

Fosfaatroutes van perceel naar bedrijfssloot

**Detailmetingen op een veehouderij bij Winterswijk
ten behoeve van maatregelen**



Fosfaatroutes van perceel naar bedrijfssloot

**Detailmetingen op een veehouderij bij Winterswijk ten
behoefte van maatregelen**

Joachim Rozemeijer
Bas van der Grift
Rianne van den Meiracker

Titel

Fosfaatroutes van perceel naar bedrijfssloot

Project

11201135-000

Kenmerk

11201135-000-BGS-0006

Pagina's

35

Trefwoorden

Fosfaat, Nutriënten, Landbouw, Bodem, Oppervlaktewaterkwaliteit

Er zijn al grote inspanningen gedaan om de waterkwaliteit te verbeteren, maar om de Europese doelen voor oppervlaktewaterkwaliteit op tijd te halen zijn verdere inspanningen nodig. Het doel van dit project was het in kaart brengen van de voornaamste transportroutes van fosfaat op bedrijfsniveau om op basis daarvan richtlijnen op te stellen voor de meest effectieve maatregelen voor: (1) de vermindering van de uit- en afspoeling fosfaat en (2) hergebruik van het fosfaat dat naar het oppervlaktewater is uitgespoeld en in de waterbodembodem is geborgen.

In deze studie zijn voor een representatieve Achterhoekse veehouderij de belangrijkste transportroutes van nutriënten met detailmetingen in beeld gebracht en zijn op basis daarvan de meest effectieve maatregelen ter vermindering van nutriëntenverliezen geïdentificeerd. De detailmetingen bestonden uit continue metingen van afvoer, grondwaterstanden, troebelheid, nitraat, P-totaal en TRP en uit de bemonstering van bodem, grondwater, drainwater en oppervlaktewater.

Voor fosfaat is de door jarenlange bemesting opgeladen bouwvoor de belangrijkste bron. De totale bodemvoorraad in de bouwvoor (0-30 cm) op de huiskavels is vastgesteld op 63.202 kg (2633 kg/ha). Van deze voorraad is 2% goed oplosbaar (Pw-getal) en is 25% matig oplosbaar (PAL-getal). Het fosfaat kan via oppervlakkige afstroming en erosie in de sloot terecht komen. Behalve enige erfafspoeling en wegafstroming is er in het afvoerseizoen 2018/2019 echter nauwelijks sprake geweest van oppervlakkige afspoeling. Fosfaat komt ook in opgeloste vorm via het grondwater in de sloot en wordt dan vastgelegd in de waterbodembodem (binding met ijzer(hydr)oxides). Dit is in het relatief droge afvoerseizoen 2018/2019 het belangrijkste proces geweest. Voor het verdere transport naar benedenstrooms oppervlaktewater is de remobilisatie en afvoer van fosfaatrijk sediment tijdens afvoerpieken een belangrijk proces. De continue metingen laten concentratiepieken zien tijdens afvoerpieken. In het voorjaar zijn dag-nacht fluctuaties in de fosfaatconcentraties vastgesteld, die samenhangen met activiteit van (waarschijnlijk benthische) algen. In totaal is in het relatief korte afvoerseizoen van december 2018 tot april 2019 een vracht van 0,9 kg fosfaat weggespoeld via het oppervlaktewater, wat een kleine fractie is van de totale fosfaatvoorraad in de bodem.

Het afvangen en hergebruiken van fosfaatrijk sediment kan de belasting van het benedenstroomse oppervlaktewater voor een groot deel voorkomen. Het afvangen van sediment is goed te combineren met waterberging, bijvoorbeeld met boerenstuwen, op te stuwen duikers, bezinkgreppels -en poeltjes en/of plaatselijk verbrede en verdiepte sloten. Hiernaast draagt een gezonde bodem (bodemleven, organisch stofgehalte, structuur) bij aan zowel het vasthouden van water als van nutriënten (meer infiltratie, hogere opname-efficiëntie).

Bij het onderzoek is ook aan stikstof gemeten en daarbij blijkt nitraat veruit de belangrijkste component te zijn in het grond- en oppervlaktewater. De continue metingen laten hogere nit

Titel

Fosfaatroutes van perceel naar bedrijfssloot

Project

11201135-000

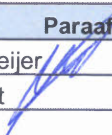
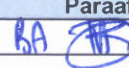
Kenmerk

11201135-000-BGS-0006

Pagina's

35

Aangezien het grootste deel ($\frac{2}{3}$) van het neerslagoverschot gedurende het afvoerseizoen infiltreert naar het grondwater, verwachten we dat ook het grootste deel van het stikstofoverschot naar het grondwater uitspoelt. Ook deze verliezen zijn te verminderen door de bodemgezondheid te verbeteren. De gewaskeuze, de timing van de bemesting en de hoeveelheid en het type mest zijn hierbij echter ook bepalend. Blijvend grasland en zuinige bemesting met organische mest in warme en niet te natte perioden zijn daarbij optimaal. De nitraatvrachten naar het oppervlaktewater zijn te verminderen met eenvoudige denitrificatiereactoren met bijvoorbeeld houtsnippers.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	jul. 2019	Joachim Rozemeijer		Gemma Spaak		Marijn Kuijper	
		Bas van der Grift					
		Rianne van den Meiracker					

Status

definitief

Inhoud

1	Introductie	2
1.1	Aanleiding	2
1.2	Doel	4
1.3	Aanpak	5
1.4	Leeswijzer	5
2	Locatie en methoden	7
2.1	Locatiebeschrijving	7
2.2	Knelpunten en kennisleemten	9
2.2.1	Regionale knelpunten	9
2.2.2	Knelpunten op het bedrijf	10
2.3	Metingen	12
2.3.1	Continue metingen (april 2018 – april 2019)	12
2.3.2	Bemonstering	13
3	Meetresultaten	16
3.1	Continue metingen	16
3.2	Vrachten	20
3.3	Waterbalans	21
3.4	Bemonstering	22
3.4.1	Bodem	22
3.4.2	Sediment, grondwater, drainwater, slootwater	24
4	Discussie	27
4.1	Beantwoording onderzoeksvragen	27
4.2	Representativiteit	29
4.3	Nieuwe kennis	29
5	Conclusies en aanbevelingen	31
6	Literatuur	32
	Bijlage(n)	
A	Meetreeksen hydrologie en waterkwaliteit	33
B	Fosfaatgehaltes bodem	35

1 Introductie

1.1 Aanleiding

Mede door de intensieve landbouw vormen nutriënten een belangrijk knelpunt voor het bereiken van de doelen van de Europese Kaderrichtlijn Water. Tegelijk zijn nutriënten waardevolle voedingsstoffen voor het behoud van de bodemvruchtbaarheid. In deze studie richten we ons vooral op het nutriënt fosfaat, wat in veel oppervlaktewateren in Nederland nog een probleemstof vormt en voor excessieve groei van waterplanten en/of giftige algen kan zorgen. In samenwerking met Waterschap Rijn en IJssel en de Provincie Gelderland richten we ons hierbij op de uitspoelingsgevoelige zandgronden op het Oost-Nederlandse plateau.

Er zijn in Nederland al grote inspanningen gedaan om de waterkwaliteit te verbeteren, maar om de Europese doelen voor oppervlaktewaterkwaliteit op tijd te halen zijn verdere inspanningen nodig. Uit de evaluatie van de Meststoffenwet (EWM) die door het Planbureau voor de Leefomgeving is gepubliceerd (PBL, 2017) blijkt dat in grote delen van Nederland de aanvoer van fosfaat naar de bodem via landbouw al grotendeels is teruggebracht. De in 2014 aangescherpte gebruiksnormen voor mest zorgen er voor dat er op het Nederlandse landbouwareaal gemiddeld geen verdere ophoping meer is van fosfaat in de bodem. Ook in de Achterhoek blijkt er vanuit de melkveehouderij gemiddeld een netto onttrekking van fosfaat op te treden, getuige de resultaten van de Kringloopwijzers over de periode 2014 t/m 2016 (bron: Vruchtbare Kringloop Achterhoek en Liemers). Door jarenlange bemesting is de bodemvoorraad echter nog steeds groot. Daardoor blijft het belangrijk om het risico op fosfaatverliezen naar oppervlaktewater te beperken om waterkwaliteitsdoelen in het gehele watersysteem te kunnen halen.

De fosfaatvoorraad die zich door de landbouwhistorie al in de (toplaag van de) bodem bevindt is, naast de actuele bemesting, een belangrijke bron van fosfaat in het oppervlaktewater. Voor de verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit en het behouden van de bodemvruchtbaarheid op de langere termijn is het wenselijk om de uit- en afspoeling van fosfaat uit de bodem te reduceren en (indien mogelijk) het uitgespoelde fosfaat zoveel mogelijk in de perceelsslots af te vangen, te benutten en/of terug te winnen. Uit recent afgerond promotieonderzoek (Van der Grift, 2017) blijkt dat er, afhankelijk van de lokale (ijzerrijke) omstandigheden, gunstige condities kunnen zijn om uitgespoeld fosfaat in stroomgebieden vast te leggen in het sediment. Dit biedt potentieel de mogelijkheid voor hergebruik van uitgespoeld fosfaat waarmee de bodemvruchtbaarheid ook onder condities van verminderde mestgiften op langere termijn in stand kan worden gehouden.

Voor het ontwerp en de optimalisatie van effectieve maatregelen voor behoud van bodemvruchtbaarheid en verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit is het belangrijk te weten in welke chemische vorm het fosfaat in de bodem, grondwater en oppervlaktewater voorkomt (zie tekstbox 1). Dit heeft namelijk belangrijke gevolgen voor het transport (wanneer en via welke routes komt fosfaat in het oppervlaktewater) en de biobeschikbaarheid van fosfaat. Een aantal voorbeelden:

- De afvoer van fosfaat lijkt sterk seizoensafhankelijk te zijn, waarbij vooral de hoeveelheid neerslag en verdamping een grote rol speelt;
- Wanneer fosfaat zich bindt aan ijzer (dat van nature in het grondwater aanwezig is), is het veel minder beschikbaar voor opname door bijvoorbeeld algen en ook veel minder mobiel;

- Fosfaatverliezen via drainage of oppervlakkige afvoer zijn sterk afhankelijk van neerslag en lokale bodemkarakteristieken.

Over deze processen is in de afgelopen jaren meer duidelijk geworden (zie bijvoorbeeld Rozemeijer en Van der Velde, 2014; Van der Grift, 2017). Zo kan ijzerhoudend grondwater het fosfaat dat uit de bodem spoelt op een natuurlijk manier minder schadelijk maken. IJzer en fosfaat opgelost in (grond)water kunnen samen omgezet worden naar het mineraal ijzer-hydroxidefosfaat. Het Nederlandse watersysteem met polders, gestuwde beken en rustig stromende sloten en vaarten helpt vervolgens dit fosfaat in de waterbodem vast te houden. Met een optimalisatie in het beheer van sloten en/of aanleg van overstromingsvlaktes kan mogelijk een aanzienlijk deel van het uitgespoelde fosfaat als sediment worden afgevangen en weer op de bodem worden teruggebracht en dus als meststof dienen. Echter, voor de toepasbaarheid naar maatregelen om uit- en afspoeling van fosfaat te verminderen en eventueel uitgespoeld fosfaat binnen een gebied te recyclen is op lokale schaal meer gerichte kennis nodig. Er is gebleken dat lokaal grote verschillen in effecten kunnen optreden in uit- en afspoeling van fosfaat, die onder meer samen lijken te hangen met de bodemopbouw, de chemische samenstelling van het grondwater en de inrichting van het oppervlaktewatersysteem. Daarnaast zijn er nog vragen over de beschikbaarheid van het fosfaat afkomstig uit de waterbodem voor opname door het gewas.

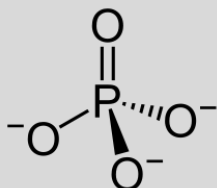
Tekstbox 1: fosfor fracties

Fosfor is een behoorlijk ingewikkeld element. Puur 'elementair' fosfor (P) is zeldzaam. In natuurlijke milieus maakt fosfor onderdeel uit van het fosfaat molecuul ofwel ortho-fosfaat (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}). In de bodem en het oppervlaktewater komt fosfor voor als organisch fosfaat en anorganisch fosfaat. Organisch fosfaat bestaat uit een fosfaat molecuul in verbinding met organische moleculen (koolstof verbinding), zoals in dierlijke of plantaardige weefsels. Fosfaat dat niet in verbinding is met organisch materiaal is anorganisch fosfaat.

Organisch en anorganisch fosfaat kunnen zowel opgelost als aan deeltjes gebonden voorkomen. De scheiding tussen opgelost en deeltjes gebonden is operationeel bepaald door filtratie van het monster. Vaak wordt hiervoor een filter met een poriegrote van $0,45\ \mu\text{m}$ of $0,7\ \mu\text{m}$ gebruikt. Fosfaat gebonden aan hele klein deeltjes wordt colloïdaal of nanoparticulair fosfaat genoemd. Er zijn dus in de praktijk drie fracties: opgelost, colloïdaal en particulier die zowel uit organisch als anorganisch fosfaat kunnen bestaan.

Organische P verbindingen kennen een hoge mate van diversiteit. Voorbeelden van eenvoudige organisch P verbindingen zijn fytinezuur (bestanddeel van planten), adenosinetrifosfaat (ATP), ribonucleïnezuur (RNA) en desoxyribonucleïnezuur (DNA).

Anorganische P verbindingen bestaan uit fosfaat geadsorbeerd aan het oppervlak van anorganisch deeltjes (zoals metaal oxides of hydroxides, kleimineralen, CaCO_3 deeltjes en complexen van Al of Fe met organisch materiaal) of fosfaat in precipitaten (bezinksel) zoals ijzer hydroxyfosfaten en calcium-fosfaten.



1.2 Doel

De dynamiek in fosfaattransport is het resultaat van een complex geheel van fysische, chemische en biologische processen in het bodem/water systeem dat begint bij uitspoeling vanuit de bodem en zo ongeveer eindigt bij nalevering van fosfaat vanuit de oppervlaktewaterbodem. Lokale kennis van deze processen is de sleutel om een optimaal maatregelenpakket te ontwikkelen om fosfaatverliezen vanuit de bodem naar stroomafwaarts gelegen gebieden te reduceren.

Het doel van dit project was het in kaart brengen van de voornaamste transportroutes van fosfaat op bedrijfsniveau om op basis daarvan richtlijnen op te stellen voor de meest effectieve maatregelen voor: (1) de vermindering van de uit- en afspoeling fosfaat en (2) hergebruik van het fosfaat dat naar het oppervlaktewater is uitgespoeld en in de waterbodem is geborgen. Kennis over deze transportroutes draagt op twee manieren bij aan een duurzaam beheer van de bodem en verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit. Ten eerste kunnen de fosfaatverliezen via oppervlaktewater vanaf het bedrijf worden geminimaliseerd en daarmee de P-kringloop op bedrijfsniveau zoveel mogelijk worden gesloten. Ten tweede kan het fosfaat dat in de drainagesloten wordt vastgehouden hergebruikt worden op de bodem en dus bijdragen aan het in stand houden van de bodemvruchtbaarheid. Voor de verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit en het behouden van de bodemvruchtbaarheid op de langere termijn is het wenselijk om de uit- en afspoeling van fosfaat uit de bodem te reduceren en (indien mogelijk) en het uitgespoelde fosfaat zoveel mogelijk in een stroomgebied te bergen en terug te winnen.

Voor het nemen van effectieve maatregelen is het van groot belang om de omvang en routes van het getransporteerde fosfaat te kennen. De belangrijkste bron voor fosfaat in het oppervlaktewater is de uit- en afspoeling van fosfaat die zich al in de (toplaag van de) bodem bevindt. De uit- en afspoeling van fosfaat is zowel ruimtelijk als temporeel sterk variabel. De onderzoeksvragen zijn:

- Waar komt het uitspoelende fosfaat vandaan, wat zijn fosfaatrijke plekken op het bedrijf, via welke routes komt het in de sloot?
- Wanneer spoelt fosfaat weg en hoe hangt dit samen met bijvoorbeeld de neerslag, afvoer en grondwaterstanden?
- Hoe verhoudt de uit- en afspoeling van fosfaat zich tot de uit- en afspoeling van nitraat?
- Hoe en waar kan fosfaat worden teruggewonnen uit het oppervlaktewatersysteem?
- Hoe kan het vasthouden van water samengaan met het verminderen van nutriëntenverliezen?

Het project sluit nauw aan bij de activiteiten van Vruchtbare Kringloop Achterhoek en Liemers (VKA), een samenwerkingsverband tussen LTO Noord, Waterschap Rijn en IJssel, ForFarmers, Vitens, FrieslandCampina, Rabobank en Provincie Gelderland die zich richt op Kringlooplanbouw en duurzaam water- en bodembeheer. Binnen deze werkgroep werken meer dan 250 melkveehouders aan het verbeteren van de vruchtbaarheid van hun bodem. Voor het verbeteren van de oppervlaktewaterkwaliteit wil VKA samen met het Waterschap Rijn en IJssel concrete doelen stellen en nagaan hoe de fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater het beste zijn te verminderen.

1.3 Aanpak

Op basis van het samenbrengen van bestaande kennis en toepassing op de regionale situatie in de Achterhoek, veldmetingen, en ervaringen uit de praktijk zal een uitspraak worden gedaan over de belangrijkste routes, omvang en vorm van fosfaat dat van bodem naar oppervlaktewater stroomt. De stapsgewijze aanpak is als volgt:

- **Samenbrengen van bestaande kennis en toepassing op regionale situatie**

Recent onderzoek heeft kennis opgeleverd over het transport van fosfaat in stroomgebieden. Deze kennis zal in deze eerste stap worden samengebracht en vertaald naar de lokale situatie bij de melkveehouderij van Maatschap Reijmes-Tolkamp in Huppel bij Winterswijk (Achterhoek).

- **Veldmetingen**

Op een beperkt aantal locaties worden metingen uitgevoerd om de onderzoeksvragen te beantwoorden. Daartoe zal nauw worden samengewerkt tussen Deltares, de melkveehouder en het Waterschap Rijn en IJssel. Relevante parameters zijn: afvoerdebieten, fosfaatconcentraties en fosfaatspeciatie (d.w.z. de beschikbaarheid voor opname door het gewas). Recent onderzoek heeft aangetoond dat het continue of hoog-frequent meten van waterkwaliteitsparameters zeer waardevol is in het ontrafelen van bronnen en transportroutes van nutriënten in stroomgebieden. Deltares heeft beschikking over apparatuur om dit gedurende een langere periode (maanden) te kunnen doen.

- **Analyse van resultaten en vertaling naar transportroutes en maatregelen**

De resultaten van de veldmetingen zijn geanalyseerd en op basis hiervan wordt beschreven via welke transportroutes en in welke vorm het fosfaat zich voornamelijk van de bodem naar het oppervlaktewater beweegt. Deze transportroutes worden gekoppeld aan kenmerkende sleutelfactoren in bodemopbouw, hydrologie, grondwatersamenstelling etc. die bepalend zijn voor deze transportroutes. Vervolgens zal deze kennis vertaald worden in een uitspraak van de meest effectieve maatregelen om fosfaatverliezen uit landbouwbodem te verminderen, inclusief de mogelijkheden om het uitgespoelde fosfaat in een gebied te bergen en te hergebruiken.

- **Vertaling van de resultaten naar andere gebieden**

De resultaten van dit onderzoek zijn naar verwachting waardevol voor andere gebieden binnen de provincie Gelderland. Effectieve maatregelen om fosfaatverliezen uit landbouwgronden te verminderen zijn immers in veel gebieden gewenst. Vooral op het Oost-Nederlands Plateau (globaal ten oosten van de lijn Eibergen, Groenlo en Aalten) waar de onderzoekslocatie deel van uit maakt, is het risico op versnelde afspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater relatief groot door de beperkte bodemopbouw (ondiepe tertiaire klei of keileem), snelle afvoer en de grotere variatie aan maaiveldhoogteligging (hellende percelen). Hetzelfde geldt voor delen de Duitse en Zuid-Nederlandse zandgronden.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport geeft een beknopte beschrijving van de resultaten van dit onderzoek. De focus van het project lag op het verzamelen van meetinformatie voor het in kaart brengen van transportroutes van fosfaat. Na deze introductie beschrijven we de onderzoekslocatie en de toegepaste meetmethoden in hoofdstuk 2. Vervolgens presenteren en interpreteren we de meetresultaten (hoofdstuk 3). In hoofdstuk 4

(discussie) gaan we in op de beantwoording van de onderzoeksvragen. Tenslotte beschrijven we de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 5.

2 Locatie en methoden

2.1 Locatiebeschrijving

De onderzoekslocatie is gelegen in Huppel, een buurtschap ten noordoosten van Winterswijk, 1 km van de Duitse grens (zie figuur 2.1). De Maatschap Tolkamp-Reijmes is voor de regio een representatieve veehouderij met ongeveer 120 melkkoeien en ongeveer 60 hectare land. De huiskavels (24 ha) bestaan voor tweederde uit grasland. Op de andere helft staan afwisselend gewassen zoals maïs, bieten en aardappelen.

Een groot praktisch voordeel van de locatie is dat alle afstroming van het bedrijf samenkomt in 1 'bedrijfseigen' sloot. De slootafvoer is afkomstig van twee sloten, één gelegen langs de weg en één die vanuit het zuidoosten en langs het erf hierop afwatert (zie figuur 2.2). Een deel van de percelen is gedraineerd. Het vanggebied van de sloot komt ongeveer overeen met het areaal van de huiskavels van het bedrijf. De sloot voert af richting het westen naar de Modderbeek, de Beurzenbeek en komt vervolgens uit in de Groenlose Slinge. De Groenlose Slinge watert via de Berkel en een stukje Twentekanaal af op de IJssel.

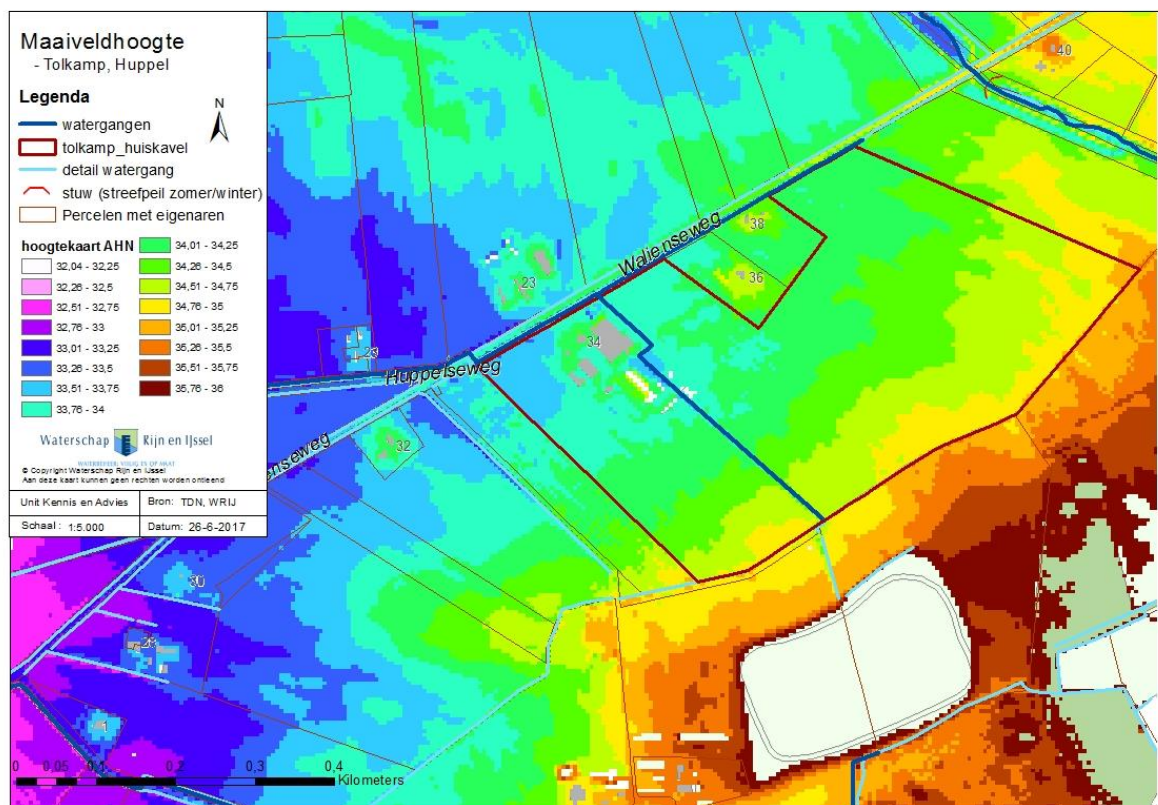
Het bedrijf ligt relatief hoog in het landschap, op circa 33.5-35m boven NAP (zie figuur 2.3). Het oostelijke deel van het bedrijf ligt het hoogst en het westelijke deel het laagst. De ondergrond bestaat uit een relatief dun (~10m) freatisch fluvio-glaciaal zandpakket dat ligt op een dikke, zeer slecht doorlatende mariene kleilaag uit het Mioceen. De bovenste bodem bestaat uit een ongeveer 30 cm dikke bouwvoor met organisch materiaal met daaronder organisch arm en lokaal ijzerrijk zand.



Figuur 2.1 Onderzoekslocatie (omcirkeld) ten noordoosten van Winterswijk



Figuur 2.2 Satellietbeeld van de onderzoekslocatie met watergangen (blauw) en locatie van de continue waterkwaliteitsmetingen (rode stip)



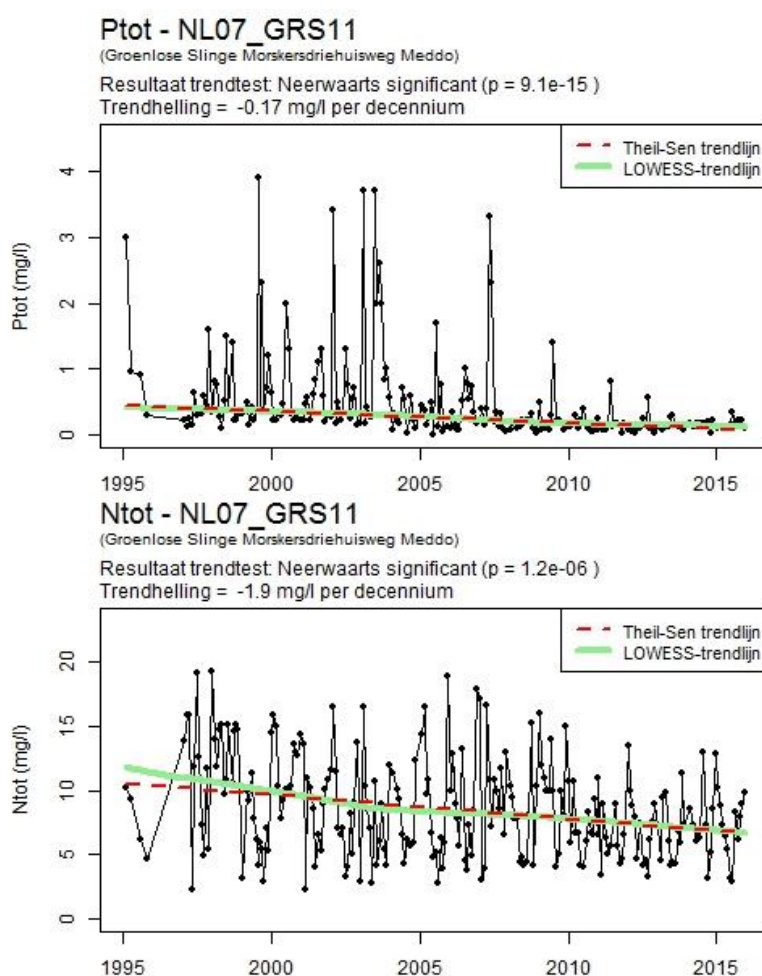
Figuur 2.3 Maaiveldhoogtekaart

2.2 Knelpunten en kennisleemten

2.2.1 Regionale knelpunten

Op regionaal niveau werkt het waterschap aan problemen met droogte, wateroverlast en waterkwaliteit. De hoge zandgronden in combinatie met relatief ondiep liggende slecht doorlatende lagen reageren snel op neerslag, wat kan zorgen voor wateroverlast in slecht afwaterende delen. De snelle afvoer in natte perioden werkt ook droogte in de hand in de zomerperiode. Dit zorgt regelmatig voor droogteschade in landbouw en natuur.

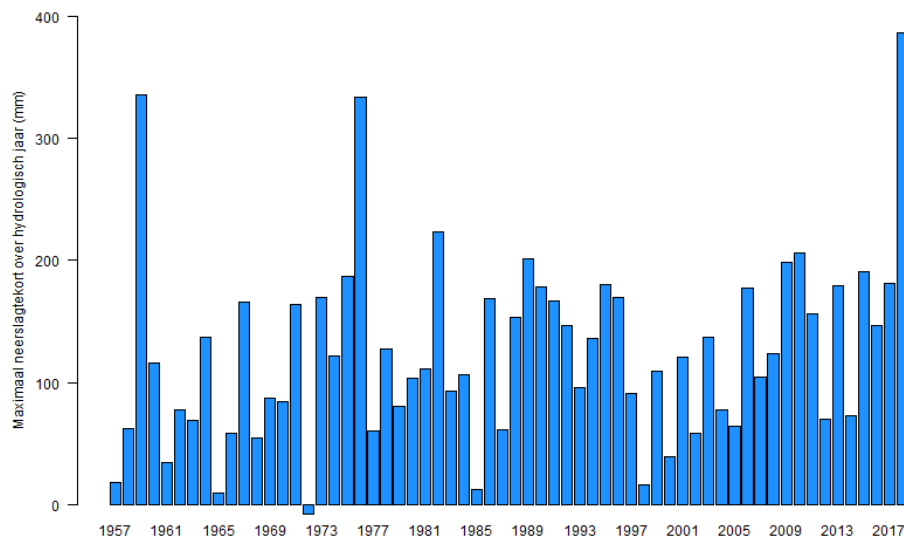
De waterkwaliteit in de benedenstroomse Groenlose Slinge voldoet niet aan de waterkwaliteitsdoelen van de Kaderrichtlijn Water. De afgelopen decennia laten de concentraties zowel voor P-totaal als voor N-totaal wel een neerwaartse trend zien (zie figuur 2.4). Voor N-totaal is het KRW-oordeel echter nog 'Ontoereikend'. Voor P-totaal is het KRW oordeel 'Matig'. Voor P heeft ook de grote vracht tijdens afvoerpieken invloed op de ecologie benedenstreams. Binnen het beheersgebied van waterschap Rijn en IJssel komt dit tot uiting door excessieve plantengroei bij stuwen, waar het water vrijwel stilstaat en de waterbodem wordt opgeladen met P. In de Groenlose grachten zorgt het overschot aan nutriënten vanuit de Groenlose Slinge voor jaarlijkse overlast met blauwalgen in de zomer. De nutriëntenconcentraties en -vrachten in de Groenlose Slinge worden zowel beïnvloedt door landbouw als door effluent van waterzuiveringsinstallaties en vanuit een kleine afvoer vanuit Duitsland.



Figuur 2.4 Trends in P-totaal- en N-totaalconcentraties in de Groenlose Slinge.

2.2.2 Knelpunten op het bedrijf

Ook op bedrijfsniveau vormen droogte en wateroverlast belangrijke knelpunten. Ten tijde van dit onderzoek ervaarde de agrariër met name last van de extreme droogte van 2018. Het regionale neerslagtekort in de Achterhoek was sinds het begin van de metingen (1957) nog nooit zo groot geweest (zie Figuur 2.5).





Figuur 2.6 a: opgezet slootpeil door een duiker met afsluitbal (opblaasslangetje zichtbaar), b: opzetstuk op duiker bij de erfsloot, c: natte omstandigheden met plasvorming op het laaggelegen westelijke deel van het bedrijf in de winter van 2018.

In de winter van 2018 waren de omstandigheden nog vrij nat (zie figuur 2.6c). Agrariërs in de regio ervaren regelmatig wateroverlast in het voorjaar (bemesting, eerste landwerking), in de zomer (lokale wateroverlast door zomerse warmteonweer), of in het najaar (oogst). Naast het vasthouden van water blijft een goede bodemstructuur en goede drainage daarom ook van belang.

Voor wat betreft de waterkwaliteit ervaart de agrariër geen directe nadelige consequenties. Indirect zorgt de mestwetgeving wel voor restricties die invloed hebben op de bedrijfsvoering. De agrariër is bereid om kostenneutrale maatregelen te nemen die de waterkwaliteit ten goede komen. De afsluiting opstuwing van de erfsloot met het bochtstuk (figuur 2.6b) dient deels ter verbetering van de waterkwaliteit. Nutriëntenrijke afspoeling vanuit de voerkuilen komt in deze sloot terecht en worden voor een deel vastgelegd of afgebroken.

2.3 Metingen

Op het bedrijf zijn in 2018 en het voorjaar van 2019 metingen verricht om de temporele en ruimtelijke variaties in fosfaatconcentraties in beeld te brengen. Hieronder gaan we eerst in op de continue metingen van hydrologie en nutriëntenconcentraties. Vervolgens gaan we in op de bemonsteringen, waarmee de ruimtelijke situatie op het bedrijf is onderzocht.

2.3.1 Continue metingen (april 2018 – april 2019)

Bij de sloot op het meest westelijke punt van het bedrijf (zie ook figuur 2.2) is een meetopstelling opgebouwd voor continue metingen van de afvoer, troebelheid, P-totaal, TRP en nitraat (NO_3). TRP staat voor totaal reactief fosfaat en komt overeen met opgelost fosfaat (ortho-P / PO_4) plus een kleine fractie zeer makkelijk oplosbaar gebonden P. Langs het pad ten oosten van het erf staat een meetlocatie waar continu de grondwaterstanden gemeten worden. De afvoer is gemeten met behulp van een V-vormige stuw en een waterdrukmeting (zie figuur 2.7). Aan de stroomopwaartse kant van de stuw is in een stalen korf een pomp geïnstalleerd, die wat slootwater naar een doorstroombak met sensoren pompt.



Figuur 2.7: Links de meetopstelling gezien in westelijke richting met op de voorgrond de pomp en de meetstuw en op de achtergrond het huisje met de sensoren en dataloggers; rechts de doorstroombak bij het huisje met (van links naar rechts) de bemonsteringssonde van de Phosphax, de troebelheidssensor (Solitax) en de nitraatsensor (Nitratax).

De troebelheid en de nitraatconcentraties in de doorstroombak zijn continu gemeten met de Solitax en de Nitratax (Hach). De Solitax is een optische, kleuronafhankelijke troebelheidssensor met een infrarode duo scattered light photometer. De Nitratax meet de nitraatconcentraties op basis van UV-absorptie. De P-totaal en TRP concentraties zijn gemeten met een Phosphax Sigma (Hach). Dit is een auto-analyser op basis van destructie, titratie en een kleurmeting. De Phosphax is ingesteld op het afwisselend meten van P-totaal en TRP. De gekozen apparatuur is geschikt voor vaste meetlocaties en vergen relatief weinig onderhoud.

2.3.2 Bemonstering

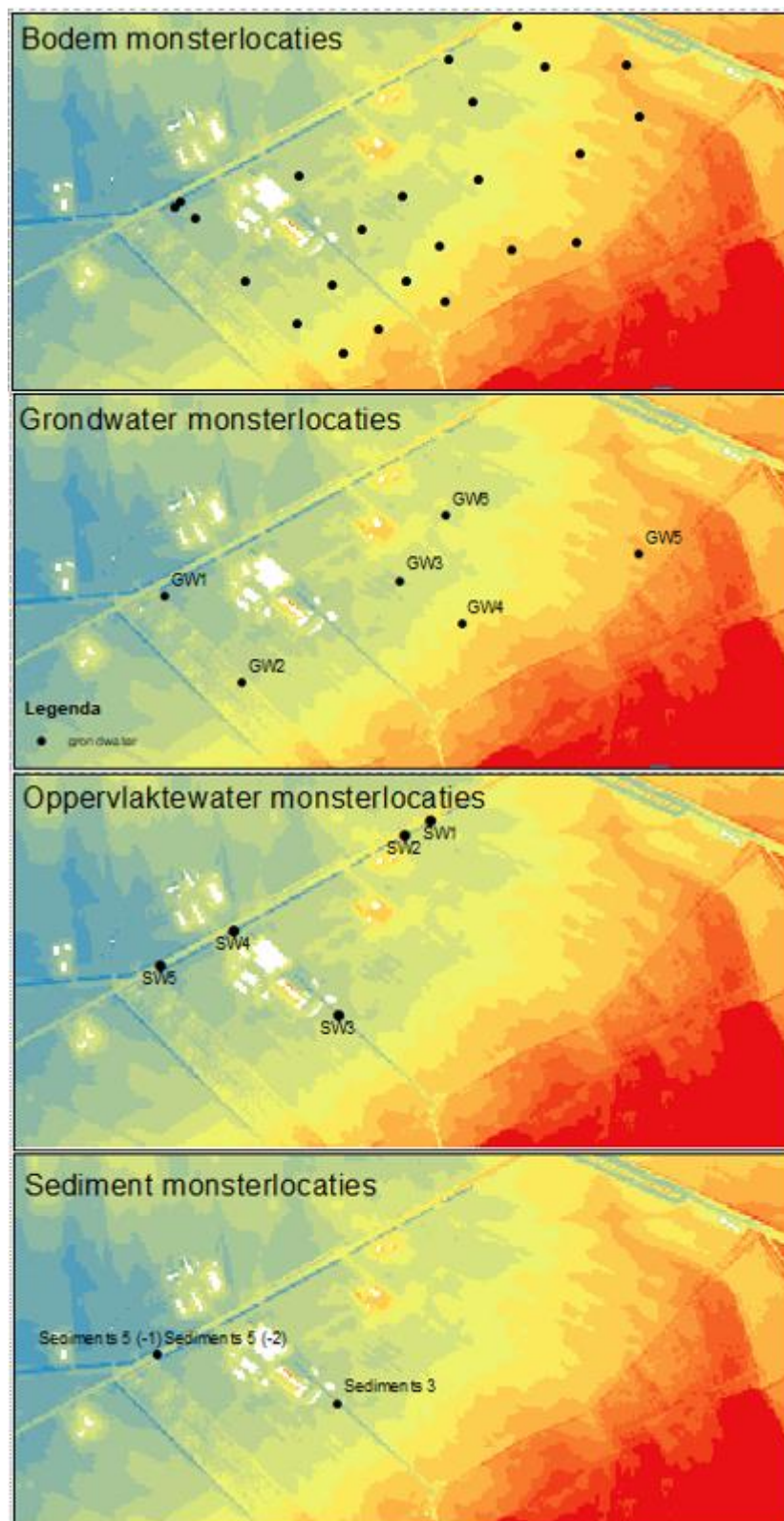
Tijdens het project zijn monsters genomen van bodem, grondwater, oppervlaktewater, drainwater en waterbodem/sediment. De locaties van de monsters zijn weergegeven in Figuur 2.8. De bemonsterde drains liggen ter hoogte van oppervlaktewaterlocatie SW2.

De bodemmonsters zijn genomen op 0-10 cm, 40-50 cm en 70-80 cm diepte (zie Figuur 2.9). In tegenstelling tot reguliere bodembemonsteringen door bijvoorbeeld Eurofins zijn de bodemanalyses voor individuele locaties gedaan. Op deze manier krijgen we inzicht in de variatie in fosfaatgehalten binnen de percelen. Bij de standaardmethode worden gemiddelde gehalten bepaald door mengmonsters te nemen per perceel. De volgende bodemanalyses zijn in het CASTEL (Deltares-TNO-UU) laboratorium uitgevoerd om de fosfaatgehalten en de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem te bepalen:

- Pw-getal; Het Pw-getal wordt bepaald aan de hand van een extractie van fosfaat uit de bodem met water bij een grond-vloeistofverhouding van 1 volumedeel grond met 60 volumedelen water. Het is een maat voor de direct beschikbare hoeveelheid fosfaat voor het gewas gedurende het seizoen (fosfaatintensiteit).
- P-CaCl₂ (of P-PAE); dit is een nieuw alternatief voor het Pw-getal, tevens een maat voor de direct beschikbare hoeveelheid fosfaat voor het gewas.
- PAL-getal; het PAL-getal wordt bepaald door extractie van fosfaat uit de bodem met een zurige oplossing (AmmoniumLactaat; pH 3,75) waarbij 1 gewichtsdeel grond wordt geëxtraheerd met 20 gewichtsdelen extractievloeistof ammoniumlactaat. Het is een maat voor de capaciteit van de bodem om fosfaat na te leveren (fosfaatcapaciteit)
- P-oxalaat en fosfaatbezettingsfractie; oxalaat extraheerbaar fosfaat. Dit is ongeveer gelijk aan alle minerale vormen van P in de bodem (zowel goed als slecht beschikbaar). De fosfaatbezettingsfractie ($FBF = POX / (FeOX + AlOX)$) in mmol/kg).
- P-totaal (totaalontsluiting): alle fosfor in de bodem.

Naast de bodem is ook de waterbodem op 3 locaties bemonsterd (Figuur 2.8; Sediment monsterlocaties). Deze monsters zijn ook bemeten met een totaalontsluiting.

Verspreid over het bedrijf zijn ook watermonsters genomen van oppervlaktewater en drainwater. Deze monsters zijn deels verzameld en geanalyseerd door Deltares en deels door Waterschap Rijn en IJssel. In het oppervlaktewater zijn ook metingen gedaan met de Nitraat-App van Deltares. Deze methode op basis van test-strips maakt het mogelijk om op veel locaties snel nitraatmetingen te doen met een wat lagere nauwkeurigheid dan laboratoriummetingen.



Figuur 2.8: Bemonsteringslocaties



Figuur 2.9: Bodembemonstering

Voor de bemonstering van het grondwater zijn 6 peilbuizen geïnstalleerd in het bovenste grondwater (zie Figuur 2.10). Deze peilbuizen zijn bemonsterd met een peristaltische pomp. De monsters zijn in het laboratorium geanalyseerd op kationen (ICP-OES, inductive coupled plasma optical emission spectrometry) en anionen (ion chromatografie, IC).



Figuur 2.10: Grondwaterbemonstering

3 Meetresultaten

3.1 Continue metingen

Gedurende de periode van 5 april 2018 tot en met 16 april 2019 zijn verschillende parameters in en rondom de bedrijfssloot gemeten. De neerslag- en evaporatiedata zijn verzameld door het KNMI (meetstation Hupsel). Informatie over debieten en grondwaterstanden is verzameld door Waterschap Rijn en IJssel. Troebelheid en concentraties NO_3 , totaal-P en TRP zijn, zoals hierboven beschreven (hoofdstuk 2.4.1), gemeten in de bedrijfssloot.

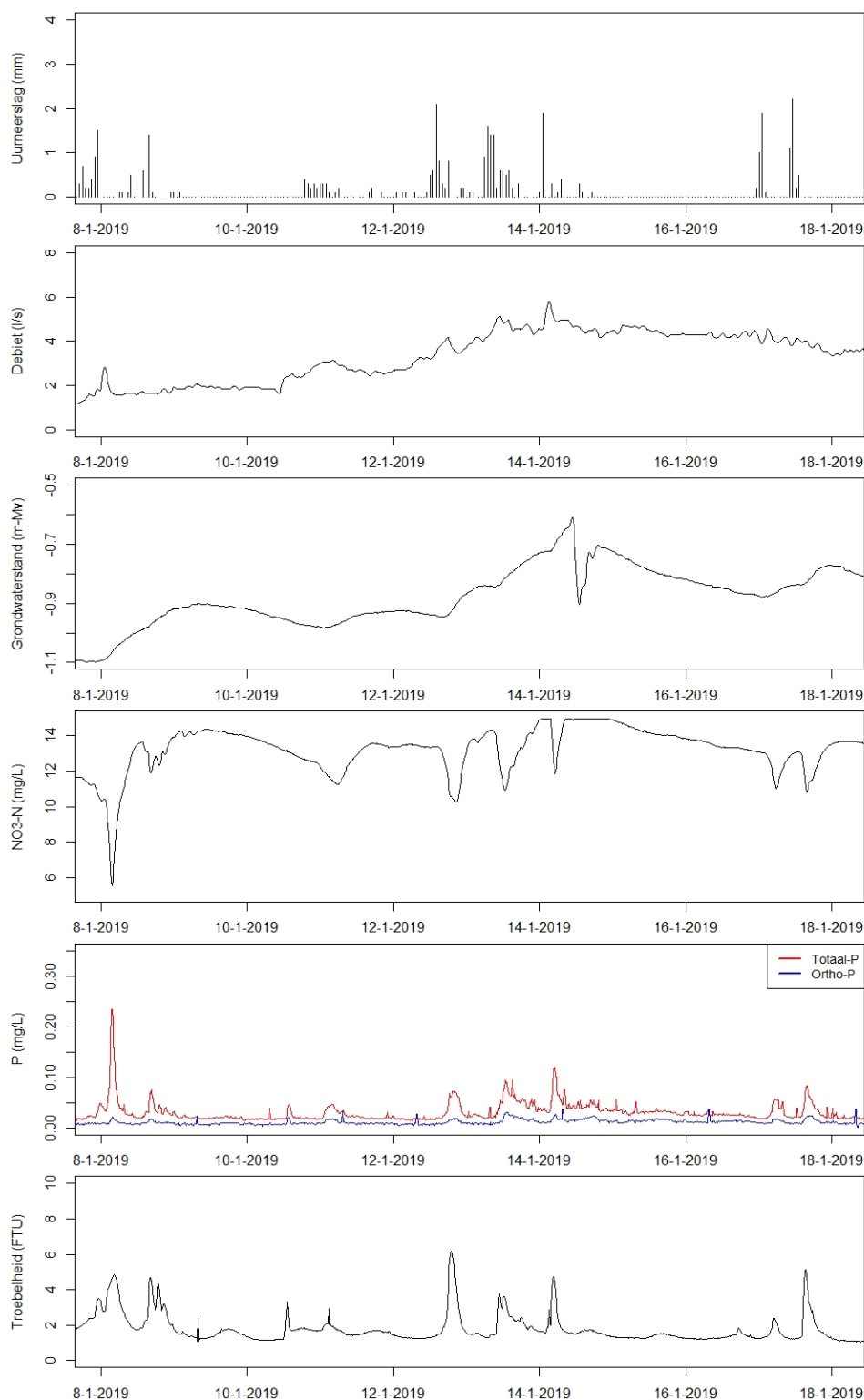
De meetreeksen voor de gehele periode en voor het hele afvoerseizoen 2018-2019 zijn opgenomen in bijlage A. De bedrijfssloot is in de extreem droge zomer van 2018 drooggefallen tussen 10 mei 2018 en 23 december. Er zijn derhalve alleen concentratiemetingen vanaf 5 april tot 10 mei 2018 en van 23 december 2018 tot 18 april 2019. Hier zoomen we in op een specifieke periode met buien (8-18 januari 2019) en een periode met biochemische activiteit (28 maart – 1 april 2019).

In Figuur 3.1 zijn de uurneerslag (in mm), het debiet (in l/s), de grondwaterstand (m-mv), concentraties NO_3 , TRP en totaal-P (in mg/l) en troebelheid (in FTU) voor de periode van 8 januari 2019 tot en met 18 januari 2019 weergegeven. Het debiet neemt over deze periode licht toe van ongeveer 2 l/s naar ongeveer 4 l/s en de grondwaterstand schommelt tussen 1.1 m en 0.7 m-mv. Op de tijdstippen met neerslag- en afvoerpieken worden er ook pieken in troebelheid en in de concentraties totaal-P en TRP waargenomen. De pieken in concentraties totaal-P en TRP komen sterk overeen met de pieken van de troebelheid. De concentratie NO_3 daalt juist bij afvoerpieken, waarbij de tijdstippen van de pieken in neerslag overeen komen met de dalen in NO_3 . Bij totaal-P neemt de concentratie bijvoorbeeld tijdens een afvoerpiek op 8 januari met een factor 6 toe (van gemiddeld ca 0,04 naar 0,24), terwijl NO_3 dan juist met factor 2 à 2,5 afneemt (van 13 naar ca 5,5). Bij de kleinere afvoerpiekjes zijn deze concentratieveranderingen ook minder groot.

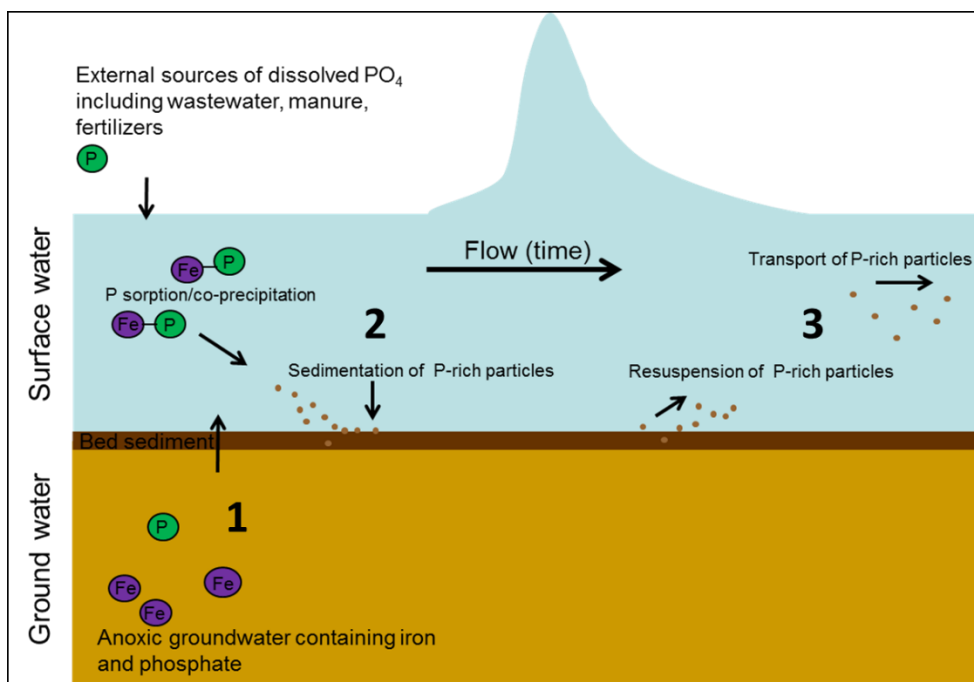
De pieken in P-totaal en troebelheid tijdens buien en afvoerpieken worden veroorzaakt door het opwervelen van fosfaatrijk sediment. Tussen de buien door bouwt zich een sedimentlaag op, die tijdens afvoerpieken weer loskomt. Voor een groot deel bestaat dit roodbruine sediment uit ijzer(hydr)oxides met daaraan gebonden fosfaat. Dit ontstaat als grondwater met opgelost ijzer en fosfaat in de waterbodem of in de sloot in contact komt met zuurstof. Tijdens buien neemt de stroomsnelheid toe en komt dit sediment in de waterkolom terecht. TRP vertoont op dezelfde momenten ook piekjes; kennelijk gaat een deel van het opgewervelde particuliere P in oplossing tijdens de spectrofotometrische analyse (hierbij gaat de pH naar ongeveer 1.5). Het proces van de vastlegging en remobilisatie van P is schematisch weergegeven in Figuur 3.2.

Daar waar P-totaal en TRP korte pieken tijdens buien laten zien, treedt voor NO_3 een haast gespiegelde reactie op met korte verlagingen van de concentraties tijdens afvoerpieken (Figuur 3.1). De dalen in de nitraatconcentratie zijn het gevolg van verdunning met snel afstromend water dat te weinig interactie met de bodem gehad heeft om nitraat op te nemen. Het kan dan gaan om directe neerslag in de sloot en op de oever en om neerslag die nog tijdens de bui via preferente stroombanen in de

begint ook het laterale transport van nitraat vanuit dat niveau in de bodem richting de sloot. Er zijn voor nitraat geen concentratie-diepte profielen gemeten, maar over het algemeen neemt de concentratie sterk af met de diepte door denitrificatie.



Figuur 3.1: Overzicht uurneerslag, debiet, grondwaterstand, concentraties NO_3 , totaal P en TRP (weergegeven als ortho-P) en troebelheid over de periode van 8 januari 2019 tot en met 18 januari 2019



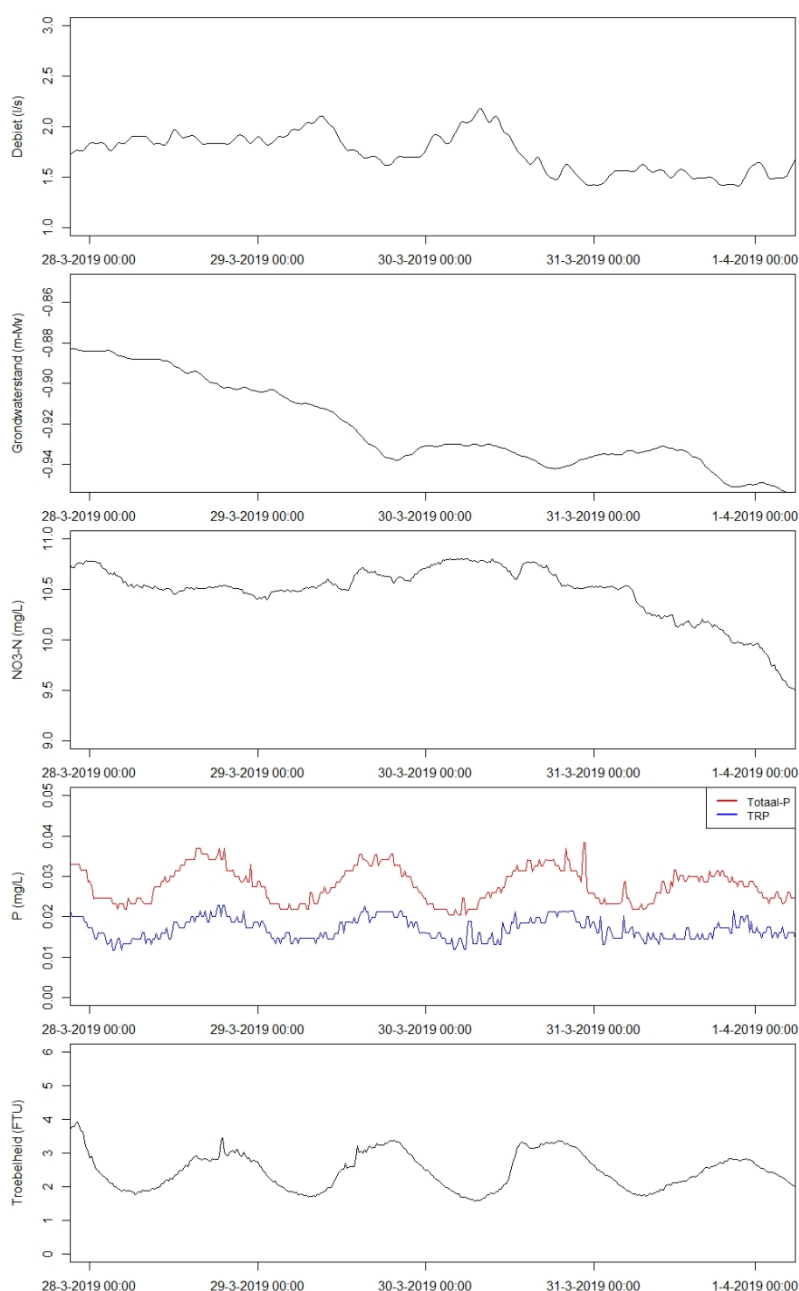
Figuur 3.2: Conceptueel model van het P-transport; (1) gereduceerd grondwater met opgelost ijzer en fosfaat komt in de sloot in contact met zuurstof, (2) P-rijke deeltjes worden gevormd en sedimenteren onder hydrologisch rustige omstandigheden, (3) de P-rijke sedimentdeeltjes worden bij afvoergolven opgeworpen en verder getransporteerd en geven concentratiepieken.

In Figuur 3.3 zijn het debiet (in l/s), de grondwaterstand (m-mv), concentraties NO_3 , TRP en P-totaal (in mg/l) en troebelheid (in FTU) voor de periode van 28 maart 2019 tot en met 1 april 2019 weergegeven. In deze periode is er geen neerslag en daalt de grondwaterstand van 0.88 tot 0.96 m-mv. De concentratie NO_3 schommelt de eerste paar dagen rond de 10.5 mg/l en daalt dan ook tot een concentratie van 9.5 mg/l. Het meest opmerkelijke in Figuur 3.3 is dat zowel de concentraties P-totaal en TRP als de troebelheid een dag-nachtritme vertonen. Deze dag-nachtritmee kwamen zowel in het voorjaar van 2018 als het voorjaar van 2019 op vanaf maart tot aan het droogvallen van de sloot in april. Vaak zijn dergelijke dag-nachtritmee een artefact van de sensormetingen (temperatuurgevoeligheid). Deze optie is echter uitgesloten door, later in het voorjaar, de sensoren een vaste concentratie te laten meten in de doorstoombak. Mede door de verhitting/afkoeling in de Phosphax spelen temperatuurverschillen geen rol in de metingen. De hoogste waarden voor P-totaal, TRP en troebelheid worden steeds gemeten rond 17:00u en de laagste waarden rond 05:00u.

Dat de dag-nachtfluctuaties in totaal-P, TRP en troebelheid opkomen in het voorjaar suggereert een samenhang met biochemische activiteit. Eind maart nemen de lichtintensiteit en de watertemperatuur toe en kunnen algen weer actief worden. De timing van de hoogste waarden rond 17:00u geeft de indicatie dat de dagelijkse fluctuatie in lichtintensiteit en fotosynthese een rol speelt. Algen in de waterfase zijn onderdeel van de gemeten troebelheid en worden bij de analyse van P-totaal ook meegenomen. De stijging van de troebelheid wordt derhalve waarschijnlijk veroorzaakt door toename in de biomassa van de algen in de waterkolom. Gedurende de nacht spoelen de algen weg en/of zakken ze weer naar de bodem. De gelijktijdig verhoogde concentraties P-totaal in de namiddag laten zien dat de algen waarschijnlijk fosfaat vanuit de waterbodem in de waterfase brengen. Mogelijk speelt de pH hierbij een rol. pH is niet gemeten, maar bekend is dat de pH onder invloed van fotosynthese stijgt en er soortgelijke dag-nacht ritmee kunnen optreden. De verandering in de pH kan ervoor zorgen dat een deel

van het fosfaat uit de waterbodem kan vrijkomen. De P-totaalconcentraties zijn overigens erg laag; aangezien ook de afvoer in het voorjaar laag is, is de invloed van de dag-nachtritmes op de totale vrachten beperkt.

Dit is voor zover bekend de eerste keer dat dergelijke dagelijkse fluctuaties in P-totaal zijn waargenomen. Het exacte proces en het type algen dat hierbij een rol speelt, is dan ook nog niet bekend. Mogelijk wordt dit patroon veroorzaakt door de groei van algen (overdag) en afvoer ('s nachts) in de sloot gedurende dit jaargetijde.



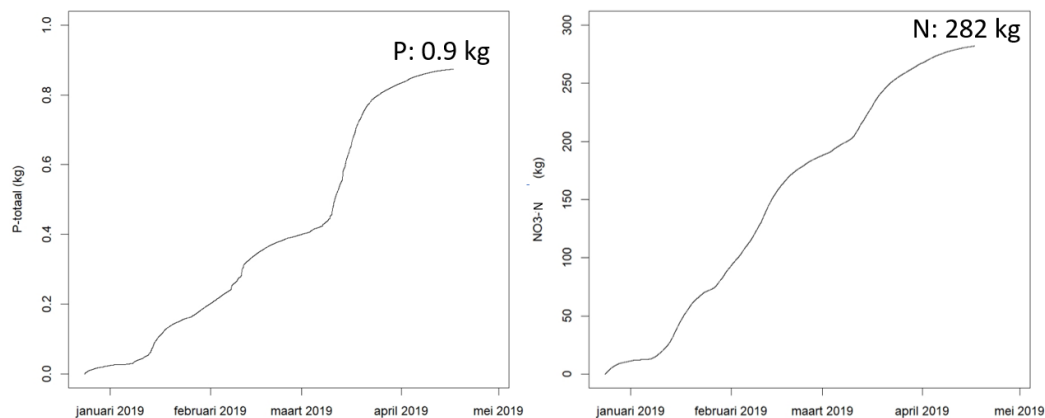
Figuur 3.3: Overzicht debiet, grondwaterstand, concentraties NO₃, totaal P en TRP en troebelheid over de periode van 28 maart 2019 tot en met 1 april 2019.

3.2 Vrachten

Op basis van de continue metingen van afvoer en concentraties is ook een relatief nauwkeurige inschatting gemaakt van de vrachten vanaf het bedrijf naar het oppervlaktewater. Alleen in de periode van 20 januari 2019 tot en met 25 februari 2019 was er een storing in de Phosphax voor de P-totaal en TRP metingen. Om toch een vracht uit te kunnen rekenen is de concentratie P-totaal voor deze periode berekend aan de hand van de relatie met de concentratie van NO_3 . In Figuur 3.4 staan de gemeten cumulatieve vrachten voor P-totaal en NO_3 -N gedurende het relatief korte drainageseizoen 2018/2019 (24 december 2018 tot en met 16 april 2019). De totale vracht over deze periode bedroeg 0,9 kg voor P en 282 kg voor N (respectievelijk 0,04 kg P/ha en 12 kg N/ha).

Het bodemoverschot voor P schommelt en was gemiddeld -4 kg/ha (2015-2017). In 2017 was het P overschot +2 kg/ha en in 2018 +4 kg/ha. Het hogere overschot in 2018 komt door de lagere gewasopname door de droogte. De vracht in het oppervlaktewater is waarschijnlijk deels afkomstig van de recente bemesting, maar voor een groot deel ook van de bodemvoorraad.

Voor N is het gemiddelde overschot ca. 150 kg/ha (gemiddelde 2015-2017). Door de droogte was ook voor N het overschot in 2018 flink hoger: 219 kg/ha. De N-vracht via het oppervlaktewater was derhalve circa 5% van het overschot. De rest van het overschot is deels uitgespoeld naar het grondwater, maar zit waarschijnlijk ook nog voor een deel in de bodem. Door de relatief lage grondwaterstanden in de winter is er minder uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater geweest.



Figuur 3.4: Cumulatieve vrachten voor P-totaal en NO_3 -N voor de afvoerperiode 2018/2019 (24 december 2018 tot en met 16 april 2019).

3.3 Waterbalans

Op basis van de gemeten afvoer en de weergegevens is ook een waterbalans voor het bedrijf opgesteld voor de periode met waterafvoer via het oppervlaktewater van 24 december 2018 tot en met 16 april 2019 (Tabel 3.1). Van het totale neerslagoverschot in deze periode (130 mm) is ca. een $\frac{1}{3}$ (41 mm) afgevoerd via de sloot. Het verschil tussen het neerslagoverschot en de slootafvoer geeft een inschatting van de infiltratie naar het grondwater. Deze infiltratie bedraagt derhalve ca. 89 mm, oftewel ca. $\frac{2}{3}$ van het neerslagoverschot gedurende de afvoerperiode.

Tabel 3-1: Waterbalans van het bedrijf voor de periode met oppervlaktewaterafvoer van 24 december 2018 tot en met 16 april 2019

	24 ha huiskavels (m3)	Per hectare (m3)	In mm
Neerslag	+45360	+1890	189
Verdamping*	-14160	-590	59
Neerslagoverschot	+31200	+1300	+130
Afvoer	-9840	-410	-41
Infiltratie naar gw*	-21360	-890	-89

* Er is gerekend met een gemiddelde gewasfactor van 0.6 (0.9 voor gras (2/3 van het areaal) en 0.0 voor akkerland)

** De infiltratie naar het grondwater is berekend uit het verschil tussen het neerslagoverschot en de afvoer via het oppervlaktewater. Nb: het verschil in grondwaterstand tussen 24 december en 16 april is nihil, derhalve is compensatie van deze balans voor verandering in de berging niet nodig.

3.4 Bemonstering

3.4.1 Bodem

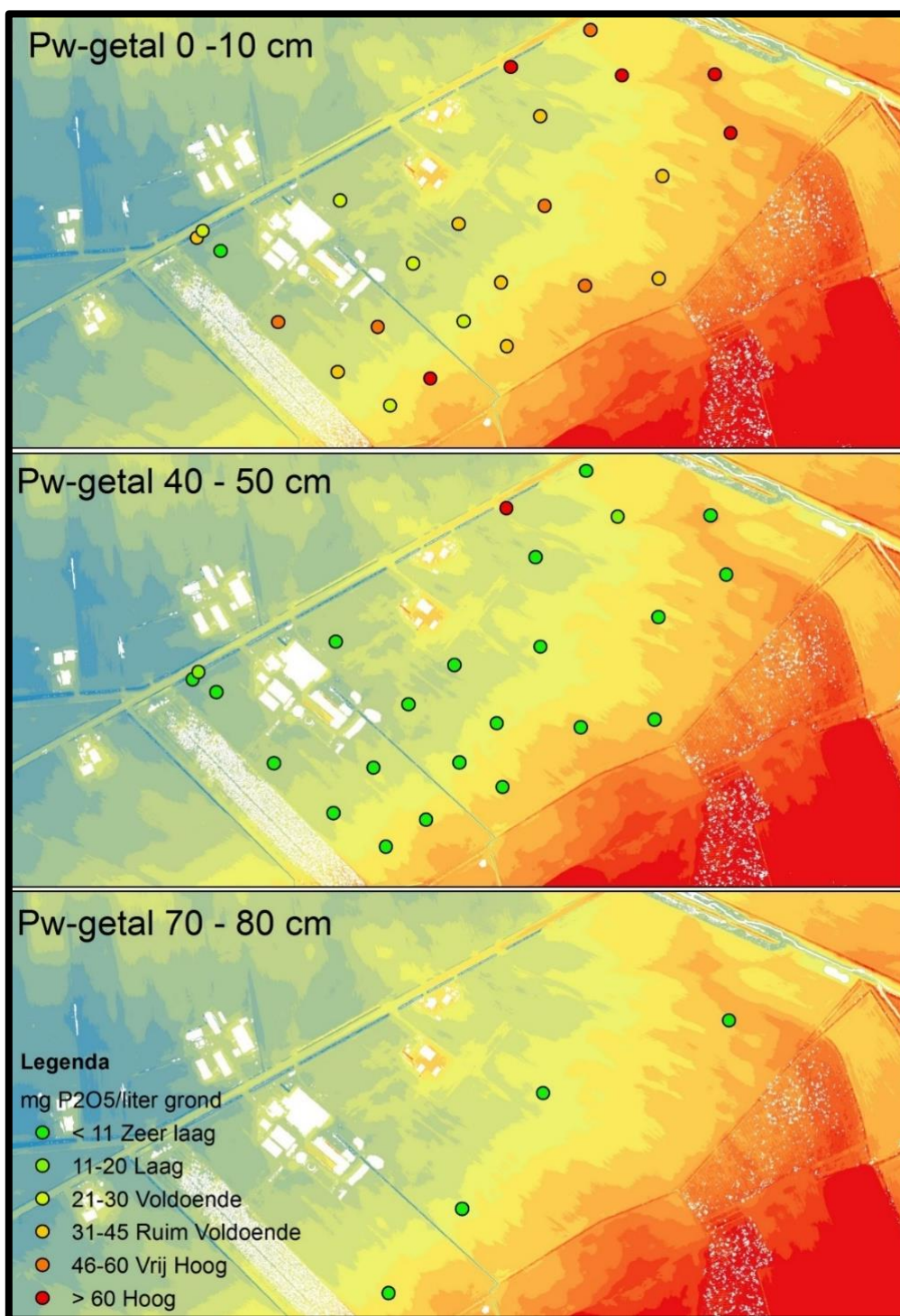
Visueel geven de bodemonsters al een goed beeld van de kenmerkende situatie op de hoge zandgronden; een dunne bruine kleurede bouwvoor van 20-30 centimeter dik. Daaronder begint het zeer arme zandpakket. De bouwvoor is bruin gekleurd door de aanwezigheid van een voorraad organisch materiaal die is opgebouwd door bemesting, afgestorven wortels en het bodemleven. Over het algemeen dringen de wortels van gewassen niet door in het arme zand. Vanaf ca. 30 centimeter krijgt het zand dan ook een grijsgele (Figuur 3.5 rechts) tot rood-oranje (Figuur 3.5 links) kleur. Dit zand is zeer arm aan organisch materiaal. De rood-oranje kleur wordt veroorzaakt door ijzeroxide afzettingen. De voormalige hoogveenbodems zijn van nature plaatselijk rijk aan ijzer.



Figuur 3.5: Boringen van 0-50 cm diepte, ieder hoopje representeert 10 cm bodem

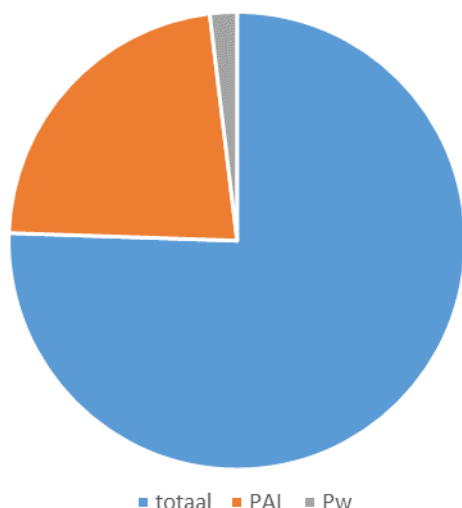
De resultaten van de analyses van de P gehalten in de bodem zijn opgenomen in Figuur 3.6 (Pw-getal) en Bijlage B (PAL en FBF). De Pw-getallen in Figuur 3.6 geven het direct voor het gewas beschikbare fosfaat in de bodem. In de toplaag van de bodem (0-10 cm) varieert het Pw-getal van zeer laag tot zeer hoog. Op slechts 1 locatie aan de westkant van het bedrijf is het Pw-getal zeer laag. Op de rest van het bedrijf is het Pw-getal voldoende of hoger. De Pw-getallen zijn hoger in het akkerbouw-deel van het bedrijf (de noordoostkant) in vergelijking tot het graslanddeel (zuidwest). Het perceel met blijvend grasland dat aan de noordoostkant grenst aan het erf heeft de laagste Pw-getallen (voldoende).

Vlak onder de bouwvoor (40-50 cm-mv) is het Pw-getal op 1 locatie na overal zeer laag. Hetzelfde geldt voor de Pw-getallen op 70-80 cm diepte. Deze meetresultaten sluiten goed aan bij de visuele observatie dat de bodem vanaf van 30 cm diepte bestaat uit zeer arm zand. Tegelijk is de capaciteit van de bouwvoor om fosfaat vast te leggen erg groot door de aanwezigheid van ijzer-(en aluminium) oxides. De minder goed beschikbare fosfaatfracties (Bijlage B) laten vergelijkbare patronen zien als het Pw-getal.



Figuur 3-6: Pw-getal op verschillende locaties op 0-10 cm, 40-50 cm en 70-80 cm.

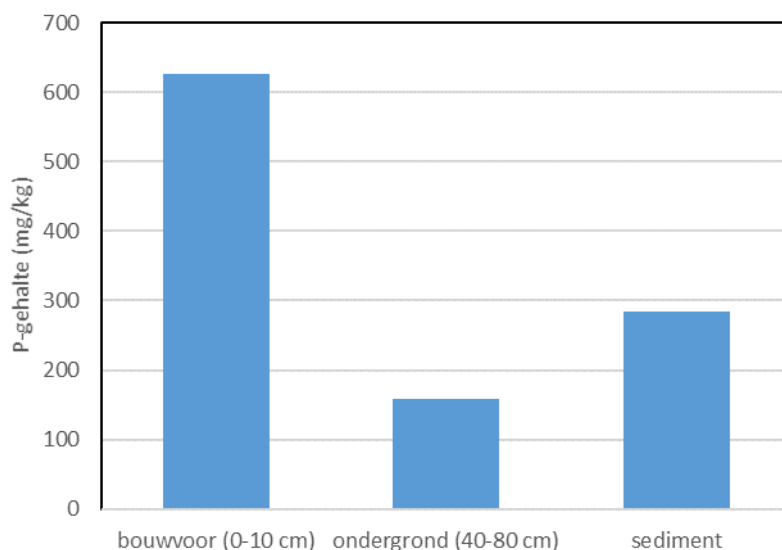
Op basis van de bodemanalyses is de totale voorraad fosfaat in de bouwvoor vastgesteld op 63.202 kg voor de gehele huiskavel van het bedrijf (2633 kg/ha). De fractie hiervan die makkelijk oplosbaar is in water (Pw) is 2%, ofwel 1189 kg (50 kg/ha). De fractie van de bodemvoorraad die oplosbaar is in zuur water (PAL) is 24%, ofwel 15170 kg (583 kg/ha). De fracties zijn visueel weergegeven in Figuur 3.7.



Figuur 3.7: Verhoudingen tussen de totale P-voorraad in de bouwvoor (100%), het ammoniumlactaat-extraheerbaar P (PAL) (24%) en het water-extraheerbaar P (Pw) (2%). Let op: Pw is onderdeel van PAL; Pw en PAL zijn onderdeel van de totale P-voorraad (100%).

3.4.2 Sediment, grondwater, drainwater, slootwater

Het P-gehalte (totaalontsluiting) van het sediment uit de sloten (zie locaties in Figuur 2.7) is vastgesteld op 280 mg/kg. Dit gehalte ligt tussen het gehalte van de bouwvoor (gemiddeld 600 mg/kg) en het gehalte van de bodem onder de bouwvoor (gemiddeld 160 mg/kg) (zie Figuur 3.8).



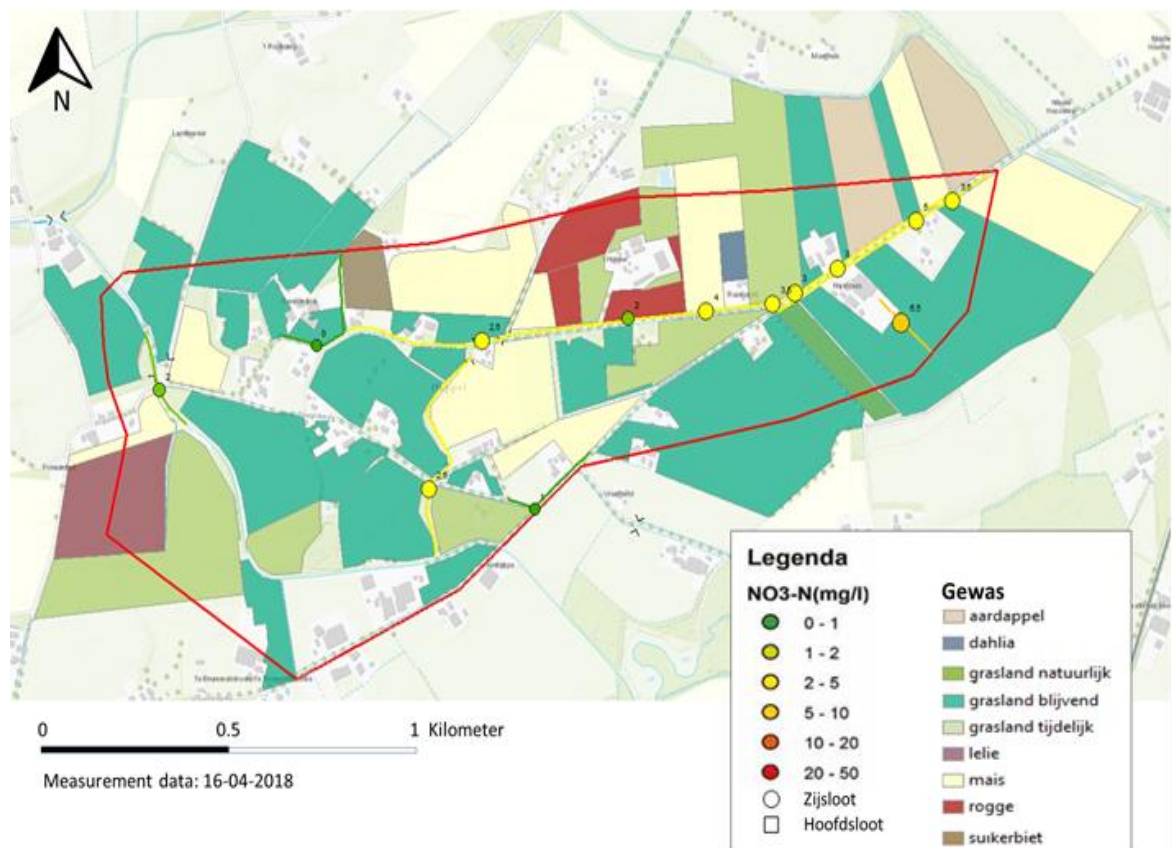
Figuur 3.8: Vergelijking van gemiddelde P-gehalten in de bouwvoor, in de grond onder de bouwvoor en in het sediment in de sloot.

In het grondwater waren de concentraties fosfaat onder de detectielimiet. Dit sluit aan op de bevindingen van de bodemanalyses. De ondiepe ondergrond heeft nog voldoende bindingscapaciteit en er is weinig doorslag van fosfaat naar de diepere bodem en het grondwater. De nitraatconcentraties lagen gemiddeld op 45 mg/l (=10 mg/l NO₃-N), net onder de norm voor het bovenste grondwater van 50 mg/l. Locatie GW1 (Figuur 2.7) ligt slechts ca. 2 meter van de sloot en heeft een zeer lage nitraatconcentratie van 0,8 mg/l. Dit komt waarschijnlijk doordat de drainerende werking van de sloot zorgt voor de aanvoer van diep nitraatarm grondwater. Op de andere 5 locaties lag de nitraatconcentratie altijd boven de 45 mg/l. De hoogste concentratie (74 mg/l (=17 mg/l NO₃-N)) is gemeten op locatie GW4.

Ook in het oppervlaktewater waren de fosfaatconcentraties op het moment van de bemonstering (16 april 2018) beneden de detectielimiet. De nitraatconcentraties (als mg NO₃-N/l) in het oppervlaktewater op het bedrijf varieerden van 4,3 mg/l (SW1, wegsloot) tot 9,5 mg/l (SW3, ZO-NW sloot). Bij de samenkomst van de sloten (SW4) is de concentratie 4,4 mg/l en bij het continue meetpunt (SW5) 4,3 mg/l. De concentraties ammonium en nitriet waren in alle gevallen laag; N-Kj (organisch N + NH₄) lag rond de 1,5 mg/l. Nitraat is derhalve veruit de belangrijkste N-component in het oppervlaktewater. De hoogste nitraatconcentraties zijn aangetroffen in de ZO-NW georiënteerde zijslot (SW3), waar tevens de hoogste nitraatconcentraties in het grondwater zijn gemeten (GW4). De nitraatconcentraties zijn boven de KRW norm voor oppervlaktewater van 2,3 mg N/l (voor N-totaal). Deze norm geldt echter voor de zomergemiddelde concentratie (april t/m september) en die is veelal lager dan de winterconcentratie. Door de droogval in de zomer is een goede vergelijking met de KRW norm echter niet mogelijk.

Bij SW 2 is het drainwater meerdere keren bemonsterd en de fosfaatconcentraties lagen steeds onder de detectielimiet. De nitraatconcentraties in het draineffluent liggen in de dezelfde range als in het slootwater en liggen tussen de 6,1 en 7,1 mg NO₃-N/l. Ook voor het drainwater is nitraat veruit de belangrijkste N-component.

Voor nitraat is een routing gedaan vanaf het bedrijf tot aan de benedenstroomse Modderbeek met de Nitraat App (Figuur 3.9). De metingen laten zien dat de nitraatconcentraties afnemen richting het uitstroompunt in de Modderbeek. De zijslot op het onderzoeksbedrijf had met 6,5 mg NO₃-N/l de hoogste concentratie in de directe omgeving.



Figuur 3.9: Meetresultaten van de Nitraat App routing op 16 april 2018.

4 Discussie

4.1 Beantwoording onderzoeksvragen

Het hoofddoel van dit onderzoek was de voornaamste transportroutes van fosfaat op bedrijfsniveau in beeld te brengen en op basis daarvan de meest effectieve maatregelen te identificeren voor het verminderen van de nutriëntenverliezen naar grond- en oppervlaktewater. Hier volgen beknopte antwoorden op de onderzoeksvragen uit paragraaf 1.2:

- Waar komt het uitspoelende fosfaat vandaan, wat zijn fosfaatrijke plekken op het bedrijf, via welke routes komt het in de sloot?

Vooraf de bouwvoor (bovenste 30 centimeter van de bodem) is rijk aan fosfaat, dat voor een groot deel is vastgelegd aan ijzer- en aluminiumoxides. De verschillen in P gehalten in de bouwvoor binnen de percelen zijn groot (zeer laag tot hoog); over het algemeen was het akkerland wat rijker aan fosfaat dan grasland. De totale vracht die in het afvoerseizoen 2018/2019 het bedrijf verliet (0,9 kg) is slechts een fractie van de totale voorraad fosfaat in de bouwvoor op het bedrijf (63.202 kg). Het fosfaat kan via oppervlakkige afstroming en erosie in de sloot terecht komen. Behalve enige erfafspoeling en wegafstroming is er in het afvoerseizoen 2018/2019 echter nauwelijks sprake geweest van oppervlakkige afspoeling. Fosfaat komt ook in opgeloste vorm via het grondwater in de sloot en wordt dan vastgelegd in de waterbodem (binding met ijzer(hydr)oxides). Dit is in het relatief droge afvoerseizoen 2018/2019 het belangrijkste proces geweest.

- Wanneer spoelt fosfaat weg en hoe hangt dit samen met bijvoorbeeld de neerslag, afvoer en grondwaterstanden?

Gedurende het afvoerseizoen bouwt zich een voorraad fosfaatrijk sediment op in de sloten. Het verdere transport van het fosfaatrijke sediment via het oppervlaktewater treedt vooral op tijdens piekafvoeren. Tussen de buien door zijn de fosfaatconcentraties in het slootwater erg laag, maar tijdens buien spoelt veel fosfaatrijk sediment weg naar benedenstrooms oppervlaktewater.

- Hoe verhoudt de uit- en afspoeling van fosfaat zich tot de uit- en afspoeling van nitraat?

Waar fosfaat vooral in korte afvoerpieken het bedrijf verlaat, treedt de uitspoeling van nitraat gedurende het gehele afvoerseizoen op. Nitraat wordt niet of nauwelijks vastgelegd in de bouwvoor en spoelt snel uit naar het grondwater. De concentraties in het grondwater, drainwater en slootwater op het bedrijf liggen rond de 40 mg/l (=9 mg/l NO₃-N) gedurende het gehele afvoerseizoen. Tijdens afvoerpieken daalt de concentratie kort door neerslagwater dat direct afstroomt. Aangezien in het afvoerseizoen ongeveer 30% van het neerslagoverschot via het oppervlaktewater afstroomt, verwachten we dat op jaarbasis minimaal 70% van de afvoer via het grondwater afstroomt naar lager gelegen delen van het stroomgebied. In combinatie met de gemeten vergelijkbare concentraties in grond- en oppervlaktewater verwachten we dat ook minimaal 70% van de nitraatvracht via het grondwater afstroomt. Voor nitraat is het grondwater derhalve de dominante route, voor fosfaat het oppervlaktewater.

- Hoe en waar kan fosfaat worden teruggewonnen uit het oppervlaktewatersysteem?

Het sediment in de sloten op plekken met lage stroomsnelheden is rijk aan fosfaat (en organisch materiaal). Qua fosfaatgehalte zit het sediment tussen de gehalten in de bouwvoor en de lagere gehalten in de ondergrond in (Figuur 3.7). Het sediment is derhalve vruchtbare grond en het hergebruik is waardevol voor zowel de boer als het waterschap. Het gaat vooral om het sediment dat zich ophoopt voor stuwen en/of afgesloten duikers. Het weggraven en op het land toepassen van dit sediment houdt de sloot ook op diepte, waardoor de sloot goed water blijft afvoeren en sediment kan blijven invangen.

- Hoe kan het vasthouden van water samengaan met het verminderen van nutriëntenverliezen?

Het vasthouden van water kan op verschillende manieren goed samengaan met het verminderen van nutriëntenverliezen:

1. Combineer boerenstuwen en/of afgesloten duikers met hergebruik van sediment: Deze maatregel richt zich vooral op het voorkomen van het verlies van aan sediment gebonden nutriënten (particulair P en N) en organisch materiaal. Vooral voor fosfaat kan dit de belasting van benedenstrooms oppervlaktewater sterk reduceren. Algemeen geldt dat een bredere sloot het sediment beter kan invangen dan een smalle sloot. Het sediment moet hiertoe gedurende het afvoerseizoen meerdere keren (bijv. maandelijks) weggegraven of weggezogen worden, mede afhankelijk van de sedimentdikte en de weersvoorspelling. Bij een sloot die de ruimte heeft om veel sediment af te vangen kan het weggraven met een veel lagere frequentie, bijvoorbeeld jaarlijks. Op het Oost-Nederlands plateau vallen watergangen in de zomer soms droog, dit biedt extra perspectief om het organische materiaal effectief te kunnen verwijderen.
2. Bezinkgreppels en -poelen op de lage plekken langs de sloot: Ook deze maatregel richt zich voornamelijk op het voorkomen van het verlies van aan sediment gebonden nutriënten (particulair P en N) en organisch materiaal. Onder zeer natte omstandigheden kunnen verliezen ook optreden via oppervlakkige afstroming. Door de waterstroom wat af te remmen in een bezinkgreppel en bezinkpoel kan de vracht via deze route naar het oppervlaktewater met tientallen procenten verminderen. Ook hier geldt dat het ingevangen sediment na afloop van een zeer natte periode weggegraven en teruggebracht op het land moet worden.
3. Water en nutriënten beter vasthouden door bodemverbetering: Deze maatregel kan het verlies van aan sediment gebonden nutriënten (particulair P en N) en organisch materiaal naar het oppervlaktewater reduceren, maar ook de uitspoeling van nitraat naar het grondwater verminderen. Een gezonde bodem (goed bodemleven, organisch stofgehalte, structuur) kan water en nutriënten vasthouden en de opname-efficiëntie van het gewas verhogen. Een goede infiltratie voorkomt ook plasvorming, erosie en verliezen van nutriënten en organisch materiaal naar het oppervlaktewater. De bodemkwaliteit is voor een groot deel afhankelijk van het gewas (gras is beter dan bijv. mais of aardappelen) en de bewerking.

4. Regelbare drainage en waterzuivering:

Deze maatregel is voornamelijk gericht op het voorkomen van nitraatverliezen naar het oppervlaktewater. Voor het gedraineerde deel van het bedrijf zijn de drains een belangrijke route voor water en nitraat richting de sloot. Met regelbare drainage is de afvoer van water en nitraat te stoppen of te verminderen op het moment dat afvoer niet per se nodig is. Voor de resterende drainafvoer is het mogelijk om een eenvoudige denitrificatie-reactor aan te leggen, bijvoorbeeld gevuld met houtsnippers. Ook voor (een deel van) de slootafvoer kan een denitrificatie-reactor de nitraatvracht met tientallen procenten verminderen.

4.2 Representativiteit

Binnen dit onderzoek is ervoor gekozen de nutriëntenstromen op bedrijfsniveau in beeld te brengen. We hebben daarbij gekozen voor een voor de Oost-Nederlandse zandgronden representatief veehouderijbedrijf. We verwachten in zijn algemeenheid dat dezelfde processen en routes ook belangrijk zullen zijn op andere bedrijven op de arme zandgronden. Het hangt echter af van de situering en de bedrijfsvoering (bewerking, mineralenmanagement) hoe groot de uit- en afspoeling via verschillende routes is. De indruk bestaat dat de eigenaar van dit bedrijf bewust met bemesting omgaat en een relatief goed mineralenmanagement heeft. Met enkele gerichte metingen in bodem, grondwater, drainwater en oppervlaktewater is de bedrijfsspecifieke onzekerheid terug te brengen en zijn efficiënte maatregelen te kiezen.

De periode van deze studie viel samen met de extreem droge zomer van 2018. De afvoerperiode van de sloot was in de winter van 2018-2019 dan ook erg kort. Voor minder droge jaren verwachten we grotere vrachten naar het oppervlaktewater dan we voor het afvoerseizoen van 2018-2019 vastgesteld hebben. Een groot deel van de nutriënten is door de groeireductie in de zomer niet opgenomen door het gewas. In het korte uitspoelingsseizoen met relatief lage grondwaterstanden zijn deze nutriënten ook nog niet geheel uitgespoeld. De nog in de bodem aanwezige voorraad zal in een toekomstig natter jaar alsnog uitspoelen en voor extra uitspoeling zorgen. In het vroege voorjaar van 2018 hebben we ook waargenomen dat oppervlakkige afstroming kan optreden (zie Figuur 2.5c). De nutriëntenstromen tijdens dergelijk natte omstandigheden hebben we nog niet vast kunnen stellen.

4.3 Nieuwe kennis

In deze studie is voor het eerst meetapparatuur ingezet voor het continu meten van nutriëntenconcentraties in de afvoer vanaf 1 bedrijf. We hebben kunnen vaststellen dat de dynamiek in de nutriëntenconcentraties vergelijkbaar is aan de dynamiek op gebiedsniveau in soortgelijke zandgebieden. Net als bij het uitstroompunt van de Hupselse beek (Rozemeijer, 2010; Rozemeijer & Van der Velde 2014) ontstaan korte pieken in concentraties P-totaal door de remobilisatie van sediment. Logischerwijs gaat het op bedrijfsniveau om kleinere hoeveelheden sediment en lagere piekconcentraties. Voor nitraat is ook bij de Hupselse beek de relatie tussen de grondwaterstand en nitraatconcentratie vastgesteld. Ook de verdunning van nitraatconcentraties tijdens buien is daar al gemeten. Uit deze studie blijkt dat dezelfde processen op bedrijfsniveau domineren, wat de resultaten van het eerdere onderzoek bekrachtigt.

Nog niet eerder beschreven zijn de dag-nacht fluctuaties in P-totaal, TRP en troebelheid in het voorjaar, met de hoogste waarden rond 17:00 en de laagste waarden rond 05:00. Dergelijke fluctuaties worden in grotere, benedenstroomse wateren ook bij continue metingen waarschijnlijk al snel verstoord door menging of andere processen. Deze detailmetingen geven een unieke inkijk in hoe algen fosfaat vanuit de waterbodem naar de waterfase kunnen brengen.

5 Conclusies en aanbevelingen

In deze studie zijn voor een representatieve Achterhoekse veehouderij de belangrijkste transportroutes van nutriënten met detailmetingen in beeld gebracht voor het Oost-Nederlands plateau en zijn op basis daarvan de meest effectieve maatregelen ter vermindering van nutriëntenverliezen geïdentificeerd. De detailmetingen bestonden uit continue metingen van afvoer, grondwaterstanden, troebelheid, nitraat, P-totaal en totaal reactief fosfaat (TRP) en uit de bemonstering van bodem, grondwater, drainwater en oppervlaktewater.

Voor fosfaat is de door jarenlange bemesting opgeladen bouwvoor (0-30 cm) de belangrijkste bron. De totale bodemvoorraad in de bouwvoor (0-30 cm) op de huiskavels is vastgesteld op 63.202 kg (2633 kg). Van deze voorraad is 2% goed oplosbaar (Pw-getal) en is 25% matig oplosbaar (PAL-getal). Via grondwater en oppervlakkige afstroming komt steeds een kleine fractie van deze fosfaatvoorraad in de sloot terecht. In het relatief korte afvoerseizoen van december 2018 tot april 2019 is in totaal een vracht van 0,9 kg fosfaat weggespoeld via het oppervlaktewater. Voor het transport door het oppervlaktewatersysteem is de remobilisatie en afvoer van fosfaatrijk sediment tijdens afvoerpieken een belangrijk proces. Het afvangen en hergebruiken van fosfaatrijk sediment kan de belasting van het benedenstroomse oppervlaktewater voor een groot deel voorkomen. Het afvangen van sediment is goed te combineren met waterberging, bijvoorbeeld met boerenstuwen, op te stuwen duikers, bezinkgreppels -en poeltjes en/of plaatselijk verbrede en verdiepte sloten. Hiernaast draagt een gezonde bodem (bodemleven, organisch stofgehalte, structuur) bij aan zowel het vasthouden van water als van nutriënten (meer infiltratie, hogere opname-efficiëntie).

De continue nitraatmetingen lieten hogere nitraatconcentraties zien bij hoge grondwaterstanden en korte concentratiedips tijdens afvoerpieken. De totale vracht tijdens afvoerseizoen 2018/2019 is vastgesteld op 282 kg, circa 5% van het overschot. Aangezien ongeveer $\frac{2}{3}$ van het neerslagoverschot infiltreert naar het grondwater, zal ook het stikstofoverschot vooral naar het grondwater uitspoelen. Ook dit is te verminderen met een gezondere bodem, maar de gewaskeuze, de timing van de bemesting en de hoeveelheid en het type mest zijn hierbij ook bepalend. Blijvend grasland en zuinige bemesting met organische mest in niet te koude en natte perioden zijn optimaal. Voor het afvangen van de nitraatvrachten naar het oppervlaktewater zijn eenvoudige reactoren met bijvoorbeeld houtsnippers een optie.

Gezien de droge condities in de zomer van 2018 en het extreem korte afvoerseizoen 2018-2019 verdient het de aanbeveling om nog een afvoerseizoen door te meten onder minder extreem droge omstandigheden. Vervolgens leent de onderzoekslocatie zich uitstekend voor het testen van maatregelen en het combineren van waterberging met het verminderen van nutriëntenverliezen. Uiteindelijk is op basis van de ervaringen vast te stellen welke (meet)informatie nodig is voor het opstellen van een bedrijfsspecifiek maatregelenpakket voor andere bedrijven.

6 Literatuur

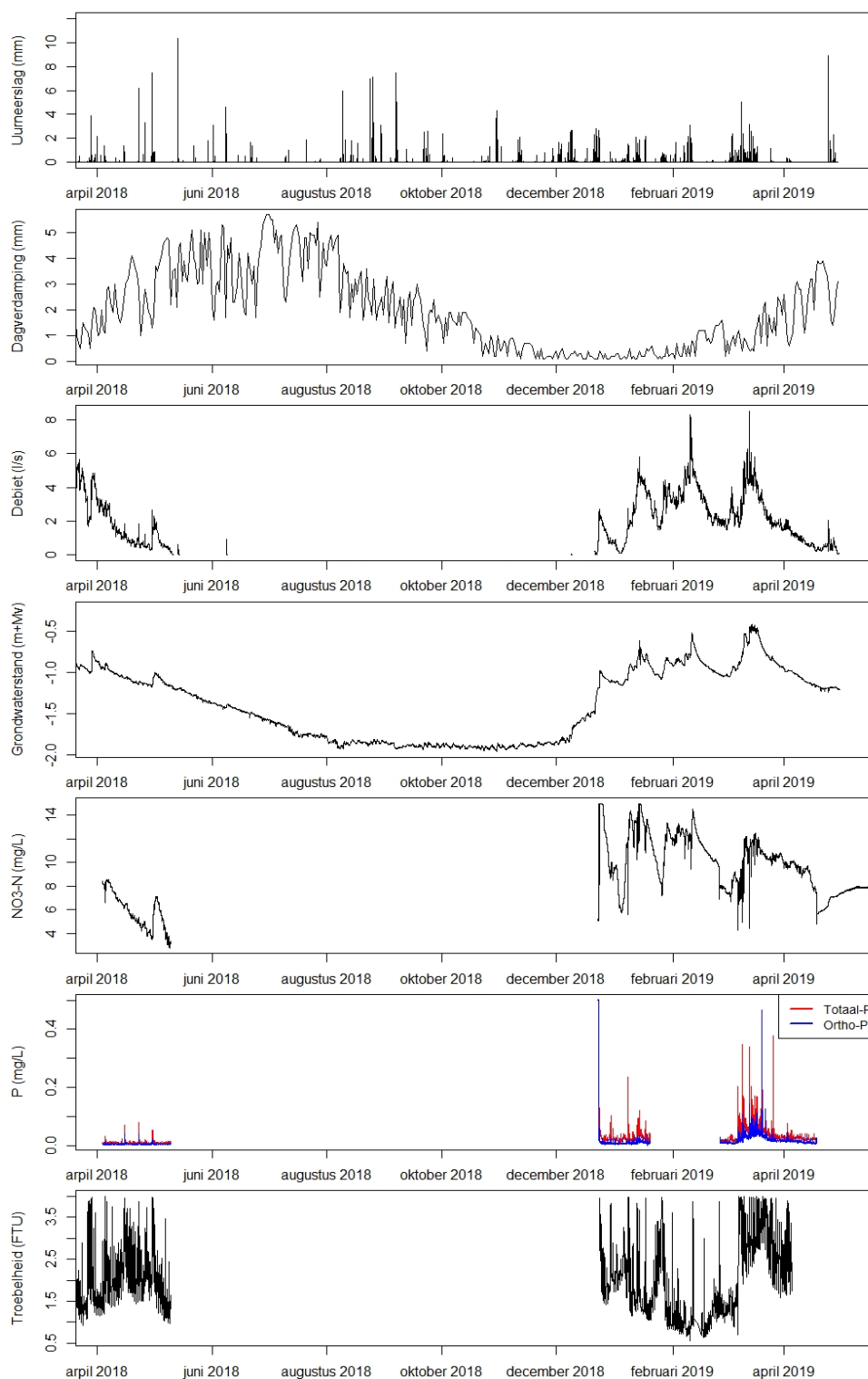
Rozemeijer, J., 2010. Dynamics in groundwater and surface water quality. From field-scale processes to catchment-scale monitoring. Proefschrift Universiteit Utrecht, Utrecht.

Rozemeijer, J., and Van der Velde, Y. 2014: Temporal variability in groundwater and surface water quality in humid agricultural catchments; Driving processes and consequences for regional water quality monitoring, *Fundamental and Applied Limnology*, 184, 195-209.

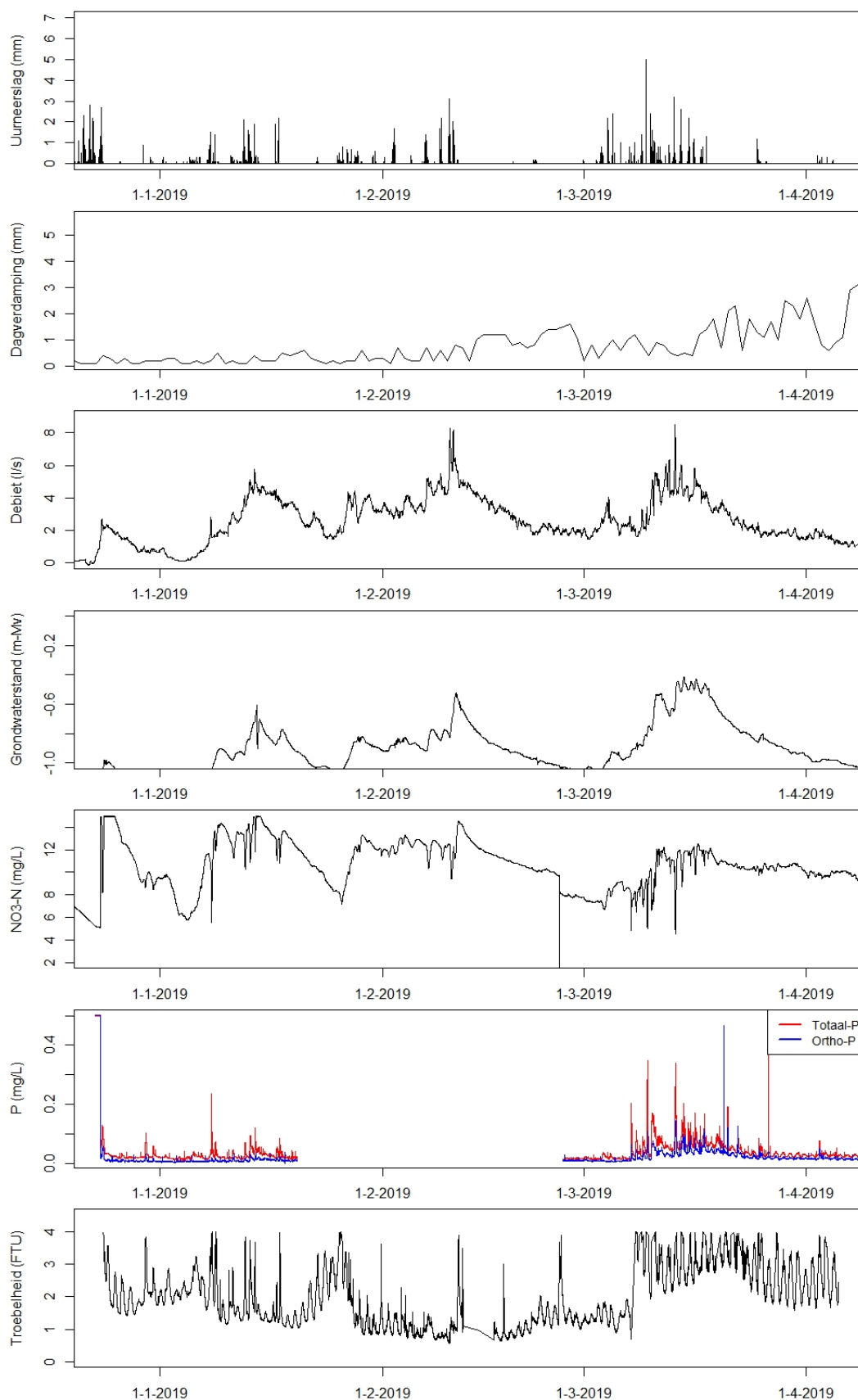
PBL (2017), Evaluatie Meststoffenwet 2016: Syntheserapport, Den Haag: PBL.

Van der Grift, B. 2017: Geochemical and hydrodynamic phosphorus retention mechanisms in lowland catchments, PhD thesis, Utrecht University. 243 pp.

A Meetreeksen hydrologie en waterkwaliteit



Figuur A1: Overzicht continue gemeten parameters over de gehele meetperiode van april 2018 tot en met april 2019.



Figuur A2: Overzicht continue gemeten parameters over de winterperiode van 24 december 2018 tot en met 16 april 2019.

B Fosfaatgehaltes bodem

