

MONITORING EN MODELLERING IN TWEE PILOTGEBIEDEN VOOR GEBIEDSGERICHTE AANPAK

Onderdeel KIWK-project Nutriënten: welke
landbouwmaatregelen snijden hout?

▶▶ KIWK 2022-22



▶▶ KIWK IN HET KORT

Dit rapport is geschreven in het kader van het project **Nutriënten: welke landbouwmaatregelen snijden hout?** van de Kennisimpuls Waterkwaliteit.

In de Kennisimpuls werken Rijk, provincies, waterschappen, drinkwaterbedrijven en kennisinstituten aan meer inzicht in de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater en de factoren die deze kwaliteit beïnvloeden. Daarmee kunnen waterbeheerders en andere partijen de juiste maatregelen nemen om de waterkwaliteit te verbeteren en de biodiversiteit te vergroten.

In het programma brengen partijen bestaande en nieuwe kennis bijeen, en maken ze deze kennis (beter) toepasbaar voor de praktijk. Hiermee verstevigen ze de basis onder het waterkwaliteitsbeleid. Het programma is gestart in 2018 en duurt vier jaar. Het wordt gefinancierd door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, STOWA, waterschappen, provincies en drinkwaterbedrijven.

Kennisimpuls Waterkwaliteit.

Beter weten wat er speelt en wat er kan.

▶▶ COLOFON

Opdrachtgever Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK) m.m.v. Waterschap Limburg, Waterschap de Dommel

Auteurs Peter Schipper (WUR), Piet Groenendijk (WUR), Luuk van Gerven (Waterschap Aa en Maas), Arnaut van Loon (KWR Water Research), Saskia Lukács (RIVM), Joachim Rozemeijer (Deltares)

Contact p.schipper@wur.nl

Gebruikerscommissie Kennisimpuls waterkwaliteit Nutriënten: welke landbouwmaatregelen snijden hout?

Carlo Rutjes	Waterschap Aa en Maas
Eric van de Lockant	Brabant Water
Michael van der Schoot	LTO
Laurens Gerner	Waterschap Rijn en IJssel
Richard van Hoorn	Waterschap Vallei en Veluwe
Servaas Damen	Rijkswaterstaat
Leo Oprel	Ministerie van LNV
Miriam Collombon	Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard
Hilde Ketelaar	Waterschap Rivierenland
Berry Bergman	Waterschap Drents Overijsselse Delta
Peter Ramakers	Provincie Noord-Brabant
Wim van der Hulst	Waterschap Aa en Maas
Jan Roelsma	Wetterskip Fryslân
Joanneke Spruijt	Waterschap Zuiderzeeland
Sandra Plette	Rijkswaterstaat

Vormgeving Shapeshifter.nl | Utrecht

STOWA-rapportnummer 2022-22
ISBN 978.90.5773.968.2

Copyright De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is kosteloos verkrijgbaar.

Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteur(s) en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

▶▶ VOORWOORD

Om te voldoen aan de Nitraatrichtlijn en de KRW-doelen voor grond- en oppervlaktewater, moet de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor verder worden teruggedrongen. De relatief makkelijk te implementeren maatregelen om de uit- en afspoeling te beperken, zogezegd het 'laaghangende fruit', zijn inmiddels in de afgelopen Nitraat Actie Programma's al genomen. Om de uit- en afspoeling verder te beperken, zijn vooral gebiedsgerichte en bedrijfsspecifieke maatregelen nodig zoals die worden gestimuleerd via het landelijke programma Deltaprogramma Agrarisch Waterbeheer. Om in de probleemgebieden (waar de uit- en afspoeling in belangrijke mate moet worden verminderd), effectieve maatregelen te vinden, is meer kennis nodig over de hotspots en hot moments van de uit- en afspoeling, zowel op gebiedsniveau als op perceelniveau. Ook is het nodig dat de beschikbare kennis over de effectiviteit van maatregelen gebundeld en beter toepasbaar wordt gemaakt. Dat was het vertrekpunt van het onderhavige onderzoek.

In het onderzoek hebben de vier kennisinstituten in nauwe samenwerking met waterschap Aa en Maas en Zuiderzeeland een intensieve en innovatie monitoring opgezet in twee pilotgebieden: De Vuursteentocht in oostelijk Flevoland en de Vinkenloop in Noord-Brabant. Het vierjarige onderzoeksprogramma van de Kennisimpuls Waterkwaliteit is in april 2022 weliswaar beëindigd, maar in beide gebieden wordt de monitoring voortgezet omdat langer doormeten nodig is om resultaten te kunnen extrapoleren naar andere perioden en situaties en de opgezette monitoring ook benut kan worden om effecten van maatregelen in de pilotgebieden te bepalen. Het streven is dan ook om voor beide pilotgebieden de opgezette monitoring door te zetten tot een permanente onderzoekinfrastructuur voor het testen van nieuwe meetmethoden en maatregelen.

Dit rapport beschrijft de resultaten van de monitoring en aansluitende modellering die in de twee pilotgebieden is uitgevoerd. Het onderzoek heeft naast de monitoring diverse producten geleverd, waaronder enkele Deltafacts (effectiviteit landbouwmaatregelen, handreiking gebiedsgerichte monitoring nutriëntenverliezen vanuit landbouw), een reviewrapport over de effectiviteit van maatregelen en de tool [Maatregel op de Kaart](#), die benut wordt in projecten om agrariërs te stimuleren in het nemen van bovenwettelijke maatregelen.

Hiermee heeft het Kennisimpuls-project bijgedragen aan kennisontwikkeling over de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor van landbouwgronden en het toepasbaar maken van de kennis over maatregelen die effectief bijdragen aan het verminderen van deze uit- en afspoeling en daarmee de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater uit de agrarische sector.

Carlo Rutjes (Waterschap Aa en Maas)

Voorzitter gebruikerscommissie 'Nutriënten: welke landbouwmaatregelen snijden hout?'

▶▶ SAMENVATTING

AANLEIDING

In veel regionale oppervlaktewateren wordt nog niet voldaan aan de Kaderrichtlijn Waterdoelen voor stikstof- en fosforconcentraties. De uit- en afspoeling vanaf landbouwgronden heeft hier een groot aandeel in. Op droge zandgronden spoelt nog te veel nitraat uit naar het grondwater waardoor niet aan de Europese Nitraatrichtlijn wordt voldaan. Met het mestbeleid is sinds de jaren tachtig van de vorige eeuw het niveau van de bemesting in belangrijke mate teruggedrongen en zo ook de risico's voor de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor. Maar om te voldoen aan de Nitraatrichtlijn en de KRW-doelen voor grond- en oppervlaktewater, moet de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor nog verder worden teruggedrongen. De relatief makkelijk te implementeren maatregelen om de uit- en afspoeling te beperken, zogezegd het 'laaghangend fruit', zijn inmiddels al genomen, onder andere door maatregelen in de afgelopen Nitraat Actie Programma's.

Om de uit- en afspoeling verder te beperken, zijn ook gebiedsgerichte en bedrijfsspecifieke maatregelen nodig. Daarvoor is zowel kennisverdieping als verdere kennisdeling nodig. Bij waterbeheerders is er behoefte aan kennis over *bronnen* en *routes* op stroomgebiedsniveau om locaties te kunnen identificeren waar maatregelen doelmatig ingezet kunnen worden: de juiste maatregel op de juiste plaats. Daarnaast hebben waterbeheerders en agrariërs behoefte aan kennis over de effecten van maatregelen op perceelniveau.

DOEL

Het doel van het gehele project Nutriënten: welke landbouwmaatregelen snijden hout? dat binnen het onderzoeksprogramma van de Kennisimpuls Waterkwaliteit wordt uitgevoerd, is inzicht krijgen in hoe maatregelen op de juiste plek ingezet te krijgen door:

- State-of-the-art meettechnieken, modellen en kennis over bronnen en routes in stroomgebieden samen te brengen.
- Gegevens op bedrijfsniveau te integreren voor bedrijfsspecifieke handelingsperspectieven.
- De effecten van veelbelovende maatregelen te onderbouwen.

Een deel van de doelen is gerealiseerd in andere deelprojecten, waarvan de ontwikkeling van de tool '[Maatregel-op-de-kaart](#)', het daarop aansluitende strategisch plan voor de ontwikkeling van landbouw-adviestools ([Ros et al., 2021](#)), de review over de effectiviteit van maatregelen ter vermindering van de uit- en afspoeling van nutriënten' ([Groenendijk et al., 2021](#)) en daaruit opgebouwde [Deltafact Deltafact effectiviteit nutriëntenmaatregelen uit- en afspoeling landbouw](#) de belangrijkste waren.

Voor het onderhavige deelproject *Monitoring en modellering in twee pilotgebieden voor gebiedsgerichte aanpak* zijn de volgende doelen geformuleerd:

- Testen van innovatieve meettechnieken ter onderbouwing van handelingsperspectieven voor de monitoring van effecten van nutriëntenmaatregelen.
- Verkrijgen van systeeminzicht in twee pilotgebieden ten aanzien van hotspots en hot moments van nutriëntenuitspoeling op basis waarvan gericht maatregelen genomen zouden kunnen worden en bestaande modelconcepten om de uit- en afspoeling te kwantificeren, te valideren.
- Testen van modelleringstechnieken voor het verkrijgen van kwantitatief inzicht in nutriëntenbalansen op perceelniveau en gebiedsniveau. Deze technieken dienen als basis voor een verdere verkenning van effecten van maatregelen.

METHODE

Voor het onderzoek is in twee pilotgebieden een intensieve en innovatieve monitoring opgezet. Hiermee zijn op stroomgebiedsniveau en perceelniveau inzichten verkregen over de bronnen en routes en daarbij de hot moments en hotspots van de uitspoeling van stikstof en fosfor. Voor de interpretatie van de metingen is een aansluitende gedetailleerde modellering opgezet die de vocht- en nutriëntenhuishouding van de landbouwgronden is gesimuleerd en daarmee de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater en de nitraatuitspoeling naar het ondiepe grondwater is gekwantificeerd.

Voor beide pilotgebieden is het streven om de opgezette monitoring door te zetten tot een permanente onderzoekinfrastructuur, die ook na afloop van de Kennisimpuls beschikbaar blijft voor het testen van nieuwe meetmethoden en om in een reële veldsituatie effecten van maatregelen te bepalen.

RESULTATEN

Meetmethoden

Met het onderzoek zijn diverse innovatieve meetmethodes ingezet, waaronder continue metingen van diverse parameters op het uitstroompunt, routings waarmee met sensoren aan een hengel en kano de waterkwaliteit in de trajecten van de waterlopen is gemeten, isotopen die onderscheid geven in de herkomst van stikstof in het water en de bodem, minifilters die een goed beeld geven van het concentratieverloop in de diepte over bodemprofielen, remote sensing en passieve sampling.

De meeste methodes voldeden aan de doelen waarvoor deze waren ingezet. Alleen de inzet van de SorbiCells voldeed niet aan het doel, omdat het merendeel van de meetresultaten niet correct was. De opgedane ervaring met de nieuwe meetmethodes is waardevol bij het voortzetten van de monitoring in de pilots en de inzet van de metingen in andere gebieden. En vanuit de opgedane ervaring zijn een Deltafact (<https://www.stowa.nl/deltafacts>) en een handreiking opgesteld voor gebiedsspecifieke monitoring van nutriëntenverliezen vanuit de landbouw.

Data driven modellering

De toepassing van data driven modeltechnieken heeft meerwaarde bij het verwerken en interpreteren van de meetgegevens, bijvoorbeeld om meetdata van hoogfrequente monitoring te controleren en gaten in meetseries op te vullen. De met data driven modellen vastgelegde relaties tussen hydrologie en waterkwaliteit zijn ook bruikbaar voor het extrapoleren van meetreeksen naar andere weerjaren en om globale inschattingen te kunnen geven van het effect op de concentraties in het uitstroompunt als stofvrachten van de onderscheiden emissieroutes worden aangepast. De resultaten ervan zijn ook bruikbaar voor modelinput en validatie van dynamische procesmodellen.

Procesmodellering

Om de herkomst van nutriënten in uitspoelend water vanuit percelen en effecten van landbouwmaatregelen te kunnen kwantificeren, zijn procesmodellen nodig. Voor beide gebieden is een eerste versie van een gedetailleerde procesmodellering opgezet met de rekencodes van SWAP en ANIMO, waarmee gewasopname en de vocht- en nutriëntenhuishouding in de bodems worden gesimuleerd.

De procesmodellering sloot goed aan op het conceptuele model dat voor beide gebieden op basis van de metingen en data driven modellering is opgezet. Op enkele onderdelen konden de conceptuele modellen met de procesmodellering worden verfijnd.

BEANTWOORDING ONDERZOEKSVRAGEN

Het onderzoek in de pilots beoogde de volgende vragen te beantwoorden:

1. Op welke manieren kunnen bronnen en routes van nutriënten op stroomgebiedsschaal in beeld worden gebracht en worden gekwantificeerd zodat inzicht verkregen wordt in het type maatregelen dat kan leiden tot vermindering van de nutriëntenbelasting van oppervlaktewater? Welke methoden geven inzicht in de dynamiek van waterkwaliteitsparameters?
2. Wat is de herkomst van nutriënten in grond- en oppervlaktewater op stroomgebiedsschaal, bedrijfsschaal en perceelsschaal, waar bevinden zich hotspots en onder welke omstandigheden doen zich hot moments voor? In welke mate hebben deze hotspots en hot moments invloed op gebiedsgemiddelde en seizoensgemiddelde waarden van waterkwaliteitsparameters?
3. Welke maatregelen zouden op basis van de verkregen systeeminzichten effect kunnen sorteren bij de vermindering van de nutriëntenbelasting van oppervlaktewater en de verlaging van stikstof- en fosforconcentraties?

De resultaten van de verschillende type metingen die zijn ingezet op stroomgebiedsniveau en perceelniveau leveren bij elkaar en tezamen met de verschillende modellen een helder beeld hoe het bodem- en watersysteem functioneert, hoe de nutriëntenstromen reageren op het weer (neerslag), mestgiften en landgebruik, waar hotspots liggen en wanneer en waardoor hot moments optreden. Diverse van deze inzichten bevestigen op eerder onderzoek gebaseerde verwachtingen, maar worden hier experimenteel onderbouwd en/of nader gekwantificeerd.

De monitoring leverde echter ook diverse nieuwe inzichten op, zoals 1) het verschijnsel dat nitraatuitspoeling na een regenrijke periode sneller optreedt dan op basis van landelijke en regionale modelstudies wordt verwacht; 2) ammonium in kwelwater in het pilotgebied Vuursteentocht alleen uittreedt naar de diepere tochten en niet naar de drains en kavel-sloten; 3) de routes naar de drains en sloten (de grondwaterstromingspatronen) ondieper zijn dan hetgeen in landelijke en regionale modelstudies steeds is aangenomen; en 4) er is in de Vinkenloop op relatief geringe diepte een overgang waargenomen tussen geoxideerd water en anoxisch of gereduceerd water (redoxcline). Water dat via de gereduceerde zone naar drains en sloten stroomt, heeft een lagere nitraatconcentratie dan water dat ondiep naar de drains stroomt.

De metingen en data driven modelleringstechnieken geven inzicht in welk type maatregelen zouden kunnen leiden tot een verbetering van de waterkwaliteit. De opgezette procesmodellen geven meer gedetailleerd inzicht in de nutriëntenbalansen op perceel- en stroomgebiedsniveau en effecten van diverse landbouwmaatregelen kunnen hiermee gekwantificeerd worden. Een dergelijk inzicht is gewenst voor zowel een realistische verwachting van effecten van maatregelen als voor het gesprek tussen agrariërs en waterbeheerders over maatregelen. Bij de opzet en validatie van deze gedetailleerde modellen zijn de inzichten verkregen uit de detailmetingen en uit de data driven modellen zeer behulpzaam. Een goede match met detailmetingen en data driven modellen vergroot de zeggingskracht van de procesmodellen.

In [hoofdstuk 5](#) (discussie) wordt per gebied ingegaan op de bron-, route- en zuiverende maatregelen die effectief kunnen zijn om de nutriëntenbelasting van het water te verminderen. Bij het voortzetten van de monitoring in de beide pilotgebieden zal deze zich ook richten op het experimenteel vaststellen van een of meerdere maatregelen die in de pilotgebieden worden genomen. Ook kunnen dan de effecten met de procesmodellering worden geëxtrapoleerd naar andere situaties (andere weerjaren, locaties met andere gebiedskenmerken).

AANBEVELINGEN

Het verdient sterk aanbeveling om van beide pilotgebieden de monitoring over een lange periode, bij voorkeur permanent, voort te zetten. Dan blijft het een ideale proeftuin voor nieuwe meettechnieken, voor de toetsing van modellen en voor het afleiden van effecten van landbouwmaatregelen in een reële veldsituatie. Aanbevolen wordt om de twee gebieden ook in te zetten als pilots voor de effectmonitoring die voor het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer wordt voorzien.

Op basis van de evaluatie van de meettechnieken in dit rapport kan de monitoring in beide gebieden worden geoptimaliseerd in samenhang met een effectbepaling van maatregelen. Aandachtspunten voor de optimalisatie zijn het inwinnen van informatie om stikstofbalansen voor de bodems op perceelniveau te kunnen opstellen en om in het stroomgebied van de Vinkenloop meer ruimtelijk inzicht te verzamelen over de grondwaterstanden.

De meetinstallaties en -apparatuur hebben een aanzienlijke investering gevegd (3 tot 5 ton per jaar aan materiele en personele kosten). Bij voortzetting van de monitoring kunnen de jaarlijkse kosten wellicht afnemen door optimalisatie. In veel gebieden zal het echter niet mogelijk en/of wenselijk zijn om een vergelijkbare intensieve monitoring op te zetten. In de Deltafact 'Handreiking gebiedsgerichte monitoring nutriënten uit de landbouw' worden voorbeelden en aanbevelingen gegeven voor minder intensieve meetstrategieën. De ervaringen uit de twee pilotgebieden zijn verwerkt in deze Deltafact.

Met de opgezette procesmodellen kan het effect van diverse maatregelen op de af- en uitspoeling worden gekwantificeerd, kan de uit- en afspoeling worden gesimuleerd voor andere weersomstandigheden en kunnen extrapolaties worden uitgevoerd naar vergelijkbare gebieden. Op enkele onderdelen kunnen de nu opgezette procesmodellen worden verbeterd. Om

maatregelen in beide gebieden te selecteren voor het meten van effecten, kunnen berekeningen worden uitgevoerd om keuzes voor maatregelen te ondersteunen.

Aanbevolen wordt om het modelinstrumentarium uit te breiden met een oppervlaktewatermodel, waarbij rekening gehouden kan worden met het stofgedrag van de nutriënten in het oppervlaktewater en daarmee de retentie en totale uitgaande vrachten gekwantificeerd kunnen worden en ook ingrepen (en maatregelen) in het oppervlaktewater.

De modelconcepten kunnen verder worden onderbouwd als de meetreeksen langer doorlopen. Dan kan bijvoorbeeld ook beter besloten worden in hoeverre parameters en procesbeschrijvingen in landelijke modellen aangepast moeten worden om een verbetering aan te brengen in de beschrijving van de snelle respons behorend bij ondiepe transportroutes.

	Kennisimpuls Waterkwaliteit in het kort	2
	Voorwoord	4
	Samenvatting	5
1	INLEIDING	11
1.1	Aanleiding	11
1.2	Vraagstelling	11
1.3	Terminologie bronnen, herkomst en routes	12
1.4	Doelstelling	13
1.5	Aanpak op hoofdlijnen	13
1.6	Leeswijzer	14
2	METHODEN	15
2.1	Opzet monitoring	15
2.2	Ingezette meetmethodes en bijhorende doelen	15
2.3	Monitoring op stroomgebiedsniveau	17
2.4	Monitoring op perceelniveau	18
2.5	Gegevensverwerking	18
2.6	Inzet innovatie monitoringstechnieken	18
2.7	Modellering	22
3	CASUS VINKENLOOP	24
3.1	Gebiedsbeschrijving	24
3.2	Monitoring op stroomgebiedniveau	24
	3.2.1 Resultaten routings Vinkenloop	25
	3.2.1 Resultaten continue metingen	28
	3.2.2 Resultaten remote sensing	32
3.3	Monitoring op perceelniveau	34
	3.3.1 Resultaten bodemvocht- en grondwatersensoren proefperceel	34
	3.3.2 Resultaten (grond)waterkwaliteitsanalyses proefperceel	36
3.4	Monitoring isotopen	40
3.5	Data driven modellering	43
	3.5.1 Machinelearning	43
	3.5.2 STROMON-benadering	47
3.6	Modellering uit- en afspoeling met SWAP-ANIMO	49
	3.6.1 Inleiding	49
	3.6.2 Modelopzet	49
	3.6.3 Modelresultaten	53
	3.6.4 Validatie	54
	3.6.5 Stikstofbalans	55

4	CASUS VUURSTEENTOCHT	59
4.1	Gebiedsbeschrijving	59
4.2	Resultaten monitoring stroomgebiedsniveau	60
	4.2.1 Resultaten routings Vuursteentocht	60
	4.2.2 Resultaten continue metingen uitstroompunt	63
	4.2.3 Remote Sensing	67
4.3	Resultaten perceelmonitoring	69
	4.3.1 Routing drains en Stikstofbalans in de bodem	69
	4.3.2 Sloopwatermetingen in perceel sloten Vuursteentocht	70
	4.3.3 Passive sampling aan de drains: SorbiCells in Flowcap	73
4.4	Data-driven modellering Vuursteentocht	73
4.5	Modellering uit- en afspoeling met SWAP-ANIMO	76
	4.5.1 Modelopzet en schematisering	76
	4.5.2 Modelresultaten waterafvoer	79
	4.5.1 Modelresultaten stikstof	80
	4.5.2 Discussie modelresultaten	81
5	DISCUSSIE RESULTATEN METEN-MODELLEREN PILOTS	82
5.1	Inleiding	82
5.2	Evaluatie meetmethoden	82
5.3	Synthese metingen in de Vinkenloop	84
5.4	Bronnen en routes Vinkenloop	85
5.5	Synthese metingen in de Vuursteentocht	87
5.6	Bronnen en routes Vuursteentocht	88
5.7	Samenvattende discussie	89
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	94
6.1	Conclusies	94
6.2	Aanbevelingen	95
	LITERATUUR	96
	LINKS	97
	BIJLAGEN	98

►► 1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Schoon grond- en oppervlaktewater is een essentiële randvoorwaarde voor planten en dieren en vormt een belangrijk onderdeel van een gezonde leefomgeving en veilig drinkwater. De waterkwaliteit is de afgelopen decennia weliswaar verbeterd, maar Nederland heeft nog steeds belangrijke opgaven en verbetering van de fysisch-chemische waterkwaliteit lijkt te stagneren. Recente studies hebben uitgewezen dat er desondanks in veel gebieden nog een grote opgave is om de waterkwaliteit voor nutriënten voldoende te verbeteren (Verdonschot, 2021; [Knoben et al., 2021](#)).

Om invulling te kunnen geven aan een gebiedsgerichte aanpak voor vermindering van de uit- en afspoeling van nutriënten, spelen de volgende kennisvragen een belangrijke rol:

- In landelijke en regionale evaluaties worden voor de op te stellen stroomgebiedsbeheersplannen rekenmodellen ingezet om de uit- en afspoeling van landbouw- en natuurgronden te kwantificeren en op basis van dat aandeel in de totale nutriëntenbelasting de landbouwopgaven voor nutriënten te bepalen en effecten van maatregelen te schatten. Met name de rekenmodules voor de uit- en afspoeling behoeven nadere onderbouwing van de procesformuleringen, bij voorkeur op basis van experimenteel onderzoek en monitoring.
- De landbouwopgaven voor nutriënten worden op regionaal niveau berekend, maar kennis om deze toe te spitsen naar individuele bedrijven en percelen ontbreekt. Hierdoor voelen agrariërs zich beperkt verantwoordelijk voor de kwaliteitproblemen in regionale wateren en zijn ze moeilijk te motiveren om maatregelen te treffen (De Lauwere *et al.*, 2016).
- Evaluatie van de mestwetgeving (PBL 2017) geeft aan dat door regionale arrangementen en met maatwerk waarschijnlijk meer te bereiken is ten aanzien van het realiseren van nitraat- en KRW-doelen. Om agrariërs nieuwe handelingsperspectieven te kunnen bieden, is het nodig om kennis en informatie te ontsluiten over de belangrijkste emissieroutes, zodat de juiste maatregelen op de juiste plaats genomen kunnen worden.
- In het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer (DAW) worden bovenwettelijke maatregelen gestimuleerd om de waterkwaliteit (en kwantiteit) te verbeteren. Voor het selecteren van de juiste maatregelen op de juiste plaats ontbreekt het echter aan inzicht in de locaties en timing van de grootste nutriëntenverliezen, doordat bestaande waterkwaliteitsmeetnetten daarvoor te grofmazig zijn. Daarnaast zijn de effecten van de meeste maatregelen slechts globaal en kwalitatief bekend, terwijl de effectiviteit afhangt van lokale omstandigheden ten aanzien van bodem, gewas, waterhuishouding en management. Het ontbreken van adequate kennis over de effectiviteit van nutriëntenmaatregelen is een belangrijke faalfactor voor het slagen van DAW ([Breman et al., 2016](#)).

Gedurende het onderzoek is landbouwbeleid verder vormgegeven (Kringlooplandbouw¹, 7^e Nitraat Actie Programma² Stikstofaanpak³, Coalitieakkoord nieuwe regering)⁴. Deze ontwikkelingen hebben de behoefte aan een gebiedsgerichte aanpak en monitoring van de problematiek duidelijk versterkt.

1.2 Vraagstelling

Voor het deelonderzoek in dit rapport zijn de volgende onderzoeksvragen opgepakt:

- 1) Op welke manieren kunnen bronnen en routes van nutriënten op stroomgebiedsschaal in beeld worden gebracht en worden gekwantificeerd zodat inzicht verkregen wordt in het type maatregelen dat kan leiden tot vermindering van de nutriëntenbelasting van oppervlaktewater? Welke methoden geven inzicht in de dynamiek van waterkwaliteitsparameters?

1 [Realisatieplan visie LNV op weg met nieuw perspectief \(LNV 2019\)](#)

2 [Kamerbrief 7e actieprogramma Nitraatrichtlijn, Kamerstuk 26-11-21, Rijksoverheid.nl](#)

3 <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/aanpak-stikstof>

4 [Introductiedossier bewindspersonen ministerie van LNV 2022, Rijksoverheid.nl](#)

- 2) Wat is de herkomst van nutriënten in grond- en oppervlaktewater op stroomgebiedsschaal, bedrijfsschaal en perceelsschaal, waar bevinden zich hotspots en onder welke omstandigheden doen zich hot moments voor? In welke mate hebben deze hotspots en hot moments invloed op gebiedsgemiddelde en seizoensgemiddelde waarden van waterkwaliteitsparameters?
- 3) Welke maatregelen zouden op basis van de verkregen systeeminzichten effect kunnen sorteren bij de vermindering van de nutriëntenbelasting van oppervlaktewater en de verlaging van stikstof- en fosforconcentraties?

Om de eerste twee vragen te beantwoorden, zijn een intensieve monitoring en aansluitende modellering uitgevoerd in twee pilotgebieden. Naast deze vragen is voor dit onderdeel ook gekeken welke innovatieve meettechnieken inzetbaar zijn op stroomgebieds- en perceelniveau.

1.3 TERMINOLOGIE BRONNEN, HERKOMST EN ROUTES

Voor inzicht in de sturingsmogelijkheden en effectieve maatregelen om de uit- en afspoeling te verminderen, is dus een goede analyse van de bronnen nodig, zowel van de locaties van de bronnen, de omstandigheden waaronder nutriënten vrijkomen, de belangrijkste routes en transportprocessen naar grond- en oppervlaktewater en de aard van de bronnen (herkomst). In het voorliggende rapport worden deze begrippen (bronnen, herkomst, routes) als volgt gehanteerd:

Locaties van bronnen

Als gekeken wordt hoe de uit- en afspoeling van landbouwbodems kan verminderen, is het nuttig te weten welke percelen in belangrijke mate bijdragen aan de stikstof- en/of fosforbelasting van het water in het te beschouwen stroomgebied. In dit onderzoek hanteren we daarbij de term 'hotspots' (zie ook [\(Rozemeijer et al., 2018\)](#)): hieronder verstaan we percelen (of delen van een perceel) die verantwoordelijk zijn voor een relatief groot aandeel van de totale uit- en afspoeling in een stroomgebied. Inzicht in de locaties van de belangrijkste bronnen levert in de meeste gevallen direct ook handelingsperspectief op van bijvoorbeeld isoleren, aangepast beheer of ander landgebruik. In andere gevallen zal aanvullend onderzoek nodig zijn om te oorzaken van de grote nutriëntenverliezen te achterhalen en passende maatregelen te kiezen.

Omstandigheden van vrijkomen

Kennis over de omstandigheden waaronder nutriënten vrijkomen die het oppervlaktewater belasten, is nodig om effectief te kunnen sturen. Belangrijke aspecten hierin zijn:

- Neerslagoverschot en de bodemvoorraad
- Bemesting: hoeveelheden, tijdstippen en methode van mesttoediening
- Beweiding (hoeveel en wanneer)
- Gewasmanagement en vruchtopvolging
- Nutriëntenoverschotten op de bodembalans
- Waterhuishouding (drainage, begreppeling, beregening) van percelen
- Weersextremen

De wijze waarop deze aspecten zich in de ruimte en tijd tot elkaar verhouden, zijn sterk bepalend voor de mate waarin nutriëntenverliezen optreden en of ze betrekking hebben op grondwater en/of oppervlaktewater. In dit onderzoek hanteren we ook de term 'hot moments'. Daarmee worden kortdurende momenten bedoeld van enkele uren tot enkele dagen, waarbij de concentraties en/of stofvrachten duidelijk verhoogd zijn ten opzichte van de periode ervoor en erna.

Transportroute

De nutriënten komen via verschillende transportroutes in het grond- en oppervlaktewater terecht. De in dit onderzoek te onderscheiden routes zijn a) oppervlakkige afstroming, b) afvoer via buisdrainage en c) ondiepe laterale grondwaterstroming naar buisdrains, greppels en/of waterloop (sloot, beek, tocht), diepere grondwaterstroming naar deze ontwateringsmiddelen (die noemen we hier lokale kwel) en toestromend kwelwater dat afkomstig is van buiten het stroomgebied (regionale kwel).

Aard van de bronnen (herkomst)

Uit- en afspoeling van nutriënten vanuit landbouwgronden wordt niet alleen veroorzaakt door het bemesten. Andere mogelijke bronnen zijn atmosferische depositie, nutriëntenrijke kwel en seminatuurlijke nalevering vanuit het bodemcomplex (seminatuurlijk omdat het vaak wordt versneld door de aangebrachte ontwatering). In poldergebieden kan oppervlaktewater dat in de zomer in het bodemprofiel is geïnfiltreerd een significante bedrage leveren aan de uitspoeling (Schipper *et al.*, 2016). Andere mogelijke landbouwbronnen zijn lozingen vanuit kassen, erfafspoeling en het onbedoeld meemesten van sloten. De totale nutriëntenbelasting van oppervlaktewateren komt naast de landbouwbronnen vooral vanuit rwzi's en vanuit inlaatwater. Andere bronnen, zoals industriële lozingen, overstorten, diffuse bronnen uit stedelijk gebied en vogelkolonies leveren veelal een zeer beperkte bijdrage. Het onderscheid tussen bronnen speelt een belangrijke rol bij het bepalen van achtergrondconcentraties, het toedelen van reductieopgaven aan de landbouw en aan andere sectoren (Schipper *et al.*, 2021) en het selecteren van effectieve maatregelen.

1.4 DOELSTELLING

Het doel van het gehele project Nutriënten: welke landbouwmaatregelen snijden hout? dat binnen het onderzoeksprogramma van de Kennisimpuls Waterkwaliteit wordt uitgevoerd, is inzicht krijgen in hoe maatregelen op de juiste plek ingezet te krijgen door:

- State-of-the-art meettechnieken, modellen en kennis over bronnen en routes in stroomgebieden samen te brengen;
- Gegevens op bedrijfsniveau te integreren voor bedrijfsspecifieke handelingsperspectieven;
- De effecten van veelbelovende maatregelen te onderbouwen.

Een deel van de doelen is gerealiseerd in andere deelprojecten, waarvan de ontwikkeling van de tool '[Maatregel-op-de-kaart](#)', het daarop aansluitende strategisch plan voor de ontwikkeling van landbouw-adviestools (Ros *et al.*, 2021), de review over de effectiviteit van maatregelen ter vermindering van de uit- en afspoeling van nutriënten' (Groenendijk *et al.*, 2021) en daaruit opgebouwde Deltafact [Deltafact effectiviteit nutriëntenmaatregelen uit- en afspoeling landbouw](#) de belangrijkste waren.

Voor het onderhavige deelproject *Monitoring en modellering in twee pilotgebieden voor gebiedsgerichte aanpak* zijn de volgende doelen geformuleerd:

- Testen van innovatieve meettechnieken ter onderbouwing van handelingsperspectieven voor de monitoring van effecten van nutriëntenmaatregelen.
- Verkrijgen van systeeminzicht in twee pilotgebieden ten aanzien van hotspots en hot moments van nutriëntenuitspoeling op basis waarvan gericht maatregelen genomen zouden kunnen worden en bestaande modelconcepten om de uit- en afspoeling te kwantificeren te valideren.
- Testen van modelleringstechnieken voor het verkrijgen van kwantitatief inzicht in nutriëntenbalansen op perceel- en gebiedsniveau. Deze technieken dienen als basis voor een verdere verkenning van effecten van maatregelen.

Het onderhavige rapport beschrijft de resultaten van de monitoring en aansluitende modellering over de meetperiode 2020 tot en met 2021. Bij het voortzetten van de monitoring zal deze zich ook richten op het bepalen van effecten van landbouwmaatregelen die in de pilotgebieden zullen worden genomen.

1.5 AANPAK OP HOOFDLIJNEN

Voor het onderzoek zijn twee pilotgebieden geselecteerd die centraal zijn komen te staan in de kennisintegratie en methodiekontwikkeling. Binnen deze pilotgebieden is een uitgebreide en innovatieve monitoring opgezet en is aansluitend een modellering uitgevoerd, zowel op het schaalniveau van het onderzoeksgebied als op perceelniveau. De gekozen pilots zijn het stroomgebied van de Vinkenloop in Noord-Brabant in het beheergebied van waterschap Aa en Maas en het stroomgebied van de Vuursteentocht in oostelijk Flevoland, dat ligt in het beheergebied van waterschap Zuiderzeeland.

De monitoring is opgezet voor de volgende doeleinden:

- Het verkrijgen van systeeminzicht:
 - Hotspots en hot moments (waar en wanneer vinden de grootste emissies van nutriënten plaats?)
 - Wat zijn de belangrijke emissieroutes?
- Het testen van innovatieve meettechnieken (sensoren, isotopen, ERT, Remote Sensing, Passive Sampling);
- Het testen en verbeteren modelconcepten;
- Een voorbereiding op het testen van de effectiviteit van enkele maatregelen.

De monitoring is opgezet en uitgevoerd in nauwe samenwerking met beide waterschappen. Voor de Vinkenloop geldt dat daar een parallel monitoringsproject door het Waterschap was opgezet: Sensor Gestuurd Boeren (SGB). Voor SGB zijn diverse metingen uitgevoerd die zijn afgestemd op de monitoring die voor KIWK is opgezet. Beide projecten benutten elkaars monitoring. De SGB-metingen van de afvoeren (debieten), handmatige bemonstering van oppervlaktewater op verschillende meetlocaties en N-mineraalmetingen op de landbouwbodems zijn benut zijn bij de interpretatie en uitwerking van de meetgegevens en de modellering in de onderhavige rapportage.

Nadat voor beide gebieden een meetplan is opgezet (Rozemeijer *et al.*, 2021), is de monitoring operationeel gekomen in het najaar van 2020. De intentie van het opgezette onderzoek was op voorhand om langer door te meten dan het KIWK-onderzoeksprogramma dat in april 2022 is afgelopen. Diverse partijen hebben hier hun commitment voor aangegeven, waardoor het waarschijnlijk is dat de monitoring tot en met 2024 zal worden voortgezet. In die periode zullen enkele maatregelen in de gebieden worden geselecteerd om de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater te verminderen; de effecten daarvan op de emissies naar water zullen via de monitoring experimenteel bepaald worden. Voor de meetreeksen en modellering die in het onderhavige rapport worden behandeld, zijn geen maatregelen opgenomen.

1.6 LEESWIJZER

[Hoofdstuk 2](#) beschrijft de opzet en uitvoering van de metingen en modelleringen. De resultaten hiervan worden beschreven in [hoofdstuk 3](#) (Vinkenloop) en [hoofdstuk 4](#) (Vuursteentocht). In [hoofdstuk 5](#) worden de onderzoeksresultaten bediscussieerd. De conclusies en aanbevelingen worden in [hoofdstuk 6](#) geformuleerd. De literatuurlijst is opgenomen in [hoofdstuk 7](#).

Omwille van de leesbaarheid is een apart technisch bijlagenrapport opgesteld. Hierin worden alle resultaten van de verschillende meetmethoden en data driven modellen in detail beschreven. De belangrijkste resultaten van deze onderdelen zijn in samengevatte vorm verwerkt in [hoofdstuk 3 en 4](#) van het onderliggende hoofdrapport.

▶▶ 2 METHODEN

2.1 OPZET MONITORING

Voor het onderzoek zijn twee pilotgebieden geselecteerd: het pilotgebied Vinkenloop in het beheergebied van Waterschap Aa en Maas en het pilotgebied Vuursteentocht in het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland. De beschrijving van deze keuze en hiervoor opgestelde monitoringsplannen zijn opgenomen in het document [Meetplannen bronnen en routes-pilotgebieden](#) (Rozemeijer *et al.*, 2021). De monitoring is in beide gebieden ingezet op stroomgebiedsniveau en op perceelniveau. Ten behoeve van de interpretatie en aansluitende modellering zijn naast metingen gegevens van de agrarische bedrijven verzameld (bemesting, grondbewerking, teeltplannen, gewasopbrengsten e.d.).

De monitoring is in nauwe samenwerking met de beide waterschappen uitgevoerd. Voor de Vinkenloop had het Waterschap een parallel monitoringsproject in gang gezet: Sensor Gestuurd Boeren.⁵ Hiermee wil het waterschap samen met boeren meer grip krijgen op de invloed van de landbouw op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater en met die kennis samen met de boeren bepalen welke mestmaatregelen haalbaar en effectief zijn. In dat project zijn onder andere diverse sensoren voor stikstof getest, bedrijfsgegevens over mestgiften en opbrengsten verzameld en landbouwbodems bemonsterd. De monitoringsopzet van dit project is afgestemd op hetgeen voor het KIWK-project is opgezet.

Waterschap Zuiderzeeland heeft in afstemming met LTO Noord opdracht aan Aequator en WUR Open teelten verleend voor uitvoering van de ABW (Actieplan Bodem en Water) pilot stikstofbenutting in de Vuursteentocht. Deze ABW-pilot bouwt voort op de opgedane kennis uit het KIWK-project en heeft als doel om samen met agrariërs te werken aan een betere stikstofbenutting en daarmee aan een betere waterkwaliteit. Hiervoor worden onder andere stikstofoverschotbepalingen en metingen met nitraatstrips in de drains uitgevoerd. Bodem- en bemestingsdeskundigen van Aequator en WUR Open Teelten ondersteunen agrariërs daarbij in kleine studiegroepjes, met individuele bedrijfsbezoeken en een veldexcursie.

Diverse onderdelen van de monitoring die is uitgevoerd voor Sensor Gestuurd Boeren en ABW zijn meegenomen in de verwerking en uitwerking van de KIWK-monitoring en worden dan ook in het onderhavige rapport beschreven.

2.2 INGEZETTE MEETMETHODES EN BIJHORENDE DOELEN

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de meetmethoden en specifieke doelen waarvoor deze op stroomgebiedsniveau (tabel 2.1a) en op perceelniveau (tabel 2.1b) zijn ingezet. Enerzijds zijn de doelen gericht op het verkrijgen van inzichten in de bronnen, routes en processen, waarbij resultaten van de ingezette methodes in samenhang worden bestudeerd. Anderzijds is het doel van de monitoring ook om nieuwe meetmethodes in de praktijk te testen en evalueren.

Voor de verschillende onderdelen van de monitoring zijn ook ondersteunende metingen nodig. Dit zijn met name chemische analyses in het laboratorium van handmatig genomen watermonsters, hetgeen nodig is om de metingen van sensoren en de nitraat-app te valideren en meetreeksen van sensoren te corrigeren. Daarnaast is het voor de interpretatie van de metingen nodig om betrouwbaar inzicht te hebben in de neerslaghoeveelheden. Hiervoor is een neerslagmeter in beide pilotgebieden geïnstalleerd, maar is voor de interpretatie van met name forse neerslaggebeurtenissen ook gekeken naar de omliggende KNMI-stations, bijhorende radarbeelden en de metingen van de bodemvochtsensoren die in het meetprogramma zijn opgenomen.

In de volgende paragrafen worden de meetmethodes nader toegelicht.

⁵ <https://www.aaenmaas.nl/in-jouw-buurt/projectenkaart/sensorgestuurd-boeren/>

TABEL 2.1A

Ingezette meettechnieken stroomgebiedsniveau, bijhorende doelen en ondersteunende monitoring.

Onderdelen monitoring op stroomgebiedsniveau	Doelen	Ondersteunde monitoring
Continue metingen uitstroompunt meetcabines (auto-analyzers en sensoren)	<ul style="list-style-type: none"> • korte termijn dynamiek in beeld (hot moments) • betrouwbare vrachtschattingen • kwantificeren balansposten en processen (uitspoeling, kwel, retentie) • testen meettechnieken 	<ul style="list-style-type: none"> • conventionele lab-metingen (controle/correctie) • hydrologische metingen: afvoer, grondwaterstanden, neerslag (voor interpretatie en vrachtberekeningen)
Stroomgebied routings 4x per jaar (Nitraatapp, EC en temp sensor)	<ul style="list-style-type: none"> • hotspots nitraatverliezen • ruimtelijke verschillen kwel • inzicht in routes 	<ul style="list-style-type: none"> • conventionele lab-metingen (ter controle en voor breder beeld qua stoffen)
Passive samling oppervlaktewater met SorbiCells	<ul style="list-style-type: none"> • tijdsgemiddelde concentratiemetingen • betere vrachtbepaling; testen methodiek 	<ul style="list-style-type: none"> • conventionele lab-metingen (evaluatiemethode)
Remote Sensing (satellietbeelden)	<ul style="list-style-type: none"> • detectie plasvorming, onbedekte percelen en kale plekken op percelen (risicofactoren nutriëntenverliezen) 	<ul style="list-style-type: none"> • neerslag • visuele veldwaarnemingen

TABEL 2.1B

Ingezette meettechnieken perceelniveau, bijhorende doelen en ondersteunende monitoring.

Onderdelen monitoring op perceelniveau	Doelen	Ondersteunde monitoring
drain routings Nitraatapp (Vuursteentocht)	<ul style="list-style-type: none"> • samenstelling drainagewater • relatie gewasrotatie met nitraatuitspoeling 	<ul style="list-style-type: none"> • conventionele lab-metingen (ter controle en voor breder beeld qua stoffen)
SorbiCells drains, flowcap installatie (Vuursteentocht)	<ul style="list-style-type: none"> • afvoergemiddelde concentraties en vrachten vanuit drains 	<ul style="list-style-type: none"> • conventionele lab-metingen (evaluatiemethode)
minifilterputten (Vinkenloop)	<ul style="list-style-type: none"> • concentratie-diepteprofielen (0,3-6m) • inzicht in uitspoeling concentraties versus achtergrondconcentraties • redox-overgang, denitrificatie 	<ul style="list-style-type: none"> • grondwaterstanden • neerslag • organischestofgehalten
bodemvocht en EC-sensoren (Vinkenloop)	<ul style="list-style-type: none"> • dynamiek in perceel-uitspoeling en bodemvocht in beeld 	<ul style="list-style-type: none"> • neerslag; berekening • grondwaterstanden • conventionele lab-metingen (relatie EC-Nitraat)
Electrical Resistivity Tomography (ERT) (Vinkenloop)	<ul style="list-style-type: none"> • continue 3D-meting van nitraatuitspoeling • testen methodiek 	<ul style="list-style-type: none"> • neerslag, grondwaterstand • EC-sensoren • open boorgat bemonsteringen (interpretatie metingen en evaluatie)
N-isotopen (Vinkenloop)	<ul style="list-style-type: none"> • bevestigen of uitsluiten dominante stikstof bronnen en achtergrondconcentraties • aantonen denitrificatie en ammonificatie • meten atmosferische N-input 	<ul style="list-style-type: none"> • conventionele lab-metingen • isotopen in bronnen

2.3 MONITORING OP STROOMGEBIEDSNIVEAU

Op stroomgebiedsniveau zijn de volgende meetmethoden ingezet om de ruimtelijke en temporele variaties in de waterkwaliteit in beeld te brengen.

- Routings
- Meettrailer voor continue concentratie metingen
- Passive samplers (SorbiCells)
- Remote Sensing
- Overige (handmatige) monitoring Waterschappen

Routings

Met routings zijn de ruimtelijke patronen in de waterkwaliteit in kaart gebracht. Met een aan gps gekoppelde CTD-diver (EC, temperatuur, druk) zijn de waterlopen in de Vinkenloop en de Vuursteentocht en ook enkele zijsloten geheel langsgelopen. Daarbij zijn ook regelmatig de nitraatconcentraties gemeten met de Nitraatapp. In de zijsloten die in de Vinkenloop en de Vuursteentocht uitkomen, zijn ook de EC en de nitraatconcentraties gemeten. De routings zijn elk seizoen (4x per jaar) uitgevoerd, mits er voldoende afvoer was.

Meettrailers

De meettrailers zijn uitgerust met een combinatie van sensoren en auto-analysers voor totaal-P, reactief P (TRP), NO_3 , NH_4 , EC, pH, O_2 en neerslag. Voor de twee pilotgebieden is een meettrailer geplaatst bij het uitstroompunt. Dat zijn tevens meetpunten van het MNLISO. De trailers zijn mobiel en kunnen dus ook op andere locaties worden ingezet waar stroomvoorziening voorhanden is.

Passive Samplers

Op de bemonsteringslocaties zijn passieve samplers voor nutriënten toegepast. Deze zogenaamde SorbiCells meten gemiddelde concentraties over de periode van installatie. De SorbiCells zijn in duplo geanalyseerd op concentraties nitraat, sulfaat en fosfor. Op de uitstroompunten is ook een ander type SorbiCells in duplo ingezet voor de analyse van ammonium. De SorbiCells zijn in een reservoir geplaatst dat in zijn geheel op 20-50 cm onder het wateroppervlak hangen. Door de waterdruk sijpelt er water door de SorbiCells het reservoir in. De lucht in het reservoir kan via een afvoerslang naar boven. De SorbiCell legt de te meten stoffen vast met een absorberend polymeer en registreert de hoeveelheid doorstroming middels een langzaam oplossend zout.

Remote Sensing

Het doel voor de inzet van remote sensing was om risico's voor oppervlakkige afstroming van nutriënten ruimtelijk in beeld te brengen. Deze risico's kunnen in beeld gebracht worden door te kijken naar plasvorming, onbedekte percelen en kale plekken binnen percelen. Vanuit de Kennisimpuls is via een stageonderzoek een verkenning gedaan naar het gebruik van satellietbeelden voor het in kaart brengen van plasvorming en kale plekken op landbouwpercelen. Voor de details van dit onderzoek verwijzen we naar het Engelstalige stagerapport (Antonopoulou, 2020).

Overige metingen Waterschappen

Zowel in de Vinkenloop als in de Vuursteentocht hebben de waterschappen ook veel metingen op stroomgebiedsschaal uitgevoerd. In de Vinkenloop is voor het project Sensor Gestuurd Boeren door Waterschap Aa en Maas op een viertal locaties regelmatige bemonstering gecombineerd met continue metingen van afvoer en waterkwaliteit. De continue waterkwaliteitsmetingen betreffen de parameters nitraat, ammonium, pH, temperatuur, EGV, troebelheid en redox. Daarnaast zijn in enkele sloten en drains de afvoer en waterkwaliteit (bemonsteringen) gemeten. Op diverse percelen in het Vinkenloop-stroomgebied worden bodemtemperatuur, bodemvocht en grondwaterstanden en -kwaliteit gemeten. In de Vuursteentocht neemt Waterschap Zuiderzeeland op vier locaties regelmatig waterkwaliteitsmonsters. Op deze locaties zijn ook sensoren voor de EC en zuurstofconcentraties geplaatst. Bij het uitstroompunt wordt tevens de afvoer gemeten.

In beide pilotgebieden is informatie opgehaald bij de deelnemende agrariërs over het landgebruik. Dit betreft bijvoor-

beeld bemesting (type mest, hoeveelheid, momenten), teeltplannen (gewassen), grondbewerkingen, beweiding en beregning. Deze informatie is benut bij de interpretatie van de monitoring en de invoer van de modellen die zijn opgezet om de uit- en afspoeling te simuleren.

2.4 MONITORING OP PERCEELNIVEAU

Vanwege de verschillen in hydrologie tussen klei en zand verschillen de meetplannen op perceelniveau tussen de Vuursteentocht en de Vinkenloop.

Vinkenloop (zand): hier zijn de volgende meettechnieken toegepast:

- Drie 5TE-sensoren voor continue monitoring van bodemvochtgehalte, temperatuur en geleidbaarheid op drie diepten;
- Chemische analyse van bodemvocht op drie diepten (bemonstering met macrorhizons) en het bovenste grondwater (bemonstering met minifilters). Frequentie ongeveer maandelijks en timing afgestemd op neerslagoverschot en landbouwactiviteiten op het perceel;
- CTD-divers voor de monitoring van de grondwaterstand en het geleidingsvermogen in het bovenste grondwater (drijvende sensor) en drainafvoer;
- ERT-metingen (ad hoc tijdens groeiseizoen en permanent tijdens nazomer) en nitraatkarteringen in openboorgaten voor ruimtelijk beeld van het geleidingsvermogen en de concentratie mestzouten in het bovenste grondwater;
- Isotopen-analyse op nitraat in grondwater en de belangrijkste stikstofbronnen (twee- of driemaalig, zie separaat meetplan).

Vuursteentocht (klei): hier zijn de volgende meettechnieken toegepast:

- Continue metingen van de afvoer, EC en zuurstofconcentraties in de kavelsloot;
- Handmatige bemonstering van de kavelsloot (tweewekelijks);
- Routing waarbij alle lopende drainagebuizen zijn bemeten (debietmeting en Nitraatapp);
- Inzet van SorbiCells met Flowcaps voor afvoergemiddelde concentratiemetingen aan zes drains;
- Inzet van SorbiCellen voor NO_3 , PO_4 en SO_4 (NiP) metingen met twee weerstanden;
- Handmatige controlemetingen van drains met SorbiCells.

2.5 GEGEVENSVERWERKING

Voor verwerking van de meetgegevens zijn controles op de ruwe meetdata uitgevoerd, correcties toegepast op de sensoren op basis van de steekmonsters die in het laboratorium zijn geanalyseerd en zijn gaten in de meetdata van de continue metingen opgevuld op basis van correlaties met andere parameters en data driven (machinelearning) modelleringstechnieken. In [bijlage 3](#) wordt uitgebreid ingegaan op de wijze waarop de meetreeksen zijn gecontroleerd en verwerkt. Voor beide pilotgebieden is een database opgezet. Voor het pilotgebied de Vuursteentocht is een [wiki-website](#) gemaakt waar je realtime de hoogfrequent gemeten concentraties van nitraat, ammonium, fosfor en de geleidbaarheid kunt volgen, met daarbij verklarende illustraties. Voor de Vinkenloop wordt op de website van het waterschap [Aa en Maas](#) informatie gedeeld via nieuwsbrieven. Voor beide gebieden geldt dat privacygevoelige informatie en bedrijfsgegevens van de deelnemende agrariërs veilig moeten zijn binnen het project. Hiervoor wordt informatie alleen publiekelijk gedeeld wanneer de informatie niet meer herleidbaar is naar een individueel persoon of bedrijf.

2.6 INZET INNOVATIE MONITORINGSTECHNIEKEN

Meettrailer voor continue metingen

De meetcabines voor continue waterkwaliteitsmetingen ([figuur 2.1](#)) zijn uitgerust met de volgende sensoren en auto-analysers:

- pH, EGV, T en O_2 : Hydrolab-4
- NO_3 : Hach Nitratax plus sc UV 1 mm padlengte
- NH_4 : Hach Amtax sc (0,05-20 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$) in combinatie met Filtrax filterunit
- Ptot: Hach Phosphax Sigma (5 mg/L) in combinatie met Sigmatax2 monsternamesonde

In de Vinkenloop en de Vuursteentocht zijn korven met daarin een pomp geplaatst, die continu water naar de doorstroombak in de trailer pompt. De Hydrolab-4 en de Nitratex staan in deze doorstroombak. Voor de Amtax wordt water vanuit de doorstroombak opgezogen door een filtersysteem (Filtrax). Ook voor de Phosphax wordt water opgezogen door een monsternamesonde (Sigmatex).

FIGUUR 2.1

De meetcabine in de Vinkenloop.



Sensoren geven niet altijd direct goede en betrouwbare meetresultaten. De ruwe sensordata zijn daarom met verschillende methoden opgeschoond. Het veldlogboek was hierbij erg belangrijk om bij de dataverwerking de oorzaken van afwijkende metingen te kunnen achterhalen. Ook de reguliere laboratoriummetingen door de waterschappen waren erg waardevol. De methoden die bruikbaar zijn voor de datacorrecties en de parameterinstellingen van deze methoden kunnen verschillen per sensor en per meetlocatie.

Bij de correctie van de continue meetreeksen van dit project doorlopen we in vaste volgorde de volgende stappen:

1. Controle op uniforme tijd
2. Controle op minimale en maximale waarden
3. Controle op vastgelopen meetwaarden
4. Verwijderen van meetperioden met storingen
5. Ruisfilter voor het verwijderen van individuele meetwaarden boven en onder de reeks
6. Lineaire correctie op laboratoriummetingen en onderhoudsmomenten
7. Gaten opvullen op basis van relaties tussen parameters
8. Conversie naar meetreeksen met uniforme tijdstappen

In [bijlage 3](#) geven we meer gedetailleerde informatie over en voorbeelden van deze verschillende stappen in de gegevensverwerking.

Passive sampling met Sorbi-meetcellen

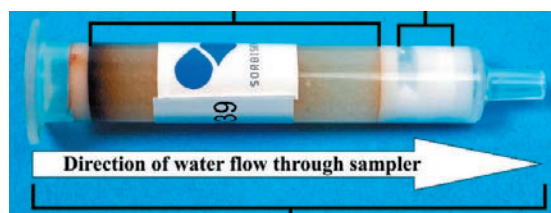
Passive sampling is een verzamelnaam voor meettechnieken waarbij een medium gedurende een langere periode aan water wordt blootgesteld en waarop of waarin stoffen kunnen accumuleren. Dit maakt het mogelijk om tijd-geïntegreerde metingen te doen over de installatieperiode van de sampler. Passive sampling wordt momenteel voornamelijk toegepast voor het meten van gewasbeschermingsmiddelen, organische verontreinigingen en geneesmiddelen. Voor nutriënten is passive sampling minder gebruikelijk, maar sinds enkele jaren wel mogelijk met de door het Deense bedrijf SorbiSense ontwikkelde SorbiCells (De Jonge & Rothenberg, 2005).

De SorbiCell bestaat uit twee compartimenten waar een deel van het te bemonsteren water langzaam doorheen stroomt: een adsorbent reservoir en een tracer reservoir (zie [figuur 2.2](#)). Terwijl het monster door de SorbiCell sijpelt, wordt de te meten stof vastgelegd in het adsorbent reservoir. Vervolgens stroomt het water door een tracer reservoir, waarin een zout met een bekende oplosbaarheid wordt opgelost. Na de bemonsteringsperiode wordt de SorbiCell gewisseld en meegenomen naar het laboratorium. Hier wordt de te meten stof geëxtraheerd uit het adsorbent en geanalyseerd. Dit levert de totale hoeveelheid (massa) van de stof in het bemonsterde water op. Tevens wordt aan de hand van de gewichtsafname gemeten hoeveel zout er uit het tracer reservoir is opgelost, wat een nauwkeurige maat is voor het volume van het bemonsterde water. Uit deze twee getallen (massa en volume) wordt een gemiddelde concentratie in het bemonsterde water over de installatieperiode berekend. In tegenstelling tot andere passieve-samplingtechnieken is de SorbiCell niet gebaseerd op min of meer constante diffusie of absorptie, maar op advectieve stroming door de sampler. Dit principe maakt de SorbiCell bij uitstek geschikt voor het meten van representatieve gemiddelde concentraties in water met variabele concentraties.

Een nadeel van SorbiCells ten opzichte van sensoren en auto-analysers is dat er geen informatie over de variabiliteit van de concentraties binnen de bemonsteringsperiode wordt verkregen. SorbiCells zijn echter veel eenvoudiger op veel locaties te installeren en er is geen elektriciteit nodig. De analysekosten van SorbiCell-metingen zijn vergelijkbaar met de analysekosten voor steekmonsters.

FIGUUR 2.2

Basiscomponenten van een SorbiCell.



De SorbiCells worden in oppervlaktewater geïnstalleerd door ze te bevestigen in een reservoir ([figuur 2.3](#)). Deze reservoirs zijn verzaagd aan de onderkant en worden op circa 50 cm onder de waterspiegel of op de bodem geïnstalleerd.

FIGUUR 2.3

Reservoirs waarin de SorbiCells bevestigd worden.



De Flowcap is een installatiemethode voor SorbiCells aan drains, die het ook mogelijk maakt om debiet-proportionele gemiddelde concentraties en vrachten te meten (Vendelboe *et al.*, 2016). Door het water uit bijvoorbeeld een drain op te vangen in een buis met een uitstroomopening in een Sutro-profiel (Eiffeltoren-vorm), wordt een debiet-proportioneel deel van de totale waterstroom bemonsterd door de SorbiCells (figuur 2.4). Zie voor meer informatie [bijlage 7](#).

FIGUUR 2.4

Flowcap geïnstalleerd aan een verzameldrain voor het meten van vrachten.



Remote sensing

Met de huidige generatie satellieten (Sentinel) is het ruimtelijke detail van de beelden zodanig dat ze informatie op perceelschaal opleveren. Plasmvorming is in Nederland een indicatie voor het optreden van oppervlakkige afstroming, wat een risico vormt voor verliezen van nutriënten (vooral P) en organisch materiaal. Onbedekte percelen en kale plekken binnen percelen zijn een risicofactor voor nutriëntenverliezen, aangezien er geen gewasopname is en omdat de bodem makkelijker loslaat en erodeert bij oppervlakkige afstroming. Voor de pilotgebieden hebben we daarom plasmvorming, onbedekte percelen en kale plekken in beeld gebracht met satellietbeelden.

Voor dit onderzoek zijn Sentinel 1- en 2-beelden (resolutie 10 m) verzameld, verwerkt en geanalyseerd. Voor de bewerking van de beelden is gebruikgemaakt van Google Earth Engine. De detectie van onbedekte percelen en kale plekken binnen percelen is gedaan op basis van de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). De NDVI is een specifieke combinatie van meetwaarden uit verschillende spectrale banden die veel gebruikt wordt voor vegetatiekartering. Voor de detectie van plassen zijn naast de NDVI nog twee andere indices gebruikt die meer gericht zijn op de detectie van wateroppervlakken, de NDWI (Normalized Difference Water Index) en de MNDWI (Modification of Normalized Difference Water Index). Om ook op bewolkte dagen de ontwikkeling van plassen te kunnen volgen, is ook gebruikgemaakt van de SAR-beelden.

Isotopen

Elk materiaal bestaat uit elementen als koolstof, zuurstof, stikstof en waterstof. De atoomkern van die elementen bestaat uit protonen en neutronen. Een element heeft altijd hetzelfde aantal protonen, maar het aantal neutronen kan verschillen. Twee atomen met hetzelfde aantal protonen maar een verschillend aantal neutronen noemt men isotopen van hetzelfde element. Daarmee hebben isotopen een verschillend atoomgewicht dat je kunt meten. De verhouding tussen de hoeveelheden atomen van de verschillende isotopen, de isotopenratio, varieert door chemische, fysische en biologische processen. Bij waterisotopen varieert die ratio bijvoorbeeld door klimatologische omstandigheden. En de verhouding van stikstof- en zuurstofisotopen in nitraat verandert als het wordt afgebroken door microbiële activiteit, omdat micro-organismen de voorkeur hebben voor de lichtere atomen.

Isotopenonderzoek kan daarom onder andere ingezet om de herkomst van stoffen te bepalen. Het isotopenonderzoek is hier toegesneden op de stikstofbronnen in de Vinkenloop. Voor de verschillende bronnen (dierlijke mest, kunstmest,

atmosferische stikstofdepositie, kwel, organisch gebonden stikstof) zijn de isotopenverhoudingen als referentie gemeten en zijn deze vergeleken met de isotopenverhoudingen van nitraat en ammonium in het uitspoelende water. In de bijlage 10 worden de achtergronden en resultaten in detail beschreven.

2.7 MODELLERING

Voor een effectieve invulling van een gebiedsgerichte aanpak in probleemgebieden, is naast het bepalen van toestand en trend inzicht nodig in de emissiebronnen, -routes en -processen in het stroomgebied (diagnose). Gebiedsgerichte monitoring is daarom meer dan het meten van waterkwaliteitsparameters. Voor het nagaan van sturingsmogelijkheden is meestal aanvullende informatie nodig over oorzaken van het verloop en patroon van concentraties (meteorologie, waterbeheer, diep grondwater, landgebruik, agrarisch management) en informatie over de water- en nutriëntenstromen (water- en stofbalansen, bronnen en routes). Ook is interpretatie nodig van deze gegevens. Voor deze interpretatie is aanvullende kennis nodig over processen en mechanismen. Deze kennis is vaak geformaliseerd in vuistregels, eenvoudige modellen en procesgeoriënteerde simulatiemodellen. De definitie van monitoren in het project Monitoring Stroomgebieden ([Woesenburg en Van Tol-Leenders, 2011](#)) was dan ook: Monitoren = meten + modelleren.

Tabel 2.2 geeft een overzicht van de ingezette modellen. De meeste tijd is besteed aan het opzetten van de procesmodellen SWAP-ANIMO. Voor de modelinput en validatie van de berekende debieten en stofvrachten moet veel informatie die met de monitoring is verkregen worden gebundeld en geïnterpreteerd, inclusief gebiedsdekkende informatie over het landgebruik (gewasrotaties), mestgiften en gewasafvoeren. Daarnaast zijn diverse data driven modellen ingezet.

TABEL 2.2

Onderdelen modellering	Doelen	Ondersteunde monitoring
Proces-modellering met SWAP/WOFOST/ANIMO op basis van eerder modelonderzoek met proefveldgegevens Vredepeel en Cranendonck (Vinkenloop)	<ul style="list-style-type: none"> Water en stofbalansen op dagbasis, nitraatconcentraties bovenste grondwater Onderscheid in aandeel Mestgiften, depositie, kwel, nalevering Kwantificeren effecten maatregelen 	<ul style="list-style-type: none"> Grondwaterstanden en waterafvoeren Concentraties in grondwater en oppervlaktewater Nmin-metingen bodem Registratie van bemesting en nutriëntenafvoer met oogst Routings in oppervlaktewater
Procesmodellering met SWAP/ANIMO op basis gegevens uit STONE-model en interpretatie van AZURE-resultaten (Vuursteentocht)	<ul style="list-style-type: none"> Water- en stofbalansen van perceel- tot stroomgebiedsniveau op decadebasis Onderscheid in aandeel Mestgiften, depositie, kwel, nalevering Kwantificeren effecten maatregelen 	<ul style="list-style-type: none"> Hydrologische metingen (afvoer, grondwaterstanden) Conventionele lab-metingen (evaluatiemethode)
Machinelearning	<ul style="list-style-type: none"> Gaten in meetreeksen opvullen Testen toepassing voor extrapolatie Inzicht in de mate waarin doelvariabele door andere meetvariabelen wordt beïnvloed 	<ul style="list-style-type: none"> Continue metingen (concentraties, neerslag, afvoer, grondwaterstanden)
STROMON-aanpak	<ul style="list-style-type: none"> Onderscheid bijdragen snelle versus diepere emissieroutes; Proof of principle op basis van NHI-fluxen 	<ul style="list-style-type: none"> Concentratie metingen routes (drains, dieper grondwater) Conventionele lab-metingen (evaluatiemethode)
dynamische water- en stoffenbalans (Vuursteentocht)	<ul style="list-style-type: none"> Relaties tussen hydrologie en waterkwaliteit op dagbasis Nabootsen menging kwel en uitspoeling in oppervlaktewater Indicatie achtergrondbelasting 	<ul style="list-style-type: none"> Concentratie metingen routes (drains, dieper grondwater) Hydrologische metingen (afvoer, neerslag) Conventionele lab-metingen (evaluatiemethode)

Om de uit- en afspoeling te kunnen kwantificeren en in de toekomst effecten van maatregelen te kunnen simuleren, is voor beide pilotgebieden een modellering uitgevoerd met de rekencodes van SWAP (Kroes *et al.*, 2017) en ANIMO (Groenendijk *et al.*, 2005). Een modellering van de bodem- en uitspoelings-processen vormt ook de basis van de modellen die worden ingezet voor de evaluatie van de mestwetgeving en de evaluatie van de Kaderrichtlijn Water (ex-ante- en ex-postevaluaties). Met SWAP wordt de vochtinhouding van de bodemprofielen gesimuleerd (bodemvocht, verdamping, kwel- en wegzijgingsfluxen naar het grondwater, afvoer van water naar de ontwateringsmiddelen en berekening). Met de berekende vochtinhouding als input wordt met ANIMO de stikstof-, fosfor- en koolstofhuishouding van de bodemprofielen gesimuleerd.

Naast deze procesmodellering zijn ook data driven modelconcepten ingezet. Het belangrijkste verschil met de procesmodellen is dat voor het berekenen van de doelvariabelen (concentraties, stofvrachten) niet de door het weer en landgebruik gedreven vocht- en nutriëntenhuishouding processen van de bodems worden gesimuleerd, maar dat die doelvariabelen worden afgeleid op basis van correlaties tussen monitoringsdata. Op basis van de meetgegevens vanuit de pilotgebieden is met drie verschillende methoden geëxperimenteerd: Machinelearning, de STROMON-benadering en een methode voor dynamische water- en stoffenbalansen. Toepassing van dit soort data driven modellen is een manier om snel meer informatie uit metingen te halen. Voorbeelden zijn het opvullen van gaten in meetreeksen, het voorspellen van concentraties bij een ander klimaat of andere grondwaterstanden of het interpoleren tussen maandelijks conventionele metingen voor betere vrachtschattingen. De STROMON-benadering maakt onderscheid tussen langzame en snelle emissieroutes door koppeling van modeloutput van geohydrologische modellen en grondwaterkwaliteitsmetingen.

▶▶ 3 CASUS VINKENLOOP

3.1 GEBIEDSBESCHRIJVING

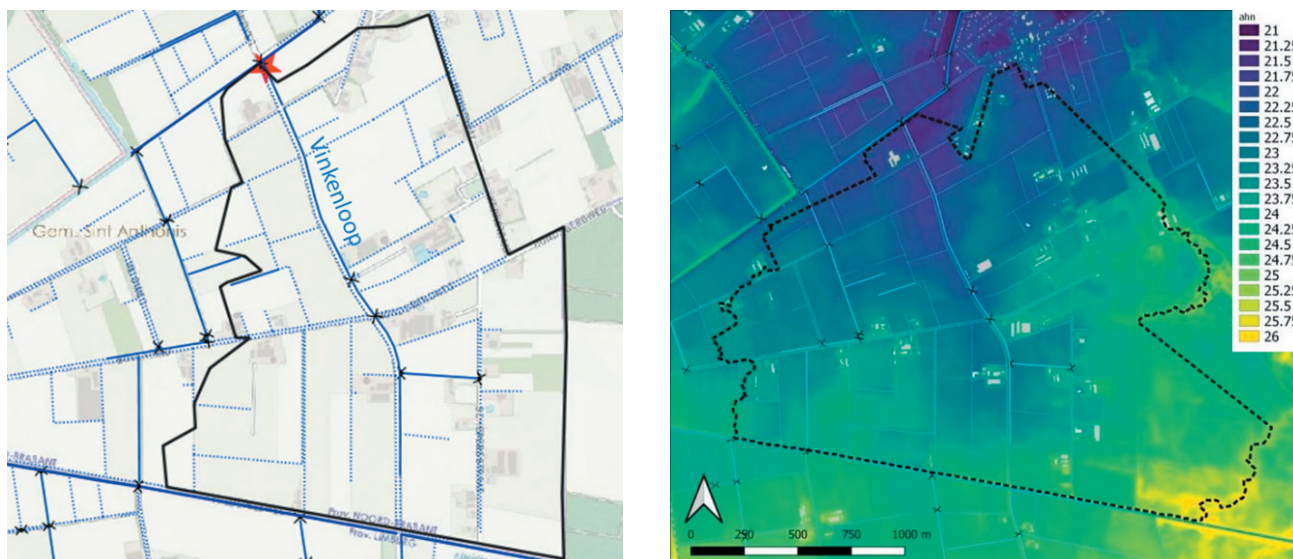
De Vinkenloop ligt in Zuidoost-Brabant ten zuiden van het dorp Westerbeek, aan de grens met Limburg. Het stroomgebied van de Vinkenloop is voor 92% in agrarisch gebruik, waar in toenemende mate intensieve akker- en tuinbouwgewassen worden geteeld. In de beschouwde periode 2020-2021 betreft dit diverse vollegrondsgroenten, graszoden en bloembollenteelt (lelie). Ook zijn er enkele melkveehouderijbedrijven.

De Vinkenloop is een gegraven watergang voor het ontwateren van een van oorsprong moerassig gebied. Door leemlagen, ijzeroer en verdichting is de doorlatendheid van de ondergrond lokaal beperkt en kunnen er schijngrondwaterspiegels ontstaan. Een deel van de Peelrandbreuk loopt door het gebied, wat waarschijnlijk de sterke ijzerrijke kwel verklaart (oude moerassige wijstgronden).

In **figuur 3.1** zijn het stroomgebied van de Vinkenloop en daarin liggende waterlopen weergegeven (links) en de maaiveldniveaus volgens het AHN (rechts). De Vinkenloop ligt in het centrale, lage deel en mondt in het noorden uit in de Oploosche Molenbeek, die via Westerbeek naar Oploo stroomt en via de Raam afwatert op de Maas. Het vanggebied (ook wel aangeduid als afwateringsgebied of stroomgebied) grenst aan de zuidkant aan het Afleidingskanaal, waar ook de grens tussen Noord-Brabant en Limburg ligt. Het stroomgebied van de Vinkenloop ontvangt geen inlaatwater en valt zelden droog, wat duidt op toevoer van dieper grondwater. In het stroomgebiedje zijn geen riool-overstorten, rwzi's of andere bekende puntbronnen aanwezig.

FIGUUR 3.1

Stroomgebied en inliggende waterlopen van de Vinkenloop (links) en de maaiveldniveaus volgens het AHN in m NAP (rechts).



3.2 MONITORING OP STROOMGEBIEDNIVEAU

Op stroomgebiedsniveau zijn in de Vinkenloop voor de monitoring routings toegepast, continue metingen op het uitstroompunt, remote sensing en passieve sampling. Voor het parallelle project Sensor Gestuurd Boeren (SGB) zijn diverse metingen uitgevoerd die zijn afgestemd op de monitoring die voor KIWK is opgezet. De SGB-metingen van de afvoeren (debieten), handmatige bemonstering van oppervlaktewater op het uitstroompunt en op andere locaties én N-mineraalmetingen zijn benut zijn bij de interpretatie en uitwerking van de meetgegevens en de modellering in de onderhavige rapportage.

3.2.1 Resultaten routings Vinkenloop

Binnen het project Kennisimpuls Nutriëntenmaatregelen zijn routings uitgevoerd om inzicht te krijgen in bronnen (hotspots) en routes van nutriënten. Hiervoor is gebruikgemaakt van de EC GPS-Rod, waarbij een sensor voor de EC en temperatuur aan een drijver door de Vinkenloop is getrokken (figuur 3.2). Hiernaast zijn de nitraatconcentraties en de EC gemeten in de Vinkenloop en in zijsloten en in enkele drains met de Nitraatapp (figuur 3.3). Meer details over de methode en de resultaten zijn opgenomen in bijlage 1.

Als voorbeeld geven we hier de kaarten weer van de laatste routing in februari 2022. De routings hebben duidelijk in kaart gebracht waar nitraat in het stroomgebied vandaan komt. Vooral uit de percelen rondom de in figuur 3.4 (rechtsonder) oranje gemarkeerde sloten spoelt (vooral in het uitspoeling seizoen) relatief veel nitraat uit. Dit wordt bevestigd door zowel metingen in de sloten zelf als in de drains.

De concentratie bij het uitstroompunt van de Vinkenloop wordt vooral door de oranje gemarkeerde percelen in het noorden bepaald. De hoogste concentraties kwamen bij elke routing vanuit de oostelijke sloot vanaf het proefperceel. Ook tijdens de routings in relatief droge periodes (april 2021 en oktober 2021 en 2022) spoelde uit deze percelen nog nitraat uit, terwijl de concentraties in de rest van het stroomgebied laag waren. In april 2021 speelde hierbij de intensieve beregening van het proefperceel ook een rol. Dit beregeningswater zelf bevatte ca. 8 mg/L NO₃-N tijdens de routing, maar waarschijnlijk is het oplossen en uitspoelen van mestzouten uit de bodem door de beregening zelf een grotere bron. In het drainageseizoen 2021/22 werden ook zeer hoge concentraties aangetroffen in het water vanuit een samengestelde drainageput op het perceel ten noorden van het proefperceel. De hotspots zijn gerelateerd aan de teelt van zeer uitspoelingsgevoelige gewassen (lelies, tulpen).

In het stroomopwaarts zuidelijke deel van het stroomgebied spoelt vooral in natte perioden ook nitraat uit. Door middel van temperatuurmetingen is aangetoond waar in het stroomgebied de sloten gevoed worden door kwel. In figuur 3.4 (rechtsonder) staan die gebieden zwart omringd. Overigens is een van de omringde kwel sloten in februari 2022 relatief koud, waarschijnlijk door de geringe diepte. In andere routings lieten de temperatuur en ook de grote hoeveelheid ijzeroxides wel zien dat de kwelinvloed bij deze sloot relatief groot is.

Uit de routings is ook duidelijk geworden dat het water in deze haarvaten zeker bij veel vegetatie soms niet snel mengt. Het water vanuit zijsloten en drains (met soms een andere samenstelling) blijft dan nog tientallen meters langs de oever stromen. Het is belangrijk hier rekening mee te houden bij het kiezen van meetlocaties en het interpreteren van de meetresultaten.

Tijdens de routings werden ook veel visuele waarnemingen gedaan die een beeld geven van routes en processen van water- en nutriëntentransport. De foto's in figuur 3.5 laten zien dat oppervlakkige afstroming op sommige momenten een belangrijke afvoerroute voor water is, maar ook dat de Vinkenloop sterk beïnvloed wordt door kwel. Beregening van een intensieve teelt zorgde ervoor dat er ook in een relatief droge periode nog nitraat uitspoelde, voor een groot deel via buisdrainage.

FIGUUR 3.2

Routing met de EC GPS-Rod, bevestigd aan een drijver aan een hengel.



FIGUUR 3.3

Gebruik Nitraatapp voor het meten van nitraatconcentraties (links) en EC (middel en rechts).



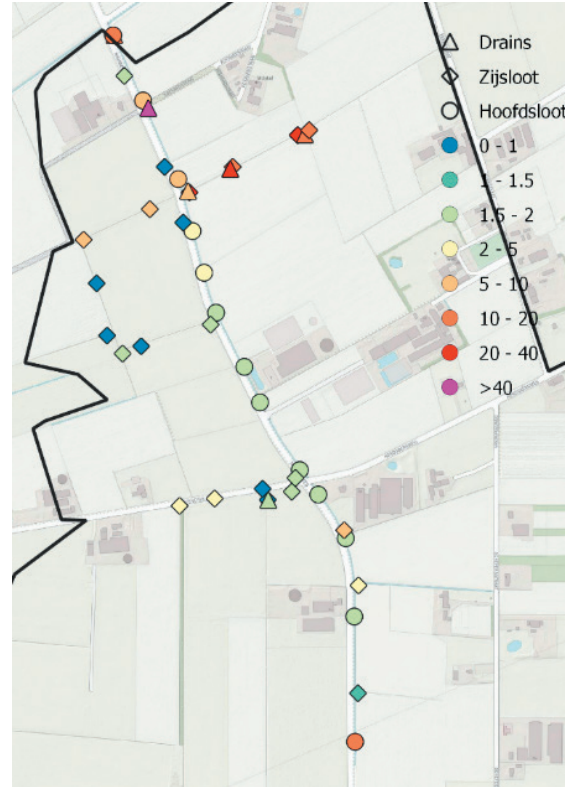
FIGUUR 3.4

Resultaten van de routing van februari 2022 en rechtsonder een synthese van bronnen van nitraat (oranje/geel gemarkeerd) en sloten die relatief veel kwelwater afvoeren (zwart omcirkeld).

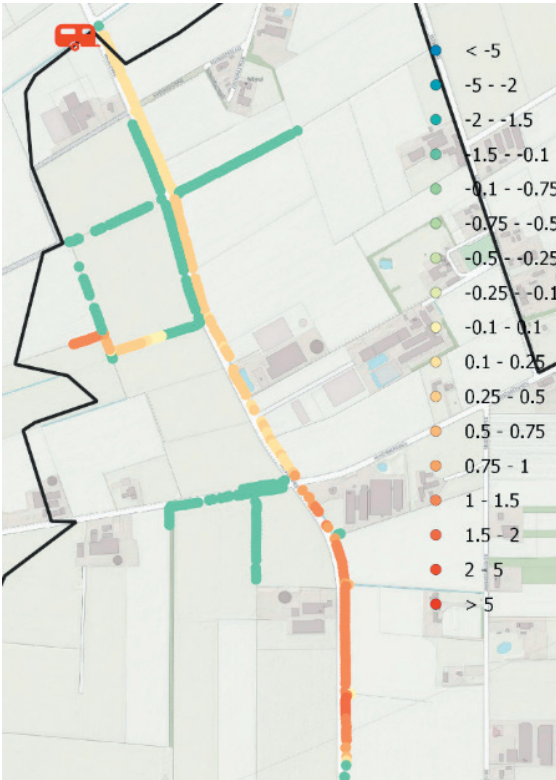
EC (mS/cm)



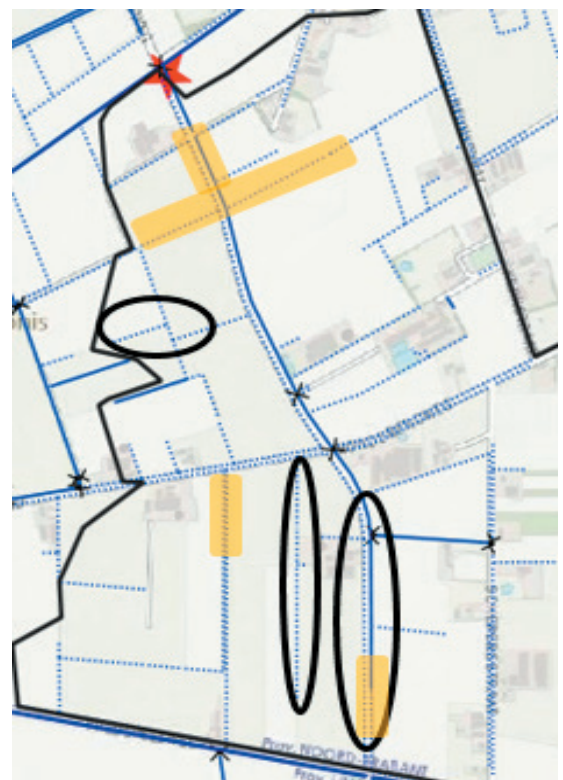
Nitraat- stikstof



Temperatuur (verschil met referentie (°C))



Overzicht/synthese



FIGUUR 3.5

oto's gemaakt tijdens verschillende routings met (sporen van) oppervlakkige afstroming, een samengesteld drainagepunt met in het seizoen 2021/22 zeer hoge nitraatconcentraties, beregening met nitraathoudend water in april 2021 en de sterke ijzeroxidevorming door kweel.



3.2.1 Resultaten continue metingen

Bij het uitstroompunt van de Vinkenloop zijn vanaf 19 februari 2021 met sensoren en auto-analysers continue metingen van nutriëntenconcentraties gedaan (nitraat, ammonium en totaal-fosfor). De apparatuur voor deze metingen is ingebouwd in een meetcabine (figuur 3.6). Voor meer details over de meetmethoden en de gegevensverwerking verwijzen we naar [bijlage 3](#). In dit hoofdstuk ligt de focus op de gemeten dynamiek in de nutriëntenconcentraties en vrachten in de Vinkenloop. Een uitgebreidere beschrijving en onderbouwing van de resultaten en interpretatie van de continue metingen is opgenomen in [bijlage 4](#).

FIGUUR 3.6

Meetcabine bij de Vinkenloop.



In de continue concentratiedata is te zien hoe de nutriëntenconcentraties reageren op buien en is de invloed van biochemische processen, maaiwerkzaamheden, duikeronderhoud en een stuwproef zichtbaar. Daarnaast zijn concentratiepieken in fosfor door een directe lozing en ammonium met een onbekende oorzaak vastgelegd. Op basis van de continue sensormetingen van concentraties en afvoer kan een vrij nauwkeurige inschatting van de vrachten gemaakt worden.

Tijdens een flinke bui kan de samenstelling van de Vinkenloop snel veranderen. De samenstelling van het water in de Vinkenloop is, afgezien van de biochemische processen, het resultaat van een menging van lokaal kwelwater, het bovenste grondwater en een snelle afvoer. Verschillende metingen op het proefperceel en in het stroomgebied hebben een beeld gegeven van de samenstelling van deze afvoercomponenten. Het lokale kwelwater is anoxisch en bevat geen nitraat, maar wel wat ammonium (ca. 1 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$). Het bovenste grondwater is juist rijk aan nitraat en heeft relatief lage ammoniumconcentraties.

De samenstelling van de snelle afvoer (oppervlakkige afstroming, preferente stroming) is minder goed gemeten en is waarschijnlijk ook zeer variabel in ruimte en tijd. Bij enkele metingen tijdens de routings bleken de oppervlakkige afstroming en het plaswater nitraatloos te zijn en een lage EC te hebben. Dit is te verklaren door de beperkte interactie met de bodemmatrix. Het signaal van de snelle afvoer in de continue concentratiemetingen laat ook verdunning zien voor nitraat. Wel blijkt uit dezelfde continue metingen dat er in deze snelle afvoercomponent ammonium en fosfor meegevoerd kunnen worden. In enkele gevallen was in de continue metingen ook een verhoogde nitraatconcentratie in de snelle afvoer zichtbaar, mogelijk door het meevoeren van kunstmestzouten (of evt. genitrificeerde organische mest) aan het oppervlak. Voor fosfor speelt ook het sediment een belangrijke rol. Metingen hebben laten zien dat dit sediment rijk is aan ijzer(hydr)oxides en aan fosfor dat daaraan gebonden zit. De fosfuitspoeling vanuit de percelen wordt eerst vastgelegd in het sediment, om vervolgens tijdens buien opgewerveld en weggevoerd te worden, met korte concentratiepieken als gevolg (zie ook Van der Grift, 2017⁶).

In [figuur 3.7](#) is als voorbeeld de reactie op een bui in maart weergegeven. Enkele uren na de piek van de bui is er een korte daling in de nitraatconcentratie en een piek in de ammonium- en fosforconcentratie. De dip in nitraat komt door de snelle afvoer van water dat weinig nitraat heeft kunnen opnemen uit de bodem. De korte piek in fosfor wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door het opwerpen van fosforrijk sediment. De piek in ammonium komt mogelijk voor een deel door het opwerpen van sediment, maar waarschijnlijk is snelle afvoer vanaf de percelen belangrijker. Later is namelijk bij afvoerpieken door het neerhalen van een stuw (zonder neerslag en snelle afvoer vanaf percelen) geen ammoniumpiek waargenomen. Via snelle afvoer kan ammonium afgevoerd worden dat nog niet is genitrificeerd. Dat de snelle afvoer van ammonium een belangrijke rol speelt, blijkt ook uit het tweede piekje rond 16.00 uur, als ook de nitraatconcentratie weer even zakt door dezelfde snelle afvoer. De fosforconcentraties reageren nauwelijks op deze tweede piek, waarschijnlijk doordat het beschikbare transporteerbare fosforrijke sediment al weg is. Na de initiële dip stijgen de nitraatconcentraties tot net boven de 4 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$. Dit komt door de grotere bijdrage aan afvoer van het nitraatrijke bovenste grondwater, deels via grotere drainafvoeren. Door de hogere grondwaterstanden en de vertraagde afvoer houdt deze stijging langer aan.

Vanaf maart tot en met oktober laten de continue metingen in meer of mindere mate dag-nachtritmes zien in de concentraties ammonium en nitraat. De patronen in de ammoniumconcentraties zijn het duidelijkst, met de hoogste waarden van ca. 0,6 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$ in de vroege ochtend (rond 06.00 uur) en de laagste waarden van ca. 0,4 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$ in de vroege avond (rond 18.00 uur). Waarschijnlijk wordt er gedurende de dag ammonium omgezet in nitraat (nitrificatie). Het ammonium wordt aangevuld vanuit de lokale kwel, zodat de concentratie gedurende de nacht weer kan toenemen. De concentraties fluctueren tussen de 1,8 en 2,1 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$. De hoogste waarden voor nitraat vallen samen met de laagste waarden voor ammonium in de vroege avond. Als we ervan uitgaan dat het gevormde nitraat wordt opgenomen of genitrificeerd, is de fluctuatie in de ammoniumconcentraties bepalend voor de hoeveelheid retentie van stikstof. Voor de getoonde periode wordt ongeveer een derde van het ammonium omgezet naar nitraat of direct opgenomen. Dit is ca. 8% van de concentratie anorganisch N ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) en ca. 6% van het N-totaal.

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

De hoogste nitraatconcentraties (tot ca. 11 mg/L NO₃-N) bij het uitstroompunt van de Vinkenloop zijn gemeten in een periode met nauwelijks neerslag in april 2021. Deze hoge nitraatconcentraties worden veroorzaakt door extra nitraatuitspoeling als gevolg van intensieve beregening voor nachtvorstbescherming op het lelieperceel. Uit de routing van april 2021 is naar voren gekomen dat dit perceel in deze periode de enige grote bron van nitraat in het stroomgebied is. Het beregeningswater zelf was tijdens deze routing ook nitraathoudend (ca. 8 mg/L NO₃-N), doordat dit voor een deel uit nitraathoudend slotwater bestond (en deels uit nitraatloos dieper grondwater). Waarschijnlijk is echter het oplossen en uitspoelen van nitraat uit de bodem de belangrijkste reden van de extra uitspoeling bij beregening.

De concentraties in de Vinkenloop reageren ook op kunstmatige afvoergolven door het strijken van een stuw (voor maaiwerkzaamheden en bij een stuwproef) en op het openen van een verstopte duiker. Bij openen van de stuw voor maaiwerkzaamheden in september (droge omstandigheden) werd stagnerend, zuurstofarm water van achter de stuw gemobiliseerd met een lichte daling van de nitraatconcentratie en een stijging van de ammoniumconcentratie als gevolg. Na de stuwproef in november (nattere condities) gingen zowel de nitraat- als de ammoniumconcentraties omlaag, door de lagere concentraties in de Vinkenloop bovenstrooms van de stuw. Bij het vrijkomen van de verstopte duiker (niet doorgespoten, maar waarschijnlijk door oplopende waterdruk) ging de nitraatconcentratie omlaag, maar de ammoniumconcentratie licht omhoog, waarschijnlijk ook door een andere samenstelling van het water dat van bovenstrooms van de duiker afkomstig was. Zowel het maaien, de stuwproef als het vrijkomen van de duiker heeft waarschijnlijk ook voor het transport van veel fosforrijk sediment gezorgd. Bij de stuwproef is dit actieve sediment ook opgevangen en zijn fosforgehaltes van 0,68-0,75 mg/g gemeten. Bij het vrijkomen van de duiker is een concentratiepiek van fosfor in het water geregistreerd tot 5 mg/L.

Eind december is ook een piekconcentratie van 5 mg/L fosfor vastgesteld met vervolgens na buien ook ammoniumpieken tot 15 mg/L. De oorzaak van deze pieken is niet duidelijk. De snelle toename in de fosfaatconcentratie zonder dat er neerslag was, kan duiden op een directe lozing of op werkzaamheden waarbij veel fosforrijk sediment is gemobiliseerd. De ammoniumpieken die vervolgens steeds na buien optraden, laten zien dat er ook na dit moment nog iets in of bij de Vinkenloop ligt waaruit bij neerslag veel ammonium gemobiliseerd wordt. Het is ook mogelijk dat de natte condities in de winter voor meer ammonium- en fosforrijke snelle afvoer zorgen.

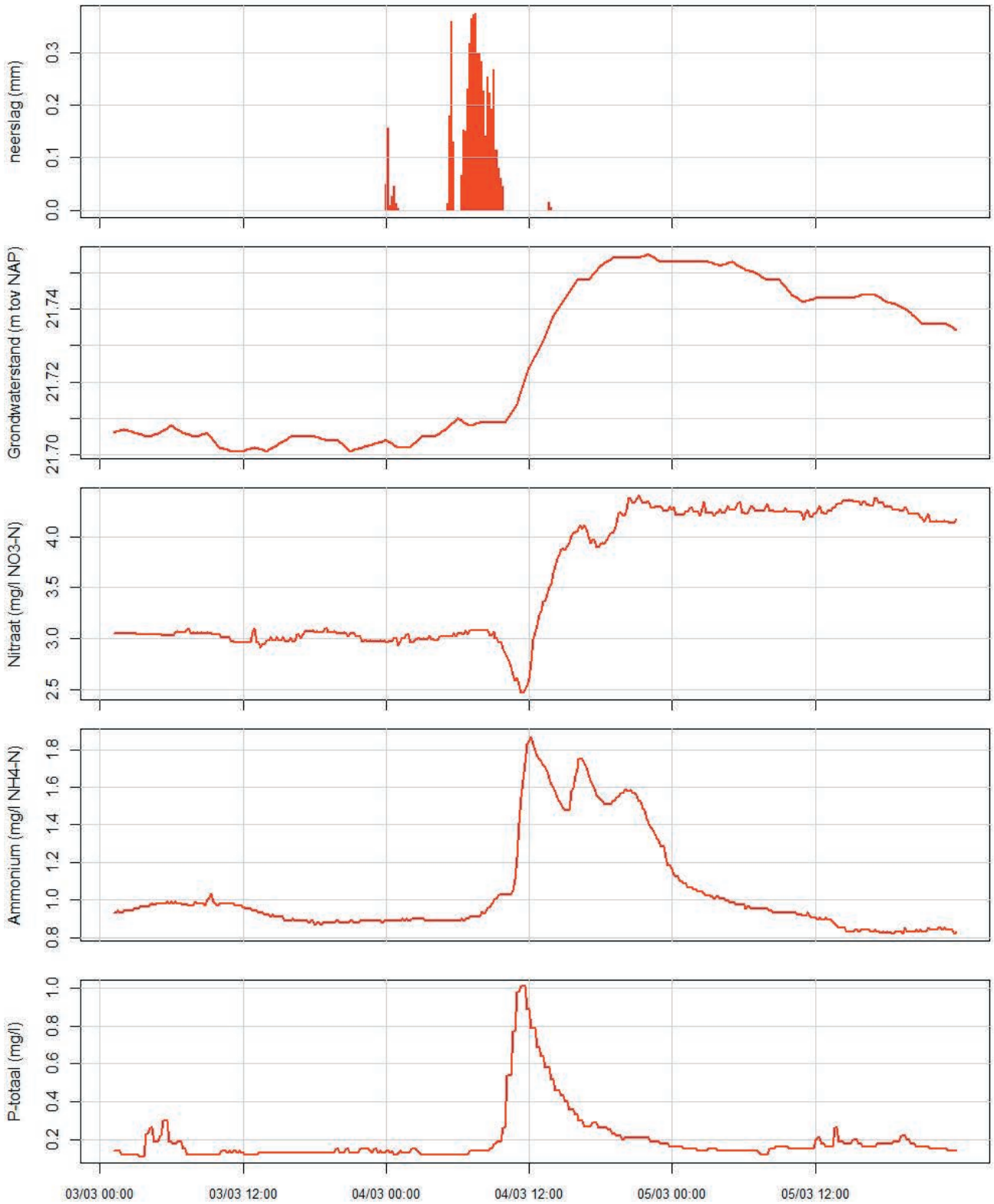
De cumulatieve afvoer en nutriëntenvrachten voor de periode van 19 februari tot 31 december 2021 (317 dagen) zijn weergegeven in [figuur 3.8](#). De stikstofvracht in de vorm van nitraat vanuit het hele vanggebied was ca. 3,3 ton (10 kg/dag). Per hectare komt dit neer op een nitraat-stikstofvracht van ca. 17 kg. De totale stikstofvracht in de vorm van ammonium was ca. 1,0 ton (3,4 kg/dag). De schatting van de totale stikstofvracht komt uit op ca. 5,8 ton (18 kg/dag; 30 kg/ha). Van deze totaal-stikstofvracht is ca. 57% in de vorm van nitraat, ca. 19% in de vorm van ammonium en ca. 25% in de vorm van organisch N. Het organisch N-deel is relatief hoog; deze component is niet continu gemeten, maar is vastgesteld op basis van de tweewekelijkse conventionele metingen.

De nitraatvracht is voornamelijk afkomstig van de uitspoeling van het bovenste grondwater uit percelen naar de drains en sloten. De ammoniumvracht is deels afkomstig uit de lokale kwel (achtergrondbelasting) en deels uit snelle afvoer vanaf de percelen tijdens buien. Voor zowel ammonium als nitraat valt op dat de lijnen met de cumulatieve vrachten vrij gelijkmatig oplopen. Alleen in het wat drogere voorjaar en najaar vlakkt de lijn wat af doordat het wat droger is. In juni en juli was het relatief nat en waren de vrachten groter. Vooral voor het voorjaar geldt dat de uitspoeling vanaf het beregende proefperceel ook in een droge periode voor een doorgaande vracht zorgt. Over het totale zomerhalfjaar (april tot en met september) is de stikstofvracht ca. 1,7 ton (16,5 kg/dag), waarvan ca. 56% in de vorm van nitraat, ca. 18% in de vorm van ammonium en ca. 27% als organisch N.

De totale fosforvracht voor 19 februari tot en met 31 december 2021 is ingeschat op 228 kg (ca. 0,72 kg/dag; 1,2 kg/ha). De fosforvracht neemt vooral toe in het najaar, zowel door hogere concentratiepieken als door hogere basisconcentraties in de perioden tussen de concentratiepieken. De fosforpieken zijn verantwoordelijk voor ongeveer de helft van de fosforvracht.

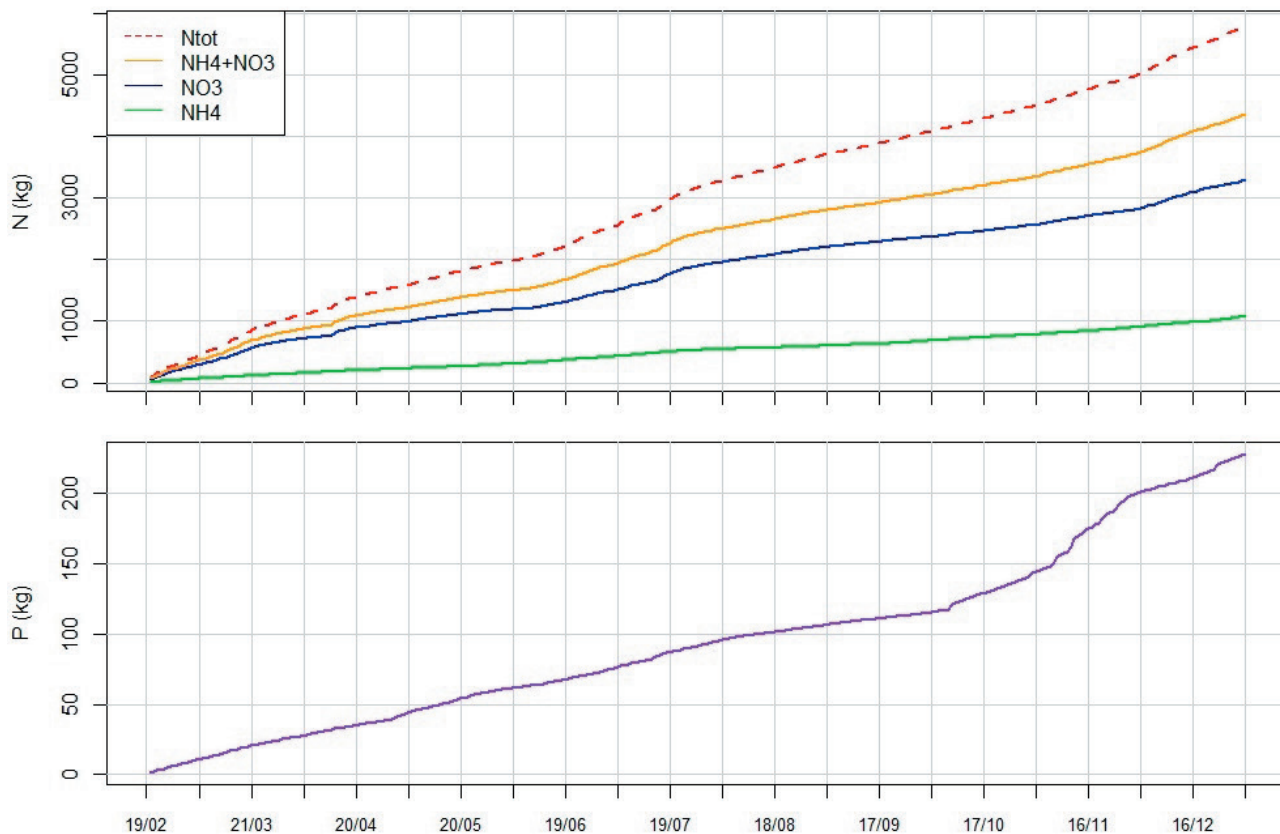
FIGUUR 3.7

Reactie van de grondwaterstand en de nitraat-, ammonium- en fosforconcentraties op een bui begin maart. Voor deze bui zijn de 10 min neerslagdata van de meetcabine gebruikt en waren er geen betrouwbare afvoermetingen beschikbaar.



FIGUUR 3.8

Cumulatieve nutriëntenvrachten voor het hele gebied op basis van de metingen bij het uitstroompunt van 19 februari tot en met 31 december 2021. Let op: het organisch N-deel in de N-totaalvracht is niet continu gemeten, maar ingeschat op basis van conventionele monsternamen.



3.2.2 Resultaten remote sensing

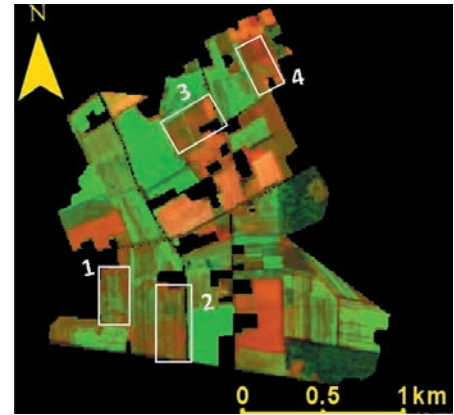
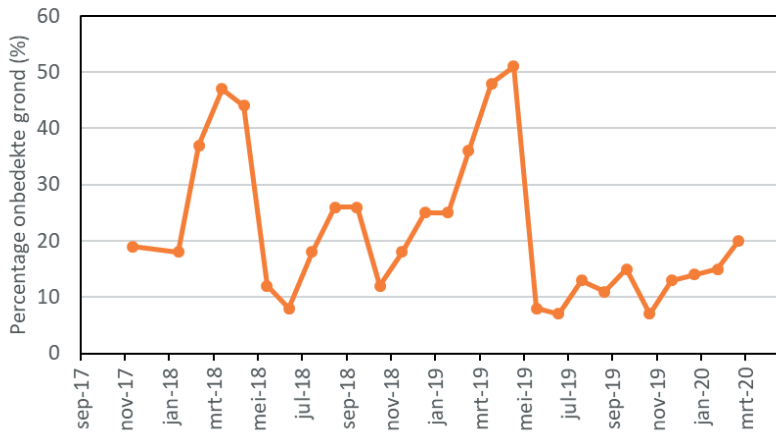
Voor beide pilotgebieden zijn plasvorming, onbedekte percelen en kale plekken in beeld gebracht met satellietbeelden, aangezien het risicofactoren zijn voor nutriëntenverliezen.

Onbedekte percelen en kale plekken

In [figuur 3.9](#) is het percentage onbedekte grond weergegeven voor de Vinkenloop in de periode najaar 2017 tot en met voorjaar 2020. Het aandeel onbedekte grond (20-50% in de winter) is in de Vinkenloop lager dan in de Vuursteentocht. Het aandeel onbedekte grond blijft in de Vinkenloop tot en met januari laag. Het aandeel onbedekte grond neemt in mei het sterkst af en is in de periode juni-juli op het laagste niveau van ca. 10%. Het relatief lage percentage onbedekte grond hangt waarschijnlijk samen met het grotere relatieve aandeel van grasland in de Vinkenloop en met een betere ontwikkeling van vanggewassen in het najaar.

FIGUUR 3.9

Links: percentage onbedekte percelen Vinkenloop, Rechts: voorbeeld detectie plekken binnen bedekte percelen die minimaal één maand kaal bleven, vier gevallen zijn omkaderd (beeld 6 aug 2018). Bruin is onbedekt, groen is bedekt.



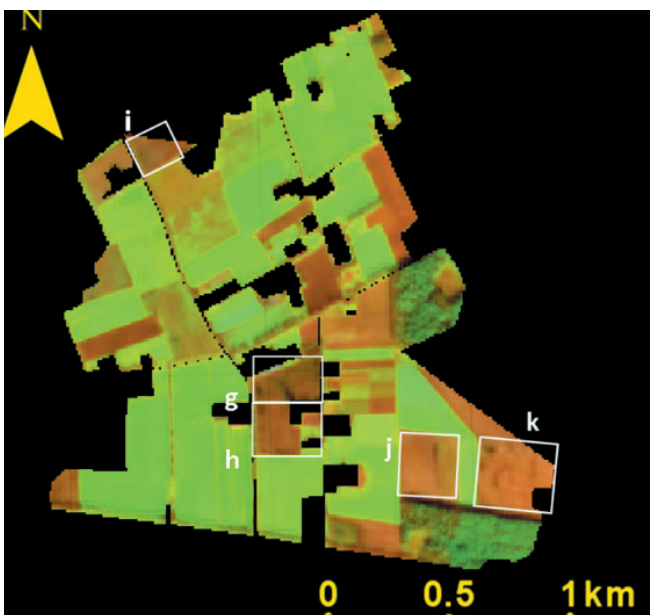
Enkele voorbeelden van de detectie van kale plekken binnen begroeide percelen zijn weergegeven in [figuur 3.9](#). De oorzaak van deze gedeeltelijke bedekking is niet bekend. Mogelijk is de bodemconditie op de kale delen van deze percelen minder goed en komt het gewas daar minder goed tot ontwikkeling. Het beeld is van augustus 2018 en de droogte speelt daar mogelijk ook een rol.

Plassen op het land

Als voorbeeld zijn de percelen met plaspvorming in maart 2020 weergegeven in [figuur 3.10](#). Het voorkomen van plassen is perceel-specifiek en zonder een duidelijk ruimtelijk patroon. De plaspvorming trad alleen op de onbedekte percelen op.

FIGUUR 3.10

Voorbeelden van detectie van plassen op het land in maart 2020 in de Vinkenloop satellietbeeld van 18 maart 2020 (bruin is onbedekt, groen is bedekt, blauw/turquoise is plaspvorming, witte kaders geven blijvende plassen van november 2019 tot maart 2020 aan). Rechts veldfoto's van 5 maart 2020.



3.3 MONITORING OP PERCEELNIVEAU

3.3.1 Resultaten bodemvocht- en grondwatersensoren proefperceel

Op een landbouwperceel in het stroomgebied van de Vinkenloop is een meetnet ingericht om de uitspoeling van mestzouten hoogfrequent in beeld te brengen en te kunnen relateren aan landbouwactiviteiten en weergebeurtenissen. Het meetnet bestaat uit bodemvocht- en watersensoren voor het meten van het elektrisch geleidingsvermogen van bodemvocht of grond- en drainwater. Het elektrisch geleidingsvermogen is een maat voor de somconcentratie aan ionen en kan een proxy zijn voor nitraat indien nitraat een groot aandeel in de ionenbalans heeft. Het doel van deze meetopstelling is om te verifiëren of geleidbaarheidssensoren bruikbaar zijn om de momenten en omstandigheden van nutriëntenverliezen (mestzouten, en specifiek nitraat) in beeld te brengen. Dit draagt bij aan bewustwording en kennisontwikkeling van nutriëntenverliezen.

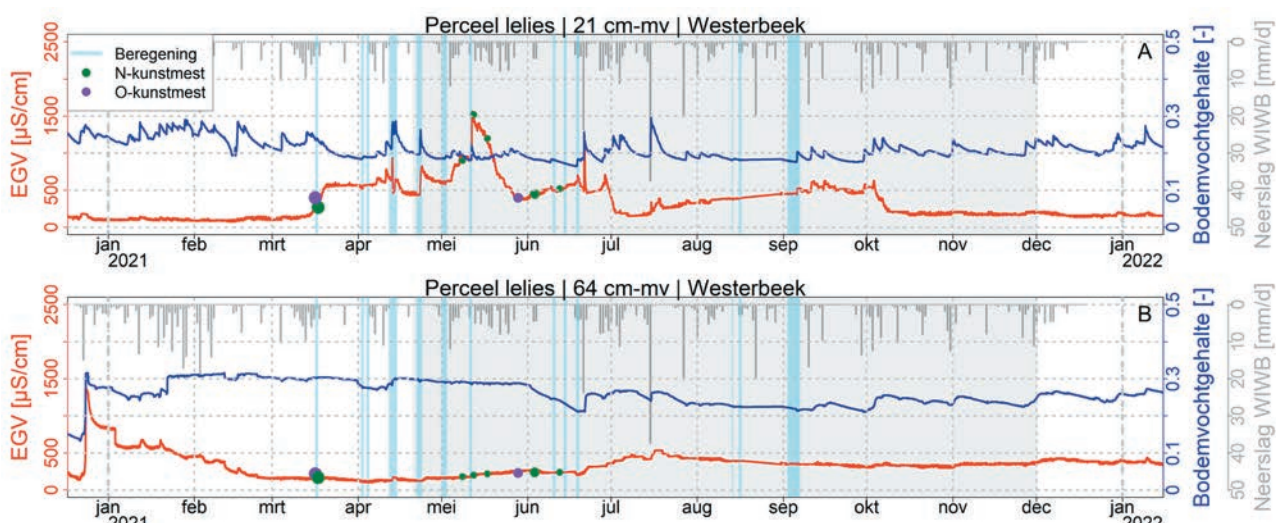
De meetopstelling voor bodemvocht en grondwater is ingericht op twee locaties op een gedraineerd perceel waarop in 2021 zowel lelies als cichorei werden geteld. De meetopstelling voor drainwater is ingericht voor drie opeenvolgende drains. De opzet en resultaten van deze meetopstelling zijn in detail beschreven het bijlagenrapport (bijlage 8). In deze paragraaf worden ter illustratie de belangrijkste resultaten voor het lelieperceel en één drain beschreven.

Uitspoelgebeurtenissen

In figuur 3.11 is het gemeten bodemvochtgehalte en elektrisch geleidingsvermogen op 21 cm en 64 cm diepte weergegeven. De geleidbaarheidssensor op 21 cm diepte laat een duidelijke seizoensdynamiek zien, terwijl die op 64 cm diepte een veel geleidelijker verloop vertoont. Tevens maken de sensoren een aantal uitspoelgebeurtenissen zichtbaar. De beregeningsgiften in april en mei leidden tot het plotseling stijgen van de geleidbaarheid op 21 cm diepte en luidden een gestage stijging van de geleidbaarheid op 64 cm diepte in. Deze uitspoelgebeurtenissen hangen samen met de hernieuwde voorraad uitspoelbare mestzouten door bemesting bij aanvang van het groeiseizoen, in combinatie met intensieve beregening die leidde tot grondwateraanvulling. Een andere uitspoelgebeurtenis hangt samen met een intensieve bui in juni 2021, die eveneens leidde tot grondwateraanvulling en een verdere toename van de geleidbaarheid op 64 cm diepte. De extreme regen in juli 2021 is minder goed zichtbaar als uitspoelgebeurtenis, mogelijk doordat de uitspoelbare voorraad door eerdere gebeurtenissen reeds gedeeltelijk uitgeput was.

FIGUUR 3.11

Gemeten elektrisch geleidingsvermogen (linker y-as in rood) en bodemvochtgehalte (rechter y-as in blauw) in 2021 op 21 cm (A) en 64 cm (B) diepte. Tevens zijn als achtergrond weergegeven neerslag-dagsommen op basis van het WIWB (rechter y-as in grijs) en mest- en beregeningsgiften (zie legenda). Het grijze blok geeft de perioden weer vanaf het groei- tot oogstmoment van de lelies.

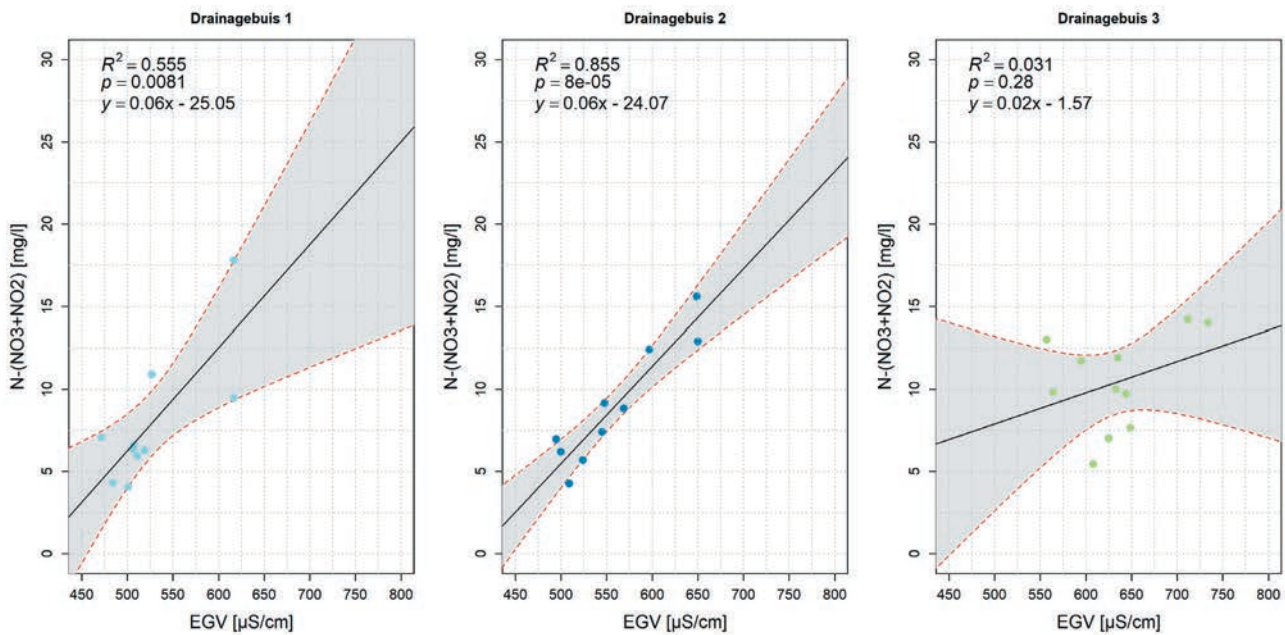


Elektrisch geleidingsvermogen als proxy voor nitraat

In [figuur 3.12](#) is het regressiemodel voor waargenomen geleidbaarheid en nitraatconcentratie in het drainagewater uit de drie drains weergegeven.

FIGUUR 3.12

Regressiemodel voor waargenomen EGV en nitraatconcentratie in het drainagewater uit drie drains. Getrokken lijn is de verwachtingswaarde, het grijze vlak het 95%-betrouwbaarheidsinterval.



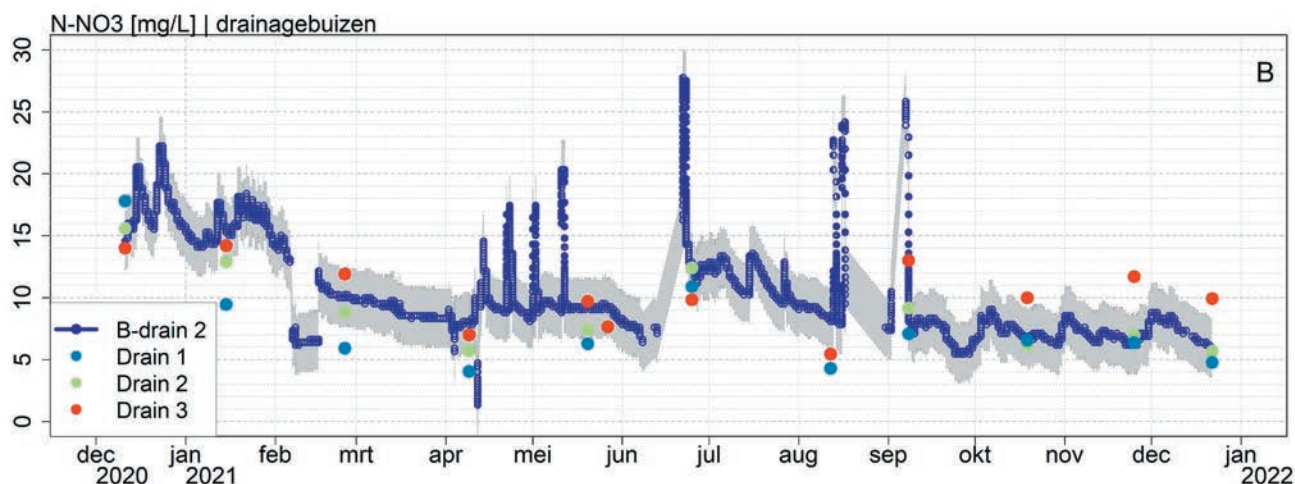
Deze figuur laat zien dat geleidbaarheid alleen een betrouwbare proxy is voor nitraat in drainagebuis 2 ($R^2 = 85\%$), maar dat dat veel minder ($R^2=55\%$) of niet ($R^2=3\%$) het geval is voor drainagebuis 1 en 2. Kennelijk heeft nitraat in het drainagewater van deze buizen geen constant aandeel in de ionenbalans. Denitrificatie, waarbij nitraat wordt omgewisseld voor bicarbonaat, is een van de processen die deze relatie verstoort. De nitraatconcentratie in buis 1 en 3 kan niet met behulp van geleidbaarheidssensoren geschat worden.

In [figuur 3.13](#) is de geschatte nitraatconcentratie in drainbuis 2 op basis van gemeten geleidbaarheid en het regressiemodel voor deze drain weergegeven. Tevens zijn de referentiemetingen in de drie buizen weergegeven. De geschatte nitraatconcentraties op basis van de continue EGV-meting hebben voor deze drain een marge van $\pm 2,3$ mg/L $N-NO_3$ (10 mg/L NO_3). Voor de andere drains zijn de marges nog veel groter.

Deze figuur geeft aan dat de verwachtingswaarde van de nitraatconcentratie in drainbuis 2 globaal daalde van 15-20 mg $N-NO_3$ per liter in het najaar van 2020 naar 5-8 mg $N-NO_3/L$ in het najaar van 2021. Tevens zijn de uitspoelgebeurtenissen onder invloed van beregening in april en de intensieve buien in juni en juli te zien. Opvallend is de hoge nitraatconcentratie in het drainagewater zodra de drains in juni weer water af gaan voeren; kennelijk heeft de voorraad nitraat zich in de voorafgaande droge periode opgebouwd. De referentiemetingen bevestigen dit beeld.

FIGUUR 3.13

Waargenomen (stippen) en geschatte (lijn) nitraatconcentratie in drainagewater uit het lelieperceel. Nitraatconcentratie is geschat op basis van waargenomen geleidbaarheid en regressiemodel voor drain 2. De periodes dat de drains geen water afvoerden, zijn uit de data weggelaten.



3.3.2 Resultaten (grond)waterkwaliteitsanalyses proefperceel

Op een landbouwperceel in het stroomgebied van de Vinkenloop is een meetnet ingericht om de nitraatconcentratie in grondwater tot 6 m diepte en drainwater gedetailleerd in beeld te brengen. Tevens zijn andere macro-ionen, waaronder bicarbonaat en sulfaat, gemeten om sturende bodemchemische processen te bepalen. De doelen van deze monitoring betroffen:

- (1) In beeld brengen van nitraatconcentraties in het grondwater en drainagewater ten behoeve van bewustwording en inzicht in nutriëntenverliezen;
- (2) Identificeren van de invloed van denitrificatie op de belasting van het oppervlaktewater met nitraat ten behoeve van systeeminzicht.

De meetopstelling voor grondwater is ingericht op twee locaties op een gedraineerd perceel waarop in 2021 zowel lelies als cichorei werden geteeld. De meetopstelling voor drainwater is ingericht voor drie opeenvolgende drains. De opzet en resultaten van deze meetopstelling zijn in detail beschreven het bijlagenrapport (bijlage 8). In deze paragraaf worden ter illustratie de belangrijkste resultaten voor het lelieperceel en één drain beschreven.

Nitraat-diepteprofielen

In [figuur 3.14](#) staan de waargenomen nitraat-diepteprofielen voor opeenvolgende meetmomenten weergegeven. Tevens zijn het gemiddelde en de maximale waarde voor de elf meetmomenten weergegeven. Deze figuur laat zien dat tijdens alle monsterrondes nitraat tot 4-5 m diepte in concentraties boven de norm is aangetroffen. Vooral in het najaar van 2020 zijn extreem hoge nitraatconcentraties van meer dan 500 mg NO₃/l in de bovenste meter grondwater waargenomen. Over 2021 nam de nitraatconcentratie daar af tot ongeveer 250 mg NO₃/l. Onder het cichoreiperceel is een vergelijkbare trend waargenomen, maar waren de waargenomen nitraatconcentraties in het bovenste grondwater een factor 2 tot 3 lager.

Globaal gezien neemt de nitraatconcentratie in het grondwater af met de diepte. Een zich naar beneden toe bewegende en langzaam uitdempende piek in de nitraatuitspoeling verstoort dit algemene patroon; de nitraatconcentratie neemt hierdoor tijdelijk toe. Uit de gegevens is niet eenduidig op te maken of deze piek gerelateerd is aan de lilieteelt, maar gezien de hoogte van de concentraties heeft het daar wel de schijn van. Voor alle meetrondes was de nitraatconcentratie in het grondwater onder het lelieperceel vanaf 5 m diepte lager dan de rapportagegrens ([figuur 3.14](#)). Onder het cichoreiperceel was dit al vanaf 3 m diepte. Met het afnemen van de nitraatconcentratie is er gelijktijdig een toename van de

bicarbonaatconcentratie te zien. Dit duidt erop dat de nitraatafbraak plaatsvindt door oxidatie van sedimentair of uitspoelend organisch materiaal. Bij deze reactie wordt namelijk bicarbonaat geproduceerd.

De wisselende diepte waarop de redoxovergang naar nitraatreducerende omstandigheden is waargenomen, geeft aan dat deze niet enkel het gevolg is van de hydrologische situatie (stromingspatronen en verblijftijden); de aanwezigheid van reactief organisch materiaal in de bovenste meters ondergrond kan ervoor zorgen dat de redoxovergang ondieper is. Hierdoor wordt een groter deel van het uitspoelende nitraat omgezet in onschadelijk stikstofgas, dat naar de atmosfeer ontsnapt.

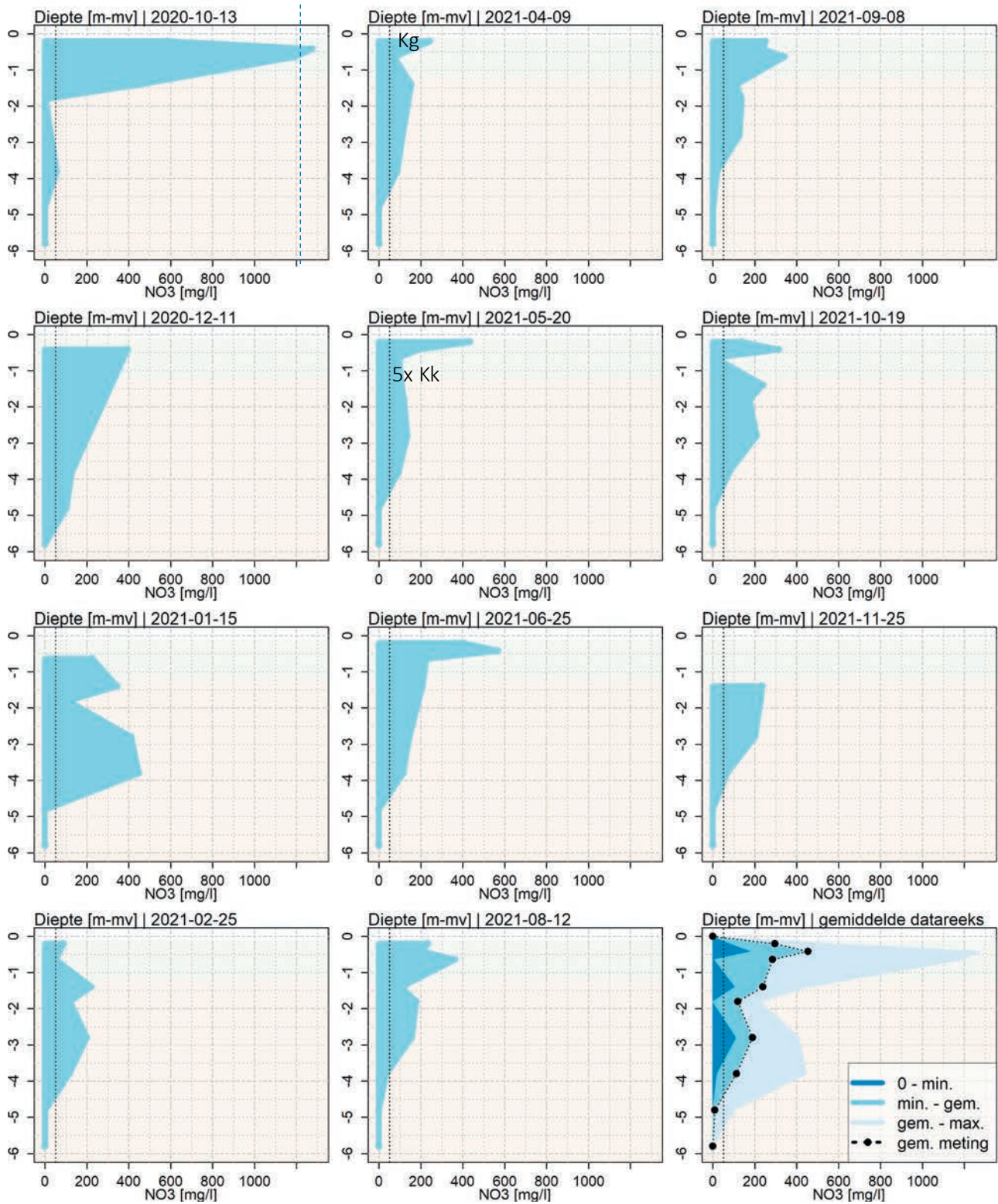
Ammonium-diepteprofielen

In [figuur 3.15](#) staan de waargenomen ammoniumconcentraties in het grondwater onder het lელიeperceel uitgezet tegen de diepte. Uit deze figuur blijkt dat vanaf 5 m diepte de ammoniumconcentratie toeneemt van $<0,2 \text{ mg/L NH}_4$ naar $>0,8 \text{ mg/L NH}_4$. Onder het cichoreiperceel neemt de ammoniumconcentratie al vanaf 2 m diepte toe. Op deze dieptes is ook denitrificatie onder invloed van sedimentair of inspoelend organisch materiaal vastgesteld.

Dit organisch materiaal kan ook de bron van ammonium in het diepe grondwater zijn. Dit zou betekenen dat het organisch materiaal op enkele meters diepte bij kan dragen aan de belasting van het oppervlaktewater door directe drainage. Indien sedimentair organisch materiaal de bron van ammonium is, is er geen relatie tussen de ammoniumbelasting van het oppervlaktewater en stikstofuitspoeling, zodat landbouwmaatregelen geen effect hebben op de ammoniumbelasting van het oppervlaktewater. Echter, het ammonium kan ook vrijkomen door mineralisatie van uitspoelend organisch materiaal of zijn ontstaan door omzetting van nitraat in ammonium (nitraat ammonificatie) via het DNRA-proces (dissimilatory nitrate reduction to ammonium). In dat geval draagt nitraatuitspoeling uit landbouwpercelen wel bij aan de ammoniumbelasting van het oppervlaktewater en hebben landbouwmaatregelen daar wel effect op.

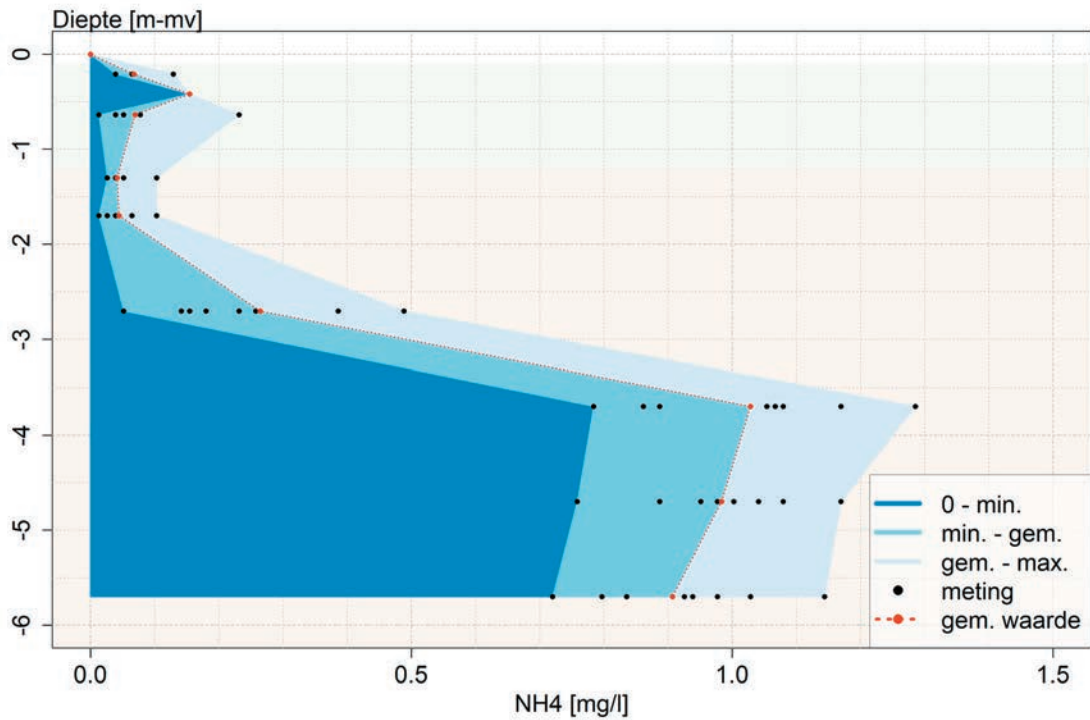
FIGUUR 3.14

Nitraatdiepteprofielen waargenomen op verschillende momenten onder het lelieperceel. Rechtsonder zijn de gemiddelde, minimaal en maximaal waargenomen waarden weergegeven. De nitraatnorm van 50 mg/L is met een verticale stippellijn weergegeven. De macrorhizons leverden niet altijd voldoende monsters voor een nitraatanalyse, waardoor de profielen niet altijd compleet zijn.



FIGUUR 3.15

Ammoniumdiepteprofielen op basis van minimaal, gemiddelde en waargenomen concentraties onder het lelieperceel.

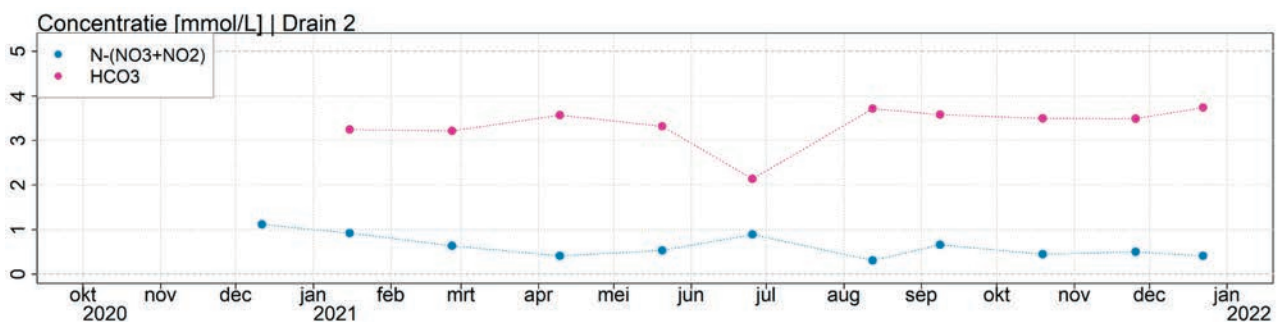


Nitraat in drainagewater

De nitraatconcentratie in de drie drains varieerde in 2021 van 18-78 mg NO₃/l (minimaal en maximaal gemeten waarde). Hierbij was de nitraatconcentratie in drain 3 10-20% hoger dan in drain 2 en 20-40% hoger dan in drain 1. De verschillen in bicarbonaatconcentraties tussen de drains en de tegengestelde dynamiek van nitraat en bicarbonaat (zie [figuur 3.16](#)), zijn een aanwijzing dat denitrificatie onder invloed van sedimentair of inspoelend organisch materiaal zowel leidt tot verschillen in nitraatconcentratie tussen drains als tot variaties in de tijd. Hogere nitraatconcentraties in drainwater corresponderen met een relatief grote bijdrage van grondwater waarin weinig denitrificatie heeft plaatsgevonden en daardoor relatief veel nitraat en weinig bicarbonaat bevat. Hieruit volgt dat denitrificatie ook een dempend effect heeft op de uitspoeling van nitraat naar de drains en dat ruimtelijke verschillen in denitrificatie binnen het perceel, naast eventueel aantrekken van dieper grondwater, een deel van de verschillen in de nitraatconcentraties tussen drains kan verklaren.

FIGUUR 3.16

Waargenomen nitraat- en bicarbonaatconcentraties in een van de drie drains tijdens de periode december 2020 en december 2022.



3.4 MONITORING ISOTOPEN

Voor een effectieve gebieds- en brongerichte aanpak van de stikstofbelasting van grond- en oppervlaktewater is het noodzakelijk om goed inzicht te hebben in het aandeel van verschillende stikstofbronnen en verliestermen (denitrificatie) voor grond- en oppervlaktewater. Ondanks dat met reguliere monitoring de concentraties van nitraat en ammonium in grond- en oppervlaktewater redelijk goed bekend zijn, geven deze meetresultaten vaak beperkt inzicht in de achterliggende bronnen en relevante processen. Mede hierdoor blijft de herkomst van nitraat in grondwater onderwerp van discussie. Voor ammonium in grond- en oppervlaktewater zijn de bronnen minder goed bekend. Daarom onderzoeken we hier of isotopenanalyses aanvullende inzichten kunnen opleveren in het relatieve belang van verschillende bronnen van stikstof in grond- en oppervlaktewater.

Stabiele isotopen in grond-, drain- en oppervlaktewater zijn op een aantal locaties en drie momenten gemeten in het stroomgebied van de Vinkenloop. Het doel van deze metingen was tweeledig:

- (1) Inzicht verkrijgen in de informatiewaarde en toepassingsmogelijkheden van stabiele isotopenanalyses voor het bepalen van de bronnen van stikstofbelasting van grond- en oppervlaktewater.
- (2) Het schatten van de relatieve bijdrage van verschillende stikstofbronnen aan de concentraties NO_3 en NH_4 op verschillende posities en momenten in het watersysteem van een deel van de Vinkenloop.

In deze paragraaf worden de resultaten besproken voor de typering van stikstofbronnen, de herkomst van nitraat in grondwater en de herkomst van ammonium in oppervlaktewater. Voor gedetailleerdere beschrijving en meer resultaten uit de isotopenanalyses wordt verwezen naar het bijlagenrapport.

Opzet isotopen onderzoek

De volgende stikstofbronnen zijn in dit onderzoek meegenomen: kunstmest, dierlijke mest, bodemorganische stof, atmosferische depositie en ammonium in het diepere grondwater dat mogelijk vrijgekomen is tijdens de ontginning van het gebied.

De informatiewaarde van isotopenanalyses is sterk afhankelijk van de mate waarin verschillende stikstofbronnen een onderscheidende isotopenverhouding hebben. Omdat de verhoudingen elkaar kunnen overlappen en in de tijd verschuiven, is een meetstrategie gebruikt die uit de volgende elementen bestond:

- *Bronnenanalyse*: voor kunstmest, dierlijke mest en de bodemvoorraad zijn isotopenverhoudingen voor stikstoftotaal in de vaste fase en voor nitraat en ammonium in extracten bepaald en vergeleken met waarden uit de literatuur. Hieruit volgt of de bronnen een onderscheidende signatuur hebben waarmee hun bijdrages van elkaar gescheiden kunnen worden.
- *Referentie*: Twee referentiepunten voor grondwater onder een vergelijkbare bodem, maar met een wezenlijk ander gewas en/of bemestingsregime.
- *Ruimtelijke samenhang*: De meetlocaties in grond- en oppervlaktewater zijn op verschillende posities langs één (globale) afvoerroute gekozen. Deze afvoerroute betreft het bovenste grondwater, het diepe grondwater (tot 6 m diepte), drainagewater en oppervlaktewater.
- *Volgordelijkheid*: De isotopenverhoudingen van nitraat en ammonium in het water zijn op verschillende momenten bepaald, namelijk (1) op 25 februari 2021, vlak voor de eerste mestgift, (2) op 27 mei 2021, tijdens het groeiseizoen en na een nattere periode en (3) op 24 november 2021, na de oogst.

Isotopen typering stikstofbronnen

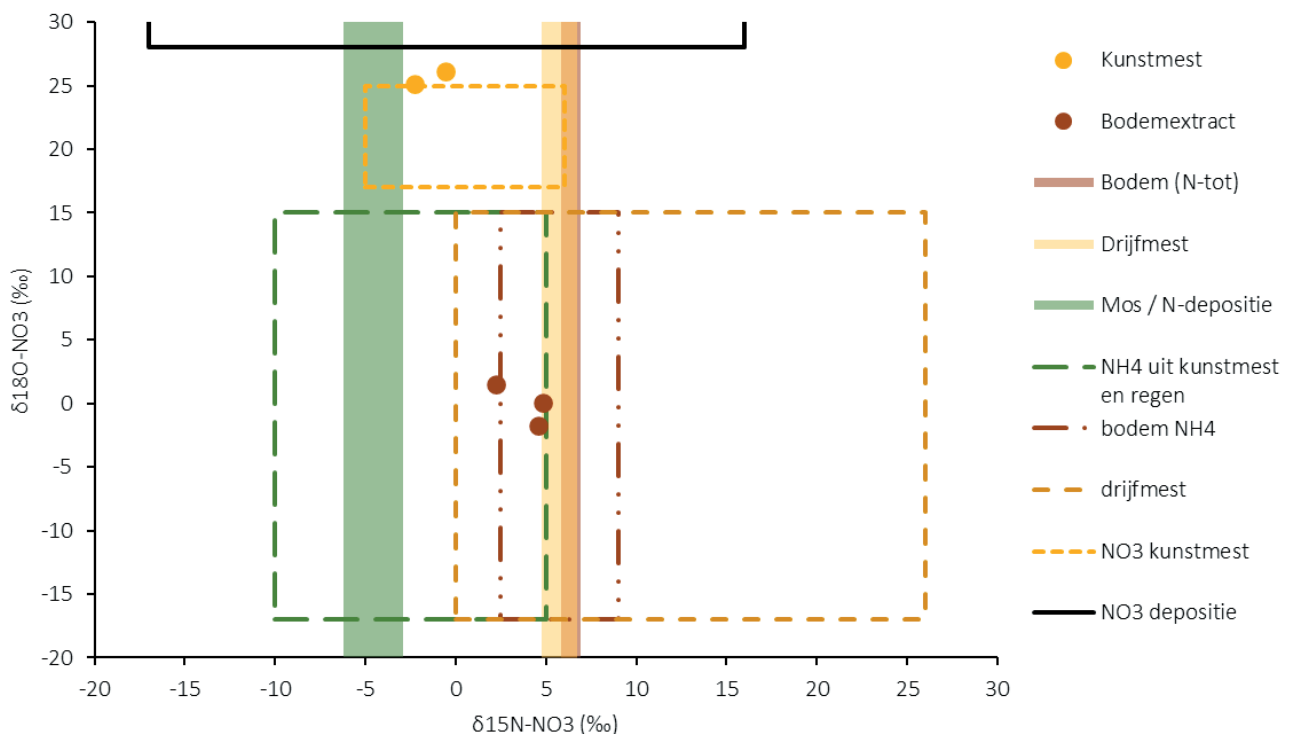
In [figuur 3.17](#) zijn voor de monsters van de verschillende stikstofbronnen de gemeten $\delta^{15}\text{N}$ - en $\delta^{18}\text{O}$ -waarden van nitraat tegen elkaar uitgezet in. Ter vergelijking zijn op de achtergrond de grenzen waarbinnen de isotopenverhoudingen van stikstofbronnen zich bevinden volgens de literatuur (Isonitrate, 2009) weergegeven. De bronnen depositie, bodem en drijfmest zijn alleen op basis van de vaste fase gekenmerkt, waardoor alleen het N-isotoop geanalyseerd kan worden. Door nitrificatie kan het aan de vaste fase gebonden stikstof in nitraat worden omgezet, zodat de vaste fase een indruk geeft van het nitraat dat daaruit voort kan komen.

Uit [figuur 3.17](#) blijkt dat waargenomen $\delta^{15}\text{N}$ in de vaste fase van drijfmest en bodem elkaar overlappen en met waarden rond de +5‰ vergelijkbaar zijn in ons onderzoek. De demi-waterextracten van de bodemmonsters hebben iets lagere $\delta^{15}\text{N}$ ten opzichte van de vaste fase. De waargenomen waarden voor bodem komen overeen met waarden uit de literatuur, terwijl dierlijke mest volgens de literatuur vaak een hogere $\delta^{15}\text{N}$ heeft. Dit laatste komt waarschijnlijk doordat in deze studie mest van maximaal een aantal dagen oud is bemonsterd, terwijl in de literatuurwaarden ook analyses op monsters van langer opslagen mest zitten, bijvoorbeeld uit mestsilos. Bij langere opslag kan $\delta^{15}\text{N}$ toenemen onder invloed van biochemische processen onder gereduceerde omstandigheden. Ook andere factoren, zoals het type vee en voer, kunnen van invloed zijn op $\delta^{15}\text{N}$ in dierlijke mest.

Kunstmest en stikstofdepositie onderscheiden zich met een lage $\delta^{15}\text{N}$ (tussen 0 en -5‰) ten opzichte van bodem en drijfmest. Voor kunstmest wordt ook in de literatuur een lage $\delta^{15}\text{N}$ vermeld, met waarden variërend van +2 tot -6‰ die passen bij de geanalyseerde kunstmestextracten. De mediane waarde van $\delta^{15}\text{N}$ uit ammoniakdepositie zoals vermeld in de literatuur komt goed overeen met de $\delta^{15}\text{N}$ die is waargenomen in de bemonsterde mossen. Wel geven literatuurwaarden een grote spreiding van +11 tot -11‰. Volgens de literatuur is NO_x -depositie goed te onderscheiden van andere bronnen op basis van een hoge $\delta^{18}\text{O}$ van +28‰ of hoger. Op basis van de stikstofanalyse in mossen is dit onderscheid niet te maken, omdat $\delta^{18}\text{O}$ niet gemeten is.

FIGUUR 3.17

Stikstof- en zuurstofisotopenverhoudingen van verschillende stikstofbronnen in het onderzoeksgebied (bollen en balken), vergeleken met isotopenverhoudingen van stikstofbronnen uit de literatuur (rechthoeken, Isonitrate, 2009). De bolletjes hebben betrekking op demi-waterextracten en de balken op N_{tot} in de vaste fase. De rechthoeken geven het bereik van de bronnen uit literatuur weer, cirkels representeren de metingen.



Herkomst van nitraat in grondwater

Op 25 februari is in het bovenste grondwater onder het lelieperceel een $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ waargenomen van ongeveer +5‰ en een $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ van -8‰ ([figuur 3.18](#)). Deze verhoudingen liggen in de buurt van de verhoudingen in het demi-waterextracten van de bodem ([figuur 3.17](#)). Een dominante, directe invloed van meststoffen ten tijde van de bemonstering (voor de eerste

kunstmestgift) is onwaarschijnlijk, aangezien de voorgaande mestgiften toen al minimaal een halfjaar eerder waren toegediend en uit kunstmest met een afwijkende isotopensignatuur bestond. Het is daarmee waarschijnlijk dat het nitraat in het bovenste grondwater afkomstig is uit stikstofmineralisatie in de bodem.

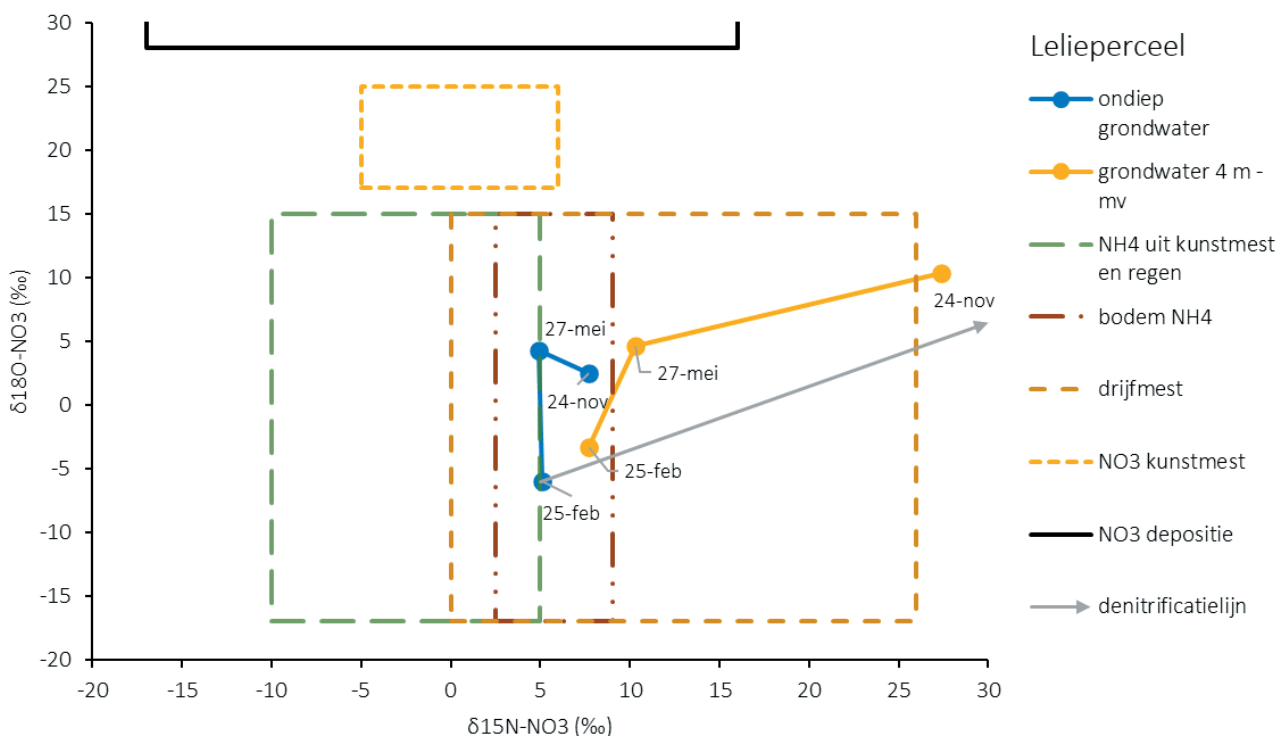
In het monster van het bovenste grondwater dat op 27 mei is verzameld, blijft $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ nagenoeg gelijk ten opzichte van voorgaande monsternamen, terwijl $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ toeneemt van -8 naar +5‰ (figuur 3.18). Alleen een toenemende invloed van nitraat uit NOx-depositie en kunstmest kan deze verschuiving verklaren. De NOx-depositie is echter vele malen kleiner dan de kunstmestgift die in maart aan de lelies is toegediend. Deze verschuiving in isotopenratio's geeft daarmee aan dat een deel van de kunstmestgift binnen enkele weken is uitgespoeld naar het bovenste grondwater. De intensieve beregening in april, nadat kunstmestgiften zijn toegediend, kan deze uitspoeling hebben veroorzaakt. De isotopenverhoudingen geven echter nog steeds een gemengde signatuur aan, duidend op invloed van meerdere stikstofbronnen, waarschijnlijk uit drijfmest en de bodemvoorraad.

De isotopenverhoudingen in het bovenste grondwater onder het cichoreiperceel vertonen een ander verloop in de tijd dan onder het lelieperceel (figuur 3.18). Het monster van 27 mei heeft een relatief hoge $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ -waarde ten opzichte van $\delta^{15}\text{N-NO}_3$. Dit wijst op een toegenomen uitspoeling van stikstof uit kunstmest en drijfmest, die beide in de tussentijd zijn toegediend. In het monster op 24 november zijn beide isotopen nog verder toegenomen. Omdat op deze diepte nog niet of nauwelijks sprake is van denitrificatie, kan deze stijging alleen veroorzaakt worden door een toenemende invloed van drijfmest.

Ook in het drainagewater en oppervlaktewater zijn aanwijzingen voor verhoogde uitspoeling van nitraat uit kunstmest gevonden. De isotopenanalyses bevestigen tevens dat denitrificatie de nitraatconcentratie verlaagt in diep grondwater, drainagewater en oppervlaktewater.

FIGUUR 3.18

Waargenomen stikstof- en zuurstofisotopenverhoudingen van nitraat in grondwatermonsters onder het lelieperceel vergeleken met verschillende stikstofbronnen uit de literatuur (Isonitrate, 2009). Ook de denitrificatielijn is weergegeven, uitgaande van een verandering van $\delta^{15}\text{N}$ en $\delta^{18}\text{O}$ in de ratio 2:1 (Seiler, 2005). Rechthoeken zijn referentiewaarden uit literatuur, cirkels de meetwaarden.



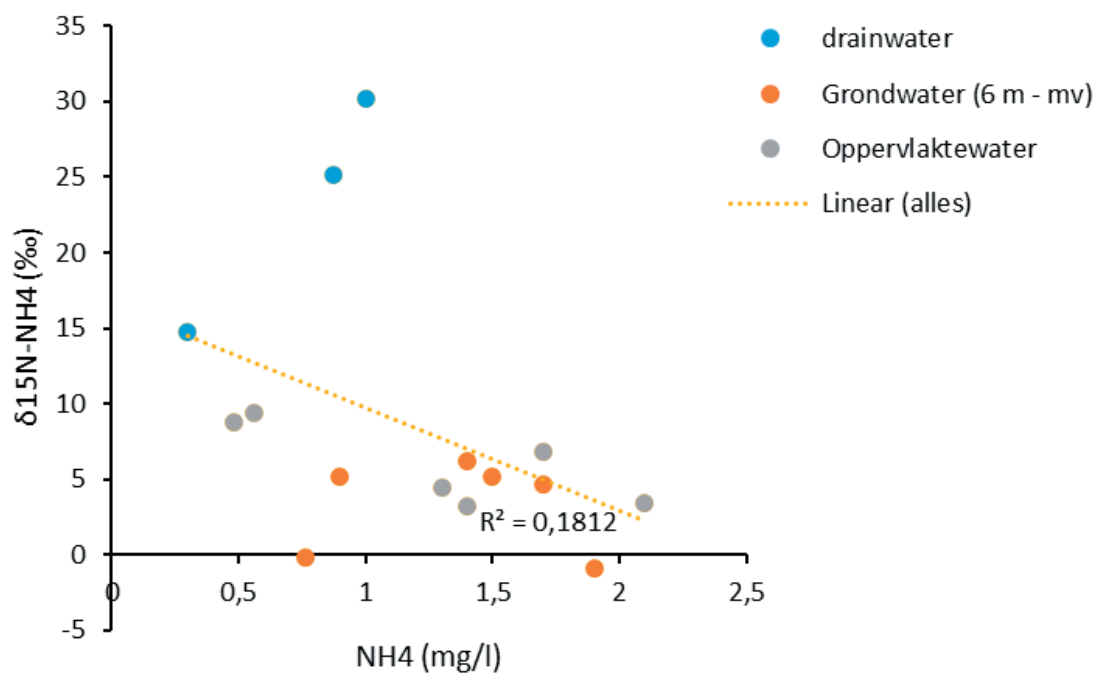
Herkomst van ammonium in drain- en oppervlaktewater

In [figuur 3.19](#) is de ammoniumconcentratie in verschillende watermonsters uitgezet tegen $\delta^{15}\text{N-NH}_4$. Uit deze figuur blijkt dat het ammonium in drainwater een andere signatuur heeft dan het grondwater; de ammoniumconcentraties zijn vaak lager, terwijl $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ duidelijk hoger is. Dit geeft aan dat het grondwater op 6 m diepte geen of een zeer beperkte bijdrage aan ammonium in drainagewater levert. De relatief hoge $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ in drainagewater vallen binnen de ranges die voor drijfmest in de literatuur worden vermeld ($\delta^{15}\text{N-NH}_4 = 5\text{-}30\%$), maar kan ook het gevolg zijn van denitrificatie van nitraat dat afkomstig is uit ammoniumkunstmest of bodemorganische stof. Dit geeft aanwijzingen dat drijfmest de dominante bron van ammonium in het drainagewater uit het perceel is.

Zoals in [figuur 3.19](#) is te zien, zijn ammoniumconcentraties en $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ -waarden vergelijkbaar in oppervlaktewater en het grondwater op 6 m diepte. Het drainwater wijkt daar duidelijk van af. Het lijkt er daarmee op dat directe drainage van grondwater door de Vinkenloop een relatief grote bron van ammonium in de Vinkenloop is. Dit zou betekenen dat de bijdrage van de drainafvoer aan de ammoniumbelasting van het oppervlaktewater klein is ten opzichte van de belasting via directe drainage. Vanwege het kleine aantal monsters kunnen de waargenomen patronen echter ook op toeval berusten en zijn ze niet representatief voor piekafvoeren, omdat die niet bemonsterd zijn.

FIGUUR 3.19

Waargenomen ammoniumconcentratie uitgezet tegen $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ met onderscheid naar grond-, drain- en oppervlaktewater. De monsters zijn genomen in februari, mei en november 2021.



3.5 DATA DRIVEN MODELLERING

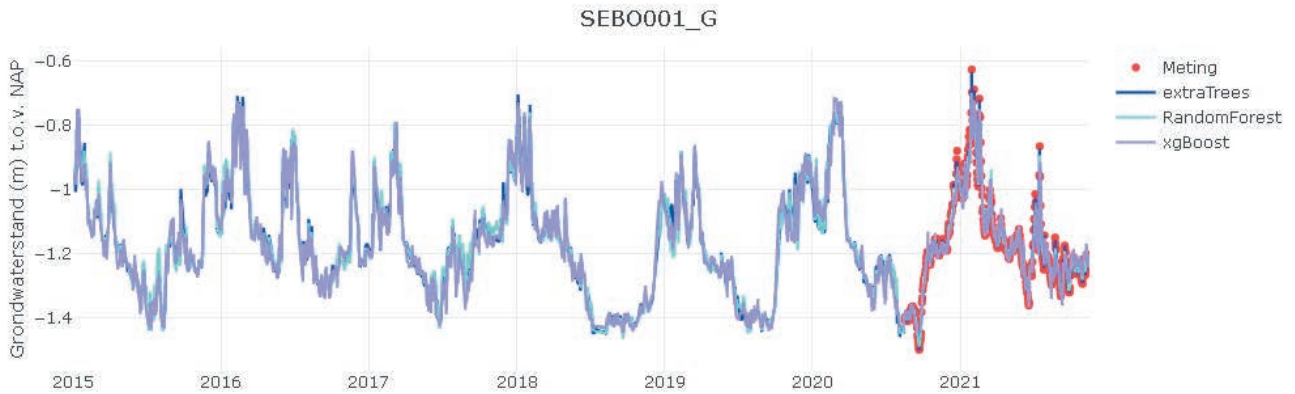
3.5.1 MACHINELEARNING

Bij machinelearning worden statistische algoritmes ingezet om relaties tussen parameters te vinden. Er zit geen proceskennis in deze methodes over hydrologie of waterkwaliteit. Voorspellingen van de hydrologische of waterkwaliteitsparameters op basis van machinelearning zijn daardoor veelal onzeker.

Een voorbeeld van het aanvullen van een tijdreeks met grondwaterstanden in een put van het project Sensor Gestuurd Boeren aan de hand van drie machinelearning-technieken is gegeven in [figuur 3.20](#).

FIGUUR 3.20

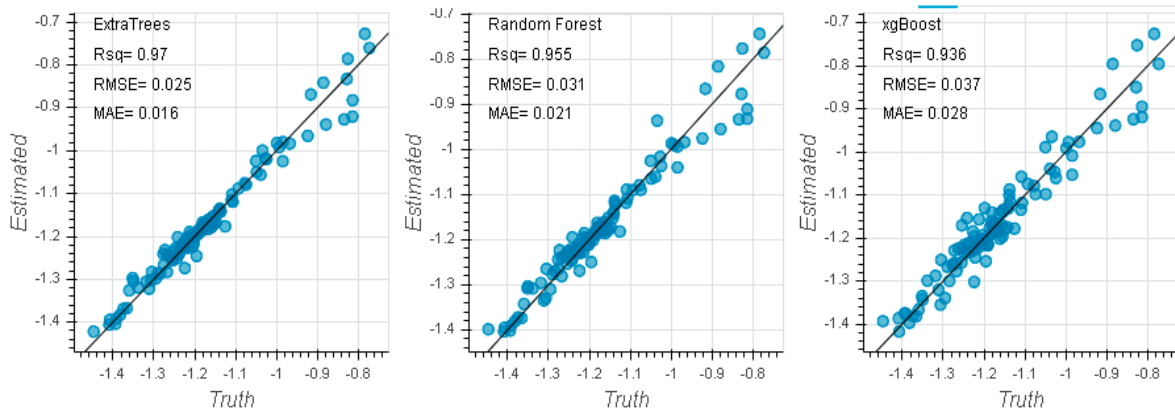
Aanvullen van een meetreeks van grondwaterstanden in een put van het project Sensor Gestuurd Boeren in het pilotgebied van de Vinkenloop met behulp van machinelearning.



Een vergelijking van de berekende waarden met meetwaarden in de periode waarvoor metingen beschikbaar waren, is gegeven in [figuur 3.21](#).

FIGUUR 3.21

Validatie met gegevens die niet gebruikt zijn voor de ijking van de drie toegepaste ML-technieken voor het aanvullen van een meetreeks van grondwaterstanden.



Bij de dataverwerking van de continue meetgegevens van de concentratieverlopen bij het uitstroompunt van de Vinkenloop is gebleken dat machinelearning ook goed werkt bij het vullen van gaten in de meetreeks op basis van de relaties tussen meerdere continu gemeten parameters (zie ook [bijlage 3](#)). Ook hiervoor zijn verschillende algoritmen getest, waarbij Random Forest Decision Tree-modellen het best presteerden.

Een aandachtspunt bij machinelearning is dat vooral de zich steeds herhalende patronen in de concentraties in het model vastgelegd worden, zoals de reactie op natte perioden. Bij bepaalde incidentele of structurele veranderingen in een stroomgebied kunnen de relaties tussen parameters veranderen en worden de voorspellingen onzeker. Overigens kan deze eigenschap juist ook gebruikt worden om onderscheid te maken tussen normale variaties in de waterkwaliteit en afwijkende patronen die kunnen duiden op incidenten.

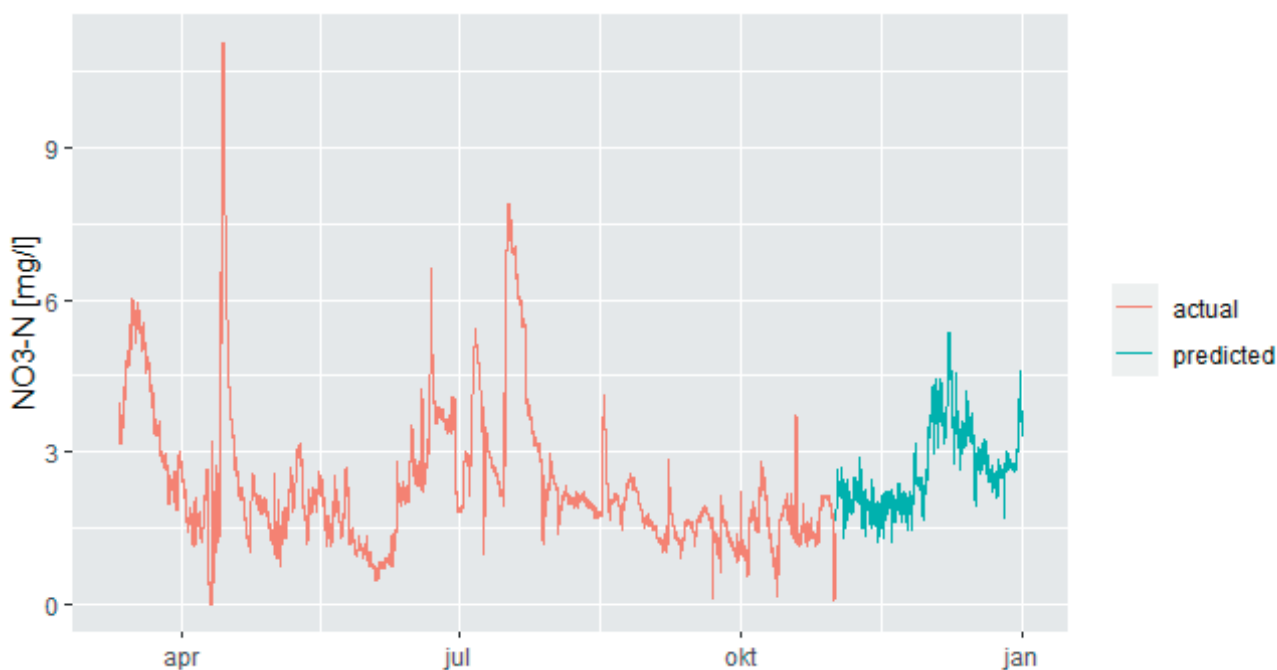
Machinelearning kan ook goed toepasbaar zijn als na een periode met continue metingen de monitoring van nutriënten weer wordt afgeschaald naar bijvoorbeeld een maandelijkse meetfrequentie. Vooral als continue gegevens over bijvoorbeeld de neerslag, afvoer, grondwaterstanden en/of EC beschikbaar blijven, kan een Random Forest-model gebruikt worden om de variaties tussen de maandelijkse conventionele metingen te voorspellen.

Om dit te demonstreren, zijn de nitraatmetingen voor de Vinkenloop van de laatste twee maanden (november, december) verwijderd om deze later te voorspellen aan de hand van het Random Forest-model. De afvoermetingen zijn beschikbaar van af 11 maart 2021, daarom is ervoor gekozen om het model te trainen op alle parameters vanaf dat moment tot 1 november. Overigens zijn de afvoermetingen voor deze periode niet nauwkeurig (verdrongen V-stuw), wat de voorspellende waarde mogelijk vermindert. Binnen de trainingsperiode wordt 20% van de gegevens niet gebruikt om het model te fitten, maar voor de evaluatie van de voorspellingen. Hieruit komt een mediane afwijking (RMSE) van 0,28 mg/L N en een mediane verklaarde variantie (r^2) van 0,96.

In [figuur 3.22](#) is de ingekorte reeks nitraat metingen aangevuld met de voorspellingen uit het Random Forest-model te zien. In [figuur 3.23](#) staan de gemeten en voorspelde nitraatconcentraties voor november en december. Visueel sluiten de voorspellingen goed aan bij het einde van de afgekapte reeks en lijken de voorspellingen ook een plausibele inschatting van de nitraatconcentraties te laten zien. Als de voorspellingen worden vergeleken met de metingen is de afwijking (RMSE) 0,54 mg/L N en de verklaarde variantie (r^2) 0,70. De afwijking is altijd wat groter bij de toepassing van het model buiten een trainingsperiode. Bij dit voorbeeld zou de voorspelling nog kunnen verbeteren op basis van jaarronde gegevens; nu worden concentraties voorspeld voor maanden waarvoor het model niet getraind is. Ook zijn er in november en december in de Vinkenloop wat incidentele gebeurtenissen geweest, zoals een verstopte duiker, een stuwproef en concentratiepieken door en directe input.

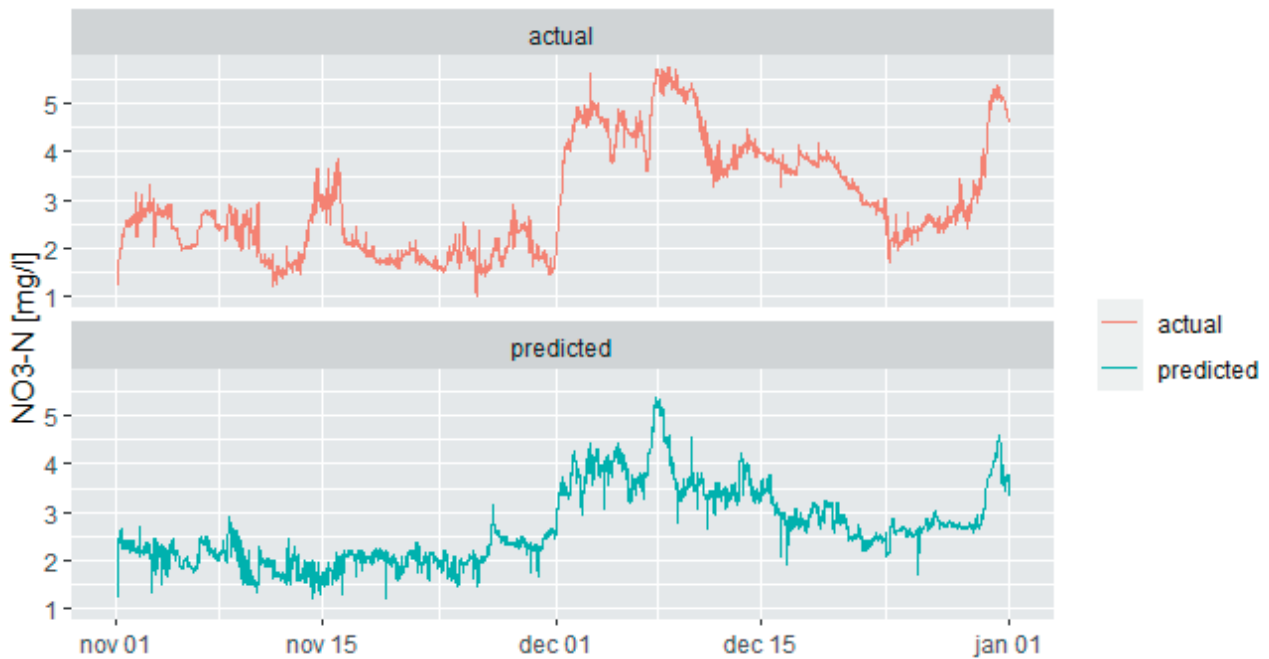
FIGUUR 3.22

Nitraatmetingen aangevuld met de voorspellingen van het Random Forest-model.



FIGUUR 3.23

Vergelijking van voorspelde en gemeten waarden voor de periode 2021-11-01 tot 2022-01-01.



Voor de procesmodellering (paragraaf 3.6) is gebied-specifieke informatie over de dynamiek van de grondwaterstanden van belang. Vanuit het project Sensor Gestuurd Boeren zijn in 2020 op zes locaties ondiepe peilbuizen geplaatst. De grondwaterstandmetingen zijn op drie plaatsten gestart in augustus 2020, op de drie andere plaatsen eind november 2020. Omdat er in het gebied geen grondwaterpeilbuizen met langjarig gemeten grondwaterstanden aanwezig zijn, is machinelearning ingezet om de gemeten grondwaterstanden in de projectperiode (2020-2021) te extrapoleren naar een langjarige voorgaande periode. De metingen in de drie buizen zijn gecorreleerd aan de grondwaterstand in drie nabij gelegen peilbuizen waar langjarig de grondwaterstanden zijn gemeten:

- B46C0207_001 op 2.81 km afstand; grondwatertrap V
- B52B1810_001 op 2.90 km afstand; grondwatertrap VIII
- B52A0115_001 (Vredepeel) op 3.31 km afstand; grondwatertrap VII

FIGUUR 3.24

Met machinelearning berekende en gemeten grondwaterstanden Vinkenloop.



Met drie methoden (Extra Trees, Random Forest, Extreme Gradient Boosting) zijn machinelearning-modellen afgeleid waarbij de grondwaterstandmetingen in de drie buizen die vanaf augustus waren bemeten en de afgeleide variabelen van de neerslag en verdamping (het neerslagoverschot) als voorspellers zijn gebruikt. De gegevensset is gesplitst in een trainingsset (75% van de dataset) en een testset (25% van de dataset). De modellering is vervolgens uitgebreid met twee lineaire functies om waarden buiten het meetbereik van de drie peilbuizen valide te kunnen voorspellen (het diep uitzakken van de grondwaterstanden in de droge perioden van 2018 en 2019). Het resultaat hiervan is voor een van de buizen weergegeven in [figuur 3.24](#).

3.5.2 STROMON-benadering

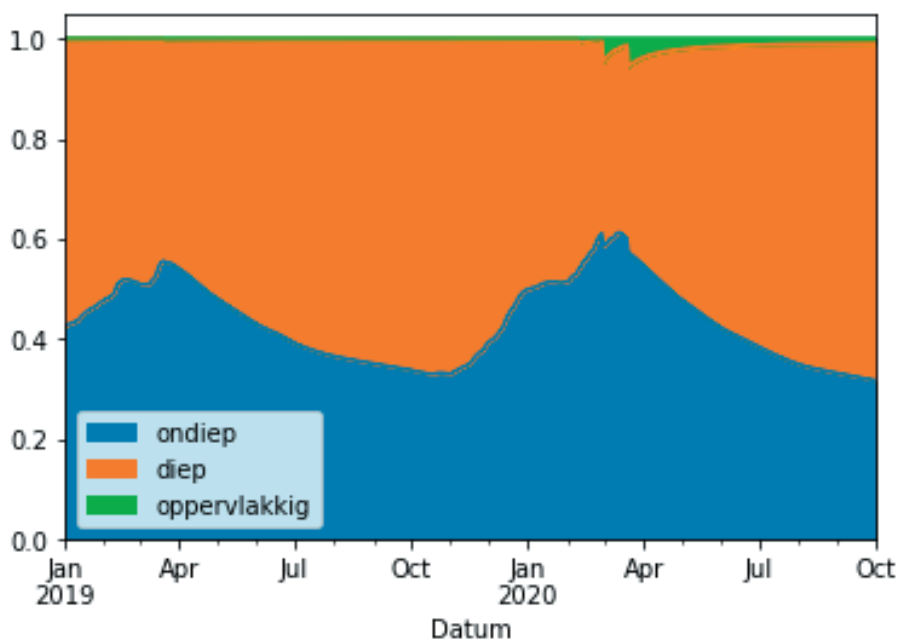
Met de STROMON-benadering kunnen verwachte concentraties in het oppervlaktewater berekend worden aan de hand van gemeten concentraties in het grondwater en een inschatting van de relatieve bijdrage van de verschillende ondiepe en diepe routes. De nutriëntenconcentraties in deze routes kunnen ingeschat worden op basis van landelijke meetnetten of gebiedsspecifieke metingen. De inschattingen van de concentraties zijn te verbeteren op basis van de in het oppervlaktewater gemeten concentratiedynamiek.

De relatieve bijdragen van de verschillende routes zijn in deze analyse ontleend aan het LHM (Landelijk Hydrologisch Model). Hiervoor zijn de LHM-rekeneenheden geselecteerd die vallen binnen het stroomgebied van de Vinkenloop. We hebben de dagelijkse flux gebruikt van het grondwater naar het oppervlaktewater voor de periode 2010-2020 (LHM doorrekening van 2021 is nog niet beschikbaar). Hiervoor hebben we de volgende vertaalslag gemaakt:

- Snelle afvoer via oppervlakkige afvoer (Modflow Drn olf en sof): oppervlakkige afspoeling.
- Snelle afvoer via de onverzadigde zone (Metaswap runoff): oppervlakkige afspoeling.
- Snelle afvoer via maaiveldgreppels (Modflow Drn mvg): oppervlakkige afspoeling.
- Afvoer via buisdrainage (Modflow Drn): ondiep grondwater.
- Grondwaterafvoer naar primaire watergangen (Modflow Riv1): diep grondwater.
- Grondwaterafvoer naar secundaire watergangen (Modflow Riv2): diep grondwater.
- Grondwaterafvoer naar tertiaire watergangen (Modflow Riv3): 0.5* ondiep grondwater + 0.5* diep grondwater.

FIGUUR 3.25

Met STROMON berekende fracties oppervlakkige afstroming, ondiep grondwater en diep grondwater in het oppervlaktewater van de Vinkenloop op basis van het Landelijk Hydrologisch Model.



De relatieve fractie van elke route in het oppervlaktewater is berekend per tijdstap. Hierbij is voor de Vinkenloop uitgegaan van een totaalvolume van 2000 m³. Hierbij wordt aangenomen dat het totale oppervlaktewatervolume na elke tijdstap hetzelfde blijft.

Op basis van de verhoudingen tussen de verschillende routes lijkt de verhouding van de grondwaterroutes voor de Vinkenloop plausibel (figuur 3.25). De concentraties voor de verschillende routes zijn bepaald op basis van metingen uit de routings en op het proefperceel in het Vinkenloop-gebied. De ingeschatte concentraties zijn weergegeven in tabel 3.1.

TABEL 3.1

Inschattingen van concentraties nitraat en ammonium in verschillende routes naar de Vinkenloop.

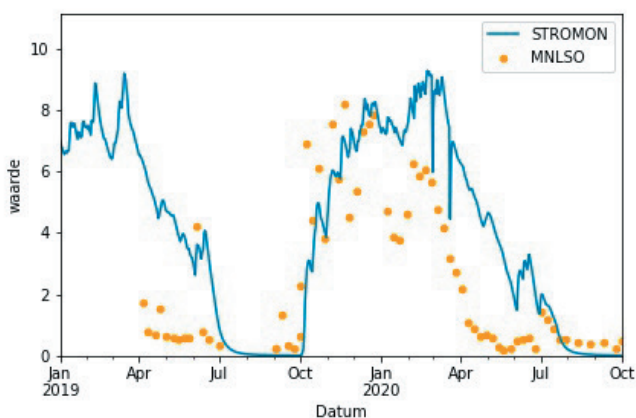
Concentraties	Nitraat-N (mg/L)	Ammonium-N (mg/L)
Initieel	1	2
Oppervlakkige afstroming	0	3
Ondiep grondwater	17	2
Diep grondwater	0	0

De berekende concentraties met de STROMON-benadering zijn vergeleken met de tweewekelijkse metingen bij het uitstroompunt van de Vinkenloop voor nitraat en ammonium (figuur 3.26). De berekende nitraatconcentraties komen zeker in het najaar en de winter goed overeen met de metingen. In het voorjaar zijn de gemeten nitraatconcentraties lager dan berekend. In deze relatief droge jaren was de afvoer laag en viel de Vinkenloop ook regelmatig droog. Afbraak en opname hebben dan relatief veel invloed op de gemeten concentraties. Bij ammonium komen de berekende concentraties beter overeen met de gemeten concentraties.

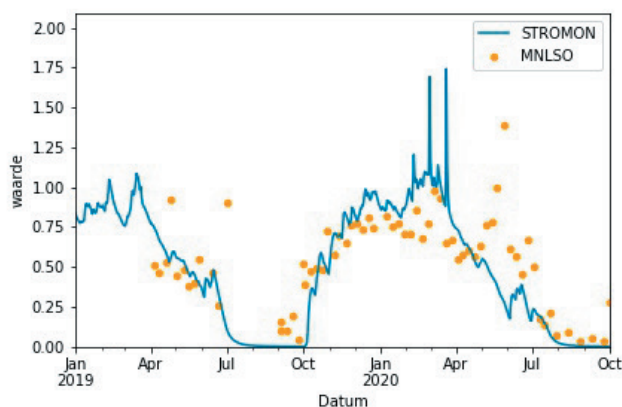
FIGUUR 3.26

Resultaten van de STROMON-analyse: berekende en gemeten nitraat- en ammoniumconcentraties in de Vinkenloop.

Nitraat (mg-N/L)



Ammonium (mg-N/L)



Resultaten van het regionaal Grondwatermodel (GRAM, Bos-Burgering en J. Hunink., 2021) van het waterschap Aa en Maas zouden in een vervolgfase kunnen worden toegepast in de STROMON-benadering. Het zou mogelijk nog tot een verbetering kunnen leiden, omdat dit model een hogere ruimtelijke resolutie heeft en in dit model de regio-eigenschappen nog iets beter zijn verwerkt dan in het Landelijke Hydrologische Model.

3.6 MODELLERING UIT- EN AFSPOELING MET SWAP-ANIMO

3.6.1 Inleiding

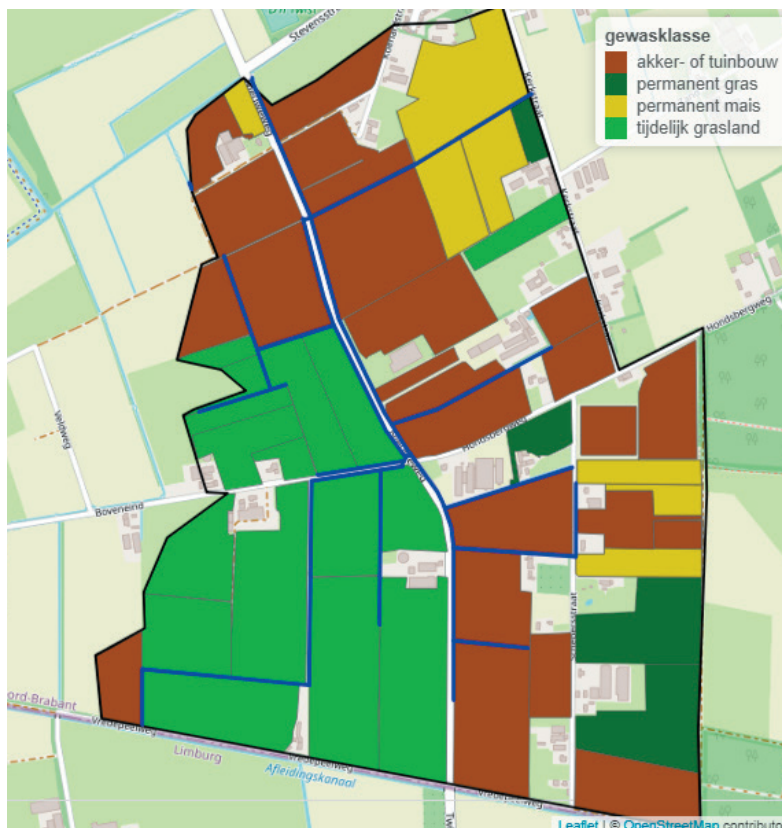
Het project ‘Sensor Gestuurd Boeren’ (SGB) onderzoekt samen met het project ‘KIWK-Nutriëntenmaatregelen’ de invloed van landbouw op de waterkwaliteit. Het doel is om inzicht te krijgen in de belangrijkste bronnen en routes van nutriënten en om handelingsperspectief te bieden voor maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit. De Vinkenloop fungeert hierbij als proeftuin. Om de landbouwinvloed op de waterkwaliteit beter te kunnen begrijpen en te voorspellen, is het essentieel om de verschillende stromen aan water en nutriënten in beeld te brengen. Wat zijn de belangrijkste bronnen van water en nutriënten in het stroomgebied? Hoeveel stikstof in de mest wordt er bijvoorbeeld opgenomen door het gewas of opgeslagen in de bodem en welk deel komt uiteindelijk in het oppervlaktewater terecht?

3.6.2 Modelopzet

De water- en nutriëntenstromen vanaf de percelen naar de ontwateringsmiddelen zijn gesimuleerd in een gebiedsmodel voor de Vinkenloop met SWAP (waterstromen) en ANIMO (nutriëntenstromen) voor de periode 2002 tot en met 2021. De modelresultaten worden gepresenteerd voor de laatste tien jaren (2012-2021). De in het model opgenomen percelen zijn weergegeven in [figuur 3.27](#).

FIGUUR 3.27

Stroomgebied Vinkenloop (zwart omlijnd) met de 49 beschouwde percelen en gewasklasse.



Voor elk van de 49 percelen in het stroomgebied van de Vinkenloop is een SWAP-ANIMO-model opgezet. De perceelbegrenzing volgt uit de Basis Registratie Gewaspercelen (BRP). De percelen beslaan in totaal 80% van het oppervlak van het stroomgebied. De resterende 20% van het oppervlak bestaat uit bebouwing, erven of percelen die te klein zijn om mee te nemen in de modellering. Van de percelen is 37% in gebruik als tijdelijk grasland (zuidwesthoek), 11% voor permanente maisteelt, 7% als permanent gras en 45% voor akker- en tuinbouw.

Voor de modelberekeningen is per perceel de volgende informatie nodig:

- Landgebruik (type teelt en gebruikelijke landbewerking en bemesting)
- Bodemtype (zand/klei/veen, doorlatendheid, watervasthoudend vermogen)
- Hydrologie (grondwatertrap, drooglegging, wel/geen buisdrainage, kwel/wegzijing)
- Meteorologie (neerslag, verdamping, straling, temperatuur en atmosferische depositie)

Deze informatie volgt deels uit metingen, modellen of uit landelijke kaarten. De modelparameters die niet te bepalen waren, zijn afgeleid uit de database van STONE aan de hand van karakteristieken qua landgebruik, bodemtype en hydrologie.

Gewasrotaties 2018-2021

Het landgebruik is zoals aangegeven overgenomen uit het BRP. De hierin aangegeven gewassen die de laatste vier jaren (2018-2021) zijn geteeld, zijn weergegeven in [figuur 3.28](#).

FIGUUR 3.28

Landgebruik in de jaren 2018 tot en met 2021 (bron: BRP).



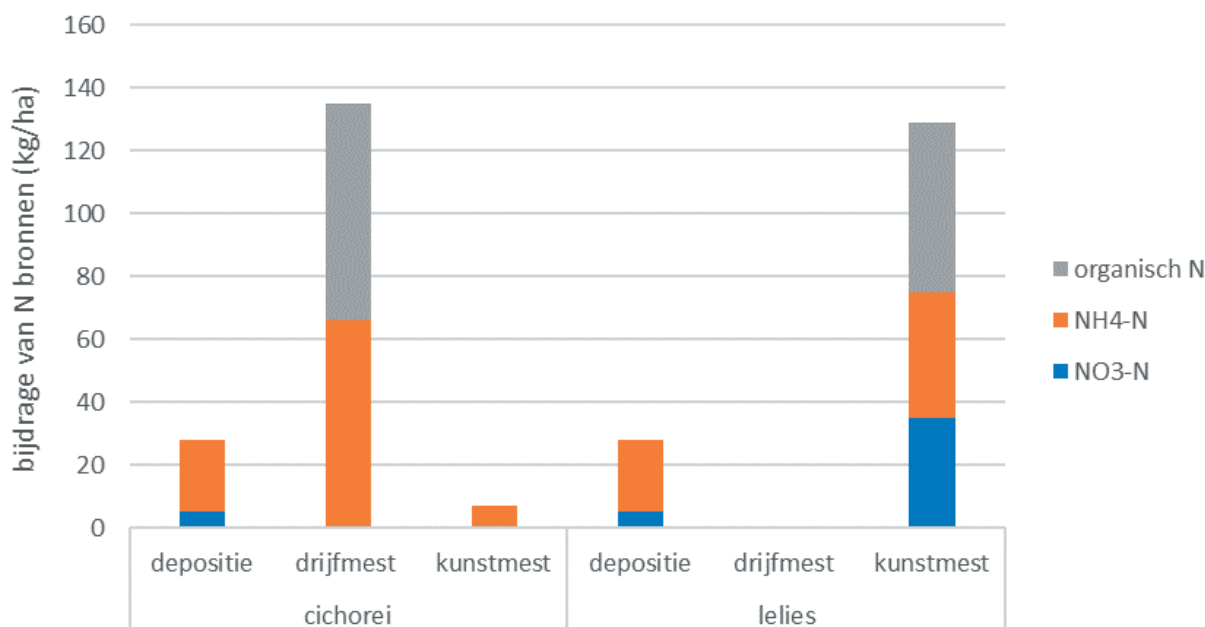
Uit [figuur 3.28](#) blijkt dat er de afgelopen 4 jaar 23 verschillende gewassen zijn geteeld in het stroomgebied van de Vinkenloop. Tijdelijk grasland (23%) en mais (23%) hebben de overhand, gevolgd door aardappelen (12%) en blijvend grasland (9%). Deze hoofgewassen (gras, mais en aardappel) zitten als zodanig in SWAP-ANIMO. Daarnaast kan SWAP-ANIMO de gewassen suikerbiet, wintertarwe en lelie simuleren. De 23 verschillende teelten zijn toegekend aan de 6 gewassen die SWAP-ANIMO kan simuleren, naargelang vergelijkbaarheid in groeivorm, groeicyclus en bemesting. Qua bemesting is aangenomen dat de mestgift op de gebruiksnorm zit. Voor de akker- en tuinbouwgewassen (mais, aardappel, suikerbiet, lelie en wintertarwe) is een vroege drijfmestgift (eind maart) aangenomen in combinatie met een iets latere kunstmestgift (in mei/juni). Voor gras is de vroege drijfmestgift (half maart) opgevolgd door meerdere kunstmest- en/of drijfmestgiften voorafgaand aan elk van de vijf aangenomen sneden, waarbij de laatste gift eind augustus plaatsvindt.

Mestgiften 2021

Voor de deelnemende agrariërs in het gebied (merendeel percelen) zijn de mestgiften in 2020 en 2021 met het project SGB redelijk betrouwbaar bekend geworden. Voor 2021 is dit weergegeven in [figuur 3.29](#).

FIGUUR 3.29

Verdeling van de verschillende type mestgiften in de Vinkenloop (ontleend aan SGB).



Bodemtype en hydrologie

De bodem van de percelen wordt hoofdzakelijk gekarakteriseerd als veldpodzol (zandbodems). De bodems van enkele nattere percelen zijn getypeerd als moerig; zandbodems met meer organische stof die daardoor een meer venig karakter hebben ([figuur 3.30](#), linksboven).

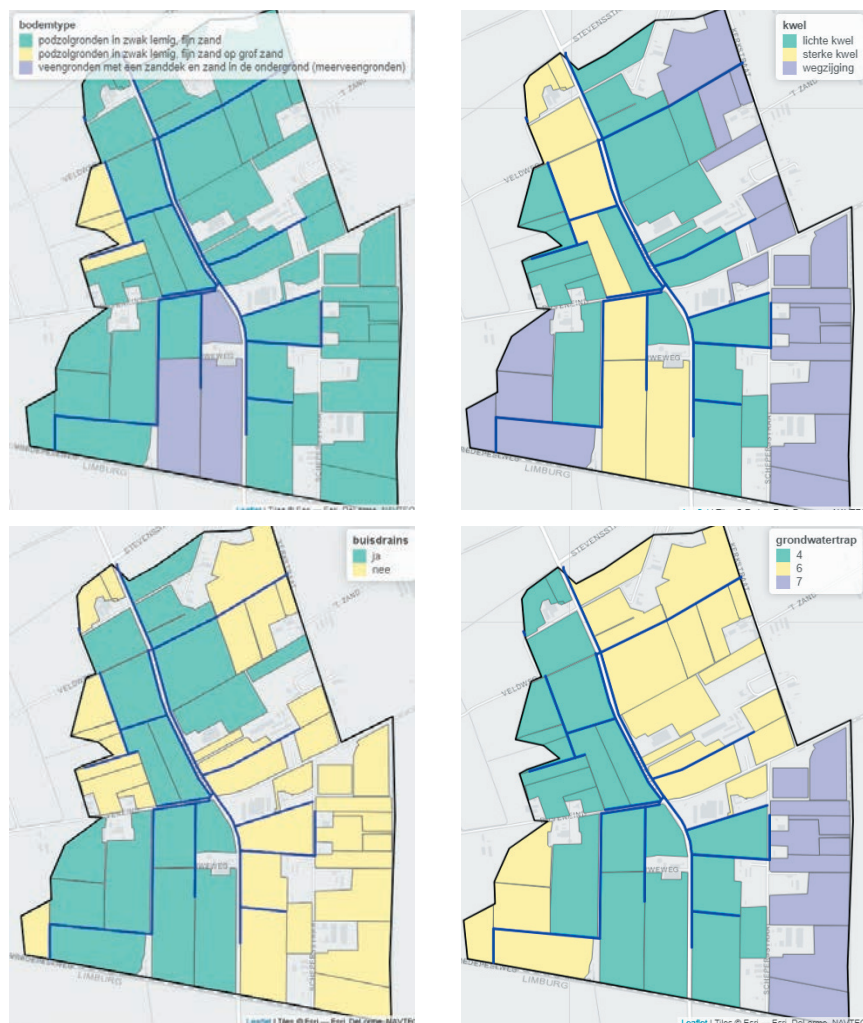
Qua hydrologie is er een duidelijk verschil tussen natte percelen in het lagergelegen beekdal en droge percelen op de hoger gelegen flanken, vooral op de oostflank. Dit is terug te zien in de grondwatertrappen (nattere percelen hebben hogere grondwaterstand), de kwel/wegzijging (nattere percelen hebben meer kwel) en de aanwezigheid van buisdrains (vooral bij de nattere percelen) ([figuur 3.30](#)). De grondwatertrappen (GT's) zijn overgenomen uit de 1:50.000-bodemkaart, waarbij GT 4 het natst is en GT 7 het droogst. Voor enkele percelen in de noordoosthoek is afgeweken van de GT 4 volgens de bodemkaart. Grondwaterstandmetingen vanuit het project Sensor Gestuurd Boeren geven namelijk aan dat deze percelen droger zijn en GT 6 hebben.

De kwel- of wegzijgingsflux aan de onderrand van het bodemprofiel van de percelen is gebaseerd op berekeningen met het Grondwatermodel Aa en Maas (GRAM) (Bos-Burgering *et al.*, 2021). Op basis hiervan is het stroomgebied ingedeeld in drie categorieën: sterke kwel, lichte kwel en lichte wegzijging. Aan de percelen met sterke kwel is een gemiddelde kwelflux van 0,65 mm/dag toegekend, voor lichte kwel is 0,2 mm/dag gebruikt en percelen met lichte wegzijging hebben een wegzijgingsflux van gemiddeld 0,1 mm/dag. Conform GRAM is aangenomen dat deze fluxen licht variëren in de tijd met een sinusoidaal verloop. Zodanig dat de kwelflux het hoogst is in de nazomer (eind augustus), 0,15 mm/dag hoger dan het gemiddelde en het laagst aan het eind van de winter (eind februari), 0,15 mm/dag lager dan het gemiddelde. De samenstelling van het kwelwater is gebaseerd op metingen in een 12 m diepe grondwaterput in het gebied, waaruit bleek dat het diepe grondwater qua stikstof ongeveer 1,2 mg/L N bevat.

De ontwatering van de percelen is gebaseerd op een landelijke buisdrainagekaart (Massop *et al.*, 2016), waar mogelijk aangevuld met gegevens over de ligging en diepte van buisdrains vanuit het SGB-project. Daarnaast zijn oppervlaktewaterstandmetingen van het waterschap gebruikt als eerste indicatie voor de drooglegging van de percelen. Dit heeft geleid tot twee aangenomen ontwateringssystemen in het model. Voor percelen met drainbuizen zijn dat het drainagesysteem en de kavelsloten. Voor de percelen zonder drainbuizen is dat een systeem van greppels/ondiepe kavelsloten en een systeem van diepere kavelsloten.

FIGUUR 3.30

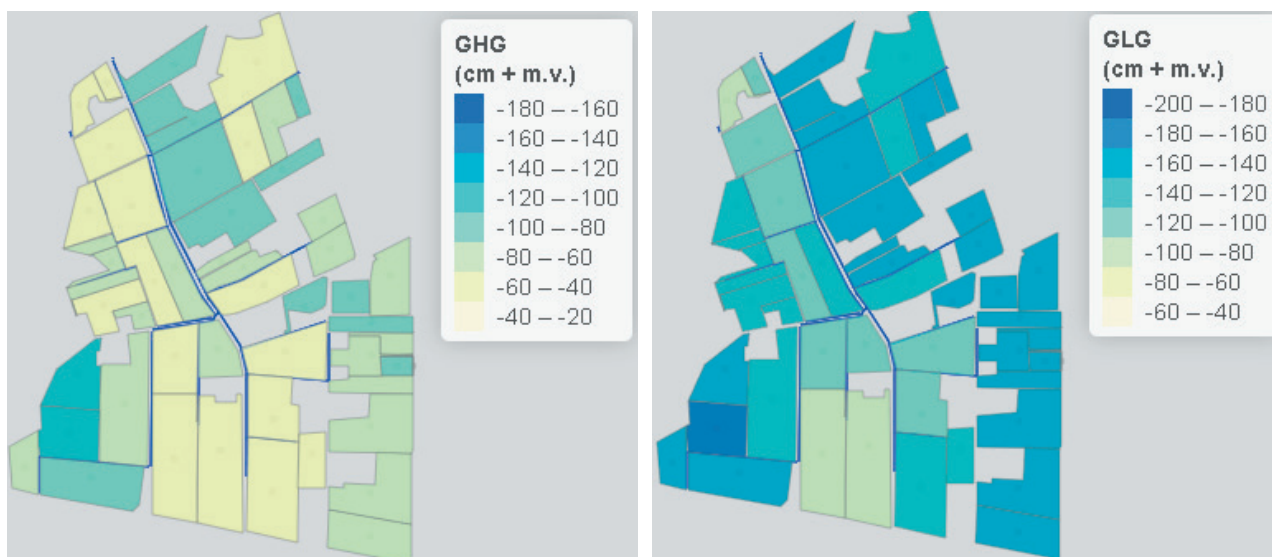
Schematisering van bodemtype, kwel/wegzijging naar grondwater, aanwezigheid buisdrains en de grondwatertrap van de percelen in het model van de Vinkenloop.



De ontwateringsdiepten en de drainageweerstand van de systemen zijn zodanig ingesteld dat de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) van de percelen zo goed mogelijk overeenkomen met de veronderstelde grondwatertrap. De berekende GHG- en GLG-waarden zijn weergegeven in [figuur 3.31](#).

FIGUUR 3.31

Berekende Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) over de periode 2012-2021 voor de percelen in het studiegebied van de Vinkenloop.



Meteorologie

Meteorologische gegevens voor het model zijn overgenomen uit dagelijkse metingen bij Proefboerderij Vredepeel (neerslag) en bij KNMI-weerstation Volkel (verdamping, temperatuur, straling, windsnelheid). De atmosferische depositie van stikstof op de percelen is gebaseerd op RIVM-metingen (www.rivm.nl/gcn-gdn-kaarten). Hieruit blijkt dat de atmosferische depositie in het Vinkenloop-stroomgebied jaargemiddeld een kleine 25 kg/ha N bedraagt. Hiervan komt ongeveer 60% op het land terecht via droge depositie en de resterende 40% via natte depositie (regen). Hierbij is een gemiddeld stikstofgehalte in regenwater aangehouden van 1,2 mg/L N, volgend uit neerslagmetingen van het SGB-project en van het Landelijke RIVM Meetnet Regenwatersamenstelling (LMRE) met meetpunten in o.a. Vredepeel en Biest-Houtakker.

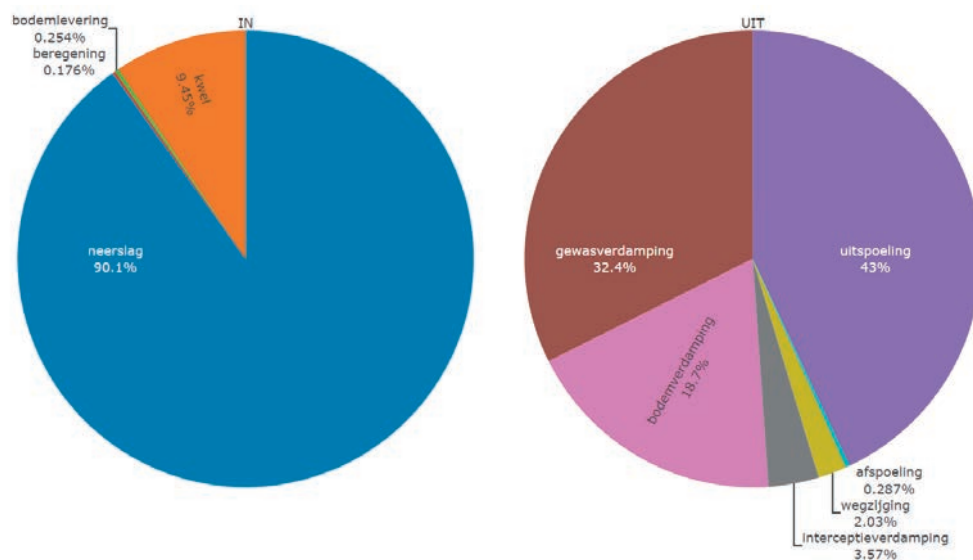
3.6.3 Modelresultaten

Waterbalans

Met het model is bepaald waar het perceelwater in de Vinkenloop vandaan komt en waar het naartoe gaat. De resulterende jaargemiddelde waterbalans is te zien in [figuur 3.32](#) (percentages) en [tabel 3.2](#) (hoeveelheden). Het water is vooral afkomstig van neerslag (90%) en kwel (kleine 10%). Van dit water verdampt 55% (via het gewas, de bodem en interceptie), zijgt 2% weg naar het diepe grondwater en komt de resterende 43% terecht in de Vinkenloop via afspoeling en uitspoeling van ondiep grond- en bodemwater. Het gaat hier om jaargemiddelde cijfers (2012-2021). Tussen de jaren en vooral binnen een jaar kan de waterbalans er anders uitzien. Zo gaat er in de zomer meer water verloren door verdamping dan in de winter, waardoor in de zomer minder water uit- en afspoelt naar de Vinkenloop dan in de winter. Ook ruimtelijk zijn er verschillen. Ten eerste in de hoeveelheid kwel/wegzijing van het perceel, maar ook qua verdamping, die afhangt van het geteelde gewas. Op percelen met sterke kwel is in het algemeen meer uit- en afspoeling dan op percelen met wegzijing.

FIGUUR 3.32

Berekende waterbalans voor de percelen in het modelgebied, jaargemiddeld over 2012-2021.

**TABEL 3.2**

Berekende waterbalans voor de percelen in het modelgebied, jaargemiddeld over 2012-2021.

IN	mm	UIT	mm
neerslag	817.6	uitspoeling	390.2
kwel	85.7	gewasverdamping	293.9
bodemplivering	2.3	bodemverdamping	169.8
beregening	1.6	interceptieverdamping	32.4
		wegzijging	18.4
		afspoeling	2.6
totaal	907.3	totaal	907.3

De oppervlakkige afspoeling is slechts op 2,6 mm berekend. Een deel van de afspoeling die in de praktijk opgetreden zou kunnen zijn, is in het model gekenmerkt als een ondiepe uitspoelroute en maakt onderdeel uit van de 390,2 mm die voor de term uitspoeling is berekend. Mogelijk is de term oppervlakkige afspoeling onderschat, omdat in het model geen rekening wordt gehouden met bodemverdichting en de neerslag wordt gespecificeerd in millimeters per dag. Oppervlakkige afspoeling kan optreden na heftige regenbuien van enkele uren. De uitmiddeling van de neerslag over een dag leidt dan tot een onderschatting van de neerslagintensiteit.

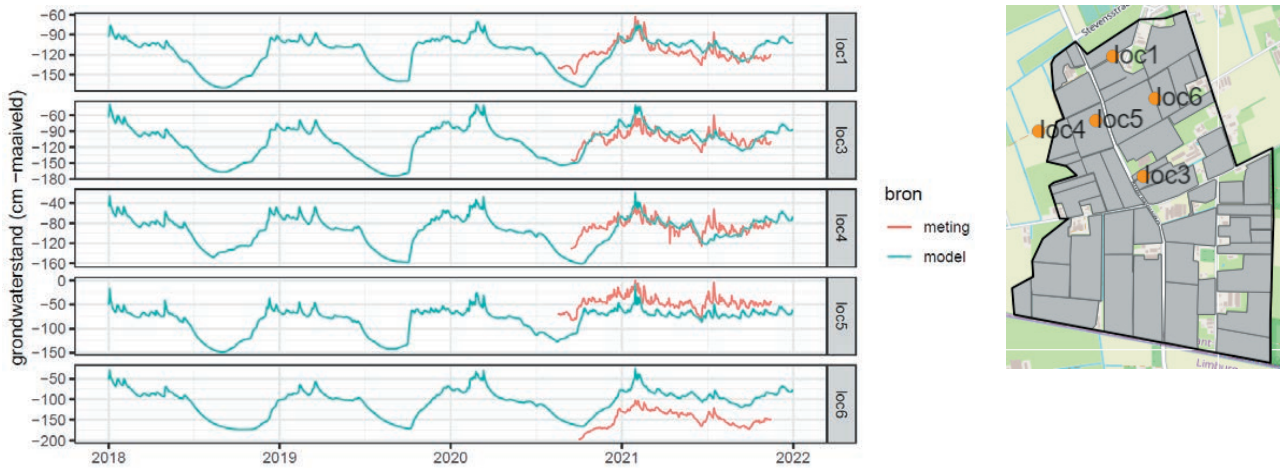
3.6.4 Validatie

Ter validatie zijn de modelresultaten vergeleken met metingen voor grondwaterstanden (figuur 3.33) en afvoeren (figuur 3.34). Te zien is dat de berekende grondwaterstanden qua dynamiek en ordegrootte aardig overeenkomen met de metingen. Al voorspelt het model voor locatie 6 structureel te hoge grondwaterstanden. De afvoer bij het uitstroompunt van de Vinkenloop is bepaald door de berekende uit- en afspoeling per perceel te sommeren. Deze gesommeerde afvoer vertegenwoordigt 80% van het vanggebied, omdat het vanggebied niet alleen bestaat uit de gemodelleerde percelen (80%), maar ook uit bebouwing, erven en percelen die te klein waren om te modelleren (20%). Daarom is de totale afvoer verhoogd, waarbij is aangenomen dat de niet-gemodelleerde delen (20%) per m² hetzelfde bijdragen aan de afvoer als de percelen gemiddeld doen. De zo bepaalde afvoer is in dezelfde ordegrootte als de vanaf november 2021 gemeten afvoer in de duiker

bij het uitstroompunt. Dit is de meeste nauwkeurige debietmeting die beschikbaar is. De afvoer wordt naast uit- en afspoe-ling ook beïnvloed door neerslag en verdamping op de Vinkenloop zelf (het open water), de reistijd van het water van per- ceel tot uitstroompunt en de opstuwung door stuwen. Deze zaken zijn niet meegenomen in de afvoer volgens het model.

FIGUUR 3.33

Berekende en gemeten grondwaterstanden op vijf verschillende percelen in het stroomgebied.



FIGUUR 3.34

Berekende en gemeten afvoer bij het uitstroompunt van de Vinkenloop.



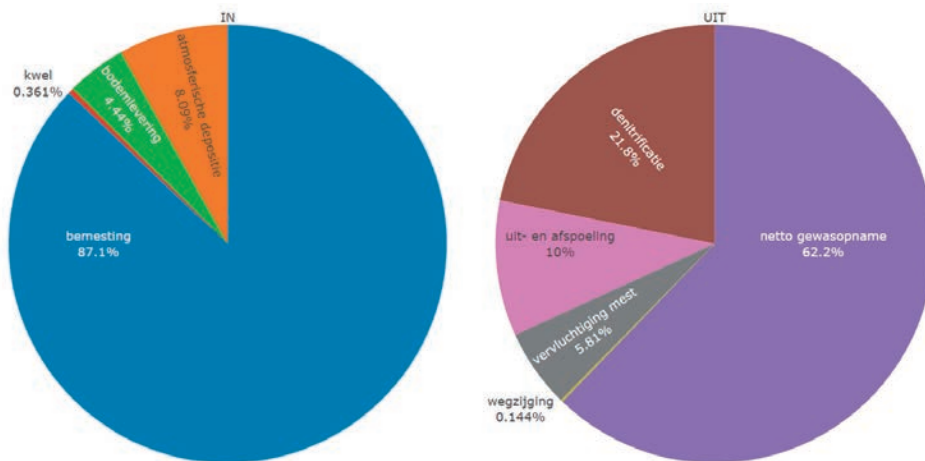
3.6.5 Stikstofbalans

Met het model is berekend waar de stikstof in het Vinkenloopstroomgebied vandaan komt en waar het naartoe gaat. De resulterende jaargemiddelde stikstofbalans voor het gehele stroomgebied is te zien in [figuur 3.35](#) (percentages) en [tabel 3.3](#) (hoeveelheden). Te zien is dat bemesting de belangrijkste bron van stikstof is (87%), gevolgd door atmosferische depositie (8%) en nalevering uit de bodem (4%).

Kwel zorgt voor een kleine bijdrage van 0,4%, mede door de lage stikstofgehalten in kwelwater. Van deze bronnen gaat de meeste stikstof in het gewas zitten om uiteindelijk te verdwijnen via de oogst (62%). Daarnaast verdwijnt een deel van de stikstof naar de lucht; 22% via denitrificatie en 6% via ammoniakvervluchtiging bij bemesting. Een zeer klein deel (0,1%) verdwijnt naar het diepe grondwater door wegzijging. Door dit alles blijft er nog ongeveer 10% over dat via uit- en afspoeling in het oppervlaktewater van de Vinkenloop belandt. Het gaat hier om jaargemiddelde cijfers (2012-2021). Tussen de jaren en vooral binnen een jaar ziet de stikstofbalans er anders uit. Zo vindt de bemesting vooral plaats in het voorjaar en de zomer en spelen ook biochemische processen als denitrificatie en gewasopname vooral in het voorjaar en de zomer. De meeste uit- en afspoeling (in kilo's) vindt plaats in het najaar en de winter, gedreven door de grotere uit- en afspoeling van water door het grotere neerslagoverschot (neerslag - verdamping) in deze periode. Ook ruimtelijk zijn er verschillen, gekoppeld aan het geteelde gewas (bemesting en gewasopname), de ontwatering van het perceel (hoe natter het perceel, hoe groter de kans op denitrificatie) en de hoeveelheid kwel (hoe meer kwel, hoe groter de uit- en afspoeling, al neemt de concentratie van het uitspoelende water meestal af, omdat het kwelwater arm is aan stikstof en daardoor verdunnend werkt).

FIGUUR 3.35

Berekende stikstofbalans voor de percelen in het modelgebied, jaargemiddeld over 2012-2021.



TABEL 3.3

Berekende stikstofbalans voor de percelen in het modelgebied, jaargemiddeld over 2012-2021.

IN	Kg N/ha	UIT	Kg N/ha
bemesting	241,2	netto gewasopname	172,3
atmosferische depositie	22,4	denitrificatie	60,4
bodemlevering	12,3	uit- en afspoeling	27,7
kwel	1,0	vervluchtiging mest (ammoniak)	16,1
		wegzijging	0,4
totaal	276,9	totaal	276,9

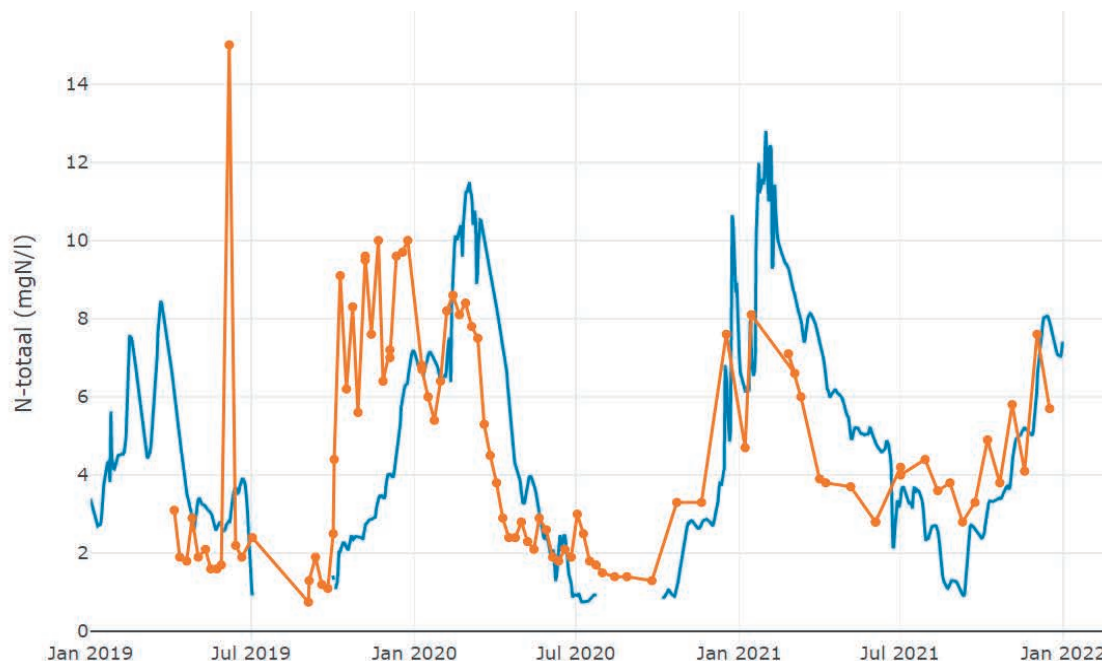
Ter validatie van het model is de berekende stikstofconcentratie van het uit- en afspoelende perceelwater vergeleken met de stikstofconcentratie zoals gemeten bij het uitstroompunt van de Vinkenloop (figuur 3.36). Te zien is dat zowel model als meting een duidelijke seizoensdynamiek vertoont, van enkele milligrammen per liter in de zomer tot waarden boven de 10 mg N/l in de winter.

Ook is te zien dat het model vaak een iets hogere concentratie berekent dan gemeten. Dit is te verklaren doordat een deel van het uit- en afspoelende stikstof onderweg naar het uitstroompunt kan worden vastgelegd in de Vinkenloop, bijvoorbeeld door sedimentatie, waterplantopname of denitrificatie in water(bodem). Deze retentieprocessen zijn vaak actiever in de zomer dan in de winter. Dat komt doordat processen als waterplantopname en denitrificatie actiever zijn bij hogere temperaturen en bovendien een groter effect hebben op de concentratie vanwege de doorgaans langere verblijftijden van het water (minder waterstroming) in de zomer dan in de winter. Het model lijkt de uit- en afspoelingsconcentratie in het najaar te onderschatten. Vooral in het najaar van 2019 lijkt de uitspoeling in het model te laat op gang te komen. Dit kan een aantal oorzaken hebben.

Bijvoorbeeld hysteresis van het watervasthoudend vermogen van de bodem, waar het model geen rekening mee houdt. Deze hysteresis kan ervoor zorgen dat de bodem na een droge periode (zoals de zomer van 2019) sneller verzadigd raakt bij vernatting (zoals door de flinke buien in september 2019) en daardoor eerder bijdraagt aan uit- en afspoeling dan verwacht. Daarnaast kunnen de hogere gemeten najaarsconcentraties in de Vinkenloop komen door najaarsmestgiften die in werkelijkheid mogelijk hebben plaatsgevonden, maar waar het model geen rekening mee houdt. Ook een verkeerd aangenomen kwelflux (qua grootte en dynamiek) kan zorgen voor de verschillen. De uitspoelconcentratie kan overigens per perceel sterk verschillen. Volgens het model varieert de jaargemiddelde uitspoelconcentratie van zo'n 5 mgN/l tot 30 mgN/l. Deze variatie wordt in het model onder andere bepaald door de kwel. De kwel werkt namelijk verdunnend en zorgt bovendien vaak voor nattere percelen met meer denitrificatie en daardoor lagere stikstofgehalten in de bodem). Daarnaast wordt de variatie vooral bepaald door de bemesting en de wisselingen in het type teelt.

FIGUUR 3.36

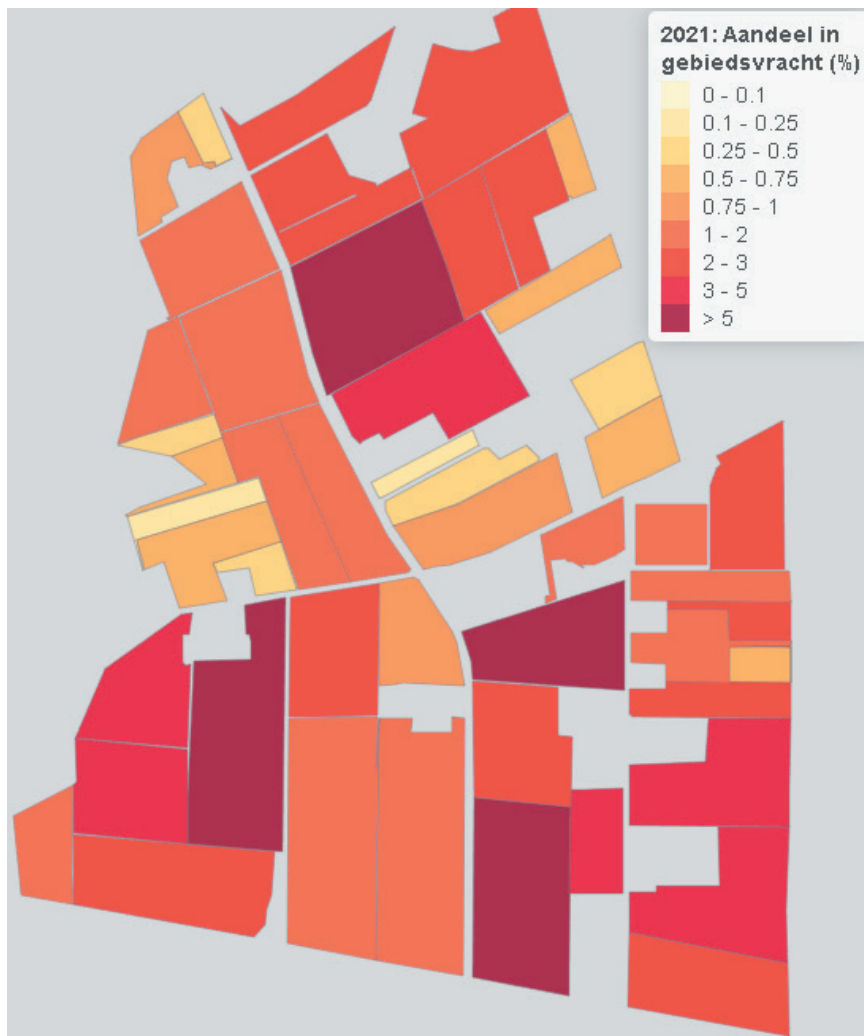
Gebiedsgemiddelde uitspoelende stikstofconcentratie volgens het model (blauw) vergeleken met gemeten stikstofconcentraties bij het uitstroompunt van de Vinkenloop (oranje).



Het procentuele aandeel dat de percelen hebben in de totale N-vracht van de Vinkenloop varieert van jaar tot jaar en is sterk afhankelijk van de teelt, het meststoffengebruik en de grondwaterstand. In [figuur 3.37](#) is het procentuele aandeel in 2021 weergegeven. Dit aandeel wordt mede bepaald door het oppervlak van de percelen. Grotere percelen hebben een groter aandeel dan kleinere percelen.

FIGUUR 3.37

Aandeel van de percelen in de totale stikstofuitspoeling naar de Vinkenloop in het jaar 2021.



►► 4 CASUS VUURSTEENTOCHT

4.1 GEBIEDSBESCHRIJVING

De Vuursteentocht ligt in het noorden van de Flevopolder tussen Lelystad, Dronten en Swifterbant. De tocht watert van noord naar zuid af op de Lage Vaart. Halverwege stroomt vanuit het oosten de Overijsselse tocht in de Vuursteentocht (figuur 4.1). Bij de kruising (duiker) met de Wisentweg ligt een meetlocatie van het waterschap (locatiecode 20GZ-031-01) die ook deel uitmaakt van het MNL SO. Hier worden nutriënten continu gemeten in een meetcabine. Halverwege kruist de Vuursteentocht via een duiker de Elandweg. Aan de noordkant van het stroomgebied gaat de Vuursteentocht onder het spoor en de N307 door. Het afwaterende oppervlak voor de meetlocatie is circa 12 km².

FIGUUR 4.1

Stroomgebied van de Vuursteentocht tussen Lelystad en Dronten.



Het afwateringsgebied is onderdeel van het KRW waterlichaam Tochten H met watertype M1b. De Vuursteentocht heeft een lengte van 4,8 km. De Overijsselse tocht is een zijtocht van de Vuursteentocht. De Vuursteentocht staat in open verbinding met de Lage Vaart. Deze vaart wordt op een vast peil gehouden door bemaling met drie gemalen. Het streefpeil is -6,2 m NAP en de drooglegging in het gebied is meer dan 1,5 m. In de zomer wordt er veel water gebruikt voor irrigatie; de gebruikelijke zuidwaartse stromingsrichting van de Vuursteentocht richting de Lage Vaart kan dan omdraaien. De kwelflux in het gebied bedraagt naar schatting 0,1 mm per dag (bron: NHI.nu). Het kwelwater in het gebied is overwegend rijk aan ammonium en chloride en is ijzerhoudend.

De grondsoort is lichte klei/zware zavel. In de diepere ondergrond (tot circa 4 m) ligt veen en daaronder zand. Het landgebruik is voor 99% agrarisch met voornamelijk diverse voor Flevoland kenmerkende akkerbouwteelten (wisselteelt aardappelen, granen, suikerbieten, uien en bloembollen). Een groot deel van de grond ten westen van de tocht is eigendom van Stichting Wageningen Research en in gebruik als proefpercelen. De agrarische kavels in het gebied zijn elk circa 0,3 x 1 km², zijn gedraineerd en wateren af naar kavelsloten die weer afwateren naar het tochtensysteem. In de zomerperiode staat een deel van de kavelsloten in het gebied droog. De woningen in het gebied zijn niet op de riolering aangesloten en lozen afvalwater via septic tanks of IBA's op de erfsloot die via de kavelsloot afwatert naar de tocht.

4.2 RESULTATEN MONITORING STROOMGEBIEDSNIVEAU

4.2.1 Resultaten routings Vuursteentocht

Binnen het project Kennisimpuls Nutriëntenmaatregelen zijn routings uitgevoerd om inzicht te krijgen in bronnen (hotspots) en routes van nutriënten. Hiervoor is gebruikgemaakt van de EC GPS-Rod, waarbij een sensor voor de EC en temperatuur aan een drijver door de Vuursteentocht is getrokken (figuur 4.2). Hiernaast zijn de nitraatconcentraties en de EC gemeten in de Vuursteentocht en in zijsloten en enkele drains met de Nitraatapp. Ook zijn door Waterschap Zuiderzeeland extra conventionele monsters genomen tijdens de routings. Meer details over de methode en de resultaten zijn opgenomen in bijlage 2.

FIGUUR 4.2

Routing in de Vuursteentocht vanuit kano's (links); op de voorgrond de kano van waaruit reguliere monsters genomen worden, op de achtergrond de kano met drijver voor de EC GPS-Rod. Rechts: bemonstering van water in een kavelsloot en een drain.



Als voorbeeld geven we hier de kaarten weer van de laatste routing in januari 2022 (figuur 4.4). De metingen in de drains en kavelsloten zijn niet in deze figuur opgenomen. In het stroomgebied van de Vuursteentocht komt nitraat in natte perioden via drains en kavelsloten vanuit landbouwpercelen in de tochten terecht. Bijna alle zijsloten voeren in natte perioden nitraatrijk water af, meestal met concentraties tussen de 5 en 15 mg/L NO₃-N. De kavelsloten met de hoogste nitraatconcentraties (>20 mg/L NO₃-N) wisselen per afvoerseizoen en wateren percelen af met voor de regio gangbare gewassen (aardappel, ui, suikerbiet, granen). In zijsloten vanaf onbemest terrein (tussen het spoor en de N307 en enkele wegsloten) zit geen nitraat. In droge perioden voeren de kavelsloten niet of nauwelijks water en nitraat af en zijn ook de nitraatconcentraties in de tochten laag.

In het noordelijke deel van de Vuursteentocht is een van de kavelsloten vanaf het oosten in het afvoerseizoen van 2020/21 een duidelijke hotspot, maar in 2021/22 niet meer. In beide jaren werden aardappel, winterpeen, tarwe en uien geteeld op de percelen langs deze kavelsloot. Mogelijk heeft de hoge uitspoeling in 2020/21 nog te maken met de droge jaren ervoor (hogere bodemoverschotten en hogere uitspoelingsconcentraties in de eerstvolgende natte periode).

In de Overijsselsetocht komen vrij veel kavelsloten uit met hogere concentraties dan de sloten die op de Vuursteentocht zelf uitkomen. In het afvoerseizoen 2020/21 komen de hoogste concentraties vanuit een kavelsloot vanaf het noorden, met aardappel, ui en suikerbiet op de naastgelegen percelen. In het afvoerseizoen van 2021/22 hebben juist twee sloten vanaf het zuiden de hoogste concentraties. Op de percelen bij deze sloot werd aardappel, suikerbiet, ui en gras geteeld.

In de natte perioden is plasvorming en oppervlakkige afstroming waargenomen (foto's [figuur 4.3](#)). De nitraatconcentraties en ook de EC in dit water zijn laag. Oppervlakkige afstroming kent te weinig bodempassage om nitraat en andere zouten op te nemen. Alleen als kunstmest of reeds genitrificeerde organische mest nog aan het oppervlakte ligt, kan oppervlakkige afstroming nitraat opnemen. Oppervlakkige afstroming is door het meevoeren van bodemdeeltjes vaak wel een belangrijke route voor verliezen van fosfaat, ammonium en organisch materiaal naar het oppervlaktewater.

FIGUUR 4.3

Foto's gemaakt tijdens verschillende routings met een groot verschil in waterkleur tussen droge en natte omstandigheden, (sporen van oppervlakkige afstroming, beregening vanuit een met tochtwater volgepompte kavelsloot, een drain die deels ijzerrijk kwelwater afvoert en een nitraatrijk water lekkende hoop vaste stalmest.



De oppervlakkige afstroming vanuit plassen rond onafgedekte hopen vaste stalmest (zie bijvoorbeeld [figuur 4.3](#) rechtsonder) had juist zeer hoge concentraties nitraat, die zelfs buiten de meetrange van de Nitraatapp vielen (>50 mg/L). Doordat de hopen niet afgedekt zijn, kan regenwater erdoorheen trekken en gaat een deel van de nutriënten verloren naar het oppervlaktewater. Op basis van deze metingen is niet in te schatten hoe groot de vracht is vanuit deze mesthopen. Als de concentraties van het lekwater beter gemeten zijn, kan op basis van het oppervlak en de neerslag een vrachtschatting gemaakt worden.

In de meeste gevallen voeren de drains relatief zoet en nitraatrijk water af. Dit is grotendeels uitspoelend water vanaf de percelen; met name via preferente stroming (opgevlude kleischeuren) kan nitraat vrij snel de drains en de kavelsloten bereiken. Het aandeel kwelwater dat de drains bereikt, is beperkt; de kwel trekt voornamelijk direct naar de tochten. Langs de tocht zijn wel enkele drains gevonden die naast uitspoelwater ook ijzerrijk kwelwater af lijken te voeren.

FIGUUR 4.4

Resultaten van de routing van januari 2022 (de metingen in kavelsloten en drains zijn niet afgebeeld) en rechtsonder een synthese van delen van de tochten met relatief hoge nitraatconcentraties en EC (oranje gemarkeerd), met afnemende nitraat- en zoutconcentraties (blauw gemarkeerd) en zwart omcirkeld de Overijsselse tocht waar de kavelsloten met de hoogste nitraatconcentraties op uitkomen.

EC (mS/cm)



Nitraat- stikstof



Temperatuur (verschil met referentie) (°C)



Overzicht/synthese



Uit de routings komen ook ruimtelijke verschillen binnen de Vuursteentocht en Overijsselse tocht naar voren. In het meest noordelijke deel van de Vuursteentocht (zie [figuur 4.4](#)) waren de nitraatconcentraties vaak het hoogst. Tegelijk laten de temperatuur en de EC zien dat de bijdrage van kwelwater in dit deel relatief groot is. Benedenstrooms hiervan tot aan de kruising met de Overijsselse tocht namen de nitraatconcentraties en de EC over het algemeen wat af. Er komen op dit traject geen kavelsloten op de Vuursteentocht uit. Waarschijnlijk komt er naast kwel op dit traject wel nog ondiep grondwater bij vanaf de naastgelegen percelen.

De Overijsselse tocht wijkt vaak sterk af van de Vuursteentocht. De nitraatconcentraties zijn meestal wat hoger dan in het zuidelijke deel van de Vuursteentocht, maar minder hoog dan in het meest noordelijke deel van de Vuursteentocht. De Overijsselse tocht heeft meestal een hoge EC en lijkt relatief veel invloed van kwel te hebben. Tegelijk is de Overijsselse tocht minder diep dan de Vuursteentocht. Dit zorgt dat de Overijsselse tocht sneller afkoelt of opwarmt en daardoor qua temperatuur afwijkt. Daarnaast is door de geringe diepte de gemiddelde verblijftijd korter; bij een natte periode kan het oude, door kwel gedomineerde water dan sneller weggedrukt worden door de hoge afvoeren vanuit de kavelsloten. Een ander gevolg van de geringe diepte is de grotere hoeveelheid vegetatie in de Overijsselse tocht, wat vooral in het voorjaar en de zomer voor meer opname kan zorgen.

In het zuidelijke deel van de Vuursteentocht zijn door de samenkomst met de Overijsselse tocht de nitraatconcentraties meestal weer wat hoger. In droge condities kan water vanuit de Lage Vaart in dit deel invloed hebben.

Tijdens de routings werden ook veel visuele waarnemingen gedaan die een beeld geven van routes en processen van water- en nutriëntentransport. De foto's in [figuur 4.5](#) laten bijvoorbeeld aan de waterkleur al zien dat in een droge periode ijzerrijk kwelwater domineert (roodbruin water), terwijl er in een natte periode vooral water vanuit de kavelsloten (grijs water) in de tocht zit.

4.2.2 Resultaten continue metingen uitstroompunt

Bij het uitstroompunt van de Vuursteentocht zijn vanaf 19 februari 2021 met sensoren en auto-analysers continue metingen van nutriëntenconcentraties gedaan (nitraat, ammonium en totaal-fosfor). Deze apparatuur voor deze metingen is ingebouwd in een meetcabine ([figuur 4.5](#)). Voor meer details over de meetmethoden en de gegevensverwerking verwijzen we naar [bijlage 3](#). In dit hoofdstuk ligt de focus op de gemeten dynamiek in de nutriëntenconcentraties en vrachten in de Vuursteentocht. Een uitgebreidere beschrijving van de resultaten van de continue metingen is opgenomen in [bijlage 5](#).

FIGUUR 4.5

Meetcabine bij de Vuursteentocht.



In de continue concentratiedata is te zien hoe de nutriëntenconcentraties reageren op buien en wat de invloed is van biochemische processen en maaiwerkzaamheden. Daarnaast is een concentratiepiek in ammonium en nitraat door een directe lozing vastgelegd.

Tijdens een flinke bui kan de samenstelling van de Vuursteentocht snel veranderen. De samenstelling van het water in de Vuursteentocht is het resultaat van een menging van diepe kwel met een vrij constante aanvoer met een zeer dynamische bijdrage van uitspoelwater vanuit de kavelsloten. Het kwelwater bevat hoge concentraties ammonium (gemiddeld circa 20 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$) en geen nitraat. Het uitspoelingswater, dat voornamelijk via drains en vervolgens via de kavelsloten naar de tocht stroomt, bevat juist nauwelijks ammonium (<1 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$), maar wel nitraat (rond de 10 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$). In droge perioden neemt het aandeel kwelwater in de Vuursteentocht langzaam toe en lopen de ammoniumconcentraties op. Als er vervolgens een flinke bui valt, wordt dit ammoniumrijke water snel weggedrukt door nitraatrijk water vanuit de kavelsloten. Als voorbeeld is in [figuur 4.6](#) te zien hoe de ammoniumconcentratie daalt en de nitraatconcentratie stijgt door een bui in oktober 2021. Na de bui daalt de nitraatconcentratie weer langzaam en neemt de ammoniumconcentratie weer langzaam toe.

Op basis van de continue sensormetingen van concentraties en afvoer kan een vrij nauwkeurige inschatting van de vrachten gemaakt worden ([figuur 4.7](#)).

Vanaf maart tot en met oktober laten de continue metingen in meer of mindere mate dag-nachtritmes zien in de concentraties ammonium en nitraat. De nitraatconcentraties bereiken hun laagste waarden in de vroege ochtend en de hoogste waarden in de vroege avond. Voor ammonium is het ritme andersom; de hoogste waarden liggen in de ochtend en de laagste waarden in de avond. De tegengestelde dag-nachtritmes zijn te verklaren door de omzetting van ammonium naar nitraat (nitrificatie) gedurende de dag. Mogelijk wordt ammonium voor een deel ook direct opgenomen. Het gevormde nitraat wordt vervolgens grotendeels weer opgenomen en/of omgezet in stikstofgas (denitrificatie). In het voorjaar en in de zomer wordt ongeveer een kwart van het ammonium op deze manier omgezet of opgenomen.

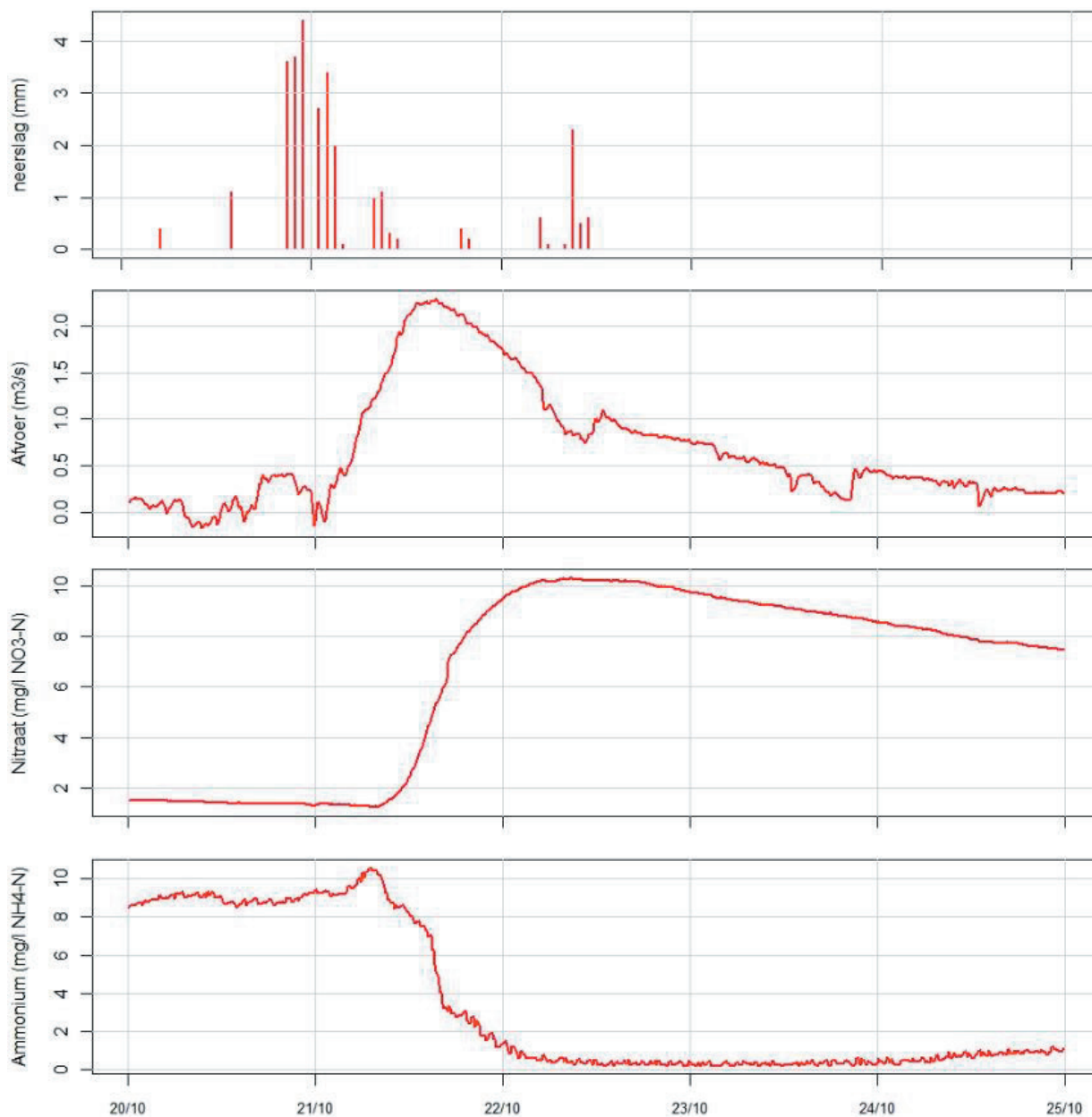
Op 25 mei is een piek in de ammonium- en nitraatconcentraties vastgesteld die sterkt afwijkt van de natuurlijke dynamiek en waarschijnlijk het gevolg is van een directe lozing in de tocht. De concentratiepieken hadden een symmetrische vorm, wat duidt op dispersie na een korte puntlozing. De concentraties tijdens de piek waren de hoogste van de gehele meetreeks (nitraat tot 28 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$ en ammonium tot 20 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$). De totale vracht tijdens de piek was ca. 358 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ en ca. 265 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ over de periode van 1 dag.

De fosforconcentraties laten een seizoenspatroon zien met iets hogere concentraties (tot 0,2 mg/L) in de winter dan in de zomer. Deze verschillen komen waarschijnlijk door de chemische omstandigheden in de fosforrijke waterbodem. Het fosfor in de waterbodem is deels afkomstig van het vastleggen van fosfaat uit kwelwater en deels van oppervlakkige afstroming en erosie vanaf de percelen. Bij lage temperaturen in de winter kan de biochemische vastlegging van fosfaat vanuit kwel in de waterbodem verminderen, waardoor meer fosfor in de waterfase terechtkomt. Er zijn tijdens de buien en afvoergolven nog geen hoge concentratiepieken voor fosfor waargenomen. Wel zijn er concentratiepieken tot 1,3 mg/L vastgesteld tijdens maaiwerkzaamheden in de tocht.

De cumulatieve nutriëntenvrachten voor de periode van 19 februari tot 31 december 2021 (317 dagen) zijn weergegeven in [figuur 4.7](#). De schatting van de totale stikstofvracht komt uit op ca. 39 ton (124 kg/dag). Per hectare komt dit neer op een stikstofvracht van 30 kg. Van deze totaal-stikstofvracht is ca. 57% in de vorm van nitraat, ca. 33% in de vorm van ammonium en ca. 10% in de vorm van organisch N. De nitraatvracht is voornamelijk afkomstig van de uitspoeling vanuit percelen naar de drains en kavelsloten. De ammoniumvracht is voornamelijk afkomstig vanuit kwel (achtergrondbelasting). De ammoniumvracht is ook relatief constant. Door biochemische opname en omzetting zijn de ammoniumvrachten in de zomer wel lager dan in het vroege voorjaar en het najaar. De nitraatvrachten zijn veel variabelere, doordat tijdens een natte periode zowel de afvoer als de nitraatconcentratie toeneemt. Over het zomerhaljaar als geheel (april tot en met september) is de stikstofvracht ca. 12 ton (64 kg/dag), waarvan ca. 48% in de vorm van nitraat en ca. 40% in de vorm van ammonium.

FIGUUR 4.6

Reactie van de afvoer en de nitraat- en ammoniumconcentraties op een bui in oktober 2021.

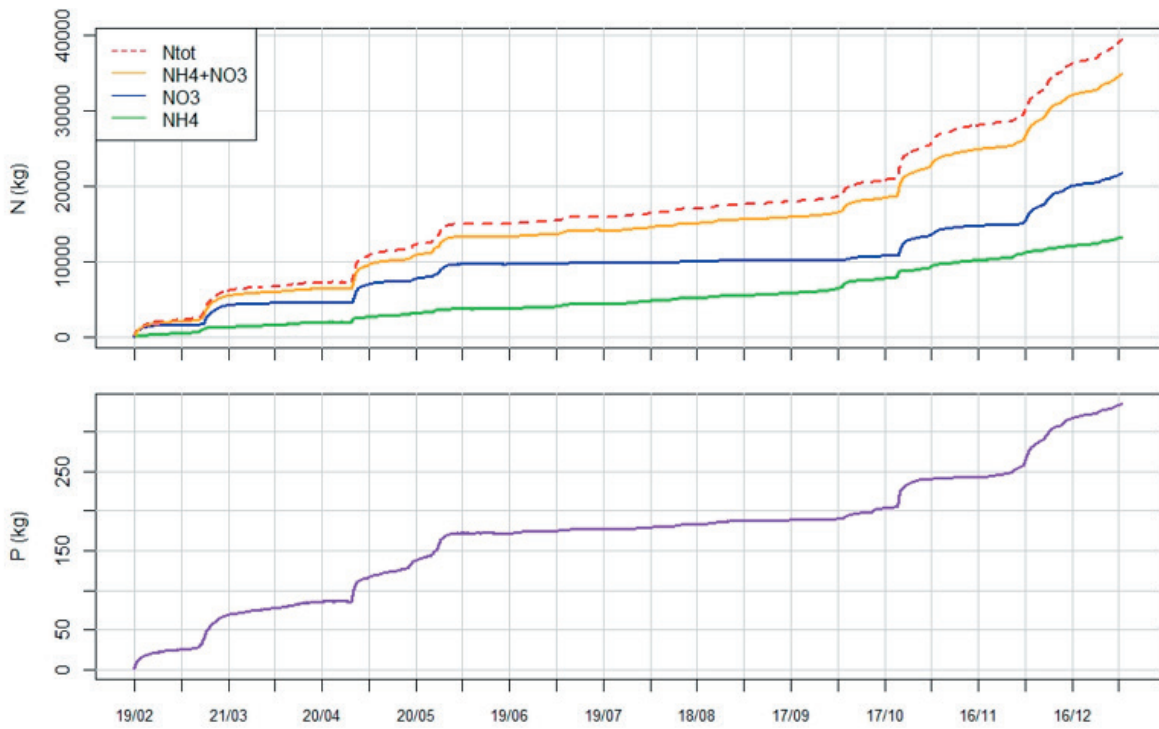


De totale fosforvrucht voor 19 februari tot en met 31 december 2021 is ingeschat op 335 kg (ca. 1.06 kg/dag; 0,25 kg/ha). De vrucht vindt vooral in het voorjaar en najaar plaats als de fosforconcentraties hoger zijn dan in de zomerperiode. De grootste vruchten vinden plaats tijdens afvoergolven. De concentraties zijn tijdens die afvoerpieken niet toegenomen, de grotere vrucht is toe te schrijven aan de grotere afvoer.

Op het uitstroompunt van de Vuursteentocht is door het waterschap langjarig de kwaliteit gemeten. Het resultaat hiervan is voor stikstof weergegeven in [figuur 4.8](#). Hieruit komt naar voren dat zowel het niveau van totaal-stikstof als de verhouding van de verschijningsvormen (nitraat, ammonium, organisch gebonden stikstof) jaarlijks vrij sterk wisselt. Deze fluctuaties komen waarschijnlijk voornamelijk door de variaties in het weer en dan met name het neerslagoverschot. De invloed van nitraat op de gemiddelde zomerconcentraties was in 2021 nog relatief klein ten opzichte van eerdere jaren. De nitraatuitspoeling vanuit percelen heeft kennelijk ook in andere jaren een significante invloed op de zomerconcentraties.

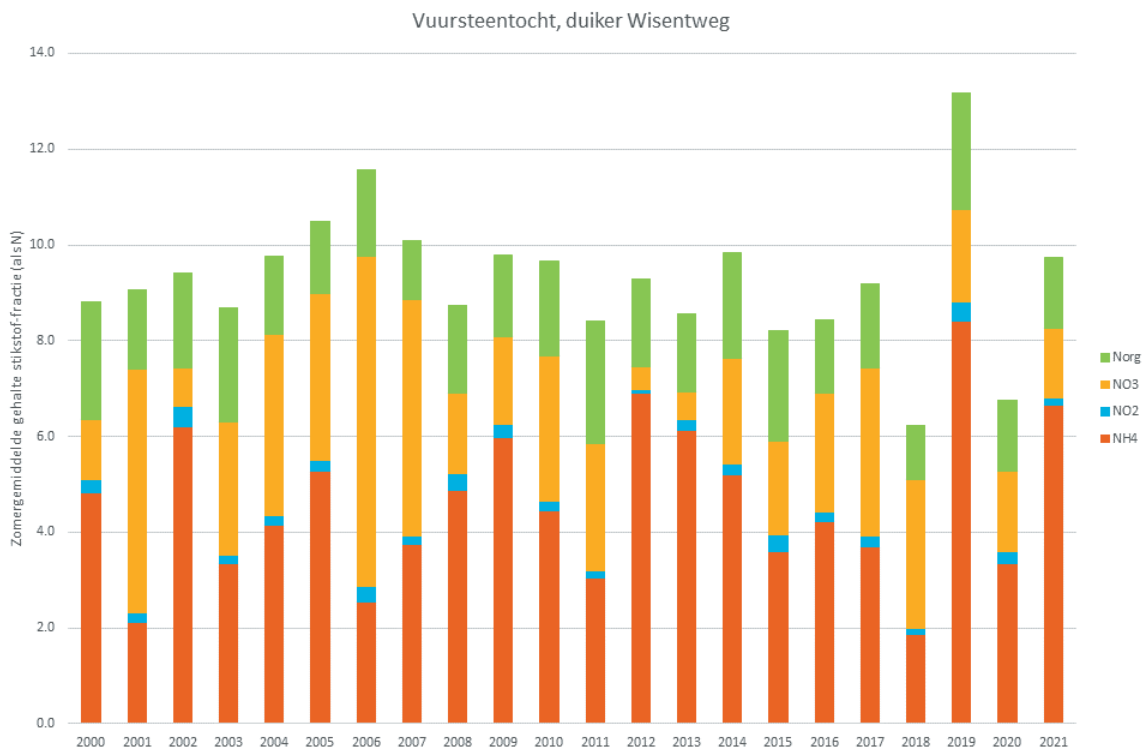
FIGUUR 4.7

Cumulatieve nutriëntenvrachten 19-2 t/m 31-12-2021. Let op: het organisch N-deel in de N-totaal vrucht is niet continu gemeten, maar ingeschat op basis van tweewekelijkse monsternamen.



FIGUUR 4.8

Zomergemiddelde stikstofconcentraties in mg/L N en verdeling over fracties in de Vuursteentocht bij het uitstroompunt vanaf het jaar 2000. De norm voor het KRW-waterlichaam waar de Vuursteentocht deel van uitmaakt, is 2,4 mg/L N (bron: Waterschap Zuiderzeeland).



4.2.3 Remote sensing

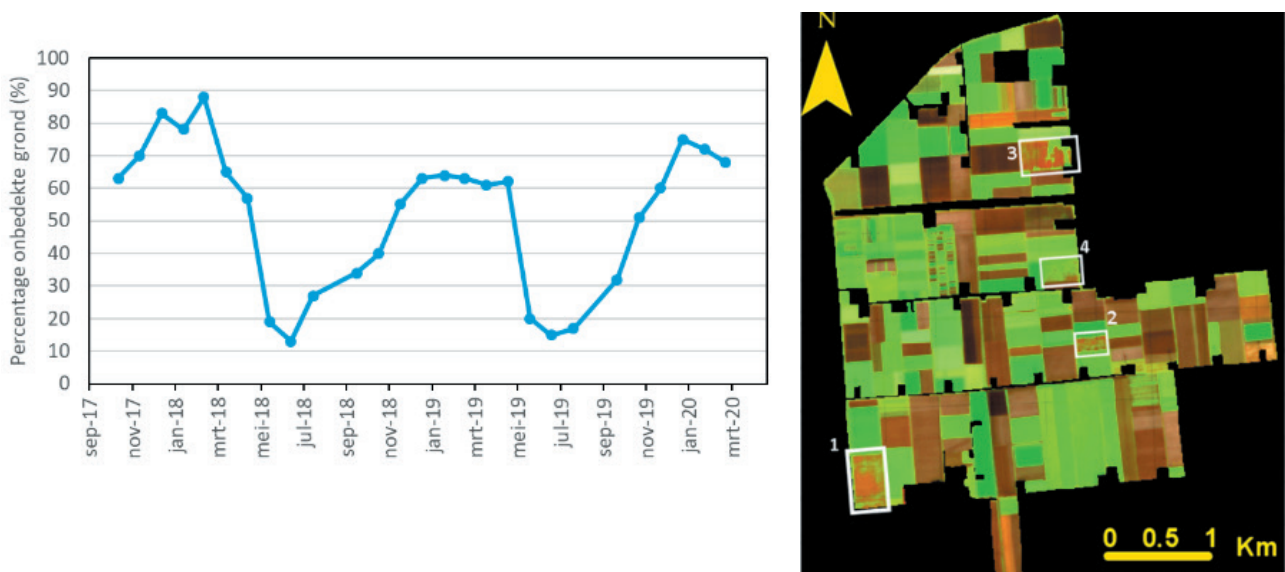
Voor beide pilotgebieden zijn plasvorming, onbedekte percelen en kale plekken in beeld gebracht met satellietbeelden, aangezien het risicofactoren zijn voor nutriëntenverliezen.

Onbedekte percelen en kale plekken

In **figuur 4.9** is het percentage onbedekte grond weergegeven voor de Vuursteentocht in de periode najaar 2017 tot en met voorjaar 2020. Het aandeel onbedekte grond is in de Vuursteentocht hoger dan in de Vinkenloop (60-90% in de winter). Het aandeel onbedekte grond neemt in mei het sterkst af en is in de periode juni-juli op het laagste niveau van 10-20%.

FIGUUR 4.9

Links: percentage onbedekte percelen Vuursteentocht, Rechts: voorbeeld detectieplekken binnen bedekte percelen die minimaal één maand kaal bleven, vier gevallen zijn omkaderd (beeld van 30 okt 2019). Bruin is onbedekt, groen is bedekt.



Enkele voorbeelden van de detectie van kale plekken binnen begroeide percelen zijn weergegeven in de foto rechtsonder in **figuur 4.9**. De oorzaak van deze gedeeltelijke bedekking is niet bekend. Mogelijk is de bodemconditie op de kale delen van deze percelen minder goed en komt het (vang)gewas daar minder goed tot ontwikkeling.

Plassen op het land

Voorbeelden van gedetecteerde plassen in het Vuursteentochtgebied in het voorjaar van 2020 weergegeven in **figuur 4.10**. Ook gedeeltelijke plasvorming (bijvoorbeeld in rijsporen en tussen ruggen) is goed te detecteren. De plasvorming treedt op bij specifieke percelen zonder dat er een duidelijk ruimtelijk patroon is. Dat duidt erop dat vooral verschillen in landgebruik per perceel bepalen of er plasvorming optreedt of niet. Ook al is plasvorming op bedekte percelen goed waar te nemen (met de MNDWI), de plasvorming trad uitsluitend op onbedekte percelen op.

Figuur 4.11 toont het verloop van de plasvorming op percelen G, H en I. Dit verloop is gebaseerd op SAR (Synthetic Aperture Radar) beelden. Deze radarbeelden hebben geen last van bewolking, waardoor er voor elke vijf dagen een beeld van het plassenoppervlak beschikbaar is.

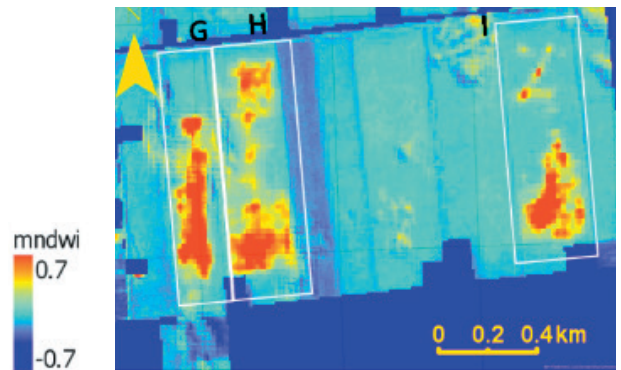
FIGUUR 4.10

Voorbeelden van detectie van plassen op het land in maart 2020 in de Vuursteentocht, satellietbeeld van 16 maart 2020 (bruin is onbedekt, groen is bedekt, blauw/turquoise is plasvorming, witte kaders geven blijvende plassen van november 2019 tot maart 2020 aan). Rechts veldfoto's van 3 maart 2020.

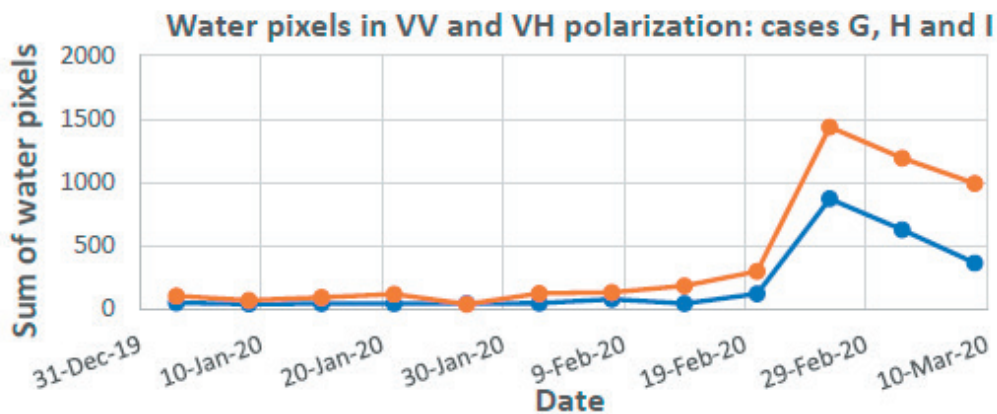


FIGUUR 4.11

Links: detailbeeld van de MNSWI (Modification of Normalized Difference Water Index) op 3 maart 2020 voor percelen G, H en I. Rechts: het verloop van de omvang van de plasvorming op percelen G, H en I op basis van SAR (VH en VV zijn verschillende polarisaties van de radarbeelden).



—●— W —●— VH



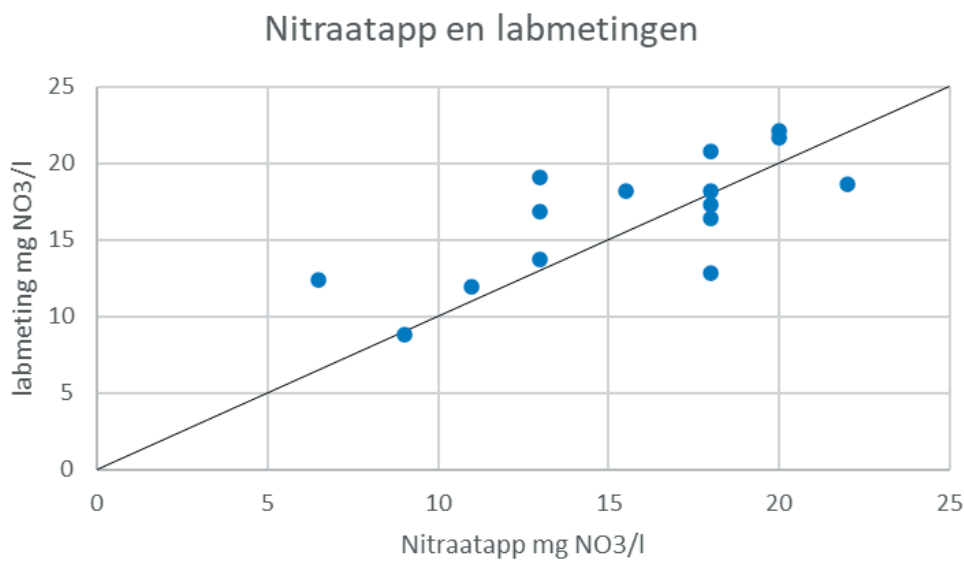
4.3 RESULTATEN PERCEELMONITORING

4.3.1 Routing drains en Stikstofbalans in de bodem

Om een indruk te krijgen van eventuele ruimtelijke verschillen in nitraatconcentraties tussen de percelen en tussen individuele drains, zijn routings uitgevoerd met de Nitraatapp langs de drains van meerdere percelen van het proefbedrijf. Uit een vergelijking van lab-metingen en de indicatie met de Nitraatapp bij dezelfde drains blijkt dat de Nitraatapp een redelijke indicatie geeft (figuur 4.12).

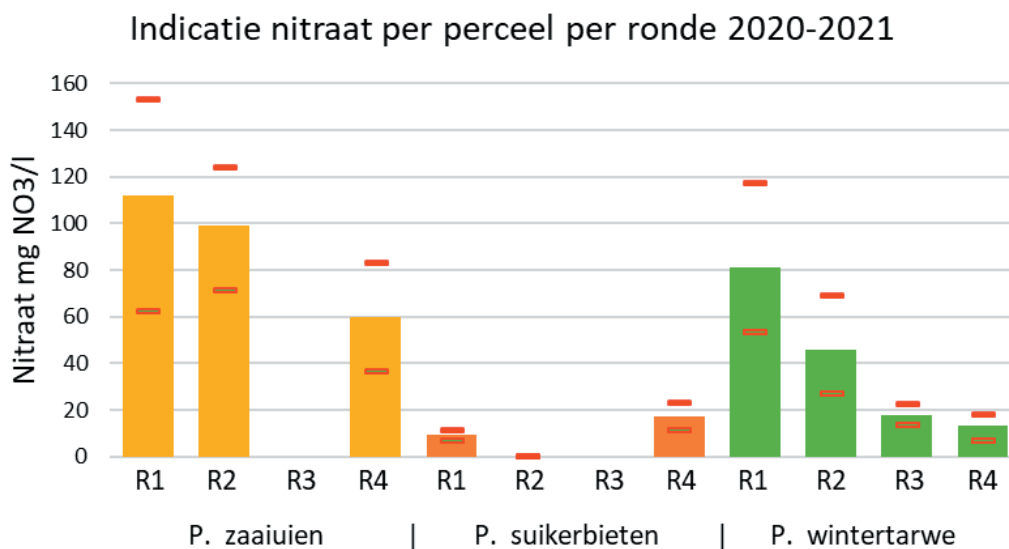
FIGUUR 4.12

Nitraatconcentraties gemeten met de Nitraatapp en lab-metingen aan dezelfde drains.



FIGUUR 4.13

Indicatie nitraatuitspoeling uit drains o.b.v. vier routings bij de drains (Nitraatapp). Rode balkjes hoogste en laagste waarnemingen. Wintertarwe: n=8 per ronde, Zaauien en Suikerbieten: n=4 per ronde. Ronde 1 (verkenning) Wintertarwe: n=20.

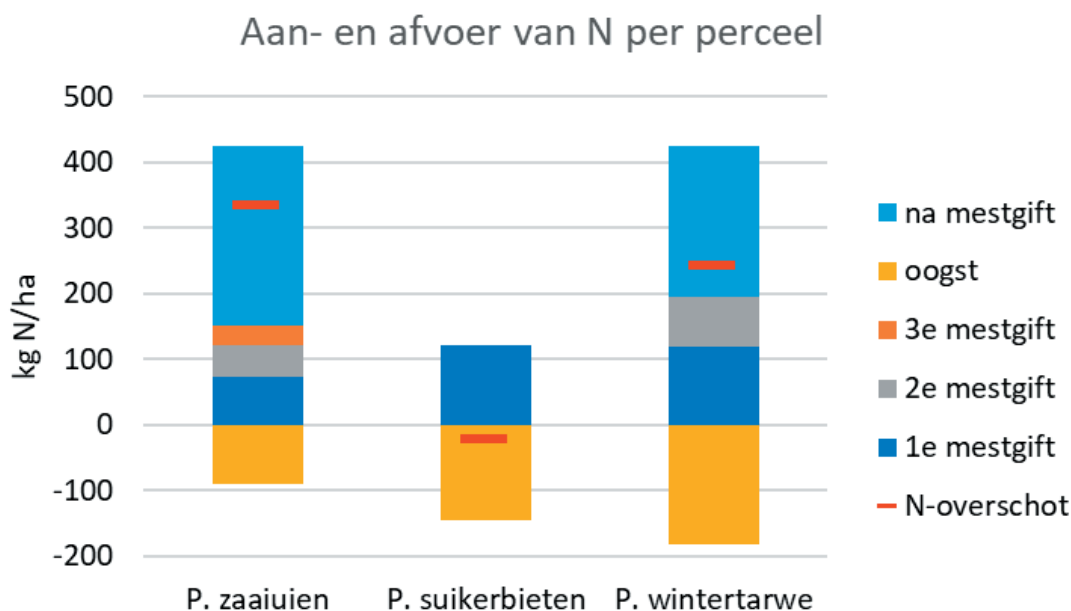


In het meetseizoen 2020-2021 zijn routings uitgevoerd langs drie percelen. Opvallend bleken de verschillen in indicatieve concentraties tussen de percelen (figuur 4.13). De hoogste concentraties zijn gevonden op het perceel dat in het voorafgaande teeltseizoen zaaiuien als hoofdgewas had. Bij het perceel met wintertarwe waren de concentraties lager en op het suikerbietenperceel waren de concentraties heel laag. De Nitraatapp is niet geschikt om exacte concentraties te meten, maar geeft wel een redelijke indicatie. Hier het gaat dan ook niet om de exacte concentraties, maar juist om het patroon van de verschillen. Naast de verschillen tussen percelen is het ook opvallend dat de nitraatconcentraties dalen gedurende het uitspoelingsseizoen. Dit is ook bekend uit het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (www.lmm.nl).

De verschillen in nitraatconcentraties tussen de percelen lijken verklaard te kunnen worden door de verschillen in de aan en afvoer van stikstof op die percelen. Op de percelen met zaaiuien en wintertarwe is na de oogst nog dierlijke mest opgebracht, voordat er groenbemester gezaaid werd. Op die percelen is dan ook sprake van een groter N-overschot in de bodem dan op het perceel met suikerbieten (figuur 4.14).

FIGUUR 4.14

Aan- en afvoer van stikstof (N) op de percelen met verschillende gewassen.



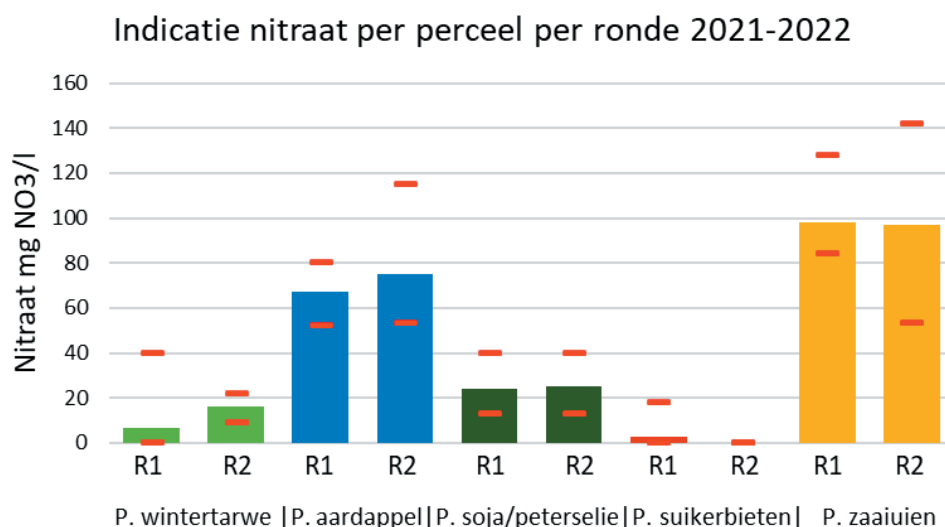
In het meetseizoen 2021-2022 worden weer routings uitgevoerd langs de drains, maar nu langs alle vijf percelen van het bedrijf. Ten tijde van het verschijnen van het rapport zijn de gegevens van twee ronden beschikbaar. Ook in dit seizoen zijn weer opvallende verschillen in indicatieve nitraatconcentraties tussen de percelen en hun gewassen (figuur 4.15). Op de percelen met wintertarwe en suikerbieten zijn de concentraties heel laag. In percelen met aardappel en zaaiuien zijn de indicatieve concentraties veel hoger. De bemesting- en oogstgegevens van het teeltjaar 2021 zijn nog niet nader uitgewerkt.

4.3.2 Slotwatermetingen in perceelsslotten Vuursteentocht

Het waterschap Zuiderzeeland heeft elke twee weken steekmonsters genomen in de twee perceelsslotten van het proefbedrijf. De sloten worden uitsluitend gevoed door het drainwater van de aangrenzende percelen. Sloot 1 voert water af dat alleen afkomstig is van het proefbedrijf. Sloot 2 voert water af van het proefbedrijf én het naastgelegen bedrijf.

FIGUUR 4.15

Indicatie nitraatuitspoeling uit drains in twee routings (Nitraatapp). Rode balkjes hoogste en laagste waarnemingen. n= 5 tot 8 per ronde.

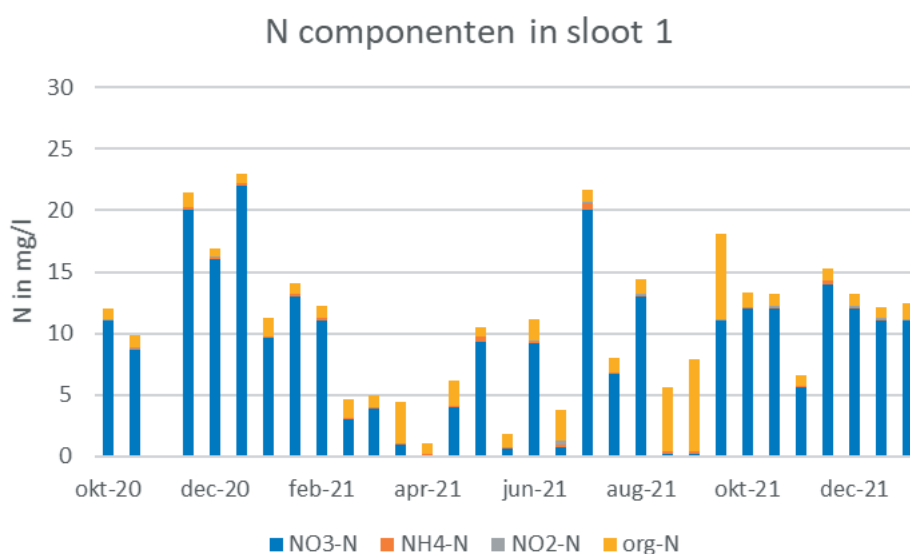


In sloot 1 zijn de stikstofconcentraties in de wintermaanden (oktober-maart) gemiddeld 13 mg N/l en daarmee duidelijk hoger dan de gemiddelde 8 mg N/l in de zomerperiode (april-september) (figuur 4.16). In sloot 2 zijn de concentraties in de winter van 2020-2021 wel hoger dan de zomerconcentraties, maar in het najaar van 2021 blijven de concentraties relatief laag (figuur 4.17).

In beide sloten geldt dat de stikstofconcentratie vooral bepaald wordt door het grote aandeel nitraat en een kleiner deel organisch stikstof (berekend uit Kjeldahl-N minus Ammonium-N). Ammonium is nauwelijks aanwezig. Dit komt overeen met het gegeven dat de sloten voornamelijk gevoed worden door de drains en dat diepere kwel, dat meer ammonium bevat, de perceel sloten niet of nauwelijks bereikt.

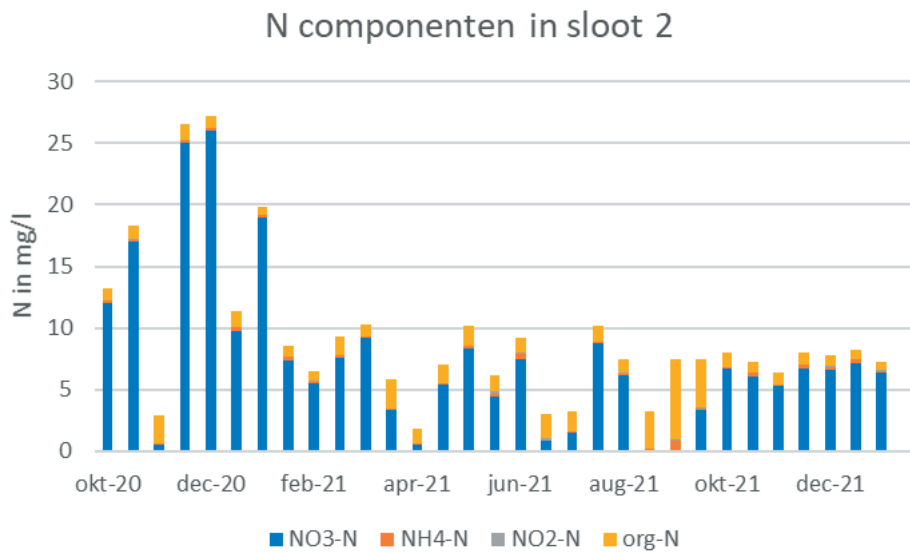
FIGUUR 4.16

Stikstofcomponenten in sloot 1 o.b.v. tweewekelijkse steekmonsters.



FIGUUR 4.17

Stikstofcomponenten in sloot 2 o.b.v. tweewekelijkse steekmonsters.

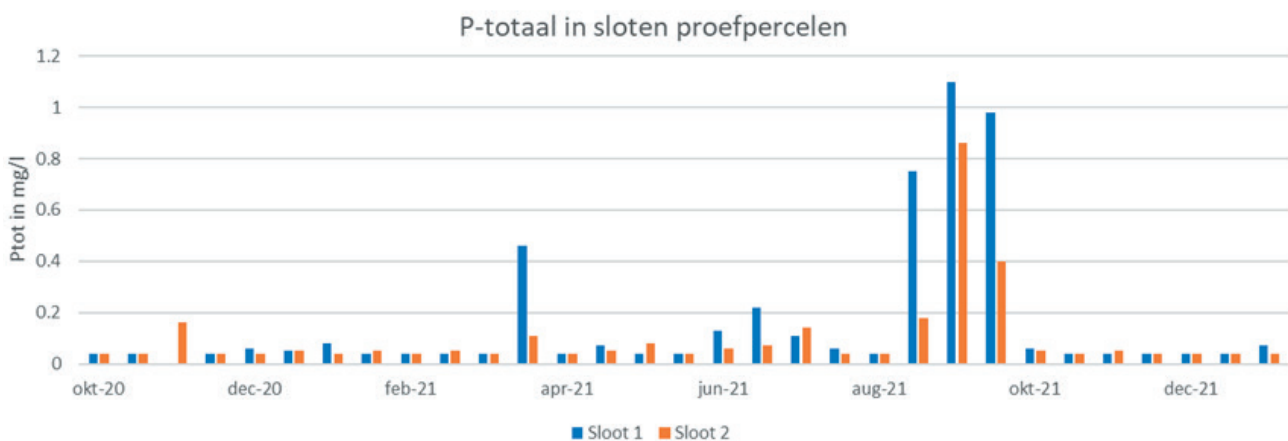


Opvallend in beide sloten is het grote aandeel organisch stikstof in september en begin in oktober 2021. Dit zou gerelateerd kunnen zijn aan de grondbewerking die in die periode is uitgevoerd bij het oogsten van de gewassen. Ook kunnen de verhoogde concentraties organisch stikstof het gevolg zijn van interne slootprocessen die optreden bij droog, warm weer. In de betreffende periode was er sprake van zeer beperkte neerslag (zie bijlage 5 over continue metingen Vuursteentocht).

Fosfor is in de perceel sloten nauwelijks aangetroffen (figuur 4.18). Opvallend zijn de sterk verhoogde concentraties in beide sloten in september en begin oktober van 2021. Deze concentraties vallen samen met de hoge concentraties organisch gebonden stikstof in de sloten en zijn waarschijnlijk het effect van interne slootprocessen als gevolg van de beperkte neerslag in die periode. Chlorideconcentraties lagen gemiddeld op 128 mg/L in sloot 1 en 160 mg/L in sloot 2. Ook gemiddelde sulfaatconcentraties waren in sloot 1 iets lager dan in sloot 2, respectievelijk 364 mg/L en 467 mg/L.

FIGUUR 4.18

P-totaal in perceel sloten o.b.v. tweewekelijkse steekmonsters.



4.3.3 Passive sampling aan de drains: SorbiCells in Flowcap

De uitkomsten van de metingen met de SorbiCells in de Flowcaps op het proefperceel van het proefbedrijf bleken voor nitraat helaas niet accuraat. De tijdgemiddelde, debiet-proportionele concentraties van nitraat in de SorbiCells kwamen vrijwel nooit boven de detectielimiet van 0,44 mg NO₃/l. Fosfaat bleek niet aanwezig in de SorbiCells, maar is ook nauwelijks aangetroffen in de steekmonsters. Sulfaatconcentraties in de SobiCells lagen tussen de 100 en 400 mg/L en kwamen redelijk overeen met de steekmonsters. Details over de uitkomsten van de SorbiCells staan in [bijlage 7](#). De producent van de SorbiCells meende dat nitraatbinding door het adsorbent in de SorbiCell mogelijk bemoeilijkt werd door de hoge sulfaatconcentraties. We zijn in overleg met de producent om in de toekomst eventueel andere SorbiCells te testen. Zie voor meer details [bijlage 7](#).

Uit de lab-metingen die gedaan zijn ter controle van de SorbiCells kwam naar voren dat de nitraatconcentraties in het voorjaar 2021 varieerden tussen de 9 en 22 mg NO₃/L. Sulfaatconcentraties liepen uiteen van 300-400 mg/L. Chloride was in alle drains 100 mg/L. Totaal-N bestond gemiddeld voor 74% uit nitraat-N, 15% was organisch-N en 11% ammonium-N. De lage ammonium-N-concentraties en de lage chlorideconcentraties in het drainwater zijn een aanwijzing dat de drains in natte perioden nauwelijks beïnvloed worden door kwelwater.

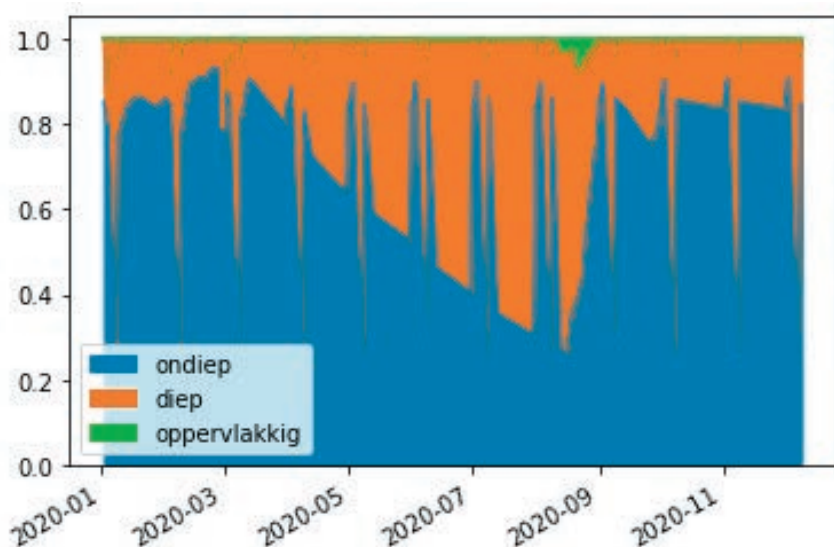
4.4 DATA-DRIVEN MODELLERING VUURSTEENTOCHT

Net als voor de Vinkenloop (zie [paragraaf 3.4](#)) is de STROMON-benadering toegepast voor de Vuursteentocht om per tijdstap de relatieve fractie van elke route in het oppervlaktewater te berekenen. Uitgegaan is van een totaal oppervlaktewater volume (sloten en tochten) van 45100 m³. Hierbij wordt aangenomen dat het totale oppervlaktewater volume na elke tijdstap hetzelfde blijft. De relatieve bijdragen van de verschillende routes zijn in deze analyse ontleend aan het LHM (Landelijk Hydrologisch Model). Hiervoor zijn de LHM rekeneenheden geselecteerd die vallen binnen het stroomgebied van de Vuursteentocht en zijn de dagelijkse fluxen gebruikt van het grondwater naar het oppervlaktewater voor de periode 2010-2020.

Op basis van de verhoudingen tussen de verschillende routes lijkt de LHM-gegevens voor de Vuursteentocht niet plausibel ([figuur 4.19](#)). De fractie diep grondwater neemt toe in natte perioden, terwijl in natte perioden juist de fractie ondiep grondwater groter zou moeten worden net als bij de Vinkenloop.

FIGUUR 4.19

Fracties oppervlakkige afstroming, ondiep grondwater en diep grondwater in het oppervlaktewater van de Vuursteentocht op basis van fluxen uit het Landelijk Hydrologisch Model (LHM). Het LHM geeft geen plausible fluxen voor dit gebied; de fractie diep grondwater zou moeten afnemen in natte perioden, maar neemt juist toe.



Gezien de niet-plausibele fluxen uit het LHM is voor een andere benadering gekozen op basis van een dynamische water- en stoffenbalans. Een groot deel van de dynamiek in de nitraat- en ammoniumconcentraties in de Vuursteentocht is het gevolg van het mengen van uitspoelingswater (nitraatrijk, ammoniumarm) en kwelwater (ammoniumrijk, nitraatloos). In het zomerhalfjaar spelen biochemische retentie, maar ook de extra onttrekking voor beregening ook rol. Voor het uitspoelingseizoen in de winter zijn deze invloeden minder belangrijk.

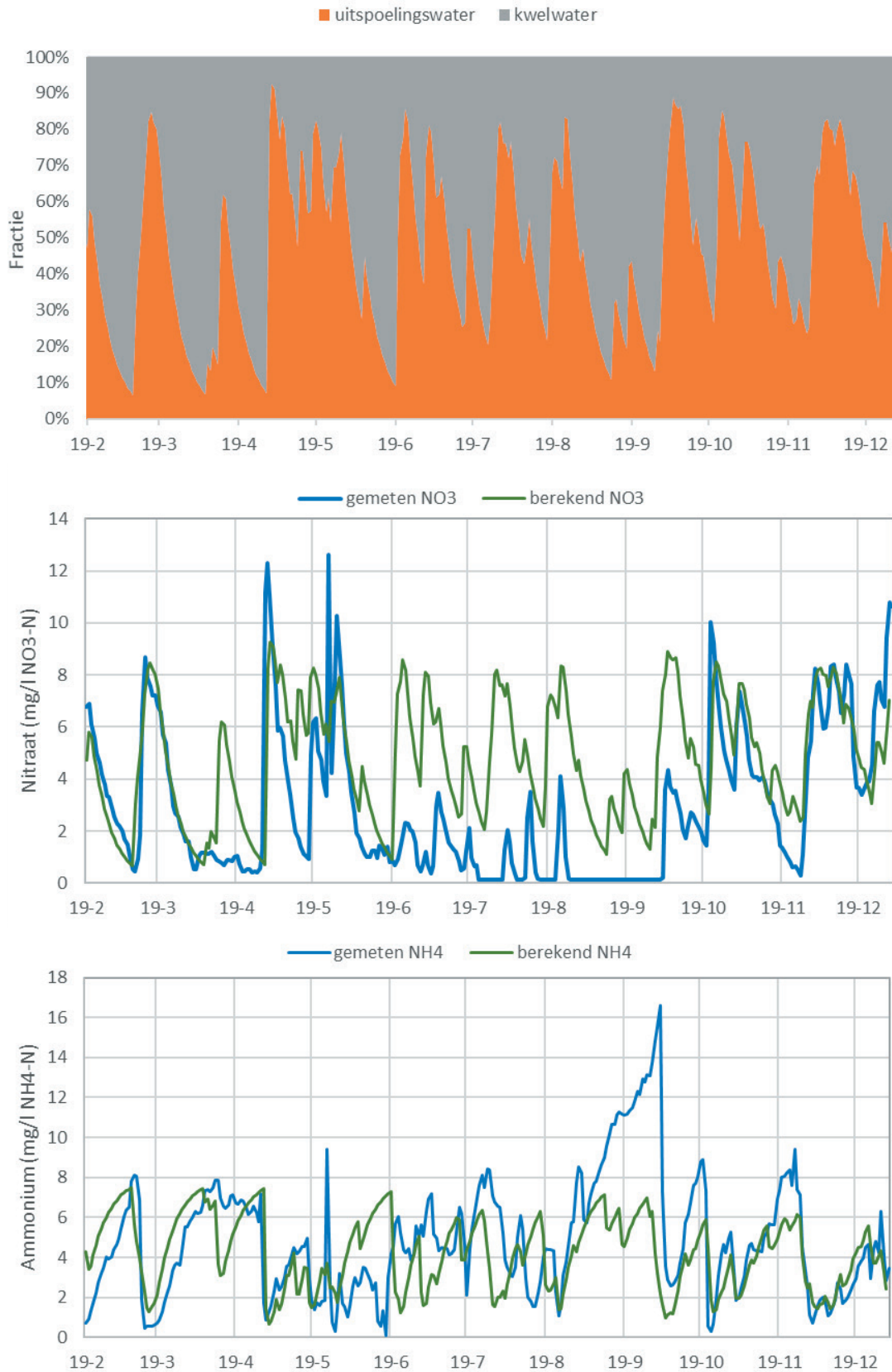
Om het mengen van uitspoelingswater en kwelwater te reconstrueren is in MS Excel een dynamische water- en stoffenbalans van de Vuursteentocht op dagbasis opgezet. Het totale oppervlaktewatervolume van de Vuursteentocht is ingeschat op 45100 m³. De neerslag- en verdampingsmetingen van KNMI station Lelystad airport zijn als input gebruikt. Een geschaalde 'Antecedent Precipitation and Evaporation Index' (APEI) is gebruikt om rekening te houden met de vertraging tussen neerslag en afvoer. Een constante kwelflux direct naar de tocht is zodanig ingesteld dat de totale afvoer overeenkomt met de gemeten afvoer. In figuur 4.20 is de berekende fractieverdeling tussen uitspoelingswater en kwelwater in de Vuursteentocht afgebeeld.

Op basis van de concentratiemetingen in grond- en oppervlaktewater zijn vaste concentraties ingeschat voor nitraat en ammonium in het uitspoelingswater en het kwelwater. In het uitspoelingswater is de nitraatconcentratie ingeschat op 10 mg/l NO₃-N en de ammoniumconcentratie op 0,1 mg/l NH₄-N. In het kwelwater zit geen nitraat en is de ammoniumconcentratie ingeschat op 8 mg/l NH₄-N. Op basis van deze concentraties en de fractieverdeling zijn de concentraties in de Vuursteentocht berekend.

Het resultaat van de concentratieberekening wordt in figuur 8 vergeleken met de gemeten concentraties. Over het algemeen kloppen de berekende nitraat- en ammoniumconcentraties redelijk goed voor het voorjaar en najaar. De snelheden waarmee de concentraties toe- en afnemen komen goed met elkaar overeen. Wel reageren de berekende concentraties in april op een flinke bui die wel in de neerslagmetingen van Lelystad airport zit, maar aan de Vuursteentocht voorbij lijkt te zijn gegaan. In de zomerperiode worden de nitraatconcentraties overschat en klopt de dynamiek in de ammoniumconcentraties ook minder goed. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de onttrekking van water uit de tocht voor beregening en van biochemische processen (opname en afbraak). Door het onttrekken van water uit de tocht neemt de fractie kwelwater toe met als gevolg lagere nitraatconcentraties en hogere ammoniumconcentraties. Hiernaast hebben dagritmes in de continue metingen laten zien dat er ammonium en nitraat omgezet en opgenomen wordt. In het najaar lopen de gemeten ammoniumconcentraties regelmatig hoger op dan voorspeld met de balansberekening. Mogelijk speelt hier het afsterven van organismen een rol, waarbij ammonium vrij kan komen.

FIGUUR 4.20

Resultaten van de dynamische water- en stoffenbalans: berekende fractieverdeling en berekende en gemeten nitraat- en ammoniumconcentraties in de Vuursteentocht



4.5 MODELLERING UIT- EN AFSPOELING MET SWAP-ANIMO

4.5.1 Modelopzet en schematisering

De ruimtelijke schematisering van het model is opgesteld met de percelenkaart. Het bodemprofiel van een perceel is als rekeneenheid genomen. In het studiegebied waren in 2021 in de Basis Registratie Percelen (BRP) 505 percelen vermeld met een totaaloppervlak van 1146 ha. Hiervan was het grootste aantal percelen in gebruik voor akkerbouw- of tuinbouwteelten. Het totaaloppervlak van het pilotgebied bedraagt 1303 ha. De gewassen die in 2021 op de percelen werden geteeld, zijn weergegeven in [tabel 4.1](#).

TABEL 4.1

Landgebruik percelen Vuursteentocht 2021 (bron: BRP 2021).

Gewas	Aantal percelen	Oppervlak (ha)
Tarwe, winter-	74	247,3
Aardappelen, consumptie	73	164,5
Uien, zaai-	58	142,7
Bieten, suiker-	59	123,6
Aardappelen, poot NAK	13	71,6
Tulp, bloembollen en -knollen	10	56,9
Winterpeen, productie	40	49,1
Erwten, groene/gele (groen te oogsten)	5	30,6
Spinazie, productie	2	29,0
Gerst, zomer-	24	27,8
Overige akkerbouw- en tuinbouwteelten	77	113,6
Grasland	51	69,5
Snijmais	3	17,7
Randen	16	2,3

Voor de modellering zijn behalve de gewassen in 2021 ook de gewassen van 2018, 2019 en 2020 in beschouwing genomen en op basis daarvan zijn de volgende zes hoofdtypen gedefinieerd:

- Akkerbouw
- groep_Bouwland
- Grasland
- groep_Grasland
- Mais
- groep_Natuur

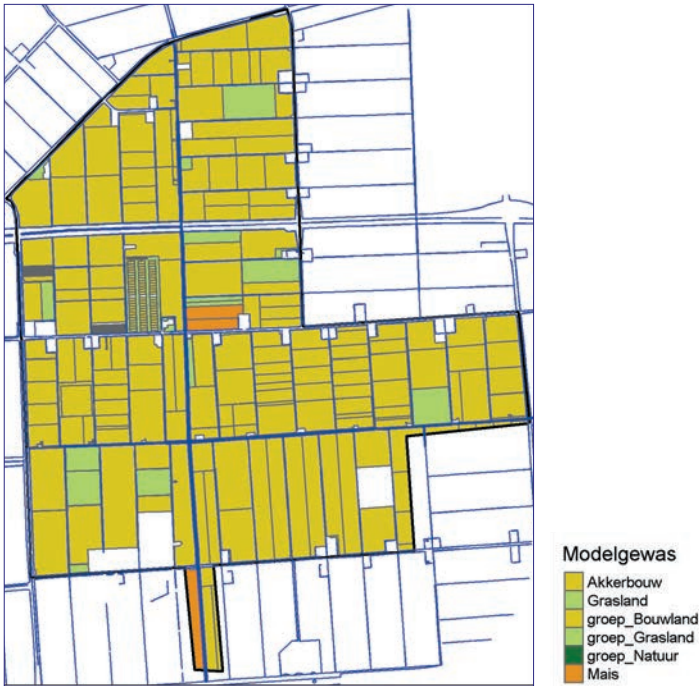
De in de BRP vermelde randen zijn toegewezen aan groep_Natuur. Deze ruimtelijke schematisering van het landgebruik is weergegeven in [figuur 4.21](#). Op basis van de kenmerken “Hoofdtype gewas”, “Bodem” en “Grondwatertrap” is per perceel in de database van het STONE-model gezocht naar de dichtstbij gelegen plot met dezelfde kenmerken. Dit resulteerde in tien STONE-plots.

De kwelintensiteit zoals deze is af te leiden van modelresultaten van het AZURE-model⁷ ([figuur 4.22](#)) varieert in het gebied. Voor de kwelintensiteit zijn drie klassen gedefinieerd: 0,5, 1,0 en 1,5 mm/dag. Door deze kwelklassen te combineren met de tien STONE-plots ontstonden 29 rekeneenheden (zogenaamde Vuursteen-plots). Met iedere rekeneenheid ([figuur 4.23](#)) is met het SWAP-model de vochthuishouding van een bodemprofiel gesimuleerd en hieraan gekoppeld met ANIMO de nutriëntenhuishouding.

⁷ <https://www.nhi.nu/nl/index.php/modellen/azure>

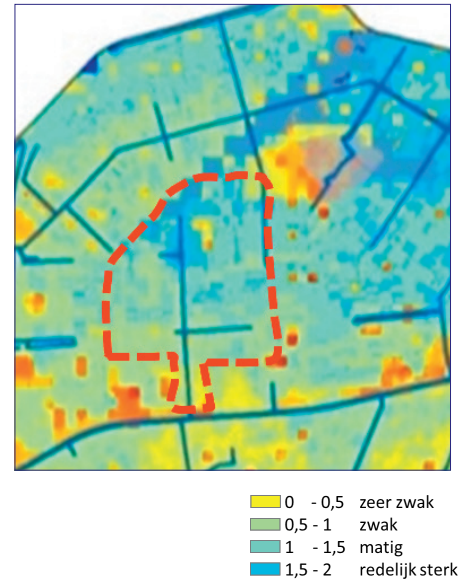
FIGUUR 4.21

Ruimtelijke schematisering van het landgebruik in de modellering met SWAP en ANIMO.



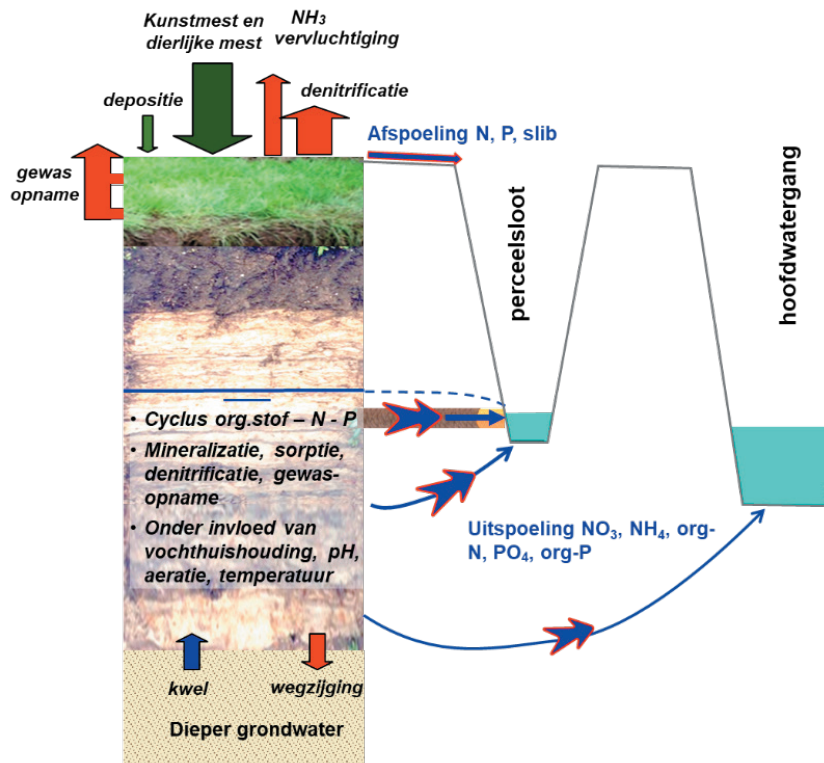
FIGUUR 4.22

Kwelintensiteit (mm/dag), ontleend aan het model AZURE.



FIGUUR 4.23

Schematische weergave rekenenheten (Vuursteenplots) SWAP-ANIMO.



Voor informatie over neerslag en verdamping zijn de gegevens van het KNMI-meetstation Lelystad gebruikt. Met de bodemgegevens en de schematisering van gewassen en ontwatering is voor de 29 Vuursteenplots met de methodiek van het landelijke uitspoelingsmodel een simulatie uitgevoerd van 2001 tot en met 2021. Evenals in het landelijke model is uitgegaan van rekentijdstappen van tien dagen.

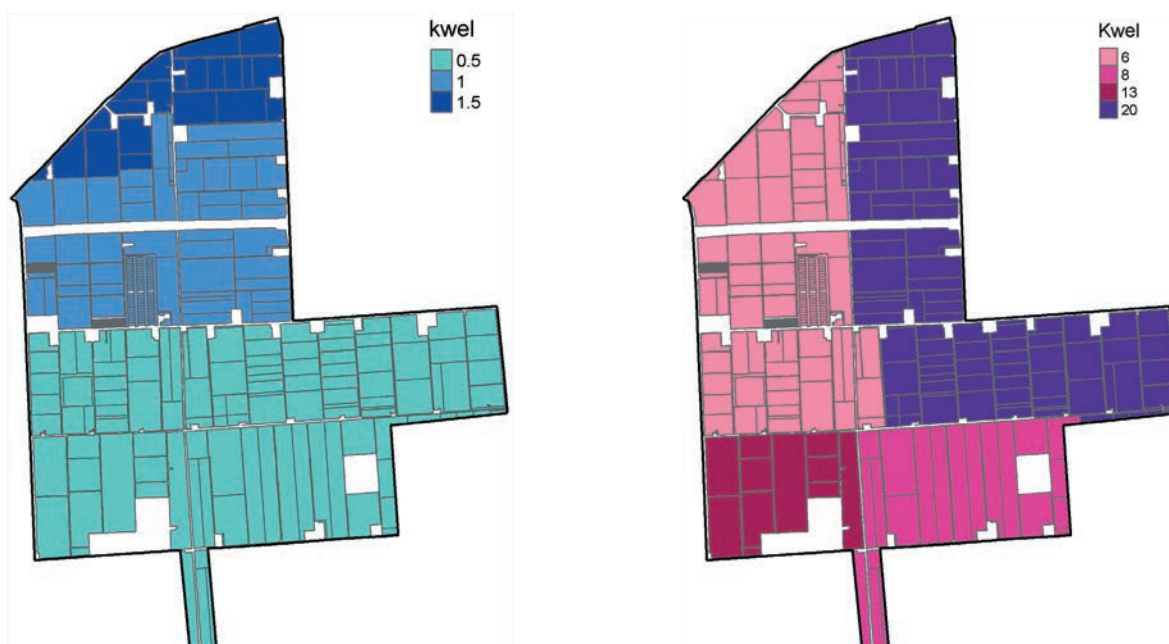
Voor de simulatie van de nutriëntenhuishouding is in de 29 Vuursteenplots een nadere verfijning aangebracht door ook rekening te houden met de ammoniumconcentraties in het kwelwater. De metingen in de beregeningsputten in 2020 geven aan dat de ammoniumconcentraties in het ondiepe grondwater ruimtelijk variabel zijn en dat er gradiënten aanwezig zijn. Voor de modellering zijn vier klassen van ammoniumconcentraties verondersteld: 6, 8, 13 en 20 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$. Voor nitraat-N in het grondwater is een lage waarde van 0,5 mg/L N aangehouden en voor fosfor zijn twee waarden aangehouden: bij een $\text{NH}_4\text{-N}$ concentratie van 20 mg/L geldt een waarde van 0,5 mg/L P en bij lagere waarden van de ammoniumconcentratie geldt een waarde van 0,3 mg/L P. **Figuur 4.24** geeft de kwelklassen en ammoniumconcentraties die in het pilotgebied op perceelniveau aan de rekeneenheden zijn toegekend.

Vanuit de inzichten die voortkomen uit de monitoring zijn de volgende modelaanpassingen aangebracht:

- Geen constante kwelflux in de tijd, maar een seizoensritme, waarbij er van uit wordt gegaan dat de grootste levering van grondwater plaatsvindt in de winter. In de zomer vermindert de regionale kweldruk doordat het neerslagoverschot kleiner is en op bepaalde gewassen berekening wordt toegepast.
- De doorstroomde diepte in het grondwatersysteem van water dat naar buisdrains stroomt, is verminderd ten opzichte van de defaultwaarde in het landelijke model. Dit is gedaan door 1) een anisotropie in de horizontale richting te veronderstellen in de bodem tussen maaiveld en 1 m diep. Dit geeft een grotere weerstand voor de verticale stroming, waardoor relatief meer water naar de ontwateringsmiddelen afstroomt in de ondiepe laag. Vanaf 2 m en dieper is juist de effectieve horizontale doorlatendheid verkleind, waardoor in de diepere laag juist minder water afstroomt. Omdat in het rekenmodel de berekening van de verdeling over lagen een nabewerking is op de berekening van de waterbalans, heeft het geen effect op de totale waterafvoer.
- De maximale doorstroomde diepte van water dat naar drainbuizen stroomt, is verkleind naar 1 m onder drainniveau. Voor de andere ontwateringssystemen (kavelsloten, tochten) is de doorstroomde diepte groter (en niet aangepast). De tochten steken tot in het zandpakket en de horizontale stroming in de zandlaag kan zich uitstrekken tot grotere afstanden.

FIGUUR 4.24

Toekenning van kwelklassen (mm/d) aan de percelen in het pilotgebied van de Vuursteentocht (links) en toekenning van $\text{NH}_4\text{-N}$ concentraties (mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$) aan de percelen (rechts).



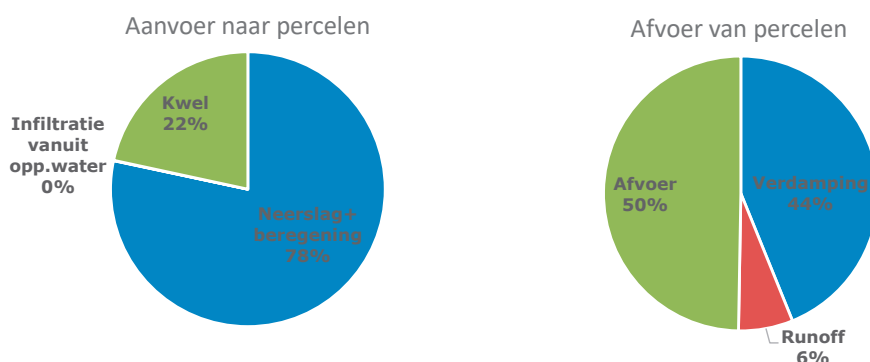
Voor de gewasopname en bemesting zijn voor de berekening van de uit- en afspoeling defaultwaarden gebruikt per hoofdtype van gewas. De defaultwaarden van de bemesting corresponderen met de gebruiksnormen van het 6^e Actieprogramma Nitraat.

4.5.2 Modelresultaten waterafvoer

De verdeling van de verschillende termen in gebiedsgemiddelde waterbalans voor 2021 is gegeven in [figuur 4.24](#).

FIGUUR 4.25

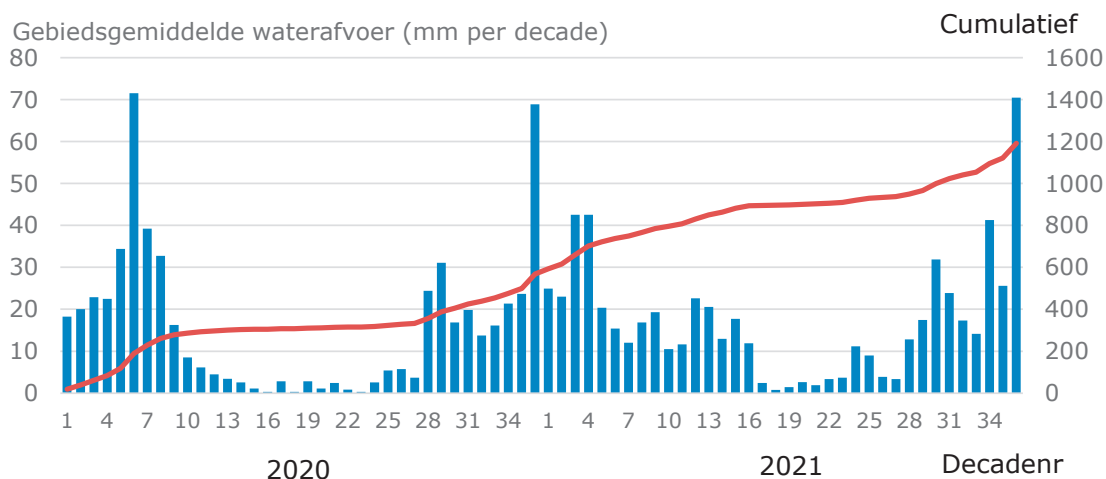
Verdeling van termen van de gebiedsgemiddelde waterbalans berekend voor 2021.



De berekende gebiedsgemiddelde waterafvoer per decade in 2020 en 2021 is weergegeven in [figuur 4.26](#). Berekend wordt dat langjarig gemiddeld de oppervlakkige afstroming ca 50 mm jr-1 zou kunnen bedragen. De toplaag van de klei- en zavelgronden heeft een lagere waarde voor de doorlatendheid bij verzadiging en ook een kleinere infiltratiecapaciteit dan van de zandgronden in de Vinkenloop. De waarde voor oppervlakkige afstroming is onzeker, mede omdat fenomenen als zwel en krimp en scheuren in klei- en zavelgronden niet in beschouwing zijn genomen. In een vervolgonderzoek zou hier meer aandacht aan geschonken kunnen worden.

FIGUUR 4.26

Met het SWAP-model berekende gemiddelde waterafvoer uit de percelen van het pilotgebied Vuursteentocht, waarbij van AZURE-resultaten afgeleide waarden voor de kwelflux zijn opgelegd.



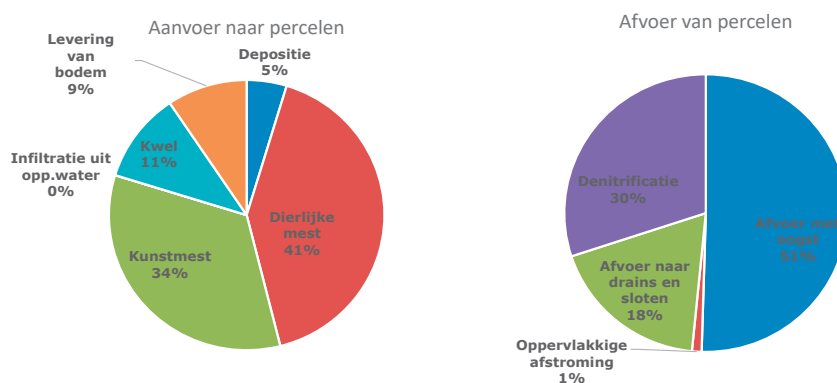
Berekend is dat gemiddeld over 2020 en 2021 de gebiedsgemiddelde afvoer bijna 600 mm/jaar zou bedragen. Meer dan de helft is afkomstig van de kwel in het gebied. Voor de periode dat ook afvoermetingen beschikbaar (19 februari tot en met 31 dec 2021) waren, is met het model berekend dat circa 5,4 miljoen m³ wordt afgevoerd. Dat is ongeveer 35% meer dan de afvoermetingen aangeven. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door een te hoge inschatting van de kwelfluxen. Volgens het waterschap is in het AZURE-model de kwel vrij onzeker, met name ten aanzien van de fluxen die uittreden in de tochten die vrij diep insnijden in de deklaag dan wel in contact staan met het 1e watervoerende pakket.

4.5.1 Modelresultaten stikstof

Het ANIMO-model is toegepast voor het simuleren van de organischestof-, stikstof- en fosforkringloop. Voor het onderzoek van de KennisImpuls Waterkwaliteit is de balans van stikstof het relevantst (figuur 4.27 en tabel 4.2). Bij de berekening van de aanvoer van stikstof met dierlijke mest is de ammoniakvervluchtiging bij uitrijden al verdisconteerd met de gift. Deze aanvoerterm betreft dus de netto bodembelasting.

FIGUUR 4.27

Verdeling van termen in de gebiedsgemiddelde stikstofbalans in 2021 van de landbouwpercelen in het pilotgebied van de Vuursteentocht.



TABEL 4.2

Gebiedsgemiddelde stikstofbalans in 2021 van de landbouwpercelen in het pilotgebied van de Vuursteentocht.

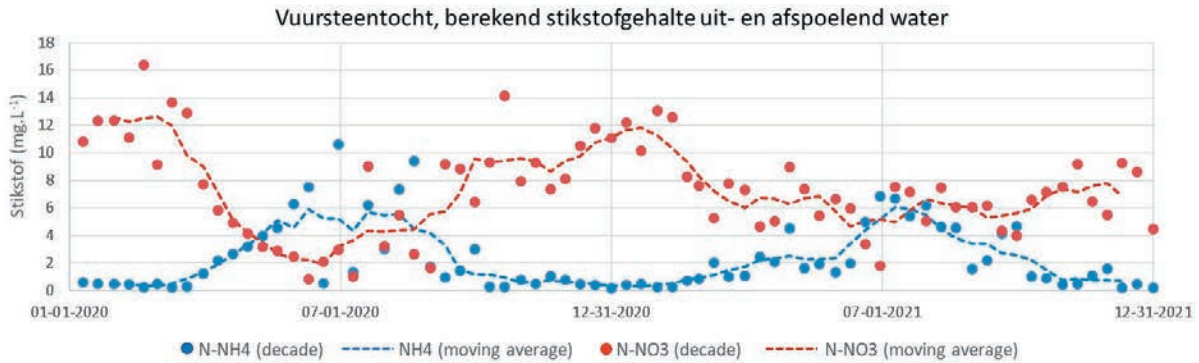
Aanvoer naar percelen	(kg/ha)	Afvoer van percelen	(kg/ha)
Depositie	15.1	Afvoer met oogst	162.8
Dierlijke mest	133.5	Oppervlakkige afstroming	3.5
Kunstmest	108.7	Afvoer naar drains en sloten	59.3
Infiltratie uit opp.water	0.0	Denitrificatie	96.9
Kwel	34.8		
Levering van bodem	30.4		
Totaal	322.6		322.6

Berekend wordt dat met dierlijke mest (na aftrek van ammoniakvervluchtiging) en kunstmest gebiedsgemiddeld 242 kg/ha stikstof wordt gegeven. Dit getal is afgeleid uit een berekening met het bemestingsmodel Initiator, waarin de gebruiksnormen van het 6^e Actieprogramma Nitraat als uitgangspunt zijn genomen. Resultaten van een gebiedsspecifieke inventarisatie van bemestingsniveaus zouden mogelijk tot een bijstelling van de modelresultaten kunnen leiden. Met kwel wordt ca. 35 kg/ha naar de bodem aangevoerd. Dit vormt bijna 60% van de stikstofafvoer naar drains en sloten. Na de afvoer met de oogst (163 kg/ha) is denitrificatie de grootste afvoerpost van stikstof uit de bodem. Ondanks de aanzienlijke waterafvoer door oppervlakkige afstroming (ca. 50 mm/jr.) is de afvoer van stikstof via deze route klein, omdat de N-concentraties in het afgestroomde water doorgaans laag zijn.

Het berekende concentratieverloop van stikstof is weergegeven in [figuur 4.28](#). Dit verloop betreft de gebiedsgemiddelde concentraties van het uit- en afspoelende water van de percelen.

FIGUUR 4.28

Gebiedsgemiddeld nitraat- en ammoniumgehalte uit- en afspoeling berekend met SWAP-ANIMO.



In [figuur 4.28](#) is te zien dat het seizoensritme van nitraat (hoog in de winter) en ammonium (hoog in de zomer) wordt gesimuleerd. De nitraatconcentraties zijn wat hoger dan de metingen aangeven. In gesimuleerde waarden is geen rekening gehouden met retentie in het oppervlaktewater. Echter, in de winter is de retentie van nitraat in het oppervlaktewater waarschijnlijk laag.

4.5.2 Discussie modelresultaten

Uit de monitoring volgt dat het water in de sloten en drains vrij hoge nitraatgehalten bevat en geen ammonium en dat in de tochten zowel nitraat als ammonium voorkomt. In de zomer bevat het water in de tochten vooral ammonium door de ammoniumrijke kwel, in het winterhalfjaar vooral nitraat. Met het model en de toegepaste schematisering zijn we in staat deze patronen vrij goed te simuleren. Wel wordt de totale waterafvoer nog te hoog berekend. Dit komt waarschijnlijk doordat gebiedsgemiddeld een te hoge kwelflux (ontleend aan het AZURE-model) is aangenomen.

In de modellering is een landelijke versie van het ANIMO-model toegepast, dat wil zeggen dat met tijdstappen van tien dagen is gerekend. Dat is te grof voor het simuleren van de fijne dynamiek in de metingen. Daarnaast is gerekend met gangbare bouwplannen waarbij het grondgebruik sterk is geschematiseerd tot zes hoofdtypen. In de veronderstelde bouwplannen is geen rekening gehouden met de gewasafvoeren en gewas-specifieke mestgiften. Om deze aspecten verder te verfijnen, zou een grote inspanning geleverd moeten worden ten aanzien van de inventarisatie van mestgiften en gewasopbrengsten per perceel. Een dergelijke verfijning lag niet in het bestek van dit project.

Voor de landelijke modellering met het LWKM kan een belangrijke conclusie worden getrokken ten aanzien van de parameterinstellingen van de doorstroomde diepte van water dat naar drainbuizen stroomt. Deze diepte is minder groot dan in de landelijke modellen STONE en LWKM-ANIMO wordt berekend en/of wordt verondersteld. De aanname (bijstelling) van de maximaal doorstroomde diepte van het grondwater naar de drainagebuizen en de sloot kan verder worden onderbouwd bij een verdere voortzetting van de monitoring over een langere periode. Daarbij wordt aangetekend dat een bijstelling van de parametrisering van de doorstroomde diepte het best kan plaatsvinden in samenhang met de aannames voor de kweldruk.

Omdat dit aspect van een kleinere doorstroomde diepte ten opzichte van de landelijke defaultwaarde ook naar voren komt in het model dat voor de Vinkenloop is opgezet (zie [hoofdstuk 3](#)), wordt aanbevolen om de consequenties hiervan te onderzoeken, met name met betrekking tot modelberekeningen om de effectiviteit van maatregelen om de uitspoeling te beperken, inclusief de responstijd (het aantal jaren na een ingreep waarbij het grootste deel van het effect is opgetreden).

►► 5 DISCUSSIE RESULTATEN METEN-MODELLEREN PILOTS

5.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de metingen en modellering geëvalueerd. Eerst wordt in [paragraaf 5.2](#) een kort overzicht gegeven van de ervaringen die zijn opgedaan met de gebruikte meetmethoden en hoe in andere gebieden de monitoring ingevuld zou kunnen worden. Vervolgens wordt in [paragraaf 5.3 tot en met 5.6](#) per pilotgebied een synthese gegeven van de inzichten die met de metingen zijn verkregen en wordt mede op basis van de modelleringen een conceptueel model gepresenteerd en daarbij de inzichten in bronnen, routes en herkomst van nutriënten. In [paragraaf 5.7](#) worden in een samenvattende discussie de onderzoeksvragen uit de introductie beantwoord.

5.2 EVALUATIE MEETMETHODEN

[Tabel 5.1](#) geeft op hoofdlijnen een reflectie op de monitoringsmethoden die zijn ingezet op stroomgebiedsniveau (5.1a) en perceelniveau (5.1b).

De meeste methodes voldeden aan de doelen waarvoor deze waren ingezet. Alleen de inzet van de SorbiCells voldeed niet aan het doel, omdat het merendeel van de meetresultaten niet correct was. De opgedane ervaring met de nieuwe meetmethoden is waardevol bij het voortzetten van de monitoring in de pilots en de inzet van de metingen in andere gebieden. En vanuit de opgedane ervaring is een handreiking opgesteld voor gebiedsspecifieke monitoring van nutriënten (Deltafact “Handreiking gebiedsgerichte monitoring nutriëntenverliezen vanuit de landbouw”).

Omdat het ondoenlijk is om in alle probleemgebieden een vergelijkbare intensieve gebiedsgerichte monitoring op te zetten, kunnen bouwstenen zoals weergegeven in [figuur 5.1](#) helpen om te bepalen welke meetstrategie voor de waterkwaliteit past bij het gebied. De criteria in deze beslisboom zijn a) de omvang van de KRW-opgave voor landbouw, b) de betrokkenheid en bereidheid van agrariërs om gebiedsgerichte maatregelen te nemen, c) het proces dat hiervoor vanuit het DAW is/wordt ingezet en d) of het gebied zich leent om te dienen als pilot voor gebiedsgerichte aanpak van nutriënten in landelijk gebied (zoals hier de Vuursteentocht en Vinkenloop). Voor gebiedsgerichte monitoring is het van belang dat het deelstroomgebied waterhuishoudkundig gezien relatief afgebakend is, dus met een beperkt aantal in- en uitstroompunten.

FIGUUR 5.1

Voorbeeld van bouwstenen voor een meetstrategie die, afhankelijk van de monitoringsdoelen, al dan niet gecombineerd kunnen worden (Bron: Deltafact Handreiking Gebiedsgerichte Monitoring nutriëntenverliezen uit de landbouw).

Basis voor water- en stoffenbalans	Betrokkenheid agrariërs	Ondersteunen GAW & DAW-UP's	Pilot (leren, onderzoekspilot)
<ul style="list-style-type: none">• Debieten in- en uitstroom• 2x/maand bemonstering	<ul style="list-style-type: none">• Routings in sloten en beeklopen• Participatieve monitoring met inzet Nitraat-app en/of andere metingen	<ul style="list-style-type: none">• Bedrijfsinformatie (teelt, mestgift, gewasafvoer,...)• Routings (verzamel)drains percelen	<ul style="list-style-type: none">• Continu metingen• Metingen kwaliteit (water)bodem en grondwater

Vanuit het hier beschreven monitoringsonderzoek is ook een Deltafact opgesteld die een handreiking biedt voor het opzetten van gebiedsgerichte monitoring van nutriëntenverliezen uit de landbouw (<https://www.stowa.nl/deltafacts>). Hierin wordt - naast de verschillende meettechnieken voor het detecteren van bronnen, routes, hotspots en hot moments - ingegaan op de combinatie van meten en modelleren, de monitoringscyclus en meetstrategieën voor gebiedsgerichte monitoring.

TABEL 5.1A

Evaluatie resultaten monitoring die is ingezet op stroomgebiedsniveau.

Stroomgebiedsniveau	Doelen	Evaluatie
Continue metingen uitstroompunt	<ul style="list-style-type: none"> • korte termijn dynamiek in beeld (hot moments) • betrouwbare vrachtschattingen • kwantificeren balansposten en processen (uitspoeling, kwel, retentie) • testen meettechnieken 	<ul style="list-style-type: none"> • levert waardevolle meetreeksen en inzichten (pieken, reactietijden, basisafvoer, puntlozingen). Belangrijke processen en vrachten komen daarmee kwantitatief in beeld • soms storingen (veel sediment, ijzerneslag) • relatief duur (niet overal inzetbaar) • Maandelijks onderhoud sensoren nodig
Stroomgebied routings 4x/jaar (Nitratapp, EC & tempsensor)	<ul style="list-style-type: none"> • hotspots nitraatverliezen • ruimtelijke verschillen kwel • inzicht in routes 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruimtelijke variaties/hotspots snel en relatief goedkoop in beeld • Nuttig in communicatie agrariërs en DAW-proces
Passive sampling oppervlaktewater met SorbiCells	<ul style="list-style-type: none"> • tijdsgemiddelde metingen concentratie en vrachtbepaling • testen methodiek 	<ul style="list-style-type: none"> • geen goede metingen, o.a. door te snelle verzadiging van de sorbent (gel)
Remote Sensing (satellietbeelden)	<ul style="list-style-type: none"> • detectie onbedekte percelen, plassen en kale plekken op percelen 	<ul style="list-style-type: none"> • geeft goed inzicht op perceelniveau; eenvoudig opschaalbaar; bij bewolking alleen radar

TABEL 5.2B

Evaluatie resultaten monitoring die is ingezet op perceelniveau.

perceelniveau	Doelen	Evaluatie
drain routings Nitratapp (Vuursteentocht)	<ul style="list-style-type: none"> • samenstelling drainagewater • relatie gewasrotatie met nitraatuitspoeling 	<ul style="list-style-type: none"> • snel, waardevol inzicht, vooral in combinatie met inzicht bodemoverschot op perceelniveau • Uiteinden drainbuizen vaak bedekt (uitgraven nodig, kost veel tijd)
SorbiCells drains, flowcap installatie (Vuursteentocht)	<ul style="list-style-type: none"> • afvoergemiddelde concentraties en vrachten vanuit drains 	<ul style="list-style-type: none"> • geen goede metingen, o.a. door te snelle verzadiging sorbent (gel)
minifilterputten (Vinkenloop)	<ul style="list-style-type: none"> • concentratie-diepteprofielen • inzicht in uitspoeling- versus achtergrondconcentraties • redox-overgang, denitrificatie 	<ul style="list-style-type: none"> • concentratie-diepteprofielen waardevol voor systeembegrip en interpretatie waterkwaliteit, parametrisatie-modellen
bodemvocht en EC-sensoren (Vinkenloop)	<ul style="list-style-type: none"> • dynamiek perceeluitspoeling en bodemvocht in beeld 	<ul style="list-style-type: none"> • goedkope manier om vanuit continue meetreeksen uitspoelings-events nitraat af te leiden
Electrical Resistivity Tomography (ERT) (Vinkenloop)	<ul style="list-style-type: none"> • continue 3D-meting van nitraatuitspoeling • testen methodiek 	<ul style="list-style-type: none"> • geeft duidelijk visueel beeld van uitspoeling in een dwarsdoorsnede (incl. heterogeniteit); kabels kapot gereden: dieper aanleggen
N-isotopen (Vinkenloop)	<ul style="list-style-type: none"> • Bevestigen of uitsluiten dominante stikstof bronnen en achtergrondconcentraties • aantonen denitrificatie en ammonificatie • meten atmosferische N-input 	<ul style="list-style-type: none"> • kan herkomst stikstof mee worden afgeleid bewijzen; denitrificatie duidelijk aantoonbaar en achtergrondconcentraties aantoonbaar • niet alle bronnen te onderscheiden • specifiek doel en hypothese systeemwerking noodzakelijk voor effectieve inzet

5.3 SYNTHESE METINGEN IN DE VINKENLOOP

De volgende opsomming geeft kort de belangrijkste en opvallendste resultaten en inzichten die uit de metingen in de Vinkenloop naar voren zijn gekomen:

- De routings geven inzicht in welke percelen sterk bijdragen aan de nitraatbelasting van oppervlaktewater. Er zijn namelijk enkele duidelijke hotspots voor nitraatuitspoeling aan te wijzen, te relateren aan uitspoelingsgevoelige teelten (vooral bloembollen (lelies), in mindere mate vollegrondsgroente en aardappels).
- NH_4 -metingen in het oppervlaktewater en ijzeroxideneerslag in de watergangen wijzen duidelijk op invloed van uittredend gereduceerd grondwater. De herkomst van de kwel is voornamelijk lokaal (binnen het freatische watervoerende pakket in het stroomgebied), want de kleilaag op 10-20 m diepte is zo dik en ondoorlatend dat er geen kwel vanuit diepere watervoerende lagen optreedt en de zijdelingse toestroming in het freatische pakket van hoger gelegen delen buiten het pilotgebied zal waarschijnlijk beperkt zijn, omdat het doorlatende vermogen (kD-waarde) van het freatische pakket niet groot is.
- Beregening en flinke buien in het voorjaar en begin van de zomer in 2021 gaf op het lelieperceel drainafvoer met hoge nitraatconcentraties. Het beregeningswater (toegepast voor het droge voorjaar én voor nachtvorstbescherming) kwam deels uit grondwater en deels uit slootwater en bevatte zelf ook nitraat ($\sim 8 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$). Reguliere beregening uit een horizontale put op 8 m diepte bevat geen nitraat, maar wel ammonium ($\sim 1,5 \text{ mg/L NH}_4\text{-N}$). Het infiltrerende beregeningswater kan ook nitraat opnemen uit de bodem.
- Visueel is regelmatige oppervlakkige afstroming waargenomen, bijvoorbeeld na de sneeuwmelt in februari 2021. Bij routings is gemeten dat dit water geen nitraat bevat en een lage EC heeft. Oppervlakkige afstroming of plaswater is nog niet bemonsterd voor analyse van andere componenten. De bijdrage van de route 'oppervlakkige afstroming' aan de totale nutriëntenuitspoeling is niet experimenteel vastgesteld, maar is naar verwachting gering.
- Uit een spoelboring ter plaatse van het proefperceel is indicatief aangetoond dat de kleilaag (Formatie van Breda) op zo'n 10 à 15 m -mv ligt. De ERT-metingen bevestigen deze diepteligging (ca. 12 m). Doordat in het gebied zijbreuken van de Peelrandbreuk lopen, is het aannemelijk dat deze diepteligging binnen het pilotgebied varieert en in het westelijk deel wat dieper ligt.
- In de continue concentratiedata is het signaal van snelle routes, uitspoeling, kwel en opwerveling van slib in de watergangen zichtbaar. De snelle routes zorgen voor ammoniumpieken, terwijl de opwerveling van sediment voor fosforpieken zorgt. De nitraatconcentraties nemen vooral na buien toe door meer afvoer van nitraatrijk grondwater. De schatting van de totale stikstofvracht op basis van de continue metingen (19 feb-31dec 2021) komt uit op ca. 5,8 ton (18 kg/dag; 30 kg/ha). Van deze totaal-stikstofvracht is ca. 57% in de vorm van nitraat, ca. 19% in de vorm van ammonium en ca. 25% in de vorm van organisch N. De totale fosforvracht is ingeschat op 228 kg (ca. 0,72 kg/dag; 1,2 kg/ha).
- Uit dag-nachtritmes in de continue metingen kan een indicatie worden verkregen over de stikstofopname en -afbraak. In het voorjaar en in de zomer wordt ongeveer 6% van het N-totaal opgenomen of afgebroken. Omdat dit in periodes met lage afvoeren plaatsvindt, is de invloed op de vrachten beperkt.

Metingen onder Lelieperceel:

- Hier zijn extreem hoge nitraatconcentraties gemeten. De nitraatconcentratie in het najaar na het eerste teeltjaar (2020) bedroeg meer dan 500 mg/L NO_3 , tijdens het tweede teeltjaar ook hoge nitraatconcentraties ($>100 \text{ mg/L NO}_3$). Nitraatuitspoeling vindt ook plaats in voorjaar/zomer onder invloed van intensieve beregening en hevige neerslag.
- De concentraties in het grondwater, bodemvocht en drains vertonen een grote variatie over kleine afstanden. Nitraatconcentraties in de bovenste 20 cm grondwater varieerden in februari 2021 van 0-120 $\text{mg NO}_3/\text{l}$ over een afstand van 10 m.
- Nitraat wordt in het freatische pakket deels afgebroken door denitrificatie onder invloed van sedimentair organisch materiaal. Op ca. 4-5 m-mv is het grondwater anaeroob, vanaf die diepte is er geen nitraat meer aanwezig. Door de denitrificatie neemt vooral de alkaliteit toe (HCO_3). Het anaerobe grondwater bevat ammonium, maar deze concentraties zijn niet hoog.

Metingen onder aangrenzend Cichoreiperceel:

- Na de teelt met zilverui en x-beet is veel nitraat uitgespoeld. De gemeten concentratie in het bovenste grondwater bedroeg ca. 220 mg/L NO_3 . Tijdens de teelt van cichorei was de nitraatuitspoeling veel lager en bedroeg de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater ca. 50 mg/L NO_3 .

- Denitrificatie treedt al ondieper op een diepte van 1-3 m op onder invloed van sedimentair organisch materiaal. Vanaf deze diepte is geen nitraat aangetroffen, maar wel ammonium als gevolg van anaerobe mineralisatie of ammonificatie van nitraat.

Metingen drains onder lelie+cichorei:

- De drains ontvangen water dat infiltreert in het deel waar de lelies worden geteeld en in het deel waar cichorei wordt geteeld. Gelet op het areaal van beide teelten is de invloed van de lelieteelt groter.
- Omdat er in het traject naar de drains sprake is van enige denitrificatie, zijn de concentraties lager dan van het bovenste grondwater. Het nitraatconcentraties in de drains bedroegen circa 40 mg/L NO_3 (spreiding 18-79 mg NO_3 /L) en het ammonium concentratie ongeveer 0,30 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$ (spreiding: 0,04-0,5 mg/L). Door de denitrificatie zijn de bicarbonaatconcentraties relatief hoog.

Invloed droge jaren Vinkenloop:

- Er waren enkele droge jaren voorafgaand aan de metingen. Grondwaterstanden waren daardoor eind 2020 nog lager dan normaal. Hierdoor was er waarschijnlijk sprake van relatief veel mineralisatie en weinig verdunning en waren de gewasopbrengsten wat lager dan normaal, leidend tot hoge N-overschotten.

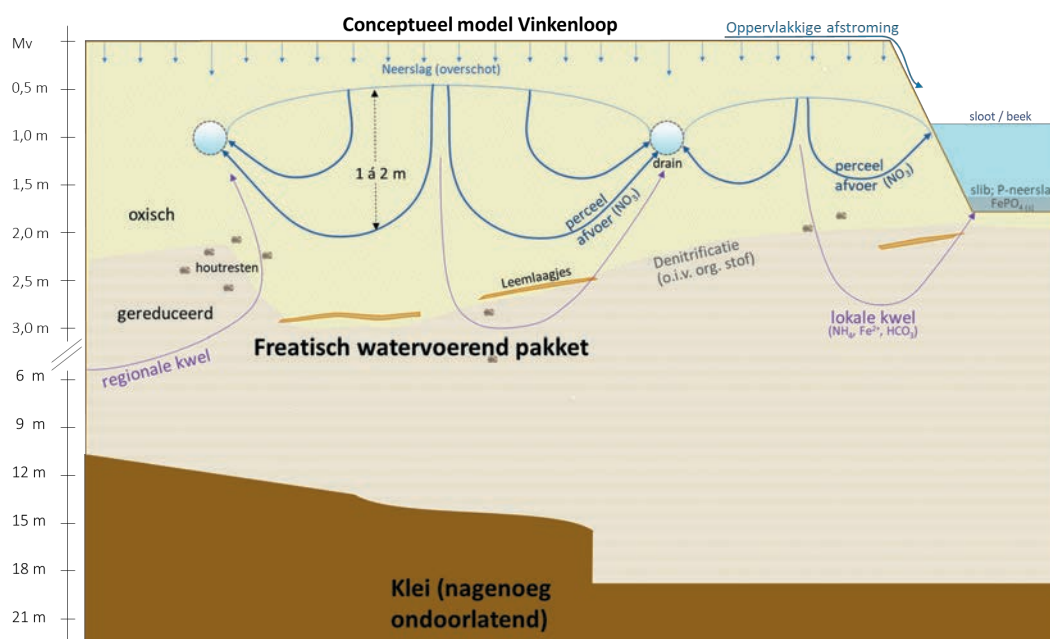
5.4 BRONNEN EN ROUTES VINKENLOOP:

Vanuit de monitoring, veldbezoeken en data driven modellering is voor het stroomgebied van de Vinkenloop een conceptueel model opgezet. Dit is weergegeven in [figuur 5.2](#). In het conceptuele model worden in de dwarsdoorsnede de bodemopbouw, de transportroutes naar de drains en watergangen weergegeven en de voor nitraatreductie bepalende redoxovergang. Het conceptuele model is getoetst en nog verfijnd op basis van de kalibratie en validatie van de procesmodellering met SWAP-ANIMO.

In het navolgende wordt nader ingegaan op de inzichten die verkregen zijn over de routes en herkomst. Hierbij moet worden bedacht dat deze inzichten gebaseerd zijn op een nog relatief korte periode van monitoring (najaar 2020-2021) en dat de procesmodellering nog op onderdelen verfijnd en verbeterd kan worden.

FIGUUR 5.2

Conceptueel model van de water- en stikstofstromen naar de Vinkenloop.



Transportroutes Vinkenloop:

Grondwaterstroming naar drains, greppels en sloten: Uitspoeling naar het oppervlaktewater vindt vooral plaats vanuit de bovenste (2-3) meters in het bodemprofiel. Dit blijkt duidelijk uit het model, want anders kunnen de hoge NO_3 -concentraties in het oppervlaktewater niet worden verklaard. Kwel door de klei van Breda speelt waarschijnlijk geen rol en de invloed van regionale kwel die afkomstig is van buiten het pilotgebied heeft waarschijnlijk weinig invloed op de water- en stoffenbalans. In het zomerhalfjaar levert lokale kwel een significante bijdrage aan de belasting van het oppervlaktewater. Dit blijkt uit de metingen op stroomgebied- en perceelniveau en volgt ook uit de SWAP-ANIMO-modellering.

Hotspots: Onder percelen met uitspoelingsgevoelige teelt (lelie grootste) zijn gedurende de meetperiode (okt 21-dec 22) zeer hoge concentraties in grondwater (tot > 400 mg/L NO_3) en drainwater gemeten (tot 80 mg/L NO_3). Dit komt naar voren uit de perceelmonitoring én uit de routings in de sloten en beekloop. Ook zijn er diverse vollegrondsgroenten (spinazie, zilverui e.d.) en aardappels, waarvan aangenomen wordt dat deze uitspoelingsgevoelig zijn. Dit komt in de monitoring tot uitdrukking in de routings.

Hot moments: Na buien worden steeds verhoogde NO_3 -concentraties in het uitstroompunt gemeten. Dat zou je niet hebben als er veel nitraat in het diepere grondwater zit. Ook zijn uit de lelie-cichorei-percelen hoge NO_3 -concentraties gemeten in het late voorjaar van 2021. Volgens bodemvochtsensoren hebben intensieve beregening en zomerbuien geleid tot uitspoeling van nitraat naar het grond- en oppervlaktewater (via drains). Bij hevige buien zijn ook pieken gemeten van tot-P, dit komt door opwerveling van met fosfor opgeladen slib in de watergangen. Er zijn ook NH_4 -pieken gemeten (in winter tot 20 mg NH_4 /L, vooral eind 2021 en begin 2022). De pieken zijn duidelijk te relateren aan regenbuien (dus korte emissieroute), maar niet aan een concrete bron.

Mogelijke bronroute-oorzaken zijn uit- en afspoeling vanaf de percelen via snelle routes. De bodempassage en reistijd zijn dan waarschijnlijk te gering voor nitrificatie. Mogelijk kunnen pieken ook voortkomen uit erfafspoeling en komt er bij opwerveling van de waterbodem ook wat NH_4 vrij, hoewel er geen ammoniumpiek was na de stuwproef waarbij veel slib werd getransporteerd. Er is in december 2021 ook een hoge piek in P gemeten, waarbij ook de concentratie zuurstof naar nul daalde. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan een puntlozing. In de weken daarna traden bij elke bui hoge NH_4 -pieken op, wat mogelijk nog uitspoeling is van restanten van deze lozing.

Oppervlakkige afstroming: Visueel zijn grote plassen op het land waargenomen, vooral in de winter na veel neerslag en ook direct na de vorstperiode. Ook zijn plassen waargenomen in het voorjaar (eind april) toen er op het lielderpeel veel is beregend (voor droogte en incidenteel nachtvorst). Daar waar de plassen op het land stonden, is veel van dat water afgevoerd naar de sloten via ad hoc gegraven sleuven. Ad hoc zijn met de Nitraatapp op enkele plekken de nitraatconcentraties in de plassen/het afstromende water gemeten, deze waren laag.

Herkomst nutriënten

De volgende bronnen kunnen worden onderscheiden: organische stof, atmosferische depositie, kwel en mestgiften.

Organische stof: In de bovenste decimeters van de bodem is een hoog organischestofgehalte aanwezig (4,2-5,2%). De indruk is dat deze bodemlaag sterk is opgeladen door mestgiften. Aanwijzing daarvoor is dat de stikstofisotopenverhouding in bodem en drijfmest nagenoeg gelijk is. Dieper in het bodemprofiel bevindt zich vanaf wisselende diepte sedimentair (prehistorisch) organisch materiaal, op sommige plaatsen in de vorm van (grove) houtresten. Van oorsprong is het een moerasig gebied met wijd; er loopt een breukzone in Noord-Zuidrichting ongeveer ter hoogte van de Vinkenloop. Sedimentair organisch materiaal (op diepte) is zowel een sink als source:

- Sink: door denitrificatie (onder invloed van org. stof) verdwijnt nitraat dat wordt omgezet in stikstof gas ($\text{N}_{2(\text{g})}$) en lachgas ($\text{NO}_{(\text{g})}$).
- Source: door mineralisatie (oxidatie organische stof) ontstaat ammonium (NH_4) en door denitrificatie ontstaat waterstofcarbonaat (HCO_3) met zuur bufferende werking.

De N-isotopensamenstelling van de bouwvoor lijkt veel op die van dierlijke mest. Dit volgt ook uit de literatuur. Met het isotopenonderzoek is derhalve geen onderscheid te maken tussen uitspoeling door mineralisatie en uitspoeling van historische mestgiften. Voor stikstof is in de regel historische bemesting (ouder dan 5 jaar) een kleine post in de totale uit- en afspoeling. Zeker in de Vinkenloop is uitspoelend nitraat binnen vijf jaar ofwel afgevoerd via het oppervlaktewater, ofwel gedenitrificeerd in het grondwater.

Atmosferische depositie: Voor de modelstudie is gebiedsgemiddeld een depositie aangenomen van 22 kg N/ha. Met het isotopenonderzoek is dit vastgesteld op ca. 25-30 kg N/ha, waarvan ca. 20 kg N-NHx/jaar. De stikstofdepositie in het gebied is gemiddeld relatief gering ten opzichte van de mestgiften (ca. 10%).

Kwel: Inzicht in kwel- en wegzijgingsfluxen zijn ontleend aan het GRAM-model (Bos-Burgering en Hunnink, 2021). Kwel is afkomstig uit de hogere delen binnen of net buiten het stroomgebied van de Vinkenloop. Er is geen sprake van aanvoer van grondwater over grotere afstanden (kilometers). In de nattere delen is volgens dit model de kwel ca. 0,5 mm/d, in de droge delen is wegzijging 1 mm/d. Regionale kwel heeft geen belangrijke bijdrage in de waterbalans. Afgaande op het grondwatermodel zou dit in de orde van ca. 30 à 40 mm zijn, maar dit lijkt vanuit de SWAP-ANIMO modellering nog een overschatting. De N-concentratie van het kwelwater wordt, afgaande op de grondwaterkwaliteit op 6 m diepte, ingeschat op 1 mg/L NH₄. De stikstofvrachten van kwel zijn daarmee gering ten opzichte van de totale uit- en afspoeling.

Mest: Gebiedsgemiddeld zijn de mestgiften op de percelen ingeschat op 241 kg N/ha. Op het cichoreiperceel is in 2021 vooral drijfmest toegepast, in totaal ca. 135 kg N/ha. De drijfmest bestaat voor ongeveer de helft uit organische N en voor de andere helft uit ammonium. Kunstmest is hier vrijwel niet toegepast. Op het lelieperceel is in 2021 juist alleen kunstmest toegepast. Qua totale N-gift is dit vergelijkbaar met de gift op het cichorei, maar kunstmest bevat in tegenstelling tot drijfmest nitraat (circa 25%).

Afvoer van het gewas: Met het project SGB zijn de gewasafvoeren geïnventariseerd in termen van massa (kg). De nutriëntsamenstelling hiervan is niet bepaald. Dit zou geschat kunnen worden op basis van literatuur, maar deze schattingen zijn behoorlijk onzeker, omdat er in het gebied veel bijzondere gewassen worden geteeld (lelies, cichorei, graszoden, spinazie). In de modelstudie met SWAP-ANIMO is een gewasafvoer berekend van 172 kg N/ha.

Stikstofbodembalans: De totale stikstofbelasting van de landbouwbodems is in de modelstudie (SWAP-ANIMO) berekend op 277 kg N/ha. De mestgiften leveren hierin verreweg de grootste bijdrage (87%). Naast de bemesting worden de bodems van de percelen belast met depositie (8%), bodemnalevering (12 kg N/ha ofwel 4,4%) en lokale kwel (< 1%). De mestgiften zijn derhalve de belangrijkste bron van de stikstof die af- en uitspoelt naar het watersysteem. Volgens de modelstudie spoelt ongeveer 10% van de stikstofbelasting af en uit naar het oppervlaktewater. Met de gewassen wordt 62% van de stikstof afgevoerd. Met denitrificatie verdwijnt volgens de modelstudie 22% en via vervluchtiging circa 6%.

5.5 SYNTHESE METINGEN IN DE VUURSTEENTOCHT

De volgende opsomming geeft kort de belangrijke en opvallende resultaten en inzichten die uit de metingen in de Vuursteentocht naar voren zijn gekomen:

- Hoge nitraatconcentraties zijn gemeten in enkele kavelsloten die afwateren op de Overijsselse tocht (zuidoosten) en in het noorden in enkele kavelsloten die afwateren op de Vuursteentocht.
- In natte perioden komt nitraat via drains en kavelsloten in de tochten (5 à 15 mgN-NO₃/L).
- In natte perioden zijn ook plassen op land en oppervlakkige afstroming waargenomen. Dit afstromende water bevatte weinig nitraat.
- Er waren onafgedekte mesthopen op enkele percelen. Oppervlakkig afstromend water rond deze hopen bevatte zeer hoge nitraatconcentraties (>50 mg/L).
- In sloten vanuit een onbemest deel tussen het spoor en de N307 is weinig/geen nitraat gemeten.
- In droge perioden was er niet of nauwelijks drain- en slootafvoer, en het water dat dan werd afgevoerd bevatte lage NO₃-concentraties. De verklaring hiervoor is dat in zulke perioden door de lage afvoeren meer retentie optreedt waarbij

nitraat in het oppervlaktewater wordt afgebroken (denitrificatie) en/of opgenomen door waterplanten.

- Het aandeel kwelwater dat via drains en kavelsloten wordt afgevoerd, is beperkt. De kwel trekt voornamelijk direct naar de tochten. De waterbodemplaat van de tochten ligt (net) in het zandpakket onder de klei/veen deklaag.
- De Overijsselse tocht wijkt qua samenstelling en temperatuur af van de Vuursteentocht. Waarschijnlijk komt dit door de geringere diepte. In de continue concentratiedata is de dynamische menging van kwelwater (nitraatloos, ammoniumrijk) en ondiep en lateraal (nitraatrijk, ammoniumarm) uitspoelend water zichtbaar (aangeduid als perceel afvoer in [figuur 5.3](#)). Na buien neemt de nitraatconcentratie toe en de ammoniumconcentratie af. De schatting van de totale stikstofvrucht komt uit op ca. 39 ton (124 kg/dag; 30 kg/ha). Van deze totaal-stikstofvrucht is ongeveer 57% in de vorm van nitraat, 33% in de vorm van ammonium en 10% in de vorm van organisch stikstof. De totale fosforvrucht voor 19 februari tot en met 31 december 2021 is ingeschat op 335 kg (ca. 1,06 kg/dag; 0,25 kg/ha).
- Uit dag-nachtritmes in de continue metingen is de retentie door stikstofopname en -afbraak te kwantificeren. In het voorjaar en in de zomer wordt ongeveer een kwart van het ammonium op deze manier omgezet of opgenomen. Omdat dit in periodes met lage afvoeren plaatsvindt, is de invloed op de vruchten beperkt.
- De nitraatconcentraties hangen sterk af van de gewassen die werden geteeld. Hoge concentraties na de teelt van aardappels en zaaiuien, wat lagere concentraties na wintertarwe en de laagste concentraties na suikerbieten. Dit hangt enerzijds nauw samen met de stikstofoverschotten op de bodembalans, anderzijds met de timing van de mestgiften (veel uitspoeling bij mestgiften na de oogst).
- Er zijn hoge sulfaatconcentraties gemeten, hetgeen een aanwijzing is voor het optreden van denitrificatie door pyrietoxidatie.

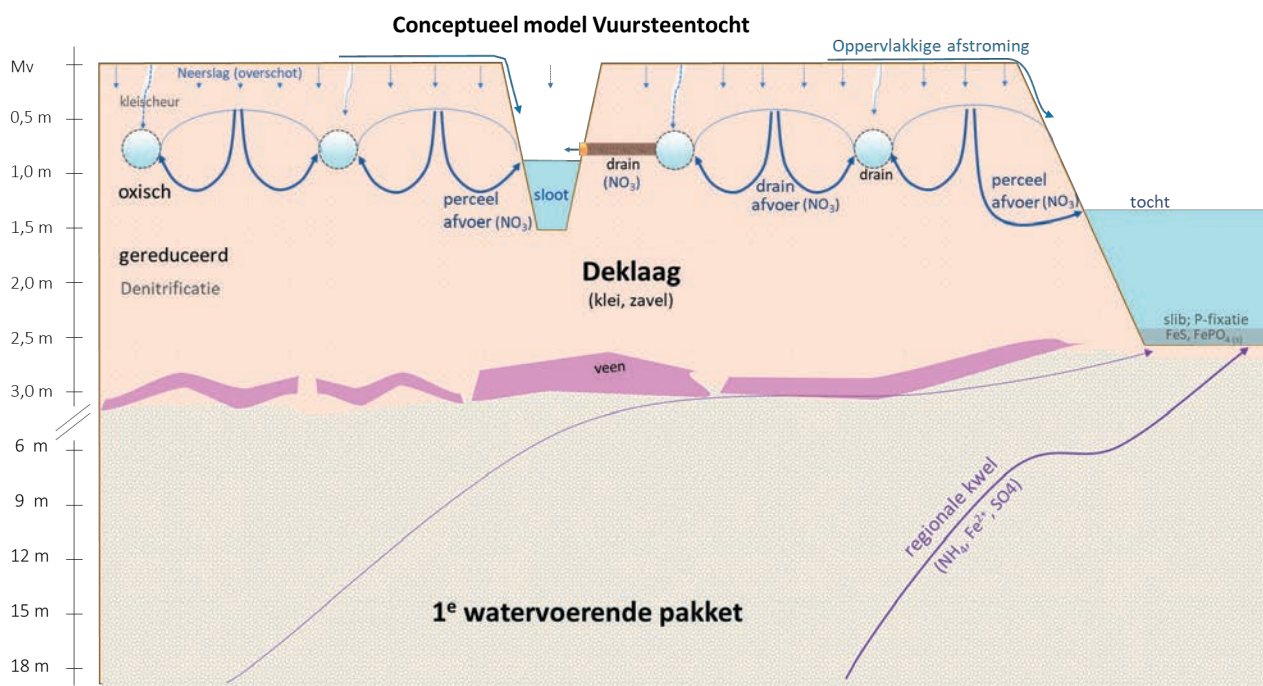
5.6 BRONNEN EN ROUTES VUURSTEENTOCHT

Conceptueel model Vuursteentocht

Vanuit de monitoring, veldbezoeken en data driven modellering is voor het stroomgebied van de Vuursteentocht (analoog aan de Vinkenloop) een conceptueel model opgezet. Dit is weergegeven in [figuur 5.3](#). Het conceptuele model is getoetst en nog verfijnd op basis van de kalibratie en validatie van de procesmodellering met SWAP-ANIMO.

FIGUUR 5.4

Conceptueel model van de water- en stikstofstromen naar de Vinkenloop.



In het navolgende wordt nader ingegaan op de inzichten die verkregen zijn over de routes en herkomst. Hierbij moet worden bedacht dat deze inzichten gebaseerd zijn op een nog relatief korte periode van monitoring (najaar 2020-2021) en dat de procesmodellering nog op onderdelen verfijnd en verbeterd kan worden.

Transportroutes Vuursteentocht

Grondwaterstroming naar drains, sloten en tochten: In droge perioden weinig drain- en slootafvoer, met lage NO_3 -concentraties. De buisdrains blijven na een bui wel vrij lang water afvoeren. Oude buisdrains voeren minder water af dan nieuwe, de concentraties zijn wel ongeveer hetzelfde. In natte perioden spoelt nitraat via de drains uit naar de sloten. Waarschijnlijk spelen ook kleischeuren een drainerende rol (preferente infiltratie naar de drains). Hierdoor treden na buien snel nitraatpieken op in het oppervlaktewater. Het aandeel kwelwater dat via drains wordt afgevoerd, is beperkt (afgaande op de lage NH_4 -concentraties), de kwel trekt voornamelijk direct naar de tochten.

Hotspots: De monitoring (routings e.a.) levert ten opzichte van de Vinkenloop een vrij diffuus beeld; er is veel variatie in de gemeten concentraties van de kavelsloten. Wel zijn er enkele hotspots met concentraties >20 mg/L NO_3 -N. Het zijn percelen met gebruikelijke gewassen (dus geen bollenteelt of andere heel specifieke tuinbouwgewassen). Er waren onafgedekte mesthopen (vaste mest, bv. stalmest met stro) op enkele percelen. Handmatige bemonsteringen tijdens routings gaven aan dat het percolaat van de mesthopen zeer veel nitraat bevatte (> 50 mg/L NO_3 -N). Volgens het waterschap mogen deze mesthopen bij opslag korter dan twee weken onbedekt zijn, maar mag er geen percolaatwater in de sloot stromen.

Hot moments: In natte perioden komt nitraat via drains en kavelsloten in de tochten terecht wat voor concentratiepieken tot 13 mg/L NO_3 -N bij het uitstroompunt zorgde). Tijdens het maaien van tochten is een duidelijke piek van fosfor gemeten en daarbij een zuurstof-dip. Dit ging niet gepaard met een piek van ammonium of nitraat. Er is in mei 2021 bij het uitstroompunt van de Vuursteentocht wel een korte piek in de ammonium concentraties gemeten in combinatie met nitraat (symmetrisch). Dit kan waarschijnlijk toegeschreven worden aan een puntlozing van drijfmest in een sloot, mede omdat in het veld een restant in de sloot zichtbaar was.

Oppervlakkige afstroming: In natte perioden zijn plassen op land en oppervlakkige afstroming visueel waargenomen. Bij metingen tijdens routings bleek deze oppervlakkige afstroming weinig nitraat te bevatten.

Herkomst nutriënten Vuursteentocht

De volgende bronnen zijn te onderscheiden: mineralisatie van organische stof, atmosferische depositie, kwel en mestgiften.

Mineralisatie organische stof: In voorgaande modelstudies is berekend dat mineralisatie zowel in de zomer als winter een behoorlijke bijdrage levert aan de uit- en afspoeling ($> 20\%$). Bij rotatie is het N-overschot tijdens bieten heel laag (zelfs uitmijnen, de bieten kregen in verband met de late oogst geen mestgift na de oogst). De concentraties in de drain van NO_3 en NH_4 zijn dan zeer laag. In een sloot die water afvoert van een niet-landbouwstrook (tussen spoor en de weg), zijn alleen heel lage NO_3 (< 1 mg/L) concentraties gemeten. Conclusies: als het aandeel mest in uitspoeling gering is, resteert mineralisatie (en mogelijk een beetje kwel), deze uitspoelterm is beperkt en wordt grotendeels weggenomen door opname of denitrificatie.

Atmosferische depositie: In de modelstudie is een atmosferische depositie aangenomen van 15 kg N/ha. Dit is gering ten opzichte van de mestgift (ca. 5%).

Kwel: Via kwel komt gereduceerd grondwater met ammonium, fosfaat en ijzer (ferro) in het oppervlaktewater. Deze kwel treedt vooral op in de tochten die insnijden door de deklaag. Op het proefperceel is de kwel nagenoeg nihil, de drains en kavelsloten liggen namelijk minder diep dan de tochten. Uit de monitoring volgt dat de kwel uittreedt in de buisdrains en ook niet of nauwelijks in de kavelsloten. Fosfaat wordt bij het uittreden vastgelegd in het slib, omdat het adsorbeert aan ijzer dat bij het uittreden neerslaat als ijzer(hydr)oxides. Ook in de zomer komt fosfor in de waterlopen niet of nauwelijks in oplossing, omdat continu gereduceerd ijzer via de kwel wordt aangevoerd. De zuurstofsensor geeft in de zomer enkele perioden met lage zuurstofconcentraties, maar niet lang genoeg om een zodanig anoxisch milieu te creëren waarbij fosfor loskomt uit de waterbodem.

Mest: In het gebied is de gewasrotatie overwegend aardappel-ui-suikerbiet-granen. In de modelstudie is voor de mestgiften uitgegaan van defaultwaarden per hoofdtype van gewas, hetgeen gebiedsgemiddeld neerkomt op 134 kg/ha dierlijke mest en 109 kg N/ha kunstmest. De mestgiften die uitspoelen, zijn de dominante bron voor stikstof in het winterhalfjaar. Ook in het zomerhalfjaar, zodra bij regenbuien de drains en kavelsloten water afvoeren, zie je nitraatconcentraties bij het uitstroompunt stijgen.

Stikstofbodembalans: De totale stikstofbelasting van de landbouwbodems is in de modelstudie (SWAP-ANIMO) berekend op 323 kg N/ha. De mestgiften leveren hierin de grootste bijdrage (75%). Daarnaast worden de bodems van de percelen belast met depositie en bodemnalevering en vanuit de ondergrond met kwel. De mestgiften zijn derhalve ook hier de belangrijkste bron van de stikstof die af- en uitspoelt naar het watersysteem. Volgens de modelstudie spoelt ongeveer 18% van de stikstofbelasting uit en stroomt 1% oppervlakkig af naar de sloten. Met de gewassen wordt 51% van de stikstof afgevoerd. Met denitrificatie verdwijnt volgens de modelstudie 30%. Vervluchting speelt hier in het akkerbouwgebied geen rol.

5.7 SAMENVATTENDE DISCUSSIE

Het onderzoek in de pilots beoogde de volgende vragen te beantwoorden:

1. Op welke manieren kunnen bronnen en routes van nutriënten op stroomgebiedsschaal in beeld worden gebracht en worden gekwantificeerd zodat inzicht verkregen wordt in het type maatregelen dat kan leiden tot vermindering van de nutriëntenbelasting van oppervlaktewater? Welke methoden geven inzicht in de dynamiek van waterkwaliteitsparameters?
2. Wat is de herkomst van nutriënten in grond- en oppervlaktewater op stroomgebiedsschaal, bedrijfsschaal en perceelsschaal, waar bevinden zich hotspots en onder welke omstandigheden doen zich hot moments voor? In welke mate hebben deze hotspots en hot moments invloed op gebiedsgemiddelde en seizoensgemiddelde waarden van waterkwaliteitsparameters?
3. Welke maatregelen zouden op basis van de verkregen systeeminzichten effect kunnen sorteren bij de vermindering van de nutriëntenbelasting van oppervlaktewater en de verlaging van stikstof- en fosforconcentraties?

Ad 1: Bronnen en routes

Voor het schetsen van een compleet beeld van bronnen en routes in een stroomgebied is een combinatie van meten en modelleren nodig. Uit metingen en literatuuronderzoek kan een conceptueel model met een kwalitatieve beschrijving van de belangrijkste processen worden afgeleid. Detailmetingen in ruimte (routings) en tijd (sensoren) zijn waardevol voor het identificeren van bronnen en routes alsook voor het kwantificeren van de uitspoeling uit percelen en de retentie in het oppervlaktewater.

Met data driven modelleringstechnieken (water- en stoffenbalans; STROMON-aanpak) kunnen bij voldoende databeschikbaarheid bijdragen van routes in beeld worden gebracht. Voor het leggen van meer gedetailleerde relaties tussen het agrarisch handelen en de nutriëntenverliezen naar grond- en oppervlaktewater zijn dynamische, proces georiënteerde simulatiemodellen nodig. Naarmate meer en betere gegevens van de hydrologie, de bodem en geohydrologie, de bedrijfsvoering en meetreeksen van afvoeren en concentraties beschikbaar komen, neemt de betrouwbaarheid van de simulatieresultaten toe. Machinelearning biedt mogelijkheden relaties te leggen tussen verschillende continu gemeten parameters (concentraties, grondwaterstanden, neerslag, afvoer). De gevonden relaties kunnen gebruikt worden om gaten in continue meetreeksen op te vullen. Het toepassen van de machinelearning algoritmes buiten de trainingsdata-periode is mogelijk, bijvoorbeeld voor het interpoleren tussen maandelijkse concentratiemetingen voor een betere vrachtschatting. Voorspellingen van effecten van maatregelen zonder controlemogelijkheden zijn minder zeker, omdat dan de relaties tussen parameters veranderen.

De metingen en data driven modelleringstechnieken geven inzicht in welk type maatregelen zouden kunnen leiden tot een verbetering van de waterkwaliteit. Voor de kwantificering van effecten van maatregelen is een meer gedetailleerd inzicht in de nutriëntenbalansen op perceel- en stroomgebiedsniveau nodig waarvoor vaak de inzet van procesmodellen nodig is.

Als betrouwbare resultaten van een regionaal grondwatermodel beschikbaar zijn en in het gebied voldoende grondwaterkwaliteitsmetingen beschikbaar zijn op de verschillende stroombanen (diepe, regionale en lokale kwel, ondiep uitspoelend grondwater), is de dynamiek van oppervlaktewaterkwaliteitsparameters af te leiden met het STROMON-concept. Het onderscheid in routes zoals deze uit de resultaten van een MODFLOW-modellerings is af te leiden, is enigszins arbitrair en is gevoelig voor de geohydrologische schematisering van het grondwatermodel. Het toekennen van concentraties aan de verschillende routes geschiedt dus bij voorkeur op basis van metingen in het stroomgebied zelf, maar voor regionale en diepe kwel kan ook uitgeweken worden naar metingen in andere gebieden, omdat die kwaliteit in het algemeen minder heterogeen is.

Het opzetten van proces georiënteerde modellen vergt aanzienlijk meer inspanning dan de toepassing van de data driven modelleringstechnieken. De meerwaarde ervan is dat gedetailleerde nutriëntenbalansen en -concentraties als verloop met de diepte en als verloop met de tijd gesimuleerd kunnen worden. Dit verschaft inzicht in de relatie tussen landbouw en waterkwaliteit. Een dergelijk inzicht is gewenst voor zowel een realistische verwachting van effecten van maatregelen als voor het gesprek tussen agrariërs en waterbeheerders over maatregelen. Bij de opzet en validatie van deze gedetailleerde modellen zijn de inzichten verkregen uit de detailmetingen en uit de data driven modellen zeer behulpzaam. Een goede match met detailmetingen en data driven modellen vergroot de zeggingskracht van de procesmodellen.

De dynamiek van oppervlaktewaterkwaliteitsparameters is grotendeels te beschrijven en te verklaren op basis van zowel metingen, resultaten van data driven modellen en met resultaten van gedetailleerde procesmodellen. Om de opgave voor de KRW te bepalen, is het nodig om nutriëntenbalansen te kwantificeren en daarin onderscheid te maken tussen antropogene belasting (mestgiften, lozingen glastuinbouw, effluënten van afvalwaterzuiveringen e.d.) en de belasting die beleidsmatig als seminatuurlijk of achtergrondbelasting wordt beschouwd, zoals nalevering bodemcomplex, kwel, depositie, af- en uitspoeling. Ook voor het kwantificeren van effecten van maatregelen is het nodig te beschikken over gekwantificeerde nutriëntenbalansen, op zomer- en jaarbasis, en met onderscheid naar de herkomst.

Ad 2: Herkomst van nutriënten

In het stroomgebied van de Vinkenloop is het grootste deel van de jaarlijkse stikstofvracht bij het uitstroompunt toe te schrijven aan het bodemoverschot op de stikstofbalans van landbouwpercelen. In de nazomer met diepe grondwaterstanden en lage waterafvoeren is de relatieve bijdrage van de bodemoverschotten aan de stikstofvracht kleiner en is een groter percentage afkomstig uit het diepere grondwater. De herkomst van stikstof in het oppervlaktewater op bedrijfsschaal is niet precies vast te stellen en varieert over de percelen en over de jaren.

Uitspoelingsgevoelige teelten met een hoog stikstofoverschot op de bodembalans en ondiep wortelende vollegrondsgroenteteelten laten een hogere uitspoeling zien dan grasland, graan en suikerbieten. In de meetperiode zijn bij enkele intensieve teelten bijzonder hoge nitraatconcentraties waargenomen in het bovenste grondwater, drainwater en slootwater. De nitraatuitspoeling bleef daar ook niet beperkt tot het winterseizoen. Berekening in het voorjaar wordt toegepast bij specifieke teelten bij nachtvorst. Overmatige berekening en natte perioden in de zomer zorgden voor verhoogde stikstofconcentraties in de Vinkenloop, ook in het zomerhalfjaar. De percelen met een hoge uitspoeling hebben een duidelijke invloed op de (zomer)gemiddelde concentraties op stroomgebiedsniveau en op de totale gebiedsvracht.

Hot moments zijn de tijdstippen waarop een plotselinge verandering in de waterafvoer en/of de concentratie plaatsvindt. Deze doen zich voor na een hevige regenbui als de grondwaterstand stijgt en de afvoer snel toeneemt. Dit hoeft niet gepaard te gaan met een voorafgaande mestgift om concentratiepieken op te leveren. Ook de minerale stikstof in de bovengrond die al enige tijd geleden is toegediend kan bij stijgende grondwaterstanden nog tot uitspoeling komen. In de Vinkenloop zijn door het jaar heen de grondwaterstanden en de nitraatconcentraties sterk gecorreleerd. De uitspoeling die begon met een plotselinge stijging (hot moment) heeft veel invloed op zowel de vracht als op de gemiddelde seizoensconcentratie.

Voor fosfor zijn de perioden met verhoogde concentraties veel korter, doordat ze grotendeels veroorzaakt worden doordat andere transportroutes van invloed zijn, waaronder het transport van met fosfor opgeladen sediment. De perioden

met verhoogde concentraties zijn voor fosfor dan ook wel belangrijk voor de vrucht, maar minder voor de gemiddelde seizoensconcentraties. Er zijn ook korte, hoge ammoniumpieken waargenomen, maar de invloed hiervan op de stikstofvrucht en de seizoensgemiddelde concentraties is beperkt. De waargenomen ammoniumconcentraties komen wel ruim boven de norm voor oppervlaktewater en zijn toxisch.

Het identificeren van hot moments (metingen, data driven modellering) en het bepalen van de mate waarin de uitspoeling van percelen verandert bij de hot moments (procesmodellen) draagt bij aan het aanwijzen van plaatsen die het gevoeligst zijn voor uit- en afspoeling. Dit inzicht helpt weer bij de keuze voor effectieve maatregelen.

In het pilotgebied van de Vuursteentocht zijn geen specifieke teelten aan te wijzen die een extra risico veroorzaken op uit- en afspoeling. Toch leidt het management van dierlijke mest op de percelen wel tot risico's op uit- en afspoeling. Zo werd er op een aantal percelen nog drijfmest toegepast na de oogst. Met deze dierlijke mestgift in de nazomer/herfst wordt ook stikstof gegeven die in de winterperiode niet wordt benut door het gewas, maar kan uitspoelen. Vaste mest wordt soms in hopen op het land opgeslagen om het later alsnog uit te rijden. Vanuit deze mesthopen kan in een regenrijke periode stikstof uitspoelen naar het oppervlaktewater.

In dit gebied zijn hot moments waargenomen in het concentratieverloop van het oppervlaktewater. Tijdens buien neemt de ammoniumconcentratie in de Vuursteentocht af en loopt de nitraatconcentratie juist op. Vooral door de toename in de afvoer zijn de stikstofvruchten tijdens buien wel veel groter dan in droge perioden. De stikstofuitspoeling vanuit percelen vindt ook voornamelijk in deze natte perioden plaats in de vorm van nitraat. Voor fosfor zijn in de eerste meetperiode alleen concentratiepieken waargenomen tijdens het verwijderen van water- en oeverplanten uit de tochten, maar de invloed hiervan op de jaarvrucht is beperkt.

Ad 3. Maatregelen

Vinkenloop

In het pilotgebied van de Vinkenloop is het landgebruik dynamisch en kenmerkt zich door wisselende teelten, waarbij in de loop van de jaren het areaal aan kapitaalintensieve teelten toeneemt. Een aanzienlijk deel van de percelen wordt verpacht en door derden bebouwd. Een perceel waarop in 2021 lelies werden geteeld, zal vanwege beperkte mogelijkheden voor de bestrijding van bodemziekten en -plagen slechts enkele jaren voor deze teelt worden gebruikt. Maatregelen voor de verbetering van de waterkwaliteit dienen hiermee rekening te houden. Meerjarige investeringen specifiek gericht op het zuiveren van nitraatrijk drainagewater uit een hotspotperceel hebben weinig zin als een gewas met hoge verliezen slechts één of twee jaar wordt geteeld en vervolgens een ander perceel zo'n hotspot wordt.

Brongerichte maatregelen zijn in de Vinkenloop relevant voor het verminderen van de nutriëntenvruchten, want het grootste deel van de stikstofvrucht in zowel de zomer als winter is afkomstig van het stikstofoverschot op de bodembalans. Grote uitspoelingsvruchten treden op tijdens natte perioden en bij overmatige beregening in combinatie met bemesting. Nutriëntenmanagement gericht op het verminderen van uitspoeling kan voor deze percelen naar verwachting al binnen 1-2 jaar een duidelijk effect hebben. Daarnaast kan bij de keuze van teelten en bij de keuze van de percelen waarop gewassen worden geteeld, rekening gehouden worden met uitspoelingsrisico's. Uit het verkennende modelonderzoek blijkt dat nattere percelen een groter uitspoelingsrisico naar oppervlaktewater hebben dan drogere percelen. Bij een betere afstemming van het uitspoelingsrisico per teelt op het totale bouwplan van het gebied zou de belasting van oppervlaktewater kleiner kunnen worden. Bij drogere percelen spoelt er wel meer uit naar het grondwater, maar in de Vinkenloop is de denitrificatiecapaciteit van de ondergrond relatief groot.

Voor de routegerichte maatregelen zou een systeem met diepere drainage getest kunnen worden. Zoals uit figuur 3.14 blijkt, neemt het nitraatconcentratie af met de diepte. Als drainbuizen dieper worden gelegd (bijv. 50 cm dieper), zal meer nitraat denitrificeren voordat het door de drains wordt afgevoerd, vooral als de drainagebasis (het ontwateringsniveau) daarbij ondieper wordt ingesteld.

Door het verbreden van waterlopen kan een grotere waterberging gecreëerd worden met een grotere retentie van nutriënten als gevolg. Het zou ook mogelijkheden kunnen bieden voor recirculatie van nitraatrijk drainagewater, eventueel in combinatie met de aanleg met een eenvoudige bioreactor met organische reststoffen, zoals houtsnippers.

In de Vinkenloop zijn regelmatig fosforpieken gemeten door het opwerpen van fosforrijk slib in de waterlopen tijdens afvoergolven. De afspoeling van fosfor door oppervlakkige afstroming is in de Vinkenloop niet experimenteel vastgesteld. De gemeten fosfor in het oppervlaktewater is echter wel afkomstig van uit- en afspoeling van de percelen. De concentraties onder normale omstandigheden worden sterk gereguleerd door het ijzerrijke kwelwater en het ijzerrijke slib in de waterlopen. Maatregelen gericht op het dempen van stroomsnelheden tijdens afvoerpieken (greppels en bezinkpoelen langs percelen, bezinkplekken in sloten) kunnen mogelijk een gunstig effect hebben op de fosforvrucht uit het gebied.

Vuursteentocht

De stikstofbelasting van het oppervlaktewater vanuit de landbouwpercelen is voor het grootste deel afkomstig van het N-overschot op de bodembalans. Door dit overschot te verkleinen, zal ook de N-uitspoeling afnemen. Vooral de drijfmestgift na de oogst spoelt grotendeels uit. Maatregelen die hieraan een bijdrage kunnen leveren, zijn onder andere de teelt van vanggewassen, een aanpassing van de vruchtwisseling met een afwisseling tussen dieper en ondieper wortelende gewassen en het management van meststoffen (type, plaats, tijdstip, hoeveelheid).

Oppervlakkige afstroming in de Vuursteentocht kan enkele tientallen millimeters per jaar bedragen. Deze waterflux leidt waarschijnlijk echter niet tot een grote stikstofvrucht, omdat de (ad hoc)metingen van het afstromende water lage nitraatconcentraties lieten zien. Als teelten intensiever worden, vaker mest wordt gegeven en het belang om water in plassen op het land versneld af te voeren groter wordt, zou de omvang van deze route groter kunnen worden. Een management gericht op de preventie van deze vorm van afspoeling wordt dan belangrijker.

Specifieke situaties, zoals het uitrijden van dierlijke mest in de nazomer/herfst met het oog op fosfaatbemesting van het volggewas en het tijdelijk in hopen opslaan van vaste mest, leiden tot verhoogde uitspoelrisico's. Door de najaarsbemesting door te schuiven naar het volgende voorjaar en door de hopen van vaste mest af te dekken, kunnen deze bronnen van stikstofbelasting van oppervlaktewater verminderd worden.

In de zomer wordt minder water afgevoerd dan in de winter, maar toch spoelen in een regenrijke periode in de zomer wel water en stikstof uit. Deze uitspoeling treedt voornamelijk op via kleischeuren naar het drainagesysteem. De drainbuizen voeren af op relatief smalle en diepe kavelsloten. De kavelsloten voeren op hun beurt weer af op de tochten. Met een regelbare stuw aan het eind van de kavelsloten zou de retentie van nutriënten iets toe kunnen nemen, vooral in de zomerperiode. Dit is verder te bevorderen door de sloten breder te maken met een flauwer talud, waardoor meer vegetatie kan opkomen. De toename van nutriëntenretentie komt door opname van waterplanten (nitraat/ammonium), het opreden van denitrificatie en het afvangen van slib (organisch stikstof en particulier fosfor). De vegetatie en het slib kunnen in het najaar verwijderd worden en lokaal worden hergebruikt. Of deze vorm van waterretentie effectief is, hangt sterk af van het stuwbeheer en daarbij hoeveel water door het stuwen extra in de bodem vastgehouden kan worden. Mogelijk zijn deze maatregelen te combineren met de aanleg van (multifunctionele) bufferstroken.

Het vergroten van de retentie in de kavelsloten heeft minder invloed op de winterconcentraties en -vrachten. Deze winteruitspoeling is wel te verminderen door de drains aan te sluiten op een eenvoudige bioreactor met organische reststoffen die denitrificatie bevorderen, zoals houtsnippers of bietenpulp. Lagere stikstofvrachten in de winter verminderen de belasting van het ontvangende oppervlaktewater, in dit geval het IJsselmeergebied.

Kwantificering effecten

Bij het voortzetten van de monitoring in de beide pilotgebieden zal deze zich ook richten op het experimenteel vaststellen van een of meerdere maatregelen die in de pilotgebieden worden genomen. Ook zullen dan de effecten met de procesmodellering kunnen worden geëxtrapoleerd naar andere situaties (andere weerjaren, locaties met andere gebiedskenmerken).

▶▶ 6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 CONCLUSIES

In twee pilotgebieden is een intensief meetsysteem opgezet om beter inzicht te krijgen in de bronnen en routes van de nutriëntenstromen en om hotspots en hot moments te identificeren. Hierbij zijn diverse innovatieve meettechnieken ingezet. Het onderzoek met de innovatieve meettechnieken levert na de eerste meetfase (1-1½ jaar) al bruikbare informatie op voor bredere toepassing. Voorbeelden van de technieken zijn de routings in de waterlopen voor het identificeren van locatie met hoge uitspoeling of relatief hoge kwel, de remote sensing voor het identificeren van risicoplekken voor oppervlakkige afstroming, continue meetopstellingen en het onderzoek naar isotopen voor het bepalen van de herkomst. De monitoring geeft in beide gebieden inzicht in het type maatregelen dat ingezet zou kunnen worden om de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater te verminderen.

De toepassing van data driven modeltechnieken heeft meerwaarde bij het verwerken en interpreteren van de meetgegevens, bijvoorbeeld om meetdata van hoogfrequente monitoring te controleren en gaten in meetseries op te vullen. De met data driven modellen vastgelegde relaties tussen hydrologie en waterkwaliteit zijn ook bruikbaar voor het extrapoleren van meetreeksen naar andere weerjaren en om globale inschattingen te kunnen geven van het effect op de concentraties in het uitstroompunt als stofvrachten van de onderscheiden emissieroutes worden aangepast. De resultaten ervan zijn ook bruikbaar voor modelinput en validatie van dynamische procesmodellen.

De resultaten van de verschillende type metingen die zijn ingezet op stroomgebiedsniveau en perceelniveau leveren bij elkaar en tezamen met de verschillende modellen een helder beeld over hoe het bodem- en watersysteem functioneert, hoe de nutriënten stromen reageren op het weer (neerslag), mestgiften en landgebruik, waar hotspots liggen en wanneer en waardoor hot moments optreden. Diverse van deze inzichten bevestigen op eerder onderzoek gebaseerde verwachtingen, maar worden hier experimenteel onderbouwd en/of nader gekwantificeerd.

De monitoring leverde echter ook diverse nieuwe inzichten op zoals 1) het verschijnsel dat nitraatuitspoeling na een regenrijke periode sneller optreedt dan op basis van landelijke en regionale modelstudies wordt verwacht; 2) ammonium in kwelwater in het pilotgebied Vuursteentocht alleen uittreedt naar de diepere tochten en niet naar de drains en kavel sloten; 3) de routes naar de drains en sloten (de grondwaterstromingspatronen) ondieper zijn dan hetgeen in landelijke en regionale modelstudies steeds is aangenomen; en 4) er is in de Vinkenloop op relatief geringe diepte een overgang waargenomen tussen geoxideerd water en anoxisch of gereduceerd water (redoxcline). Water dat via de gereduceerde zone naar drains en sloten stroomt, heeft een lagere nitraatconcentratie dan water dat ondiep naar de drains stroomt.

Om de herkomst van nutriënten in uitspoelend water vanuit percelen en effecten van landbouwmaatregelen te kunnen kwantificeren, zijn procesmodellen nodig. Voor beide gebieden is een eerste versie van een gedetailleerd procesmodellering opgezet met de rekencodes van SWAP en ANIMO, waarmee gewasopname en de vocht- en nutriëntenhuishouding in de bodems wordt gesimuleerd. De uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar grondwater en oppervlaktewater is een onderdeel in deze modellen. De procesmodellering sloot goed aan op het conceptuele model dat voor beide gebieden op basis van een interpretatie van de metingen is opgezet. De modelconcepten zijn toepasbaar om de bronnen, routes en hotspots te simuleren. De dynamische procesmodellen kunnen nog specifiekere worden gemaakt voor de percelen, door nog meer rekening te houden met het werkelijke management. Met de modelresultaten konden de conceptuele modellen ook op onderdelen worden verfijnd.

Processen in het oppervlaktewater zijn (nog) niet meegenomen in de procesmodellering, zodat bijvoorbeeld pieken die optreden door het opwervelen en transport van slib in de watergangen bij het omlaag zetten van een stuw of hevige neerslag niet gesimuleerd kunnen worden.

Het concept van monitoring als combinatie van meten en modelleren biedt meerwaarde ten opzichte van het enkel verzamelen van meetgegevens of het enkel toepassen van modellen. Met modellen kunnen meetgegevens beter worden

geïnterpreteerd en de metingen dragen bij aan een grotere betrouwbaarheid van de modellen.

6.2 AANBEVELINGEN

Het verdient sterk aanbeveling om in beide pilotgebieden de monitoring over een lange periode - bij voorkeur permanent - voort te zetten. Dan blijft het een ideale proeftuin voor nieuwe meettechnieken, voor de toetsing van modellen en voor het afleiden van effecten van landbouwmaatregelen in een reële veldsituatie. Aanbevolen wordt om de twee gebieden ook in te zetten als pilots voor de effectmonitoring die voor het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer wordt voorzien.

Op basis van de evaluatie van de meettechnieken in dit rapport kan de monitoring in beide gebieden worden geoptimaliseerd in samenhang met een effectbepaling van maatregelen. Aandachtspunten voor de optimalisatie van de monitoring zijn:

- N-bodembalansen geven inzicht in de uitspoelingsrisico's als deze op jaarbasis (voortschrijdend) kunnen worden opgesteld. Aanbevolen wordt derhalve om informatie over mestgiften en gewasafvoeren op perceelniveau te (blijven) verzamelen.
- In de Vinkenloop hebben de grondwaterstanden een belangrijke invloed op de uit- en afspoeling en het optreden van denitrificatie. Aanbevolen wordt om hier een gebiedsbrede inventarisatie van de grondwaterstanden uit te voeren.

De overgang tussen ondiep geoxideerd water en gereduceerd water is op een perceel in het zandgebied op enkele meters onder maaiveld aangetroffen. Het verdient aanbeveling om deze overgang (redoxcline) over het gehele gebied in beeld te brengen. Hieruit is mogelijk een beeld af te leiden van percelen waar nitraat snel in het ondiepe grondwater wordt afgebroken en percelen waar nitraat pas dieper in de ondergrond wordt afgebroken. Mogelijk biedt dit een handelingsperspectief voor een verdeling van teelten over het gebied, waarbij rekening gehouden wordt met uitspoelingsrisico's. De teelten met een groot uitspoelingsrisico zouden bij voorkeur geteeld kunnen worden op de plaatsen waar het nitraat snel in het ondiepe grondwater wordt afgebroken en daardoor minder nitraat naar het oppervlaktewater uitspoelt.

De meetinstallaties en -apparatuur hebben een aanzienlijke investering gevergd (3 tot 5 ton per jaar aan materiele en personele kosten). Bij voortzetting van de monitoring kunnen de jaarlijkse kosten wellicht afnemen door optimalisatie. In veel gebieden zal het echter niet mogelijk en/of wenselijk zijn om een vergelijkbare intensieve monitoring op te zetten. In de Deltafact 'Handreiking gebiedsgerichte monitoring nutriënten uit de landbouw' worden voorbeelden en aanbevelingen gegeven voor minder intensieve meetstrategieën. De ervaringen in de twee pilotgebieden zijn verwerkt in deze Deltafact.

Met de opgezette procesmodellen kan het effect van diverse maatregelen op de af- en uitspoeling worden gekwantificeerd, kan de uit- en afspoeling worden gesimuleerd voor andere weersomstandigheden en kunnen extrapolaties worden uitgevoerd naar vergelijkbare gebieden. Op enkele onderdelen kunnen de nu opgezette procesmodellen worden verbeterd:

- Als in het gebied van de Vinkenloop meer verspreid over de percelen grondwaterstandreeksen beschikbaar zijn, kan het model hier beter op geijkt worden. Verder kan informatie over bemesting en gewasafvoer per perceel met groter detail in de modelinvoer worden verwerkt.
- In het gebied van de Vuursteentocht berekent het model een te hoge waterafvoer door een te groot veronderstelde kwelflux. In een vervolgfase is het zinvol om de kwelflux gedetailleerder in te schatten. Daarnaast kan, evenals voor de Vinkenloop, informatie over bemesting en gewasafvoer gedetailleerder in de modelinvoer worden verwerkt.

Om maatregelen in beide gebieden te selecteren voor het meten van effecten, kunnen berekeningen worden uitgevoerd om keuzes voor maatregelen te ondersteunen.

Aanbevolen wordt om het modelinstrumentarium uit te breiden met een oppervlaktewatermodel, waarbij rekening gehouden kan worden met het stofgedrag van de nutriënten in het oppervlaktewater en daarmee de retentie en totale uitgaande vrachten gekwantificeerd kunnen worden en ook ingrepen (en maatregelen) in het oppervlaktewater.

De modelconcepten kunnen verder worden onderbouwd als de meetreeksen langer doorlopen. Dan kan bijvoorbeeld ook beter besloten worden in hoeverre parameters en procesbeschrijvingen in landelijke modellen aangepast moeten worden om een verbetering aan te brengen in de beschrijving van de snelle respons behorend bij ondiepe transportroutes.

►► LITERATUUR

- Antonopoulou, H.E. 2020. Risk factors for nutrient losses through Remote Sensing, Deltares.
- Bos - Burgering, L. en J. Hunink, 2021. Optimalisatie grondwatermodel instrumentarium Waterschap Aa en Maas. Deltares rapport 1220765-020-BGS-0001, juni 2021.
- Breman, B.C., V.Linderhofen G.J.Noij, 2016. Succes-en faalfactoren Agrarisch Waterbeheer. Wageningen, Alterra-rapport 2718.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud and J. Roelsma, 2005. Prediction of Nitrogen and Phosphorus leaching to groundwater and surface waters; Process descriptions of the Animo4.0 model. Wageningen, Alterra-Report 983.
- Groenendijk, P., L. van Gerven, P. Schipper, S. Jansen, S. Buijs, A. van Loon, S. Lukacs, F. Verhoeven, B. Housmans, D. van Rotterdam, G. Ros, K. Verloop en G.J. Noij, 2021a. Maatregel op de kaart (Fase 2), Identificeren van kansrijke perceelsmaatregelen voor schoner grond- en oppervlaktewater. Rapport Kennisimpuls waterkwaliteit, Nutriëntenmaatregelen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. STOWA-KIWK rapport 2021-26.
- Groenendijk, P., L. van Gerven, E. van Boekel en P. Schipper, 2021b. Maatregelen op en rond landbouwpercelen ter vermindering van water, Achtergrondinformatie effectiviteit landbouwmaatregelen ten behoeve van de Nationale Analyse Waterkwaliteit. Rapport Kennisimpuls waterkwaliteit, Nutriënten: welke landbouwmaatregelen snijden hout?, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR. STOWA-KIWK rapport 2021-54.
- Isonatrate, 2009. N, O and B isotopes to evaluate nitrate pollution in water. Analytical and practical manual: a user manual. December 2009.
- Jonge, de, H. & G. Rothenberg, 2005. New device and method for flux-proportional sampling of mobile solutes in soil and groundwater. Environ Sci Technol. 2005 Jan 1;39(1):274-82. doi: 10.1021/es049698x. PMID: 15667105.
- Knoben, R., N. Evers, A. Krikken, J. Rost, N. Schoffelen, M. de Haan, B. van Spronsen, F.L. Verhagen, H. Evenblij en B. van Velthoven, 2021. Ex Ante Analyse Waterkwaliteit. Rapport Royal Haskoning DHV 28-9-2021.
- Kroes, J.G.; Dam, J.C. van; Bartholomeus, R.P.; Groenendijk, P.; Heinen, M.; Hendriks, R.F.A.; Mulder, H.M.; Supit, I.; Walsum, P.E.V. van 2017. SWAP version 4. Wageningen, Wageningen Environmental Research report 2780 - 24.
- Lauwere, C. de, B. Bock, R. van Broekhuizen, J. Candel, F. Geerling-Eiff, T. de Koeijer, C. Rougoor en K. Termeer, 2016) Agrarische ondernemers over de mestwetgeving; Beleving van het mestbeleid: draagvlak, knelpunten en oplossingen, Wageningen Economic Research, rapport 2016-103.
- LNV, 2019. Realisatieplan visie LNV op weg met nieuw perspectief. https://open.overheid.nl/repository/ronl-131789fb-29dd-4d3e-b541-32b22d204b5a/1/pdf/LNV%20Realisatieplan_Juni_2019_WEB.pdf
- LNV & IenW, 2021. Kamerbrief 7e actieprogramma Nitraatrichtlijn. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/11/26/kamerbrief-over-het-zevende-actieprogramma-nitraatrichtlijn>
- Massop, H.Th.L. en C. Schuiling, 2016. Buisdrainagekaart 2015; Update landelijke buisdrainagekaart op basis van de landbouwmeitellingen van 2012. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2700.
- PBL (2017), Evaluatie Meststoffenwet 2016: Syntheserapport, Den Haag: PBL
- Rozemeijer, J., S. Lukacs en A van Loon, 2021. Meetplannen bronnen en routes pilotgebieden. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit, Nutriënten: welke landbouwmaatregelen snijden hout?
- Seiler, R.L. 2005. Combined use of ¹⁵N and ¹⁸O of nitrate and ¹¹B to evaluate nitrate contamination in groundwater. Applied Geochemistry, Volume 20, Issue 9, September 2005, Pages 1626-1636
- STOWA-KIWK, 2021. Deltafact Effectiviteit nutriëntenmaatregelen om uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden te verminderen.
- STOWA-KIWK, 2021. Deltafact Handreiking gebiedsgerichte monitoring nutriëntenverliezen vanuit de landbouw.
- Vendelboe A.L., Rozemeijer J, L.W. de Jonge LW en H. de Jonge, 2016. Continuous 'Passive' flow-proportional monitoring of drainage using a new modified Sutro weir (MSW) unit. Environ Monit Assess. 2016 Mar;188(3):190. doi: 10.1007/s10661-016-5188-4. Epub 2016 Feb 25. PMID: 26914326.
- Verdonschot P.F.M. & Verdonschot R.C.M. 2021. Ecologische systeembenadering en ecologische systeemanalyse. Rapport Kennisimpuls waterkwaliteit, Zoetwater- ecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR. STOWA-KIWK rapport 2021-29.
- Woestenburg, M en D. van Tol-Leenders, 2011. Sturen op schoon water. Eindrapportage project Monitoring Stroomgebieden. Alterra/Deltares

▶▶ LINKS

- [Aanpak Stikstof](#)
- [Azure model](#)
- [Deltaprogramma Agrarisch Waterbeheer](#)
- [GCN-GDN-kaarten](#)
- [Introductiedossier bewindspersonen ministerie van LNV 2022, Rijksoverheid.nl](#)
- [Maatregel op de Kaart](#)
- [Strategisch plan ontwikkeling landbouwadviestools](#)
- [Deltafact Handreiking gebiedsgerichte monitoring nutriëntenverliezen landbouw](#)
- [Deltafact effectiviteit nutriëntenmaatregelen uit- en afspoeling landbouw](#)

▶▶ BIJLAGEN



Kennisimpuls
WATERKWALITEIT