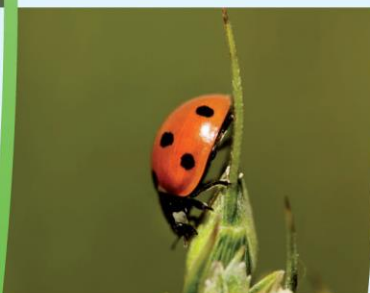


Soil for life

Report 1708.N.17

Kwantificering nutriëntensituatie

Voor beheergebied Wetterskip Fryslân



Kwantificering nutriëntensituatie van de bodem in het beheergebied van Wetterskip Fryslân

Auteur(s) : Dr. ir. G.H. Ros (NMI)
Dr. ir. Hans Kros (WenR)
Dr. ir. Petra van Vliet (Eurofins Agro)
Ir. K. van Duijvendijk (NMI)



© 2018 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.

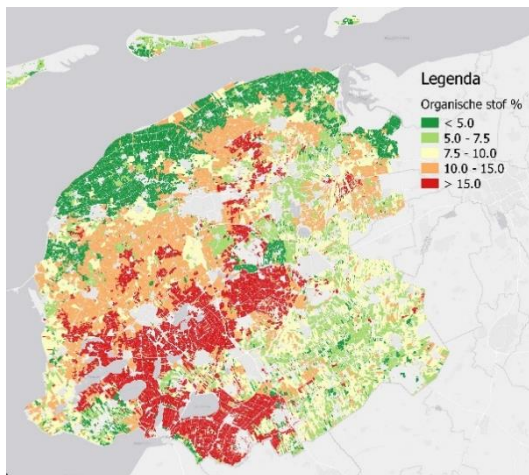
Verspreiding

Samenvatting

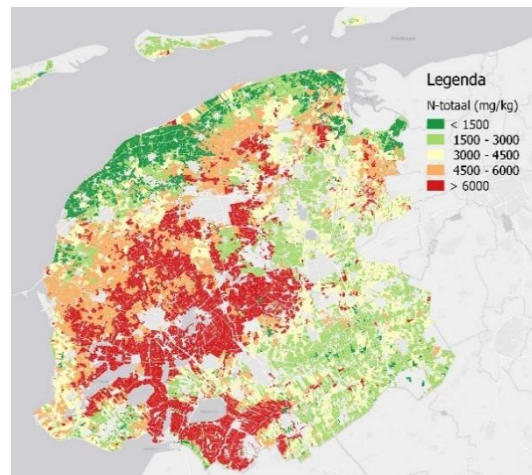
Wetterskip Fryslân wil graag beter inzicht in de ruimtelijke variatie in bodemkwaliteit en (potentiële) bronnen van stikstof- en fosfaatuitspoeling naar het oppervlaktewater. Via dit inzicht is het mogelijk om onderbouwd handelingsperspectief te bieden aan de agrarische sector om de nutriëntenbelasting van het watersysteem terug te dringen. Gebaseerd op de meest actuele gegevens uit agrarische meetnetten en beschikbare informatie bij kennisinstellingen geeft de voorliggende rapportage ruimtelijk inzicht in:

- de hoeveelheid fosfaat (P), stikstof (N) en organische stof in de bodem;
- de aanvoer van stikstof en fosfaat via dierlijke mest en kunstmest;
- de N- en P-bodemoverschotten (de niet opgenomen nutriënten), en;
- de P-verzadiging van de bodem.

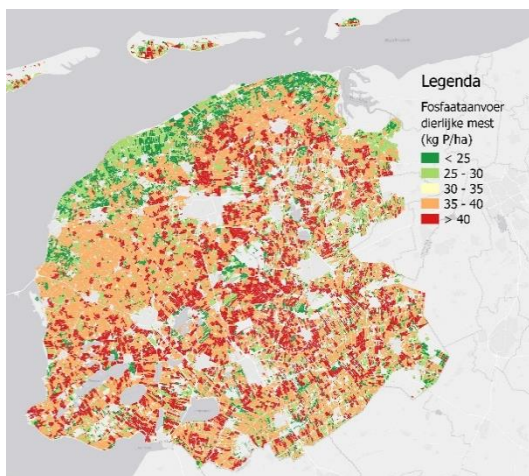
Ter illustratie wordt hieronder een aantal kaarten weergegeven die de ruimtelijke variatie in organische stof, stikstof, fosfaatbemesting en het werkzame N-overzicht in beeld brengen.



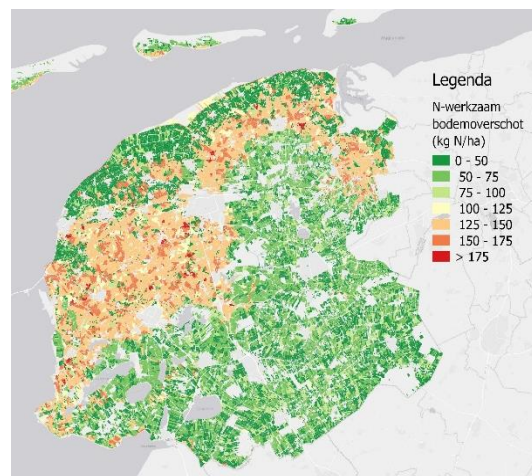
Percentage organische stof (%)



N-gehalte van bodems (mg kg⁻¹)



P-aanvoer via dierlijke mest (kg P ha⁻¹)



Werkzaam N-overschot (kg N ha⁻¹)

Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	2
1. Introductie	2
2. Materiaal & Methode	3
2.1 Studiegebied	3
2.2 Bodemparameters	3
2.3 Gebruikte definities	4
2.4 Bemesting met stikstof en fosfaat	5
2.5 Mestverdeling	5
2.6 Berekening overschotten en verliesfracties	7
3. Resultaten en discussie	9
3.1 Landgebruik en basiskkenmerken bodem	9
3.2 Derogatie en stikstofgehaltes bodem	10
3.3 Organische stof (kwaliteit) en CN-ratio	11
3.4 Fosfaattoestand bodem	12
3.5 Bemesting	15
3.6 Overschotten en verliesfracties	16
4. Achtergrondinformatie	19
4.1 Bodemvruchtbaarheid	19
4.2 Overschotten en verliezen	20
4.3 Mineralenbalans op bedrijfsniveau	20
4.4 Ruimtelijke variatie waterkwaliteitsmeetpunten	21
4.5 Overige kaarten	22
5. Referenties	23

1. Introductie

De RBO-regio Rijn Noord en Nedereems wil graag beter inzicht in de mestproblematiek in het beheergebied en hoe de bijdrage van bemesting zich verhoudt tot andere bronnen van nutriënten. Er is belangstelling voor de verdeling van (potentiële) bronnen van meststoffen in het gebied, enerzijds om te kunnen bepalen waar maatregelen het grootste effect hebben, en anderzijds als basis voor verdere analyse van de mogelijkheden om nutriëntenbelasting van het watersysteem terug te dringen.

Het doel van deze opdracht is het in beeld brengen van parameters die van invloed zijn op de emissie van nutriënten naar grond- en oppervlaktewater. Deze studie vormt daarmee de start van een gebiedsanalyse om inzicht te geven in de ruimtelijke variatie in bodemkwaliteit, bemesting en waterkwaliteit. Deze gebiedsanalyse zal in 2018 worden uitgevoerd in samenwerking met het Mesdagfonds om zo consensus te krijgen over het belang van de verschillende bronnen, de aanwezige routes en acceptabele oplossingsrichtingen. In dit rapport ligt de focus op het in beeld brengen van bodemkwaliteit en bemesting, wetende dat de waterkwaliteit ook door andere bronnen wordt beïnvloed.

Het *Nutriënten Management Instituut* (NMI) heeft in samenwerking met *Wageningen Environmental Research* (WenR) en *Eurofins Agro* een methode ontwikkeld om de bodemkwaliteit én de aan- en afvoer van nutriënten in beeld te brengen, daarbij gebruik makend van gegevens uit agrarische meetnetten, de mestboekhouding zover aanwezig bij de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), landbouwkundige gegevens uit het Geografische Informatiesysteem Agrarische Bedrijven (GIAB) en het Basis Registratie Percelen (BRP). Omdat bemesting (gift, timing, mestvorm) gereguleerd wordt door wetgeving, gewaskeuze en lokale bodemeigenschappen, kan de aanvoer op perceelsniveau in kaart worden gebracht.

Voor deze studie is specifiek gevraagd om inzicht te geven in:

- de hoeveelheid fosfaat (P) in de bodem, in het bijzonder voor die bepalingen die van invloed zijn op de bemestingsruimte op agrarische bedrijven. Voor bouwland is dat het Pw-getal (fosfaatextractie met water, mg P_2O_5 l⁻¹) en voor grasland de hoeveelheid PAL (fosfaatextractie met ammoniumlactaat, mg P_2O_5 100 g⁻¹). Gebaseerd op de huidige mestwetgeving kunnen deze gegevens ruimtelijk expliciet vertaald worden in de bemestingsruimte.
- de aanvoer van stikstof (N) en fosfaat via dierlijke mest en kunstmest (in kg ha⁻¹).
- de 'berekende' N- en P-overschotten, gebaseerd op modelschattingen van het model INITIATOR.
- de bodemkaart met organische stof (%) en de hoeveelheid stikstof (N-totaal, mg kg⁻¹) als belangrijkste bodemparameters die van invloed zijn op de natuurlijke N-levering van bodems.
- de P-verzadiging (%) van de bodem, dat wil zeggen de mate waarin een grond is 'opgeladen' met P.

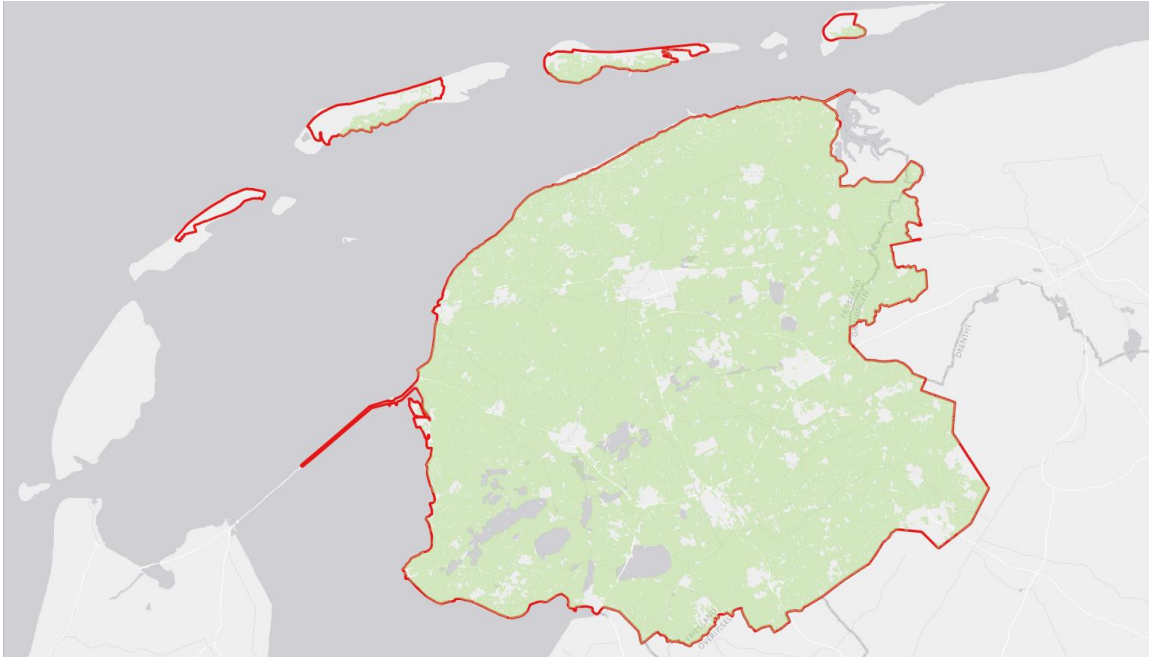
De gekozen parameters geven gezamenlijk inzicht in de ruimtelijke variatie van bodemeigenschappen die van invloed zijn op de plantbeschikbaarheid en de uit- en afspoeling van stikstof en fosfaat. Belasting van het watersysteem is namelijk gerelateerd aan de bodemeigenschappen (zoals textuur, pH, organischestofgehalte), het N- en P-overschot (d.w.z., het verschil tussen N- en P-aanvoer via bemesting en de gewasopname) en de mogelijkheid om deze overschotten in de bodem te bufferen (verzadigingsgraad).

Het voorliggende rapport beschrijft de gebruikte brongegevens en onderliggende methodologie waarmee deze kaarten tot stand zijn gekomen. De resultaten worden kort toegelicht vanuit de doelstelling om deze informatie te benutten voor betere sturing van (agrarische) maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren. Een integrale analyse van de gegevens richting maatwerk per regio is geen onderdeel van de huidige rapportage.

2. Materiaal & Methode

2.1 Studiegebied

Het gebied waarvoor de nutriëntensituatie van de bodem is gekwantificeerd omvat het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Dit is de gehele provincie Friesland plus het Groninger Westerkwartier. De afbakening van het studiegebied is te zien in Figuur 2.1.



Figuur 2.1. Wetterskip Fryslân (rood) met in het groen de percelen uit de Basisregistratie Percelen (2016).

2.2 Bodemparameters

De ruimtelijke variatie in bodemeigenschappen is in kaart gebracht voor de parameters pH, stikstof, fosfaat, organische stof en textuur. Deze data zijn gebaseerd op frequente bodemanalyses die door agrariërs worden uitgevoerd om hun bemestingsmanagement te optimaliseren én om te voldoen aan de voorwaarden voor derogatie. Om de fosfaattoestand van de bodem in kaart te brengen wordt gefocust op de hoeveelheid plant-beschikbaar fosfaat zoals deze gemeten wordt via een extractie met water (Pw) of ammoniumlactaat (PAI). De fosfaattoestand van de bodem conform deze twee parameters wordt in het Nederlands mestbeleid gebruikt om de ruimte voor P-bemesting te kwantificeren: percelen met een hoog Pw-getal (bouwland) of PAL-getal (grasland) krijgen minder P-bemesting dan percelen met een lage P-toestand.

Voor de huidige studie is gebruik gemaakt van de metingen die zijn uitgevoerd in de periode 2010 tot 2017. De gebruikte bodemgegevens zijn aangeleverd door het agrarisch laboratorium Eurofins Agro (voorheen BLGG AgroXpertus). Van elk perceel wordt frequent (minimaal één keer per vier jaar) een heel scala aan fysische, biologisch en chemische parameters gemeten. Omdat de resultaten niet herleidbaar mogen zijn tot individuele percelen, is een (geo)statistische methode toegepast om missende bodemparameters (van percelen die niet zijn geanalyseerd) te schatten op basis van de eigenschappen van naburige percelen en locatie-specifieke kenmerken als het landgebruik, het bodemtype, de eigendomssituatie (pacht of eigendom) en de grondwatertrap. Voor de huidige studie zijn er gegevens beschikbaar van 9.000 agrarische percelen, willekeurig verdeeld over het studiegebied.

2.3 Gebruikte definities

Mestgift: De mestgift is de geschatte hoeveelheid mest (nutriënten per hectare per jaar) die op de percelen toegediend wordt (zie sectie Mestverdeling). De toediening van stikstof en fosfaat wordt in beeld gebracht met de mestverdelingsmodule van INITIATOR, het instrument dat onder andere landsdekkend wordt toegepast voor de Evaluatie Mestbeleid en aanverwante studies. De toegediende mest is onderverdeeld in kunstmest, organische producten en dierlijke mest. Voor stikstof wordt een onderscheid gemaakt tussen de aanvoer in totale en werkzame stikstof. Dit laatste is gedaan via de zogenoemde N-werkingscoëfficiënt, dat wil zeggen dat deel van de totaal aangevoerde stikstof dat ook daadwerkelijk beschikbaar komt voor gewasopname.

Achtergrondbelasting: De achtergrondbelasting in deze studie is gedefinieerd als de hoeveelheid nutriënten die afkomstig zijn uit natuurlijke en niet direct beïnvloedbare bronnen. Dat wil zeggen alle bronnen exclusief de actuele bemesting via organische mest en kunstmest. Dit kan afkomstig zijn uit historische bemesting, maar ook van natuurlijke processen in de bodem.

Nalevering: De nalevering van nutriënten is het beschikbaar komen van nutriënten voor gewasgroei via mineralisatie (voor stikstof) of chemische processen (voor fosfaat) in de bodem. Nalevering kan daarbij het gevolg zijn van historische bemesting of van natuurlijke bodemeigenschappen. Het is een belangrijke bron van N en P in gebieden die gekenmerkt worden door hoge organische stofgehaltes (veen) of fosfaatrijke kwel.

Bodemoverschot/tekort: Het bodemoverschot/tekort is het verschil tussen de aanvoer van stikstof en fosfaat via bemesting en de afvoer ervan via gewasopname, waarbij (in de huidige studie) geen rekening gehouden wordt met de nalevering vanuit de bodem. In een situatie van evenwichtsbemesting is het overschot nul. Let wel, in de vakliteratuur én in de praktijk zijn er veel verschillende definities van het bodemoverschot¹. In de huidige context van dit rapport is het bodemoverschot gelijk aan een bemestingsoverschot; het deel van de gegeven bemesting dat niet opgenomen wordt door het gewas.

Verzadigingsgraad: De P-verzadigingsgraad is het deel van de P-vastleggingscapaciteit (geschat via de hoeveelheid aluminium- en ijzer-oxiden) dat 'bezet' is met fosfaat. Deze parameter geeft een indicatie of er sprake is van fosfaatretenie in de bodem en wat het risico is op eventuele uitspoeling. Het geeft ook een beeld van het risico op eventuele afspoeling, al is die relatie complex². Eventuele verliezen via oppervlakkige afvoer worden er maar beperkt door beïnvloed³. Een fosfaatlekkend perceel is gedefinieerd als een perceel dat nagenoeg rechtstreeks afwatert op open waterlopen en waarbij als gevolg van de fosfaattoestand in de bodem een verhoogde fosfaatbelasting van het oppervlaktewater optreedt (Schoumans, 2008). Voor stikstof is er geen definitie van verzadiging omdat stikstof niet chemisch gebufferd wordt (of kan worden) in de bodem. Een eventueel aanwezig N-overschot zal in het Nederlandse klimaat per definitie verdwijnen uit de bodem via gasvormige verliezen of uit- en afspoeling naar het watersysteem.

¹ In de minimale variant van deze definitie (zoals gebruikt in deze studie) wordt alleen rekening gehouden met de aanvoer van nutriënten via bemesting en de afvoer van nutriënten via het gewas. In de maximale variant van deze definitie wordt ook rekening gehouden met de aanvoer via andere bronnen als depositie, mineralisatie, en N-binding (en heel af en toe ook de aanvoer via kwel).

² Het verband tussen de P-verzadigingsgraad van de bodem en de P-concentratie in oppervlaktewater is complex. Een veelheid van factoren bepaalt het uiteindelijke transport van fosfaat uit de bodem naar het oppervlaktewater (zie Schoumans et al, 2008). In gedraineerde bodems wordt een duidelijke relatie gevonden tussen P-verzadigingsgraad van de bodem en de P-concentratie in het drainwater (TCB, 2007).

³ Oppervlakkige afvoer van fosfaat kan ook optreden via slib- en/of mestdeeltjes na veel neerslag (bijv., via greppels). Deze route treedt vooral op als er veel regen valt vlak na het moment van bemesting, en het risico is groter op klei- en veengronden dan op zandgronden. Omdat het afspoelend water maar beperkt in contact staat met de bodem, heeft de verzadigingsgraad van de bodem weinig invloed op deze bron.

Verliesfractie: De verliesfractie is in deze studie gedefinieerd als de ratio van de huidige N- en P-bemesting versus de stikstof en fosfaatverliezen die verloren gaan naar het grond -en oppervlakte water. Deze parameter geeft daarmee indirect inzicht in de mogelijke verbetering in waterkwaliteit die te realiseren is via verlaging van bemesting. Bijvoorbeeld, bij een perceel met een verliesfractie van 10% spoelt 10% van de toegediende N-bemesting uit naar het watersysteem. Voor N wordt deze verliesfractie berekend voor zowel de werkzame N- als de totale N-bemesting. Voor fosfaat wordt de verliesfractie berekend als fractie van zowel de P-bemesting als de P-voorraad in de bodem (omdat P-verliezen vrijwel alleen optreden *via* de bodem).

Werkingscoëfficiënt: de N-werking van organische mest wordt uitgedrukt door middel van een N-werkingscoëfficiënt. Deze geeft aan welk deel van de totale hoeveelheid stikstof in organische mest dezelfde werking heeft als de stikstof uit kunstmest. De N-werking van organische mest ligt lager dan die van kunstmest omdat er in de mest twee vormen van stikstof zijn: organisch en anorganisch. De anorganische fractie bestaat vooral uit ammonium en vervluchtigt deels bij toediening, afhankelijk van de gebruikte toedieningstechniek. Van de ammonium die na vervluchtiging overblijft, mag verwacht worden dat gewassen daar net zo op reageren als op stikstof uit kunstmest. Het organische deel moet echter eerst worden omgezet in ammonium en nitraat door bacteriën en schimmels in de bodem voordat planten het kunnen opnemen. Doordat niet alle organische stikstof gedurende een groeiseizoen mineraliseert ontstaat een lagere effectiviteit. Hoe langer de periode dat een gewas stikstof op kan nemen, hoe hoger de N-werking van dierlijke mest. Voor fosfaat is de werkingscoëfficiënt 100%.

2.4 Bemesting met stikstof en fosfaat

De aanvoer van stikstof en fosfaat uit dierlijke mest wordt ruimtelijk expliciet in kaart gebracht door gebruik te maken van de mestverdelingsmodule van het model INITIATOR (*Integrated Nitrogen Impact Assessment Tool on a Regional Scale*). Dit instrument maakt gebruik van gedetailleerde ruimtelijke gegevens die afkomstig zijn uit nationale GIS-datasets zoals de geografisch expliciete landbouwtellinggegevens, met het aantal dieren per bedrijf (GIAB-plus; Gies et al., 2015). Belangrijke variabelen zijn: het bedrijfstype, de bedrijfsomvang, arealen per gewas en dieren aantallen per diergroep. Vanaf 2011 is ook de verdeling van dieren over de nevenvestigingen en de ligging daarvan in beeld gebracht. Door deze koppeling is het mogelijk om op een hoge ruimtelijke resolutie de N- en P-excretie, stal- en opslagmissies, mest- en kunstmestverdeling, bodememissie, uit- en afspoeling en N-depositie te berekenen. Op basis van de gewasarealen en de bodemtoestand wordt de plaatsingsruimte bepaald. Dit is gebeurd op basis van de geldende N- en P-normen voor het jaar 2016.

Voor stikstof is de bemestingsruimte vooral afhankelijk van derogatiestatus, gewas- en bodemtype. Wanneer derogatie van toepassing is mag de hoeveelheid N uit dierlijke mest verhoogd worden van 170 kg N ha⁻¹ naar 230 á 250 kg N ha⁻¹. De totale toegestane hoeveelheid werkzaam stikstof (dierlijke mest wordt hierin gecorrigeerd voor de werkzame N) is afhankelijk van het gewas en het bodemtype. Voor fosfaat is de plaatsingsruimte afhankelijk van de P-toestand van de bodem.

2.5 Mestverdeling

De daadwerkelijke praktijk van mesttoediening op percelen varieert per bedrijf waarbij gewas, bodem en afstand van perceel tot bedrijf de belangrijkste stuurvariabelen zijn. In Nederland wordt de mesttoediening op percelen echter niet geregistreerd; de mestboekhouding wordt gemonitord en gecontroleerd op bedrijfsniveau. Om de mesttoediening toch ruimtelijk expliciet in beeld te brengen, wordt daarom gebruik gemaakt van 'modellen' die het transport van mest tussen bedrijven en de toediening van mest op de percelen binnen het

bedrijf kwantificeren. Hierbij wordt aangesloten bij de belangrijkste factoren die de mestgift ook in de daadwerkelijke boerenpraktijk sturen: beschikbare mest, gewas, bemestingsruimte, bodem en afstand.

De hoeveelheid beschikbare mest hangt af van het bedrijfstype (een veehouderijbedrijf produceert zelf mest) en de hoeveelheid mest op de mestmarkt in de regio. Mest dat niet op het eigen bedrijf kan worden afgezet, wordt namelijk verkocht aan bedrijven die behoefte hebben aan dierlijke mest. Om dit transport van mest in beeld te brengen voor regionale en landelijke beleidsstudies, wordt in Nederland gebruik gemaakt van het INITIATOR instrumentarium. Dit model berekent (op basis van daadwerkelijke cijfers van mestproductie en -ruimte) de hoeveelheid beschikbare mest per gemeente en verdeelt dat vervolgens over de verschillende bedrijven in relatie tot landgebruik en bodemeigenschappen.

De toedieningsprocedure in gemeentes, zoals gebruikt in INITIATOR, is als volgt (Kros et al., 2017):

1. Verdeel de weidemest (homogeen) over het areaal grasland binnen een gemeente.
2. Dien rundermest toe aan grasland op het eigen bedrijf tot maximaal de gebruiksnorm voor dierlijke mest en verdeel de eventueel overblijvende rundermest samen met de overige mest over maïs en overig bouwland (maximaal tot de gebruiksnorm). Niet plaatsbare mest (met andere woorden: gebruiksruijme van het bedrijf is volledig opgevuld) wordt per gemeente geaccumuleerd.
3. De berekende overschotten per gemeenten worden vervolgens verminderd met een a-priori opgelegde verwerking en export naar het buitenland (gebaseerd op metingen van RVO; elke mesttransport is namelijk geregistreerd en van elk transport is de mestsamenstelling bekend).
4. De resterende mestoverschotten per gemeente worden getransporteerd naar gemeentes met plaatsingsruimte, rekening houdend met de onderlinge afstand en de acceptatiegraden voor verschillende mestsoorten. Daar worden de overschotten uitgereden. Als er na deze herverdeling nog sprake is van een overschot (d.w.z., mest dat niet plaatsbaar is in naburige gemeenten), dan wordt dit overschot (geschaald naar de totale productie in de overschotgebieden) afgezet in deze overschotgebieden.
5. De hoeveelheid benodigde kunstmest wordt berekend op basis van de werkzame hoeveelheid N die is toegediend als dierlijke mest, en de gewasafhankelijke gebruiksnorm voor werkzame stikstof.

In deze studie is het detailniveau van de berekeningen met het INITIATOR model aangepast van STONE-plots naar bedrijfsspercelen. Voor de bedrijven in het studiegebied zijn daarvoor zogenoemde rekenplots (ruimtelijke eenheden die als basis van de modelberekening dienen) gemaakt op basis van de Basisregistratie Percelen. Voor het berekenen van de mestverdeling binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân zijn alle bedrijven meegenomen die in het gebied gevestigd zijn én de bedrijven die buiten het gebied liggen maar wel percelen binnen het gebied hebben. De mestverdeling over de percelen is als volgt berekend⁴:

1. Eerst is de geproduceerde mest verdeeld over het eigen bedrijf (op basis van de geldende gebruiksnormen voor dierlijke mest, stikstof en fosfaat). De aanwezige N en P-ruimte op de percelen⁵ is daarbij maximaal opgevuld. Bij de toediening van runderdrijfmest is daarbij eerst de beschikbare ruimte op gras en daarna die op maïs opgevuld. De eigen varkensmest is eerst toegediend aan graan, gevolgd door aardappelen, suikerbieten en overig bouwland. Als er meer mest is dan op het eigen bedrijf kan worden afgezet, dan is deze na export/ transport afgezet op de beschikbare ruimte

⁴ Het verdelingsmechanisme in INITIATOR is bepaald op basis van expert-judgement, en is als zodanig niet getoetst in de boerenpraktijk.

⁵ De P-ruimte op een bedrijf is gebaseerd op de P-toestand van de percelen. De N-ruimte voor dierlijke mest is gebaseerd op derogatie; een bedrijf is een derogatiebedrijf of niet. Voor alle percelen van een derogatiebedrijf geldt een maximum van 250 kg N ha⁻¹ aan dierlijke mest terwijl percelen van niet-derogatiebedrijven maximaal 170 kg N ha⁻¹ uit dierlijke mest krijgen.

op bouwland (in de volgorde granen, aardappelen, suikerbieten en overig bouwland). Het bedrijfsmestoverschot aan varkensdrijfmest is niet afgezet op grasland.

2. De hoeveelheid dierlijke mest die niet op het eigen bedrijf kan worden afgezet, is zo goed mogelijk verdeeld over de percelen binnen de gemeente (afhankelijk van acceptatiegraden per mestsoort en het gewas en de fosfaattoestand van de percelen). Hierbij is tevens rekening gehouden met eventuele export naar of import van dierlijke mest vanuit omliggende gemeenten. Conform de huidige bemestingspraktijk is de dierlijke mest verdeeld over de beschikbare gewassen, volgens de eerder beschreven volgorde.
3. De kunstmestgift is bepaald op basis van het verschil tussen de wettelijke gebruiksruimte en de hoeveelheid werkzame N en P die via dierlijke mest wordt gegeven. Op derogatiebedrijven is conform de mestwetgeving geen P-kunstmest toegediend.

2.6 Berekening overschotten en verliesfracties

De overschotten van stikstof en fosfaat in de bodem zijn berekend door het verschil te nemen tussen de aanvoer (via dierlijke/kunstmest en compost) en de opname van het gewas. Deze overschotten dragen voor een deel bij aan de opbouw van stikstof en fosfaat in de bodem (die via nalevering in een latere periode beschikbaar kunnen komen voor de dan groeiende gewassen) en gaan deels direct verloren via uitspoeling en gasvormige verliezen. Een deel van de opgebouwde stikstof en fosfaat in de bodem zal op langere termijn ook verloren kunnen gaan naar het watersysteem. Omdat de huidige studie de huidige situatie in beeld brengt, wordt er geen uitspraak gedaan over eventuele verliezen die in de toekomst op kunnen treden.

Voor het N-bodemoverschot wordt onderscheid gemaakt tussen het bodemoverschot in werkzame stikstof (N_{wz}) en de totale hoeveelheid N (N_{totaal}). Werkzame N is stikstof die in het jaar van toediening door een gewas kan worden opgenomen, en bestaat uit ammonium en nitraat. Dierlijke mest bestaat deels uit organische stikstof en deels uit ammonium. Gedurende het seizoen komt vrijwel al het ammonium beschikbaar voor gewasopname (naast ammoniakverliezen) en slechts een deel van de organische stikstof (ca 20% tot 60% afhankelijk van de mestsoort). Dat komt omdat de organische stikstof eerst moet worden omgezet via microbiële processen in de bodem voordat planten de stikstof ook daadwerkelijk kunnen opnemen. De fractie van de toegediende stikstof die ook daadwerkelijk kan worden opgenomen door het gewas wordt ook wel de werkingscoëfficiënt genoemd. In de huidige studie wordt gebruik gemaakt van de werkingscoëfficiënten zoals die in Nederland gebruikt worden in de bemestingsadviezen. Voor fosfaat is de werkingscoëfficiënt 100%. Het bodemoverschot voor werkzame N en P is daarmee de totale aanvoer van respectievelijk werkzame N en P minus de gewasopname.

De verliesfractie is berekend als de fractie stikstof (of fosfaat) van het totale of werkzame overschot dat uitspoelt naar grond- en oppervlaktewater. Als er bijvoorbeeld 10 kg N ha^{-1} uitspoelt op een perceel waar de bemesting 40 kg N ha^{-1} hoger ligt dan de gewasopname, dan is er sprake van een uitspoelingsfractie van 25% van het totale overschot. De verliesfracties voor N en P geven daarmee inzicht in het deel van het bemestingsoverschot dat uitspoelt naar grond- en oppervlaktewater. Let wel, in de gebruikte definitie van het N-overschot⁶ wordt geen rekening gehouden met het stikstof leverende vermogen (NLV) van de bodem, de stikstof die door afbraak van organische stof in de bodem beschikbaar komt.

⁶ Dit is een definitiekwestie. Het is ook mogelijk een N-overschot te berekenen op de totale aanvoer van werkzame N uit alle bronnen, zowel bemesting als depositie als N-levering van de bodem. De huidige studie gebruikt daarmee de meest simpele indicator door te kijken welk deel van de gegeven N-gift daadwerkelijk in het watersysteem terechtkomt. Omdat deze verliesfractie per perceel wordt uitgerekend, wordt hiermee indirect ook rekening gehouden met de aanwezige verschillen in N-levering en depositie (omdat deze kunnen variëren per perceel).

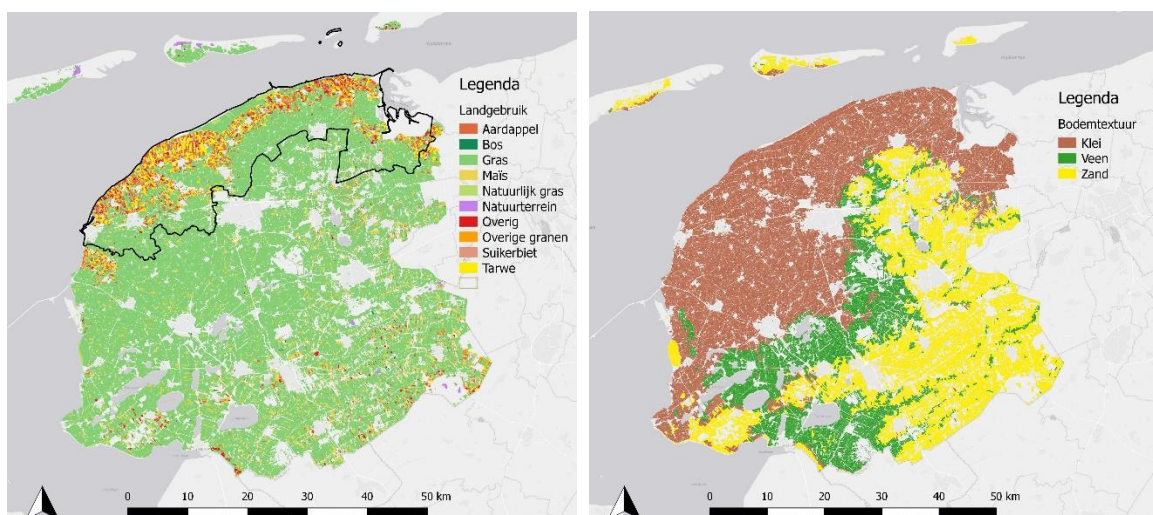
In de context van het nieuwe landelijk waterkwaliteitsmodel wordt in 2018 het model INITIATOR aangepast. De kaarten met mestgiften en nutriëntenoverschotten in deze studie komen uit deze aangepaste versie. De berekening van de verliezen naar grond- en oppervlaktewater zijn (nog) niet beschikbaar in de nieuwe versie van het INITIATOR model (op perceelsniveau). Hiervoor is daarom gebruik gemaakt van de berekeningen die met de huidige versie van INITIATOR (die gebaseerd is op STONE-plots) zijn uitgevoerd. Dit geeft een goed regionaal beeld van de verschillen (en dus gebieden waar problemen met waterkwaliteit verwacht kunnen worden), maar mist door de aggregatie van het mestverdelingsproces naar een lagere ruimtelijke resolutie het detail dat al wel zichtbaar is bij de kaarten met bodemeigenschappen en bemestingsgiften.

3. Resultaten en discussie

In dit hoofdstuk worden de verschillende bodem- en landbouw-gerelateerde eigenschappen besproken die van invloed zijn op de waterkwaliteit in de regio. Hierbij gaat het om landgebruik en basiskenmerken van de bodem, maar ook om de mineralenbalans van stikstof en fosfaat (aanvoer dierlijke en kunstmest en de bodemoverschotten). Deze kenmerken zijn zichtbaar gemaakt in kaarten van de regio, die vervolgens besproken worden met betrekking tot (a) wat je ziet, (b) wat de variatie is in het gebied en (c) wat hier de mogelijke consequenties zijn voor de waterkwaliteit.

3.1 Landgebruik en basiskenmerken bodem

Het grootste deel van het landbouwareaal in provincie Fryslân wordt beheerd door melkveehouderijbedrijven. In 2016 werd het oppervlakte grasland en groenvoedergewassen geschat op bijna tweehonderdduizend hectares (met 4.168 bedrijven) terwijl er op ruim twintigduizend hectares akkerbouwgewassen werden geteeld door 600 bedrijven (CBS, 2017). De akkerbouw (<10% van het totale areaal) vindt voornamelijk plaats in de noordelijke strook met lichte klei (landbouwgebied Bouwhoek en Hogeland, zie Figuur 3.1.). De gewassen die hier voornamelijk verbouwd worden, zijn aardappel, tarwe en suikerbiet. In het beheergebied komen drie grondsoorten voor, waarbij het noorden gekenmerkt wordt door zware zavel- en zware kleigronden. In het zuidwesten komt relatief veel veen voor met aan de randen moerig zand. Het zuidoosten en oosten van het beheergebied bestaat vooral uit zandgrond.

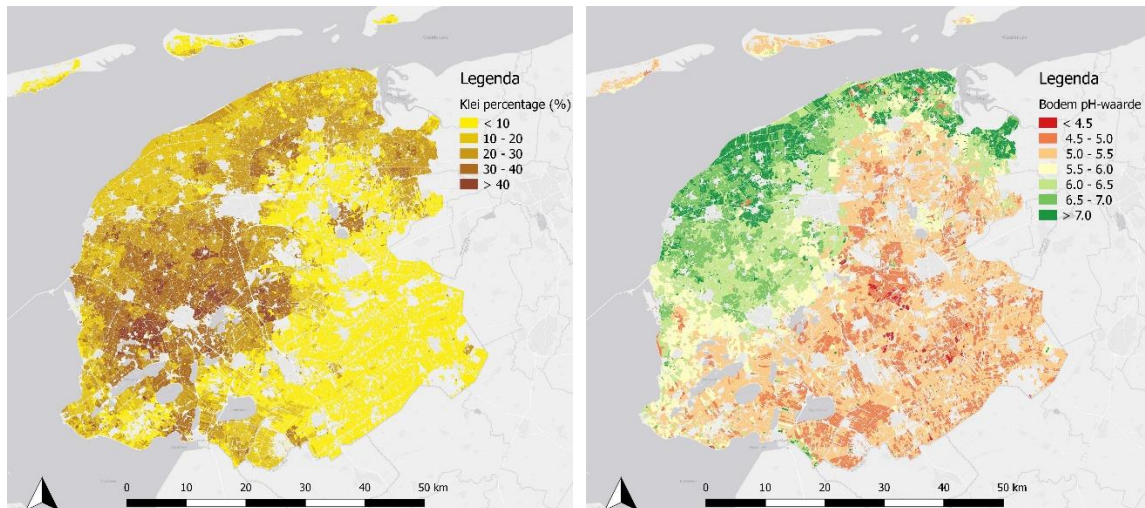


Figuur 3.1. Landgebruik (links) en bodemtextuur (conform mestwetgeving) in beheergebied WF (waarbij links ook het landbouw economisch gebied 'Bouwhoek en Hogeland' wordt weergegeven).

Zowel het landgebruik als het bodemtype spelen een sleutelrol in de bemestingsbehoefte en de gebruiksruimte (denk ook aan derogatie) voor stikstof en fosfaat. De zand- en veengronden worden vrijwel uitsluitend gebruikt door veehouderijbedrijven. Het grootste deel van de kleigronden wordt ook gebruikt door melkveehouders, voornamelijk de zwaardere gronden die moeilijker bewerkbaar zijn door de kleiige textuur en het ondiepe grondwater). In het noorden wordt een brede strook met relatief jonge en lichte kleigronden (8-25% klei) voor akkerbouw gebruikt (Figuren 3.1. en 3.2.). Deze jonge zeekleigronden zijn bijna alle ontstaan door inpoldering ten behoeve van de landbouw. Doordat de gronden nog jong zijn, bevat de laag onder de bouwvoor nog weinig organische stof en heeft er weinig homogenisering plaatsgevonden. Het kalkgehalte kan sterk wisselen en hangt af van de bodemtextuur en het bodemgebruik in het verleden.

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 wordt de gewasopname van nutriënten geremd. Binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân varieert de pH sterk. In de Bouwhoek en Hogeland (het noordelijk kleigebied, voor locatie zie Figuur 3.1.) is de pH van de bodem relatief hoog (hoger dan 6,5) ten opzichte van de omliggende landbouwgebieden (Figuur 3.2.).

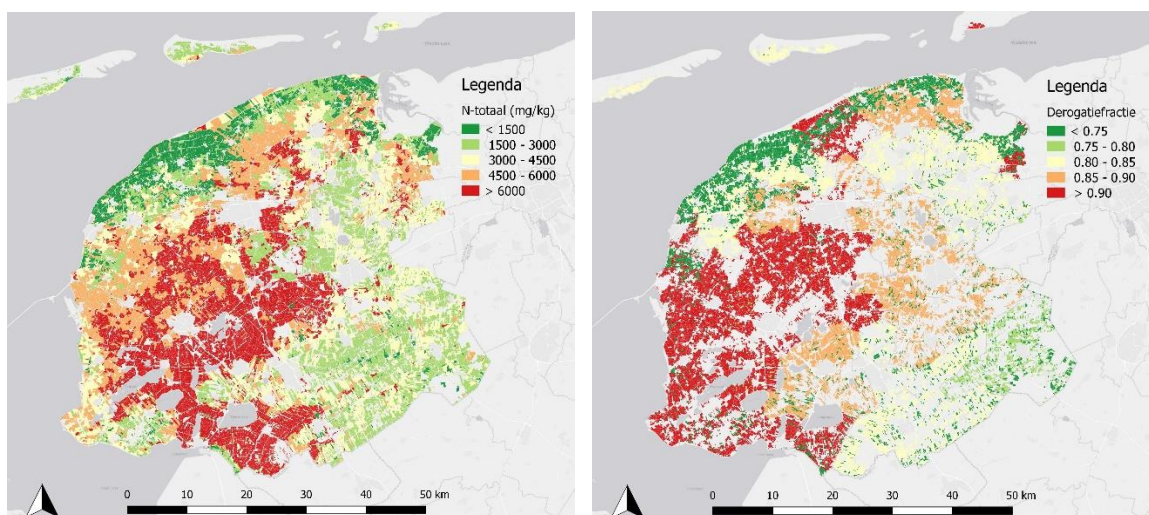


Figuur 3.2. Kleigehalte (links) en bodem-pH in beheergebied WF.

Verder naar het zuiden, richting de veen- en zandgronden, is de pH gemiddeld lager dan 5. De jonge kleigronden worden nog gekenmerkt door een relatief hoge pH omdat verzurende processen nog niet heel lang optreden. De pH van zand- en veengronden ligt doorgaans lager dan dat van klei, door hogere natuurlijke verliezen van hardheid (calcium en magnesium), hogere natuurlijke verzuring via afbraak van organische stof en de afwezigheid van kalkrijke onderdelen (zoals schelpen en carbonaten) in het moedermateriaal. De pH van de bodem daalt jaarlijks door o.a. gewasonttrekking, uitspoeling en de verzurende werking van minerale stikstofmeststoffen.

3.2 Derogatie en stikstofgehaltes bodem

In regio's met relatief veel veehouderij is de aanvoer van dierlijke mest groot en is er veel grasland voor ruwvoerproductie. Dit betekent voor de bodem een grote aanvoer van effectieve organische stof en een groot bodemoverschot van N-totaal. Dit heeft als gevolg dat de totale N-gehaltes in de bodem relatief verhoogd zijn (Figuur 3.3, links). Deze bodemparameter geeft aan hoeveel stikstof er in totaal in de bouwvoor aanwezig is, en omvat zowel organische als anorganische vormen van stikstof. In de praktijk is meer dan 95% van alle stikstof aanwezig in de vorm van organische stikstof. De gebruikte eenheid in landbouwkundig onderzoek is mg N per kg grond.



Figuur 3.3. N-gehalte in de bodem (links) en fractie bedrijven met derogatie (rechts) in beheergebied WF.

In het beheergebied Wetterskip Fryslân varieert het gehalte N-totaal van minder dan 1.500 mg N kg⁻¹ in de zeekleigronden in het Noorden tot meer dan 6.000 mg N kg⁻¹ in de veengronden in het Zuidwesten (Figuur 3.3.). Voor minerale bodems neemt de natuurlijke N-levering bijna lineair toe met de hoeveelheid totale N in de bodem. In het landbouwkundig bemestingsadvies (gebaseerd op graslandproeven) wordt de N-levering uit minerale bodems geschat op minimaal 70 kg N ha⁻¹, en wordt deze verhoogt met 30 tot 35 kg N ha⁻¹ per gram N-totaal per kg grond. Voor akkerbouwgronden kan de N-levering variëren tussen 75 en 150 kg N ha⁻¹. Veengronden zijn van nature rijk aan stikstof: het landbouwkundig advies stelt bijvoorbeeld dat er gemiddeld meer dan 250 kg N ha⁻¹ vrijkomt voor gewasopname via natuurlijke afbraakprocessen. In de praktijk varieert de N-opname op onbemeste proefpercelen tussen 100 en 600 kg N ha⁻¹ (gebaseerd op meer dan 600 bemestingsproeven op veen, Bussink et al., 2016). Bodems die rijk zijn aan stikstof worden daardoor ook gekenmerkt door grotere N-verliezen in de winterperiode.

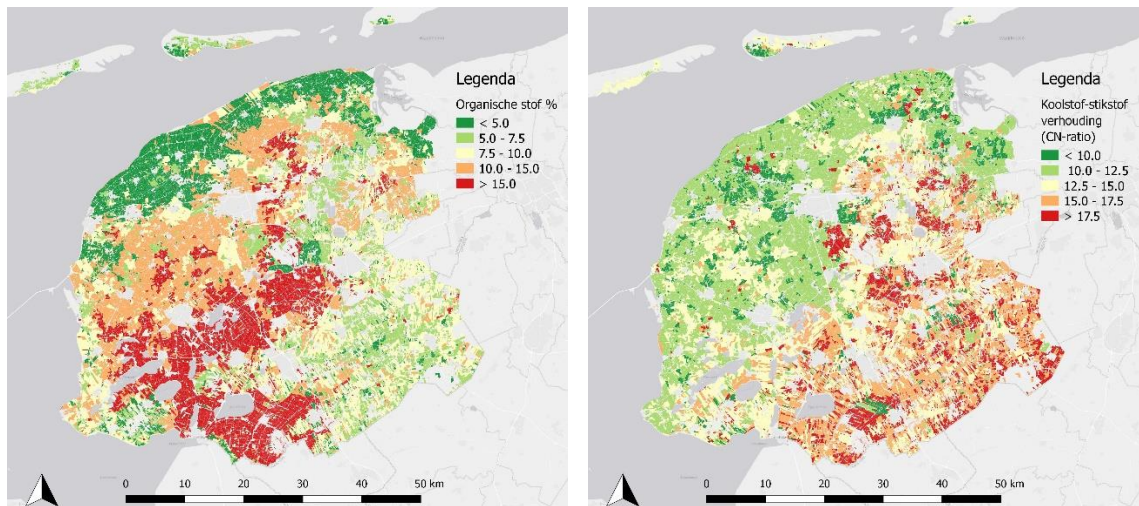
De fractie bedrijven die derogatie hebben, is over heel het beheergebied van WF gemiddeld 78% (Figuur 3.3, rechts). Vooral in het noorden van de provincie (de landbouwkundige regio *de Bouwhoek*, zie *Figuur 3.1.*) is dit lager, aangezien hier weinig melkveebedrijven zitten. Over het hele gebied zijn 88% van de graslandpercelen onderdeel van een bedrijf met derogatie, terwijl dat slechts voor 46% van de bouwlandpercelen geldt. De melkveebedrijven op zware klei en op veen hebben vrijwel allemaal derogatie (> 85%). Op de zandgronden zijn ook andere bedrijfstypen actief, waardoor het aandeel bedrijven dat derogatie heeft daar lager ligt.

3.3 Organische stof (kwaliteit) en CN-ratio

Organische stof (humus) heeft belangrijke functies in de bodem en is van directe invloed op de bodemvruchtbaarheid. Het verbetert de structuur, bevordert de bewerkbaarheid en verhoogt het vochtvasthoudend vermogen. Daarnaast zorgt organische stof voor extra kationomwisselcapaciteit, waardoor een bodem meer kationen als kalium, calcium en magnesium kan vasthouden. De organische stof bevat daarnaast ook zelf nutriënten als stikstof, fosfor en zwavel, die na afbraak beschikbaar komen voor gewasopname. Het organische stofgehalte in Wetterskip Fryslân varieert tussen de 2 en 32% (Figuur 3.4). Dit is vooral hoog op de veengronden met een gehalte van gemiddeld 18%, gevolgd door gemiddelde organische stofgehalten van 10% op kleigronden en 8% op de zandgronden.

Het organische stofgehalte in de bodem is sterk gecorreleerd aan de textuur, het landgebruik en de N-rijkdom van de bodem. Veengronden zijn per definitie rijk aan organische stof; een bodem is namelijk gedefinieerd

als organisch wanneer er minimaal 20% organische stof in aanwezig is. Daarbij komt dat onder grasland het organische stofgehalte toeneemt met de leeftijd van de graszode. Recente tijdserie-analyses op tienduizenden grondmonsters uit Nederland door Van Reijneveld (2013) laten zien dat het organische stofgehalte de laatste 20 jaar stabiel blijft of licht stijgt. Om deze reden is er in het beheergebied van Wetterskip Fryslân weinig risico op een dalende bodemvruchtbaarheid. De mineralen-balansstudie van De Vries et al. (2017) bevestigt dit voor vrijwel alle melkveebedrijfssystemen in Friesland: de aanvoer van organische stof via bemesting en gewasresten compenseert veelal de afbraak van organische stof. Uitzondering is de afbraak van veen door diepe ontwatering (sectie 4.3).

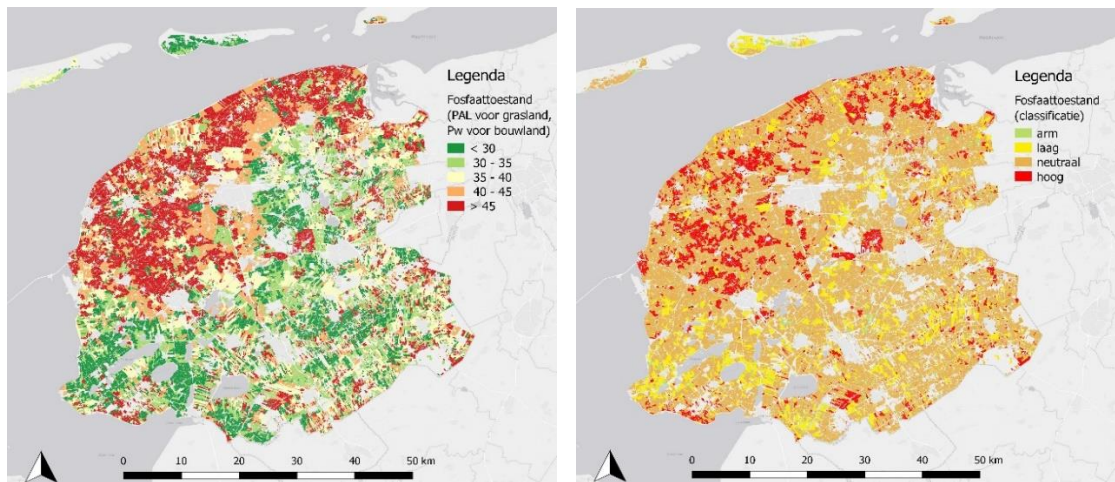


Figuur 3.4. Het gehalte aan organische stof (links) en het gekoppelde CN-ratio van de bodem in WF.

In het beheergebied van Wetterskip Fryslân varieert tussen de CN-ratio tussen 9 en 22 met een gemiddelde van 14 (Figuur 3.4.). Op zand- en veengronden ligt dit gemiddelde beduidend hoger dan op kleigronden. De verhouding tussen koolstof en stikstof (de CN-ratio) is een belangrijke indicator voor de snelheid waarmee organische stof kan worden afgebroken. Oude, stabiele organische stof zoals aanwezig in de Veenkoloniale gronden heeft een hogere CN-ratio (groter dan 20) dan organische stof in jongere bodems (met CN-ratio's tussen 10-17). Met dierlijke mest wordt jonge organische stof aangevoerd met een relatief lage CN-ratio (variërend tussen 5 en 15) terwijl compost meer stabielere organische stof bevat. Stikstof uit organische producten wordt vastgelegd (geïmmobiliseerd) in de bodem als de CN-ratio hoger is dan 25. Bodems met een lage CN-ratio zijn relatief rijker aan stikstof en worden gekenmerkt door een hogere afbraaksnelheid. Bij een hogere afbreekbaarheid is er een groter risico op nitraatverliezen tijdens de winterperiode. Onder natte omstandigheden wordt een groot deel van deze verliezen omgezet naar N_2 , een onschadelijk N-gas.

3.4 Fosfaattoestand bodem

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 analysemethoden die ingezet worden afhankelijk van het landgebruik (zie hoofdstuk 4). 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 de hoeveelheid fosfaat wordt een bodem vervolgens geclassificeerd als een toestand 'arm', 'laag', 'neutraal' of 'hoog'. Figuur 3.5. beschrijft de ruimtelijke variatie in PAL en Pw én de daaruit afgeleide P-toestand.

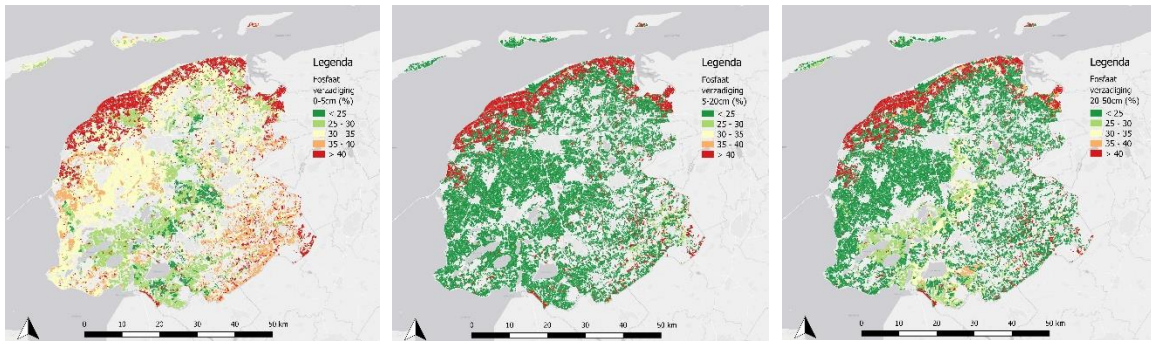


Figuur 3.5. Het fosfaatgehalte in agrarische percelen (links) en de gekoppelde P-toestand (rechts).

Op grasland varieert de gemiddelde PAL-waarde van 28 mg P_2O_5 100 g⁻¹ op veen tot 42 mg P_2O_5 100 g⁻¹ op klei. Op gronden die als bouwland gebruikt worden varieert de gemiddelde Pw-waarde van 37 mg P_2O_5 l⁻¹ op veen tot 54 P_2O_5 l⁻¹ op klei. Dit betekent ook dat 70% van alle agrarische percelen in de toestandsklasse neutraal ligt. De overige percelen liggen voor 13% in de klasse hoog en voor 13% in de klasse laag. Van alle graslandpercelen ligt 14% in de klasse hoog, terwijl een groot deel (45%) van de maispercelen in de klasse laag/arm valt. Van alle bouwlandpercelen ligt bijna 40% in de toestandsklasse laag. 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.

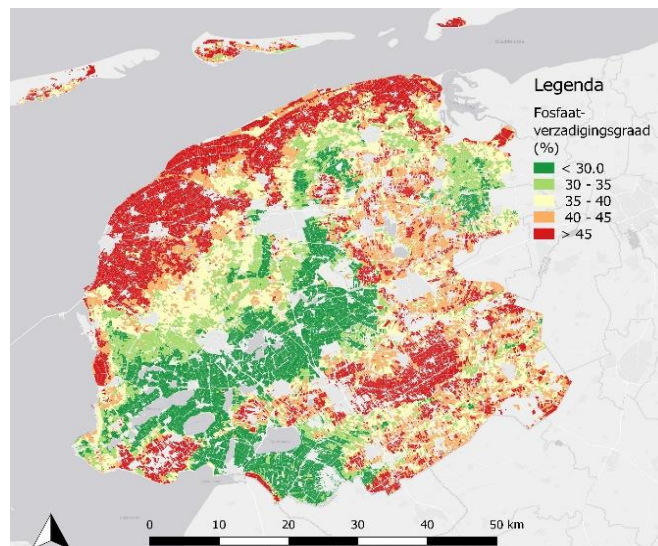
Een hoge P-toestand betekent niet altijd een hogere belasting van het oppervlaktewater, al gaat dat wel vaak samen. In hoofdstuk 4 is een eenvoudige ruimtelijke visualisatie opgenomen van oppervlaktewaterringen van stikstof en fosfaat uit de periode 2011-2016. De ruimtelijke variatie in fosfaat volgt op grote lijnen de variatie in de P-toestand van de bodem. 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 (Figuur 3.6.). Bij percelen met een hoge verzadigingsgraad is het risico op uit- en afspoeling van fosfaat groter (Schoumans, 2004, 2008).

De fosfaatverzadigingsgraad (PVG) zoals gebruikt in studies van *WenR* zijn voor de toplaag (0 - 5 cm) van de bodem het hoogste (> 45%) op de jonge kleigronden met akkerbouw in het noorden van het beheergebied. Dit zijn geïnterpoleerde schattingen van de PVG op basis van ca. 1000 metingen die in de periode 1992-1998 zijn uitgevoerd (Schoumans, 2004). Deze gebieden hebben over het algemeen ook een hoge pH, een lage hoeveelheid N-totaal en een laag organische stofgehalte. In diepere lagen blijft de PVG het hoogste in deze gebieden, hoewel de veengronden in de laag van 20 – 50 cm een vergelijkbare fosfaatverzadiging hebben. De PVG varieert tussen 19 en 74% (gemiddeld 35%) in de bovengrond (eerste 5 cm), tussen 12 en 80% (gemiddeld 22%) op de diepte 5 – 20 cm en tussen 12 en 94% (gemiddeld 23%) op de diepte 20 – 50 cm. Conform verwachting is de PVG het hoogst in de toplaag. In gebieden met veen in de ondergrond lijkt de PVG weer toe te nemen: deze is hoger in de laag 20-50 cm dan in de laag 5-20 cm.



Figuur 3.6. 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 hoofdstuk 4 worden extra kaarten weer-gegeven met een legenda van de diepere bodemlaag.

De studie van Schoumans et al. (2004) definieert een kritieke P-verzadigingsgraad van 25% voor kleigronden en kalkarme zandgronden. Voor veengronden en kalkrijke zandgronden ligt deze lager, en wel op respectievelijk 10 en 5%. Dit betekent dat de meeste agrarische percelen in het beheergebied van Wetterskip Fryslân een P-verzadiging hebben boven deze kritische grens (95% van de percelen heeft een P-verzadiging groter dan 25%). Gebruik makend van recentere bodemanalyses van Eurofins⁷ wordt de bovenstaande conclusie voor fosfaatverzadiging bevestigd⁸ (Figuur 3.7.).



Figuur 3.7. De fosfaatverzadigingsgraad (%) in de bouwvoor op basis van recente metingen van Eurofins (0-10 cm grasland en 0-25 cm bouwland).

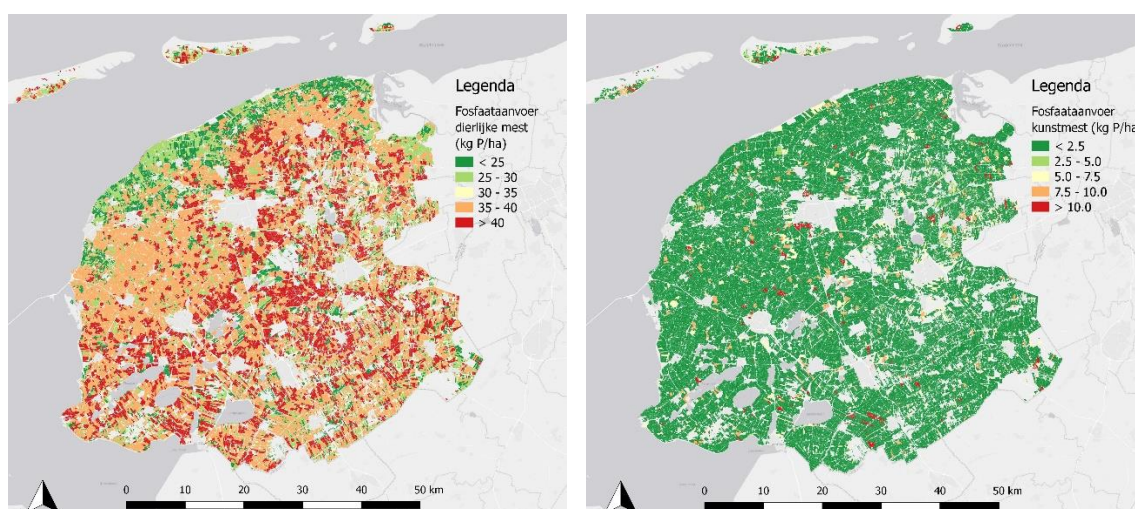
De hoogste fosfaatverzadiging is aanwezig op de minerale klei- en zandgronden in het noorden en zuidoosten van Wetterskip Fryslân. De gemiddelde verzadigingsgraad ligt daar met 52% hoger op akkerbouwpercelen dan op maisland (42%) of grasland (38%). Tussen de bodemtypes klei (40%) en zand (43%) is weinig variatie te zien, terwijl op veen de fosfaatverzadigingsgraad met 29% beduidend lager ligt. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de hoge afvoer van fosfaat via gewasopname: het historische (en actuele) fosfaat-bodemoverschot (via bemesting) is namelijk hoger in akkerbouw- dan in graspercelen.

⁷ De gegevens van *WenR* zijn namelijk gebaseerd op een select (ca. 1000) aantal monsterpunten in agrarische percelen over heel Nederland, die gedurende de periode 1992-1998 geanalyseerd zijn.

⁸ Opvallend zijn ook de hoge verzadigingsgraden op de eilanden. De P-toestand op deze percelen is overwegend laag tot neutraal. De hoeveelheid gebonden P-oxalaat is echter relatief hoog in vergelijking met de maximale retentiecapaciteit van de bodem.

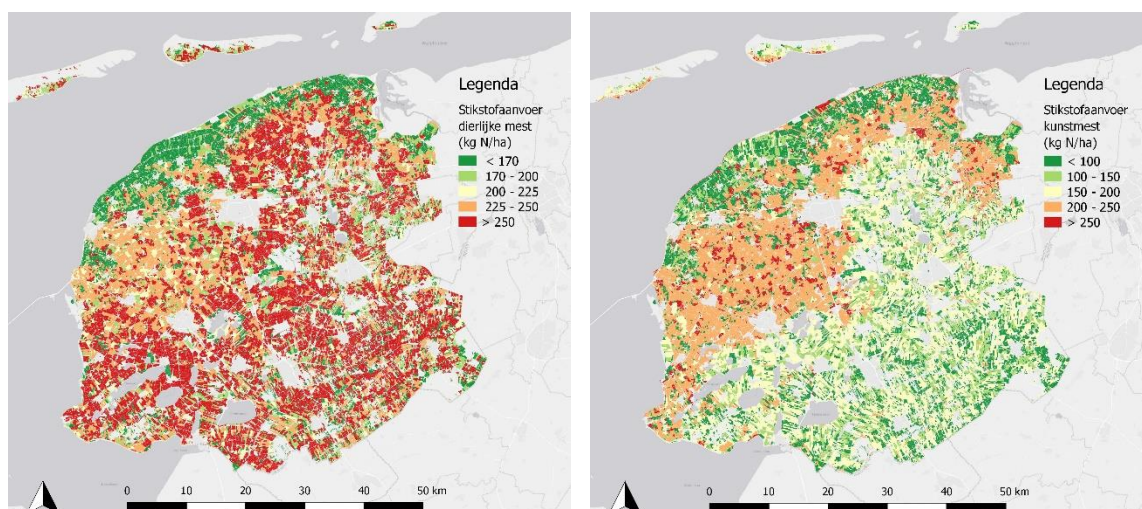
3.5 Bemesting

De aanvoer van fosfaat uit dierlijke mest en kunstmest is te zien in Figuur 3.8. De kleinste P-aanvoer is te vinden op percelen met akkerbouw, en vooral in het noordelijke kleigebied. De hoge giften van meer dan 40 kg P ha⁻¹ zijn vooral te vinden op melkveehouderijbedrijven met grasland en mais en zijn het resultaat van de intensieve veeteelt in de regio. Het gemiddelde op veen ligt met 35 kg P ha⁻¹ een stuk hoger dan op zand (28 kg P ha⁻¹). Fosfaat wordt in de praktijk vrijwel niet via kunstmest toegediend omdat (1) het verboden is op derogatiebedrijven, (2) dierlijke rundveedrijfmest (als belangrijkste fosfaatbron) een goede basismeststof is, en (3) akkerbouwbedrijven geld toe krijgen wanneer ze deze drijfmest gebruiken (boeren betalen om het overschot kwijt te raken). Gebieden met de hoogste P-toestand en P-verzadiging (vooral bij akkerbouw op klei) hebben conform de mestwetgeving en de bemestingsadviezen weinig behoefte aan P-bemesting.



Figuur 3.8. De aanvoer van fosfaat via dierlijke mest en kunstmest (in kg P ha⁻¹) in beheergebied WF.

De aanvoer van stikstof uit dierlijke mest (Figuur 3.9.) is kleiner in het noordelijke kleigebied (voornamelijk akkerbouw) dan in gebieden waar vooral zand- en veenbodems aanwezig zijn. Percelen die voornamelijk door de veehouderij worden gebruikt (grasland en mais) hebben een grotere N-aanvoer. Dit is gekoppeld aan de gebruiksnormen voor dierlijke mest, die vrijwel altijd opgevuld worden om kosten te besparen.

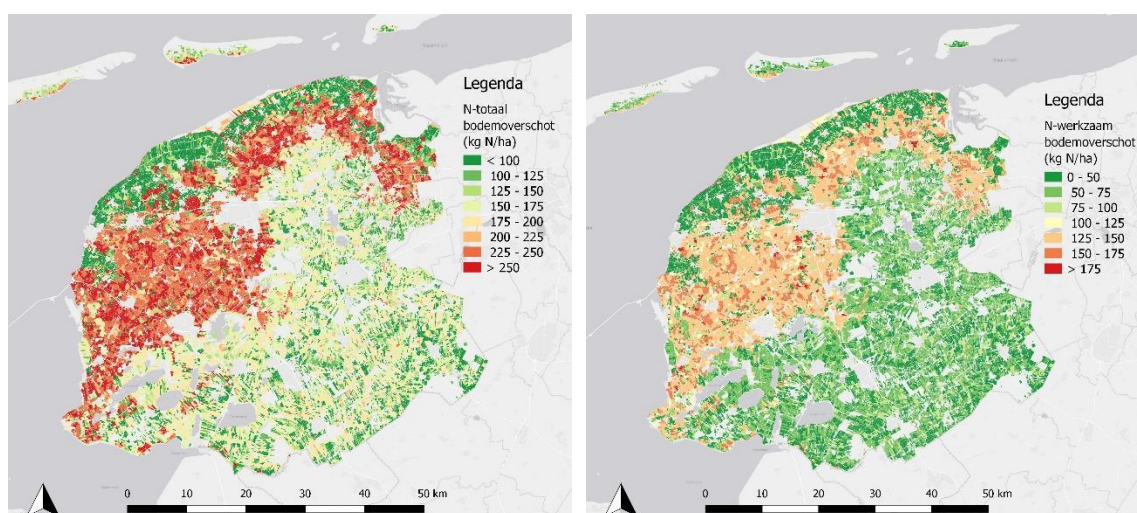


Figuur 3.9. De aanvoer van stikstof via dierlijke mest en kunstmest (in kg N ha⁻¹) in beheergebied WF.

Voor de aanvoer uit dierlijke mest geldt de derogatie-norm van 250 kg N ha⁻¹. De totale (werkzame) N-gebruiksruimte bepaalt de hoeveelheid N-kunstmest die mag worden aangevoerd en deze is gewas- en bodemafhankelijk⁹. 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 3.9, rechts).

3.6 Overschotten en verliesfracties

Het overschot (verschil tussen aanvoer van een bepaald nutriënt en de hoeveelheid die het gewas opneemt) van totale- en werkzame stikstof is weergegeven in Figuur 3.10. Dit overschot is uitgedrukt in kilogram stikstof per hectare per jaar. De grootste overschotten (totaal en werkzaam) zijn te vinden op grasland op klei (met gemiddeld 250 kg N-totaal ha⁻¹ en 140 kg N-werkzaam ha⁻¹). Grasland op zand heeft een kleiner overschot voor zowel N-totaal (160 kg N-totaal ha⁻¹) als N-werkzaam (60 kg N ha⁻¹). Grasland op veen heeft vergelijkbare overschotten met die op zand. De gemiddelde totale N-overschotten op maisland en akkerbouw variëren een stuk minder tussen de verschillende grondsoorten: deze overschotten zijn het kleinst voor akkerbouw op klei (50-60 kg N ha⁻¹) en het grootst op mais op zand (70 kg N ha⁻¹). De gemiddelde werkzame overschotten voor akkerbouw en mais liggen in de categorie kleiner dan 50 kg N ha⁻¹, wat betekent dat de gewasopname vergelijkbaar is met de aanvoer van werkzame N via bemesting.

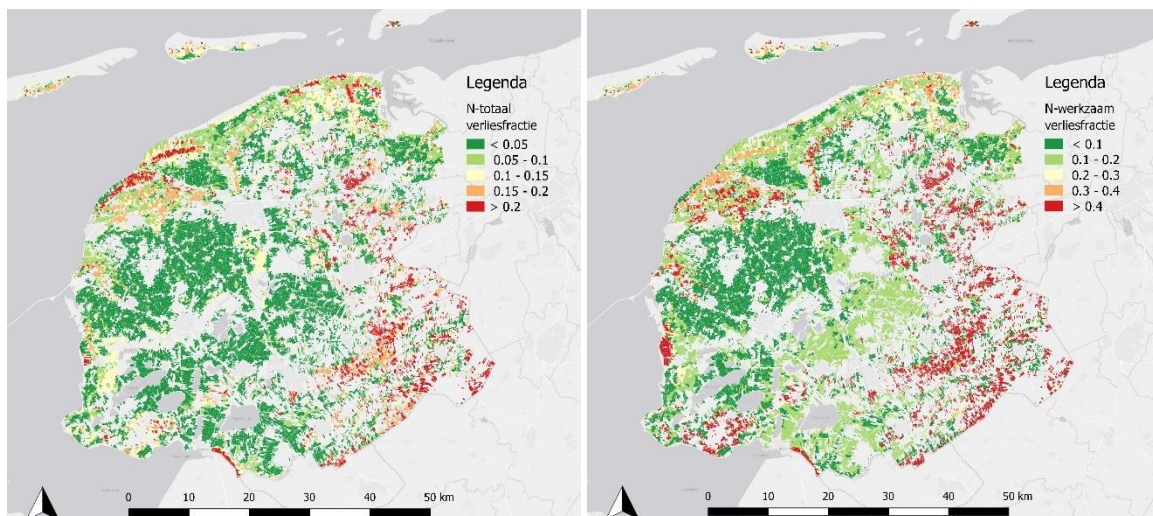


Figuur 3.10. Het bodemoverschot voor N-totaal (links) en werkzame N (rechts) voor bodems in WF.

Grote overschotten komen over het algemeen overeen met gebieden waar veel dierlijke mest aanwezig is (d.w.z., de gebieden waar de hoogste gebruiksnormen gelden). Op klei gelden hogere normen dan op de overige graslandgebieden op zand en veen. Het grootste verschil in Figuur 3.10 (links en rechts) is terug te zien in de graslandgebieden, waar het N-totaaloverschot met gemiddeld 100 kg N ha⁻¹ hoger ligt dan het overschot voor werkzame N. Dit komt doordat in deze gebieden veel mest wordt toegediend met een lagere werking (dat wil zeggen, lager dan die van kunstmest). De totale overschotten lopen op tot gemiddeld circa 200 kg N ha⁻¹, waarvan werkzame overschotten oplopen tot circa 130 kg N ha⁻¹. Een groter bodemoverschot betekent in de praktijk ook een groter risico op verliezen richting het watersysteem. De daadwerkelijke uit- en afspoeling hangt af van de belangrijkste verliesroutes richting het watersysteem en de mogelijkheid van denitrificatie.

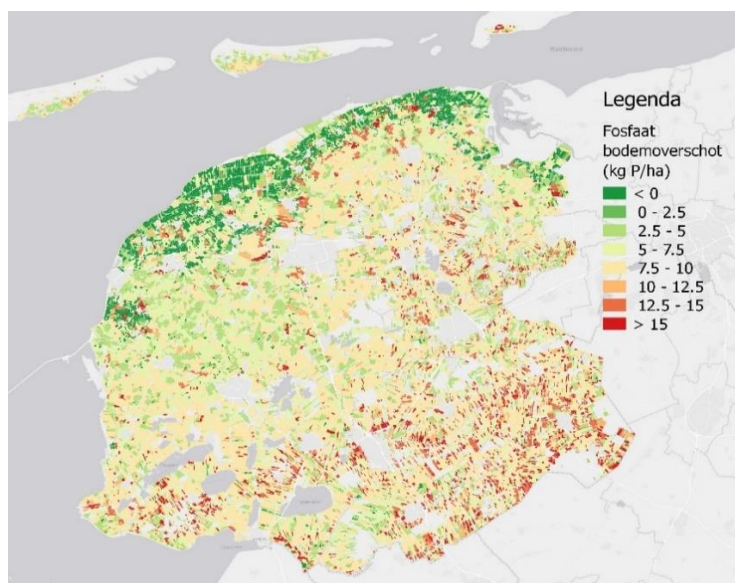
⁹ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/12/Tabel-1-Stikstofgebruiksnormen-2017.pdf>

De fractie van het N-overschot voor totaal-N en werkzaam-N dat uit de bewortelbare zone van agrarische percelen uitspoelt naar grond- en oppervlaktewater, is te zien in Figuur 3.11. In tegenstelling tot de eerdere data voor de BRP-percelen, zijn deze schattingen gebaseerd op zogenoemde STONE-plots (zie hoofdstuk 2). Het gemiddelde percentage van werkzame N-overschot dat uitspoelt is 24% (Figuur 3.11, rechts). Van de totale N-gift spoelt circa 9% uit richting het watersysteem. De verliezen zijn gemiddeld groter op de zandgronden dan op de kleigronden (in verband met lagere denitrificatieverliezen), en dan ook weer groter op akkerbouwgronden dan op grasland (door hogere opname-efficiëntie). Op een aantal stroken langs het IJsselmeer zijn ook relatief grote verliezen zichtbaar. Op de oudere kleigronden en op veen zijn de verliezen relatief klein, wat komt door een combinatie van grondsoort en het landgebruik (meerjarig gras). Grote verliesfracties betekenen per definitie een groter risico op uitspoeling. Het verlies kan beperkt worden door een kleinere aanvoer van stikstof of een verhoging van de N-benutting via de goede landbouwpraktijk.



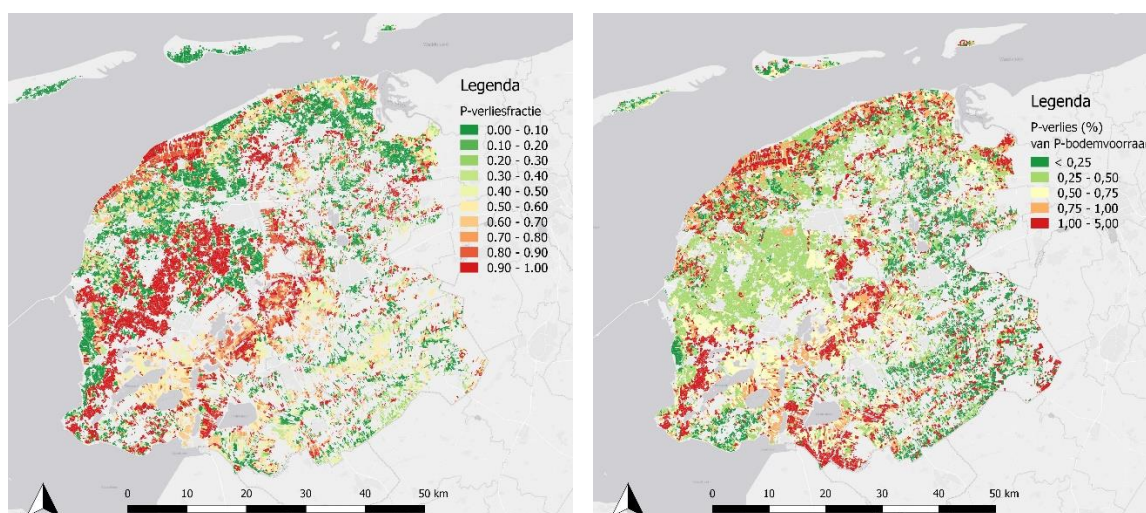
Figuur 3.11. De fractie van het N-bodemoverschot dat uitspoelt naar het watersysteem voor N-totaal (links) en werkzame N (rechts) voor agrarische percelen in WF.

Het fosfaatoverschot (dat wil zeggen het verschil tussen P-aanvoer en P-gewasopname) is gegeven in Figuur 3.12. Het overschot van fosfaat is gemiddeld $7 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Dit overschot is groter op mais ($12 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$) dan op grasland ($7 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$). Dit komt door de lage fosfaatopname in het maisgewas. Op akkerbouw zit de P-balans rond de nul (gemiddeld $-0.6 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$). In tegenstelling tot stikstof is fosfaat een nutriënt waarvan de uitspoeling sterk bepaald wordt door de bodemeigenschappen. Directe verliezen vanuit actuele bemesting treden nauwelijks op omdat de wetgeving en de praktijk uitgaat van een systeem van evenwichtsbemesting (m.u.v. toedieningsverliezen bij ondeskundig gebruik); de bijdrage van actuele bemesting is veelal kleiner dan 10%. Om deze reden geeft een uitspoelingsfractie van het P-overschot eerder een indicatie waar de grootste verliezen op kunnen treden dan dat deze een accuraat beeld geeft van bemesting gerelateerde uitspoelingsverliezen.



Figuur 3.12. Fosfaat bodemoverschot (berekend als aanvoer minus gewasopname).

De gemiddelde verliesfracties van fosfaat (van de P-mestgift en van de P-bodemvoorraad) zijn weergegeven in Figuur 3.13. Als de fosfaatverliezen naar grond- en oppervlaktewater worden uitgedrukt als fractie van de P-gift dan lijkt het alsof 49% van de toegediende fosfaat ook uitspoelt naar het watersysteem. De geschatte verliezen zijn vergelijkbaar tussen de landgebruiken en varieert tussen 44 en 51% voor akkerbouw, mais en grasland. Op veen is de verliesfractie met 66% een stuk hoger dan op kleigronden (49%) en zand (41%). Gebieden met een negatief P-bodemoverschot (akkerbouw in het noorden) krijgen automatisch een verwaarloosbare uitspoelfractie. Als het verlies wordt uitgedrukt als fractie van de P-bodemvoorraad (Figuur 3.13, rechts), dan ligt deze grotendeels onder de 1%. De gemiddelde hoeveelheid fosfaat in de toplaag van de bodem ligt hierbij tussen de 440 en 470 kg P ha⁻¹, terwijl de verliezen gemiddeld 3 kg P ha⁻¹ zijn. Niet geheel opvallend zijn de overeenkomsten met de P-verzadigingsgraad (deze worden in INITIATOR namelijk gebruikt om de P-verliezen te kwantificeren).

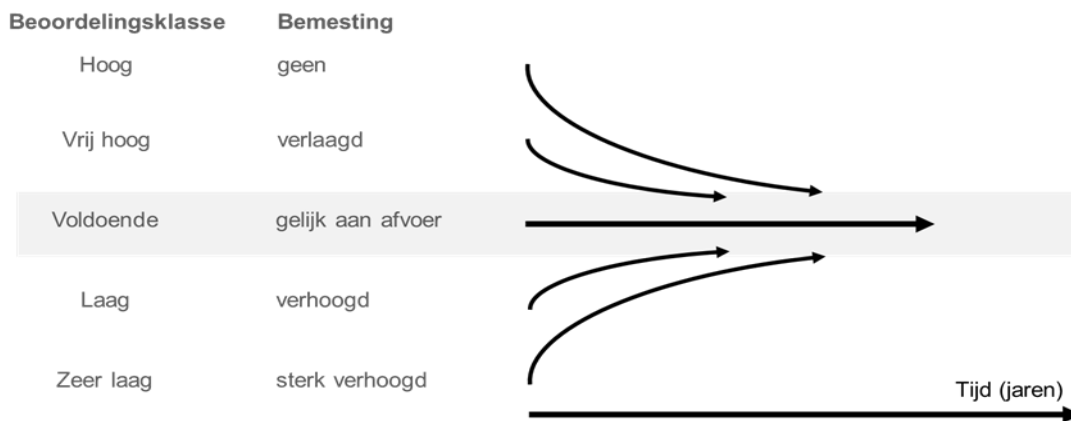


Figuur 3.13. Verliesfractie naar het oppervlakte- en grondwater als deel van gift en van de P-toestand.

4. Achtergrondinformatie

4.1 Bodemvruchtbaarheid

De agronomische behoefte voor stikstof en fosfaat is gebaseerd op gewasbehoefte én de bodemvruchtbaarheid. Het Nederlandse bemestingsadvies en het daarvan afgeleide mestbeleid zijn er namelijk 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 eventuele onvermijdbare verliezen. Afhankelijk van de bodemvruchtbaarheid wordt een correctie hierop aangebracht: bodems die veel nutriënten bevatten mogen minder bemest worden dan bodems die arm zijn aan nutriënten. Dit is in het bijzonder van toepassing op fosfaat. Het onderliggende concept van evenwichtsbemesting wordt gevisualiseerd in figuur 4.1.

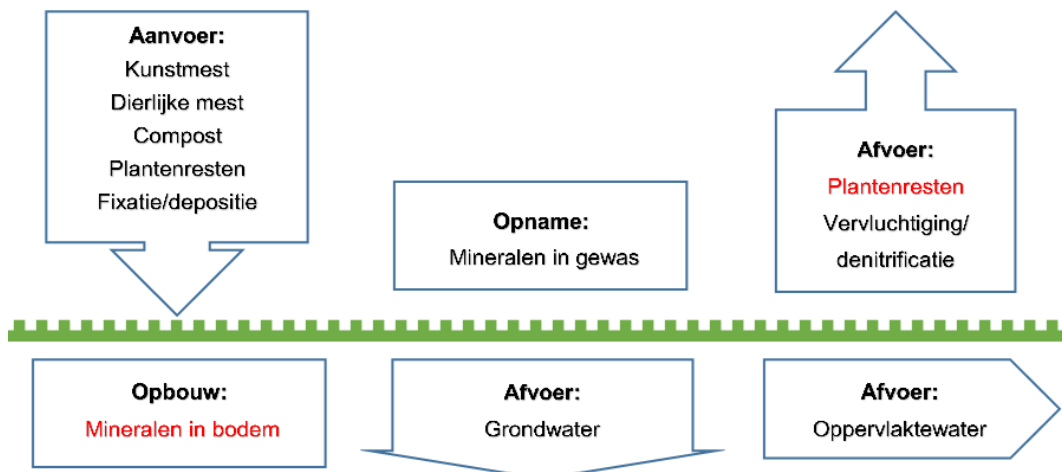


Figuur 4.1. Conceptuele visualisatie van het concept van evenwichtsbemesting.

Naast de hoeveelheid beschikbare nutriënten wordt de bodemkwaliteit in belangrijke mate beïnvloed door de hoeveelheid organische stof in de bodem. Organische stof (OS) is namelijk van belang voor de natuurlijke nutriëntenlevering, stimulering van het bodemleven, de bodemstructuur en het vasthouden van bodemvocht. Onvoldoende aanvoer leidt op den duur tot een verminderde bodemvruchtbaarheid. Organische stofbeheer heeft alles te maken met bemesting en met het beperken van uitspoelen van mineralen. Organische stof kan worden aangevoerd door het telen van een groenbemesters, achterlaten van stro en gewasresten, en aanvoer van mest en organische producten zwarte grond en compost. De *Goede Landbouw Praktijk* streeft naar een positieve organische stofbalans waarbij de afbraak van OS in de bodem wordt gecompenseerd via de aanvoer van organische (mest)producten. Tussen de verschillende bronnen van organische stof bestaan echter grote verschillen in afbraaksnelheid. De bijdrage die ze aan de organische stofaanvoer kunnen leveren is dan ook zeer verschillend. In de agrarische praktijk wordt 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 gewasresten of bermmaaisel is na een jaar bijvoorbeeld nog maar 20% over, terwijl van de organische stof uit compost na één jaar nog bijna 90% over is.

4.2 Overschotten en verliezen

Voor het bodemoverschot van stikstof wordt onderscheid gemaakt tussen het bodemoverschot in werkzame stikstof (de stikstof die ook daadwerkelijk kan uitspoelen) en stikstof-totaal. Werkzame stikstof is stikstof die in het jaar van toediening door een gewas kan worden opgenomen. Voor organische meststoffen zoals dierlijke mest is het de som van stikstof die al aanwezig is in minerale vorm (vooral ammonium-N) en de stikstof die nog organisch gebonden is, maar snel afbreekt (<1 jaar vanaf het tijdstip van toedienen). In de berekening voor het stikstof-totaal bodemoverschot wordt gekeken naar het verschil tussen de totale aanvoer van stikstof (via dierlijke mest, kunstmest en compost) en de gewasopname. Het deel wat niet wordt opgenomen komt terecht in de bodem en kan daar ofwel bijdragen aan bodemopbouw van organische stof ofwel uitspoelen naar het watersysteem ofwel omgezet worden in gasvormige verbindingen (vervluchtiging, denitrificatie). De berekening voor het werkzame stikstof bodemoverschot kijkt daarmee dus naar de stikstof die beschikbaar is voor gewasopname en uitspoeling. De werkzame fractie van de dierlijke mestsoorten ligt gemiddeld op circa 80% van de minerale stikstof en op gemiddeld 50% van het organische deel van varkens- en kippenmest en 20% van het organische deel van rundveemest. Stikstof uit compost heeft een werkzaamheid van 10%. Voor fosfaat is de werkingscoëfficiënt altijd 100%.



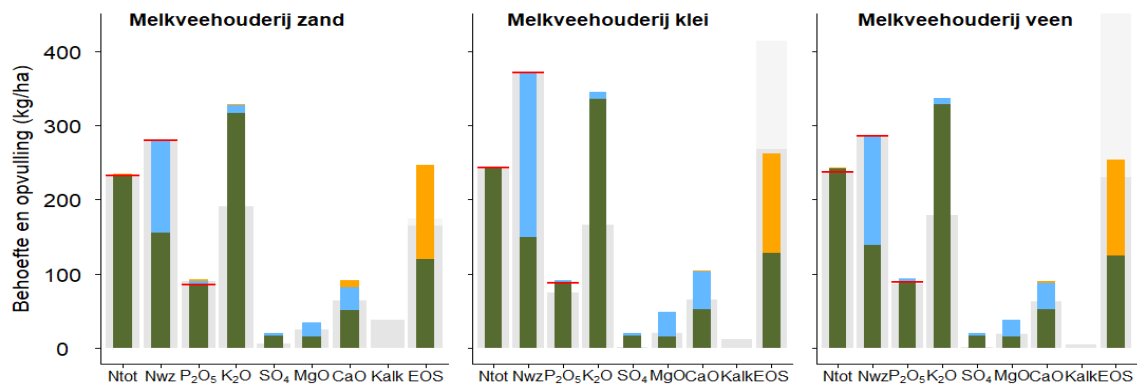
Figuur 4.2. Conceptuele benadering van aan- en afvoer van stikstof en fosfaat gebruikt in deze studie.

Een schematische weergave van de berekening van de overschotten en verliesfracties is weergegeven in figuur 4.2. Op de opbouw in de bodem en afvoer via plantenresten na, zijn al deze bronnen in deze studie in beeld gebracht. Niet alle aanvoer en afvoerposten wordt echter in detail weergegeven. De overschotten zijn gedefinieerd als de (werkzame) aanvoer minus de opname. De verliesfracties voor N en P geven het percentage van het bemestingsoverschot dat uitspoelt naar grond- en oppervlaktewater. Let wel, in deze berekening wordt geen rekening gehouden met het stikstof leverende vermogen (NLV) van de bodem.

4.3 Mineralenbalans op bedrijfsniveau

Ter illustratie wordt hieronder een voorbeeld gegeven van de aanvoer en afvoer van nutriënten die optreden op een gemiddeld melkveehouderijbedrijf in Wetterskip Fryslân (de Vries et al., 2017). De onderliggende data is identiek aan de gegevens gebruikt in deze studie. Voor de drie melkveehouderijbedrijven op zand, veen en klei wordt de volledige gebruiksruimte voor dierlijke mest opgevuld, voor zowel fosfaat als stikstof. Dit betekent concreet dat geen P-kunstmest of compost meer gebruikt kan worden. De aanvoer van kalium overstijgt in alle situaties de gewenste agronomische behoefte. Dit komt grotendeels door de aanvoer van

kalium via drijfmest: bodems met een lage K-toestand komen daarom vrijwel niet voor.

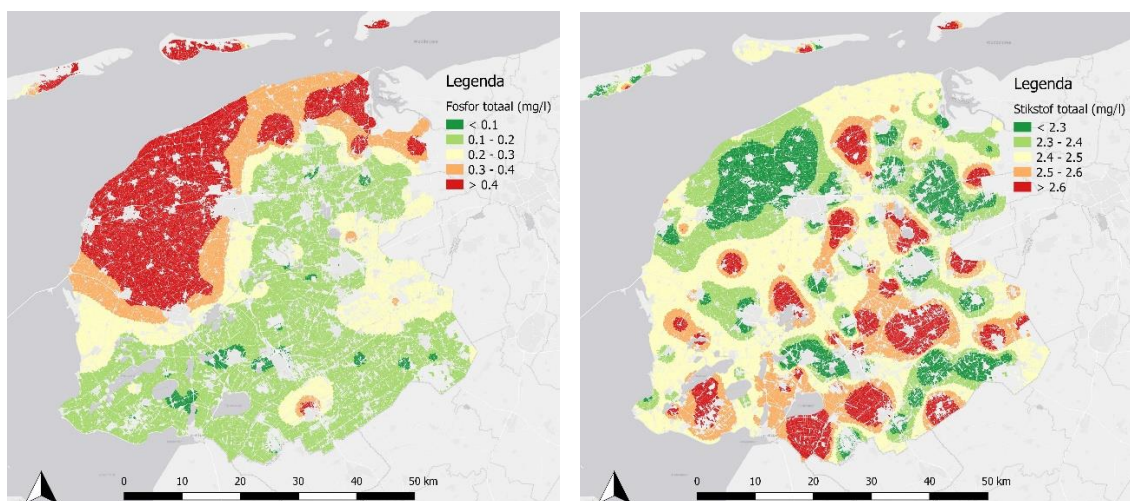


Figuur 4.3. Agronomische behoeften (grijs) en aanvoer van EOS, kalk en nutriënten (in kg ha^{-1}) via dierlijke mest (groen), kunstmest (blauw) en compost/ gewasresten (oranje) voor drie melkveehouderij bedrijfssystemen. De aanvoer van kalk is onbekend. De aanvoer van EOS is om visuele redenen uitgedrukt in eenheden van 10 kg ha^{-1} , waarbij de lichtgrijze balk specifiek inzicht geeft in de C-afbraak uit veen.

Door de inzet van rundveedrijfmest wordt ruim voorzien in de aanwezige behoefte aan fosfaat, kalium, zwavel, magnesium en calcium. De overmaat van kalium met $125\text{--}175 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ is daarbij vanuit de duurzaamheidsgedachte ongewenst. Als de veenafbraak ook gecompenseerd moet worden, moet rekening worden gehouden met een extra EOS-aanvoer van 1516 (klei) tot 6668 (veen) kg ha^{-1} . Als dit tekort niet wordt gecompenseerd, dan zal bij ongewijzigd management het OS-gehalte in 10 jaar dalen met 1,5% op klei en 6,6% op veen (absolute daling in organische stofpercentages).

4.4 Ruimtelijke variatie waterkwaliteitsmeetpunten

Door middel van een simpele analyse van watermetingen tussen 2011 en 2016 (afkomstig van het Waterkwaliteitsportaal 2.6.2.) zijn twee kaarten gemaakt die de ruimtelijke variatie in het meerjarig gemiddelde fosfor en stikstof (totaal) concentratie in het oppervlaktewater illustreren. Dit geeft slechts een globale indicatie van de ruimtelijke variatie in fosfor en stikstofconcentraties in het beheergebied.

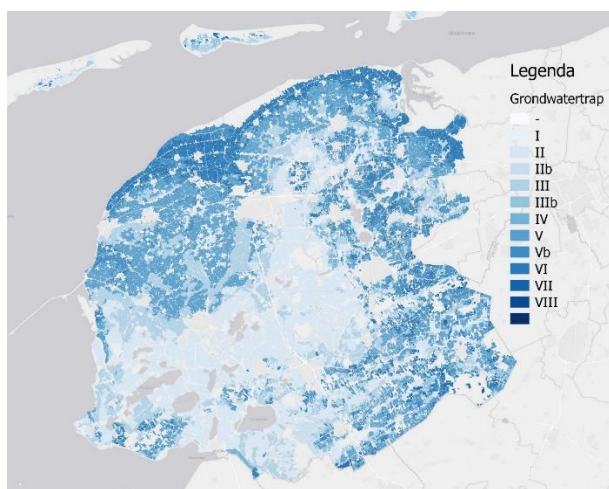


Figuur 4.4. Ruimtelijke verdeling van de gemiddelde van fosfor (links) en stikstof (rechts) totaal metingen in het water, gebaseerd op data tussen 2011 en 2016, afkomstig van <https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/>

Om deze kaart te maken zijn alle metingen van fosfor- en stikstofgehalten geselecteerd die in de jaren 2011-2016 zijn uitgevoerd. Deze metingen zijn (waar mogelijk) gekoppeld aan de ruimtelijke locatie van het meetpunt. Aanwezige uitschieters (extreme metingen) zijn vooraf verwijderd. Van elk meetpunt is vervolgens het gemiddelde gehalte berekend. De meetpunten zijn ruimtelijk gevisualiseerd, waarbij de ruimtelijke spreiding binnen het beheergebied is geschat via ordinary kriging op een ruimtelijke resolutie van 250 x 250m. Let wel, deze kaart is indicatief omdat er geen rekening is gehouden met de eigenschappen van het watersysteem (gebiedskennis is nodig om inhoudelijke relatie te leggen met bronnen van nutriënten).

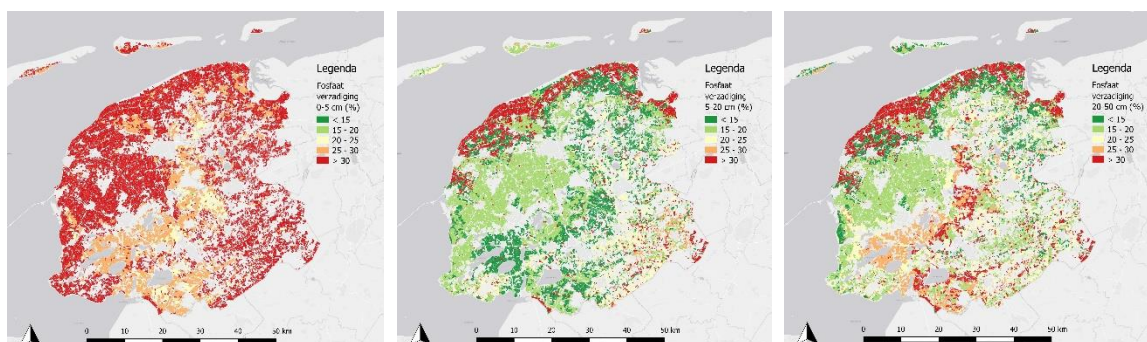
4.5 Overige kaarten

Hieronder wordt de variatie in grondwatertrap binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân weergegeven.



Figuur 4.5. Ruimtelijke verdeling grondwatertrappen in Wetterskip Fryslân.

Hieronder wordt de variatie weergegeven in de P-verzadigingsgraad voor drie verschillende dieptes.



Figuur 4.6. De fosfaatverzadigingsgraad conform metingen van *WenR*. Van links naar rechts gaat dit om de fosfaatverzadiging op de dieptes 0 – 5 cm, 5 – 20 cm en 20 – 50 cm (kleuren gebaseerd op 20 – 50 cm).

5. Referenties

- Bussink DW, Holshof G, Hoekstra NJ, Van Eekeren N en GH Ros (2016). Verbeterde bemestingsadviezen voor grasland. NLVplus of een nieuwe systematiek van advisering. CBGV rapport, 46 pp.
- De Vries W, Kros H, Voogd JC, Van Duijvendijk K en GH Ros (2017). Kansen voor het sluiten van de mineralenbalans in Noord-Nederland. Effecten op regionale schaal en bedrijfsschaal. Alterra rapport. In prep.
- De Vries W, Kros H, Oenema O en J de Klein (2003). Uncertainties in the fate of nitrogen II: A quantitative assessment of the uncertainties in major nitrogen fluxes in the Netherlands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66 (1), 71-102.
- Gies TJA, Van Os J, Smidt RA, Naeff HSD en EC Vos (2015). Geografisch Informatiesysteem Agrarische Bedrijven (GIAB): gebruikershandleiding 2010. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. <http://edepot.wur.nl/355682>.
- Kros H, Groenendijk P, Van Os J, Van Bruggen C, Ros GH, et al. (2017). Ruimtelijke allocatie van mesttoediening en ammoniakemissie. Beschrijving mestverdelingsmodule INITIATOR. Alterra rapport. In prep.
- Kros, J, Frumau KFA, Hensen A en W de Vries (2011). Integrated analysis of the effects of agricultural management on nitrogen fluxes at landscape scale. *Environ. Pollut.* 159 (11), 3171-3182.
- Reijneveld A (2013) Unravelling changes in soil fertility of agricultural land in the Netherlands. PhD-thesis Wageningen University, 277 pp.
- Ros GH & N van Eekeren (2016) Evaluatie NLV-concept op grasland. Is een update nodig? CBGV rapport 2, 36 pp.
- Ros GH, Voogd JC, Brolsma K en J Kros (2017). Bodem- en bemestingskaarten Hunze & Aa's. NMI-rapport 1694.N.17, 12 pp.
- Schoumans OF (2004). Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 730.4., 50 pp.
- Schoumans OF, Groenendijk P, van der Salm C & P Pleijter (2008) Methodiek voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronden; PLEASE; technische beschrijving. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1724, 76 pp.
- TCB (2007) Advies fosfaatverzadiging in landbouwbodems. Technische Commissie Bodembescherming, 32 pp.
- Van Reijneveld A (2013) Unravelling changes in soil fertility of agricultural land in the Netherlands. PhD thesis Wageningen University, 227 pp.



www.nmi-agro.nl

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