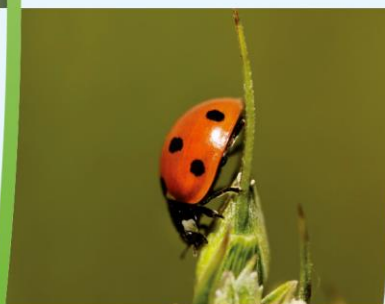


# Soil for life

Rapport 1742.N.19

## Ontwikkeling maatwerk- pakketten waterkwaliteit

Deel 2. Gebiedsanalyse Hunze en  
Aa's voor N, P en  $\text{NH}_4$



## **Ontwikkeling maatwerkpakketten waterkwaliteit**

Deel 2. Update gebiedsanalyse inclusief ammonium

**Auteur(s) :**      dr. ir. G.H. Ros  
                              ir. S.E. Verweij

---

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

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

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

### Disclaimer

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

---

## **Verspreiding**

## 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. De voorliggende studie brengt verbanden in kaart tussen gebiedskenmerken zoals bodem, landgebruik en bemesting enerzijds en N-, P- en  $\text{NH}_4$ -concentraties in het oppervlaktewater anderzijds. Deze studie beantwoordt de volgende vragen:

- Wat zijn de gebiedskenmerken die sturend zijn op de N- en P-belasting van het watersysteem?
- Welke maatregelen zijn inzetbaar om effectief te sturen op een betere waterkwaliteit?
- Waar en wanneer komen verhoogde  $\text{NH}_4$ -concentraties voor en wat zijn mogelijke oorzaken?

De voorliggende studie geeft *op basis van metingen* inzicht in de kenmerken van het beheergebied in relatie tot de waterkwaliteit, en geeft zo sturing aan de inzet van agrarische maatregelen.

- De grootste impact van agrarische maatregelen voor zowel N als P is te realiseren in Westerwolde, Veenkoloniën en delen van de Hunze. De effecten en de sturingsmogelijkheden zijn anders voor N dan voor P. Via een duurzame bemestingspraktijk kunnen de verliezen worden beperkt.
- Voor fosfor zijn er weinig mogelijkheden om de waterkwaliteit te verbeteren via agrarische maatregelen in grote delen van de Hunze en de drie watersystemen Duurswold, Oldambt, en Fiemel. Dit komt omdat de inrichting van het watersysteem, het bodemtype en geohydrologische situatie sturend zijn voor de variatie in P. Stimulering van de Goede Landbouw Praktijk is in deze gebieden voldoende, waarbij extra aandacht voor goed bodembeheer als ook (sloot)kantbeheer een positieve bijdrage kan leveren aan de waterkwaliteit.
- Voor stikstof is in vrijwel het hele gebied verbetering van de waterkwaliteit te realiseren via agrarische maatregelen, in het bijzonder voor de Hunze, Veenkoloniën, Westerwolde en Duurswold. Hier liggen er kansen voor maatregelen op het vlak van kringlooplandbouw en een duurzame bemestingspraktijk. In de Drentse Aa en de Hunze ligt er een uitdaging om via goed bodembeheer de retentie van water en nutriënten in de bodem te verhogen als wel de gewasopname. Het gaat hierbij niet alleen om maatregelen die bodemverdichting, verslemping en verstuiwing voorkomen, maar ook om maatregelen die het bufferend vermogen en de biodiversiteit van de bodem vergroten. Ook mitigerende maatregelen als inzet van groenbemesters, vanggewassen en een optimale gewasopvolging zijn cruciaal.

In het hele beheergebied komen frequent te hoge  $\text{NH}_4$ -concentraties voor gedurende de winter. De gebiedskenmerken die van invloed zijn op het  $\text{NH}_4$ -gehalte in de winter zijn enerzijds sterk gerelateerd aan de bodemvruchtbaarheid, het weer en de bemestingspraktijk als ook aan kenmerken van het watersysteem. Een gedetailleerde tijdsanalyse laat zien dat  $\text{NH}_4$  behoorlijk variabel is over de jaren, waarbij dag-tot-dag variatie minstens zo groot is als de variatie tussen seizoenen. De tijdsanalyse naar het aantal piekevents bevestigt dan wel suggereert dat slordig bemesten en piekbelastingen rondom het moment van bemesten niet verantwoordelijk zijn voor hoge  $\text{NH}_4$ -concentraties in de winter.

Een stijging van  $\text{NH}_4$  kan alleen veroorzaakt worden door een hogere aanvoer / belasting van  $\text{NH}_4$  dan wel een afname in processen die  $\text{NH}_4$  omzetten naar  $\text{NO}_3$  of  $\text{N}_2$ . Gegeven de processen die in de bodem optreden, en de temporele variatie in de meetseries zijn de hoge concentraties vooral gerelateerd aan een afname in  $\text{NH}_4$ -omzettende processen. De relatieve bijdrage van beide oorzaken (extra productie of verlaagde omzetting) is overigens afhankelijk van bodemtype en ontwatering.

## Inhoud

|                                                      | pagina |
|------------------------------------------------------|--------|
| Samenvatting en conclusies                           | 2      |
| 1.       Introductie                                 | 2      |
| 2.       Materiaal & Methode                         | 3      |
| 2.1      Gebruikte databronnen                       | 3      |
| 2.2      Sturende factoren waterkwaliteit            | 3      |
| 3.       Gebiedsanalyse                              | 5      |
| 3.1      Waterkwaliteit                              | 5      |
| 3.2      Relatie met gebiedskenmerken                | 6      |
| 3.3      Clustering van gebiedskenmerken             | 10     |
| 3.4      Sturende factoren waterkwaliteit            | 11     |
| 3.5      Maatregelen                                 | 13     |
| 4.       Casus Ammonium                              | 16     |
| 4.1      Inleiding                                   | 16     |
| 4.2      Ruimtelijke gebiedsanalyse                  | 16     |
| 4.3      Tijdsanalyse                                | 21     |
| 4.4      Mogelijke oorzaken                          | 22     |
| 5.       Discussie en Conclusie                      | 24     |
| Referenties                                          | 26     |
| Bijlage A. Effect gebiedskenmerken op waterkwaliteit | 27     |

## 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. 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 als het landbouwkundige systeem om zo het systeeminzicht te vergroten en gericht maatregelen te nemen om de waterkwaliteit te verbeteren.

In 2018 is door het Nutrienten Management Instituut een analyse uitgevoerd om verbanden te ontdekken tussen gebiedskenmerken en de N- en P-concentraties in het oppervlaktewater (Ros & Verweij, 2018). Het gaat hierbij om gegevens over bodem, bemesting, landgebruik, vogels en geschatte nutriëntenbelastingen per peilgebied. Gebruik makend van dit inzicht zijn maatwerkpakketten geïdentificeerd waarmee gestuurd kan worden op lagere N- en P-concentraties. Omdat een deel van de betrokken meetgegevens beïnvloedt was door gebiedsvreemd water en de aanwezigheid van glastuinbouw werden de belasting van het watersysteem in Westerwolde overschat. In overleg met het waterschap is daarom een selectie uitgevoerd op de gebruikte meetgegevens om alsnog inzicht te geven in de relatie tussen gebiedskenmerken en de waterkwaliteit. De resultaten hiervan worden in dit rapport besproken. In de voorliggende studie is ook expliciet gekeken naar mogelijke oorzaken van het voorkomen van hoge ammoniumconcentraties in het oppervlaktewater.

Deze studie beantwoordt de volgende onderzoeksvragen:

- Wat zijn de belangrijkste gebiedskenmerken die sturend zijn op de stikstof en fosforbelasting van het watersysteem van Hunze en Aa's?
- Welke maatregelen zijn inzetbaar om effectief te sturen op een betere waterkwaliteit, rekening houdend met locatie-specifieke kenmerken van afwateringsgebieden en polders?
- Waar in het beheergebied en wanneer komen verhoogde ammoniumconcentraties voor en wat zijn mogelijke oorzaken hiervoor?

## 2. Materiaal & Methode

### 2.1 Gebruikte databronnen

Voor de gebiedsanalyse in deze studie is gebruik gemaakt van verschillende gegevens uit agrarische bronnen en diverse openbare meetnetten. Een overzicht van deze gegevens wordt weergegeven in Tabel 2.1. De ruimtelijke en temporele variatie in deze gegevens is besproken in de studie van Ros & Verweij (2018).

Tabel 2.1. Verzamelde gebiedsinformatie via monitoringmeetnetten en mechanistische modellen.

| Type gegevens                                                                                                                                         | Relatie met NP-verlies |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Watersysteem</b>                                                                                                                                   |                        |
| 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                 |
| Neerslag en verdamping                                                                                                                                | pad                    |
| Geohydrologie (wateroppervlak, slootdichtheid)                                                                                                        | receptor               |
| Bronnen ECHO-analyse WenR                                                                                                                             | bron                   |
| <b>Landbouwbodem</b>                                                                                                                                  |                        |
| 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                                                                                                                                 | bron en pad            |
| <b>Watervogels</b>                                                                                                                                    |                        |
| Langjarige maand- en seizoensgemiddelden                                                                                                              | bron                   |

Voor de huidige analyse wordt gebruik gemaakt van bovenstaande gegevens over bodemkwaliteit, het watersysteem en het landgebruik. 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 raster 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. Alle meetpunten worden als tijdseries meegenomen in de analyse. Meetpunten die sterk beïnvloed zijn door gebiedsvreemd water dan wel lozingen vanuit glastuinbouw zijn geïdentificeerd door betrokken medewerkers van het waterschap en worden niet meegenomen in de analyse.

### 2.2 Sturende factoren waterkwaliteit

Om meer zicht te krijgen op de factoren die van invloed zijn op de waterkwaliteit, is gebruik gemaakt van slimme 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 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 enerzijds en seizoensgemiddelde  $\text{NH}_4$ -concentraties anderzijds. Meer informatie over de gebruikte statistische technieken wordt gegeven in de studie van Ros & Verweij (2018).

Om te weten te komen of deze gebiedsanalyse de juiste patronen identificeert op basis van de metingen, is het van belang de gevonden patronen te valideren. Voor de huidige studie worden twee validatietechnieken gebruikt: allereerst wordt een 10-voudige kruisvalidatie toegepast én de dataset wordt daarnaast gesplitst in een trainingstest (met alle gegevens van voor 2012) en een validatieset (met alle gegevens van na 2012). Aangezien *machine learning modellen* zogenoemde 'black boxes' zijn, kan er niet eenvoudig "in het model" gekeken worden wat er precies gebeurt. Daarom wordt het model op twee niveaus onderzocht: globaal en lokaal. Een globale interpretatie brengt in beeld welke metingen of factoren de ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties binnen het hele beheergebied beïnvloeden. Hierbij wordt aanvullend in beeld gebracht worden hoe de voorspelde N- en P-concentratie over het hele beheergebied samenhangen met de gebiedskenmerken. In elk peilgebied kunnen echter bijzondere omstandigheden voorkomen waarbij één of meerdere kenmerken een hele grote invloed hebben. Denk bijvoorbeeld aan een rioolwaterzuiveringsinstallatie of lokale ijzerrijke kwel. Om dit te analyseren wordt per peilgebied inzicht gegeven in de meest sturende factoren door gebruik te maken van "Shapley-waarden". Deze waarden laten zien welke gebiedskenmerken 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 naar de publicatie *Interpretable Machine Learning* van Molnar (2018).

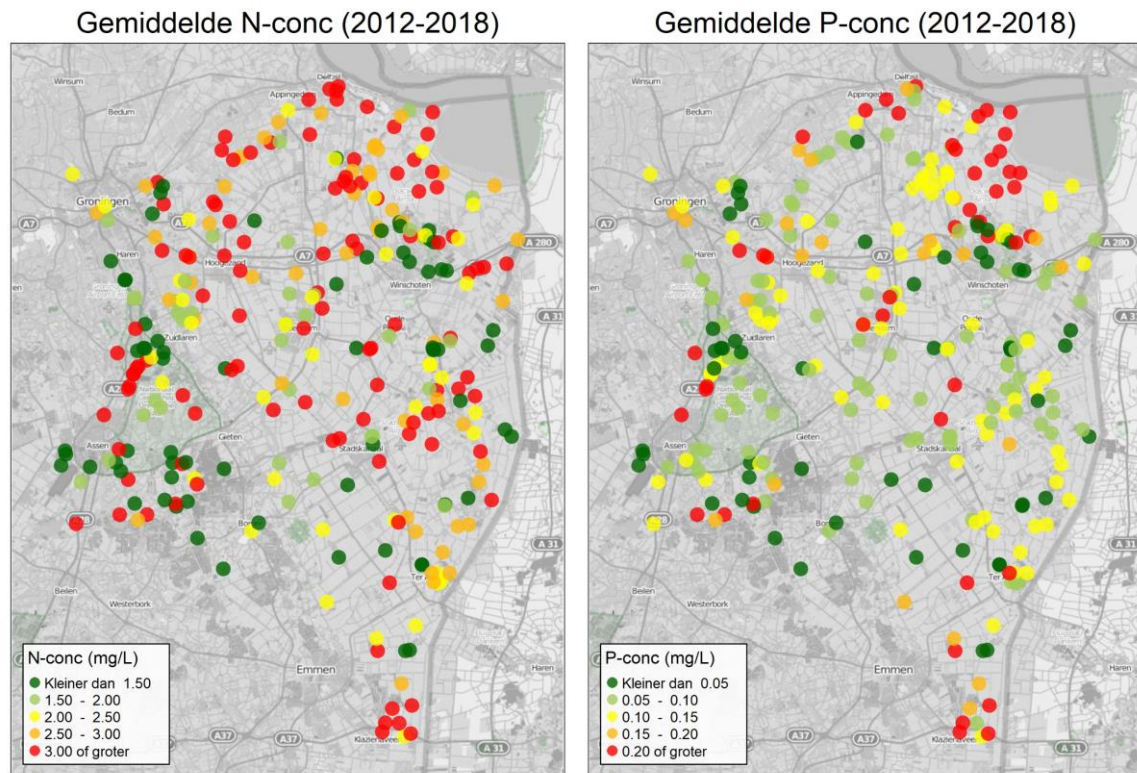
Voor ammonium is daarnaast gebruik gemaakt van een tijdserie analyse om voor alle meetpunten inzicht te krijgen in de verandering van  $\text{NH}_4$ -concentraties over de jaren (trends), de variatie in seizoenen, en de resterende niet verklaarbare variatie. Hiervoor is gebruik gemaakt van *multiplicative time series decomposition* waarbij een tijdserie wordt opgesplitst in een patroon dat zichzelf herhaalt over een vaste periode in het jaar (de seizoenen), de algemene verandering over de jaren (de trend) en de resterende 'onverklaarbare' variatie.

Alle analyses zijn uitgevoerd in R. De gebruikte scripts en meetgegevens (voor zover het openbare data betreft) zijn opvraagbaar bij de auteurs van deze publicatie.

### 3. Gebiedsanalyse

#### 3.1 Waterkwaliteit

Het meerjarig zomergemiddelde N-totaalgehalte van het oppervlaktewater varieert voor 99% van de metingen tussen 0,66 en 8,6 mg L<sup>-1</sup> binnen het beheergebied, waarbij hogere concentraties vaker voorkomen in de watersystemen Duurswold, Westerwolde en de Veenkoloniën. Voor P-totaal varieert deze tussen 0,03 en 0,99 mg P L<sup>-1</sup>. De ruimtelijke spreiding van de meerjarige zomergemiddelden wordt hieronder geïllustreerd.



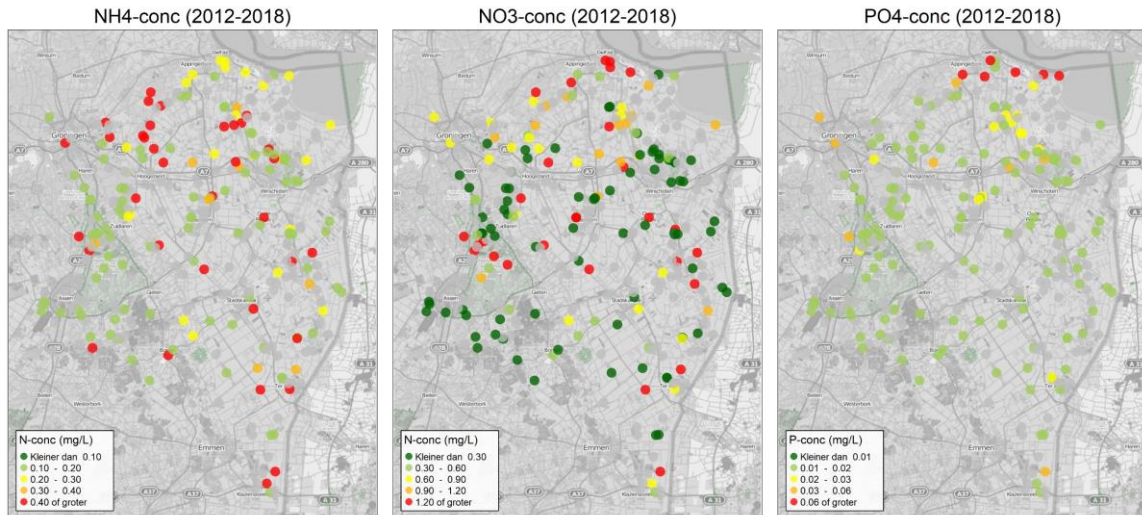
Figuur 3.1. Het meerjarig zomergemiddelde concentratie in het oppervlaktewater (gemiddeld per meetpunt) over de periode 2012-2018 voor totaal-N en totaal-P.

Een klein deel van de N-totaal in het oppervlaktewater bestaat uit ammonium; de fractie NH<sub>4</sub> varieert in de zomermaanden grotendeels tussen 7 tot 16%. Het organische deel daarentegen vormt 42 tot 82% van de gemeten N-vormen in het oppervlaktewater. Dit betekent ook dat 18 tot 58% van de aanwezige stikstof bestaat uit anorganische vormen zoals nitraat, ammonium en nitriet. De organische fractie als zodanig is een restproduct van gemineraliseerde stikstof uit de bodem (in het bijzonder het echte opgeloste deel van de organische moleculen) of bestaat uit afgestorven fytoplankton, algen of kleine deeltjes organisch materiaal dat ontstaat bij de vertering van slootvegetatie. Ammonium wordt in de bodem sterk gebonden (het is namelijk een positief geladen deeltje) en spoelt daarom alleen uit naar het watersysteem onder zuurstofloze, natte situaties. Hoge ammonium-concentraties in de zomer komen normaliter daarom sporadisch voor. Nitraat is daarentegen wel gevoelig voor uitspoeling en dit anion spoelt snel uit bij een netto neerslagoverschot. De grootste verliezen van nitraat treden dan ook op in de winterperiode.

Voor fosfor wordt in het oppervlaktewater alleen een meting uitgevoerd van de totale P-fractie én de hoeveelheid orthofosfaat. Het grootste deel van het fosfor in het oppervlaktewater bestaat uit P dat gecomplexed zit aan ijzer of organische stof; de fractie orthofosfaat is in de meeste situaties kleiner dan



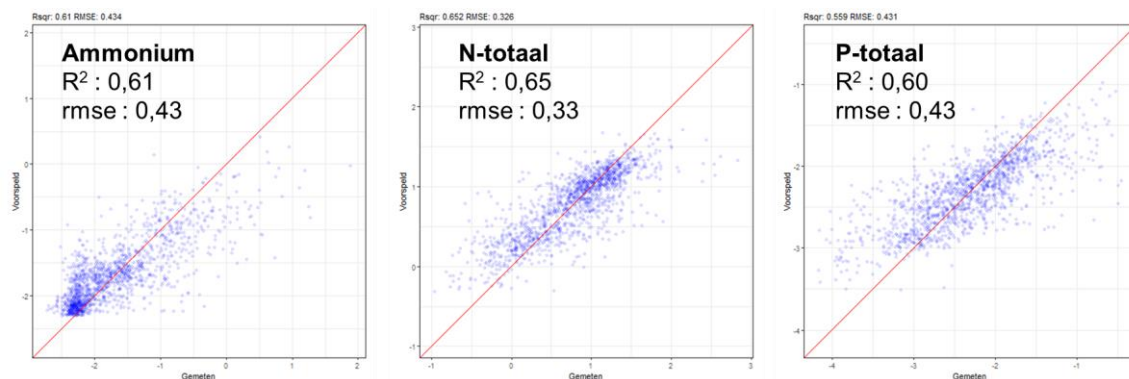
30%. De speciatie van fosfaat in het oppervlaktewater is sterk afhankelijk van het zuurstof-, ijzer- en zwavelgehalte in zowel het water als de slootbodem. Concentraties aan orthofosfaat zijn lager als er veel zuurstof, veel ijzer en weinig zwavel aanwezig is in het watersysteem. De ruimtelijke spreiding in ammonium, nitraat en orthofosfaat worden hieronder weergegeven voor het meerjarig zomergemiddelde.



Figuur 3.2. Het meerjarig zomergemiddelde concentratie in het oppervlaktewater (gemiddeld per meetpunt) over de periode 2012-2018 voor ammonium, nitraat en orthofosfaat.

### 3.2 Relatie met gebiedskenmerken

Verliezen van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater worden in sterke mate beïnvloed door gebiedskenmerken zoals bodemtype, landgebruik en bemesting. Vergelijkbaar met de voorgaande studie (Ros & Verweij, 2018) is onderzocht hoe de ruimtelijke variatie in de zomergemiddelde N-totaal en P-totaal-concentraties in het oppervlaktewater samenhangt met variatie in bodemkwaliteit, het landgebruik, en de eigenschappen van het watersysteem. Een vergelijkbare analyse is ook uitgevoerd voor het ammoniumgehalte, maar dan voor zowel de zomer als het winterhalfjaar. De ontwikkelde statistische modellen verklaren 60 tot 65% van de variatie in de zomergemiddelde concentraties (Figuur 3.3).

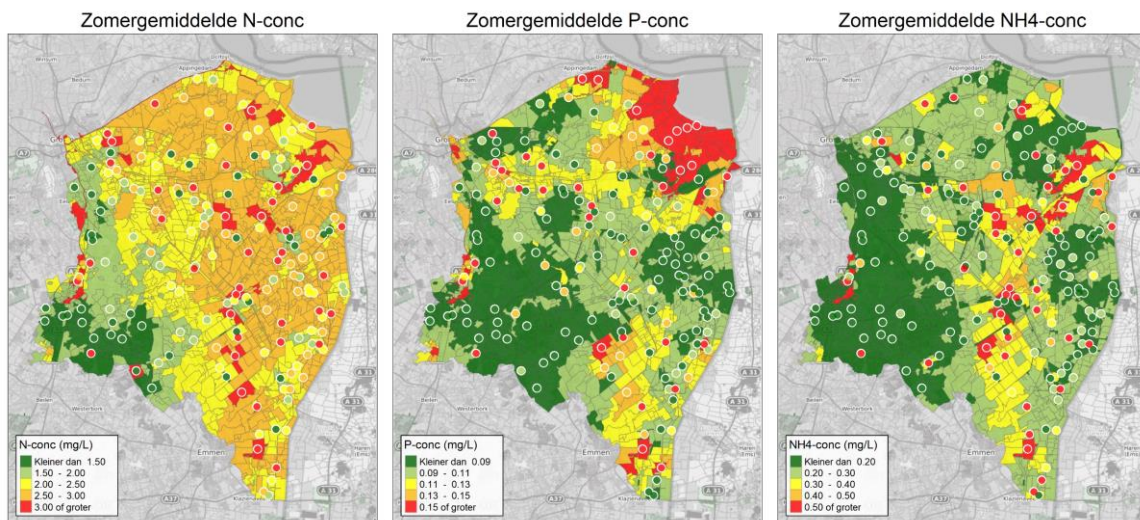


Figuur 3.3. Modelnauwkeurigheid (met  $R^2$  voor verklaarde variantie en RMSE voor de gemiddelde afwijking) voor het voorspellen van het zomergemiddelde  $NH_4$ , N-totaal en P-totaal gehalte in het oppervlaktewater. Data zijn log-getransformeerd.

Dit betekent dat het goed mogelijk is om op basis van gebiedskenmerken inzicht te geven in het voorkomen van hoge en lage N- en P-concentraties in het oppervlaktewater. Ook kan een accurate beschrijving worden

gegeven hoe deze gebiedskenmerken van invloed zijn op de N en P-concentraties. Wel betekent dit ook dat er nog steeds 30 á 40% variatie aanwezig is in de metingen die niet verklaard kan worden op basis van de onderzochte gebiedskenmerken.

Gebruik makend van de verbanden tussen gebiedskenmerken en de gemeten stikstof en fosforconcentraties is een gebiedsdekkende kaart gemaakt die ruimtelijk inzicht geeft in de variatie binnen het watersysteem (Figuur 3.4.). Hoge fosforconcentraties komen vooral voor in Fiemel en het noordelijke deel van Westerwolde als ook het zuidelijke deel van de Veenkoloniën. De concentraties liggen daar hoger dan  $0,15 \text{ mg P l}^{-1}$ , terwijl de laagste concentraties ( $< 0,09 \text{ mg P l}^{-1}$ ) vooral voorkomen in de watersystemen de Drentse Aa en de Hunze. Stikstofconcentraties zijn relatief hoog in een groot deel van het beheergebied, waarbij de hoogste concentraties voorkomen in de Veenkoloniën, Westerwolde, Oldambt en Duurswold.

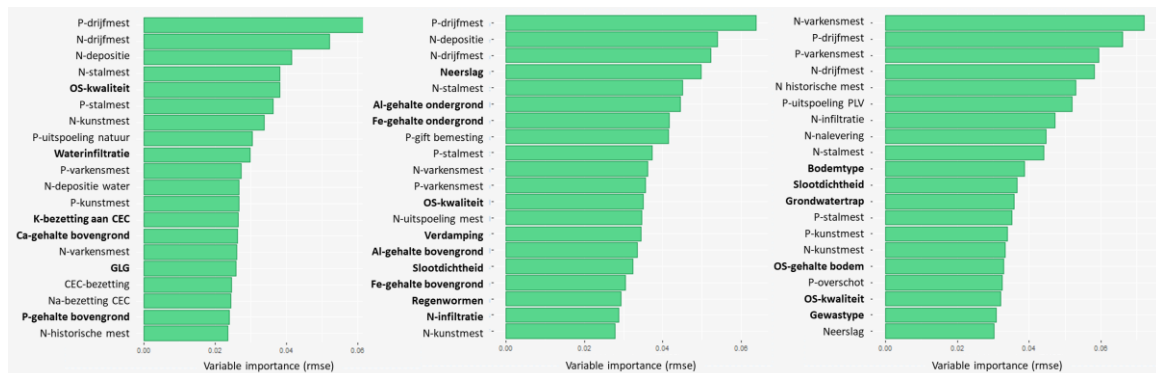


Figuur 3.4. Voorspelde zomergemiddelde concentraties (de gekleurde vlakken) van N-totaal, P-totaal en  $\text{NH}_4$  ( $\text{mg l}^{-1}$ ) in het oppervlaktewater in het beheergebied van Hunze en Aa. De meerjarig gemiddelde metingen zijn als meetpunten geprojecteerd bovenop de voorspellingen.

De belangrijkste kenmerken van het bodem- en watersysteem die van invloed zijn op deze ruimtelijke variatie binnen het beheergebied van Hunze en Aa's worden samengevat weergegeven in zogenoemde *variance importance plots*; gebiedskenmerken met de grootste invloed op de gemeten concentraties staan bovenaan terwijl de invloed afneemt naarmate de kenmerken lager in de figuur komen te staan (zie bijlage A). De belangrijkste gebiedskenmerken die samenhangen met hoge of lage N en P-concentraties liggen primair in het watersysteem zelf; de watertemperatuur, het chlorofylgehalte, het zuurstofgehalte en de geleidbaarheid zijn in sterke mate gerelateerd aan de hoeveelheid N en P in het oppervlaktewater. Dit betekent ook dat het beheer van het watersysteem (slootdiepte, slootkantenbeheer, inlaatregime, peilbeheer, aanwezigheid van kwel) van grote invloed zijn. Deze kenmerken kunnen een eventuele belasting van het watersysteem met stikstof of fosfaat bufferen. Omdat de bovengenoemde variabelen – die op hetzelfde meetpunt zijn geanalyseerd – zelf deels afhankelijk zijn van de aanwezige nutriënten, zijn deze kenmerken verwijderd uit de analyse om zo een beter zicht te krijgen op de invloed van bodem- en landbouwgerelateerde gebiedskenmerken.

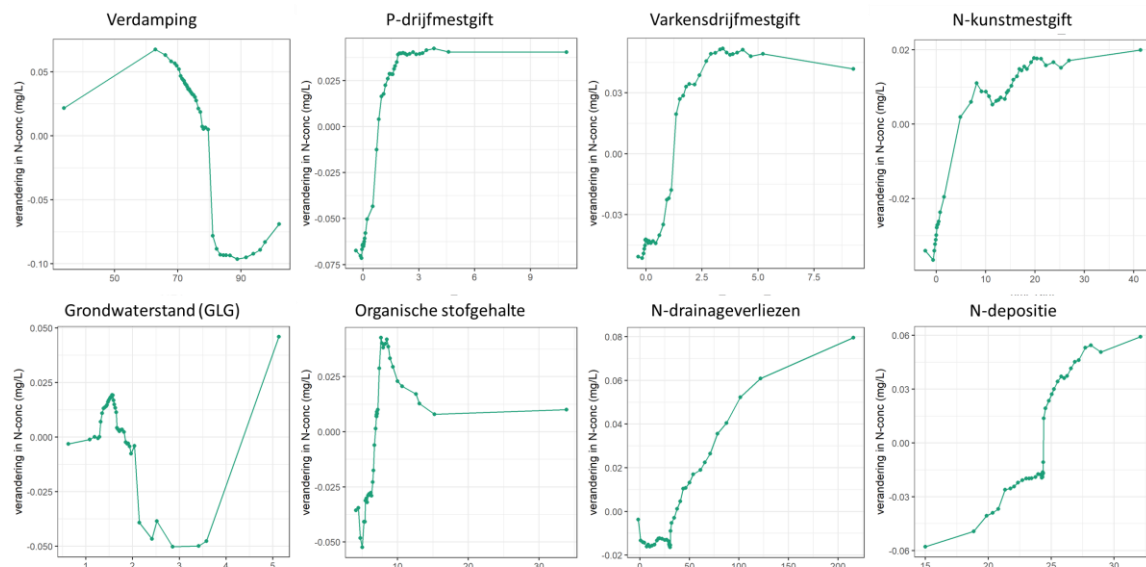
Wanneer we kijken naar de bijdrage van de top-40 sturende gebiedskenmerken, dan blijkt dat de ruimtelijke variatie in N-totaal in het oppervlaktewater worden sterk beïnvloedt door de hoeveelheid bemesting met dierlijke mest, de aanvoer van N via depositie, de bodemvruchtbaarheid, en het gehalte (en kwaliteit van)

organische stikstof in de bodem (Figuur 3.5; bijlage A). Deze invloed van bemesting wordt daarbij deels gestuurd door het landgebruik: varkensdrijfmest wordt vooral toegepast in de akkerbouw, terwijl de aanwezige mestruimte op melkveehouderijbedrijven wordt opgevuld met runderdrijfmest. Voor totaal P zijn deze parameters daardoor deels vergelijkbaar, maar spelen ook kenmerken van het bodem- en watersysteem een rol omdat deze het gedrag van fosfaat in de bodem beïnvloeden. Dat zijn bijvoorbeeld het gehalte aan aluminium en ijzer, de slootdichtheid en de infiltratiecapaciteit van de bodem. Variatie in zomergemiddelde  $\text{NH}_4$ -concentraties hangt sterk samen met bemesting en bodemkwaliteit en lijkt daarbij op de resultaten van totaal-N (Figuur 3.5). Een nadere analyse van ammonium volgt in hoofdstuk 4.



Figuur 3.5. 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. Voor gedetailleerde informatie, zie bijlage A.

Om meer zicht te krijgen hoe deze gebiedskenmerken samenhangen met de variatie in zomergemiddelde stikstof- en fosforconcentraties wordt hieronder, voor de belangrijkste gebiedskenmerken, inzicht gegeven in de mate waarin de voorspelde concentratie wijzigt als er een verandering optreedt in een gebiedskenmerk (Figuren 3.6 en 3.7). Hierbij is een selectie gemaakt van de meest sturende gebiedskenmerken; vergelijkbare figuren voor alle gebiedskenmerken zijn als bijlage toegevoegd.

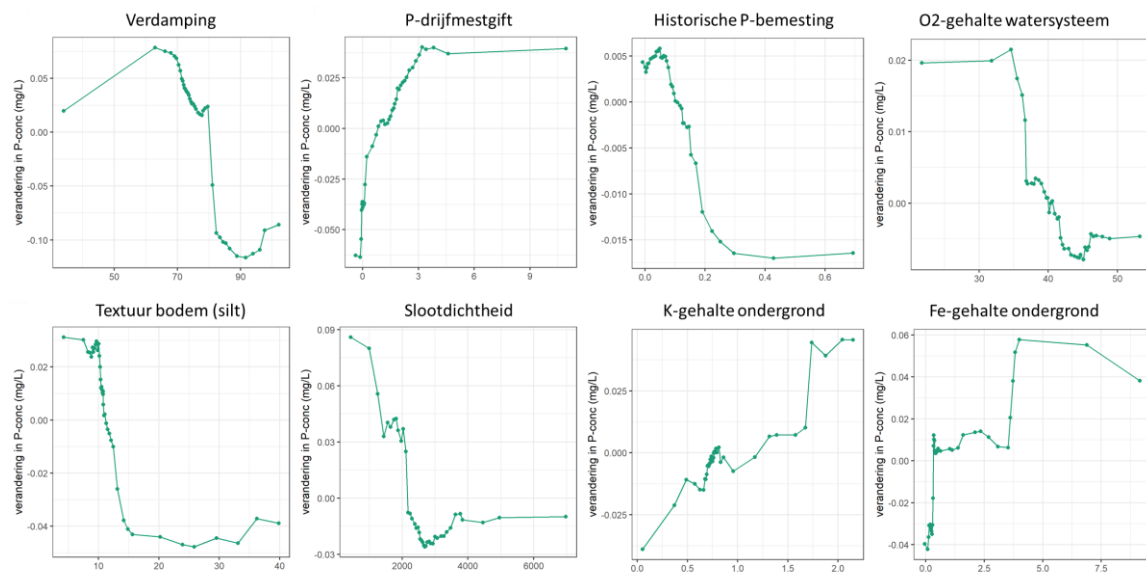


Figuur 3.6. Invloed van een aantal gebiedskenmerken op de ruimtelijke variatie in het N-totaalgehalte in het oppervlaktewater. De figuren laten zien hoe de voorspelde N-totaalconcentratie wijzigt als reactie op een verandering in het geselecteerde gebiedskenmerk.

Uit deze analyse wordt duidelijk dat afwateringsgebieden met een hoge verdamping ( $> 80$  mm per maand) structureel een lagere N-gehalte hebben in de zomer; gehalten liggen bijna  $0,15 \text{ mg N l}^{-1}$  lager dan in gebieden met een verdamping kleiner dan  $70$  mm per maand. Stikstofconcentraties stijgen vrijwel lineair met bemesting: gebieden waarin meer drijfmest wordt gegeven (rundvee- of varkensdrijfmest) worden gekenmerkt door N-gehalten die  $0,05$  tot  $0,10 \text{ mg N l}^{-1}$  hoger liggen dan in gebieden met een lage mestgift.

Ook gebiedskenmerken die van invloed zijn op de lokale hydrologie spelen een rol. Gebieden met een hoog risico op drainageverliezen naar het oppervlaktewater worden gekenmerkt door hogere N-concentraties. Opvallend is ook de relatie met N-depositie: gebieden met een hoge N-depositie hebben ook hogere N-concentraties. De hoeveelheid organische stof in de bodem heeft een negatief effect op N-concentraties in het oppervlaktewater tot een percentage rond de  $8\%$ , bij hogere percentages is er sprake van een verschuiving naar veengronden, waarbij de concentratie niet meer sterk afwijkt van het gemiddelde van het hele beheergebied. Diepere grondwaterstanden hebben een positief effect op het N-gehalte in het oppervlaktewater omdat het risico op oppervlakkige en ondiepe uitspoeling kleiner is in deze gebieden.

Fosfor vertoont een grotere invloed van het bodem- en watersysteem dan stikstof als het gaat om bemesting. Ook hier speelt het weer een grote rol: gebieden met een hoge verdamping laten lagere concentraties ( $0,15 \text{ mg P l}^{-1}$ ) zien in het oppervlaktewater. Ter illustratie is ook hier de invloed van het zuurstofgehalte weergegeven: watergangen met een relatief hoog gehalte aan zuurstof worden gekenmerkt door lagere P-gehalten. Dit effect zorgt voor een variatie in P-gehalten dat op kan lopen tot  $0,03 \text{ mg P l}^{-1}$ . Gebieden met een hoge P-bemesting hebben gemiddeld ook een hogere P-gehalte in het oppervlaktewater; dit effect is maximaal  $0,08 \text{ mg P l}^{-1}$ . Variatie in P-verliezen vanuit historische bemesting is niet zo groot, en veroorzaakt maximaal voor  $0,02 \text{ mg P l}^{-1}$  variatie in het beheergebied.



Figuur 3.7. Invloed van een aantal gebiedskenmerken op de ruimtelijke variatie in het P-totaalgehalte in het oppervlaktewater. De figuren laten zien hoe de voorspelde P-totaalconcentratie wijzigt als reactie op een verandering in het geselecteerde gebiedskenmerk.

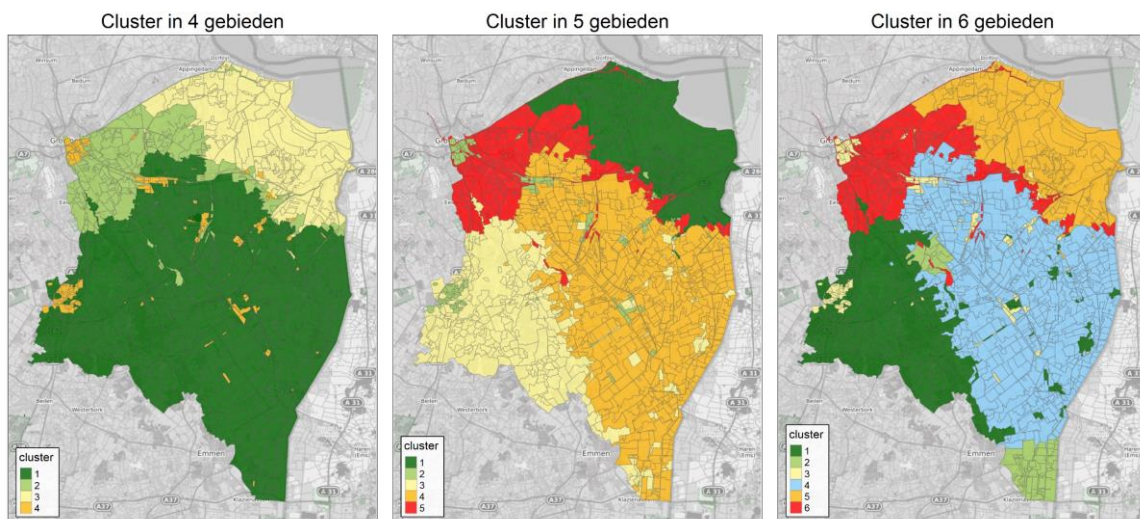
De bodemtextuur en het moedermateriaal zijn sterk sturend en zorgen voor een variatie in het P-gehalte van circa  $0,1 \text{ mg P l}^{-1}$ , waarbij hogere P-concentraties voorkomen bij bodems die rijk zijn aan kalium en ijzer in de ondergrond als ook weinig leem bevatten. De relatie met bodemtextuur is ook zichtbaar in de slootdichtheid;



natte gebieden (in ieder geval veen) worden intensief ontwaterd, en hebben een lagere P-concentratie. Mogelijk hangt dit samen met hogere verliezen van ijzer- en aluminium richting het watersysteem. Als uitspoelend fosfaat samen met ijzer en aluminium coaguleert, slaat het neer op de waterbodem, en is op dat moment niet beschikbaar voor opname. Hoge ijzerconcentraties in het oppervlaktewater gaan inderdaad samen met lage P-concentraties (niet weergegeven).

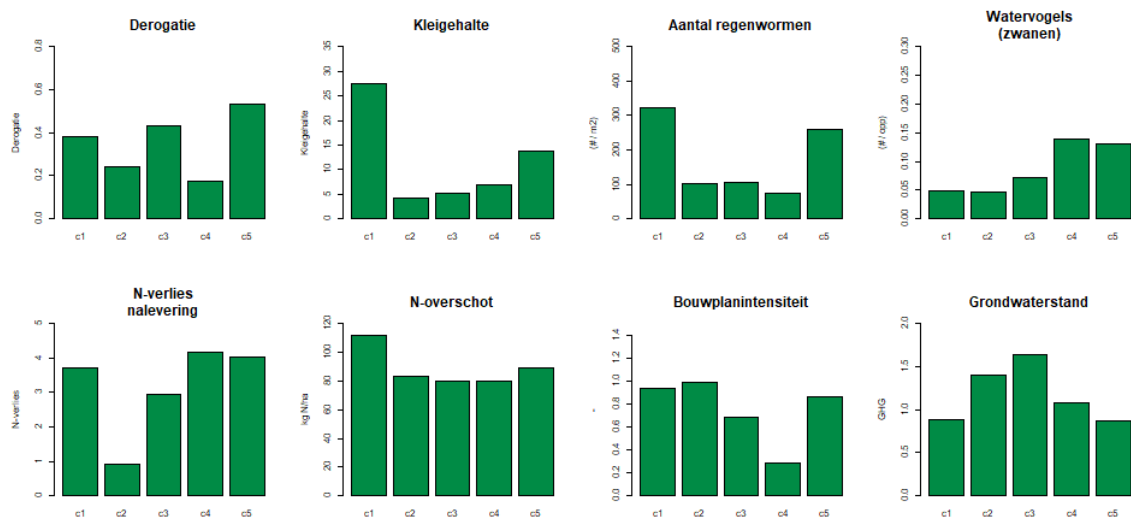
### 3.3 Clustering van gebiedskenmerken

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. Dit betekent dus ook dat het mogelijk is om op basis van deze kenmerken de aanwezige peilgebieden te groeperen met een vergelijkbare emissie naar dan wel retentie van N en P in het oppervlaktewater. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een clusteringsalgoritme zoals kNN. Op basis van bodem, landgebruik, bemesting, geohydrologie, belasting vanuit het rwzi en weer kunnen verschillende groepen van peilgebieden (ook wel clusters genoemd) worden onderscheiden (Figuur 3.8). Bodemeigenschappen en de kenmerken van het watersysteem (peilen, ontwatering, etc.) spelen hierbij een sleutelrol. De keuze om het hele beheergebied in vier, vijf of zes deelgebieden op te delen, is een arbitraire keuze vooral bedoeld om op grote lijnen sturing te geven aan bodem- en waterbeheer. In het vervolg van dit rapport wordt hiervoor gebruik gemaakt van de clustering in vijf groepen van peilgebieden.



Figuur 3.8. Clusters van peilgebieden binnen het beheergebied van Hunze en Aa's met vergelijkbare gebiedskenmerken. Let op, gebruikte kleurschaal varieert per kaart en heeft hier geen inhoudelijke betekenis.

Cluster 1 (donkergroen) ligt vooral in de watersysteem Fiemel, Oldambt, Duurswold en het Noorden van Westerwolde. Cluster 2 (lichtgroen) bevat de peilgebieden van de Eems- en Dollardboezem als ook een klein aantal peilgebieden in het Westen van het beheergebied. Cluster 3 (geel) ligt vooral in de zuidelijk deel van watersysteem de Hunze en de Drentse Aa. Cluster 4 (oranje) bevat de waterlichamen de Hunze, Veenkoloniën, Westerwolde en het Zuidelijke deel van Oldambt, terwijl cluster 5 (rood) vooral in het Noordwesten van het beheergebied ligt. Belangrijke gebiedskenmerken die sturend zijn voor deze clustering zijn gerelateerd aan het bodemtype (meetbaar via bijvoorbeeld het kleigehalte, het leemgehalte, en de pH), de bodemvruchtbaarheid (pH, CEC, N-nalevering), de bouwplanintensiteit als ook de aanwezigheid van watervogels (in het bijzonder de zwanen). Dit wordt geïllustreerd in figuur 3.9.



Figuur 3.9. Gemiddelde kenmerkende gebiedseigenschappen van de vijf clusters (c1 tot c5) binnen het beheergebied van waterschap Hunze en Aa's (voor locatie van clusters, zie Figuur 3.8).

Het fractie bedrijven per gemeente dat derogatie heeft is hoger dan 40% in het Westen en Noorden van het beheergebied, en vooral in de clusters 1, 3 en 5. Gegeven de bodemsoort is het kleigehalte het hoogst in het noorden van het beheergebied (cluster 1). Opvallend is dat het aantal regenwormen en de diversiteit het hoogst is in kleirijke en veenrijke gebieden (clusters 1 en 5). De ontwatering is in deze gebieden relatief kleiner dan in de overige gebieden. Watervogels komen vooral voor in het Oosten van het beheergebied. N-verliezen die optreden door nalevering van de bodem zijn relatief laag in de Drentse Aa en de Hunze (cluster 2) in vergelijking met de andere gebieden. Het N-overschot is het hoogst in het akkerbouwgebied in het Noorden van het beheergebied (cluster 1) terwijl deze relatief vergelijkbaar is tussen de andere clusters.

### 3.4 Sturende factoren waterkwaliteit

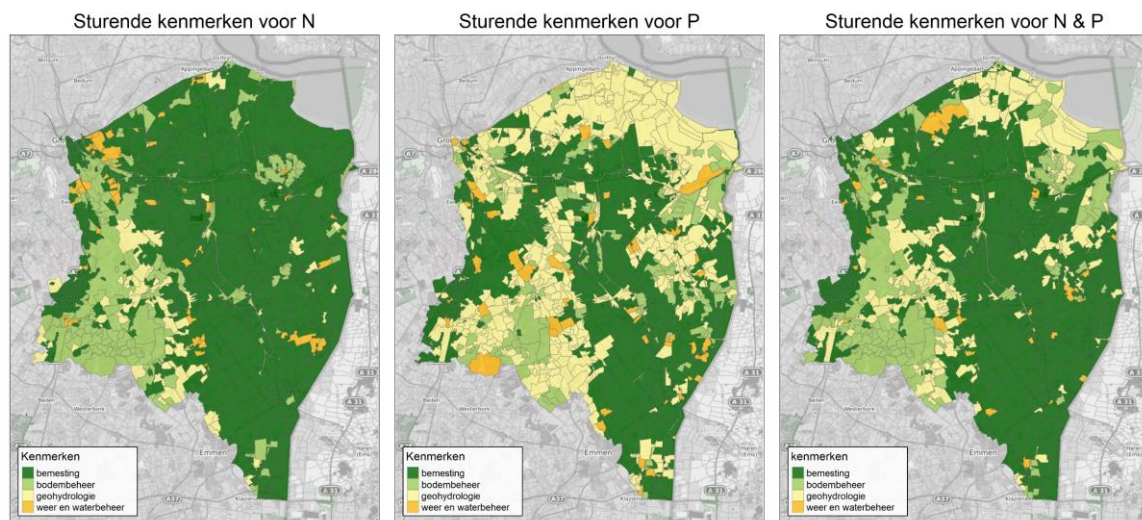
Per peilgebied is geanalyseerd wat de meest invloedrijke gebiedskenmerken zijn die samenhangen met de ruimtelijke variatie in N- en P-concentraties in het oppervlaktewater. Hiervoor is per peilgebied onderzocht wat de veertig meest invloedrijke gebiedskenmerken zijn, waarna deze kenmerken zijn gegroepeerd in factoren die samenhangen met het bodemtype en de bodemkwaliteit, het landgebruik en bemesting, de nutriënten-toestand 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 nutriënten te sturen.

In meer detail horen de volgende gebiedskenmerken per groep:

- **Landgebruik en bemesting (stuurbaar):** productie van N en P, bemesting van N en P via kunstmest en dierlijke mest (rundveedrijfmest, varkensmest, kippenmest, weidemest), het N- en P-overschot, het landgebruik, het percentage van bedrijven met derogatie, bewortelingsdiepte, geschatte N- en P-verliezen vanuit actuele en historische bemesting en de hoeveelheid plant beschikbaar P in de bodem.
- **Weer- en waterbeheer (deels stuurbaar):** verdamping, neerslag, slootdichtheid, en waterfluxen voor drainage en infiltratie,
- **Geohydrologie (niet tot matig beïnvloedbaar):** maaiveldhoogte, GHG, GLG, GVG, grondwater-trap, en totaalgehalten metalen en nutriënten in de ondergrond, bodemtype en mineralogie.

- **Agrarisch bodembeheer (deels stuurbaar):** de totale en plant-beschikbare hoeveelheid stikstof, fosfaat en zwavel in de bodem, de afbreekbaarheid van stikstof (bodemleven), de zuurgraad, het organische stofgehalte en de CEC van de bodem, en totaalgehalten nutriënten in de bovengrond, en modelmatig geschatte N- en P-verliezen vanuit de bodem (ECHO-systematiek).
- **Overige bronnen (matig tot goed stuurbaar):** modelmatig berekende stikstof- en fosforverliezen voor natuurgronden, zoals deze in kaart zijn gebracht via de ECHO-systematiek, de aanwezigheid van weidevogels en de bekende N en P-vracht uit RWZI's.

Als in een peilgebied bijvoorbeeld het agrarisch bodembeheer als belangrijk kenmerk wordt geïdentificeerd voor P-concentraties in het oppervlaktewater, dan betekent dat concreet dat meerdere bodemkenmerken (zoals N-totaal, het bodemleven, het gehalte aan organische stof of de zuurgraad) samenhangen met het verschil tussen de P-concentratie in het desbetreffende peilgebied en de gemiddelde P-concentratie in het hele beheergebied. In slechts 5% van het gebied is het agrarisch bodembeheer sterk sturend op de hoogte van de P-concentratie (Figuur 3.10). Landgebruik en bemesting (lees nutriëntenmanagement en gewas-opvolging) zijn belangrijk in 40% van het gebied en hebben vooral invloed in de watersystemen Drentse Aa, Veenkoloniën en het Noorden van de Hunze. Let wel, dit betekent niet alleen dat een hoge bemesting samenhangt met hogere nutriëntenconcentraties (Figuur 3.6) maar ook dat in sommige peilgebieden – zoals de Drentse Aa - de lagere nutriëntenconcentraties samenhangen met lagere mestgiften. De vormgeving van het watersysteem, de geohydrologie en het moedermateriaal van de bodem beïnvloeden de bodemvochtthuishouding en zijn van invloed op de P-concentraties in 46% van het gebied. Dit zijn vooral peilgebieden in de watersystemen Fiemel, Duurswold, het noorden van Westerwolde en het zuiden van de Hunze. In de resterende 8% van het gebied is het water- en slootkantbeheer de belangrijkste sturende factor voor het verklaren van de ruimtelijke variatie in fosfor-concentraties in het oppervlaktewater.



Figuur 3.10. Ruimtelijke weergave van de meest sturende gebiedskenmerken (gegroepeerd per type, en geselecteerd uit de top-40 kenmerken voor stikstof als fosfor) die van invloed zijn op het verschil in gemeten N- en P-concentraties in elk peilgebied ten opzichte van de concentraties in het hele beheergebied. Links de meest sturende kenmerken voor stikstof, midden voor P, en rechts voor een combinatie van N en P.

Voor stikstof is dit patroon eenduidiger dan voor fosfor en speelt agrarisch bodembeheer en bemesting een grotere rol: in 88% van het gebied zijn dit de meest relevante gebiedskenmerken die van invloed zijn op de ruimtelijke variatie in N-concentraties. Bemesting heeft daarbij het meeste invloed in de Veenkoloniën, Oldambt, Westerwolde en delen van de Drentse Aa.

### 3.5 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. Hieruit wordt ook duidelijk dat fosfor en stikstof op een andere manier in het watersysteem terechtkomen, en ook door andere gebiedskenmerken beïnvloed worden. Fosforverliezen worden daarbij sterk gestuurd door het chemische evenwicht in de bodem, en het risico op oppervlakkige afstroming en ondiepe uitspoeling vanuit de bodem. Relevante bodemkenmerken zijn de textuur, de ontwatering en de eigenschappen van de fysisch-chemische ondergrond. Hoge P-verliezen kunnen daarbij sterk gebufferd worden door het ontwerp en onderhoud van watergangen: de watertemperatuur, het zuurstofgehalte en het doorzicht zijn namelijk sterk gerelateerd aan het fosforgehalte. Hier liggen dan ook kansen voor verlaging van P-concentraties in het oppervlaktewater. Gerichte sturing op minder oppervlakkige afvoer is mogelijk via bufferzones en akkerranden. Hoge ijzer-concentraties in de sloot(bodem) kunnen daarnaast zorgen voor extra retentie in de watergang. In de kleirijke kustzones (o.a. Fiemel) speelt daarbij een hoge natuurlijke achtergrondbelasting.

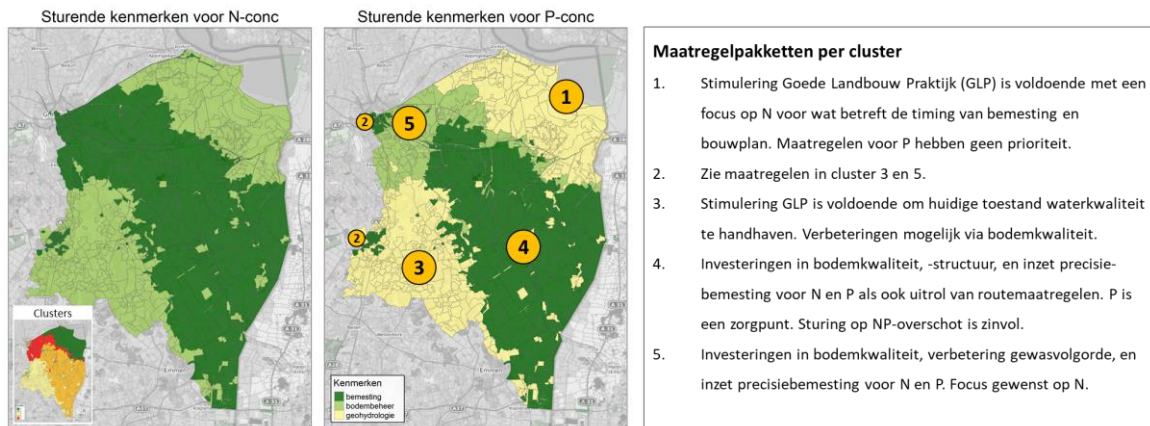
In een groot deel van het beheergebied is het agrarisch bodembeheer van invloed op de benutting én verliezen van nutriënten naar het oppervlaktewater. Een goede bodemvruchtbaarheid, als resultante van een doordacht bouwplan, bodembeheer en bemesting zorgt namelijk voor meer buffering in de bodem en minder N- en P-verliezen. De grootste verbetering is hier te realiseren voor stikstof, waarbij niet zozeer een lagere N-gift maar verhoging van de bodembenutting gewenst is. Inzet van precisiebemesting en de inzet van vanggewassen kunnen hierbij helpen. Internationaal wordt in de agronomie vanuit duurzaamheidsoogpunt gestuurd op de 4xR strategie zodat mest op de juiste plaats, het juiste tijdstip, via de juiste meststof en met de juiste dosering wordt toegediend. Zeker voor N liggen hier mogelijkheden om het N-overschot zodanig te verlagen dat het risico op verliezen naar het watersysteem kleiner worden. Voor verliezen van P liggen de belangrijkste sturingsvariabelen in het watersysteem zelf, dan wel in het verminderen van ondiepe uitspoeling en oppervlakkige afspoeling. De P-voorraden in de bodem zijn namelijk groot, en vormen een substantiële bron van fosfaat richting het watersysteem. Dit effect van de bodem P-voorraad is in de huidige analyse minder zichtbaar omdat de P-toestand van de bodem, en de P-verzadiging van de bodem- en ondergrond, vrijwel overal hoog is. Het wordt wel concreet zichtbaar in een positief verband met de hoeveelheid plant-beschikbaar fosfaat, dat wil zeggen de concentratie P die in de bodemoplossing aanwezig is (zoals gemeten via een 0,01M  $\text{CaCl}_2$  extractie). Dit P-gehalte in de bodemoplossing is de resultante van chemische evenwichten in de bodem, en reflecteert sterk de mesthistorie: percelen die veel mest krijgen hebben een relatief hoger P-gehalte in de bodemoplossing dan percelen die weinig mest krijgen. Binnen het beheergebied is er een positief verband met fosforgehaltes in het oppervlaktewater. De huidige P-toestand van de bodem en de bemestingspraktijk dat de P-norm vrijwel volledig wordt opgevuld, zijn wel een aandachtspunt om de P-concentraties in het oppervlaktewater verder te verlagen. Langzaam dalende trends in waterkwaliteit (niet weergegeven) bevestigen dat het zeker mogelijk is om de P-concentraties te laten dalen; wel is dat effect pas op langere termijn zichtbaar.

De tweede belangrijke stuurfactor heeft te maken met de ontwatering van percelen en het landgebruik. Bouwplannen met relatief veel diep wortelende en N-efficiënte gewassen zoals granen en gras hebben relatief minder N-uitspoeling dan bouwplannen met veel rooivruchten. Om deze reden heeft bemesting voor stikstof meer invloed in de Veenkoloniën en Westerwolde dan in de Drentse Aa en Duurswold. Door intensieve bodembewerking en ruggenteelten in de akkerbouw is er vooral op de zandgronden een verhoogd risico op N- en P-afspoeling, en staat de bodemkwaliteit onder druk.



Deze conclusies corresponderen met de analyse van Van der Grift (2011) voor het watersysteem van de Drentse Aa en de Schuitensbeek, waar het grootste deel van de N-vracht naar het oppervlaktewater uit het bovenste grondwater in droge landbouwgebieden komt. Sturen op stikstofbemesting en bodemvruchtbaarheid is daarom het meest effectief om de N-belasting te verlagen. Fosfor geeft een ander beeld: de natte venige en moerige gebieden leveren 70% van de P-vracht vanuit het grondwater. Hoge ijzerconcentraties in het diepe grondwater zorgen overigens voor vastlegging van P in de slootbodem.

Wat betekent dit voor de maatregelen binnen het beheergebied? Gegeven de huidige gebiedskenmerken en de invloed van de meest sturende factoren kan op basis van expert-judgement richting worden gegeven aan effectieve maatregelen. De resultaten hiervan worden samengevat in Figuur 3.11.



Figuur 3.11. Ruimtelijke weergave van regio's waarbinnen via maatregelpakketten gestuurd kan worden op verbetering van de waterkwaliteit. Links en midden de meest sturende gebiedskenmerken op N en P-concentraties per cluster (genummerd in oranje), en rechts de daaraan gekoppelde maatregelpakketten.

Gebieden in cluster 1 liggen op kleirijke bodems in het Noorden van het beheergebied met weinig uitspoelingsgevoelige gewassen maar een hoog N-overschot. De kleigronden in dit cluster worden gekenmerkt door (natuurlijke) hoge voorraden van fosfaat in de bodem, die zorgen voor hoge P-concentraties zowel in de bodem als in het oppervlaktewater. Naast deze voorraden zorgt de bodemtextuur en bestaande drainage voor snelle afvoer routes 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 afspoeling kan worden verkleind. Sturing op P is hier erg lastig in verband met de hoge achtergrondconcentraties in de marine klei.

Gebieden in cluster 2 hebben een relatief lage N-concentratie van  $2,16 \text{ mg N L}^{-1}$  als wel een gemiddelde P-concentratie van  $0,10 \text{ mg P L}^{-1}$ . De biologische bodemvruchtbaarheid is relatief laag, wat zorgt voor minder nalevering van stikstof uit de bodem. Omdat dit cluster maar een paar peilgebieden omvat, wordt deze niet apart behandeld. Gebieden in cluster 3 (de Drentse Aa en het zuiden van de Hunze) hebben gemiddeld de laagste nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater. Door de combinatie van bodemtextuur, ontwatering en bodemvruchtbaarheid zijn de verliezen naar het oppervlaktewater relatief beperkt. Dat betekent dat het in deze gebieden volstaat om te blijven sturen op maatregelen die passen binnen de Goede Landbouw Praktijk. Aandacht voor organische stof en bouwplan (lees: gewasvolgorde) is belangrijk om te sturen op stikstof. Voor

fosfaat is de ontwatering en vormgeving van het watersysteem sturend. Binnen de huidige landbouwpraktijk ligt hier voor fosfaat geen grote opgave.

Gebieden in cluster 4 liggen vooral op de zandige bodems in het Zuidoosten en Centrale deel van het beheergebied. Het cluster wordt gekenmerkt door een gemiddelde nutriëntenconcentratie van 0,11 mg P L<sup>-1</sup> en 2,8 mg N L<sup>-1</sup> 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. De bodemkwaliteit is een primair aandachtspunt om op te sturen zodat meer nutriënten 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.

Cluster 5 ligt in het Noordwesten van het beheergebied van Hunze en Aa. Er komen veel veenrijke en moerige bodems voor en het cluster wordt gekenmerkt door een meerjarig gemiddelde N- en P-concentratie van 0,08 mg P L<sup>-1</sup> en 2,1 mg N L<sup>-1</sup> in de zomer. Het landgebruik is overwegend gras en de bemestingsdruk is relatief hoog door het grote aandeel derogatiebedrijven. Wel is er sprake van een negatief bodemoverschot voor P. De P-verzadiging is relatief laag wat samenhangt met het bodemtype en de aanwezige voorraad aan Al- en Fe-oxiden in de bodem; er is daardoor meer retentie dan in gemiddelde zandbodem. Het cluster wordt gekenmerkt door een hoge slootdichtheid. 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. Verlaging van N-verliezen zijn te realiseren via goede timing van bemesting in het voorjaar en late najaar. Goed onderhoud van sloten (baggeren en slootschonen) blijft in dit gebied belangrijk om de huidige waterkwaliteit in stand te houden dan wel te verbeteren.

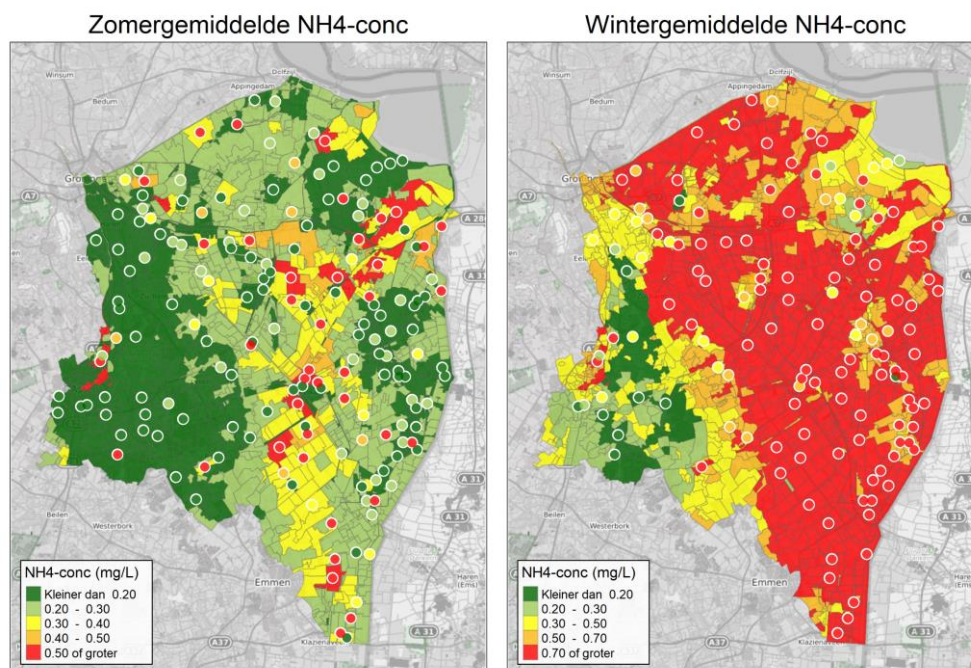
## 4. Casus Ammonium

### 4.1 Inleiding

In het beheergebied van waterschap Hunze en Aa's wordt regelmatig de normen voor ammonium ( $\text{NH}_4$ ) overschreden. Deze normen liggen voor het jaargemiddelde op  $0,30 \text{ mg L}^{-1}$  (JGM) en voor een individuele meting op  $0,61 \text{ mg L}^{-1}$  (MAC), en gelden bij een pH van 7,7 en een temperatuur van 15 graden. Tot op heden is niet heel duidelijk wat de belangrijkste oorzaak is van deze hoge concentraties en in welke mate dit stuurbaar is via bodem- en waterbeheer. In een recente studie van Veeningen (2017) worden een aantal inzichten gedeeld op basis van regionale analyses bij waterschappen. Zo concludeert Aa en Maas dat de meeste overschrijdingen voorkomen bij locaties die onder invloed staan van lozingen van rwzi's. Op deze locaties zijn de overschrijdingen namelijk omvangrijker dan in gebieden met overwegend landbouw en natuur. Rijnland daarentegen maakt onderscheid tussen polders en boezem, en naar gebruiksfunctie en grondsoort en concludeert dat de overschrijdingen vaker voorkomen in de boezem. Stedelijk gebied en zandgrond scoren slecht bij de polderwateren. Bij het Wetterskip Fryslân kwamen de overschrijdingen juist voor in wateren die qua beïnvloeding niet kenmerkend zijn voor de functie natuur, landbouw en bebouwd gebied. Meetpunten binnen Hunze en Aa's vertonen een mogelijke invloed van rwzi's, omdat deze gerekend over meerdere jaren, relatief meer overschrijdingen laten zien dan meetpunten zonder een directe invloed (Veeningen, 2017). De exacte bron en de beïnvloedende processen zijn vooralsnog niet duidelijk. In dit hoofdstuk wordt een eerste poging gedaan om het voorkomen van hoge  $\text{NH}_4$ -gehalten te linken aan lokale gebiedskenmerken.

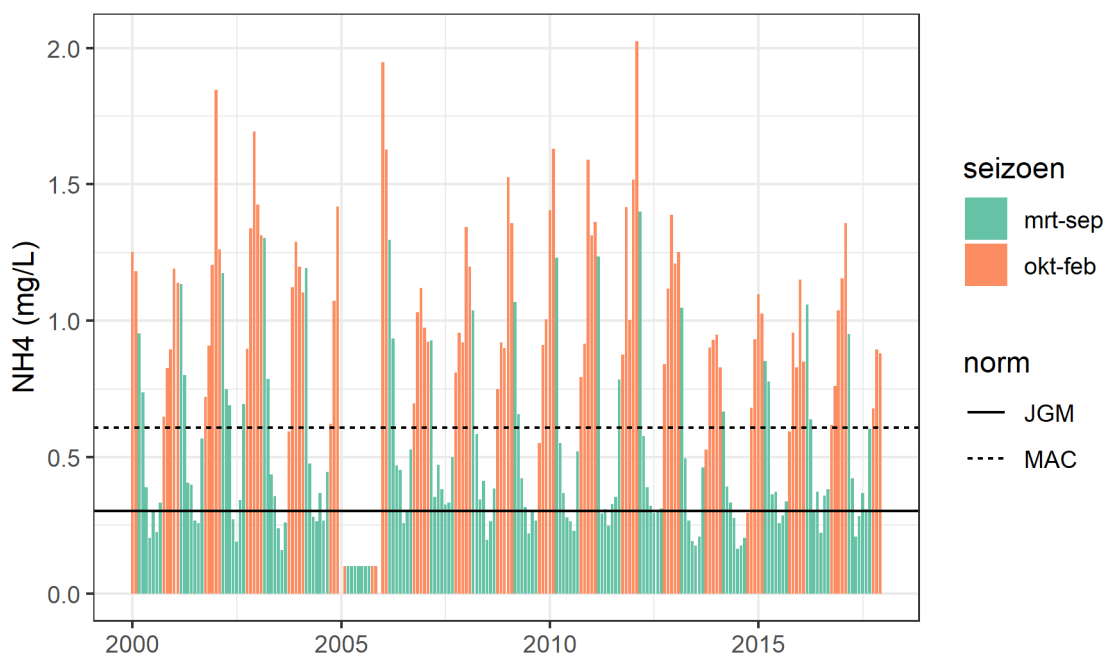
### 4.2 Ruimtelijke gebiedsanalyse

Gebruik makend van de uitgevoerde metingen in het gebied én de relatie met gebiedskenmerken is een schatting gemaakt van het  $\text{NH}_4$ -gehalte in het oppervlaktewater. Hoge concentraties van ammonium komen vooral voor in de winter als ook in vrijwel alle watersystemen (Figuur 4.1).



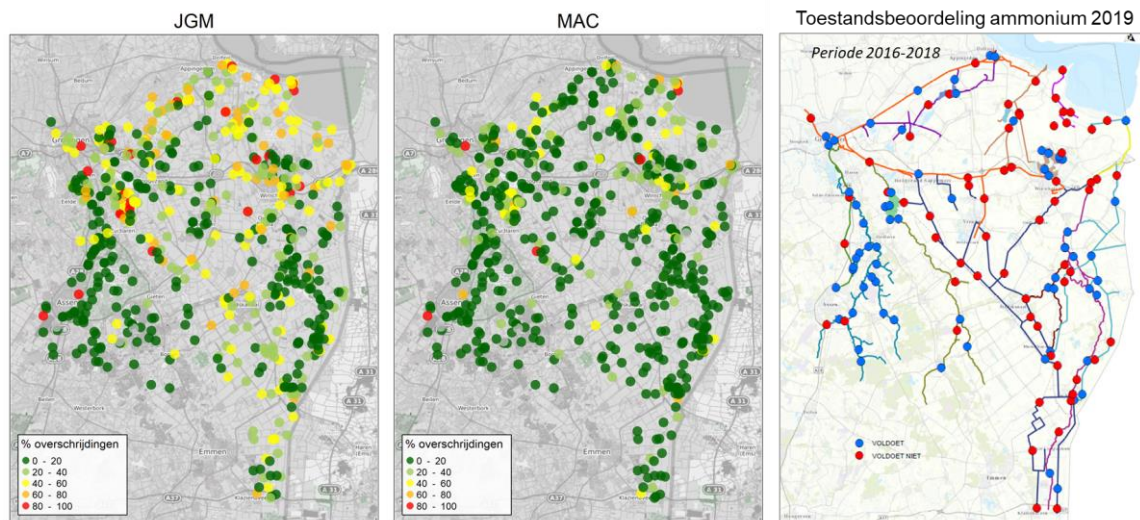
Figuur 4.1. Voorspelde zomergemiddelde concentraties (de gekleurde vlakken) van N-totaal, P-totaal en  $\text{NH}_4$  ( $\text{mg l}^{-1}$ ) in het oppervlaktewater. De meerjarig gemiddelde metingen zijn als meetpunten geprojecteerd bovenop de voorspellingen.

Dit patroon wordt in meer detail bevestigd als ingezoomd wordt naar de temporele variatie over de jaren en maanden (Figuur 4.2.). In een groot aantal jaren vanaf 2000 tot 2017 wordt de MAC-norm in het najaar / de winter overschreden, waarbij het gebiedsgemiddelde ammoniumgehalte op kan lopen tot 2 mg N l<sup>-1</sup>. Let wel, dit is het gemiddelde van een groot aantal meetpunten; in individuele gevallen kan het NH<sub>4</sub>-gehalte nog verder oplopen. In de zomermaanden zijn de concentraties lager dan in de wintermaanden.



Figuur 4.2. Gemeten variatie in ammonium (mg N l<sup>-1</sup>) in het oppervlaktewater, gemiddeld per maand over alle meetpunten en uitgesplitst per seizoen in het beheergebied van Hunze en Aa's. De weergegeven normen zijn hierbij overigens niet gecorrigeerd voor temperatuur en pH.

Dit betekent concreet dat op een groot deel van de meetpunten de normen worden overschreden (Figuur 4.3). Opvallend is wel dat hoge ammoniumconcentraties weinig voorkomen in het watersysteem van de Drentse Aa. Meetpunten rond Stadskanaal hebben daarentegen vaak een overschrijding. In vrijwel alle watersystemen wordt de norm in meer dan 80% van de metingen overschreden voor minimaal één van de jaren 2015 tot 2018 voor wat betreft de JGM-norm en in mindere mate voor wat betreft de MAC-norm. Of, en zo ja in welke mate, deze NH<sub>4</sub>-gehalten een negatief effect hebben op de ontwikkeling van slootvegetatie dan wel de aanwezige flora en fauna is niet heel duidelijk. De ecologische toestand van oppervlaktewater wordt namelijk door veel factoren beïnvloed en is in de praktijk niet één-op-één gerelateerd worden aan te hoge concentraties ammonium of ammoniak (Veeningen, 2017).

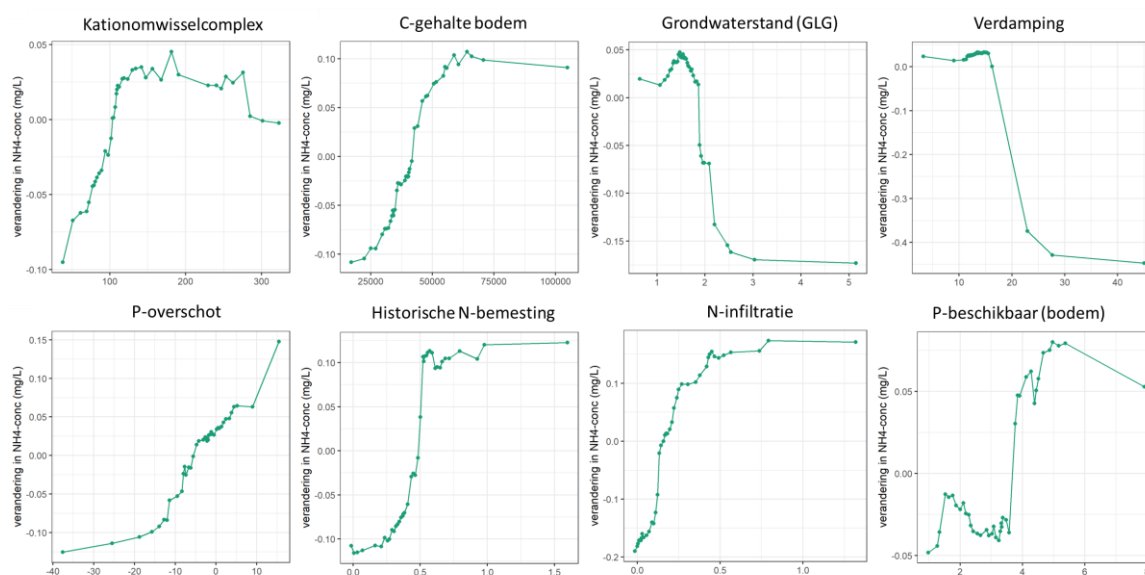


Figuur 4.3. Percentage jaarlijkse overschrijdingen van het  $\text{NH}_4$ -gehalte, berekend per meetpunt over de periode 2015-2017 in het beheergebied van Hunze en Aa's (links en midden) als ook de toestands-beoordeling over de periode 2016-2018 (rechts).

De belangrijkste gebiedskenmerken die van invloed zijn op het  $\text{NH}_4$ -gehalte in de winter zijn enerzijds sterk gerelateerd aan de bodemvruchtbaarheid, het weer en de bemestingspraktijk als ook aan abiotische waterkwaliteitskenmerken zoals zuurstof-, sulfaat- en chlorofylgehalte in het oppervlaktewater. Ammoniumgehalten zijn hoger in watersystemen met veel chlorofyl, weinig zuurstof en lagere temperaturen (niet weergegeven). Peilgebieden met een ondiepe grondwaterstand en bodems met veel organische stof en een hoog kationomwisselcomplex vertonen daarnaast gemiddeld een hoger  $\text{NH}_4$ -gehalte dan bodems met een diepe grondwaterstand en minder organische stof (Figuur 4.4). Bij een hoge verdamping is het  $\text{NH}_4$ -gehalte lager, wat overeenkomt met toenemende  $\text{NH}_4$ -gehalten gedurende de winter. Bodems met grote(re) N-verliezen uit historische bemesting als ook een positief P-overschot (vooral akkerbouw) worden gekenmerkt door hogere  $\text{NH}_4$ -verliezen.

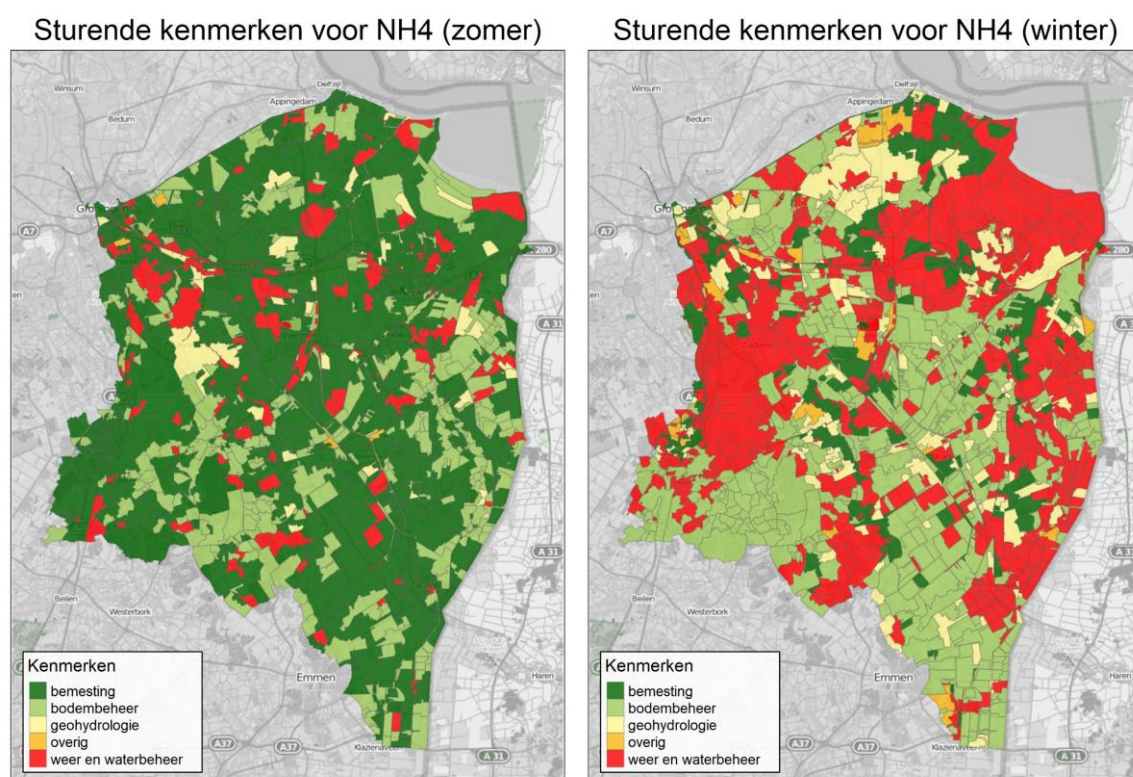
Een mogelijke bron van ammonium is de aanvoer vanuit kwel uit de diepere ondergrond. De geschatte aanvoer van N en P via kwel is positief gerelateerd aan een toename in  $\text{NH}_4$ -concentraties in het oppervlaktewater. Een studie van het RIVM uit 2008 geeft aan dat in het beheergebied van Hunze en Aa's meer dan 25% (westelijk deel) of 40% (oostelijk en noordelijk deel) van het landelijk gebied  $\text{NH}_4$ -concentraties in het ondiepe grondwater heeft die boven de streefwaarde liggen (Van Vliet et al., 2010). De auteurs van deze studie geven – zonder verdere onderbouwing – aan dat deze hoge concentraties in het diepe en ondiepe grondwater afkomstig zijn van anaerobe afbraak van organische stof in de ondergrond.





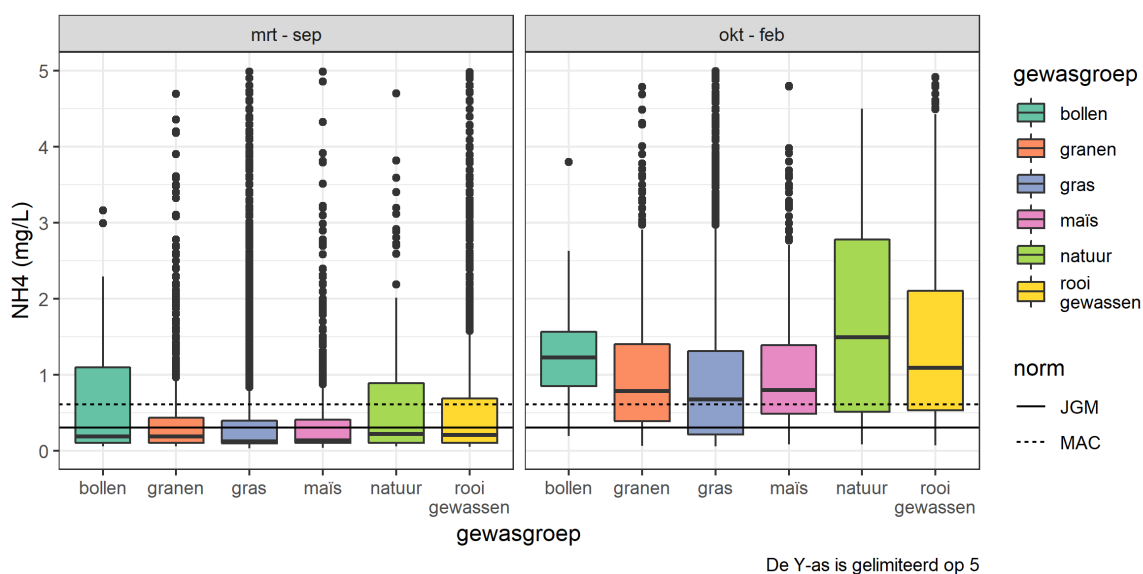
Figuur 4.4. Invloed van een aantal gebiedskenmerken op de ruimtelijke variatie in het  $\text{NH}_4$ -gehalte in het oppervlaktewater in de wintermaanden. De figuren laten zien hoe het voorspelde  $\text{NH}_4$ -gehalte wijzigt als reactie op een verandering in een gebiedskenmerk.

Van de onderzochte gebiedskenmerken is bemesting en bodembeheer één van de meest sturende gebiedskenmerken die van invloed zijn op het zomergemiddelde  $\text{NH}_4$ -concentratie (Figuur 4.5). Voor de winter zijn dit vooral kenmerken die samenhangen met het waterbeheer, de geohydrologie en bodembeheer.



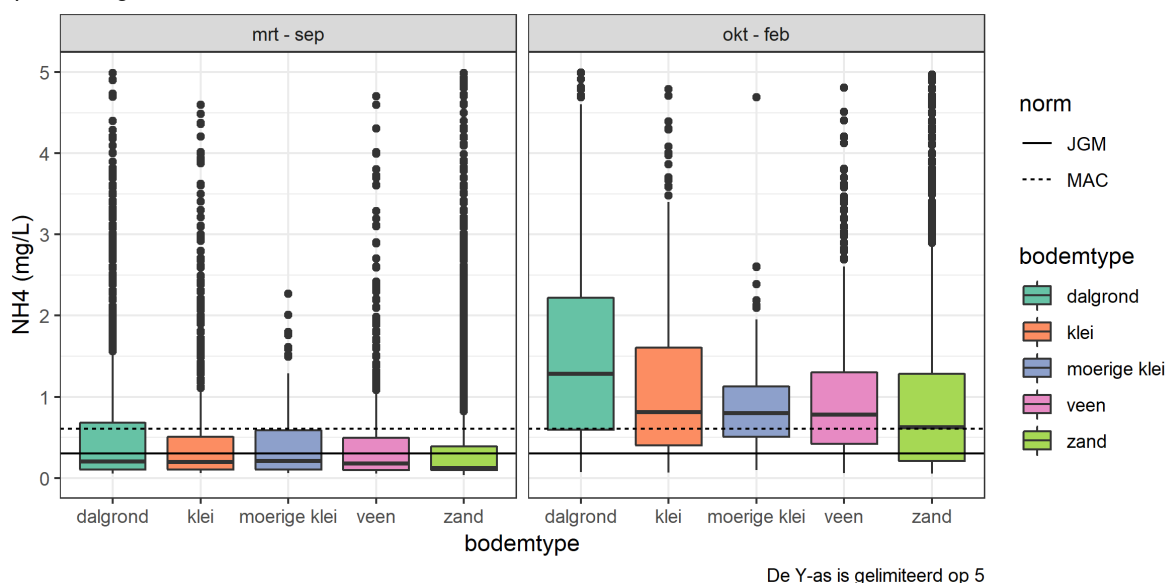
Figuur 4.5. Ruimtelijke weergave van de meest sturende gebiedskenmerken (gegroepeerd per type, en geselecteerd uit de top-40 kenmerken) die van invloed zijn op het verschil in gemeten  $\text{NH}_4$ -concentraties in zomer en winter in elk peilgebied ten opzichte van de gebiedsgemiddelde concentraties van het beheergebied.

Dit suggereert dat de hogere concentraties in de winterperiode maar voor een klein deel gekoppeld zijn aan stuurbare factoren als bemesting. Bodembeheer en de geohydrologische situatie en het waterbeheer zijn in sterke mate sturend. Het is echter lastig om de problematiek van te hoge  $\text{NH}_4$ -gehaltes één op één te koppelen aan een specifieke teelt of bodemtype. Ter illustratie wordt bijvoorbeeld in figuur 4.6 weergegeven hoe de spreiding in ammonium samenhangt met de meest voorkomende landgebruikstypen per afwateringseenheid dan wel peilgebied. Gewasteelten met intensieve bodembewerking hebben gemiddeld een hogere concentratie in de winter (rooigewassen en bollen), maar niet-uitspoelingsgevoelige teelten zoals gras en granen laten meer uitschieters zien hoger dan  $3 \text{ mg N l}^{-1}$ . Dit kan mogelijk samenhangen met late dierlijke mestgiften in het seizoen dan wel het bodemtype waarop deze gewassen geteeld worden. Opvallend is wel dat ook gebieden met natuur hoge concentraties vertonen in de winter. Voor alle gewasgroepen is overigens minimaal 50% van de meetpunten hoger dan de norm.



Figuur 4.6. Effect van landgebruik op het  $\text{NH}_4$ -concentratie in het oppervlaktewater, uitgesplitst per seizoen.

Percelen met het bodemtype dalgrond (Figuur 4.7) vertonen gemiddeld een hogere  $\text{NH}_4$ -gehalte dan percelen op andere grondsoorten.

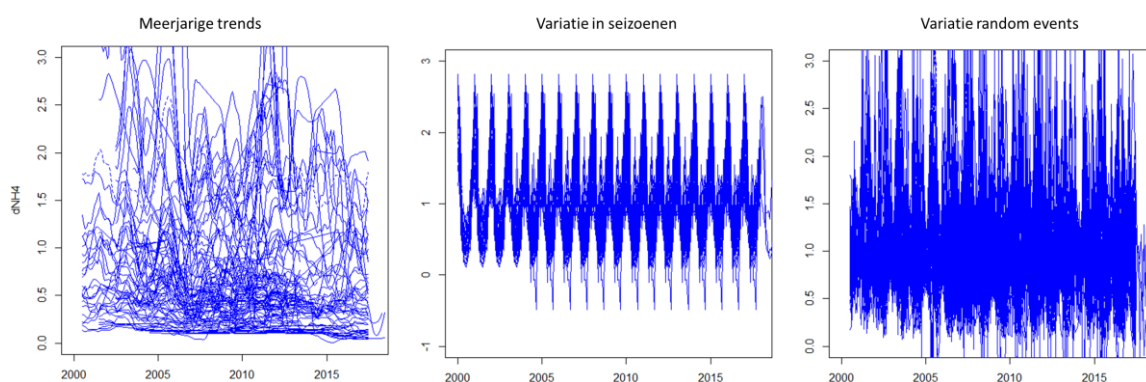


Figuur 4.7. Effect van bodemtype op het  $\text{NH}_4$ -gehalte in het oppervlaktewater, uitgesplitst per seizoen.

In de praktijk zijn dat percelen met een relatief hoog organische stofgehalte, voldoende ontwatering, als ook percelen die gebruikt worden voor akkerbouwmatige teelten. Onder natte omstandigheden is hier een groter risico op zuurstofloze omstandigheden en productie van  $\text{NH}_4$ . Het is de meest voorkomende grondsoort in Westerwolde en de Hunze. Tegelijk is het ammoniumgehalte voor alle grondsoorten in minimaal 50% van alle meetpunten hoger dan de norm.

### 4.3 Tijdsanalyse

Gebruik makend van een tijdserie analyse is het mogelijk om voor alle meetpunten inzicht te krijgen in de verandering van  $\text{NH}_4$ -concentraties over de jaren (trends), de variatie in seizoenen, en de resterende niet verklaarbare variatie. Hiervoor is gebruik gemaakt van de meest eenvoudige analyse (*multiplicative time series decomposition*) waarbij een tijdserie wordt opgesplitst in een patroon dat zichzelf herhaalt over een vaste periode in het jaar (de seizoenen), de algemene verandering over de jaren (de trend) en de resterende 'onverklaarbare' variatie (Figuur 4.8.).

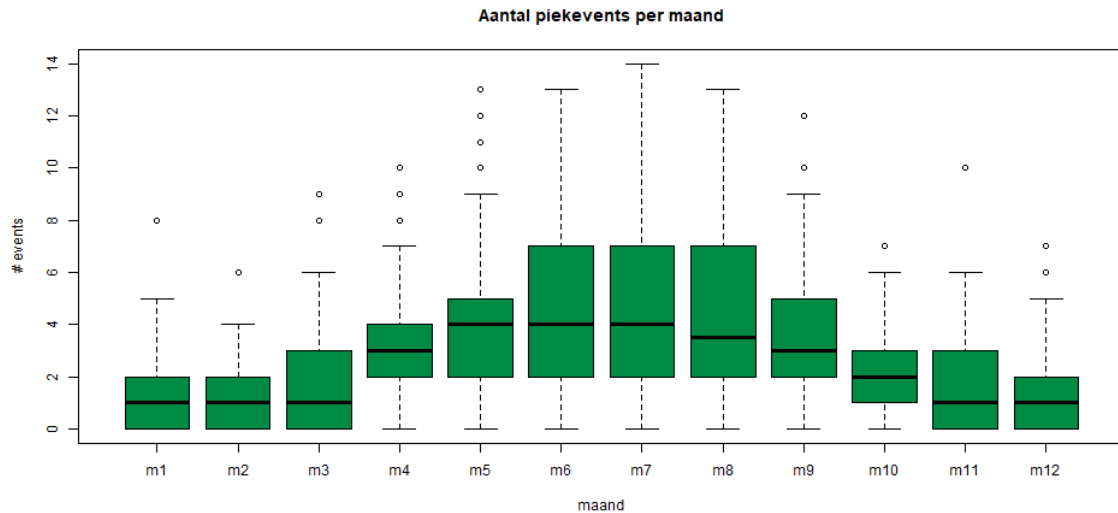


Figuur 4.8. Variatie in  $\text{NH}_4$ -concentraties voor alle meetpunten in het beheergebied van Hunze en Aa, opgesplitst naar de trend over de jaren, de variatie binnen het seizoen en “onverklaarbare” piekevents.

Dit bevestigt dat

- de concentratie ammonium over de afgelopen jaren behoorlijk variabel is, en er geen structurele daling heeft plaatsgevonden,
- er een duidelijk seizoenspatroon is met hogere concentraties in de winterperiode, en
- dat het effect van afwijkingen van deze jaarlijkse trend en de seizoens-variatie (de random variatie) minstens zo groot is als de seizoensvariatie.

Als bemesting de belangrijkste bron is van hogere  $\text{NH}_4$ -concentraties in het oppervlaktewater, dan is het waarschijnlijker dat hoge concentraties optreden aan het begin dan wel einde van het groeiseizoen. Dit is echter niet het geval (Figuur 4.8). Tegelijkertijd is het *aantal* piekevents in ammoniumgehalten van alle meetpunten (die meer dan 1 x de SD afwijken van het gemiddelde van de random events over de periode 2000-2017) hoger in de zomermaanden dan in de wintermaanden (Figuur 4.9). Dat bevestigt dan wel suggereert dat slordig bemesten en piekbelastingen rondom het moment van bemesten niet verantwoordelijk zijn voor hoge ammonium-concentraties in de winterperiode.



Figuur 4.9. Gemiddelde aantal piekevents in  $\text{NH}_4$ -concentraties per maand voor alle meetpunten binnen het beheergebied van Hunze en Aa's over de periode 2000-2017 (inclusief de variatie over jaren en meetpunten).

#### 4.4 Mogelijke oorzaken

Een stijging van ammoniumconcentraties kan alleen veroorzaakt worden door een hogere aanvoer / belasting van  $\text{NH}_4$  dan wel een afname in processen die  $\text{NH}_4$  omzetten naar  $\text{NO}_3$  of  $\text{N}_2$ . Een hogere belasting kan samenhangen met externe factoren zoals bemesting in het najaar, verhoogde kwel of een verhoogde uitspoeling van  $\text{NH}_4$  onder natte omstandigheden in het najaar. Een hogere belasting kan ook samenhangen met een verhoogde interne belasting. Afstervende algen, bacteriën, fytoplankton en slootvegetatie – die in de zomer zorgden voor netto stikstofopname – zorgen voor een extra productie van ammonium via ammonificatie van organisch stikstof. Ook de slootbodem zelf produceert ook  $\text{NH}_4$  via afbraak van organische stikstof. En als een gelijkblijvende aanvoer van  $\text{NH}_4$  via kwel niet meer omzet kan worden naar nitraat door de zuurstofloze omstandigheden, dan zal de  $\text{NH}_4$ -concentratie stijgen. Dit betekent concreet dat ammoniumconcentraties toenemen als bij een gelijkblijvende belasting de afbraakprocessen stil komen te liggen. Heel concreet betekent dit dat het aanwezige ammonium niet meer wordt omgezet in nitraat (of  $\text{N}_2$ ) omdat nitrificerende bacteriën niet dan wel slecht kunnen functioneren als er sprake is van zuurstofloze omstandigheden.

Gegeven de invloed van deze gebiedskenmerken, de dynamiek gedurende het seizoen, en de chemische en biologische processen in de (sloot)bodem, kunnen de volgende twee hypothesen worden opgesteld die mogelijk verklaren waarom het ammoniumgehalte substantieel hoger is in de winter.

- Er is een toename in hogere  $\text{NH}_4$ -belasting vanuit de landbouwbodem
- Er is een afname in  $\text{NH}_4$ -omzettende processen.

Hoge  $\text{NH}_4$ -gehalten in de winter kunnen veroorzaakt worden door extra N-verliezen na toediening van dierlijke mest aan het einde van het groeiseizoen. Veel akkerbouwmatige bouwplannen krijgen in het najaar namelijk nog een drijfmestgift (waarbij 50% van de stikstof bestaat uit ammonium) voor de groenbemester dan wel de ingezaaide wintertarwe. Er is na september gemiddeld sprake van een netto neerslagoverschot. Ook is de omzetting van ammonium naar nitraat relatief laag door de teruglopende temperaturen. Omdat er geen grote pieken optreden rondom het moment van bemesten, betekent dat het aanwezige  $\text{NH}_4$  via uitspoelend water richting het oppervlaktewater verplaatst (en niet direct via oppervlakkige afspoeling). Dit zou de toenemende  $\text{NH}_4$ -gehalten over de wintermaanden kunnen verklaren. Gedurende de zomermaanden is er sprake van netto aanvoer van water (neerslagtekort) waardoor er weinig risico is op  $\text{NH}_4$ -verliezen vanuit de landbouwbodem

naar het watersysteem. Wel kan bij heftige neerslagevents oppervlakkige afspoeling plaatsvinden, wat mogelijk verklaart waarom in de zomer meer pieken aanwezig zijn in de gemeten  $\text{NH}_4$ -gehaltes. In de praktijk is de bodemtemperatuur echter niet dermate laag dat nitrificatie stilstaat (en zeker niet in de zomer), en wordt  $\text{NH}_4$  gebonden aan negatief geladen bodemdeeltjes. Dat betekent dat alleen onder erg natte omstandigheden er een risico bestaat van ondiepe uitspoeling van ammonium richting het oppervlaktewater. Opvallend is ook dat het  $\text{NH}_4$ -gehalte lijkt toe te nemen gedurende de winterperiode, wat betekent dat er sprake moet zijn van een continue (en stijgende) belasting van het watersysteem. Dit omdat er in de winter sprake is van een netto transport van water uit het beheergebied.

Hoge  $\text{NH}_4$ -gehaltes in de winter kunnen ook de resultante zijn van interne processen in de watergang, omdat afstervende algen, bacteriën, fytoplankton en slootvegetatie zorgen voor een extra productie van ammonium (door ammonificatie van organisch stikstof). De nattere (zuurstofloze) omstandigheden in de winter zorgen ook voor een verhoogde nalevering van ammonium uit de slootbodem (nitrificatie wordt namelijk geremd onder anaerobe omstandigheden). Daarbij komt dat de aanvoer van  $\text{NH}_4$  via kwel uit ondiep en dieper grondwater substantieel kan bijdragen aan de belasting van het oppervlaktewater, en dat de aanvoer van dit  $\text{NH}_4$  niet gecompenseerd kan worden door hogere nitrificatiesnelheden in de winterperiode.

Deze laatste hypothese is nog niet op basis van metingen bevestigd, maar is de meest waarschijnlijke oorzaak. Het komt namelijk overeen met de seizoens- en optredende piekvariatie in de metingen, met onze kennis van de processen in het bodem en het watersysteem, en de agrarische praktijk van bodembeheer en bemesting. Wel is het zo dat grondsoort en ontwatering de relatieve bijdrage van beide verklaringen beïnvloedt: gebieden met veel klei en veen en weinig drooglegging hebben een groter risico op extra  $\text{NH}_4$ -verliezen naar het oppervlaktewater onder zuurstofloze omstandigheden.



## 5. 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 meetgegevens en methodiek wordt uitgebreid beschreven in de eerdere gebiedsanalyse van Ros & Verweij (2018). De gebruikte methode is uniek; tot op heden is deze analyse nog niet toegepast op de problematiek van nutriëntenverliezen vanuit landbouwbodems naar het oppervlaktewater. Deze studie beperkt zich tot de invloed van gebiedskenmerken op de N- en P-concentraties in de zomer enerzijds en de  $\text{NH}_4$ -concentraties in zomer en winter anderzijds. De vertaalslag naar vrachten is niet uitgevoerd omdat een betrouwbare waterbalans op het niveau van een peilgebied nog niet voorhanden is.

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 peilgebied. Een kwantitatieve analyse van *hoe* deze sleutelfactoren en gebiedskenmerken samenhangen per peilgebied, en de identificatie van het optimale traject om een gewenste N- en P-concentratie te bereiken, is in de voorliggende studie niet opgenomen. Wel zijn er kwalitatieve keuzes gemaakt op basis van zogenoemde Shapley-waarden, die inzicht geven in de relevantie van sleutelfactoren en gebiedskenmerken, om zo een koppeling mogelijk te maken richting maatwerkpakketten. Een concrete uitwerking en technische beschrijving van effectieve maatregelen is 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 voor N en P. Voor  $\text{NH}_4$  is specifiek gekeken naar het meerjarig gemiddelde zomer- en winterconcentratie. Dat betekent ook dat voor N-totaal en P-totaal 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 conclusies kunnen als volgt worden samengevat:

- De grootste impact van agrarische maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren voor zowel N als P is te realiseren in watersystemen Westerwolde, Veenkoloniën en delen van de Hunze.
- Voor fosfor zijn er weinig mogelijkheden om de waterkwaliteit te verbeteren via agrarische maatregelen in grote delen van de Hunze en de drie Noordelijke watersystemen Duurswold, Oldambt, Fiemel en delen van Westerwolde. Dit komt omdat de inrichting van het watersysteem en het bodemtype en geohydrologische situatie sturend zijn voor de variatie in fosfor. Stimulering van de Goede Landbouw Praktijk is in deze gebieden voldoende, waarbij extra aandacht voor (sloot)kant-beheer een positieve bijdrage kan leveren aan de waterkwaliteit omdat het ingrijpt op de belangrijkste verliesroute en het bufferend vermogen van het waterlichaam.
- Voor stikstof is in vrijwel het hele gebied verbetering van de waterkwaliteit te realiseren via agrarische maatregelen, in het bijzonder voor de Veenkoloniën, Westerwolde en Duurswold. In deze gebieden liggen er kansen voor maatregelen op het vlak van kringlooplandbouw en een duurzame bemestingspraktijk. In de Drentse Aa, de Hunze en grote delen van Duurswold ligt er een uitdaging

om via goed bodembeheer de retentie van water en nutriënten in de bodem te verhogen als wel de gewasopname. Het gaat hierbij niet alleen om maatregelen die bodemverdichting, verslumping en verstuiwing voorkomen (dan wel de bodemkwaliteit te verbeteren) maar ook om maatregelen die de bindingscapaciteit en biodiversiteit van de bodem vergroten. Ook mitigerende maatregelen als inzet van groenbemesters, vanggewassen en een optimale gewasopvolging binnen de rotatie zijn cruciaal om de bodem te verbeteren én 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 (een hoge P-verzadiging), 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), een hogere gewasopbrengst (bij gelijke bemesting) dan wel de retentie in de sloot (via slootbeheer) is in de praktijk effectiever dan vermindering van mestgiften.

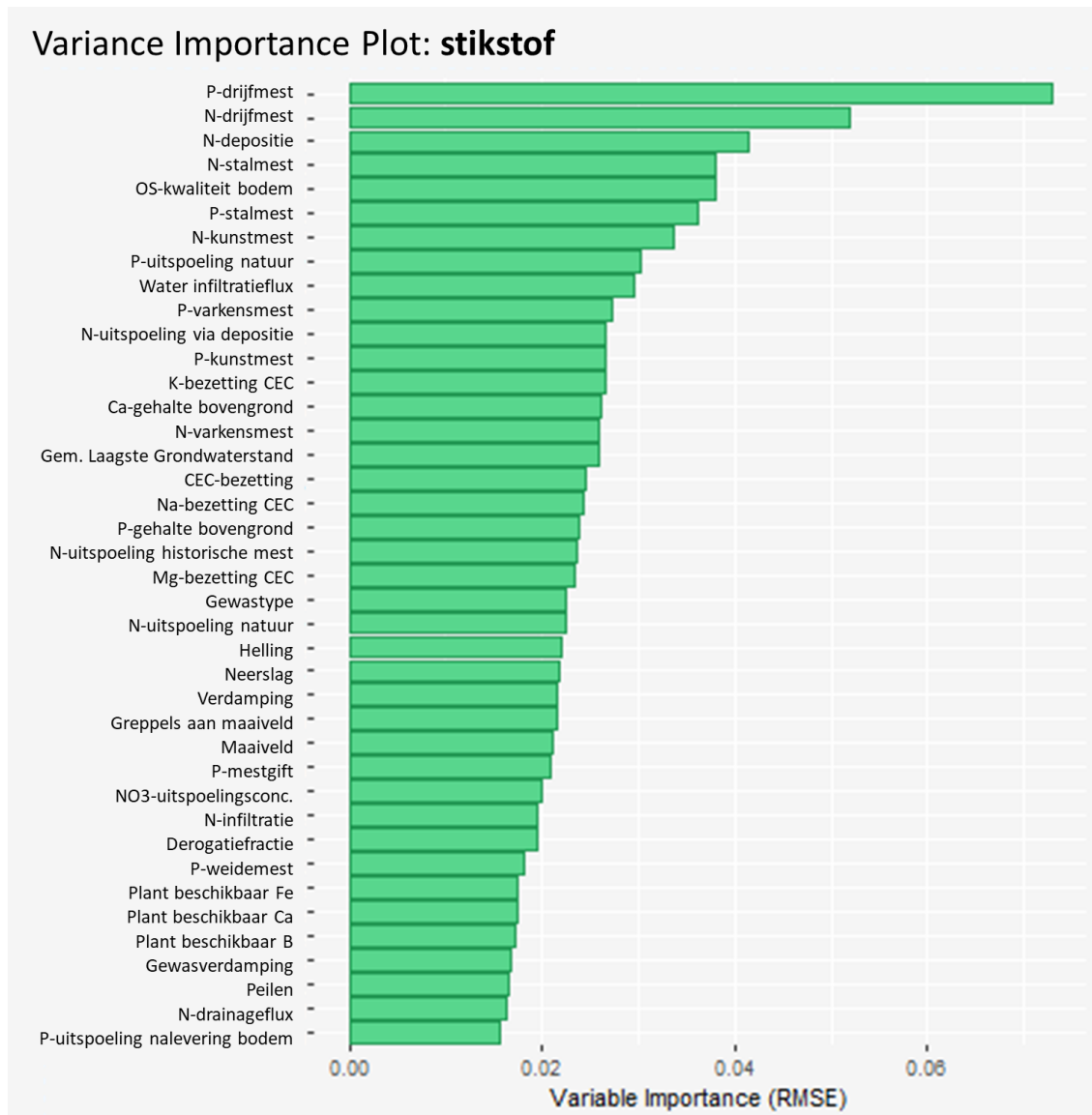
In het gebied komen frequent te hoge ammoniumconcentraties voor gedurende de winterperiode in vrijwel alle watersystemen. De belangrijkste gebiedskenmerken die van invloed zijn op het  $\text{NH}_4$ -gehalte in de winter zijn enerzijds sterk gerelateerd aan de bodemvruchtbaarheid, het weer en de bemestingspraktijk als ook aan abiotische waterkwaliteitskenmerken zoals zuurstof-, sulfaat- en het chlorofylgehalte. Van de onderzochte gebiedskenmerken is bemesting en bodembeheer één van de meest sturende gebiedskenmerken terwijl deze in de winter vooral samenhangen met het bodem- en waterbeheer en de geohydrologie. Een gedetailleerde tijdsanalyse laat zien dat ammonium behoorlijk variabel is over de jaren, waarbij dag-tot-dag variatie minstens zo groot is als de seizoensvariatie. De tijdsanalyse naar het aantal voorkomende piekevents bevestigt dan wel suggereert dat slordig bemesten en piekbelastingen rondom het moment van bemesten niet verantwoordelijk zijn voor hoge ammonium-concentraties in de winterperiode.

Een stijging van ammoniumconcentraties kan alleen veroorzaakt worden door een hogere aanvoer / belasting van  $\text{NH}_4$  dan wel een afname in processen die  $\text{NH}_4$  omzetten naar  $\text{NO}_3$  of  $\text{N}_2$ . Gegeven de processen die in de bodem optreden, zijn de hoge concentraties vooral gerelateerd aan een afname in  $\text{NH}_4$ -omzettende processen. De relatieve bijdrage van beide oorzaken (extra productie of verlaagde omzetting) is afhankelijk van bodemtype en ontwatering.

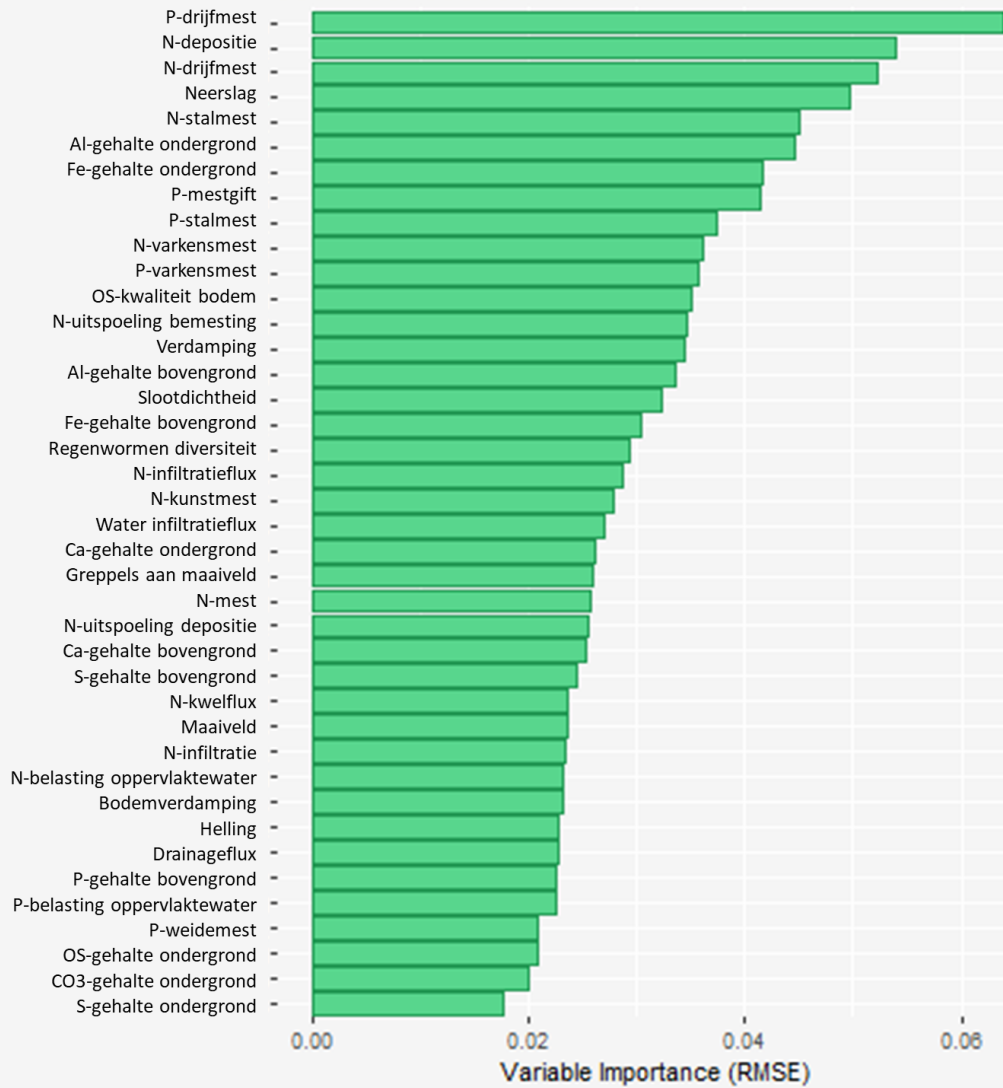
## Referenties

- 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/>
- Ros GH & SE Verweij (2018) Ontwikkeling maatwerkpakketten waterkwaliteit. Deel I. Ruimtelijke gebiedsanalyse. NMI-rapport 1742.N.18, 42 pp.
- Rozemeijer J, Klein J, van der Grift B & A Hooijboer (2017). Trends waterkwaliteit in het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Update tot en met 2016. Deltares rapport 11200271-000.
- Van der Grift B, Klein K, de Boorder N & JC Rozemeijer (2011) Grondwaterbijdrage aan oppervlaktewaterkwaliteit in de Drentse Aa en Schuitensbeek. Deltares rapport 1202790-000-BGS-0009.
- Van Vliet ME, Vrijhoef A, Boumans LJM & EJW Wattel-Koekoek (2010) De kwaliteit van ondiep en middeldiep grondwater in Nederland. In het jaar 2008 en de verandering daarvan in 1984-2008. RIVM-rapport 680721005/2010, 199 pp.
- Van Vliet ME & B Fraters (2011) Het verloop van de nitraatconcentratie van het grondwater; achtergrondrapport Nitraatdieptemetnet. Resultaten van metingen bij LMG- en N-putten. RIVM-rapport 680717015/2011, 111 pp.

## Bijlage A. Effect gebiedskenmerken op waterkwaliteit

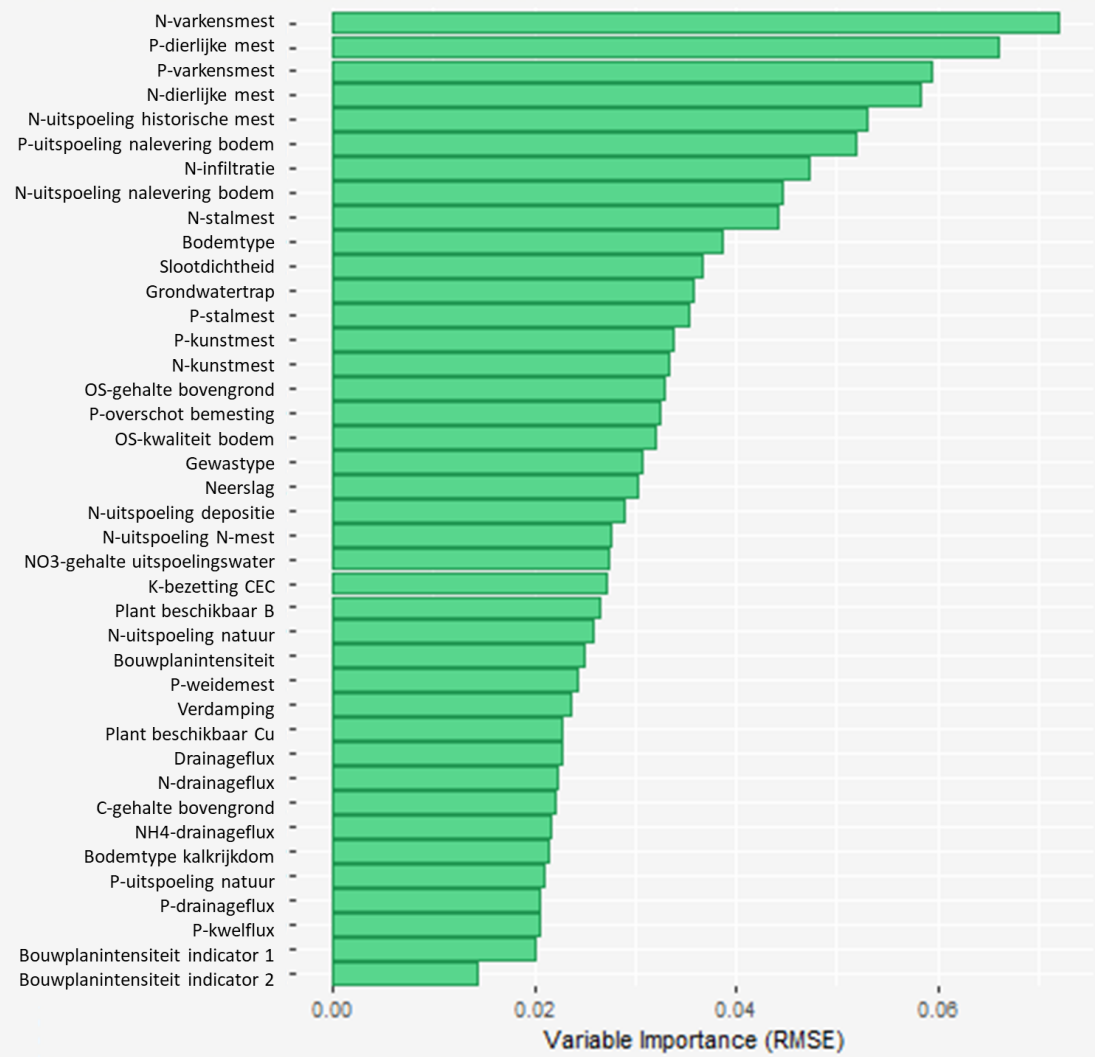


### Variance Importance Plot: fosfor



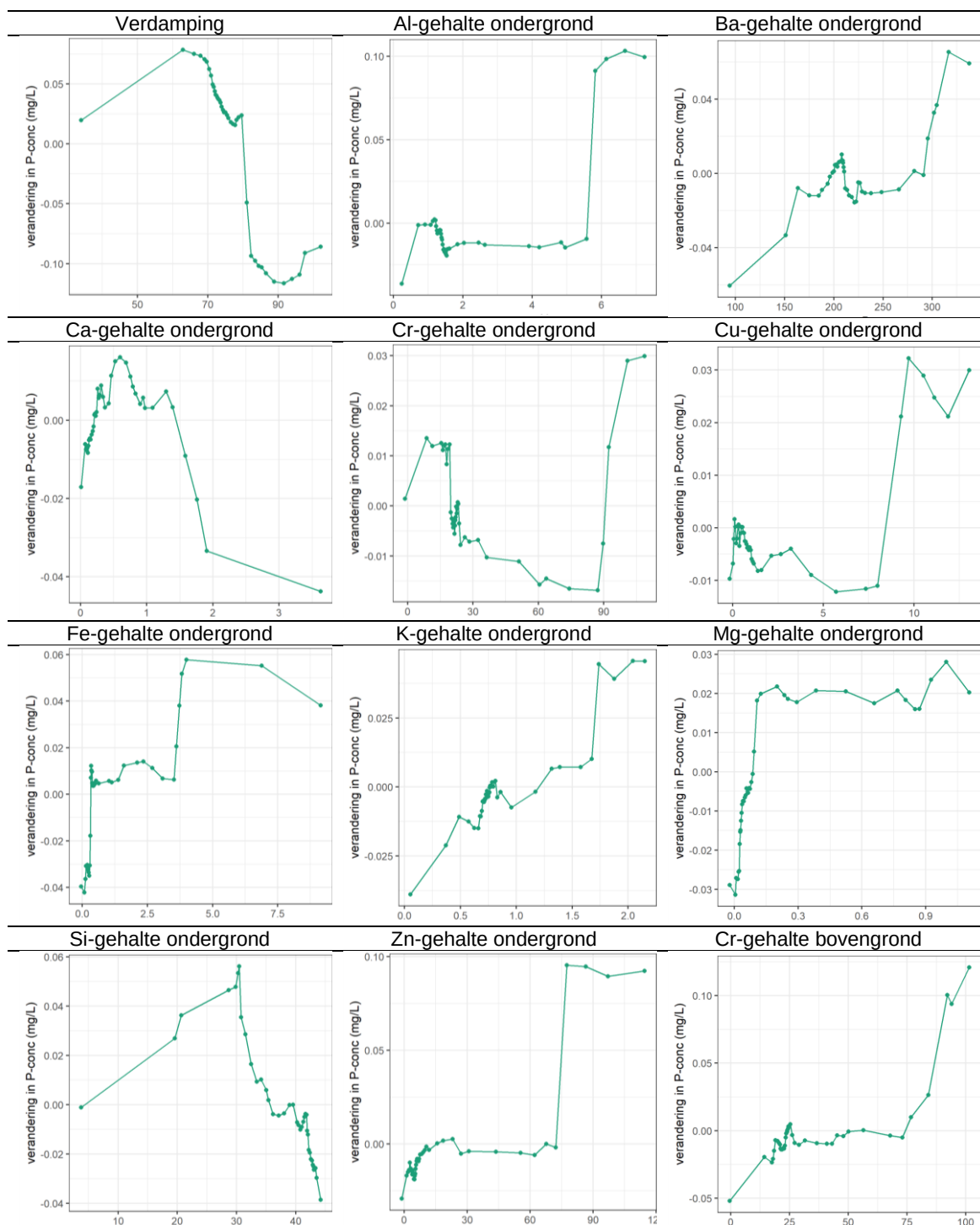


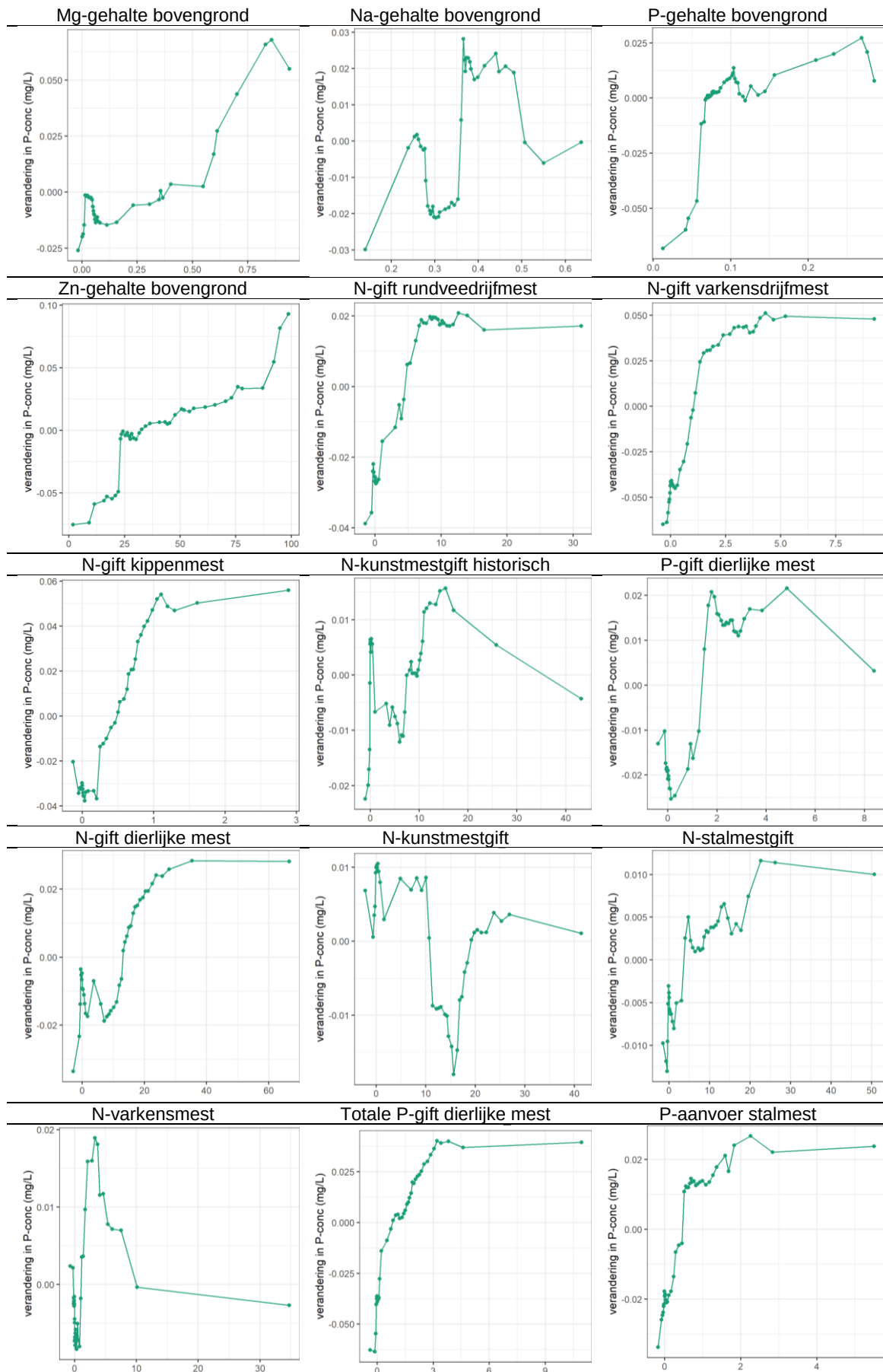
### Variance Importance Plot: ammonium

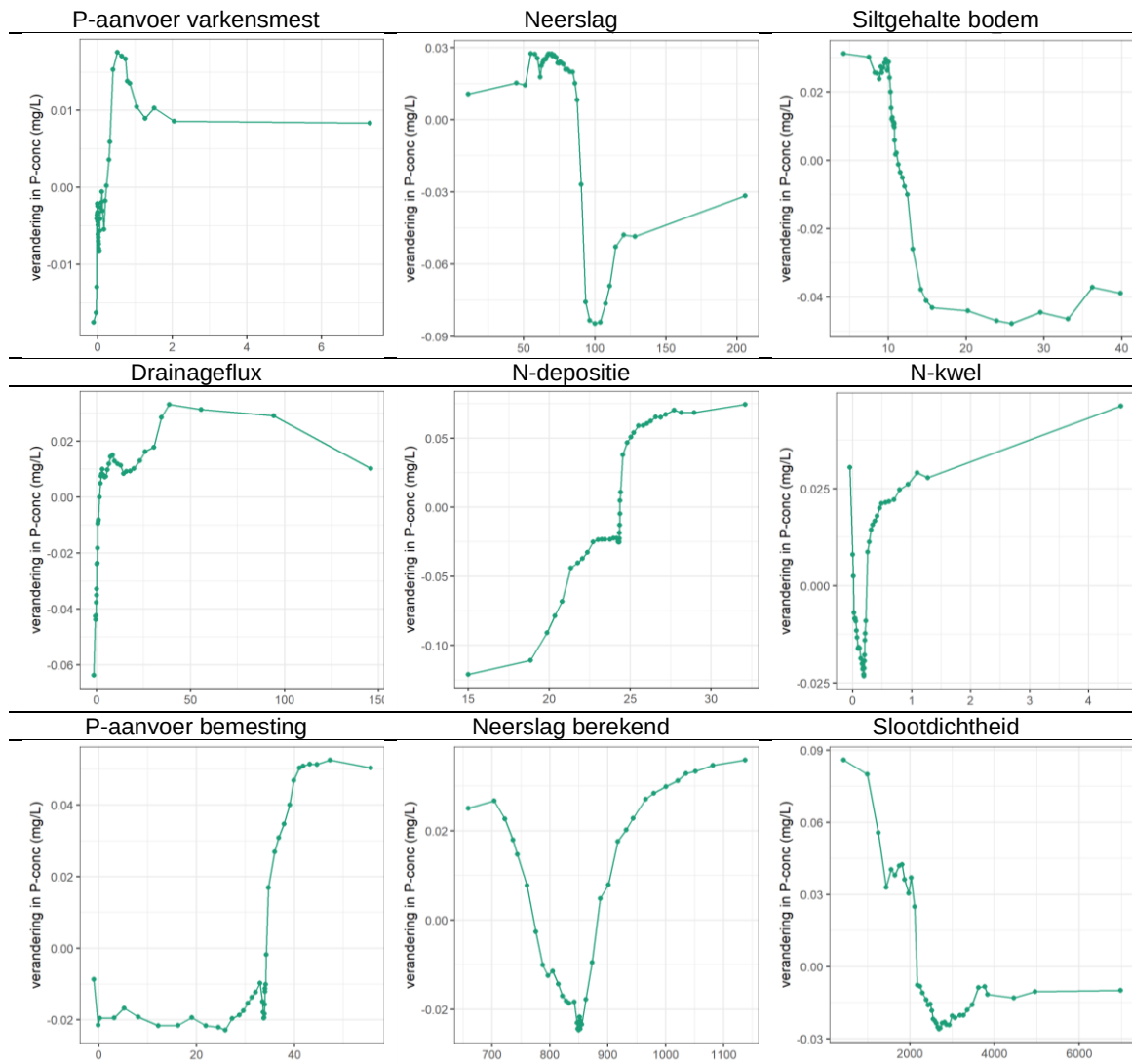


Involed van gebiedskenmerken op P-totaalconcentraties in het oppervlaktewater, ALE-plots

Selectie van de top-40 gebiedskenmerken

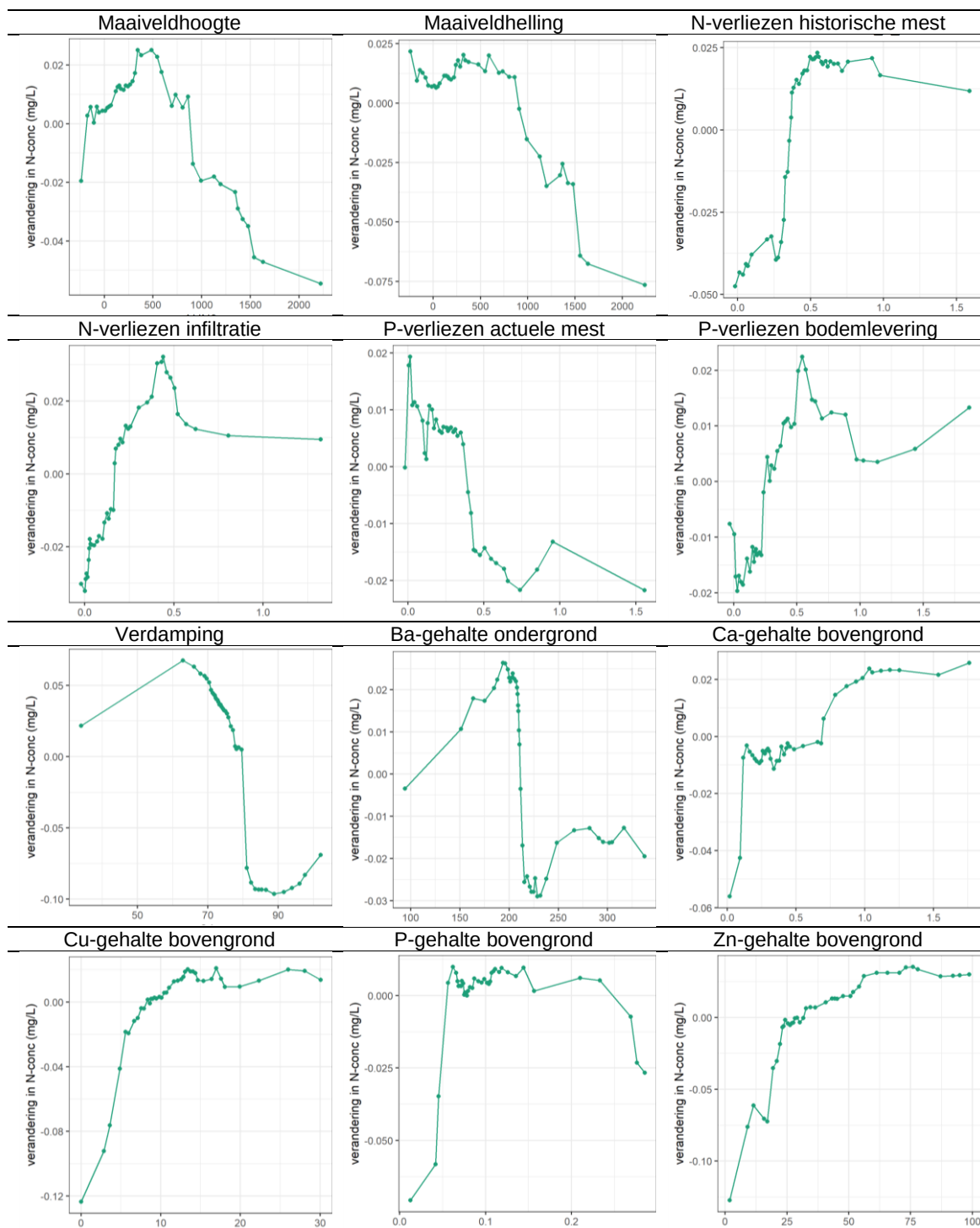


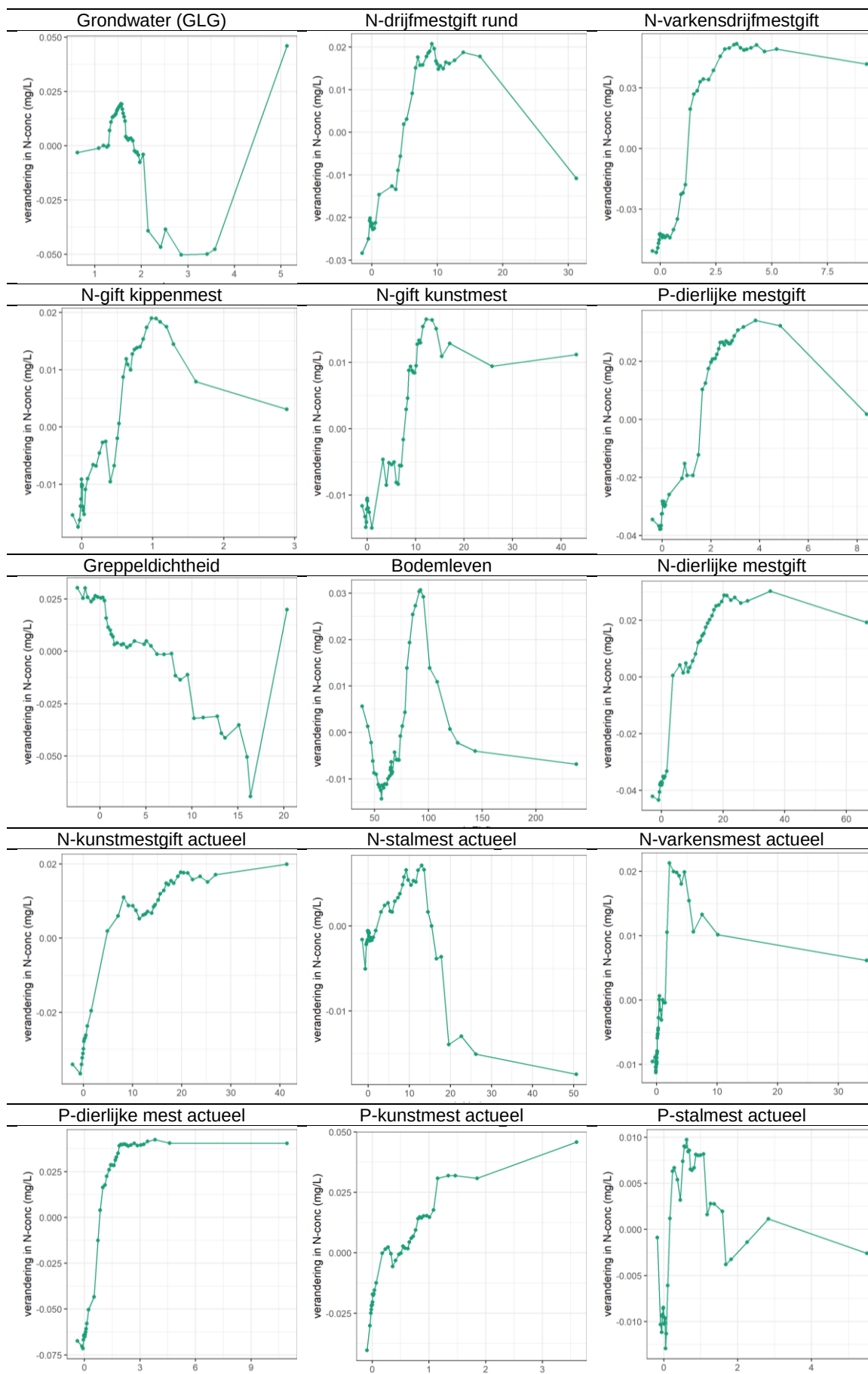




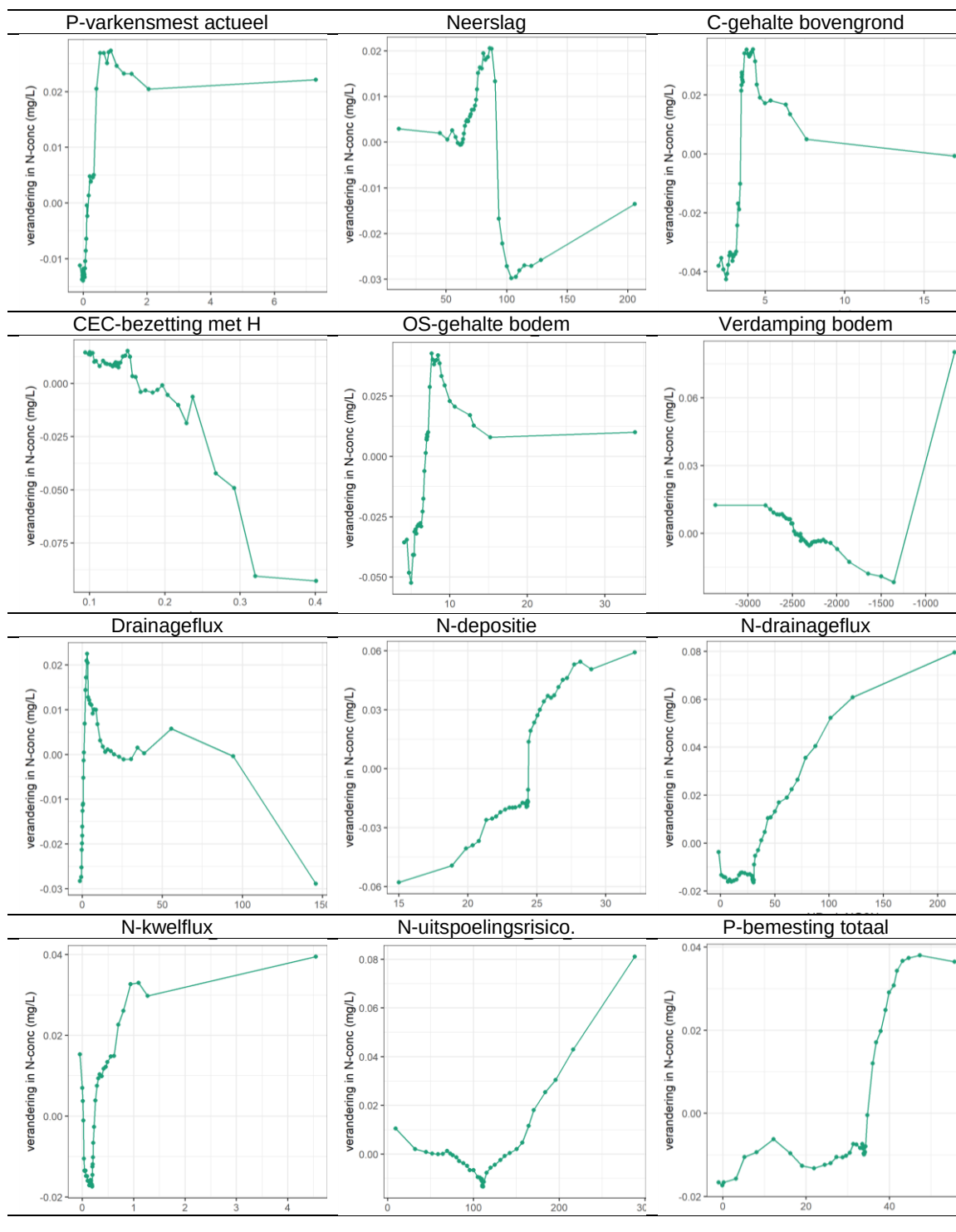
Invloed van gebiedskenmerken op N-totaalconcentraties in het oppervlaktewater, ALE-plots

Selectie van de top-40 gebiedskenmerken











[www.nmi-agro.nl](http://www.nmi-agro.nl)

nutriënten management  
instituut nmi bv  
nieuwe kanaal 7c  
6709 pa wageningen  
[nmi@nmi-agro.nl](mailto:nmi@nmi-agro.nl)