

## Praktijkervaringen met nitraatsensoren in oppervlaktewater

*Frank van Herpen (waterschap Aa en Maas), Niels van Aarle (Aquon), Joachim Rozemeijer (Deltares), Arno Hooijboer (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu), Jos Oudenhoven (imec Nederland)*

**Het hoogfrequent meten van nitraat met sensoren is veelbelovend: de grote variatie in nitraatconcentraties wordt zichtbaar en dat vergroot het inzicht in de processen die tot af- en uitspoeling leiden. De techniek is echter nog niet 'plug-and-play'. Steekmonsters blijven nodig ter validatie van de sensoren. De benodigde onderhoudsfrequentie hangt af van de veldomstandigheden op de meetlocaties.**

### De top-5 tips voor het werken met UV-absorptienitraatsensoren

- Heb reële verwachtingen: kijk eerst goed naar het meetdoel, de te verwachten meetrange en mogelijke versturende invloeden, voordat je overgaat tot de installatie van sensoren. Verwacht niet direct prachtige meetreeksen: het goed inregelen van de meetopstelling kost tijd en onverwachte storingen zijn altijd mogelijk.
- Sensoren zijn arbeidsintensief: onderhoud en steekmonsters zijn noodzakelijk voor een goede data-opbrengst (in het begin heel veel 'babysitten', de intensiteit kan minder worden, afhankelijk van de meetomstandigheden). Als de financiële en personele middelen daarvoor niet beschikbaar zijn, is het beter om geen sensor te installeren.
- Databewerking achteraf is nodig voor het wegfilteren van ruis, detecteren van afwijkende meetwaarden en compenseren van 'drift'. Het ruwe meetsignaal is meestal niet direct inzetbaar voor presentatie en/of onderzoek. Maak hierbij gebruik van beschikbare relevante informatie om de data juist te interpreteren, denk aan neerslag, peilbeheer, mestseizoen etc. Het bijhouden van een veldlogboek is daarnaast essentieel.
- Denk vooraf goed na over de meetopstelling (beschermkoker / doorstroombak) en sluit deze waar mogelijk aan op netstroom. Indien gewerkt wordt met een zonnepaneel en accu's, zorg dan ook in de winter voor voldoende capaciteit.
- Zorg ervoor dat de ICT-inrichting op orde is zodat een real-time datastroom van sensor naar database is gewaarborgd. Zo zijn storingen sneller te detecteren en op te lossen.

Waterbeheerders in Nederland hebben een grote opgave voor de waterkwaliteit. Op veel plaatsen worden KRW-normen overschreden. Dit wordt voor een aanzienlijk deel veroorzaakt door stikstofverbindingen, zoals nitraat en ammonium. De gangbare monitoringspraktijk voor nitraat is het nemen van steekmonsters, die in het laboratorium worden geanalyseerd. Deze steekmonsters worden meestal eens per maand genomen en geven een fragmentarisch beeld van de – sterk wisselende - nitraatconcentraties. Het meten van de waterkwaliteit met sensoren staat de laatste jaren in de belangstelling. En terecht; het kan grote voordelen opleveren. Meten met sensoren loopt echter ook wel eens uit op een teleurstelling. Waar ligt dat aan? En hoe kunnen sensormetingen een succes worden? Dit artikel gaat over ervaringen met en tips voor het werken met de UV-nitraatsensoren, onder meer vanuit drie lopende onderzoeken, die voortbouwen op ervaringen uit eerdere onderzoeken [1].

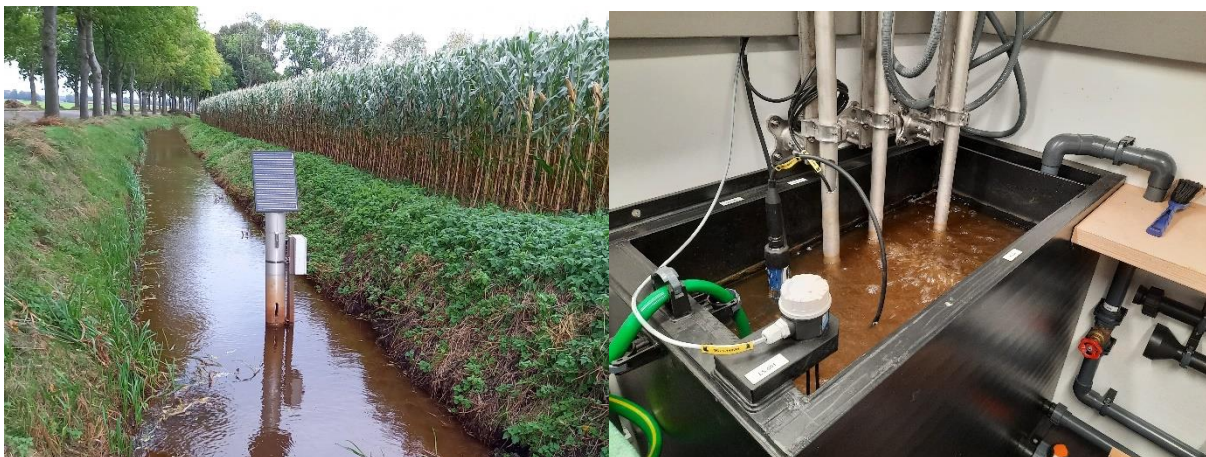
In het WaterSNIP-project RIVM) [2] zijn twee proeflocaties ingericht met nitraatsensoren en is samen met leveranciers van nitraatsensoren een proef van twee maanden uitgevoerd op het meetpunt van Rijkswaterstaat in de Maas. Voor de KennisImpuls WaterKwaliteit hebben Deltares en het RIVM bij twee watergangen meetcabines met onder meer nitraatsensoren geplaatst [3]. Bij het onderzoeksproject Sensor Gestuurd Boeren (SGB) van waterschap Aa en Maas samen met zeven boeren, wordt in een klein stroomgebied meerjarig onderzoek gedaan naar de bronnen en routes van stikstofverbindingen in het water [4].

Op de markt zijn drie typen meettechnieken voor in-situ-nitraatmetingen beschikbaar: ion-selectieve elektroden (ISE), nat-chemische auto-analyzers en UV-absorptiesensoren [5]. Bij zowel Watersnip als SGB bleken beschikbare ion-selectieve elektroden voor nitraat niet te voldoen. Dit artikel duikt dieper in de ervaringen met de UV-sensoren. Deze zenden UV-licht uit, waarvan een bepaalde golflengte wordt geabsorbeerd door de nitraationen in het water. Hoe hoger de absorptie, hoe hoger de concentratie nitraat in het water. De meeste UV-sensoren meten op meerdere UV-golflengtes om te kunnen corrigeren voor troebelheid.

### Meetopstelling

Sensoren zijn arbeidsintensief. Er kunnen altijd onverwachte problemen optreden met de sensoren als deze worden ingezet in omstandigheden waar nog weinig ervaring mee is. Een meetinstallatie die perfect werkt op één plek kan juist niet goed werken op een andere locatie, waardoor het in een opstartperiode altijd zoeken zal zijn naar een passende configuratie en onderhoudsfrequentie.

In de onderzoeken zijn verschillende meetopstellingen gebruikt (zie afbeelding 1). Ze hebben gemeen dat de opstelling minimaal bestaat uit een sensor en een modem om de meetgegevens real-time door te geven.





Afbeelding 1. Een aantal meetopstellingen - linksboven: sensor in beschermkoker met zonnepaneel [4], rechtsboven: sensor in een doorstroombassin in een meetcabine [3], linksonder: sensor op een boei [2], rechtsonder: sensor in een doorstroomcel [2]

### Verontreiniging en schoonmaak van nitraatsensoren

Vervuiling van de lenzen is voor een optische sensor als de UV-absorptienitraatsensor een probleem (afbeelding 2). Regelmatig reinigen is noodzakelijk om goede metingen te krijgen. Sommige typen sensoren zijn daarom uitgerust met een kleine mechanische wisser. Deze wisser kan echter zelf ook verontreinigd raken of zelfs klem komen te zitten als de sensor niet goed beschermd is tegen drijfvuil. Het kan ook mis gaan als er wat hardere deeltjes in de vervuiling zitten: in combinatie met de wisser kan dit leiden tot krassen op de lenzen en daarmee tot onbetrouwbare metingen door verstrooiing van de lichtbundel. Bij verschillende sensoren is ook automatische reiniging met perslucht mogelijk; hier wordt bij SGB momenteel mee geëxperimenteerd. Afgezien van deze geautomatiseerde reiniging met wissers or perslucht, blijft ook het handmatig schoonmaken nodig. Meestal is maandelijks handmatig onderhoud voldoende, maar in een periode met veel sedimenttransport kan meer nodig zijn.



*Afbeelding 2. Een UV-nitraatsensor met vervuiling in een ijzerrijke kwelsloot in een zandgebied [4]. De wisser is niet krachtig genoeg om de aangroei weg te halen en veroorzaakte daarbij krassen op de lenzen (links). Rechts na schoonmaak van de sensor*

De sensoren kunnen op verschillende manieren in contact gebracht worden met het nitraat in het water: via een doorstroomvoorziening of rechtstreeks in het water. De keuze daarvan hangt mede af van de stroomvoorziening. Bij een doorstroomvoorziening wordt water uit de sloot naar de meetopstelling op de oever gepompt. In deze doorstroomvoorziening hangt de sensor. De maat kan verschillen, van een cilinder waar net een sensor in past (doorstroomcel) tot een groot bassin met ruimte voor meerdere sensoren. Doorstroomvoorzieningen kunnen op het land geplaatst worden, waardoor het onderhoud eenvoudiger is. Daarnaast zijn de sensoren beter beschermd tegen extreme omstandigheden, zoals vorst en droogval. Als het mogelijk is om de meetopstelling op netstroom te laten werken heeft een doorstroomvoorziening de voorkeur in verband met een grotere leveringszekerheid van data.

Als de sensoren rechtstreeks in het water meten heeft het gebruik van een beschermkoker veel voordelen: de koker houdt drijfvuil tegen, de sensoren zijn beter beschermd tegen vandalisme en de beschermkoker helpt ook tegen ongelukken bij bijvoorbeeld maaiwerkzaamheden. Een nadeel van een beschermkoker kan slibophoping in en rondom de koker zijn. Met een drijver is te voorkomen dat de sensoren in een sliblaagje onder in de koker komen te hangen. De perforatie (sleuven/gaten) in de koker moet zodanig grofmazig zijn dat er goede doorstroming kan plaatsvinden, zonder verstrend drijfvuil door te laten. Het handmatig verwijderen van slib, takken, blad en vegetatie blijft hoe dan ook nodig.

Bij SGB en Watersnip zijn de meetopstellingen geschikt gemaakt voor het werken zonder netaansluiting en daarmee voor slootjes in landelijk gebied. Dat betekent dat de opstelling voor de stroomvoorziening afhankelijk is van een zonnepaneel en een accu. De benodigde capaciteit van het paneel en de accu hangt af van het aantal sensoren en de frequentie van het meten en het doorgeven van de data. Het seizoen heeft veel invloed: kortere dagen en lage temperaturen kunnen leiden tot lagere batterij- en oplaadcapaciteit. Volgens de fabrikant kunnen de instellingen van de sensor kwijtraken als de stroom er te lang af is of langdurig te laag is. Het verdient dus aanbeveling om de accu en het zonnepaneel flink te overdimensioneren.

De UV-nitraatsensoren kunnen beschadigd raken bij bevriezing en moeten bij strenge vorst op voorhand verwijderd worden. Door uitdroging doordat een waterloop droogvalt, kan sensoren ook beschadigen. Het helpt daarbij om de sensoren drijvend verticaal te installeren, zodat peilschommelingen niet direct leiden tot een droogstaande sensor, of door het water op te pompen en via een doorstroomvoorziening te leiden.

Tabel 1. Samenvatting installatie-aspecten

Installatie		Onderzoek	Voordelen	Nadelen
Energie-voorziening	Netstroom	[2], [3]	Betrouwbaar Persluchtreiniging toepasbaar	Kostbaar indien geen aansluiting in de buurt
	Zonnepaneel + accu	[2], [4]	Geen stroomaansluiting nodig Geen kwetsbare kabels buiten de behuizing van de opstelling	Kan leiden tot uitval metingen (onvoldoende capaciteit paneel/ accu, gevoelig voor lage temperaturen/weinig zon)
Behuizing	Direct in het water	[2]	Eenvoudig Geen apparatuur op de oever	Drijfvuil rondom de sensor Kwetsbaar Vrij liggende kabels Altijd te water voor onderhoud
	Beschermkoker	[4]	Geen apparatuur op oever Bescherming tegen drijfvuil en beschadigingen	Drijfvuil rondom de koker Sedimentatie rondom de koker Altijd te water voor onderhoud
	Pomp + doorstroomcel met meetkast	[2]	Voorfiltratie mogelijk. Makkelijker in onderhoud door betere bereikbaarheid	Onderhoud pomp nodig Ruimte nodig op oever Netstroom of zonnepaneel + batterij met grote capaciteit noodzakelijk Duurder Vaker onderhoud nodig omdat er geen wissel in past
	Pomp + doorstroombassin met meetcabine	[3]	Voorfiltratie mogelijk Makkelijker in onderhoud door betere bereikbaarheid	Onderhoud pomp nodig Ruimte nodig op oever Netstroom noodzakelijk Duurder

			Klimaatcondities beter te beheersen	
Schoonmaak	Handmatig	[2], [3], [4]	Kan zeer voorzichtig.	Arbeidsintensief (frequentie kan omlaag bij gebruik wisser en/of perslucht)
	Wisser	[2], [3], [4]	Eenvoudige techniek Automatisch Interval aanpasbaar Eventueel in te schakelen op afstand	Kan vastlopen door vervuiling Kan schade veroorzaken op lenzen
	Perslucht	[2], [4]	Automatisch Interval aanpasbaar Eventueel in te schakelen op afstand	Meer techniek nodig (compressor of duikfles) Hogere kosten

### Onderhoud

De sensoren kunnen niet zonder regelmatig onderhoud. Dat varieert van klein onderhoud (schoonmaken en kalibreren) tot groot onderhoud waarbij onderdelen vervangen moeten worden. Reken erop dat er zeker in het begin veel tijd kwijt nodig is voor het onderhouden en goed afstellen van de sensoren.

Er bestaan UV-nitraatsensoren met verschillend meetbereik. Bij sommige typen is het meetbereik instelbaar, waardoor de sensoren goed kunnen meten bij lage of juist bij hogere concentraties. Wat de juiste instelling is voor de sensor hangt af van het meetdoel én van het normale verloop van de nitraatconcentraties in het te onderzoeken water. Sommige sensoren zijn ook in te stellen op de te verwachten troebelheid van het water.

Neem de tijd om zelf uit te zoeken hoe de sensor werkt. Zorg dat het meetprincipe bekend is en maak gebruik van de uitgebreide functionaliteiten en controleparameters van de sensor. Blijf daarbij kritisch: vertrouw niet op reclamepraatjes van de leverancier, maar ga af op ervaringen van eindgebruikers. Sensoren voor oppervlaktewater reageren anders dan sensoren die gemaakt zijn voor kraakhelder industrieel proceswater. Zorg dat er voldoende personeelscapaciteit is en houd de keten van betrokken personen kort (maximaal drie personen, te verdelen in installatie en onderhoud, dataproductie en -interpretatie).

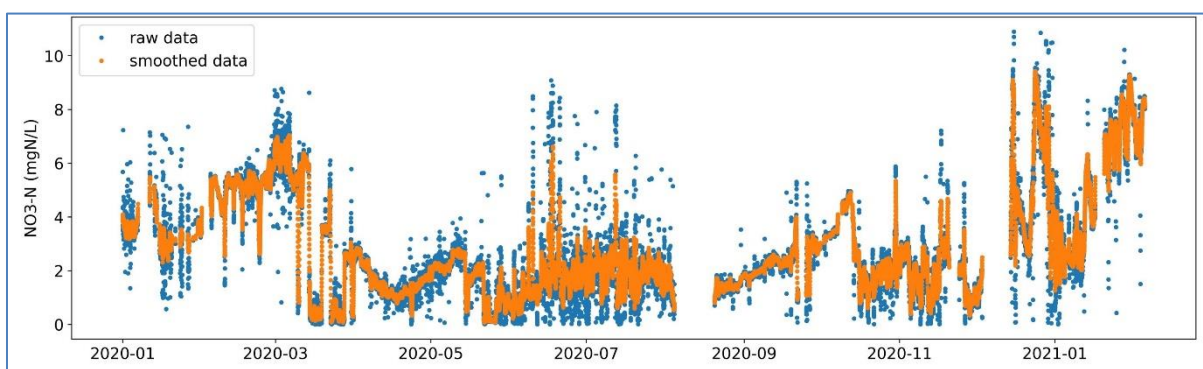
Het is verstandig om in het begin vaak langs te gaan en afhankelijk van noodzaak de sensor schoon te maken. De vervuiling op de sensor (aangroei, biofilms) is afhankelijk van het type water, waterdiepte, installatie en plaats in de watergang maar ook van het seizoen. In de zomer gaat de biologische aangroei sneller en in de winter kan sediment juist een groter probleem zijn. Als de ideale frequentie en manier van schoonmaken zijn vastgesteld, kan hiervoor een werkplan worden opgesteld. Dagelijks inzicht in de meetwaarden (of een alarmeringsfunctie aan de hand van algoritmes) maakt het een stuk eenvoudiger om de prestatie van de sensor te volgen en te bepalen of er onderhoud nodig is.

### Datatransfer en -bewerking

Voor het efficiënt verwerken van de meetgegevens is het praktisch als de data automatisch in de database van de onderzoekers worden opgenomen. Daarvoor is het belangrijk dat er naast de sensor een modem is om de meetgegevens door te geven. Bij draadloze communicatietechniek is het raadzaam te controleren of er voldoende bereik is op de meetlocatie. Systemen waarbij de data ter plekke uitgelezen moeten worden, geven niet snel genoeg inzicht in het functioneren van de sensor. Ook voor het combineren van verschillende typen metingen (bv. nitraatsensor met een laboratoriummonster, een andere sensor of een afvoermeting) moet de datagebruiker afdwingen dat de gegevens ook real-time in het eigen systeem komen. Niet alle leveranciers bieden die mogelijkheid. Als back-up is het goed als de data ook worden opgeslagen in een datalogger bij de sensoren om te voorkomen dat er data kwijtraken door netwerkstoringen.

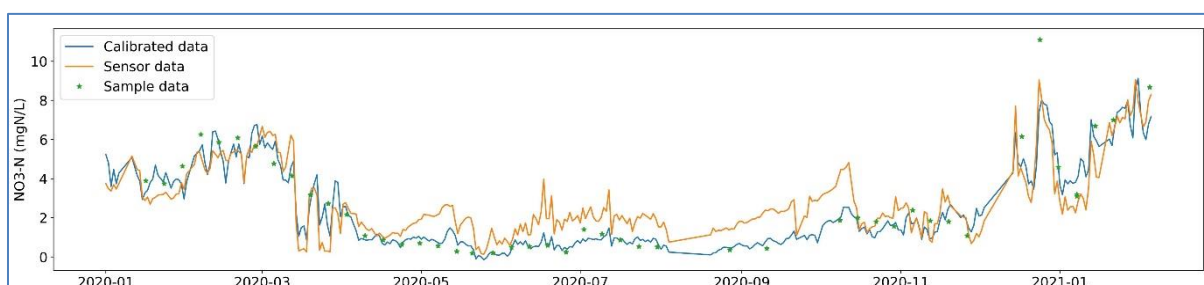
Na installatie van de sensor kunnen er door databehandeling achteraf inconsequente gegevensreeksen ontstaan. Zorg daarom voor een uniforme tijdsinstelling (zomer-/wintertijd, maar ook tijdzone) en naamgeving en maak goede afspraken voor de eenheden van nitraat in de sensor (bijvoorbeeld nitraat in mg/l of als nitraat-N in mg/l). Voor de laboratoriummetingen is dit goed geregeld, omdat de Nederlandse waterbeheerders voor waterkwaliteitsmetingen met de Aquo-standaard werken [7]. Voor de waterkwaliteitsmetingen met sensoren is hierin nog een ontwikkeling te maken.

Typisch voor metingen met sensoren is dat er ruis in de data kan zitten. Voorbewerken en opschonen van de dataset is nodig om de data op een goede manier verder te kunnen verwerken en/of presenteren. De voorbewerking van de dataset bestaat idealiter uit een check op extreme waarden, op uitschieters, levendigheid en springerigheid van het sensorsignaal. Een goed inzetbare manier om uitschieters te detecteren is een filter op basis van een 'nearest neighbour-algoritme'. Daarnaast is het mogelijk grenswaarden in te stellen op basis van fysische eigenschappen of historische meetreeksen in het te onderzoeken water. Hierbij is het nuttig om gebruik te maken van externe databronnen zoals neerslag-, overstort-, maai-, bagger- en overige onderhoudsgegevens. Deze stappen vormen samen de anomaliedetectie. Voor visualisatiedoeleinden kan de anomaliedetectie gevolgd worden door een *data smooth*, om het ruisniveau te verlagen (afbeelding 3). Het is belangrijk om nooit ruwe meetgegevens weg te gooien: afwijkende metingen moeten worden voorzien van een label en gecorrigeerde reeksen moeten apart opgeslagen worden.



Afbeelding 3. Ruwe meetwaarden voor nitraat, zoals gerapporteerd door de sensor (blauwe stippen) en na anomaliedetectie en data smooth (oranje stippen) [6]

Als er een voldoende lange meetreeks verzameld is en er ook resultaten van steekmonsters beschikbaar zijn, is het mogelijk om correcties voor off-set en drift uit te voeren (afbeelding 4). Bij dergelijke correcties is het belangrijk rekening te houden met de onderhoudsmomenten; de sensorwaarden kunnen door het onderhoud verspringen. Ook het achteraf invullen van gaten in de meetreeks is mogelijk op basis van de relatie tussen verschillende continu gemeten parameters. De relatie tussen nitraat, elektrisch geleidingsvermogen, afvoer, neerslag en/of grondwaterstanden is bijvoorbeeld vast te leggen in een machine learning-algoritme.



Afbeelding 4. Ruwe meetwaarden voor nitraat uit de sensor (oranje lijn), laboratoriumanalyses van watermonsters uit dezelfde waterloop (groene stippen) en de gekalibreerde resultaten voor nitraat van de sensor met een machine learning-aanpak, waarbij onder andere perioden met sterke drift, zoals september 2020, zijn gecorrigeerd (blauwe lijn) [6]

Tot slot is een goed logboek essentieel voor interpretatie en dataverwerking. Dit stimuleert ook de communicatie tussen de verschillende betrokkenen. In een logboek moeten minimaal de momenten van onderhoud aan de sensoren vastgelegd worden. Ook inzicht in gebeurtenissen in en rondom het water zoals maaien, baggeren, veranderingen in peil en/of weersomstandigheden zijn handig om te hebben. Het is eenvoudiger om deze gedurende het jaar bij te houden dan om het achteraf allemaal terug te moeten zoeken.

### Veldprestaties

De drie onderzoeken met UV-nitraatsensoren laten zien dat het goed mogelijk is om met commercieel verkrijgbare sensoren continu nitraat te meten. Pieken worden meestal goed waargenomen. UV-nitraatsensoren kunnen wel afwijken ten opzichte van laboratoriummetingen qua absolute concentraties. Dit is mede afhankelijk van de sensorinstellingen, het meetbereik en de ijkmethode. Voor de nitraatsensor bij het project Sensor Gestuurd Boeren bleek wel dat de datakwaliteit sterk afhangt van troebelheid. De sensor kan zelf voor een deel corrigeren voor troebel water, maar als de troebelheid te groot wordt zijn de metingen niet meer betrouwbaar. Pieken in troebelheid zijn vaak kort en hangen samen met pieken in de afvoer. Meestal is het praktisch niet mogelijk om tijdens zo'n piek de sensorinstellingen aan te passen, maar het zijn juist wel de interessante momenten om de snelle veranderingen in de nitraatconcentraties te meten. Op dezelfde locatie staat ook de meetcabine met een ander merk sensor en een iets andere afstelling die minder snel uitvalt bij zeer troebel water. De UV-nitraatsensoren blijken weinig gevoelig voor verstoring door chloride of temperatuurschommelingen [5].



### Kosten

Er zijn diverse leveranciers van UV-nitraatsensoren in verschillende prijsklassen (globale range € 5.000 – 15.000). Bij een goede meetopstelling komen bovendien nog randapparatuur, stroom, modems en andere hardware kijken (ca € 5.000). Voor het onderhoud aan de sensoren komt daar nog een jaarlijks bedrag bij van € 2.500 – 10.000 (uren en onderdelen).

De ontwikkelingen op het gebied van elektronica en sensoren liggen niet stil; het blijft altijd goed om ontwikkelingen in de gaten te houden en te zien welke nieuwe systemen op de markt verschijnen met gunstigere prijs- of onderhoudseigenschappen. Het inzetten van nieuwe sensortypen is wel een risico aangezien er nog weinig gebruikerservaringen zijn; mogelijk vallen de prestaties en onderhoudsgevoeligheid tegen voor toepassingen in oppervlaktewater.

### Conclusie

Al met al is het continu meten van nitraat mogelijk. Deze continue nitraatgegevens leveren onderzoekers veel inzicht op in oorzaken en mogelijke oplossingen voor nitraatuitspoeling. Het meten met sensoren is echter geen eenvoudige of goedkope aangelegenheid. Om teleurstellingen te voorkomen is een goede afweging van de in te zetten methodiek in relatie tot het meetdoel en de te onderzoeken watergang nodig. Ook moet voldoende tijd worden genomen voor onderhoud en het opwerken van de ruwe sensorwaarden tot een bruikbare en presentabele dataset.

### Dankwoord

Het project Sensor Gestuurd Boeren wordt mede mogelijk gemaakt door financiële bijdragen van de provincie Noord-Brabant en het Europees Landbouwfonds voor Plattelandsontwikkeling.

Een deel van dit onderzoek is gefinancierd door de KennisImpuls Waterkwaliteit, waarin wordt samengewerkt met een breed consortium van Rijk, provincies, waterschappen, drinkwaterbedrijven en kennisinstituten [3].

### Referenties

1. Rozemeijer, J. et al. (2020). *Meettechnieken voor de Kennisimpuls Nutriëntenmaatregelen*. <https://www.kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/meettechnieken-voor-de-kennisimpuls-nutriëntenmaatregelen>
2. <https://www.rivm.nl/watersnip>. Geraadpleegd december 2021.
3. <https://kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/themas/nutriënten-welke-landbouwmaatregelen-snijden-hout>. Geraadpleegd december 2021.
4. <https://www.aenmaas.nl/in-jouw-buurt/projectenkaart/sensorgestuurd-boeren>. Geraadpleegd december 2021.
5. Hooijboer, A., Tenner, E., Rozemeijer, J. (2021). 'Acht nitraatsensoren vergeleken, waarin zitten de verschillen?' *H2O Water Matters*. December 2021, p 36 - 39
6. Zhu X. (2021). *Water Quality Data Algorithms Report*. Imec Netherlands in opdracht van waterschap Aa en Maas.
7. <https://www.ihw.nl/aquo-standaard>. Geraadpleegd december 2021.