



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*



# WaterSNIP

## *Meetcampagne Nitraatsensoren*

Een vergelijking van acht verschillende  
sensoren die hoogfrequent nitraat  
meten in oppervlaktewater

**Dit rapport bevat een erratum  
d.d. 25 februari 2022 op pagina 52**





Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

## **WaterSNIP Meetcampagne Nitraatsensoren**

Een vergelijking van acht verschillende sensoren die  
hoogfrequent nitraat meten in oppervlaktewater

**Dit rapport bevat een erratum  
d.d. 25 februari 2022 op pagina 52**

RIVM-rapport 2021-0141

## Colofon

© RIVM 2021

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van haar producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook [www.rivm.nl/toegankelijkheid](http://www.rivm.nl/toegankelijkheid).

DOI 10.21945/RIVM-2021-0141

E.V. Tenner (auteur), RIVM  
A.E.J. Hooijboer (auteur), RIVM  
J.C. Rozemeijer (auteur), Deltares

Contact:  
Arno Hooijboer  
Centrum voor Milieukwaliteit  
[Arno.hooijboer@rivm.nl](mailto:Arno.hooijboer@rivm.nl)

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van LNV in het kader van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid.

Dit is een uitgave van:  
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**  
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
Nederland  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

## Publiekssamenvatting

### **WaterSNIP Meetcampagne Nitraatsensoren**

Een vergelijking van acht verschillende sensoren die hoogfrequent nitraat meten in oppervlaktewater

Nitraatsensoren maken het mogelijk om heel vaak de concentratie nitraat in oppervlaktewater te bepalen. Op dit moment wordt de concentratie maximaal één keer per maand gemeten. Door heel veel metingen te doen kan de gemiddelde nitraatconcentratie in oppervlaktewater veel preciezer worden bepaald. Met sensoren kan ook worden bepaald hoe de nitraatconcentratie door de tijd heen verandert. Dat geeft informatie over de manier waarop nitraat rond landbouwbedrijven naar het slootwater wegspoelt. Om de sensoren zo goed mogelijk te kunnen gebruiken, moeten ze regelmatig worden gecontroleerd.

Dit blijkt uit onderzoek van het RIVM, waarin acht verschillende sensoren zijn getest en vergeleken. Met deze sensoren is in Eijsden twee maanden lang de nitraatconcentratie van het water in de Maas bepaald. Het is voor het eerst dat met zoveel verschillende sensoren tegelijk is gemeten. De sensoren zijn getest vanuit WaterSNIP (het Water Sensoren Nutriënten Innovatieprogramma van het RIVM). Hierin onderzoekt het RIVM of sensoren beter kunnen meten hoeveel meststoffen uit de landbouw wegspoelen naar grond- en oppervlaktewater.

In het WaterSNIP werkt het RIVM samen met andere onderzoeksinstituten, waterschappen en leveranciers van sensoren in een zogenoemde Deelnemersgroep. Het doel van deze samenwerking is kennis delen, proefprojecten opzetten en uiteindelijk één meetmethode met sensoren ontwikkelen. Hierdoor kunnen de metingen van het RIVM en van bijvoorbeeld de waterschappen in de toekomst op elkaar aansluiten en de resultaten beter worden vergeleken.

Om goed in beeld te krijgen hoe meststoffen wegspoelen, is het nodig ook andere stoffen dan nitraat te meten. Een daarvan is ammonium, waarvan de norm in oppervlaktewater vaak wordt overschreden. Eind 2021 gaat het RIVM samen met de Deelnemersgroep onderzoeken welke sensoren geschikt zijn om ammonium in oppervlaktewater te meten.

Kernwoorden: nitraat, sensoren, WaterSNIP, LMM, oppervlaktewater, waterschappen, deelnemersgroep, waterbeheerders, Rijkswaterstaat



## Synopsis

### **WaterSNIP Measurement Campaign: Nitrate sensors**

A comparison of eight different sensors that can measure nitrate in surface water high-frequent

Nitrate sensors make it possible to determine the concentration of nitrate in surface water very frequently. It is currently measured once a month at the most. With frequent measurements, the average nitrate concentration in surface water can be determined much more accurately. How the nitrate concentration changes over time can also be determined by using sensors. This provides important information on the way in which nitrate leaches into ditches around farms. The sensors must be checked regularly if they are to produce the best possible results.

This became apparent from an RIVM study in which eight different sensors were tested and compared. These sensors were used to determine the nitrate concentration of the water in the Maas in Eijsden for a period of two months. This was the first time that measurements have been performed with so many different sensors at the same time. The sensors were tested via RIVM's WaterSNIP or Water Sensors Nutrients Innovation Programme. In this programme, RIVM investigates whether sensors can produce better measurements of the quantities of fertilisers that leach from agricultural land into groundwater and surface water.

In the WaterSNIP, RIVM works together with other research institutes, water boards and suppliers of sensors in what is known as a 'participant group'. The objective of this cooperation is to share knowledge, to set up pilot projects and, ultimately, to develop a single measuring method using sensors. This would mean that measurements performed by RIVM and, for example, water boards would, in future, be compatible with one another and the results could be compared more easily.

To achieve a reliable picture of how fertilisers leach out of soil, substances other than nitrate must also be measured. One such other substance is ammonium; the standard for ammonium in surface water is often exceeded. In late 2021, RIVM and the participant group will jointly look at which sensors are suitable for measuring ammonium in surface water.

Keywords: nitrate, sensors, WaterSNIP, Minerals Policy Monitoring Programme (LMM), surface water, water boards, participant group, water managers, Directorate-General for Public Works and Water Management (Rijkswaterstaat)



## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding 9</b>
1.1	Aanleiding en achtergrond 9
1.2	Doel 9
1.3	Deelnemers 10
1.4	Leeswijzer 11
<b>2</b>	<b>Experimentele opzet 13</b>
2.1	Meettechnieken 13
2.1.1	Ion Selectieve Elektroden (ISE) 13
2.1.2	UV-absorptie sensoren (UV) 13
2.1.3	Nat-chemische auto-analysers 13
2.2	Algemene opzet sensoren in de Maas 14
2.2.1	Kenmerken van de geteste sensoren 14
2.2.2	Eenheid nitraatconcentratie 15
2.2.3	Locatie 15
2.2.4	Monstername 16
2.2.5	Kalibratie van de sensoren 16
2.3	Experiment 1: Maaswater 18
2.3.1	Achtergrond 18
2.3.2	Opzet en uitvoering 18
2.4	Experiment 2: Toevoeging van chloride 20
2.4.1	Achtergrond 20
2.4.2	Opzet en uitvoering 20
2.5	Experiment 3: Toevoeging van nitraat 22
2.5.1	Achtergrond 22
2.5.2	Opzet en uitvoering 22
2.6	Experiment 3: Temperatuur en stabiliteit 23
2.6.1	Achtergrond 23
2.6.2	Opzet 23
2.7	Voorbereiden van de data 24
2.7.1	Meetfrequentie aanpassen 24
2.7.2	Opschonen van de meetgegevens 25
2.7.3	Middeling voor het vergelijken met de labmetingen 25
2.7.4	Correctie aan de hand van de labmetingen 25
2.7.5	Drift tussen de sensoren 25
<b>3</b>	<b>Resultaten 27</b>
3.1	Experiment 1: Maaswater 27
3.1.1	Beschikbaarheid van de data 27
3.1.2	Gemeten nitraatconcentraties 28
3.1.3	Verskil tussen laboratoriummetingen en de sensoren 31
3.1.4	Variatie tussen de sensoren 32
3.1.5	Dagelijkse variatie in nitraatconcentratie 32
3.1.6	Temperatuur gedurende experiment 1 33
3.2	Experiment 2: Toevoeging van chloride 34
3.3	Experiment 3: Toevoeging van nitraat 36
3.4	Experiment 4: Temperatuur en stabiliteit 38
3.4.1	Temperatuureffect 38
3.4.2	Stabiliteit van de sensor 40

<b>4</b>	<b>Conclusies 43</b>
<b>5</b>	<b>Aanbevelingen voor meten met sensoren 45</b>
<b>6</b>	<b>Literatuur 47</b>
<b>7</b>	<b>Contactgegevens deelnemers en sensoren 49</b>
	<b>Erratum 52</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en achtergrond

WaterSNIP is een acroniem voor Water Sensoren Nutriënten Innovatie Programma. Het is een innovatieprogramma van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM). Binnen het LMM wordt op 450 landbouwbedrijven de kwaliteit gemeten van het water dat vanuit landbouwpercelen uitspoelt naar grondwater en slootwater. Het doel van het LMM is het monitoren van de effecten van het mestbeleid. WaterSNIP richt zich op de vraag of het meetnet efficiënter wordt indien nieuwe technologie wordt gebruikt, zoals waterkwaliteitssensoren. Daarnaast is de ambitie om de schaal te verkleinen waarop uitspraken over de waterkwaliteit gedaan kunnen worden: in plaats van alleen op grondsoortregio ook per stroomgebied of per bedrijf. Dit samen levert een toekomstbestendig LMM op.

Het RIVM heeft het initiatief tot WaterSNIP genomen, maar de nadruk ligt sterk op samenwerking met andere partijen. De samenwerking binnen WaterSNIP vindt plaats in de Deelnemersgroep (paragraaf 1.3). Dit is een groep belanghebbenden op het gebied van waterkwaliteit, beleid en sensortechnologie. De belangrijkste functie van de Deelnemersgroep is het delen van kennis over sensortechnologie en het gezamenlijk opzetten van pilotprojecten. Het uiteindelijke doel is het ontwikkelen van een uniforme meetmethode met sensoren, zodat metingen van verschillende meetnetten en partijen optimaal op elkaar aansluiten.

In dit rapport wordt verslag gedaan van een meetcampagne waarin acht verschillende sensoren voor nitraat worden vergeleken. Nitraat is de belangrijkste parameter binnen het LMM, want de nitraatconcentraties in het uitspoelingswater reageren relatief snel op veranderingen in het landgebruik. Verschillende organisaties passen al nitraatsensoren toe, waarbij de kennis over de onderlinge vergelijkbaarheid van verschillende typen sensoren vaak ontbreekt. De focus van deze meetcampagne ligt daarom op nitraatsensoren.

## 1.2 Doel

Het algemene doel van deze studie was het vergelijken van verschillende hoogfrequente meettechnieken voor nitraat in oppervlaktewater. Hierdoor wordt inzicht verkregen in de kwaliteit en toepasbaarheid van de verschillende methodes om hoogfrequent nitraat te meten. Door gezamenlijk de campagne uit te voeren leren we van elkaar en komt een uniforme meetmethode dichterbij.

Er zijn op het meetpunt van Rijkswaterstaat in de Maas bij Eijsden vier experimenten gedaan met nitraatsensoren van de deelnemende partijen. Elk van deze experimenten was gericht op een specifiek doel.

**Experiment 1 Maaswater:** De nitraatsensoren hebben gedurende twee maanden de nitraatconcentraties in de Maas gemeten met als doel de verschillen tussen sensoren onderling te bepalen en ten opzichte van het laboratorium.

**Experiment 2 Toevoeging chloride:** De nitraatsensoren zijn blootgesteld aan Maaswater met een trapsgewijze toevoeging van natriumchloride met als doel te bepalen of de chlorideconcentratie invloed heeft op de meetwaarden voor nitraat.

**Experiment 3 Toevoeging nitraat:** De nitraatsensoren zijn blootgesteld aan demiwater met een trapsgewijze toevoeging van kaliumnitraat met als doel de gevoeligheid en nauwkeurigheid te bepalen bij een grotere range aan nitraatconcentraties.

**Experiment 4 Temperatuur en stabiliteit:** De nitraatsensoren hebben gedurende 24 uur kraanwater met een constante nitraatconcentratie gemeten. Het doel van dit experiment is tweeledig: (1) het biedt de kans de stabiliteit van de sensoren onderling te vergelijken; (2) hiermee kan worden onderzocht of de watertemperatuur van invloed is op de gemeten nitraatconcentratie van deze sensoren.

### 1.3 Deelnemers

Het idee voor de meetcampagne met nitraatsensoren is geopperd bij een bijeenkomst van de WaterSNIP Deelnemersgroep. Om dit idee uit te werken is een webinar georganiseerd waarin de bereidheid is geïnventariseerd om deel te nemen aan de meetcampagne. De bereidheid bleek groot en daarna heeft het RIVM het initiatief genomen om de campagne te organiseren. De deelnemende partijen (zie Tabel 1) doen mee uit eigen initiatief; er is niet actief geworven of uitgenodigd en er heeft ook geen selectie plaatsgevonden. Van tevoren is afgesproken dat de data pas openbaar worden gemaakt na een gezamenlijke analyse. Elke partij heeft vetorecht over de publicatie van haar eigen data. Eén partij heeft hiervan gebruikgemaakt en heeft zich teruggetrokken.

Naast de leveranciers van sensoren waren AQUON, Deltares en Technolution betrokken bij de inrichting van de meetcampagne. Rijkswaterstaat stelde het meetponton in de Maas bij Eijsden beschikbaar.

Tabel 1 Deelnemende partijen en de sensor/methode die is ingezet

<b>Deelnemende partij</b>	<b>Sensor/methode</b>	<b>Sensornaam in dit rapport</b>
Endress + Hauser	Endress+Hauser Viomax CAS51D	Viomax
Qsenz	s::can spectro::lyser	spectro::lyser
Ott	Ott Eco-N	Eco-N
OnePlanet Research Center	Nitrate Sensor v1	Nitrate Sensor
-*	Twee Ion Selectieve elektroden*	-
HACH	Nitratax sc plus met SC4200 controller	Nitratax
microLAN	Aqualabo STAC2	STAC2
Observator Instruments	Systema WIZ	WIZ
Rijkswaterstaat	Laboratoriummeting bij Eurofins	Labmeting

\*) Deelnemer heeft zich teruggetrokken wegens tegenslag tijdens de campagne en teleurstellende resultaten.

#### 1.4 Leeswijzer

In de volgende hoofdstukken worden de doelen en de uitvoering van de experimenten en de resultaten hiervan uitgewerkt. Hoofdstuk 2 geeft detailinformatie over de geteste sensoren, de opzet van de meetcampagne, de experimenten en de data-analyse. Hoofdstuk 3 is gewijd aan de resultaten. In Hoofdstuk 4 is de conclusie van deze meetcampagne te vinden. In hoofdstuk 5 worden aanbevelingen gedaan voor het meten met sensoren.



## 2 Experimentele opzet

### 2.1 Meettechnieken

De eerste sensoren die hoogfrequent nitraat in water kunnen meten zijn in de jaren vijftig van de vorige eeuw ontwikkeld (Kleijn, 1975). Inmiddels zijn er vele verschillende aanbieders van nitraatsensoren die gebaseerd zijn op drie verschillende achterliggende meettechnieken; de Ion Selectieve Elektroden (ISE), UV-absorptie sensoren (UV) of nat-chemische auto-analysers.

#### 2.1.1 *Ion Selectieve Elektroden (ISE)*

ISE-sensoren zijn vaak onderdeel van multi-parameter sondes met een combinatie van sensoren. De meting is gebaseerd op een elektrisch potentiaalverschil tussen de ISE en een referentie-elektrode. Tussen het te meten water en de ISE zit een membraan dat zorgt voor de specifieke reactie op het te meten ion, in dit geval nitraat. De vertaling van potentiaalverschil naar een concentratie gaat via een instrument-specifiek algoritme, waarbij soms ook signalen van andere sensoren (bijvoorbeeld watertemperatuur of chloridemetingen) worden gebruikt voor correcties. De membranen van ISE's zijn vrij gevoelig voor verontreiniging door deeltjes of biofilms, en ISE's verouderen in de tijd. Hierdoor zijn ISE's in veldomstandigheden relatief gevoelig voor drift en hebben ze regelmatig (dagelijks tot wekelijks, afhankelijk van het watertype) onderhoud en kalibratie nodig.

#### 2.1.2 *UV-absorptie sensoren (UV)*

UV-sensoren werken met een UV-bron en een ontvangende sensor voor UV-licht dat door een watermonster gestuurd wordt. Het aanwezige nitraat in het water absorbeert een specifiek deel van het UV-licht. De nitraatconcentratie wordt derhalve bepaald aan de hand van de mate van absorptie van een specifiek deel van het UV-golflengtespectrum. Sommige UV-sensoren meten het gehele UV-spectrum, terwijl andere UV-sensoren alleen specifieke stukken van het UV-spectrum meten om de nitraatconcentratie te bepalen. Daarbij kan er eventueel worden gecorrigeerd voor bijvoorbeeld troebelheid of opgelost organisch materiaal (DOC). Er zijn ook UV-sensoren die eveneens in het zichtbare licht spectrum analyseren; deze noemen we UV-VIS-sensoren.

De gevoeligheid van de UV-sensoren hangt deels af van de afstand die het UV-licht door het watermonster aflegt, de zogenaamde weglengte (ook wel padlengte genoemd). Vaak is een UV-sensor met verschillende weglengtes leverbaar of kan deze worden ingesteld. UV-sensoren zijn vaak uitgerust met wissertjes die aanslag van deeltjes of biofilms voorkomen. Er zijn ook UV-sensoren die de sensor schoonhouden door middel van perslucht. De benodigde onderhoudsfrequentie is dan ook lager dan voor ISE's (afhankelijk van het watertype 1-3 maanden).

#### 2.1.3 *Nat-chemische auto-analysers*

De nat-chemische auto-analysers maken gebruik van reagentia die een kleurreactie teweegbrengen die afhankelijk is van de concentratie van de te meten parameter. De kleurverandering wordt met een

spectrophotometrische sensor gemeten. De techniek komt erg dicht bij de methodes die ook in laboratoria worden gebruikt. Bij nat-chemische auto-analysers die in het veld geplaatst kunnen worden is het gehele proces van monstertransport, reagentia toevoegen, meting, datatransfer en vaak ook schoonmaak en ijking geautomatiseerd. De onderhoudsfrequentie is meestal 1-3 maanden en vooral afhankelijk van de benodigde bijvul frequentie van de reagentia. Aanslag van deeltjes of biofilms in de transportslangetjes van auto-analysers kan afhankelijk van het watertype ook invloed hebben op de benodigde onderhoudsfrequentie.

## 2.2 Algemene opzet sensoren in de Maas

### 2.2.1 Kenmerken van de geteste sensoren

In de campagne deden twee ISE-sensoren, één auto-analyser en zes UV-sensoren mee. De UV-sensoren werken op een identieke manier, maar de instellingen in de sensoren wijken af van elkaar (zie Tabel 2). De deelnemer met de twee ISE's heeft zich teruggetrokken uit het project; deze data wordt niet getoond en niet gebruikt.

Tabel 2 Algemene kenmerken en instellingen van de sensoren

Sensor	Methode	Weg-lengte	Meetrange (mg NO <sub>3</sub> /l)	Meet-frequentie (n/uur)	Reiniging
Viomax	UV	2 mm	0,04-80	360	perslucht
spectro::lyser	UV-VIS	5 mm	0-80	30	wisser
ECO-N <sup>1</sup>	UV	1 mm	0-60	4	wisser
Nitrate Sensor	UV	2 mm	1-100	60	n.v.t.
Nitratax	UV	1 mm	0,2-220	120	wisser
STAC2	UV-VIS	5 mm	0-30	4	n.v.t.
WIZ	Auto-analyser	n.v.t.	0-220	1	n.v.t.

<sup>1</sup> De Eco-N is technisch gelijk aan de NICO van de firma TrioS en wordt ook onder deze naam verkocht in Nederland.

De weglengte is de afstand die het licht door het watermonster aflegt. Hoe groter deze is, hoe nauwkeuriger er ook bij relatief lage concentraties gemeten kan worden. Bij een korte weglengte kun je hogere concentraties meten, maar lagere concentraties juist niet. Het meetbereik (verschil tussen hoogst en laagst mogelijk gemeten waarde) blijft echter gelijk, onafhankelijk van de weglengte. Bij troebel water zal de weglengte moeten worden beperkt om nog genoeg UV-licht te ontvangen. De in Tabel 2 gegeven weglengtes zijn gebruikt in de campagne. Bij de UV-sensoren kan de weglengte worden aangepast of van tevoren worden gekozen.

De meetrange is het concentratiebereik waarvoor de sensor is ingesteld en gekalibreerd. Van tevoren is afgesproken dat de sensoren werden ingesteld op het meetbereik voor nitraatconcentraties kleiner dan

100 mg/l. Bij de meeste sensoren kan de meetrange worden aangepast of van tevoren worden gekozen.

De meetfrequentie is het aantal metingen dat per uur is verricht. Van tevoren is afgesproken dat, indien mogelijk, de sensoren 4x per uur meten. Met de WIZ is deze frequentie niet haalbaar en is 1x per uur gemeten. De Nitrate Sensor is nog een prototype en moet handmatig van een sample worden voorzien. Er is telkens wanneer een monster is genomen voor de labmeting ook een monster naar Oneplanet gestuurd om te analyseren in de Nitrate sensor.

Twee opeenvolgende metingen met een sensor kunnen van elkaar verschillen doordat de nitraatconcentratie is veranderd. Ze kunnen ook van elkaar verschillen vanwege de meetonzekerheid in beide metingen. Dit laatste levert ruis op in het meetsignaal: hoe stabielere de sensor hoe minder ruis. Bij sensoren met hogere meetfrequenties kan de nitraatconcentratie gemiddeld worden, zodat een stabielere signaal ontstaat. De Nitratax doet dit automatisch. De weergegeven nitraatconcentratie is een gemiddelde van drie individuele metingen achter elkaar. De ECO-N meet intern ook meerdere waarden. De ECO-N schakelt de lichtbron vijfmaal achtereenvolgens in. Vervolgens wordt het gemiddelde over de drie minst afwijkende meetwaarden geselecteerd. Bij de andere sensoren is elke waarde het resultaat van één enkele meting. Bij nabewerking kunnen deze eventueel worden gemiddeld. In de spectro::lyser kunnen metingen via de instellingen ook automatisch worden gemiddeld, maar is ervoor gekozen dit niet te gebruiken.

Sensoren kunnen automatisch worden gereinigd. Dat kan met een wisser die regelmatig de lens schoonveegt of via perslucht waarbij de lens wordt schoongespoten.

### 2.2.2 *Eenheid nitraatconcentratie*

In dit rapport wordt nitraat in alle gevallen gerapporteerd in de eenheid milligram nitraat per liter (mg/l). In de literatuur wordt soms ook de eenheid milligram stikstof per liter gebruikt voor nitraat (mg N/l). Tussen deze eenheden zit een factor 4,4. De drinkwaternorm bijvoorbeeld is 50 mg/l, uitgedrukt in stikstof per liter is dit 11,3 mg N/l.

### 2.2.3 *Locatie*

De campagne is uitgevoerd op het meetponton van Rijkswaterstaat in Eijsden (zie Foto 1). Op dit meetponton wordt de kwaliteit van het Maaswater gemonitord dat vanuit België Nederland binnenstroomt.

Deze locatie was uitermate geschikt voor de meetcampagne doordat het meetponton kan worden afgesloten, er voldoende ruimte is en er gekwalificeerd personeel is die de campagne kon begeleiden.



Foto 1 Meetponton van Rijkswaterstaat in de Maas bij Eijsden

#### 2.2.4

##### *Monstername*

Tijdens meetexperiment 1 is op elke maandag, woensdag en vrijdag een monster genomen van het Maaswater. Tijdens de experimenten 2 tot en met 4 is na elke stap het water bemonsterd (zie Tabel 6). De monsters zijn in opdracht van Rijkswaterstaat geanalyseerd in het laboratorium van Eurofins.

#### 2.2.5

##### *Kalibratie van de sensoren*

De wijze waarop de sensoren zijn gekalibreerd verschilt per sensor. Sommige sensoren zijn gekalibreerd op een standaardoplossing waarbij er geen rekening is gehouden met de samenstelling van het Maaswater (zie Tabel 3). Andere sensoren zijn niet gekalibreerd bij aanvang van de meetcampagne, en gebruiken de fabrieksinstellingen.

Tabel 3 Wijze van kalibratie van de sensoren

Naam sensor	Omschrijving	Kalibratie tijdens campagne
Viomax	<p>De sensor wordt standaard verkocht met een fabriekskalibratie en kan daardoor direct worden ingezet. Bij Endress+Hausser heeft voor deze meetcampagne nog een controle op deze kalibratie plaatsgevonden, omdat deze sensor voor langere tijd in opslag had gelegen. Tijdens de installatie heeft er slechts een snelle controle plaatsgevonden d.m.v. een cuvettest (Machery Nagel Nanocolor Nitraat 50); omdat de nauwkeurigheid van deze testen lager ligt dan de fabriekskalibratie, is er niet voor gekozen de sensor in het veld te justeren.</p>	Geen
spectro:lyser	<p>De sensor is niet specifiek gekalibreerd voor de situatie.</p> <p>De sensor werkt normaal gesproken met een zogenaamde lokale kalibratie. Dit is het fitten van gemeten concentraties op de lokale omstandigheden. Hiervoor worden een of meerdere watermonsters gemeten en gecorreleerd aan een laboratoriumwaarde.</p> <p>De lokale kalibratie van NO<sub>3</sub>-N is onder slechte regenachtige omstandigheden uitgevoerd en is daardoor mislukt. Daarom is deze kalibratie weggelaten en zijn bij deze meetcampagne de fabrieksinstellingen gebruikt.</p>	Geen
Eco-N	<p>Het systeem is gekalibreerd met een nulpuntcontrole met gedestilleerd water. De sensor was niet grondig genoeg gereinigd en het gebruikte gedestilleerde water was niet vers. Hierdoor werkte de compensatie voor de aanwezigheid van opgelost organische stof niet juist. Met name in de lage concentraties treedt dan een afwijking op. Deze afwijking neemt af naarmate de nitraatconcentratie toeneemt.</p>	Geen

Naam sensor	Omschrijving	Kalibratie tijdens campagne
Nitrate Sensor	Er is geen specifieke kalibratie uitgevoerd voor de watermatrix. Er heeft een 0-kalibratie plaatsgevonden met demiwater.	N.v.t.
Nitratax	De Nitratax is onderhouden in het servicecentrum van Hach in Berlijn voordat deze is ingezet op de locatie Eijsden. Hier is deze gecontroleerd en gekalibreerd met verschillende nitraatoplossingen (100, 200 en 400 mg/l). Er is daarna geen (matrix)correctie of nog een kalibratie uitgevoerd.	Geen
STAC2	De kalibratie is uitgevoerd met nitraat-standaardoplossingen in demiwater van 4,4 mg/l, 8,9 mg/l en 31 mg/l. Er wordt een correctiefactor toegepast.	Geen
WIZ	Vóór de installatie in Eijsden zijn de reagentia en kalibratiestandaarden in eigen lab gemaakt. De standaarden zijn gemaakt volgens recept van Systea. Er wordt alleen gekalibreerd met demiwater (0 mg/l) en in een kalibratie-vloeistof van 2 mg/l NO <sub>3</sub> -N.	Tweemaal opnieuw gekalibreerd na vernieuwen van reagentia.

## 2.3 Experiment 1: Maaswater

### 2.3.1 Achtergrond

Dit experiment is opgezet om de sensoren te vergelijken onder natuurlijke omstandigheden.

### 2.3.2 Opzet en uitvoering

Gedurende twee maanden (begin oktober tot begin december 2020) hebben acht verschillende sensoren nitraat gemeten van het Maaswater. Dit experiment is uitgevoerd in het najaar omdat de nitraatconcentraties dan hoger zijn dan in de zomer. In het najaar komt de uitspoeling vanuit landbouwpercelen op gang en verminderen biochemische opname- en afbraakprocessen.

De meeste sensoren zijn direct in de Maas geplaatst (zie Foto 2 en Tabel 6). De WIZ en de STAC2 nemen water uit de doorstroombak die binnen in de laboratoriumruimte van het meetponton staat (zie Foto 3). De doorstroomsnelheid in de doorstroombak is hoog en het is onwaarschijnlijk dat verschillen ontstaan met sensoren die direct in de Maas staan. De Nitrate Sensor is nog een prototype en staat in het laboratorium van OnePlanet.

Vooraf was afgesproken om de sensoren uitsluitend vooraf te kalibreren en de sensoren gedurende de twee maanden ongestoord te laten meten.

Met deze aanpak kan ook drift, de langzaam ontstane meetafwijking, worden onderzocht.



*Foto 2 Uitzicht vanuit het meetponton van Rijkswaterstaat. De sensoren buiten zijn aan de reling bevestigd. De blauwe kastjes zijn de controllers van de Viomax*

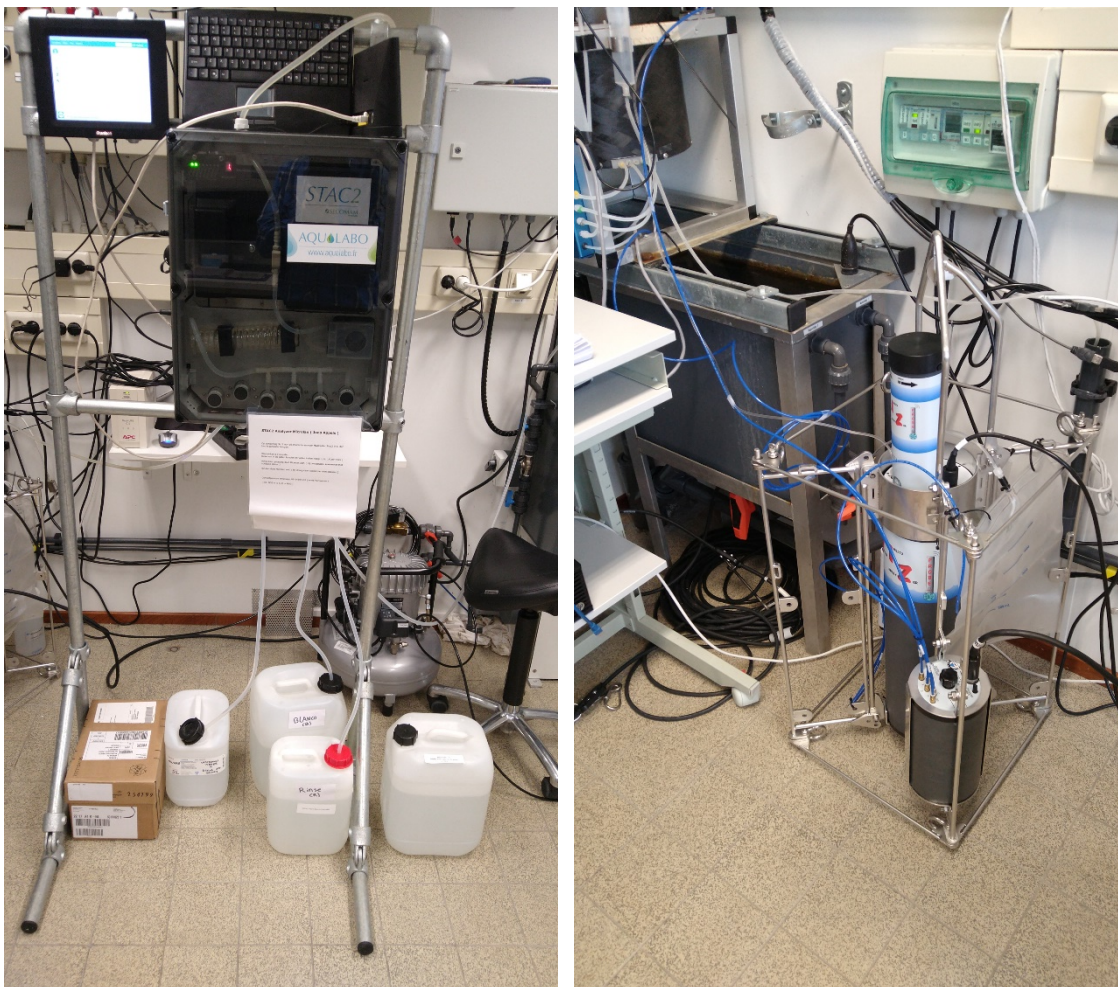


Foto 3 De STAC2 (links) en de WIZ (rechts) zijn binnen in het lab geplaatst en krijgen water uit de doorstroombak

## 2.4 Experiment 2: Toevoeging van chloride

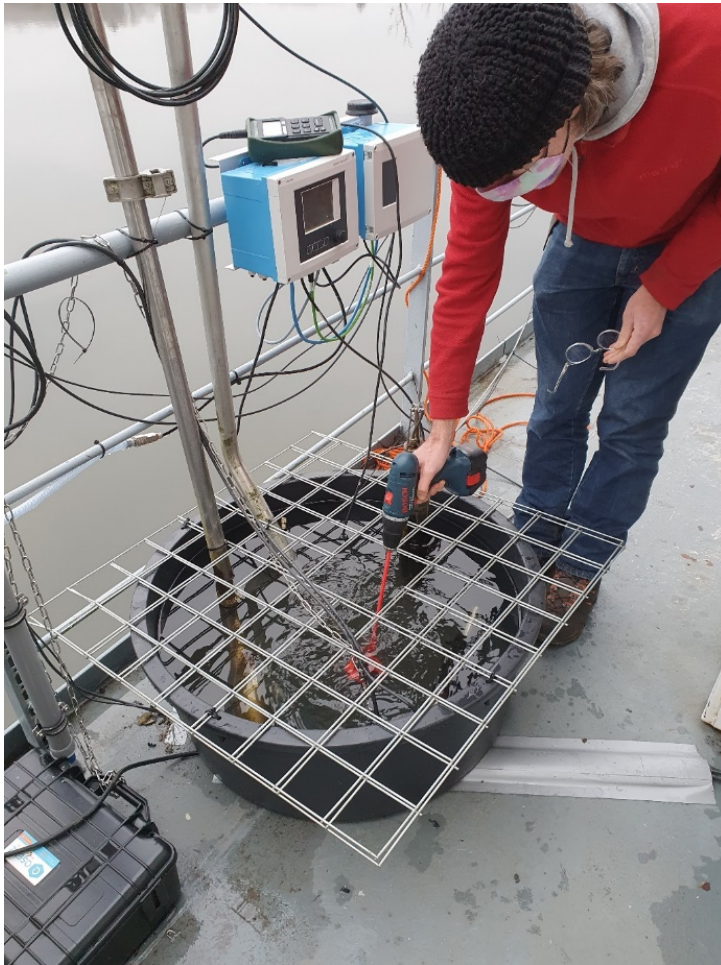
### 2.4.1 Achtergrond

Het is bekend dat nitraatmetingen met ISE-sensoren kunnen worden beïnvloed door de chlorideconcentratie (bijvoorbeeld Di Giola et al., 2010). Of dit ook het geval is bij nitraatmetingen met UV-sensoren, was vooraf niet duidelijk. Binnen de Deelnemersgroep was men hierover ook niet eenduidig. Beïnvloeding kan ontstaan doordat het UV-spectrum voor chloride en nitraat deels overlapt. Voor de nat-chemische auto-analyser was de hypothese dat beïnvloeding gering is. Er was geen reden om aan te nemen dat een kleurreactie met nitraat zou worden beïnvloed door de chlorideconcentratie.

Dit experiment is opgezet om te bepalen of en hoeveel beïnvloeding van chloride er is bij het meten van nitraat met sensoren.

### 2.4.2 Opzet en uitvoering

De sensoren die buiten staan (Nitratax, ECO-N, spectro::lyser en Viomax) zijn in een reservoir met 100 liter Maaswater geplaatst (zie Foto 4). De WIZ en de STAC2 zijn binnen in het laboratorium blijven staan.



*Foto 4 De opstelling van de experimenten 2 tot en met 4. Het reservoir van 100 liter waarin de vier sensoren zijn geplaatst. Met een verfmenger wordt het water steeds goed gemengd tijdens het maken van de oplossing*

De chlorideconcentratie in het reservoir is in zes stappen steeds verdubbeld van 50 mg/l (Maaswater) tot 6.635 mg/l (brak water; ter referentie chlorideconcentratie zeewater is circa 18.000 mg/l; zie Tabel 4). Elk halfuur is natriumchloride toegevoegd door een vooraf afgewogen hoeveelheid op te lossen in het water. Direct na elke toevoeging is het water in het reservoir mechanisch gemengd met een verfmenger in een boormachine (zie Foto 4). Bij dit experiment is met een handheld EC-meter de geleidbaarheid gemeten. Het mengen is gestopt zodra de EC stabiel werd.

Hierna is een monster genomen ter analyse met de Nitrate Sensor en voor de labmeting. Vervolgens is een monster (1 liter) van het water uit het reservoir binnen geplaatst om te laten meten door de STAC2 en de WIZ. Daarna werd verdergegaan met de volgende stap van natriumchloridetoevoeging. Het watervolume, het toegevoegde zoutgewicht en de berekende chlorideconcentraties voor de stappen zijn in Tabel 4 weergegeven.

Voor elke sensor is voor elke stap één representatieve meetwaarde geselecteerd om te vergelijken met de labmeting en met de andere sensoren.

Tabel 4 Uitvoering van experiment 2, toevoeging van chloride

Stap	Watervolume in het reservoir (l)	Chloride toegevoegd (gram NaCl)	Berekende chlorideconcentratie (mg/l)
Maaswater	100	0	50
1	99	8	99
2	98	16	199
3	97	33	406
4	96	66	817
5	95	132	1.642
6	94	264	3.302
7	93	527	6.635

## 2.5 Experiment 3: Toevoeging van nitraat

### 2.5.1

#### *Achtergrond*

De veranderingen in de nitraatconcentratie in de Maas waren gedurende de twee maanden van deze meetcampagne vrij gering (hoofdstuk 3). In kleinere wateren komen veel grotere variaties in de nitraatconcentratie voor. Dit experiment is uitgevoerd om te testen hoe de sensoren reageren op veel hogere en veel lagere nitraatconcentraties dan in de Maas.

### 2.5.2

#### *Opzet en uitvoering*

De sensoren die buiten staan (Nitratax, ECO-N, spectro:lyser en Viomax) zijn in een reservoir met 100 liter demiwater geplaatst (zie Foto 4). Zowel Maaswater als het lokale kraanwater voldeed niet om heel lage nitraatconcentraties te meten. De WIZ en de STAC2 zijn binnen in het laboratorium blijven staan.

De nitraatconcentratie is vanaf 0 mg/l stapsgewijs verhoogd tot een concentratie van 138 mg/l (zie Tabel 5). Elk halfuur is de nitraatconcentratie verdubbeld door de toevoeging van kaliumnitraat. Direct na elke toevoeging is het water in het reservoir mechanisch gemengd met een verfmenger in een accuboormachine.

Bij dit experiment is met een handheld de EC-meter de geleidbaarheid bepaald. Aan de hand van de stabiliteit van de geleidbaarheid is bepaald of de menging compleet is. Het mengen is gestopt indien de geleidbaarheid stabiel was. De Viomax is uitgerust met een afleesschermb; hierop is als dubbele controle gecheckt of de nitraatconcentratie stabiel was.

Hierna is een monster genomen ter analyse met de Nitrate Sensor en voor de labmeting (Eurofins). Vervolgens is een monster (1 liter) van het water uit het reservoir binnen geplaatst, om te laten meten door de STAC2 en de WIZ. Door het afnemen van deze monsters nam het watervolume bij elke stap met 1 liter af. Daarna volgde de volgende stap van kaliumnitraattoevoeging.

Voor elke sensor is één representatieve meetwaarde geselecteerd om te vergelijken met de labmeting en met de andere sensoren.

Tabel 5 Uitvoering van experiment 3, toevoeging van nitraat

Stap	Watervolume in het reservoir (l)	Nitraat toegevoegd (gram KNO <sub>3</sub> )	Berekende nitraatconcentratie (mg/l NO <sub>3</sub> )
Demiwater	100	-	0
1	99	0,075	0,77
2	98	0,155	1,9
3	97	0,294	4,1
4	96	0,57	8,5
5	95	1,1	16,9
6	94	2,2	34,0
7	93	4,4	68,5
8	92	8,8	138,3

## 2.6 Experiment 3: Temperatuur en stabiliteit

### 2.6.1 Achtergrond

In de metingen in de Maas lijken er dagelijkse variaties te zijn in de nitraatconcentratie die met de sensoren wordt gemeten (hoofdstuk 3). Het is de vraag of dit een werkelijke schommeling is van de nitraatconcentratie in de Maas (bijvoorbeeld door biochemische processen) of mogelijk een temperatureffect van de sensoren. Om dit laatste uit te sluiten zijn de sensoren gedurende meer dan een etmaal buiten in een reservoir geplaatst met daarin kraanwater.

### 2.6.2 Opzet

In dit experiment zijn de sensoren in kraanwater geplaatst (zie Tabel 6). De aanname hierachter is dat er in kraanwater geen biologische activiteit heerst die de nitraatconcentratie kan beïnvloeden. De sensoren hebben gedurende minstens 24 uur in hetzelfde water gestaan. In deze periode is er dus aan de nitraatconcentratie niets veranderd. Indien de gemeten nitraatconcentratie varieert met de watertemperatuur, is er een temperatuurgevoeligheid in de sensor. De temperatuur van het water werd gemeten door de spectro::lyser en de Viomax.

De STAC2 en de WIZ stonden ook tijdens dit experiment binnen, waar de temperatuur veel constanter was. Voor deze sensoren zijn deze data alleen gebruikt voor het testen van de stabiliteit.

Tabel 6 Overzicht per experiment van de locaties en watertype per sensor

Sensor	Locatie experiment 1	Locatie experiment 2	Locatie experiment 3	Locatie experiment 4
Viomax	buiten direct in de Maas	buiten in reservoir met Maaswater	buiten in reservoir met demiwater	buiten in reservoir met kraanwater
spectro::lyser	buiten direct in de Maas	buiten in reservoir met Maaswater	buiten in reservoir met demiwater	buiten in reservoir met kraanwater
ECO-N	buiten direct in de Maas	buiten in reservoir met Maaswater	buiten in reservoir met demiwater	buiten in reservoir met kraanwater
Nitrate Sensor	3 x p/w monster uit de Maas	samples uit reservoir van Maaswater	samples uit reservoir van demiwater	samples uit reservoir van kraanwater
Nitratax	buiten direct in de Maas	buiten in reservoir met Maaswater	buiten in reservoir met demiwater	buiten in reservoir met kraanwater
STAC2	binnen in doorstroombak van de Maas	binnen met samples uit reservoir van Maaswater	binnen met samples uit reservoir van demiwater	binnen met reservoir kraanwater
WIZ	binnen in doorstroombak van de Maas	binnen met samples uit reservoir van Maaswater	binnen met samples uit reservoir van demiwater	binnen met reservoir kraanwater

## 2.7 Voorbereiden van de data

Voordat de meetdata van de sensoren zijn gebruikt voor de analyses en interpretatie, zijn de gegevens gecontroleerd en bewerkt. Deze controle bestaat uit een aantal stappen, die hieronder worden besproken.

### 2.7.1 Meetfrequentie aanpassen

De verschillende sensoren hebben verschillende frequenties van meten (zie Tabel 2). Sommige sensoren meten elke minuut, andere sensoren eens per uur. Voor deze meetcampagne wordt waar mogelijk een frequentie van 15 minuten aangehouden, om 0, 15, 30 en 45 minuten over het uur. De auto-analyser (WIZ) meet twee keer per uur, hier wordt het hele en halve uur aangehouden.

Per sensor wordt eerst bepaald op welke tijdstippen een meting is gedaan. wordt de meting het dichtstbij het hele kwartier genomen om te gelden voor dat kwartier. Hierbij wordt aangenomen dat de nitraatmeting van een aantal minuten eerder of later nog geldig is. Bijvoorbeeld: de STAC2 geeft een meting door om 3, 18, 33 en 48 over het uur. Deze metingen worden beschouwd als gemeten op 00, 15, 30 en 45 over het uur. Met deze aanpak kunnen de gegevens met elkaar vergeleken worden.

### 2.7.2 *Opschonen van de meetgegevens*

Tijdens het meten kan het gebeuren dat er waardes worden gemeten die niet juist zijn. De doorgegeven meetwaardes geven dan niet de variatie in nitraat aan, maar zijn beïnvloed door verstoringen in de omgeving.

Per sensor is het verloop van de meetreeks bekeken, waarbij erop is gelet of de metingen van de verschillende sensoren in eenzelfde lijn lopen. Wanneer een sensor afwijkingen vertoont ten opzichte van de andere sensoren, is met de leverancier overlegd wat de oorzaak van de onregelmatigheid kon zijn.

### 2.7.3 *Middeling voor het vergelijken met de labmetingen*

De monsters voor de lab-analyse zijn steeds rond 12 uur overdag genomen. Voor het vergelijken van de sensoren met de labmetingen wordt het gemiddelde van de metingen van de sensor van het uur voor en het uur na de monsternamen genomen (11-13u). Zodat de tijdstippen van de metingen van de sensoren zeker overeenkomen met tijdstip van het nemen van het monster. Voor het bepalen van het verschil in nitraatconcentratie tussen de labmetingen en de metingen van de sensor is gebruik gemaakt van dit gemiddelde.

### 2.7.4 *Correctie aan de hand van de labmetingen*

De sensoren meten niet allemaal dezelfde nitraatconcentratie. Een van de analyses is de vergelijking van de eventuele drift van verschillende sensoren. Voor deze vergelijking is het absolute concentratieniveau niet belangrijk en zijn de waardes gelijkgetrokken aan de hand van de labmetingen.

Deze correctie is achteraf uitgevoerd voor alle sensoren op dezelfde manier. Per sensor zijn de eerste drie labmetingen na het inzetten van de sensor genomen. Op deze tijdstippen is het gemiddelde van de sensor bepaald, zoals in paragraaf 2.7.3 beschreven. Vervolgens is het gemiddelde verschil tussen de labmetingen en de sensormetingen berekend. Dit verschil is gebruikt als vaste correctiewaarde voor de hele reeks van twee maanden van het Maaswaterexperiment. De gecorrigeerde waardes zijn de gemeten waarden plus de correctiewaarde.

### 2.7.5 *Drift tussen de sensoren*

Na verloop van tijd kan het zijn dat de sensor een afwijking begint te vertonen, dit noemen we drift. Om deze drift te bepalen, worden de sensoren onderling en met de labmetingen vergeleken.

Van alle sensoren is de afwijking ten opzichte van de labmetingen bepaald. Als het verschil tussen labmeting en sensormeting toe- of afneemt kan er sprake zijn van drift.

In een tweede stap worden de sensoren met hetzelfde meetprincipe (de UV-sensoren) onderling met elkaar vergeleken. Vanaf het begin van de meetcampagne tot 2 december 2020 is voor elk tijdstip de standaarddeviatie tussen de metingen van de UV-sensoren bepaald. Vervolgens is per dag een gemiddelde standaarddeviatie berekend. Op deze manier wordt niet de drift per sensor bepaald maar wel de toename in de verschillen tussen de UV-sensoren onderling.



## 3 Resultaten

### 3.1 Experiment 1: Maaswater

#### 3.1.1 Beschikbaarheid van de data

De sensoren zijn geplaatst tussen 1 oktober 2020 en 16 oktober 2020 (Tabel 7). De sensoren zijn niet allemaal tegelijk geplaatst omdat door de maatregelen rond het coronavirus er maar één ploeg per keer op het meetpunt aanwezig kon zijn. De periode dat sensoren meten loopt van 16 oktober 2020 tot en met 1 december 2020. In deze periode zijn er maximaal 4.416 metingen verricht per sensor die elk kwartier meten. De WIZ meet elk uur en heeft daardoor 1.104 mogelijke metingen.

Door omstandigheden en defecten heeft niet elke sensor voor de gehele periode geldige metingen kunnen doorgeven. Dit is ook een belangrijk resultaat, want er kunnen lessen over mogelijke verstoringen uit worden getrokken. De databeschikbaarheid van de sensoren varieert tussen 74% en 100% (zie Tabel 7). Ruim 70% van de tijd hebben alle sensoren gemeten en kunnen ze allemaal met elkaar worden vergeleken.

Tabel 7 Databeschikbaarheid voor de periode van experiment 1

Sensor	Datum plaatsing	Aantal mogelijke metingen	Aantal werkelijke metingen	Data-beschikbaarheid (%)
STAC2	14 oktober 2020	4.416	3.273	74
Viomax	8 oktober 2020	4.416	4.413	100
Nitratax	16 oktober 2020	4.416	4.387	99
Eco-N	8 oktober 2020	4.416	4.411	100
spectro::lyser	1 oktober 2020	4.416	3.822	86
WIZ	7 oktober 2020	1.104	1.029	93
Nitrate Sensor	n.v.t.	20	20	100

Gedurende het experiment zijn de volgende data door storingen niet verzameld of zijn deze later door opschoning verwijderd:

- De STAC2 is door onbekende oorzaak op 19 november uitgevallen. Na het opnieuw starten op 25 november heeft de sensor weer gemeten.
- Bij de spectro::lyser was een aantal keer de borstel vastgelopen in waterplanten die waren komen aandrijven. De beheerder van het meetpunt heeft dagelijks de sensoren gecontroleerd en waar nodig de waterplanten losgemaakt. De momenten waarop waterplanten de metingen hebben verstoord worden niet meegenomen in de analyse. Deze momenten zijn handmatig geselecteerd aan de hand van de gemeten nitraatconcentratie en de troebelheid. Onregelmatigheden in de nitraatconcentratie die

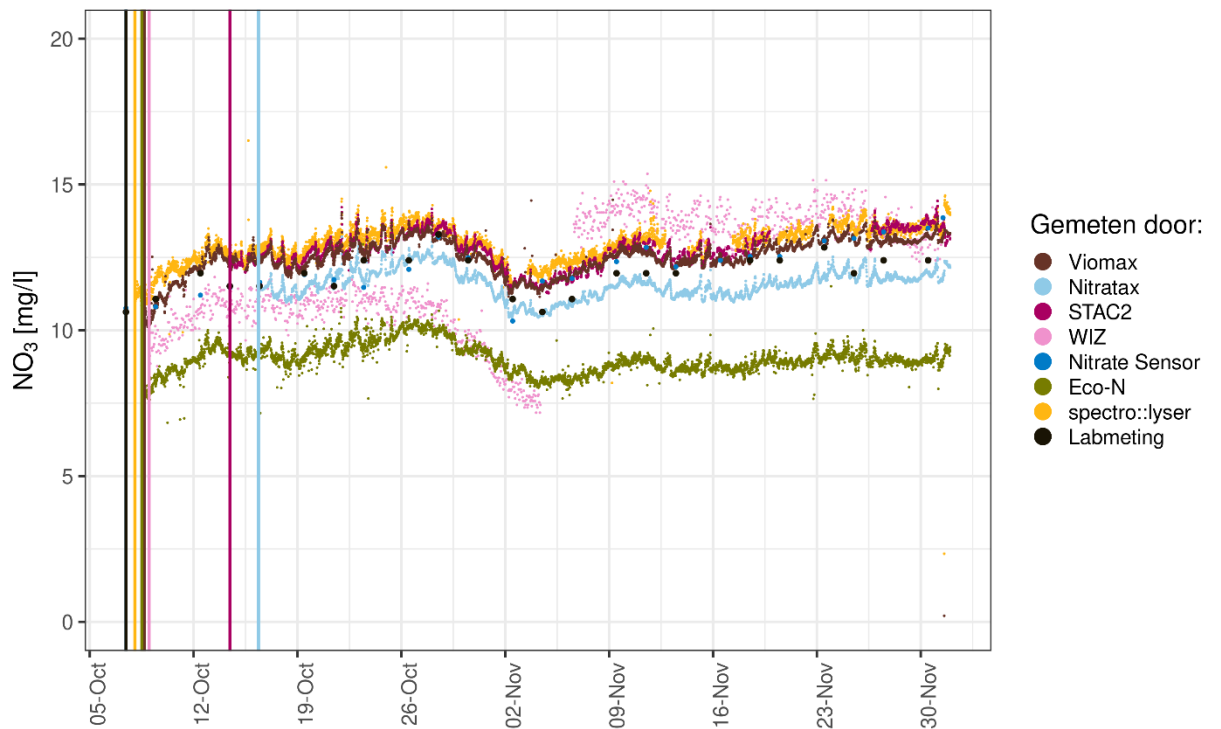
ook in de troebelheid te zien waren, zijn voor de spectro::lyser aangemerkt als veroorzaakt door waterplanten.

- Er is ook één labmeting niet gebruikt in de analyse. Deze labmeting was op het oog zodanig afwijkend dat deze waarschijnlijk onjuist is. De meting was zowel afwijkend van alle sensoren als van de voorgaande labmetingen. De oorzaak van deze afwijking is niet bekend.
- De WIZ had op 4 november geen reagentia meer, waardoor geen metingen konden worden gedaan; op 6 november zijn de reagentia weer aangevuld. De oorzaak van het te vroeg op zijn van de reagentia is dat de leverancier voorafgaand aan de meetcampagne enige dagen heeft 'proefgedraaid' en was vergeten deze dagen in mindering te brengen op de nog beschikbare hoeveelheid reagentia.

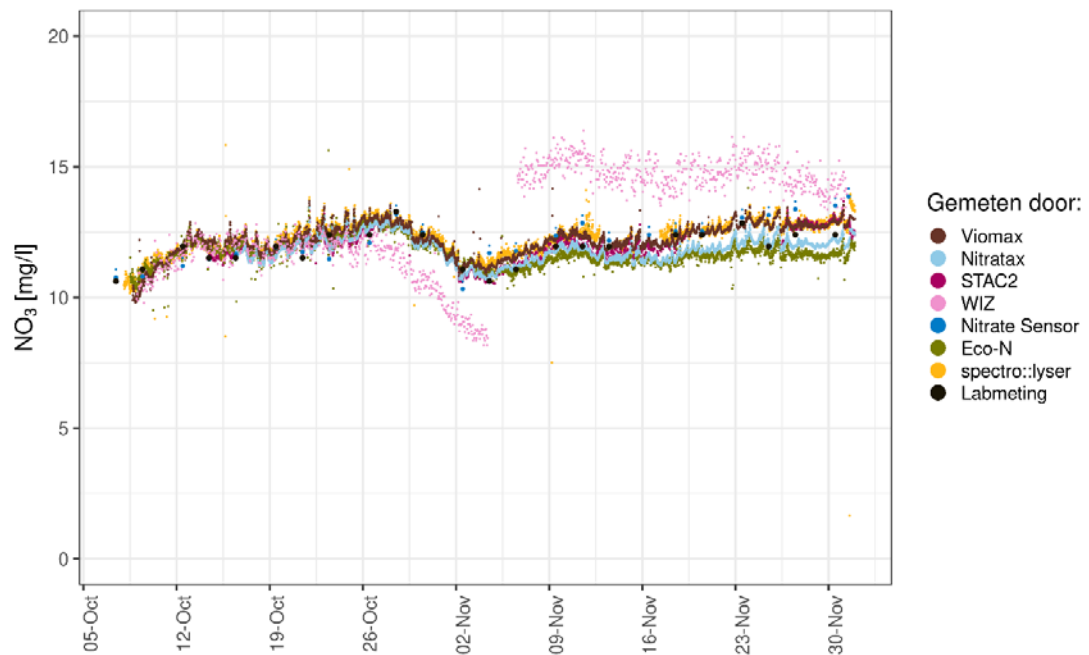
### 3.1.2 *Gemeten nitraatconcentraties*

Uit de opgeschoonde data blijkt dat er meteen bij aanvang van het experiment een spreiding bestaat tussen de sensoren (zie Figuur 1). De gemeten nitraatconcentraties variëren aan het begin van experiment 1 tussen de 7,5 en 12 mg/l. De sensoren laten wel in meer of mindere mate hetzelfde patroon van nitraatmetingen in de tijd zien. Vooral de UV-sensoren laten een overeenkomend patroon zien. De resultaten van de WIZ zijn tweedelig; na het bijvullen van de reagentia en de kalibratie op 6 november zijn de gemeten concentraties hoger geworden.

Er is temporele variatie in de metingen te zien op langere schaal: vanaf het begin van experiment 1 tot eind oktober stijgt de nitraatconcentratie, daarna daalt de nitraatconcentratie tot begin november. Vanaf begin november tot aan het einde van experiment 1 op 1 december stijgt de nitraatconcentratie geleidelijk. Daarnaast is er ook op dagelijkse basis een variatie in de nitraatconcentratie zichtbaar (zie hiervoor ook paragraaf 3.2.3).

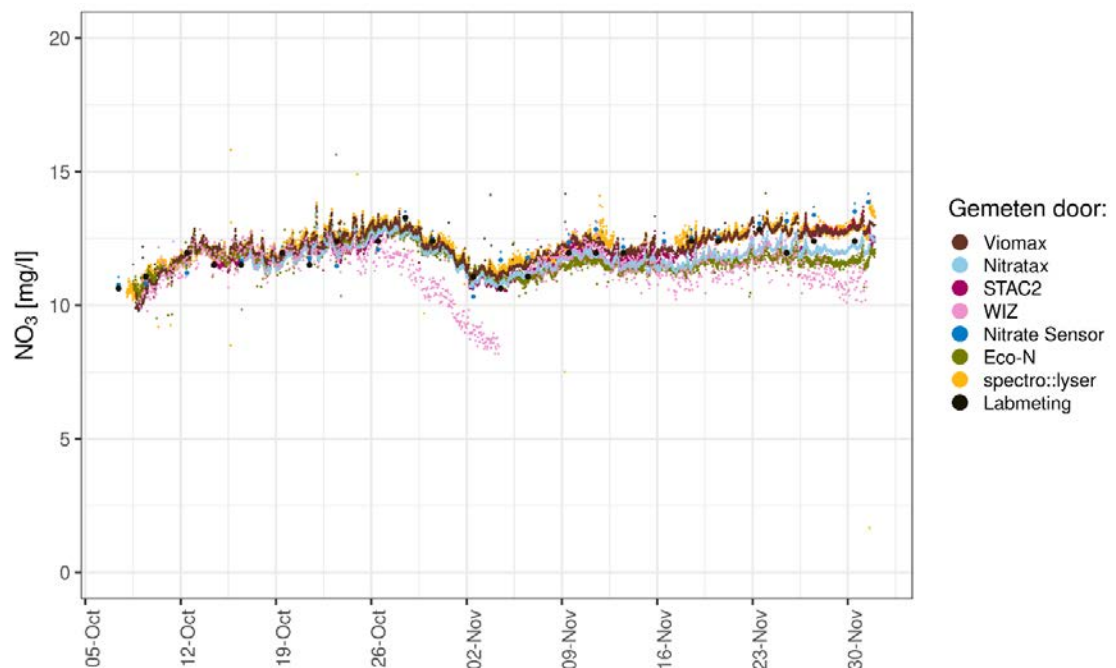


Omdat het patroon van de meeste sensoren wel overeenkomt, worden de verschillen tussen de sensoren waarschijnlijk bepaald door de kalibratie bij de aanvang van de meetcampagne. Er is inderdaad een grote variatie in de gebruikte kalibratiemethodes (zie Tabel 2). Om deze verschillen weg te nemen is er een correctie (paragraaf 2.5.4) aan de hand van de eerste drie labmetingen toegepast (zie Figuur 2).



Figuur 2 De gecorrigeerde nitraatconcentraties van experiment 1 van 7 oktober tot 2 december 2020. Voor elke sensor, waarbij mogelijk, is er 4 keer per uur een nitraatwaarde getoond

De tweedeling in de meetreeks van de WIZ door de tussentijdse kalibratie op 6 november is in Figuur 2 nog aanwezig. De correctie is daarom nogmaals uitgevoerd voor de periode vanaf 6 november 2020 voor de WIZ (zie Figuur 3).



Figuur 3 De gecorrigeerde nitraatconcentraties. De WIZ is afwijkend behandeld in verband met herkalibratie; hiervoor zijn twee verschillende correcties toegepast. De eerste is geldig tot 6 november, de tweede is vanaf 6 november bepaald

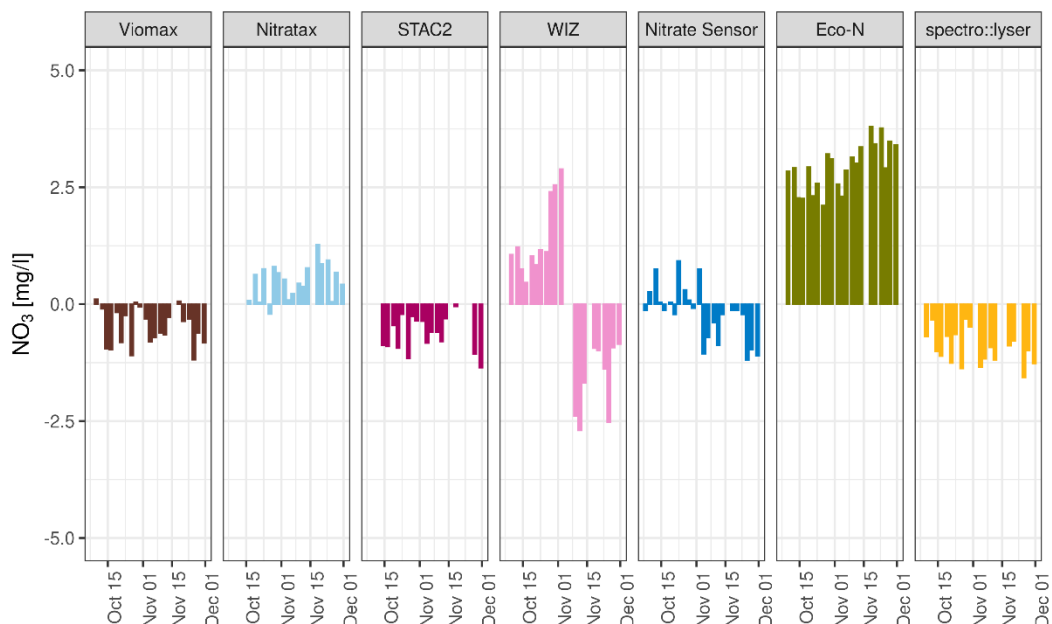
Na de correctie is het verschil tussen de meetwaarden van de sensoren veel kleiner (zie Figuur 3). De WIZ (de enige auto-analyser in de meetcampagne) vertoont een iets ander gedrag. Rond 26 oktober daalt de WIZ sterker dan de andere sensoren. De oorzaak hiervoor is het verkeerd bewaren van de reagentia. De reagentia zijn hierdoor geoxideerd en waren al 'verouderd' op het moment dat zij werden geplaatst. Na het vervangen van de reagentia en de nieuwe ijking is de meting meer in lijn met de andere metingen.

De spreiding tussen de gemeten nitraatconcentraties van de sensoren loopt langzaam op. De toename in de spreiding tussen de sensoren kan erop wijzen dat (enkele) sensoren minder nauwkeurig gaan meten.

### 3.1.3 *Verskil tussen laboratoriummetingen en de sensoren*

Bij de vergelijking tussen de sensoren en laboratoriummetingen is de aanname dat de laboratoriummetingen geen drift vertonen; de onzekerheid blijft naar boven en naar beneden constant. Eventuele drift in de sensormetingen is dan te constateren als het verschil met de laboratoriummetingen gaandeweg groter of juist kleiner wordt (zie Figuur 4). In deze figuur zijn de niet-gecorrigeerde meetwaarden gebruikt. Hieruit blijkt duidelijk dat drie sensoren (spectro::lyser, Viomax en STAC2) iets lager meten dan de laboratoriummetingen. Twee sensoren (Eco-N en Nitratax) meten iets hoger dan de laboratoriummetingen, en twee sensoren (WIZ en Nitrate Sensor) meten eerst hoger dan het lab en vervolgens lager. Voor de WIZ is hier het effect van de tussentijdse kalibratie zichtbaar.

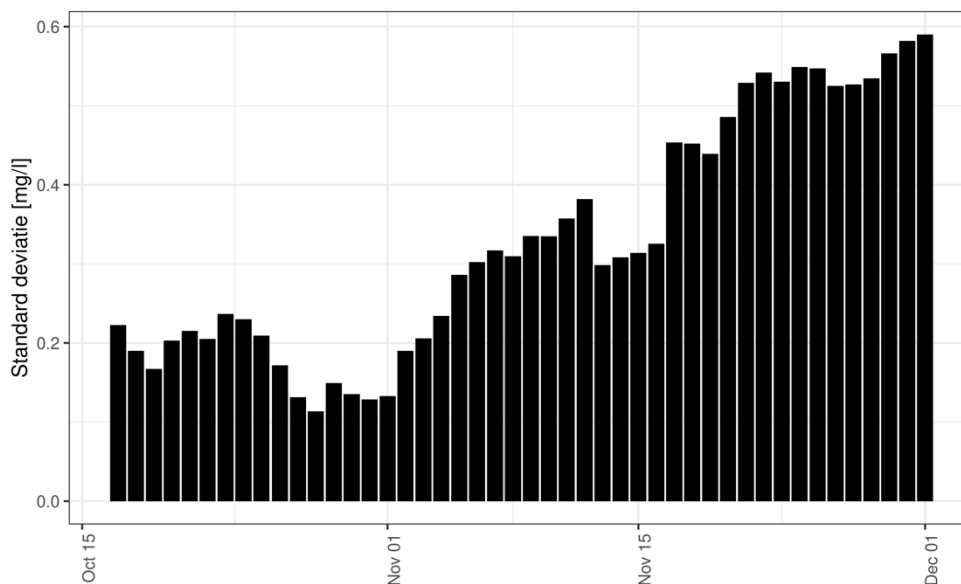
Het blijkt dat de drift erg beperkt is. De grootste drift vindt plaats bij de WIZ, wat ook al bleek uit Figuur 3. Ook bij sommige andere sensoren lijkt het verschil tussen laboratoriummeting en sensormeting gedurende experiment 1 groter te worden. Door de meetonzekerheid in zowel sensoren als de laboratoriummeting is het met deze methode vrijwel onmogelijk om die verschillen te kwantificeren.



Figuur 4 Het verschil in nitraatconcentratie tussen de laboratoriummetingen en de sensoren

### 3.1.4 *Variatie tussen de sensoren*

De dagmediane standaarddeviatie van de gecorrigeerde UV-sensoren loopt op in de tijd (zie Figuur 5). Deze verhoging van de standaarddeviatie betekent meer spreiding tussen de UV-sensoren onderling. Hier lijkt de spreiding na ongeveer één maand meten op te lopen tot het einde van het experiment. De WIZ auto-analyser toont een afwijkend patroon en is hierin niet meegenomen. We kunnen op basis van deze resultaten niet aangeven welke sensoren het meest gevoelig zijn voor drift. Wel is dit een indicatie dat in dit type water maandelijks onderhoud nodig is voor optimale resultaten uit de UV-sensoren.

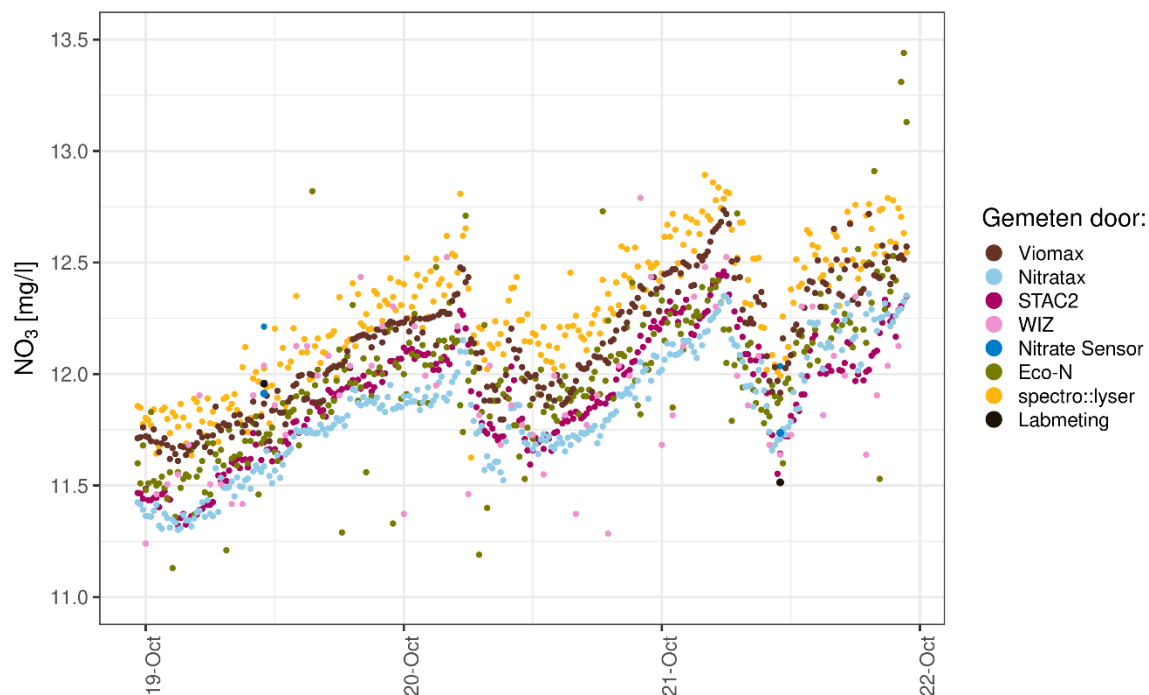


Figuur 5 De dagmediaan van de standaarddeviatie tussen de UV-sensoren

### 3.1.5 *Dagelijkse variatie in nitraatconcentratie*

De nitraatconcentratie in de Maas bij Eijsden veranderde niet alleen gedurende de meetcampagne van twee maanden: er is ook dagelijkse variatie. Als voorbeeld is ingezoomd op enkele dagen in oktober (zie Figuur 6). De nitraatconcentratie vertoont een zaagtandpatroon; tot aan de vroege ochtend een langzame stijging en na zonsopkomst een sterke daling. De amplitude van deze dagelijkse variaties is ongeveer 1 mg/l.

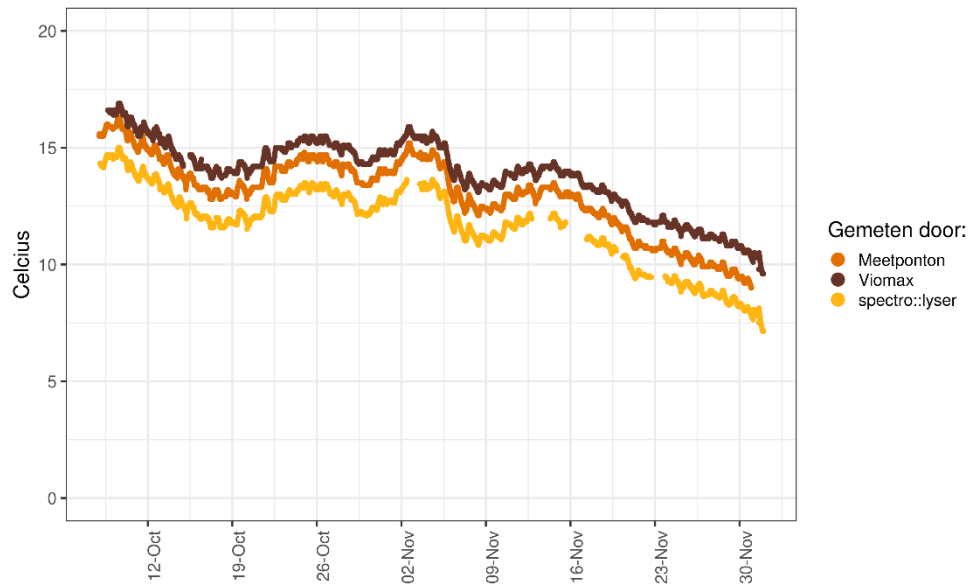
Zeer waarschijnlijk is deze dagelijkse variatie een biologisch effect door variatie in zonlicht en watertemperatuur. Het is ook mogelijk dat er een temperatureffect zit in de sensormetingen zelf waarvoor niet of onvolledig is gecorrigeerd. Om de eventuele temperatuurgevoeligheid van de sensor te onderzoeken is op 2 december experiment 4 gedaan (paragraaf 3.4).



Figuur 6 De gemeten nitraatconcentratie gedurende 3 dagen in oktober. Dit is een ingezoomde versie van Figuur 2

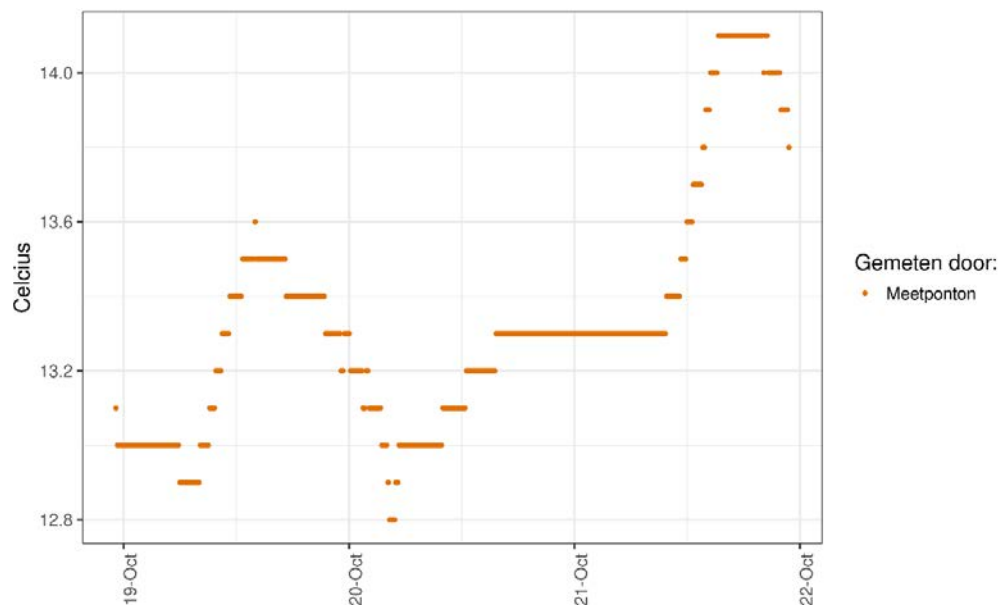
### 3.1.6 *Temperatuur gedurende experiment 1*

Gedurende experiment 1 is niet alleen de nitraatconcentratie bepaald, maar is ook de temperatuur van het water gemeten. De temperatuur kan van invloed zijn op de nitraatmeting (zie ook experiment 4; paragraaf 3.4). De drie temperatuurmetingen die zijn gedaan verschillen alle drie van elkaar (zie Figuur 7). Dit geeft aan dat niet alleen nitraatsensoren goed geijkt moeten worden, maar dat dit ook geldt voor temperatuursensoren. Gedurende de meetperiode is de temperatuur van het Maaswater circa 7 °C gedaald.



Figuur 7 Watertemperatuur van de Maas gemeten op het meetponton in Eijsden, door de Viomax en de spectro::lyser. Voor de metingen op het ponton geldt dat er elke 10 minuten een waarde is gemeten die het gemiddelde is van de 5 minuten ervoor en erna

De temperatuur in het Maaswater vertoont ook een dag-nachtritme (zie Figuur 8).



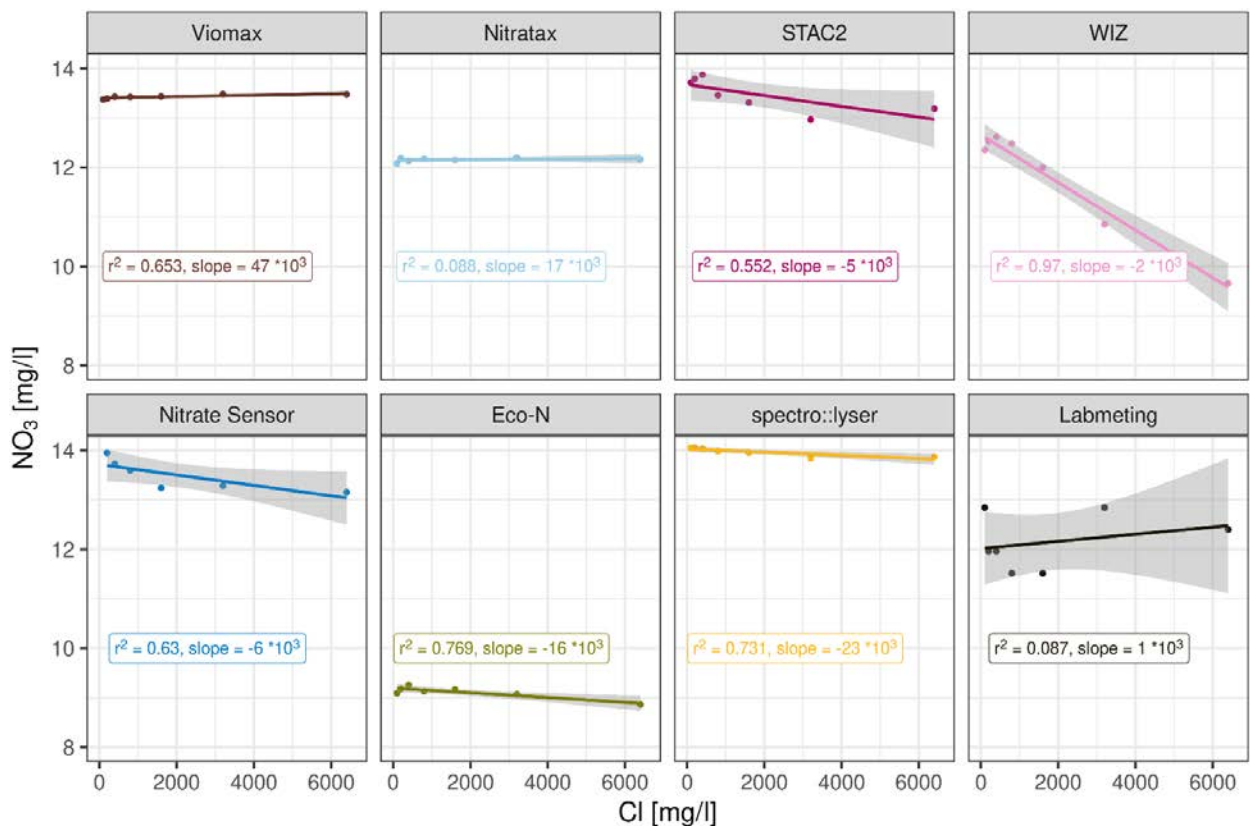
Figuur 8 De gemeten watertemperatuur van de Maas gemeten door het meetponton in Eijsden, ingezoomd voor drie dagen in oktober

### 3.2 Experiment 2: Toevoeging van chloride

Het experiment met chloride is uitgevoerd om het effect van een wisselende matrix op de gemeten nitraatconcentratie te bepalen. In dit experiment is in het Maaswater chloride toegevoegd tot een concentratie van 6.600 mg/l (matig brak water). Het effect van de toegevoegde

chloride op de gemeten nitraatconcentratie is inzichtelijk gemaakt door de nitraatconcentratie uit te zetten tegen de berekende chlorideconcentratie (zie Figuur 9). Hierdoorheen is een lineair model gefit.

We kunnen stellen dat de nitraatmetingen worden beïnvloed door de chlorideconcentratie indien er een helling is in deze lijn (slope) en indien deze voldoende significant is ( $R^2 > 0,95$ ). Deze lineaire relatie is alleen bij de WIZ zichtbaar; de gemeten nitraatconcentratie neemt af bij hogere chlorideconcentraties met een gemiddelde helling van circa 0,5 mg/l nitraat per 1000 mg/l chloride.



Figuur 9 De gemeten nitraatconcentratie bij de spiketest met natriumchloride

Bij sommige andere sensoren is ook een licht afnemende nitraatconcentratie waargenomen bij toenemende chlorideconcentraties, maar dit is niet significant en kan daarom ook op toeval berusten.

De grijze band in de figuur geeft de variatie rond de lijn weer. Deze is het kleinst voor de sensoren die in het reservoir buiten staan (Viomax, Nitratax, spectro::lyser en Eco-N). Voor de sensoren die binnen in het meetpunt staan (WIZ en STAC2) is de variatie groter.

De laboratoriummeting wordt enkele dagen later geanalyseerd na het transport van de monsters. Voor de Nitrate Sensor varieerde dit per sample tussen 3 en 14 dagen. Daarnaast kennen de laboratoriumanalysemethoden zelf ook meetonzekerheden. Het is daarom niet opmerkelijk dat de laboratoriummetingen variaties vertonen. Het verschil tussen de hoogste en de laagste waarde in het

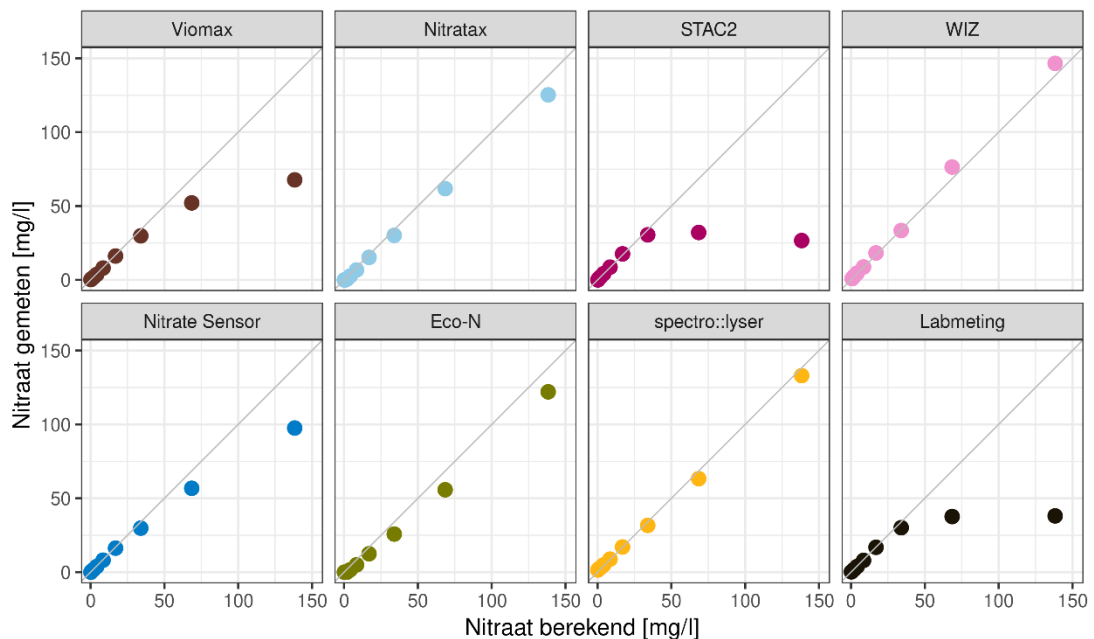
experiment is 1,3 mg/l. Door het laboratorium is een meetonzekerheid van ongeveer 1 mg/l opgegeven (het maximale verschil tussen de hoogste en laagste waarde is dan 2 mg/l). De in dit experiment gemeten variaties in de laboratoriummetingen vallen derhalve binnen de opgegeven meetonzekerheid. Het geeft wel aan dat bij de vergelijking tussen sensor en laboratoriummeting ook rekening moet worden gehouden met meetonzekerheden in de laboratoriummetingen.

### 3.3 Experiment 3: Toevoeging van nitraat

De nitraatconcentratie in de Maas varieerde tussen 10 en 14 mg/l gedurende het experiment. Het experiment met nitraat is uitgevoerd om te testen hoe de sensoren reageren bij veel lagere en hogere nitraatconcentraties. Voor dit experiment zijn de nitraatsensoren niet gecorrigeerd (paragraaf 2.7.4).

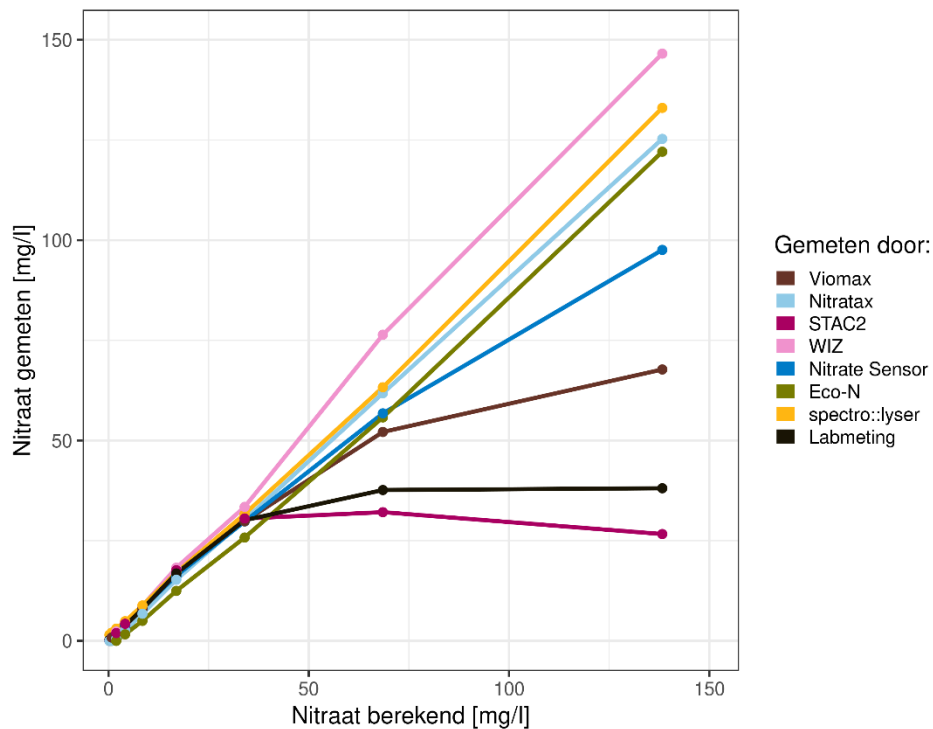
In eerste instantie was het de bedoeling om de nitraatmetingen van de sensoren te vergelijken met laboratoriummetingen. Helaas zijn de laboratoriummetingen voor de laatste twee stappen met de hoogste concentraties mislukt: de gemeten nitraatconcentraties zijn te laag (zie Figuur 10).

De nitraatconcentraties zijn ook berekend op basis van de nauwkeurig afgewogen stapsgewijs toegevoegde hoeveelheden kaliumnitraat. Omdat bij de eerste zes stappen de laboratoriummetingen wel goed overeenkomen met de berekende nitraatconcentraties, zijn in Figuur 10 de berekende waarden gebruikt voor de vergelijking met de sensorwaarden. De stapsgewijze toename in de gemeten EC-waarden klopt ook goed met de toename in de berekende nitraatconcentraties.



*Figuur 10 De gemeten nitraatconcentratie uitgezet tegen de verwachte nitraatconcentratie op basis van de afgewogen hoeveelheid kalium*

De WIZ meet nitraatconcentraties die iets hoger zijn dan de berekende concentratie. De andere sensoren meten bij hoge nitraatconcentratie een lagere concentratie dan verwacht. De spreiding tussen de verschillende sensoren is groot bij de laatste twee metingen (zie Figuur 11). Tot 32 mg/l nitraat meten de sensoren ongeveer dezelfde concentraties, daarna lopen de metingen sterk uiteen.



Figuur 11 Alle metingen tijdens het experiment nitraat, uitgezet tegen de verwachte nitraatconcentratie

Gedurende de meetcampagne stond de STAC2 ingesteld op maximaal 30 mg/l, dit blijkt ook uit de resultaten; 32 mg/l is de hoogste waarde die gemeten kan worden. De ECO-N stond ingesteld op maximaal 60 mg/l, maar deze sensor lukt het wel om de hoge nitraatconcentraties te meten. Ook de Nitratax heeft de hoogste nitraatconcentraties goed gemeten. De WIZ stond in de meetcampagne ingesteld op maximaal 200 mg/l en deze sensor heeft geen moeite met de hoge nitraatconcentraties.

De weglengte van de UV-sensoren is van belang bij hoge nitraatconcentraties. In theorie kunnen hoge nitraatconcentraties het beste worden gemeten bij een korte weglengte. Dit ook omdat bij hogere nitraatconcentraties vaak ook de troebelheid toeneemt. Bij het experiment met toevoeging van nitraat was er geen sprake van toename van troebelheid.

In het experiment zien we niet bij alle sensoren terug dat een lange weglengte onnauwkeuriger meet bij hoge nitraatconcentraties. Een te hoge weglengte (5 mm) kan een verklaring zijn voor de afwijking bij de STAC2. De spectro::lyser heeft echter ook een weglengte van 5 mm en meet de hoge nitraatconcentratie wel volgens verwachting. De Viomax en Nitrate Sensor hebben een weglengte van 2 mm; beide sensoren

wijken af bij hoge nitraatconcentraties, hoewel de Nitrate Sensor dichterbij de buurt komt van de verwachte concentratie. De Nitratax en ECO-N hebben beide een weglengte van 1 mm en meten bijna dezelfde waarde bij hoge nitraatconcentratie.

### **3.4 Experiment 4: Temperatuur en stabiliteit**

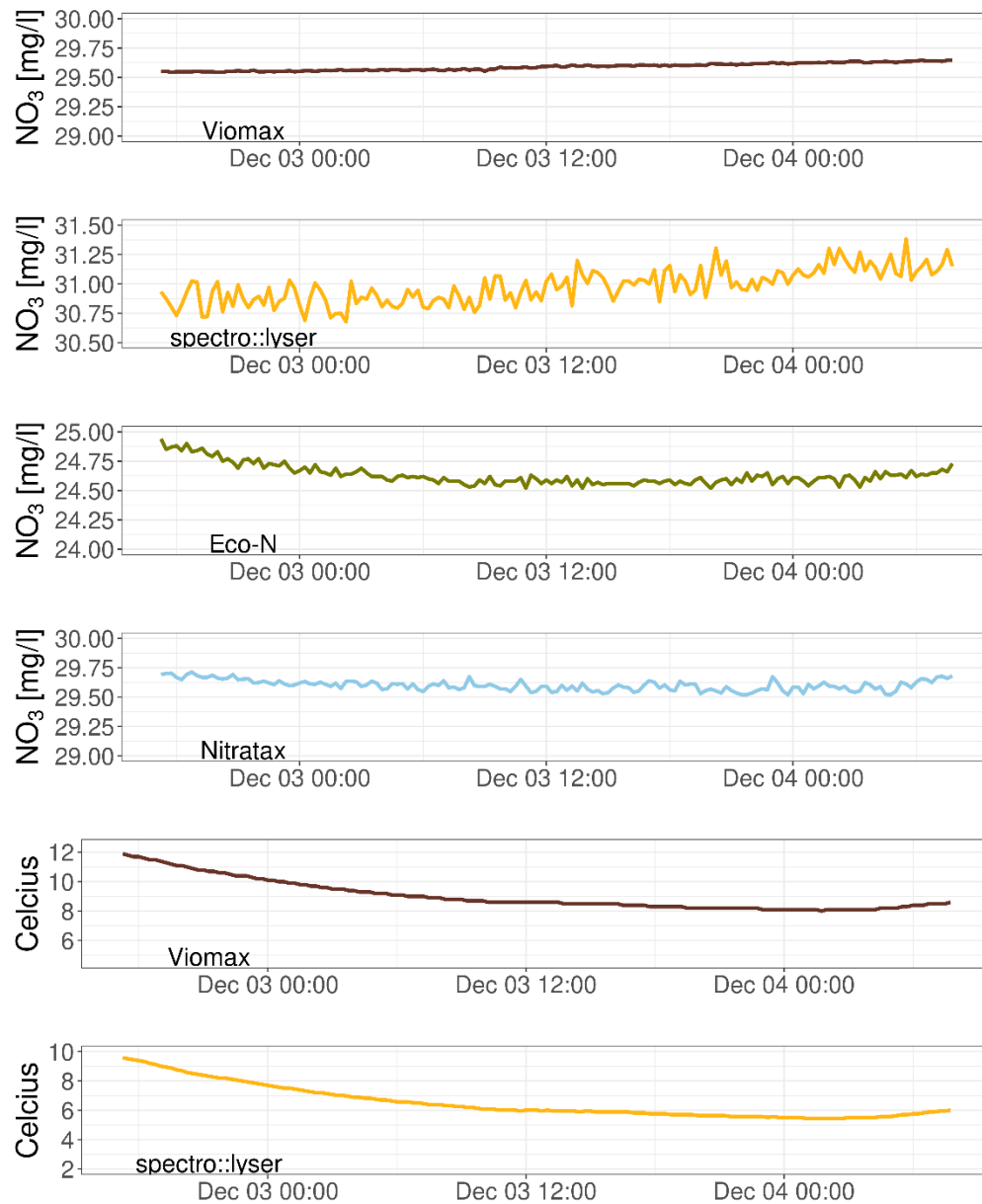
#### **3.4.1**

##### *Temperatuureffect*

Dit experiment is buiten uitgevoerd, waarbij het reservoir is gevuld met kraanwater. De temperatuur van het gebruikte kraanwater was hoger dan de omgevingstemperatuur; door afkoeling daalde de watertemperatuur gedurende de eerste halve dag zo'n 3 °C (zie Figuur 12). Door deze afkoeling en doordat de dag- en nachtluchttemperatuur niet veel verschillen, is er geen duidelijk dag-nachtpatroon te zien in de watertemperatuur in het reservoir. Opvallend is dat de temperatuurmetingen gemeten met twee UV-sensoren meer dan 2 °C van elkaar afwijken.

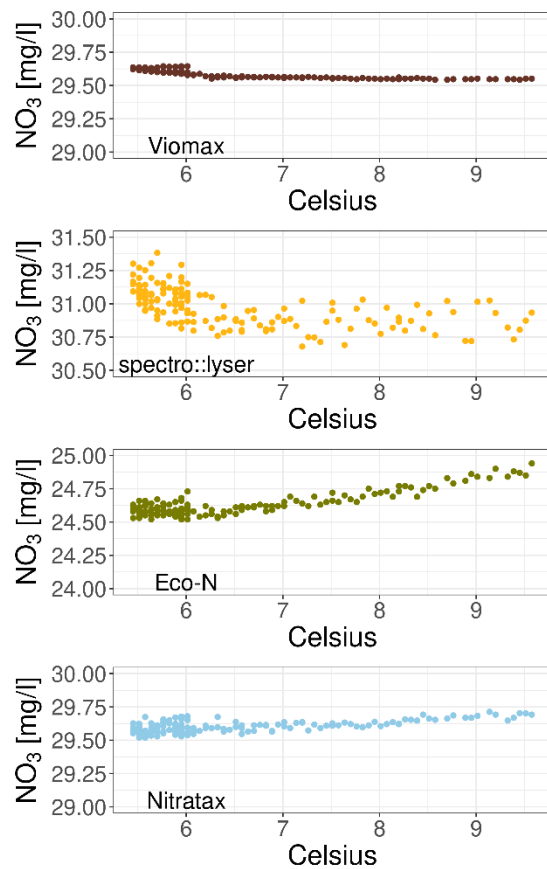
Tijdens experiment 4 zijn slechts heel kleine verschillen in de gemeten nitraatconcentratie te zien bij het verloop van ongeveer 3 °C.

Indien sterk wordt ingezoomd, zijn er zeer minieme veranderingen te zien. De Viomax en de spectro::lyser vertonen een zeer lichte stijging die onafhankelijk lijkt te zijn van de veranderende watertemperatuur. De ECO-N en de Nitratax vertonen een daling en stijging van de nitraatconcentratie die lijkt op de daling en stijging van de watertemperatuur. Bij de Nitratax gaat het om een verschil van 0,2 mg/l, bij de Eco-N om een verschil van 0,4 mg/l (zie Figuur 12).



Figuur 12 Tijdreeks van de nitraatconcentratie en de watertemperatuur gedurende experiment 4. Alleen de sensoren die buiten stonden zijn meegenomen. De onderste twee figuren geven de gemeten temperatuur aan. Let op: per figuur is een andere y-as weergegeven

Dit verband tussen watertemperatuur en nitraatconcentratie tijdens het temperatuurexperiment wordt duidelijker als deze tegen elkaar uitgezet zijn (zie Figuur 13).



Figuur 13 De nitraatconcentratie uitgezet tegen de watertemperatuur, gemeten tijdens het temperatuurexperiment

De nitraatvariatie in dit experiment is te klein is om de dagelijkse nitraatvariatie in het Maaswaterexperiment mee te verklaren. In de Maas is de dag-nachtvariatie in temperatuur ongeveer 1 °C (zie Figuur 8) en is het verschil in nitraatconcentratie tussen dag en nacht ongeveer 1 mg/l. De variatie in nitraatconcentratie die zichtbaar is in Figuur 6 wordt dus niet veroorzaakt door temperatuureffecten in de sensoren. De dagelijkse concentratieschommelingen treden waarschijnlijk op als gevolg van biochemische processen.

De watertemperatuur tijdens het Maaswaterexperiment in de Maas daalde van 17 °C naar 8 °C (zie Figuur 7). Het is goed mogelijk dat de daling van de watertemperatuur tijdens het Maaswaterexperiment heeft geleid tot de grotere spreiding tussen de sensoren die is waargenomen in Figuur 3. Dit zou betekenen dat de drift die eerder is beschreven in werkelijkheid geheel of gedeeltelijk een temperatuureffect is.

### 3.4.2 Stabiliteit van de sensor

Omdat er in experiment 1 zowel variatie in nitraatconcentratie als ruis is, is het niet mogelijk deze uit elkaar te halen. Om de stabiliteit van de sensoren te bepalen is daarom gebruikgemaakt van de data uit het temperatuurexperiment (paragraaf 3.4). Hierbij was tenslotte een constante nitraatconcentratie aanwezig. Tijdens deze geselecteerde periode van ongeveer 13 uur (50 metingen) was de temperatuurvariatie binnen 0,5 °C en de nitraatconcentratie constant. De STAC2 en de WIZ

staan binnen in het meetpunt; hiervoor is een soortgelijke periode genomen. Er zijn geen gegevens bekend over de luchttemperatuur binnen; er wordt aangenomen dat deze constant was.

De Viomax laat met een standaarddeviatie van 0,01 mg/l de laagste variatie zien in gemeten nitraatconcentratie. De WIZ laat met een standaarddeviatie van 0,33 mg/l de grootste variatie zien. De Nitratax en de ECO-N geven een gemiddelde van drie metingen. Hierdoor wordt de stabiliteit kunstmatig verhoogd. De andere sensoren geven een enkele waarde.

*Tabel 8 De mediaan en standaarddeviatie van de sensoren buiten voor het experiment temperatuur. In deze periode was de temperatuurvariatie van het water binnen 0,5 °C verschil*

<b>Sensor</b>	<b>Aantal metingen</b>	<b>Mediaan NO<sub>3</sub> [mg/l]</b>	<b>Standard deviatie [mg/l]</b>
Viomax	50	29,6	0,01
Nitratax	50	29,6	0,03
Eco-N	50	24,6	0,03
spectro::lyser	50	31,1	0,10

*Tabel 9 De mediaan en standaarddeviatie van de sensoren binnen voor het experiment temperatuur*

<b>Sensor</b>	<b>Aantal metingen</b>	<b>Mediaan NO<sub>3</sub> [mg/l]</b>	<b>Standard deviatie [mg/l]</b>
STAC2	50	30,6	0,07
WIZ	13	28,8	0,33



## 4 Conclusies

Het doel van deze meetcampagne was het vergelijken van verschillende continue meettechnieken voor nitraat in oppervlaktewater. Hieronder volgen de belangrijkste inzichten per experiment.

### **Experiment 1 Maaswater**

Het belang van een goede kalibratie van de sensor en goede controles ten opzichte van andere metingen valt niet te onderschatten. De gebruikte kalibratiemethode verschilde per sensor en mede daardoor varieerden de absolute concentratieniveaus bij aanvang van het experiment tussen de 7,5 en 12 mg/l. In dit experiment is niet kunnen uitsluiten welke kalibratie het beste resultaat geeft.

De UV-sensoren presteerden het beste in het continu-meten van de nitraatconcentratie het Maaswaterexperiment, gevolgd door de nat-chemische methode (WIZ). De Ion Selectieve Elektroden zijn wegens tegenvallende resultaten teruggetrokken uit de meetcampagne.

In de eerste maand van het experiment liepen de temporele variaties in de UV-sensoren synchroon, daarna namen de onderlinge verschillen wat toe. Het valt niet uit te sluiten dat dit (deels) een temperatuureffect is. Mogelijk is er voor de UV-sensoren in dit type water na een maand onderhoud en/of een nieuwe kalibratie nodig.

Sensoren bieden geen garantie op doorlopend goede meetreeksen. In dit experiment varieerde het percentage geslaagde metingen tussen de 74 en 100% gedurende een periode van 45 dagen. Uitval was te wijten aan technische storingen, vastzittende waterplanten of het opraken van reagens.

De conventionele laboratoriummetingen hadden een onnauwkeurigheid van 1 mg/l en gaven in enkele gevallen aantoonbaar verkeerde resultaten. Goed geijkte sensoren geven betere resultaten, mede doordat foutieve metingen opvallen in de continue meetreeks. Bij laboratoriummetingen zijn verkeerde resultaten achteraf lastiger te detecteren.

### **Experiment 2 Toevoeging Chloride**

Chloride heeft weinig tot geen invloed op de UV-metingen in het bereik van 50 tot 6.035 mg/l chlorideconcentratie. Er is een zeer lichte stijging of daling van de gemeten nitraatconcentratie mogelijk bij hoge chlorideconcentraties. Chloride heeft wel invloed op het resultaat van de nat-chemische sensor (WIZ).

### **Experiment 3 Toevoeging Nitraat**

De sensoren meten niet altijd nauwkeurig buiten de range waarop ze zijn ingesteld. Het is daarom nuttig om voorafgaand aan de inzet van sensoren al een beeld te hebben van de te verwachten concentraties. Bij grote variaties in de nitraatconcentratie moet worden gekozen of de lage of de hoge concentraties het meest nauwkeurig worden gemeten.

#### **Experiment 4 Temperatuur en Stabiliteit**

Watertemperatuur lijkt een zeer beperkte invloed te hebben op de metingen met de gebruikte sensoren bij een temperatuur tussen de 5 en 10 °C.

De ruis in de meetresultaten verschilt tussen de UV-sensoren en kan worden verminderd door enkele opeenvolgende metingen te middelen.

## 5 Aanbevelingen voor meten met sensoren

In dit hoofdstuk worden de ervaringen vanuit deze meetcampagne vertaald in een aantal concrete aanbevelingen voor het gebruik van sensoren in vaste meetopstellingen in oppervlaktewater.

### **Validatie met laboratoriummetingen**

Combineer sensormetingen altijd met regelmatige controlemetingen. De benodigde onderhoudsfrequentie hangt af van het apparaat, maar ook van het te meten water. In de eerste weken van de toepassing moet uit controlemetingen blijken hoe lang de sensor goed blijft functioneren zonder onderhoud. In chemisch onstabiel water kan deze periode veel korter zijn dan verwacht, zelfs voor UV-sensoren. De onderhoudsfrequentie kan ook afhangen van de weersomstandigheden. Bij afvoerpieken kan opwervend sediment bijvoorbeeld voor meer aanslag op de sensor zorgen.

### **Meetprincipe**

De ervaring uit deze meetcampagne en uit eerder onderzoek (bijvoorbeeld Di Gioia et al., 2010) leert dat ion selectieve elektroden vaak snel drift vertonen in natuurlijk water. Voor vaste opstellingen in oppervlaktewater zijn sensoren op basis van UV- en nat-chemische metingen beter toepasbaar. De Ion Selectieve Elektroden zijn na ijking wel toepasbaar voor veel metingen op 1 dag (routings) of op plekken waar regelmatig (dagelijks tot wekelijks) kalibreren en reinigen mogelijk is. De stabiliteit hangt ook af van het watertype; het kan zo zijn dat in een ander watertype de sensor stabiel of juist minder stabiel is.

### **Bescherm de sensor**

Plaats de sensor met wisser of borstel niet los in het water; blaadjes, takken en waterplanten kunnen rond deze wisser of borstel gaan zitten. Deze vervuiling gaat tussen de meetvensters zitten of blokkeren de automatische reiniging, met als gevolg geen of onbetrouwbare meetdata. Dit potentiële probleem kan worden opgelost door de sensor in een geperforeerde buis of in een doorstroombak te plaatsen. De reiniging met wissers, borstel of perslucht werkt bij de UV-sensoren in de meeste gevallen goed tegen aanslag van kleine deeltjes, ijzeroxide en/of het ontstaan van organische slijm laagjes (biofouling). Er zijn echter voorbeelden bekend uit Amsterdam (Yu, 2021) en Vlaanderen (VMM, 2021) waarin ook UV-sensoren snel drift kunnen vertonen.

### **Controleer op interferentie**

Sensoren ondervinden soms invloed van schommelingen in bijvoorbeeld watertemperatuur, chlorideconcentratie of troebelheid. Houd hier rekening mee bij de interpretatie. De mate van interferentie is te bepalen door vergelijking met laboratoriummetingen en door tests waarbij de nitraatconcentratie gelijk blijft maar waarbij de andere omstandigheden variëren.

### **Kies het juiste meetbereik**

Voor veel sensoren zijn verschillende typen beschikbaar die verschillen in het meetbereik. Voor sommige sensoren kan het meetbereik ook ingesteld worden: het is daarom goed om vooraf al een beeld te hebben van de te verwachten (variaties in de) nitraatconcentraties.

### **Voordelen van meten met sensoren**

Meten met sensoren is aantrekkelijk bij het bepalen van de variatie in nitraatconcentraties in het water, doordat de meetfrequentie hoog is. Dit geeft inzicht in de bronnen en processen die van invloed zijn op de nitraatconcentraties. Indien veel metingen na elkaar plaatsvinden en als de sensor goed is geïjkt, zijn de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van een sensor hoger dan van laboratoriummetingen. Het real time inzicht in de meetwaarden maakt snel reageren op storingen en het detecteren van foutieve metingen mogelijk.

## 6 Literatuur

Di Gioia, Francesco, Simonne, Eric H. ,Gonnella, Maria, Santamaria, Pietro ,Gazula, Aparna and Sheppard, Zenyth (2010). Assessment of Ionic Interferences to Nitrate and Potassium Analyses with Ion-Selective Electrodes, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41:14, 1750 - 1768.

Klein, H.F.W., Continue meting van kwaliteitsparameters van Water, H2O 1975.

Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM), Webinar continuumonitoring NO<sub>3</sub>-, 15-4-2021

Yu, L., Groundwater-surface water interaction in urban lowland catchments: Water quality dynamics in the city of Amsterdam. PhD thesis 2021.



## 7 Contactgegevens deelnemers en sensoren

### **Viomax CAS51D**

Leverancier: Endress + Hauser

Website: <https://www.nl.endress.com/nl>

Contactpersoon: Niek Brink

Telefoonnummer: +31 35 695 8611



### **s::can spectro::lyser**

Naam spectro::lyser

Leverancier: Qsenz

Website: [www.qsenz.nl](http://www.qsenz.nl)

Contactpersoon: Ewout Riteco

Telefoonnummer: +31 222 760016



### **Eco-N / TrioS NICO**

Leverancier: RMA Hydromet

Website: [www.ramhydromet.nl](http://www.ramhydromet.nl)

Contactpersoon: Rob ter Brake

Telefoonnummer: +31 85 0645815

E-mailadres: [rob.terbrake@ramhydromet.nl](mailto:rob.terbrake@ramhydromet.nl)



**Nitrate Sensor v1**

Ontwikkelaar: imec / OnePlanet Research Center

Website: [www.oneplanetresearch.nl](http://www.oneplanetresearch.nl)

Contactpersoon: Joris van Nieuwstadt

E-mailadres: [joris.vannieuwstadt@imec.nl](mailto:joris.vannieuwstadt@imec.nl)



**Nitratax sc plus met een SC4200 controller**

Leverancier: Hach

Website: <https://nl.hach.com/nitratax-plus-sc-on-line-uv-nitraatsensor-1mm/product?id=26370975119&callback=qs>

Contactpersoon: Hach

Telefoonnummer: +31 344 631130

E-mailadres: [info-nl@hach.com](mailto:info-nl@hach.com)



**Aqualabo STAC2**

Leverancier: microLAN

Website: [www.microlan.nl](http://www.microlan.nl)

Contactpersoon: Joep Appels

Telefoonnummer: 0416 348090



**WIZ probe**

Leverancier: Observator Instruments

Website: <https://observator.com/instruments/meteo-and-hydro/>

Contactpersoon: Rob Beun en William Roovers

Telefoonnummer: 0180 463411



## Erratum

### **WaterSNIP Meetcampagne Nitraatsensoren. Een vergelijking van acht verschillende sensoren die hoogfrequent nitraat meten in oppervlaktewater**

Bilthoven: 25 februari 2022  
Onderwerp: Erratum bij rapport 2021-0141

In het RIVM rapport 2021-0141 getiteld *WaterSNIP Meetcampagne Nitraatsensoren. Een vergelijking van acht verschillende sensoren die hoogfrequent nitraat meten in oppervlaktewater* staan helaas fouten.

De juiste spelling van het deelnemende bedrijf Endress+Hauser is zonder spaties en Hauser met 1 s.

Op Pagina 11, pagina 17 en pagina 49 van het rapport wordt de bedrijfsnaam abusievelijk met twee ss-en en spaties geschreven.

Daarnaast klopt het website adres op pagina 49 ook niet, dit moet zijn: <http://www.nl.endress.com/>

A.E.J. Hooijboer



.....

**E.V. Tenner | A.E.J. Hooijboer | J.C. Rozemeijer**

.....

RIVM-rapport 2021-0141

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
Nederland  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

november 2021

*De zorg voor morgen begint vandaag*