten met de fosfaatmetingen in deze regio. Een detail-analyse van de verschillende meetpunten in Westerwolde wordt na deze studie uitgevoerd om meer zicht te krijgen op de mogelijke relatie tussen gebiedskenmerken en de P-concentraties in dit watersysteem (Ros et al., 2019).

Fosforconcentraties in het noordelijk kleigebied lijken juist lager te zijn, in het bijzonder in gebieden die relatief minder klei bevatten. Lagere gemeten concentraties suggereren dat fosfaat vastgelegd wordt in het watersysteem, dan wel dat het verdund wordt door inlaat van gebiedsvreemd water.



Figuur 5.6. Spreiding in voorspelde meerjarig zomergemiddelde P-totaalconcentraties (mg P L^{-1}) in het oppervlaktewater per watersysteem.

Voor stikstof is het beeld heterogener met uitzondering voor de lage concentraties in de Drentse Aa. De concentraties voor zowel stikstof als fosfor zijn daar overwegend kleiner dan 0,2 mg P L^{-1} en 3,5 mg N L^{-1} en daarmee het laagst in het beheergebied van Hunze en Aa. De hoogste concentraties treden voornamelijk op in watersystemen Duurswold, de Hunze, het Noordelijk deel van de Drentse Aa en het Westelijk deel van Oldambt en de Veenkoloniën. De gemiddelde (mediane) N-concentratie varieert van 3,3 mg L^{-1} in de Drentse Aa tot 4,7 mg L^{-1} in Oldambt. Er is een zwak verband met de aanwezigheid van veen en moerige bodems.

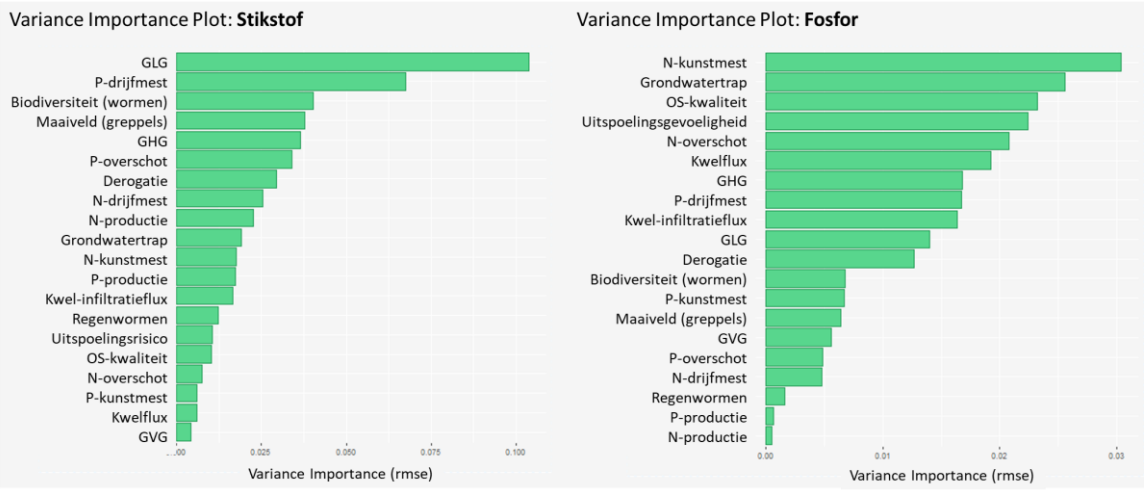


Figuur 5.7. Spreiding in voorspelde meerjarig zomergemiddelde N-totaalconcentraties (mg N L^{-1}) in het oppervlaktewater per watersysteem.

5.3 Analyse sturende gebiedskenmerken

5.3.1. Sturende factoren over hele beheergebied

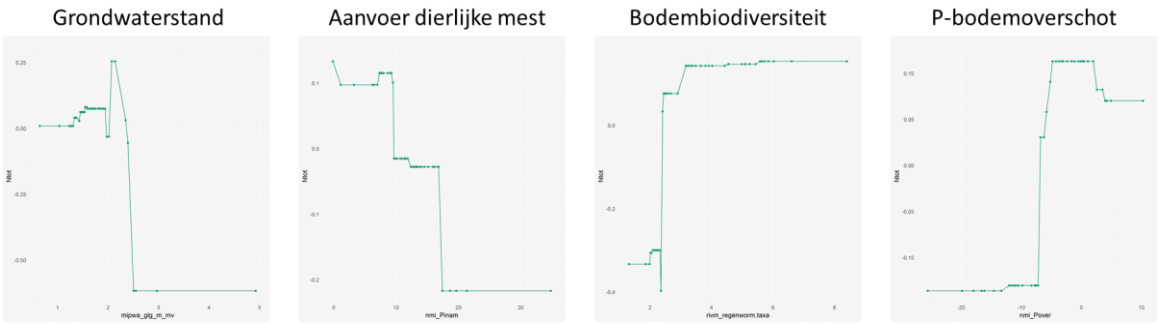
De belangrijkste (sturende) variabelen dan wel gebiedskenmerken die samenhangen met de ruimtelijke variatie in fosfor en stikstof-concentraties over het hele beheergebied van Hunze en Aa's worden weergegeven in Figuur 5.8. De ruimtelijke variatie in de zomergemiddelde P-concentraties blijkt sterk samen te hangen met teelten met een hoge N-bemesting, de vochttoestand van de bodem, de kwaliteit van de organische stof in de bodem, de uitspoelingsgevoeligheid van de bodem, de waterflux vanuit de onverzadigde zone en het gebruik van dierlijke mest. Voor N is de grondwaterstand en de beschikbaarheid van water in de zomer (de GLG en GHG) als ook het gebruik van dierlijke mest en de biodiversiteit in de bodem (vooral gerelateerd aan regenwormen en landgebruik) een belangrijk gebiedskenmerk dat de ruimtelijke variatie verklaart in de zomergemiddelde concentraties.



Figuur 5.8. De belangrijkste sturende factoren die samenhangen met de ruimtelijke variatie in N-totaal (links) en P-totaal (rechts) binnen het beheergebied van Hunze en Aa. 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 de desbetreffende gebiedskenmerken (Figuren 5.9 en 5.10). Gebieden met een diepe grondwaterstand (> 2,5 m-mv) hebben substantieel lagere verliezen van stikstof naar het oppervlaktewater dan gebieden met een ondiepe grondwaterstand. Deze gebieden worden namelijk gekenmerkt door meer infiltratie naar het grondwater en hebben minder risico op runoff en ondiepe uitspoeling. Dit wordt bevestigt door een positief verband met het uitspoelingsrisico op basis van de LMM-metingen (niet weergegeven): gebieden met een hoog risico op uitspoeling (als functie van bodemkenmerken en teelt) worden namelijk gekenmerkt door lagere verliezen naar het oppervlaktewater. Tegelijkertijd is er in deze gebieden een lagere aanvoer van dierlijke mest (uitgedrukt in fosfaat, vaak kleiner dan 10 kg P ha^{-1}) en een negatief P-bodemoverschot. Concreet hangt dit samen met de huidige bemestingspraktijk waarbij fosfaatrijke percelen weinig mest mogen krijgen (conform de mestwetgeving). Binnen het beheergebied van Hunze en Aa's is dit ook gekoppeld aan het landgebruik; de P-ruimte voor de akkerbouwbedrijven wordt niet volledig opgevuld.

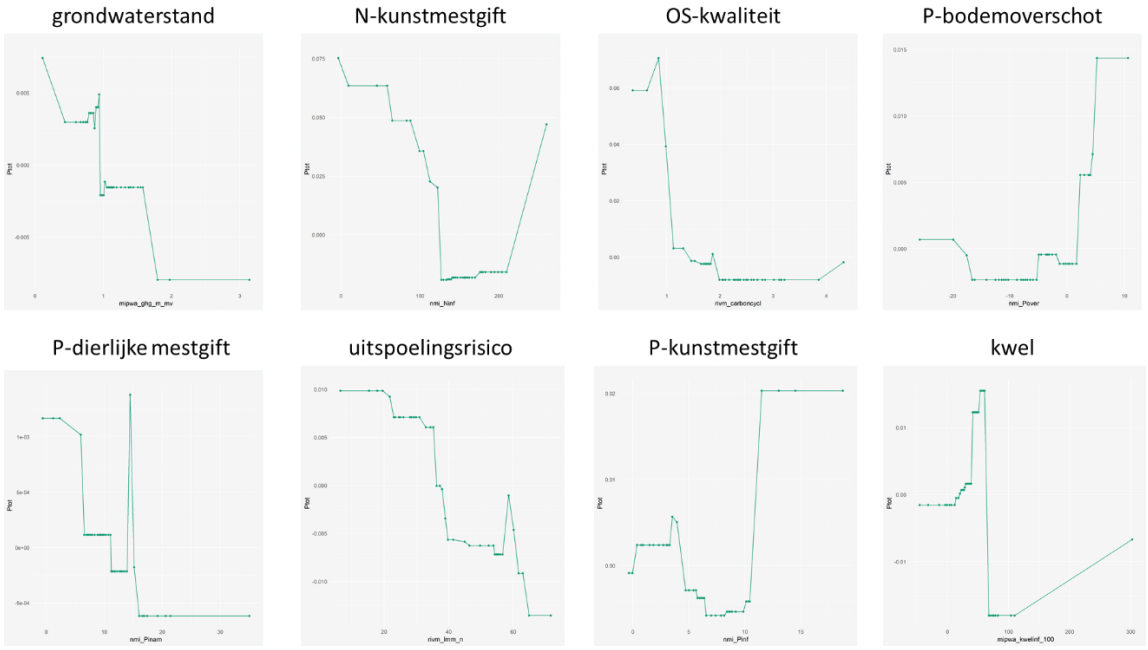


Figuur 5.9. Invloed van een aantal regionale sturende factoren op de ruimtelijke variatie in het N-totaalgehalte in het oppervlaktewater.

Het belangrijkste landgebruik op melkveehouderijbedrijven is gras. Gras is een N-efficiënt gewas met daardoor relatief lage N-verliezen. Dit effect van landgebruik is ook zichtbaar in het bodemoverschot: op grasland is er gemiddeld sprake van evenwichtsbemesting voor fosfaat dan wel van negatieve bodemoverschotten (meer afvoer dan aanvoer), terwijl dat op akkerbouwpercelen (nog) niet het geval is. Dit effect van landgebruik wordt ook zichtbaar in de positieve relatie met bodembiodiversiteit (Figuur 5.9.); de soortenrijkdom van regenwormen neemt gemiddeld genomen af in de volgorde gras, granen, rooivruchten, maïs en overige gewassen (niet weergegeven).

Peilgebieden met een hoge P-concentratie in het oppervlaktewater worden vooral gekenmerkt door een ondiepe grondwaterstand (GHG < 100 cm-mv), een N-kunstmestgift kleiner dan 100 kg N ha^{-1}, een P-bodemoverschot groter dan 5 kg P ha^{-1}, een lage hoeveelheid dierlijke mest op bouwland (< 10 kg P ha^{-1}), bodems met een laag risico op uitspoeling naar het grondwater en gebieden met weinig tot geen kwel. Bij een ondiepe grondwaterstand is er namelijk meer risico op oppervlakkige afspoeling van fosfaat en is er minder retentie mogelijk in de bodem (ondiepe stroombanen). Indirect is dit ook te zien door een negatief verband met het uitspoelingsrisico van stikstof: gebieden met een hoog uitspoelingsrisico voor stikstof worden ook gekenmerkt door lagere P-concentraties in het oppervlaktewater. Het negatieve verband met de dierlijke mestgift hangt mogelijk samen met de P-toestand van de bodem en het landgebruik. Op grasland zijn de verliezen van N en P kleiner terwijl de aanvoer van dierlijke mest relatief hoog is. De negatieve relatie met N-kunstmest is ook een geassocieerd effect van landgebruik; de hoogte van de N-gift wordt namelijk bepaald door de gewaskeuze en het bodemtype. Bodems met een lage afbreekbaarheid van organische stof komen vaker voor in gebieden met hogere P-concentraties. Dit hangt deels samen met het verschil tussen veen,

moerige en minerale gronden, maar suggereert ook dat een vitale bodem (met een goed bodemleven en kwaliteit van organische stof) samenhangt met lagere verliezen naar het watersysteem. Gebieden met veel (ijzer)rijke kwel worden gekenmerkt door lagere P-concentraties in het oppervlaktewater, wat samenhangt met vastlegging in de slootbodem.



Figuur 5.10. Invloed van een aantal regionale sturende factoren op de ruimtelijke variatie in het P-totaalgehalte in het oppervlaktewater.

5.3.2. Sturende factoren per peilgebied

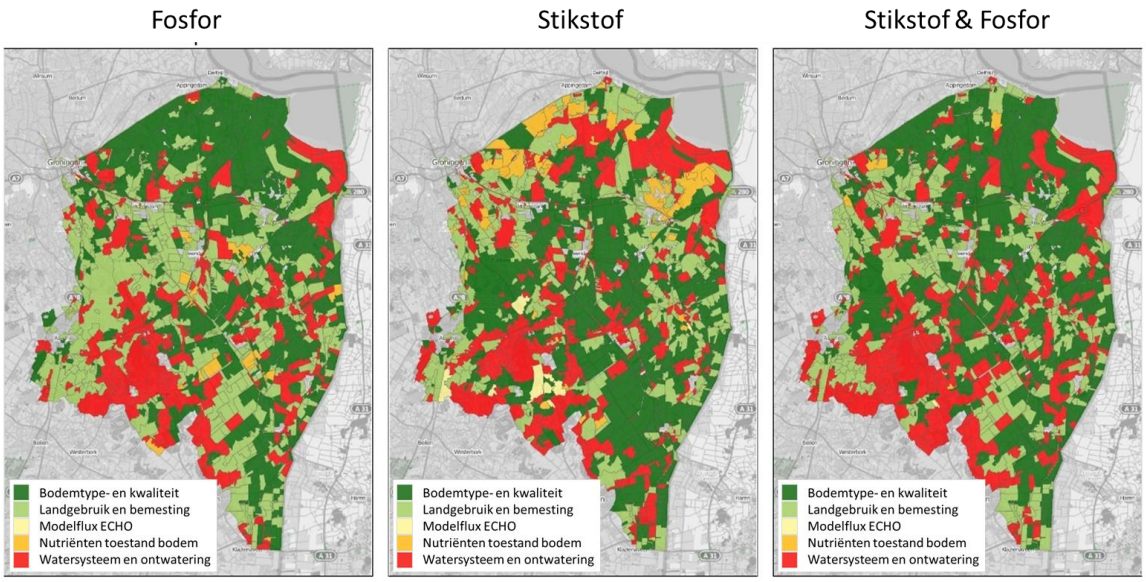
Per peilgebied is aanvullend geanalyseerd wat de meest invloedrijke gebiedskenmerken zijn die samenhangen met de ruimtelijke variatie in stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater. Hiervoor is per peilgebied onderzocht wat de vijf meest invloedrijke gebiedskenmerken zijn, waarna deze kenmerken zijn gegroepeerd in factoren die samenhangen met het bodemtype en de bodemkwaliteit, het landgebruik en bemesting, de nutriëntentoestand van de bodem, het watersysteem en vochthuishouding in de bodem en de geschatte N- en P-vracht conform de ECHO-systematiek. Deze groepen zijn gemaakt om een eenvoudig overzicht te creëren en omdat dit inzicht geeft in passende maatregelen om de uit- en afspoeling van nutrienten te sturen.

In meer detail horen de volgende gebiedskenmerken per groep:

- **bodemtype en -kwaliteit**: uitspoelingsgevoeligheid, voorkomen en soortenrijkdom regenwormen-populatie, C-afbraak van bodem organische stof, waterbergingscapaciteit, bodemverdichting, bodemtype, bodemvruchtbaarheid, en chemische en fysische bodemeigenschappen als pH, organische stof, CEC, en het zand-, silt- en kleigehalte.
- **landgebruik en bemesting**: productie van N en P, bemesting van N en P via kunstmest en dierlijke mest, het N- en P-overschot, het landgebruik, het percentage van bedrijven met derogatie, bewortelingsdiepte en modelmatig geschatte N- en P-verliezen vanuit actuele en historische bemesting en natuurpercelen.
- **nutriëntentoestand bodem**: de totale en plant-beschikbare hoeveelheid stikstof, fosfaat en zwavel in de bodem, de afbreekbaarheid van stikstof (bodemleven), en modelmatig geschatte N- en P-verliezen vanuit de bodem (ECHO-systematiek).

- **watersysteem en vochthuishouding**: maaiveldhoogte, slootdichtheid, neerslag, verdamping, GHG, GLG, GVG, kwel- en infiltratieflux vanuit mipwa, grondwatertrap, en de modelmatig geschatte N- en P-vrachten vanuit kwel, infiltratie, en depositie (ECHO-systematiek).
- modelmatig berekende **stikstof- en fosforverliezen**, zoals deze in kaart zijn gebracht via de ECHO-systematiek (deze representeren indirect de combinatie van de hier bovenstaande gebiedskenmerken) en de bekende N en P-vracht uit **RWZI's**.

Hieronder staat voor heel het beheergebied aangegeven welke groepen van gebiedskenmerken, geselecteerd uit de top-5 kenmerken per gebied, het meest sturend zijn op de ruimtelijke verdeling van fosfor, stikstof en de combinatie van beide in het oppervlaktewater (Figuur 5.11). Als in een peilgebied de nutriëntentoestand van de bodem 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 peilgebied en de gemiddelde P-concentratie in het hele beheergebied. In 36% van de peilgebieden zijn bodemtype en -kwaliteit sterk sturend op de hoogte van de P-concentratie. Dit is vooral het geval in de watersystemen Duurswold, Oldambt en Westerwolde. Landgebruik en bemesting zijn belangrijk in 40% van de peilgebieden en hebben vooral invloed in de Drentse Aa en de Veenkoloniën. De vormgeving van het watersysteem en de bodemvochthuishouding zijn van invloed op 23% van de peilgebieden die voornamelijk voorkomen in watersysteem de Hunze.



Figuur 5.11. Ruimtelijke weergave van de meest sturende gebiedskenmerken (gegroepeerd per type, en geselecteerd uit de top-5 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. Links de meest sturende kenmerken voor fosfor, midden voor stikstof en rechts voor zowel stikstof als fosfor.

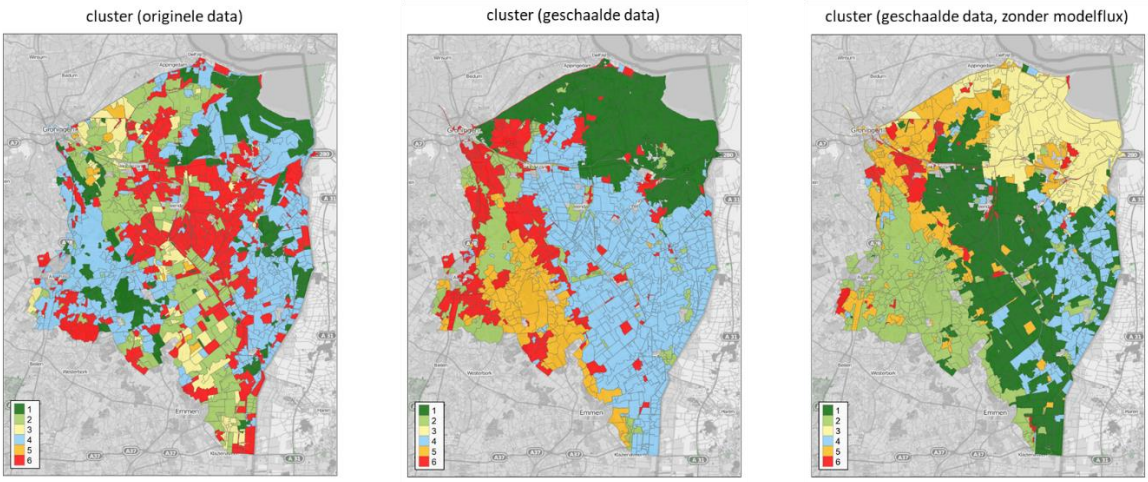
Voor stikstof is dit patroon licht gespiegeld ten opzichte van fosfor. Ook hier is bodemtype en -kwaliteit in een groot deel van het beheer-gebied relevant, en wel voor 36% van de peilgebieden. Deze peilgebieden liggen vooral in watersysteem de Veenkoloniën. Landgebruik en bemesting sturen sterk op de N-concentratie in 31% van de peilgebieden die over heel het beheergebied voorkomen. In het Noorden van het beheergebied komen diverse peilgebieden voor waar de nutriënten-toestand van de bodem een belangrijke factor is terwijl het watersysteem en de ontwateringstoestand een groot effect hebben in de watersystemen de Drentse Aa, Oldambt en Fiemel.

Als er niet specifiek gekeken wordt naar stikstof of fosfor, dan blijkt het bodemtype en de bodemkwaliteit in 34% van de peilgebieden de belangrijkste factor te zijn die van invloed is op de N- en P-concentraties. Deze gebiedskenmerken zijn vooral relevant in de peilgebieden ten Noorden en Oosten van de Veenkoloniën. De vochthuishouding en de geohydrologie zijn sterk sturend in 29% van de peilgebieden die vooral voorkomen in het Zuiden van de Drentse Aa en de Hunze als ook in het Noorden van watersysteem Westerwolde. De overige peilgebieden worden vooral beïnvloedt door landgebruik en bemesting.

5.3.3. 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. Hiermee is het in principe mogelijk om per peilgebied of watersysteem inzicht te geven in de belangrijkste sturende variabelen. Voordat naar dit ruimtelijke schaalniveau wordt ingezoomd, wordt eerst onderzocht of het ook mogelijk is om groepen van peilgebieden te maken die overeenkomen in gebiedskenmerken en daaraan gekoppelde N- dan wel P-verliezen.

Op basis van verschillen in bodem, landgebruik, bemesting (incl. bronnen-analyse), geohydrologie en weer zijn binnen het beheergebied van Hunze en Aa's zes clusters onderscheiden (Figuur 5.12; statistische clusteranalyse gebruik makend van kNN-clusteringsalgoritme). In grote lijnen zijn hierin ook de verschillende watersystemen te herkennen. De clustering op basis van de niet-getransformeerde metingen (Figuur 5.12, links) laat daarbij relatief veel variatie zien rond watersysteem de Hunze en de Veenkoloniën en grote overeenkomsten tussen de peilgebieden binnen watersysteem de Drentse Aa en Westerwolde.



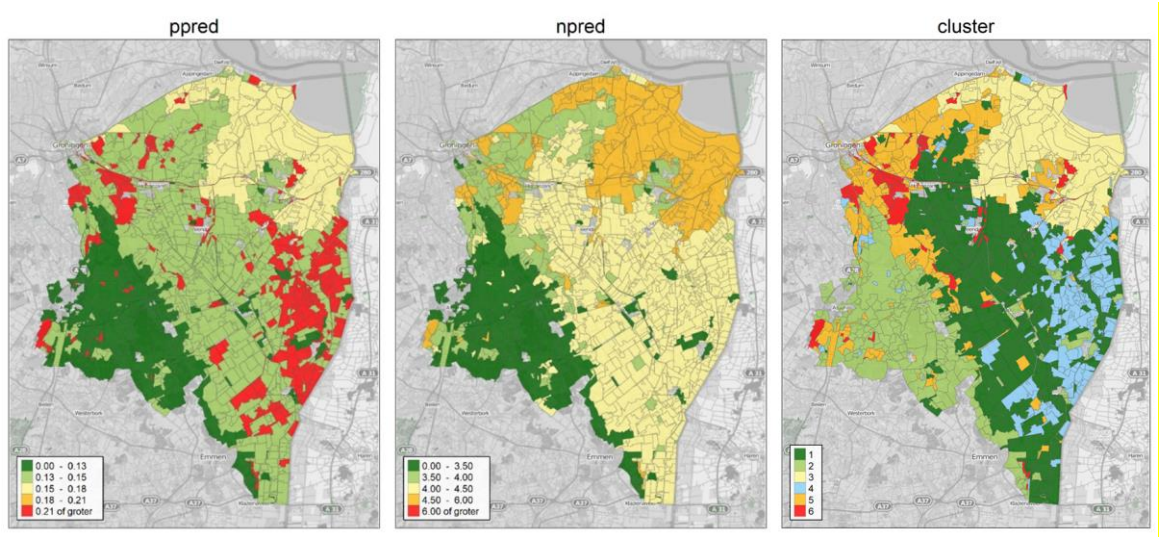
Figuur 5.12. Clusters van peilgebieden binnen het beheergebied van Hunze en Aa's met vergelijkbare gebiedskenmerken gebaseerd op de niet-getransformeerde metingen inclusief modelresultaten SWAP / STONE (links), gebaseerd op de geschaalde metingen inclusief (midden) en zonder deze modelresultaten (rechts). Let op, gebruikte kleurschaal varieert per kaart en heeft hier geen inhoudelijke betekenis.

Dit is deels het resultaat van de grote variatie in de gebruikte gebiedskenmerken die allemaal hun eigen eenheid hebben (soms ing mg L^{-1}, soms in kg ha^{-1} en soms in aantallen). Om de impact van deze verschillen in eenheid te voorkomen zijn alle gebiedskenmerken geschaald via een zogenoemde z-score[4] transformatie.

[4] 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.

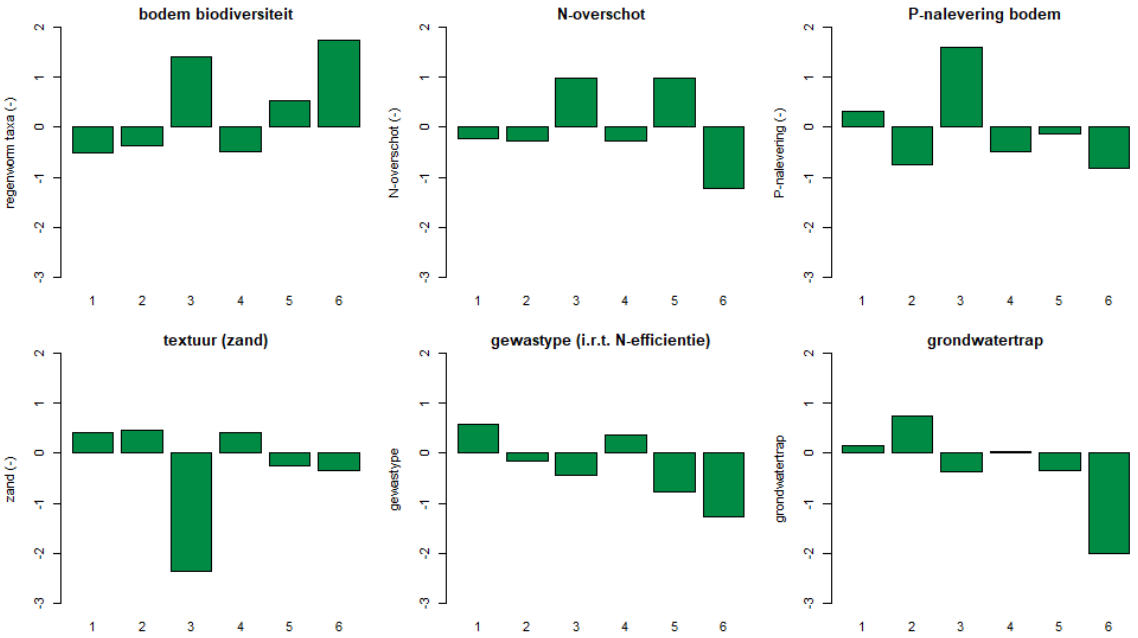
Door het schalen van de metingen via een z-score heeft elke parameter namelijk dezelfde eenheid, waardoor alle gebiedskenmerken relatief evenveel invloed krijgen. Het gebruik van geschaalde data heeft de voorkeur boven niet-geschaalde gegevens. Na het schalen zijn in grote lijnen de hoofdwatersystemen goed herkenbaar (Figuur 5.12, midden). Om een indruk te krijgen van de invloed van de berekende water- en stofstromen uit mechanistische modellen (m.a.w., de water- en stofstromen uit landelijke modellen SWAP / STONE), is de clustering ook uitgevoerd zonder deze modelvariabelen (Figuur 4.12, rechts). De resultaten van de ECHO-analyse zijn hierbij overigens wel meegenomen. Deze laatste optie staat het dichtst bij daadwerkelijke metingen, en wordt dan ook gebruikt in deze studie om specifieke maatregel-pakketten af te leiden.

De gemiddelde gebiedskenmerken die kenmerkend zijn voor de verschillende peilgebieden per cluster worden hieronder kort toegelicht. Let wel, deze clustering is een reflectie van alle gebiedskenmerken inclusief de belasting naar het oppervlaktewater en geeft – zonder interpretatie – nog niet per direct aan welke verschillen optreden in N- en P-concentraties. Belangrijke gebiedskenmerken die sturend zijn voor de verschillende gebiedsclusters van peilgebieden zijn bodemtype (zand, veen, of klei), gewastype en bouwplan, de grond-waterstand, de P-rijkdom van de bodem, het N-overschot en de biodiversiteit in de bodem (gebruik makend van regenwormen als indicator). In figuur 5.13 wordt aangegeven wat de gemiddelde N- en P-concentratie zou zijn voor de verschillende clusters van peilgebieden.



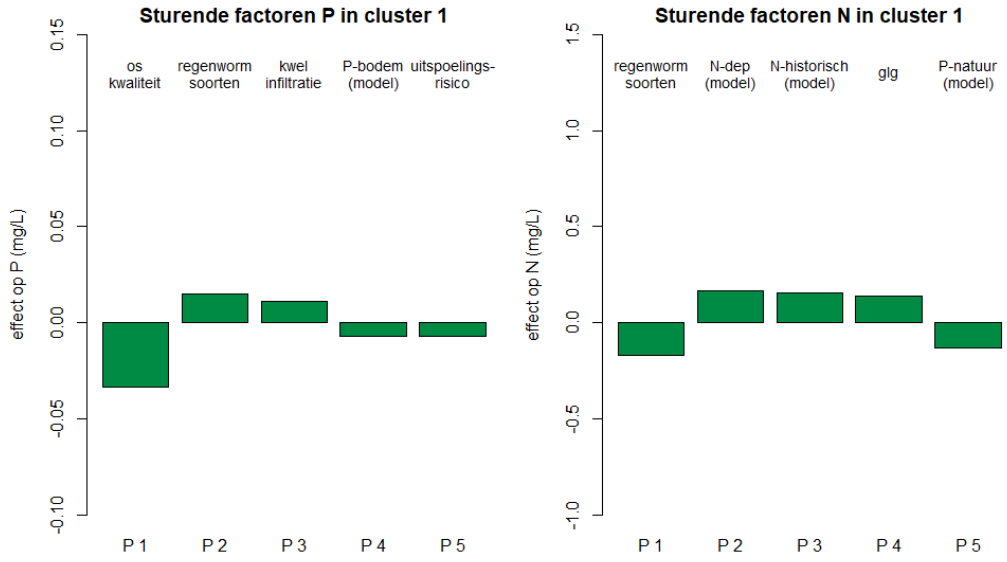
Figuur 5.13. De voorspelde fosfor- (links) en stikstofconcentraties (midden) in het oppervlaktewater gegeven de gebiedsgemiddelde kenmerken van elk cluster (rechts).

De hoogste voorspelde P-concentraties komen voor in het noordelijk en oostelijk deel van het beheergebied, met een focus in de watersystemen Westerwolde, Fiemel en Oldambt. Voor stikstof komen de hoogste concentraties voor binnen watersystemen Fiemel en Oldambt, maar liggen de concentraties in vrijwel alle clusters boven de 3,5 mg N L^{-1}. De concentraties voor zowel N als P zijn het laagst in het Zuidwestelijk deel van het beheergebied. De meest kenmerkende gebiedskenmerken per cluster worden hieronder geïllustreerd.



Figuur 5.14. Gemiddelde kenmerkende gebiedseigenschappen van de zes geïdentificeerde clusters binnen het beheergebied van Hunze en Aa's. De waarde op de y-as is de gestandaardiseerde z-score.

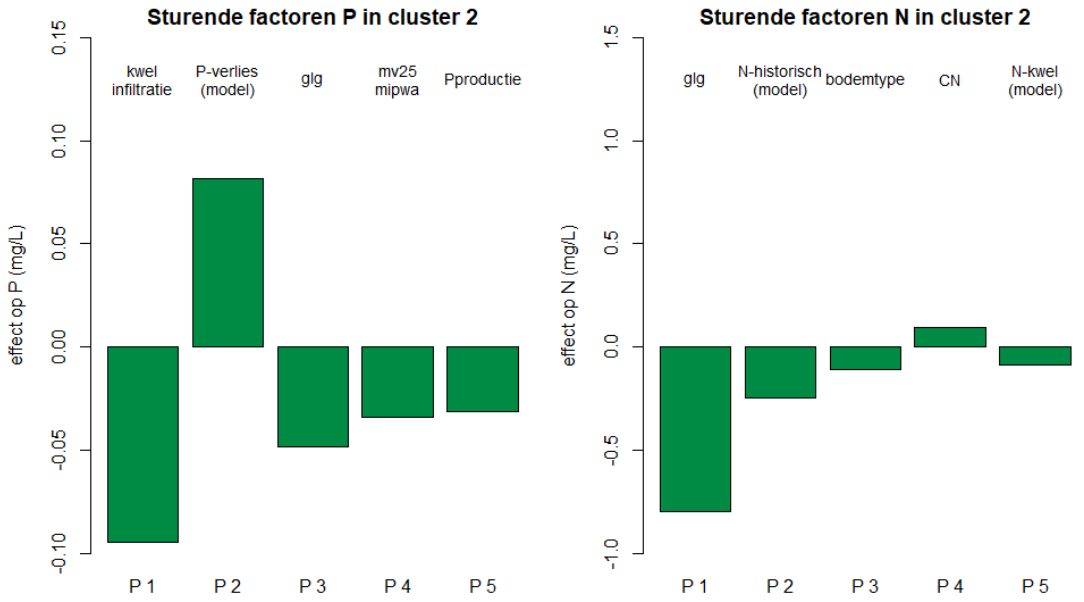
Kenmerkend voor **cluster 1** (donkergroen in Figuur 5.12, rechts) zijn een gemiddelde grondwaterstand (GHG 107 cm-mv, GLG 159 cm-mv), een hoog percentage zand in de bodem (>75%), een gemiddeld N-overschot (rond de 70 kg N $ha^{-1)}$, relatief veel uitspoelingsgevoelige gewassen met ondiepe wortelsystemen, relatief hoge P-verliezen vanuit de bodem (0,56 kg P ha^{-1}), weinig bedrijven met derogatie (14% van de bedrijven) en relatief weinig soorten regenwormen. De gemiddelde P-concentratie in dit cluster ligt circa 0,05 mg L^{-1} lager dan het gemiddelde van alle clusters, terwijl de gemiddelde N-concentratie circa 0,13 mg L^{-1} hoger ligt. De invloed van de hierboven genoemde gebiedskenmerken wordt bevestigt door de lokale modelanalyse van de meest invloedrijke factoren die van invloed zijn op de N- en P-concentraties (Figuur 5.15).



Figuur 5.15. 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.

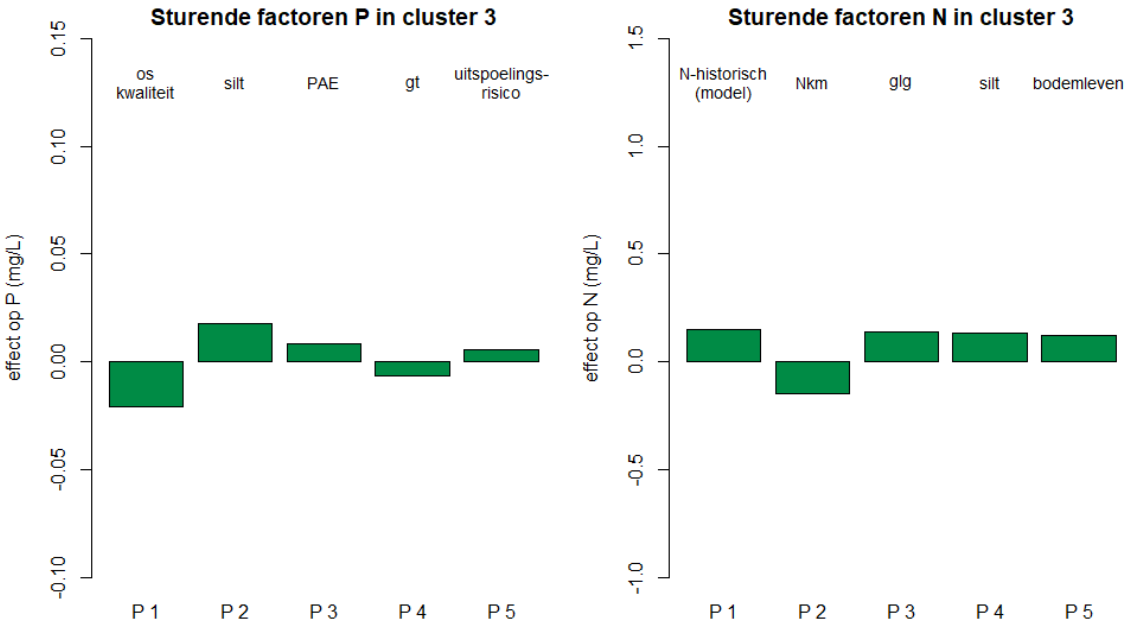
De sturende variabelen die positief samenhangen met de P-concentratie in het oppervlaktewater (in vergelijking met de andere clusters) zijn de lage bodembiodiversiteit en het voorkomen van kwel dan wel infiltratie. De lage afbreekbaarheid van de organische stof in de bodem en een relatief hoog risico op uitspoeling naar het grondwater zorgen ervoor dat de P-concentraties relatief laag liggen in cluster 1. Dit suggereert dat in dit cluster vooral maatregelen relevant zijn die sturen op verbetering van de bodemkwaliteit en de gewasvolgorde in het bouwplan. De locatie van maïspercelen en hun plek in de gewasvolgorde is daarbij een aandachtspunt. Voor stikstof zijn er drie gebiedskenmerken die positief samenhangen met de N-concentratie in het water: de grondwaterstand (GLG), de verliezen vanuit natuurlijke N-levering uit de bodem en de N-depositie. Verliezen die afkomstig zijn van stikstofdepositie ligt in dit cluster substantieel hoger (1,4 kg N ha^{-1}) dan in de meeste andere clusters als ook de N-nalevering vanuit de bodem. Er is weinig tot geen uitspoeling uit natuurgebieden, en er zijn relatief weinig soorten regenwormen. Dit laatste is indicatief voor intensieve bouwplannen zonder grasland, en zeker op zand betekent dit dat er meer stikstof uitspoelt naar het grondwater dan naar het oppervlaktewater. Peilgebieden in cluster 1 liggen voornamelijk in de Veenkoloniën.

Peilgebieden in **cluster 2** (lichtgroen cluster, Figuur 5.12, rechts) komen voor in de Drentse Aa en de Zuidoostelijke deel van de Veenkoloniën. De peilgebieden worden gekenmerkt door relatief veel zandbodems (80% zand), diepe grondwaterstanden (GHG 197 cm-mv, GLG 329 cm-mv), weinig P-nalevering vanuit de bodem, een relatief laag N-overschot (circa 75 kg N ha^{-1}), een gemiddeld aantal derogatiebedrijven (33% van de bedrijven) en een gemiddelde verdeling van ondiep en diep wortelende gewassen. De gemiddelde P-concentratie ligt 0,08 mg L^{-1} lager dan het gemiddelde van het hele beheergebied, terwijl de N-concentratie circa 1,2 mg L^{-1} lager ligt. De P-concentraties in dit cluster hangen positief samen met geschatte P-verliezen via de ECHO-systematiek, terwijl de diepere grondwaterstand, het lagere risico op oppervlakkige afspoeling, de lagere mestproductie in dit gebied en de kwelsituatie zorgen voor lagere P-concentraties (Figuur 5.16). De lagere N-concentraties in het oppervlaktewater hangen sterk samen met de diepere grondwaterstand, een lagere N-levering vanuit de bodem, de grote hoeveelheid zandige bodems en een relatief hoge bijdrage van kwel. De relatief hoge CN-verhouding van het aanwezige organische stof verklaart deels de hogere N-verliezen die optreden, maar dit effect is erg klein in vergelijking met de vier andere kenmerken.



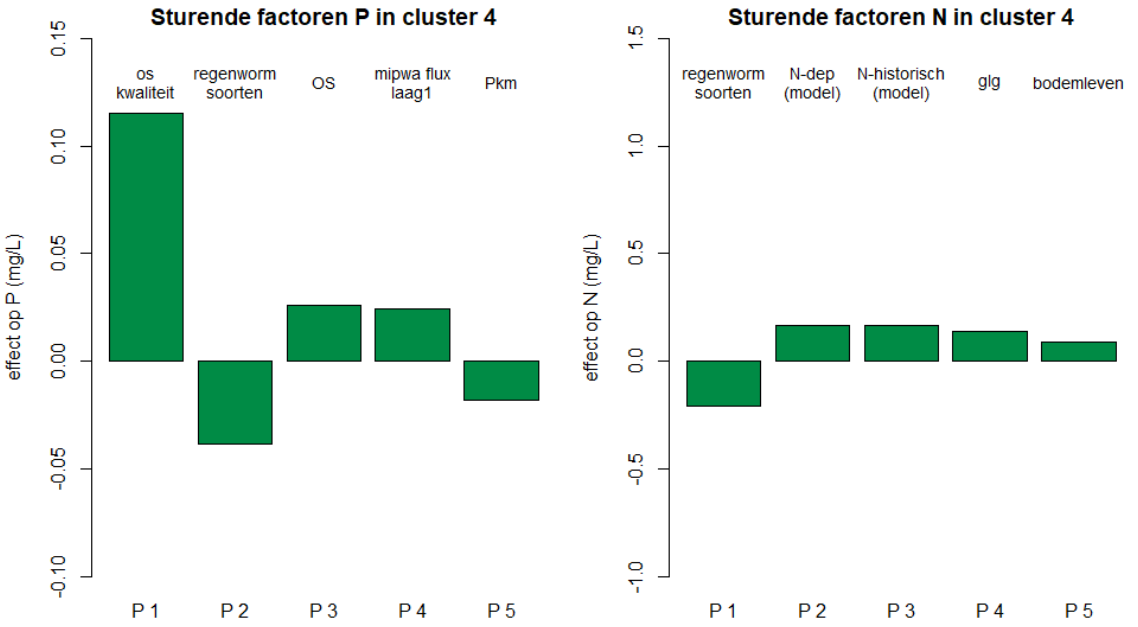
Figuur 5.16. Bijdrage van de belangrijkste (top-5) gebiedskenmerken aan het verschil in gemeten N- en P-concentraties in cluster 2 ten opzichte van de concentraties in het hele beheergebied.

Cluster 3 wordt vooral gekenmerkt door bodems met een hoge bodembiodiversiteit, een hoog N-overschot (123 kg N ha^{-1}), een hoog risico op P-verliezen vanuit de bodem (1,1 kg P ha^{-1}), kleirijke bodems (gemiddeld 35% klei en 6,8% organische stof), weinig uitspoelingsgevoelige gewassen en een gemiddelde vochthuishouding (GHG 78 cm-mv en GLG 162 cm-mv). Circa 30% van de aanwezige bedrijven heeft derogatie. De peilgebieden in dit cluster liggen voornamelijk in het Noordoosten van het beheergebied, in de watersystemen Fiemel, Oldambt en het noordelijk deel van Westerwolde. Het landgebruik is overwegend graan en de meest voorkomende grondsoort is marine klei. Het fosforgehalte in het oppervlaktewater is vrijwel gelijk aan het gebiedsgemiddelde over het hele beheergebied, terwijl de N-concentraties gemiddeld 0,7 mg L^{-1} hoger liggen. Er zijn een drietal bodemkenmerken die positief bijdragen aan hogere N- en P-concentraties in het oppervlaktewater. Dit zijn achtereenvolgens de hoeveelheid plant-beschikbaar fosfaat (PAE), het slibgehalte (meer risico op verslemping en oppervlakkige afspoeling) en de activiteit van het bodemleven qua N-mineralisatie. Daarnaast zorgt een verhoogde nalevering vanuit historische bemesting voor hogere N-verliezen en zorgt de gemiddelde ontwatering in dit gebied voor verhoogde N-concentraties. Een relatief verhoogde C-afbraak (OS-kwaliteit) zorgt voor lagere P-concentraties, evenals de gemiddelde ontwatering. De gegeven N-kunstmest werkt positief door op de N-concentraties in het oppervlaktewater.



Figuur 5.17. 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 peilgebieden in **cluster 4** liggen vrijwel volledig in watersystemen Westerwolde en de Veenkoloniën. De gebieden worden gekenmerkt door zandige bodems, een relatief lage bodembiodiversiteit (gemeten aan de hand van soortenrijkdom regenwormen), een relatief laag N-overschot (75 kg N ha^{-1}), een relatief laag P-verlies vanuit de bodem (0,27 kg P ha^{-1}), en veel uitspoelingsgevoelige gewassen met een ondiep wortelstelsel. De verliezen afkomstig van N-depositie zijn relatief hoog (1,4 kg N ha^{-1}) en de grondwaterstand is gemiddeld met een GHG van 99 cm-mv en een GLG van 155 cm-mv. Opvallend is de hoge (voorspelde) P-toestand in de peilgebieden van dit cluster; de P-concentraties liggen gemiddeld 0,15 mg P L^{-1} en 0,25 mg N L^{-1} hoger dan het gemiddelde van alle andere clusters.

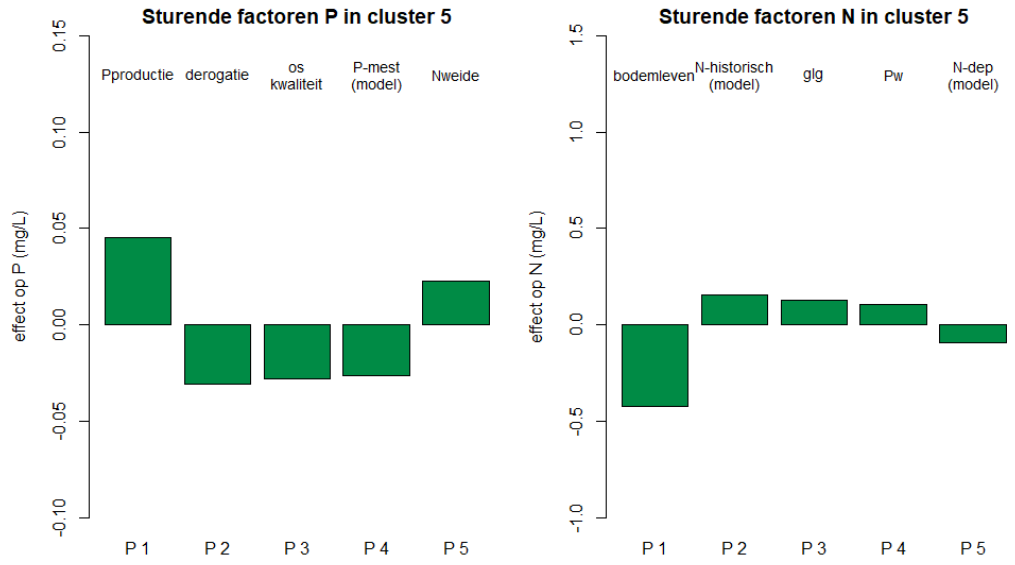


Figuur 5.18. Bijdrage van de belangrijkste (top-5) gebiedskenmerken aan het verschil in gemeten N- en P-concentraties in cluster 4 ten opzichte van de concentraties in het hele beheergebied.

De verhoogde P-concentraties hangen positief samen (Figuur 5.18) met een sterk verlaagde kwaliteit van de bodem organische stof (bepaald via CN-ratio en C-afbraakflux), het organische stofgehalte en de waterflux van en naar de onverzadigde zone (mipwa flux laag 1). Hetzelfde patroon is ook zichtbaar voor stikstof waar een laag bodemleven, naast verliezen afkomstig van verhoogde N-depositie en historische bemesting, zorgt voor een verhoogde N-concentratie. Opvallend hierbij is de impact van de bodembiodiversiteit, waar een relatief laag aantal wormensoorten samenhangt met lagere N- en P-concentraties.

Peilgebieden in **cluster 5** liggen vooral in de veen- en organische stofrijke bodems in het watersysteem Duurswold, het Oosten van Oldambt, het Westen van de Hunze en het Zuidwesten van de Drentse Aa. De gemiddelde P-concentratie is 0,23 mg P L^{-1} en de gemiddelde N-concentratie is 4,05 mg N L^{-1}. De concentraties in dit gebied liggen daarmee onder het gemiddelde van de zes clusters. De belangrijkste gebiedskenmerken waarin dit cluster verschilt van de andere clusters is het relatief hoge N-overschot (van 123 kg N ha^{-1}), een hoog organische stofgehalte (gemiddeld 10%), veel N-efficiënte gewassen, een hoog aandeel van derogatiebedrijven (74%) en een licht verhoogde bodembiodiversiteit. De grondwaterstand is gemiddeld en vergeleken met de rest van beheergebied iets aan de lage kant (GHG 96 cm-mv, GLG 163 cm-mv). Wel is er (extra) belasting van het oppervlaktewater vanuit RWZI's.

Veel andere bodemeigenschappen en landgebruik zijn gemiddeld. Er zijn in dit cluster van peilgebieden twee factoren die positief bijdragen aan de P-concentraties in het oppervlaktewater, en wel de totale P-productie op de bedrijven (bijna drie keer hoger dan gemiddeld) en de mate van beweiding (één tot vijf keer hoger dan in de andere clusters). De aanwezigheid van veel bedrijven met derogatie (lees: grasland), een goede OS-kwaliteit van de bodem en een relatief lage P-belasting uit actuele bemesting stimuleren lagere P-concentraties in het oppervlaktewater. Vergelijkbaar zorgt een goed bodemleven (met hoge N-nalevering vanuit de bodems) voor lagere N-concentraties in het gebied. Dat kan alleen samenhangen met een betere bodemvruchtbaarheid en natte omstandigheden die zorgen voor meer denitrificatie. De grondwaterstand, P-toestand van de percelen en de geschatte N-belasting vanuit historische bemesting dragen positief bij aan hogere N-concentraties (Figuur 5.19).

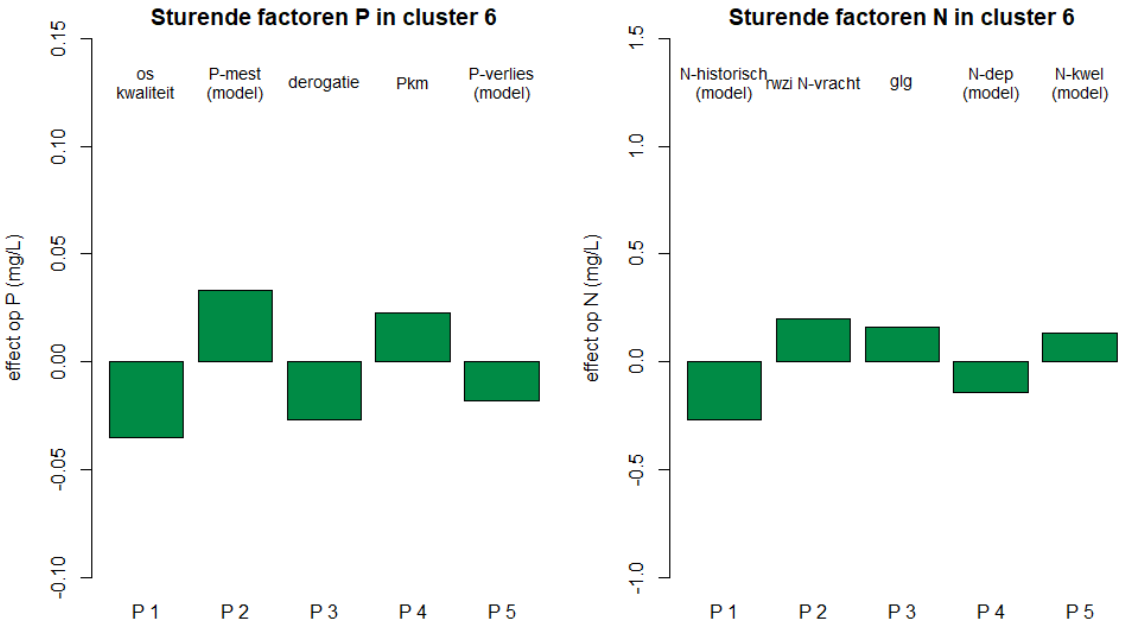


Figuur 5.19. Bijdrage van de belangrijkste (top-5) gebiedskenmerken aan het verschil in gemeten N- en P-concentraties in cluster 5 ten opzichte van de concentraties in het hele beheergebied.

Kenmerken voor **cluster 6** (rood in Figuur 5.12, rechts) is de hoge bodembiodiversiteit, het lage N-overschot (40 kg N ha^{-1}), een relatief lage bijdrage van P-nalevering uit de bodem aan de P-vracht naar het oppervlaktewater (0,14 kg P ha^{-1}), de aanwezigheid van veel diepwortelende gewassen die goed stikstof en fosfaat op kunnen nemen (gras en granen) en een ondiepe grondwaterstand (GHG 61 cm-mv en GLG 120 cm-mv). Circa 60% van de bedrijven heeft derogatie. De peilgebieden in cluster 6 liggen vooral in het Noordoosten van de Hunze en in het zuidoosten van de Drentse Aa. De gemiddelde N- en P-concentratie in het oppervlaktewater is 0,28 mg P L^{-1} en 4,14 mg N L^{-1}. Beide concentraties liggen daarmee net boven het gemiddelde van alle clusters.

Wanneer specifiek gekeken wordt naar de belangrijkste gebiedskenmerken die in dit gebied van invloed zijn op de concentraties in het oppervlaktewater dan blijkt dat er twee kenmerken zijn die positief bijdragen aan een hogere P-concentratie (Figuur 5.20) in vergelijking met het gebiedsgemiddelde van het hele beheergebied[5]. Dat zijn de P-giften via kunstmest en de geschatte uitspoeling van fosfor uit actuele bemesting. Drie gebiedskenmerken zijn gerelateerd aan lagere P-concentraties in dit gebied en wel de hoge afbreekbaarheid van organische stof, het grote aandeel derogatiebedrijven (60%) en het door ECHO geschatte P-verlies naar het oppervlaktewater. De N-concentraties in dit gebied liggen iets lager dan die van het totale beheergebied en worden positief beïnvloedt door de ondiepe grondwaterstand, evenals de door ECHO geschatte bijdrage vanuit kwel.

[5] Voor de wiskundige afleiding en interpretatie van zogenoemde Shapley-waarden, lees meer bij: https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/



Figuur 5.20. Bijdrage van de belangrijkste (top-5) gebiedskenmerken aan het verschil in gemeten N- en P-concentraties in cluster 6 ten opzichte van de concentraties in het hele beheergebied.

Opvallend is wel dat hier ook de N-vracht van de RWZI positief bijdraagt, terwijl er geen inlaat aanwezig is. Dit is een resultaat van de gekozen selectie-algoritme dat zich beperkt tot de topt-5 meest invloedrijke gebiedskenmerken; een nadere controle laat zien dat de positieve bijdrage van N gecompenseerd wordt door een negatieve (en vergelijkbare) bijdrage van de P-vracht. Omdat deze twee met elkaar correleren, is de netto bijdrage in dit cluster gelijk aan nul.

5.4 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. 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. Hierbij speelt de nutriëntentoestand een belangrijker rol voor stikstof dan voor fosfor, wat mede samenhangt met het feit dat 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 bij aan de verklaring van verschillen *tussen* peilgebieden. De gemiddelde P-toestand van de bodem en de bemestingspraktijk dat de P-norm vrijwel volledig opvult, zijn wel een aandachtspunt om de P-concentraties in het oppervlaktewater verder te verlagen.

De tweede belangrijke stuurfactor heeft te maken met de ontwatering van percelen en het landgebruik. Bouwplannen met relatief veel diep/intensief wortelende gewassen zoals granen en gras hebben relatief minder N-uitspoeling dan bouwplannen met veel rooivruchten. 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. Hoge grondwaterstanden kunnen mede voor een verhoogd risico op oppervlakkige afspoeling van fosfor zorgen. Wat dit bekent voor de maatregelen wordt per gebiedscluster (rechter figuur 5.12) besproken.

Gebieden in **cluster 1** hebben een gemiddelde P-concentratie van 0,22 mg P L^{-1} en een N-concentratie van 4,63 mg N L^{-1} in de zomer. Verbetering van de bodemkwaliteit en aandacht voor gewasvolgorde in het bouwplan zijn belangrijke maatregelen om de verliezen van N en P te verminderen. 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.

Gebieden in **cluster 2** hebben een gemiddelde P-concentratie van 0,19 mg P L^{-1} en een N-concentratie van 3,5 mg N L^{-1}. Door de combinatie van bodemtextuur, ontwatering en bodemvruchtbaarheid zijn de verliezen naar het oppervlaktewater relatief beperkt. Dat betekent dat sturing mogelijk is op maatregelen die passen in een Goede Landbouw Praktijk. Aandacht voor organische stof en bouwplan (lees: gewasvolgorde) is belangrijk.

Gebieden in **cluster 3** liggen op kleirijke bodems met weinig uitspoelingsgevoelige gewassen maar een hoog N-overschot. De kleigronden in dit cluster worden gekenmerkt door (natuurlijke) hoge voorraden van fosfaat in de diepere bodem, die zorgen voor hoge P-concentraties in het oppervlaktewater. Naast deze voorraden zorgt de bodemtextuur en bestaande drainage voor snelle afvoerroutes van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater. Door het grote aandeel gras en granen in dit gebied, en de relatief natte omstandigheden, draagt een verlaging van het N-overschot niet direct bij aan lagere uit- en afspoeling. Stimulering van de juiste timing van bemesting in het voorjaar zal wel bijdragen aan het beperken van verliezen. Aandacht voor de bodemstructuur is blijvend nodig waarbij via bodembewerking de waterberging en infiltratiecapaciteit kan worden verhoogd en zo het risico op oppervlakkige afspoeling kan worden verkleind. Sturing op P is hier erg lastig in verband met de hoge achtergrondconcentraties in de marine klei, en de al negatieve P-bodemoverschotten.

Gebieden in **cluster 4** worden gekenmerkt door hoge N- en P-concentraties, zandige bodems, lage bodembiodiversiteit en veel uitspoelingsgevoelige gewassen. De gemiddelde N- en P-concentraties liggen rond de 4,7 mg N L^{-1} en 0,45 mg P L^{-1}. Er wordt relatief veel P-kunstmest gebruikt evenals dierlijke mest. De bodemkwaliteit is een primair aandachtspunt om op te sturen zodat meer nutrienten worden vastgehouden in de bodem en niet af- en uitspoelen naar het watersysteem. Dit kan concreet door vergroening van het bouwplan (meer rustgewassen), voorkomen en oplossen van bodemverdichting (voor een hogere benutting en minder afspoeling), en inzet van precisielandbouw-technieken (vooral voor stikstof). Als oppervlakkige afvoer een probleem is, dan kan gebruik worden gemaakt van bufferzones en akkerranden. Een zorgpunt in dit gebied zijn de hoge P-verzadigingsgraden van de bouwvoor; effecten van maatregelen zijn daardoor pas na lange tijd (> 10 jaar) zichtbaar in het watersysteem.

Gebieden in **cluster 5 en 6** liggen vooral in de veenrijke en moerige gebieden binnen het beheergebied en hebben een gemiddelde N- en P-concentratie van 0,23 mg P L^{-1} en 4,1 mg N L^{-1} voor cluster 5 en een gemiddelde N- en P-concentratie van op 0,28 mg P L^{-1} en 4,14 mg N L^{-1} voor cluster 6. Het landgebruik is overwegend gras en het gebied wordt vooral beheerd door melkveehouders. Er is sprake van een sterk negatief bodemoverschot voor fosfaat, en de verliezen van nitraat zijn gering. Verlaging van N-verliezen zijn te realiseren via goede timing van bemesting in het voorjaar en late najaar. Inzet van een goede landbouwpraktijk kan de benutting verder verhogen, in het bijzonder rond de maïsteelt. Er is geen grote noodzaak tot aanvullende maatregelen naast de stimulering van een goede landbouwpraktijk. Goed onderhoud van sloten (baggeren en slootschonen) kan in deze regio zorgen voor meer retentie en lagere P-concentraties in het water.

6. Discussie en Conclusie

De voorliggende studie beschrijft en integreert de resultaten van diverse studies die voor het beheergebied van waterschap Hunze en Aa's zijn uitgevoerd. De gebruikte statistische *machine learning* methode is uniek; tot op heden is deze analyse nog niet toegepast op de problematiek van nutriëntenverliezen vanuit landbouwbodems naar het oppervlaktewater. 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 is meegenomen in de analyse omdat deze niet gemeten of 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-concentratie 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 peilgebied nog niet voorhanden is. Dit is een aandachtspunt, zeker voor gebieden in het Oosten van het beheergebied die juist in de zomer voor een groot deel worden gevoed via gebiedsvreemd water.

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 (clusters genoemd). Een kwantitatieve analyse van *hoe* deze sleutelfactoren en gebieds-kenmerken 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.

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) expliciet buiten beschouwing zijn gelaten. Voor veel agrarische maatregelen die de waterkwaliteit kunnen 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.

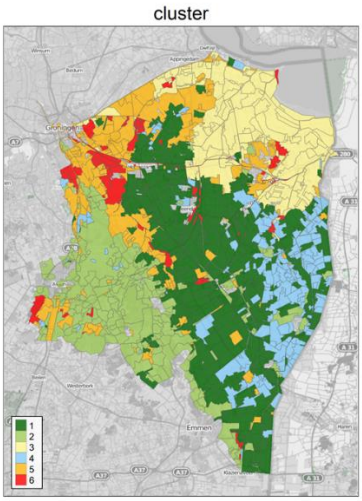
De voorliggende studie geeft op basis van metingen inzicht in de kenmerken van het beheergebied in relatie tot de waterkwaliteit, en kan zo sturing geven aan de inzet van agrarische maatregelen. De grootste impact van agrarische maatregelen is te realiseren in cluster één en vier, en wel in peilgebieden binnen Westerwolde, de Veenkoloniën, en delen van Duurswold, de Hunze en Oldambt. In de overige watersystemen zijn de concentraties relatief laag, dan wel hangen ze samen met natuurlijke eigenschappen van mariene (veen)afzettingen. Het bodemtype en -kwaliteit zijn in een groot deel van het beheergebied sturend op de hoogte van N- en P-concentraties. Een deel hiervan is niet of lastig aan te passen, zoals de textuur en de uitspoelingsgevoeligheid van bodems. 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 wel opgemerkt dat effecten van maatregelen eerder zichtbaar zijn voor stikstof dan voor fosfor. De bodem in vrijwel het hele beheergebied is rijk aan P, waarbij de grootste verliezen optreden bij percelen met veel ondiepe uitspoeling en oppervlakkige afvoer. Brongerichte maatregelen voor fosfor zijn daardoor 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.

Naast verbetering van de bodem is in veel peilgebieden sturing mogelijk 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, maïs 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 zo ook gedurende het seizoen de mestgift af te stemmen op de gewasbehoefte.

Gebiedskenmerken die samenhangen met het watersysteem zijn relevant voor veel processen die de vracht van nutriënten naar het oppervlaktewater beïnvloeden maar lastiger stuurbaar. Onder natte omstandigheden is het risico op P-verliezen groot (meer oppervlakkige afspoeling) terwijl het risico voor stikstof afneemt door een toenemende denitrificatie. Percelen met een uitspoelingsgevoelige bodem worden in de praktijk vaak gekenmerkt door hoge verliezen naar het grondwater en juist lagere verliezen naar het oppervlaktewater. Gebiedskenmerken als slootdichtheid, ontwatering en bodemtextuur zijn hierbij sturend. Dit is vooral het geval in de kleirijke gebieden in het Noordoosten van het beheergebied (watersysteem Fiemel) en de (moerige) zandgebieden in het Zuidoosten van het beheergebied.

Samengevat per cluster worden de volgende maatregelpakketten voorgesteld (Figuur 6.1.). Details hiervan worden toegelicht in hoofdstuk 5.



Maatregelpakketten per cluster

1. Investeringen in bodemkwaliteit, verbetering gewasvolgorde, en inzet precisiebemesting voor N en P. Focus gewenst op N.
2. Stimulering Goede Landbouw Praktijk (GLP) is voldoende.
3. Investeringen in bodemstructuur. Sturen op P is niet haalbaar.
4. Investeringen in bodemkwaliteit, -structuur, en inzet precisie-bemesting voor N en P als ook uitrol van routemaatregelen. P is een zorgpunt.
5. Stimulering GLP is voldoende met een focus op de timing van bemesting en bouwplan. Investering in sloot(kant)beheer zijn mogelijk gewenst.
6. Idem als 5,

Figuur 6.1. Ruimtelijke weergave van gebiedsclusters waarbinnen via specifieke maatregelpakketten gestuurd kan worden op verbetering van de waterkwaliteit.

Referenties

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.

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 (2013) Unravelling changes in soil fertility of agricultural land in the Netherlands, PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, 240 pp.

Ros GH (2018) QuickScan bronnen NP-belasting Vechtstromen. NMI-rapport 1589.N17.26, 19 pp.

Ros et al. (2018) Advies nutriëntenvisie Rijn-Oost. Inventarisatie van knelpunten en oplossingen. NMI-rapport 1589.N18.21, 33 pp.

Ros GH & SE Verweij (2019) Ontwikkeling maatwerkpakketten waterkwaliteit. Deel 2. Gebiedsanalyse Hunze en Aa voor N, P en NH_4. NMI-rapport 1742.N.19, 39 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.

Van den Akker et al. (2012) Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied in kaart. Alterra-rapport 2409, 80 pp.

Van Grinsven, JJM, A Tiktak en 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.



www.nmi-agro.nl

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