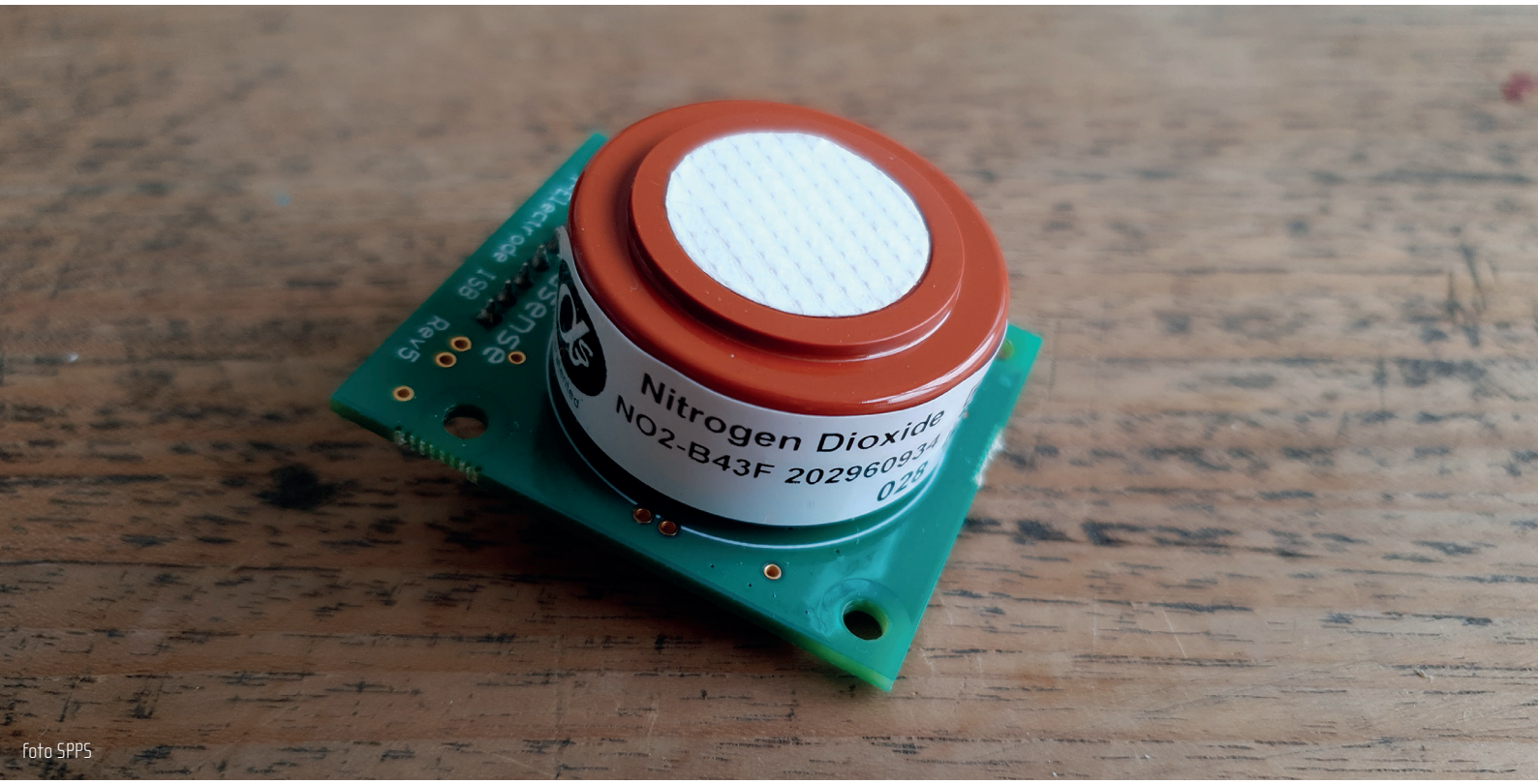


foto SPPS

DUURTEST NO_2-SENSOR

De Alphasense B43F, een veel gebruikte sensor voor citizen science projecten in Nederland, is een jaar getest om meer te weten te komen over ijking, drift en onderlinge variatie. De sensor doet het in de winter beter dan in de zomer en een doorlopende ijking is nodig voor bruikbare resultaten.

SEF VAN DEN ELSHOUT, SASKIA WILLERS EN ED VAN DER GAAG (DCMR)

Inleiding

Al enkele jaren staan burgermetingen van de luchtkwaliteit met 'goedkope' meetmethoden volop in de belangstelling. Passief meten van NO_2 (met Palmesbuisjes) wordt ook al langer door burgergroepen ingezet. Het inzetten van sensoren is van recentere datum (vroege experimenten zijn onder andere gedaan door Waag Society) en kent sinds circa 2017 ook een flinke toename. Vaak gaat het dan om fijnstofsensoren. Gemeente Rotterdam en Provincie Zuid-Holland doen samen met RIVM experimenten met een NO_2-sensor, de Alphasense B43F. Deze sensor wordt door RIVM ook elders in verschillende citizen science projecten ingezet en draait ook op het Utrecht Science Park waar RIVM samen met de universiteit Utrecht een grote en langlopende praktijktest heeft, het USP Innovatielab Leefomgeving.

Als onderdeel van de RIVM/Rotterdam/Zuid-Holland pilot werden van RIVM tien setjes met onderdelen voor een sensor verkregen om zelf sensoren te bouwen en uit te testen. Dit artikel beschrijft vooral de technische resultaten van de test.

Zelfbouw

Zelfbouw van een operationele sensor bleek ondanks de handleiding nog een behoorlijke klus. In de RIVM/Rotterdam/Zuid-Holland pilot is de assemblage uitbesteed. Achteraf, en kijkend naar onze ervaringen, was dat een wijs besluit.

DCMR koos voor een iets andere behuizing dan de standaard RIVM 'paddenstoel' omdat we verwachten dat de luchtstroming dan beter zou zijn en de temperatuur minder hoog zou worden. De assemblage was daardoor wel een stuk ingewikkelder. Uiteindelijk kreeg de DCMR acht van de tien kits aan de praat.

Levensduur

De sensoren hebben uiteindelijk drie maanden in het lab gelegen voor ze naar buiten gingen. Daarna zijn ze alle acht op meetpunt Schiedam gehangen waar ze van juni 2018 tot februari 2019 hebben gedraaid. Zes van de acht hebben het de →

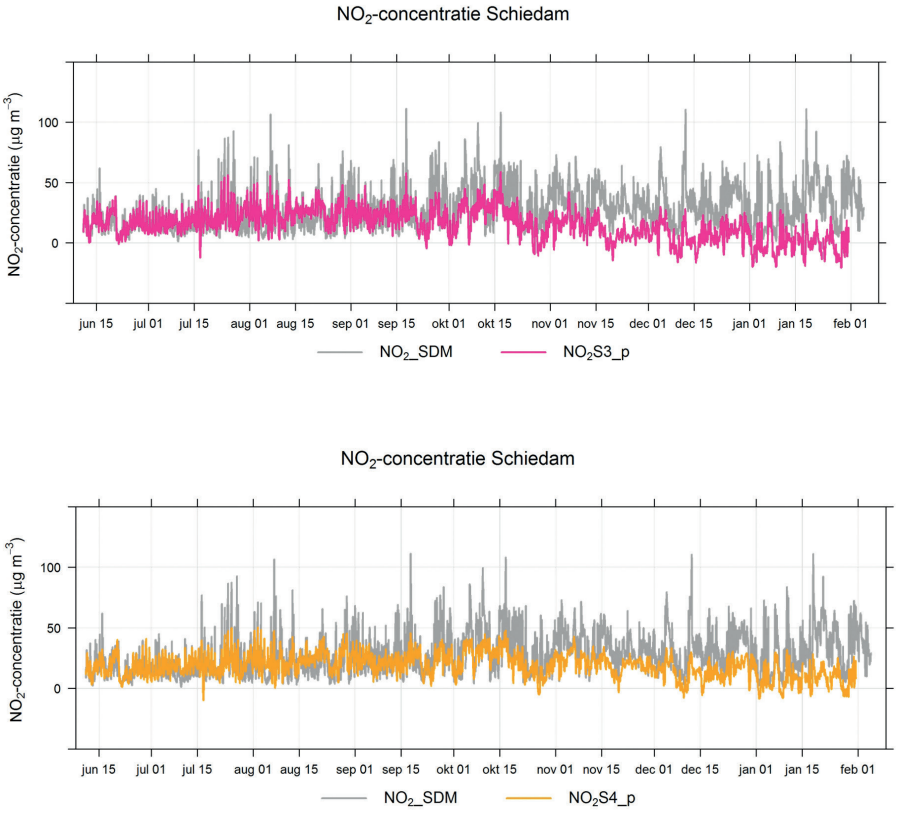
Figuur 1. IJkprogramma sensorpilot Rotterdam/Zuid-Holland/RIVM (l) en prestatietest DCMR-sensoren (r), op meetpunt Schiedam.

gehele periode volgehouden. Bij twee exemplaren is de data communicatie er na zes maanden mee opgehouden, de sensor doet het nog steeds en inmiddels draaien ze alle acht op een ander meetpunt. De praktische levensduur lijkt daarmee tenminste circa 12 maanden. Dit komt overeen met ervaringen van het RIVM en de opgave van de fabrikant (1 à 2 jaar).

Onderzoek

Op grond van de kennis en ervaring van het RIVM bij de start van het project werd naar een aantal zaken gekeken:

- Hoe verhouden de sensoren zich onderling, zijn er grote verschillen?
- Drift/veroudering: hoe snel veroudert een sensor, en is er sprake van drift? En is die drift gemakkelijk te corrigeren door bijvoorbeeld parallel aan de sensor een buisjesmeting te doen die een redelijk betrouwbaar maandgemiddelde geeft?
- Zijn er verschillen tussen een ijking in de zomer en de winter: eerste resultaten van het RIVM leken er op te wijzen dat als de concentratierange van de metingen te klein is ('s zomers is die voor NO_2 kleiner dan 's winters) de ijking suboptimaal is.
- Hoe goed werkt de door RIVM ontwikkelde doorlopende nachtijking?



Figuur 2. Tijdreeks NO2-concentraties sensor 3 en 4 (juni-juli ijking)

Variatie tussen de sensoren

De sensoren lijken allemaal op elkaar, op één na. Sensor 4 vertoonde iets afwijkend gedrag. Niet per se slechter en over de hele periode misschien zelfs iets gelijkmatiger dan de andere sensoren. Zie figuur 1. Elders in dit artikel worden voorbeelden van andere exemplaren gebruikt en getoond. Behalve sensor 4 zijn 1 t/m 8 redelijk inwisselbaar zoals ook uit de getoonde reeksen valt te zien.

Hoewel het uiteindelijke gedrag na ijking sterk vergelijkbaar is, heeft elke sensor wel z'n eigen parameters nodig. Er valt niet aan te ontkomen ze allemaal een periode ter ijking op/bij een regulier meetpunt van een van de meetnetten te installeren. Zie tabel 1.

Tabel 1 laat zien dat bij de eerste ijking (juni-juli) de gemiddelde afwijking (hier gemeten als 'RMSE' – root mean square error) voor elke sensor vrijwel vergelijkbaar is. Als deze ijking wordt toegepast op de hele testperiode levert deze ijking een veel grotere afwijking, en ook wat meer variatie. De ijking in de winter levert een lagere afwijking dan in de zomer: de sensor doet het 's winters beter maar de winterijking toegepast op de hele periode levert weer een flinke verslechtering van de prestatie en ook wat meer spreiding tussen de sensoren. De ogenschijnlijk betere winterijking is dus geen garantie voor kwaliteit over de hele periode.

Drift?

Figuur 3 laat een tijdreeks van sensor 7 zien. In de bovenste helft is de sensor in juni-juli geijkt en in de onderste is de

Tabel 1. Kwaliteit van de ijking in twee periodes en bij verschillende concentraties NO2 en O3 gemeten op station Schiedam en sensortemperatuur (data juni 2018 - februari 2019)

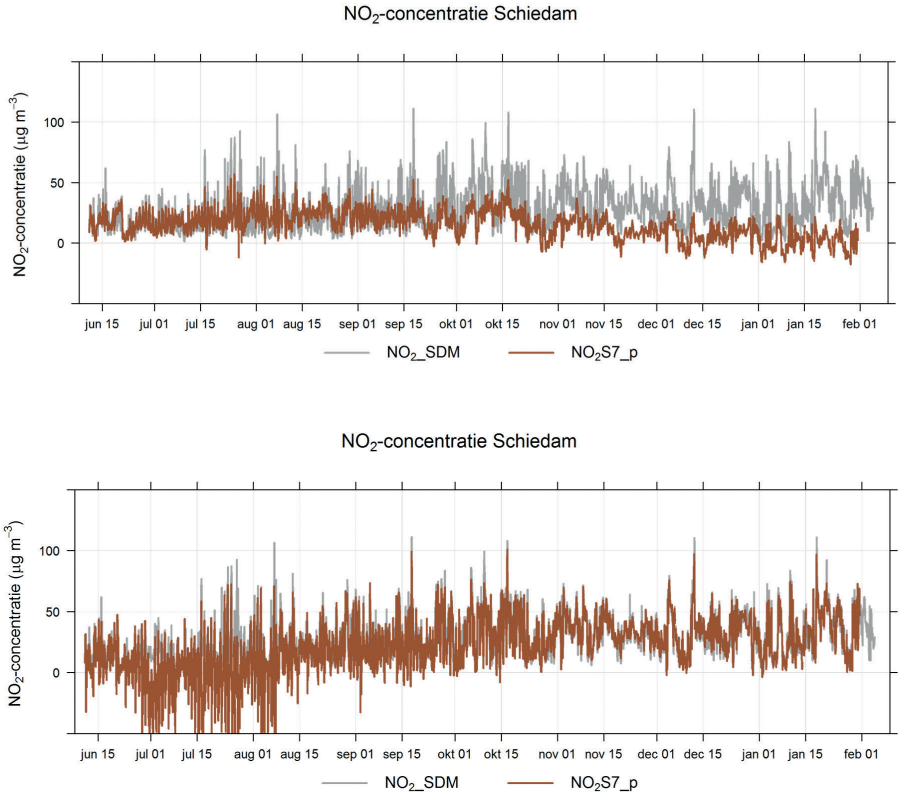
	juni-juli		december-januari	
Sensor	RMSE ijkperiode	RMSE hele periode	RMSE ijkperiode	RMSE hele periode
1	9,7	21,2	6,4	27,1
2	9,5	20,1	6,1	20,4
3	9,1	20,8	6,3	20,4
4	9,5	16,9	8,5	15,6
5	9,6	20,6	6,2	23,1
6*	9,0	18,0		
7	9,1	20,5	6,1	16,5
8*	9,2	16,1		
NO_2**	18,4 (12,6)		32,0 (18,1)	
O_3**	56,5 (24,0)		30,5 (22,5)	
T sensor**	30,9 (5,6) °C		14,8 (3,4) °C	

* actief tot medio december
** ijkperiodegemiddelde referentieconcentratie met standaarddeviatie (µg/m3)

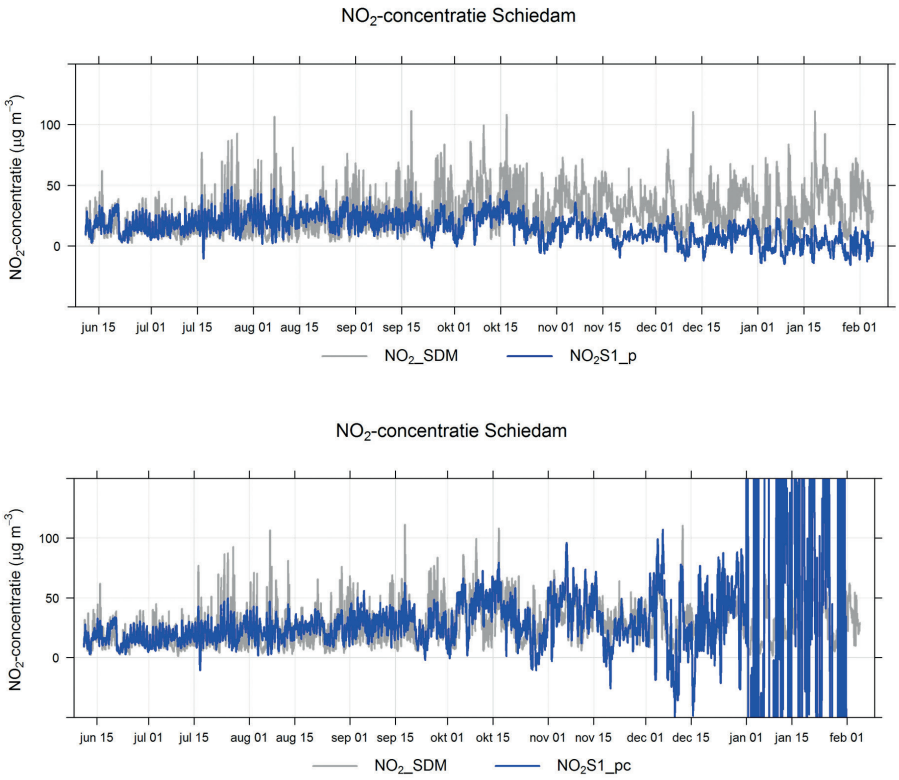
sensor in december-januari geijkt. De gehele sensormeetreeks is vervolgens bepaald met de gevonden ijkfactoren. De bovenste helft van de figuur lijkt op drift en veroudering te wijzen en ook de onderste kan zo geïnterpreteerd worden: als er na veroudering en drift nieuwe factoren worden bepaald en die worden met terugwerkende kracht op de beginmaanden toegepast, wordt het begin signaal overdreven (grote uitschieters en veel negatieve waarden).

Afnemende gevoeligheid van een sensor zou eenvoudig te corrigeren moeten zijn door het sensorsignaal te vermenigvuldigen met de verhouding tussen het maandgemiddelde sensor signaal en de werkelijk gemeten waarde. Die laatste was beschikbaar omdat de gehele test op een regulier meetpunt plaatsvond, maar in de praktijk zou die verkregen kunnen worden uit een meting met een Palmesbuisje. De resultaten staan in figuur 4. Te zien valt dat de resultaten tegenvallen. De maandcorrectie werkt redelijk tot de wintermaanden. Het signaal wordt dan sterk overdreven. De resultaten zijn nog slechter als gebruik wordt gemaakt van de ijking in de wintermaanden: dat leidt tot totaal onbruikbare resultaten in de zomermaanden.

Als het beeld uit figuur 3 vooral het gevolg was van drift, zijn de resultaten in figuur 4 onverwacht. Drift wordt niet uitgesloten maar het lijkt er vooral op dat de ijking uit de ene periode (zomer, winter) niet toepasbaar is in de andere: de ijking is dan niet representatief voor de omstandigheden. Kijkend naar de bovenste helft van figuren 3 en 4 valt op dat er rond 15 oktober een knik in de curve zit. Dit is voor vrijwel alle sensoren het geval (sensor 4 blijkt een iets afwijkend gedrag te vertonen). Als we naar de sensortemperatuur kijken (figuur 5) blijkt die ook rond 15 oktober flink te dalen.
De sensor is kennelijk gevoelig voor temperatuur en een ijking bij het ene temperatuur regime is niet toepasbaar bij het andere! Bedacht moet worden dat 2018 een uitzonderlijke zomer was met ook verhoudingsgewijs hoge ozonconcentraties. Eerdere analyses van het



Figuur 3. Tijdreeks NO2-concentratie sensor 7 met juni-juli-ijking (boven) en december-januari-ijking (onder) →



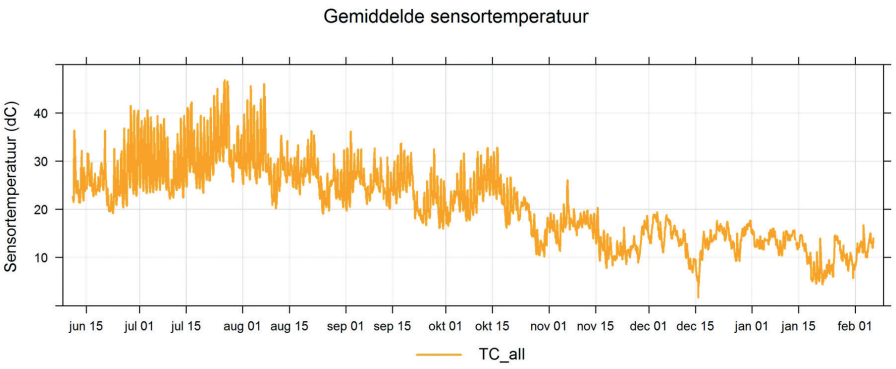
Figuur 4. Tijdreeks NO2-concentraties van sensor 1 op basis van de juni-juli ijking, zonder (boven) en met (onder) maandcorrectie

RIVM wezen echter uit dat de ozongevoeligheid meeviel en inmiddels heeft ook RIVM aanwijzingen voor de sterke temperatuurgevoeligheid.

Zomer- winterijking

Het verschil tussen de zomer- en de winterijking is te zien in tabel 1: De winterijking is in de winter beter. Bij de hypothese waarmee gestart werd, was de verklaring dat dit lag aan een gebrek aan verschillen tussen de NO_2-concentraties in de zomer. Er wordt dan immers geijkt in een beperkte range die mogelijk niet representatief is. Uit het feit dat de winterijking in een ander seizoen net zo slecht functioneerde als de zomerijking in de winter blijkt dat dit niet de verklaring is voor de matige prestaties in de zomer.

Ook het feit dat de door RIVM ontwikkelde nachtijking (zie volgende sectie) redelijk functioneert, wijst erop dat het niet een gebrek aan concentratierange is die de ijking 's zomers parten speelt. In de nachtelijke uren is de concentratierange vaak ook kleiner. Het lijkt er sterk op dat de sensor bij hoge temperaturen (en mogelijk hogere ozon) minder goed functioneert dan 's winters.



Figuur 5. Gemiddelde sensortemperatuur over de meetperiode

Nachtijking

De door het RIVM ontwikkelde nachtkalibratie is gebaseerd op de aanname dat de concentraties 's nachts over een groter gebied vergelijkbaar zullen zijn (sterke lage bronnen als verkeer zijn dan immers minder sterk/afwezig). Dit betekent dat ook als de sensor niet op een regulier meetpunt hangt er toch een redelijke ijking gedaan kan worden als er wel zo'n meetpunt in de buurt is.

Tabel 2 is identiek aan tabel 1 behalve dat de ijking volledig gebaseerd is op nachtelijke uren. Te zien valt dat 's zomers de RMSE tijdens de ijkperiode toeneemt ten opzichte van ijking op alle waarnemingen. In de winter zijn de resultaten vergelijkbaar, is dit nu een gebrek aan concentratierange of van niet representatieve ijkingstemperaturen in de zomer nacht? Aan de NO_2-concentraties tijdens de ijking valt te zien dat die in de zomer 's nachts gemiddeld iets hoger zijn dan overdag (vanwege de reactie met ozon). De concentratierange is 's nachts dus beter dan overdag maar de ijking is toch slechter: Het zijn dus de zomertemperaturen overdag die de performance van de sensor parten spelen.

In de winterperiode levert de ijking 's nachts en overdag dezelfde resultaten. Conclusie: de nachtijking doet niet onder voor de ijking gebaseerd op de gehele dag.

Doorlopende nachtijking

In werkelijkheid zal er sprake zijn van een doorlopende ijking met een station op enige afstand. We hebben dat gesimuleerd door niet te ijken met het station waar de sensor lag, maar met een station

Tabel 2. Kwaliteit van de ijking gebaseerd op de nachtelijke uren (23.00-06.00) in twee seizoenen op station (data juni 2018 - februari 2019)

	juni-juli		december-januari	
Sensor	RMSE ijkperiode	RMSE hele periode	RMSE ijkperiode	RMSE hele periode
1	12,2	23,0	6,6	27,9
2	11,9	20,4	6,2	21,1
3	10,1	20,4	6,5	20,5
4	11,2	20,3	9,5	13,2
5	12,6	20,7	6,5	22,9
6*	11,1	18,0		
7	11,5	19,4	6,4	17,0
8*	12,0	15,4		
NO_2**	20,1 (13,2)		27,3 (17,7)	
O_3**	44,6 (18,4)		32,4 (24,2)	
T sensor***	26,8 (2,8)°C		14,4 (3,5) °C	

* actief tot medio december
** ijkperiode gemiddelde referentieconcentratie (tijdens nachturen!) met standaarddeviatie (µg/m3)
*** tijdens nachturen

(Hoogvliet) op 6,5 km afstand aan de andere kant van het havenindustriegebied. De resultaten staan voor sensor 1 in tabel 3. Te zien valt dat de doorlopende ijking over de hele periode het best presteert (zoals verwacht) omdat de ijkingsfactoren mee evolueren met het seizoen. Eventuele drift wordt ook meteen mee gecorrigeerd.

Als daarbij een verder afgelegen station wordt gebruikt neemt de RMSE met circa 25% toe. Wat ook opvalt is dat de RMSE bij de doorlopende ijking wat slechter is dan bij de vaste ijkperiode. Dat komt omdat de doorlopende ijking gebaseerd is op 12 weken data (RIVM adviseert 3 à 4 maanden) en de vaste ijking op 8 weken. Doordat de periode langer is, is de kans op deels niet representatieve ijkomstandigheden (lees andere temperatuur en mogelijk ozonconcentraties) wat groter. Getest zou kunnen worden of het RIVM advies niet terug gebracht kan worden naar een kortere periode.

Samenvatting

De Alphasense B43F doet het 's winters goed als er ook in de wintermaanden geijkt wordt. De sensor lijkt gevoelig voor hoge temperaturen en doet het 's zomers aanzienlijk minder.
Gebrek aan concentratierange tijdens de ijking speelt mogelijk een rol maar is niet de verklaring voor de matige prestaties in de zomer.
Drift zou een rol kunnen spelen maar als dat al zo is valt dat in het niet bij het gebruiken van niet representatieve ijkparameters. Een continue ijking is nodig. De door RIVM ontwikkelde nachtijking blijkt goed te voldoen en kan mogelijk nog beter als de ijkperiode verkort wordt.

Eenvoudige correctie met een betrouwbaar maandgemiddelde verbetert de prestaties van de sensor in de periodes dat de ijkparameters representatief zijn voor de meetperiode. De eenvoudige correctie is niet in staat het effect van verkeerde ijkparameters te corrigeren (de resultaten worden dan slechter).

Tot slot, de kwaliteitsbeoordelingen worden hier uitgedrukt in de wat abstracte maat 'RMSE'. Zo worden de prestaties bij verschillende ijkingsregimes en onder verschillende omstandigheden vergeleken. De kwaliteitsoordelen in dit stuk zijn dan ook allemaal relatief: het een werkt beter/slechter/matig ten opzichte van het ander. Of de metingen in de praktijk zullen voldoen aan de verwachtingen van de gebruiker valt buiten het bestek van deze analyse.

Tabel 3. Sensor 1, vergelijking van 4 ijkingsregimes. Vaste periode (8 weken): hele dag en nacht; en doorlopende (12 weken) nachtijking: station Schiedam en Hoogvliet

	juni-juli		december-januari	
Sensor	RMSE ijkperiode	RMSE hele periode	RMSE ijkperiode	RMSE hele periode
Hele dag	9,7	21,2	6,4	27,1
Nacht	12,2	23,0	6,6	27,9
Nacht (continu) Schiedam	15,9	11,5	7,4	11,5
Nacht (continu) Hoogvliet	17,0	14,2	11,4	14,2

* actief tot medio december
** ijkperiode gemiddelde referentieconcentratie (tijdens nachturen!) met standaarddeviatie (µg/m3)
*** tijdens nachturen

Dankwoord

DCMR bedankt het RIVM voor de sensorkits en voor veelvuldig contact, met name in de aanloopperiode. ■

Literatuur

– RIVM. 2018. www.samenmetenaanluchtkwaliteit.nl/sites/default/files/2019-01/2019-01-10%20Kalibratie%20van%20NO2%20sensoren.pdf
– Willers, Saskia, Sef van den Elshout en Ed van der Gaag. 2019. NO2-sensor voor citizen science - Ervaringen met Alphasense B43F. DCMR.