

Kalibratie van de NO2 sensoren

Een Alphasense NO2-sensor heeft als output elektrische spanningssignalen. Deze signalen zeggen iets over de NO2-concentratie in de buitenlucht. Hoe hoger het spanningsverschil, hoe hoger de NO2-concentratie. Maar de verhouding tussen het elektrische spanningsverschil en NO2-concentratie is voor elke individuele sensor verschillend. Per sensor moet deze verhouding dus bepaald worden om de juiste NO2-concentratie te berekenen. Dit proces heet *kalibreren*. Een sensor wordt aan het begin van de meetcampagne gekalibreerd ('startkalibratie'), maar ook tijdens de meetcampagne ('nachtkalibratie') omdat de gevoeligheid van de sensor na enige tijd verloopt. Hoe gaan deze twee kalibraties in hun werk? Dat wordt hieronder uitgelegd.

De Alphasense sensor voor het meten van stikstofdioxide (NO2) lijkt op een bakje met een chemische vloeistof. Deze vloeistof kan via een membraan – een gas doorlatend vlies – met de NO2 uit de buitenlucht reageren. De effecten van deze chemische reactie worden door de sensor omgezet in elektrische spanningen. Hoe hoger het spanningsverschil, hoe hoger de NO2-concentratie.

Kalibratie met behulp van officiële metingen

Aan het begin van de meetcampagne wordt de startkalibratie uitgevoerd. Hierbij wordt de Alphasense naast een officieel NO2 meetinstrument geplaatst en wordt gedurende (minstens) vier weken het signaal van de Alphasense vergeleken met de officiële NO2 meting. Als er weinig NO2 in de buitenlucht zit, kan het nodig zijn om (veel) langer te vergelijken.

De chemische vloeistof van de sensor reageert echter niet alleen met NO2, maar ook bijvoorbeeld met ozon (O3) en temperatuur. Om een goede verhouding tussen de elektrische spanning en NO2 te bepalen, moet ook met deze invloeden rekening gehouden worden. Daarom worden ook de temperatuur en ozon gemeten.

Vervolgens worden de metingen van NO2, O3, de temperatuur en het elektrische signaal van de sensor ingevoerd in een *kalibratieformule*. Deze formule beschrijft hoe de NO2-concentratie kan worden berekend op basis van het gemeten spanningsverschil van de Alphasense sensor, de temperatuur en de hoeveelheid ozon. De formule wordt vervolgens opgeslagen in de database en gebruikt om de output van de sensor (elektrisch spanningsverschil) om te rekenen naar een NO2-concentratie. De formule ziet er als volgt uit:

$$\text{NO2} = a * \text{spanningsverschil} + b * \text{O3} + c * \text{temperatuur} + d * (\text{spanningsverschil} * \text{O3}) + e$$

In bedrijf

Na de startkalibratie wordt de Alphasense sensor opgehangen op de meetplek. Iedere vijf minuten stuurt de sensor het spanningsverschil en de temperatuur, gemeten met een aparte temperatuursensor, naar de database van het Samen Meten Dataportaal. Na een uur worden de spanning van de sensor en de temperatuur¹ over dat uur gemiddeld. De ozonmetingen van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit voor het vorige uur worden hier aan toegevoegd. Als schatting voor de ozonwaarde op de locatie van de sensor wordt de ozonconcentratie van het dichtstbijzijnde (stads- of regionaal) achtergrondstation gebruikt. Ozonconcentraties van verkeersbelaste stations worden niet gebruikt omdat de ozonconcentratie daar niet representatief is voor een groter gebied². Al deze gegevens worden ingevoerd in de eerder vastgestelde kalibratieformule. Uit deze kalibratieformule komt vervolgens de berekende NO2-concentratie. Dit is de NO2-concentratie die wordt weergegeven op het Samen Meten dataportaal.

Experimentele nachtkalibratie

De levensduur van een Alphasense NO2 sensor is volgens opgave van de leverancier één tot twee jaar, maar de ervaring leert dat sommige exemplaren al eerder niet meer goed werken. Al na enkele maanden veroudert de sensor: de gevoeligheid wordt dan meestal minder. Dit betekent dat de sensor opnieuw moet worden gekalibreerd. Om te voorkomen dat de sensoren steeds moeten worden weggehaald voor her-kalibratie op een meetstation wordt na drie tot vier maanden de *experimentele nachtkalibratie* ingezet. Bij de nachtkalibratie wordt opnieuw de verhouding tussen de elektrische spanningsoutput van de sensor en een bekende NO2-concentratie bepaald, waarbij wederom rekening gehouden wordt met de invloed van ozon en de temperatuur.

In de praktijk betekent dit dat de nachtkalibratie alleen mogelijk is op plaatsen waar in de nacht geen grote lokale bronnen van NO2 zijn (dus niet in de buurt van snelwegen of andere drukke wegen). We nemen dan aan dat de NO2-concentratie 's nachts in een groter gebied min of meer gelijk is. Dit betekent dat de NO2-concentratie op de plek van de sensor zal lijken op de concentraties die gemeten worden op officiële meetstations in de buurt.

De nachtkalibratie wordt gedaan met metingen van de uren tussen 23:00 en 6:00. Voor deze uren wordt aangenomen dat de resultaten van het Landelijke Meetnet Luchtkwaliteit, in

¹ Als de sensor geen temperatuurmeting doorgeeft, wordt de temperatuur van het dichtstbijzijnde KNMI station gebruikt. Deze wordt iets verhoogd omdat de temperatuur in de sensorbehuizing vaak hoger is dan in de buitenlucht.

² Bij veel wegverkeer kan de ozonconcentratie lager zijn vanwege evenwichtsreacties met stikstofoxiden.

combinatie met een uurlijkse kaart³ voor luchtkwaliteit van het RIVM, kunnen worden gebruikt om de kalibratie van de sensoren te controleren en, zo nodig, aan te passen. De nachtkalibratie vindt eens per week plaats en maakt gebruik van alle nachtelijke uren van de voorgaande drie à vier maanden. Iedere week is de periode dus net zo lang maar met een week verschoven. Op die manier zorgen we voor een geleidelijke verandering van de kalibratiefactoren. De nieuwe kalibratieformule wordt opgeslagen in de database, en wordt vanaf dat moment gebruikt om de NO2 concentratie te berekenen. De onzekerheid na een nachtkalibratie is groter dan na een kalibratie naast een officiële meting.

Procedure voor sensoren zonder initiële kalibratie met officiële meting

Soms zijn er sensoren die geen initiële kalibratie met een officiële NO2 meting hebben gekregen. Voor die sensoren passen we een aparte, zeer experimentele procedure toe voor de eerste drie à vier maanden. We gebruiken de methode van de nachtkalibratie, maar nemen ook uren overdag mee. Het zou anders namelijk te lang duren voor de meetgegevens er zijn (drie à vier maanden). De meetwaarden in deze eerste drie à vier maanden zijn een stuk onzekerder dan wanneer er wel een initiële kalibratie met een officiële meting heeft plaatsgevonden. Na deze eerste periode passen we weer de nachtkalibratie toe. Het kan zijn dat dit voor een trendbreuk in de meetwaarden zorgt. Het uitvoeren van een startkalibratie heeft daarom altijd sterk de voorkeur.

Samenvatting

Een sensor geeft alleen elektrische spanningssignalen. Kalibratie is nodig om op basis van deze spanning een NO2-concentratie te berekenen. Aan het begin van een meetcampagne wordt de kalibratie gedaan door de sensor te plaatsen op een meetstation. Omdat de sensor veroudert, kan de startkalibratie na een tijdje niet meer representatief zijn. Daarom zetten we na drie tot vier maanden een experimentele nachtkalibratie in. Hierbij wordt opnieuw de verhouding tussen de output van de sensor en een bekende NO2-concentratie (in dit geval de nachtelijke NO2-concentratie in een gebied) bepaald. Op deze manier zorgen we er voor dat de sensorwaarde zo goed als mogelijk de NO2-concentratie weerspiegelt.

³ In de uurkaart wordt de achtergrondconcentratie bepaald door een vorm van interpolatie van de metingen op officiële meetstations.

Specifieke informatie in kader van open data

Fabrikant en type sensor: Alphasense NO2-B43F

Specificaties van de sensor: Volgens de specificaties is de NO2-B43F in staat om in de buitenlucht concentratie-verschillen in de orde van 5-10 ppb goed te meten. Hierbij moet wel gebruik worden gemaakt van door Alphasense geleverde ruis-arme elektronica.
<http://www.alphasense.com/index.php/products/nitrogen-dioxide-2/>

Aanpassingen aan de hardware: geen (de sensor wordt samen met de ruis-arme elektronica ingebouwd in verschillende behuizingen).

Omzetting ruwe signaal: de sensor geeft een spanningssignaal. Deze wordt door kalibratie omgevormd tot een concentratiewaarde in ug/m3.

Kalibratieperiode: RIVM past een combinatie toe. Aan het begin van een meetcampagne wordt de kalibratie gedaan door de sensor te plaatsen op een meetstation. Omdat de sensor verouderd, kan de startkalibratie na een tijdje niet meer representatief zijn. Daarom zetten we na drie tot vier maanden een experimentele nachtkalibratie in. Hierbij wordt opnieuw de verhouding tussen de output van de sensor en een bekende NO2-concentratie (in dit geval de nachtelijke NO2-concentratie in een gebied) bepaald.

Andere informatie/parameters die in het kalibratiealgoritme worden gebruikt: de concentratie van ozon gemeten op het dichtstbijzijnde achtergrondstation en de temperatuur gemeten met een sensor in de behuizing. $NO_2 = a * \text{spanningsverschil} + b * O_3 + c * \text{temperatuur} + d * (\text{spanningsverschil} * O_3) + e$.

Hoe voegt het ruwe sensorsignaal daadwerkelijk waarde toe: De gekalibreerde waarde van $NO_2 = a * \text{spanningsverschil sensor} + b * O_3 + c * \text{temperatuur} + d * (\text{spanningsverschil sensor} * O_3) + e$. De waarden van de parameters verschillen per sensor en in de tijd. De mate waarin de sensorwaarde zelf (nog) bijdraagt moet regelmatig worden geverifieerd.

Classificatie volgens Schneider et al., 2019: Level-3.