

NAUWKEURIGE NO₂-CONCENTRATIEKAARTEN DANKZIJ VRIJWILLIGERS

'Citizen science' metingen worden vanaf dit jaar ingezet voor het valideren en kalibreren van Grootschalige Concentratiekaarten van Nederland. Hoe gaat dit in zijn werk en wat is het effect op de concentratiekaarten?

KOEN SITEUR, HESTER VOLTEN, KIM VENDEL,
PLEUNI BONGERS, RONALD HOOGERBRUGGE

Introductie

NO₂ is een belangrijke component voor de luchtkwaliteit. NO₂ in de lucht is schadelijk voor de gezondheid en levert daarnaast een bijdrage aan de stikstofdepositie die een probleem vormt in natuurgebieden. Bovendien speelt NO₂ via chemische processen in de atmosfeer een rol bij de vorming van fijnstof en ozon. Ook deze componenten hebben effect op de volksgezondheid en de natuur. NO₂ wordt gemeten in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) van het RIVM en door meetnetten van partners zoals de GGD-Amsterdam en de DCMR-Milieudienst Rijnmond (zie luchtmeetnet.nl). De NO₂-metingen worden gebruikt voor het valideren en kalibreren van modelberekeningen die de basis zijn van de Grootschalige Concentratiekaarten van Nederland (GCN-kaarten). Jarenlang lag de focus op mogelijke overschrijdingen van de Europese grenswaarde voor NO₂-concentraties. Hierdoor zijn er relatief veel meetlocaties in stedelijke gebieden en minder in landelijke gebieden, wat mogelijk zorgt voor een grotere onzekerheid in de NO₂-modelberekeningen in landelijke gebieden. Daarom worden

metingen in het bestaande luchtmeetnet sinds 2017 aangevuld met extra metingen met Palmes-diffusiebuisjes in landelijk gebied, waarbij vrijwilligers het verwisselen van de buisjes op zich nemen. Deze vrijwilligers werden gevonden onder burgers die deelnemen aan het Samen Meten programma en natuurbeheerders binnen het bestaande Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN).

Voor het valideren en kalibreren van de grootschalige NO₂-concentratiekaart van 2020 werden deze extra metingen voor het eerst meegenomen; 2020 was een bijzonder jaar vanwege de COVID-19 pandemie. De bijbehorende maatregelen resulteerden in lagere verkeersemissies, maar ook in meer onzekerheid in deze emissies. Deze hogere onzekerheid werkt door in de berekende NO₂-concentraties, waardoor de kaart meer dan anders afhankelijk was van kalibratie aan de metingen. De mogelijkheid om deze nieuwe metingen door vrijwilligers te benutten was daarom zeer welkom om de kwaliteit van de NO₂-concentratiekaart te waarborgen.

Samen Meten programma en Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden

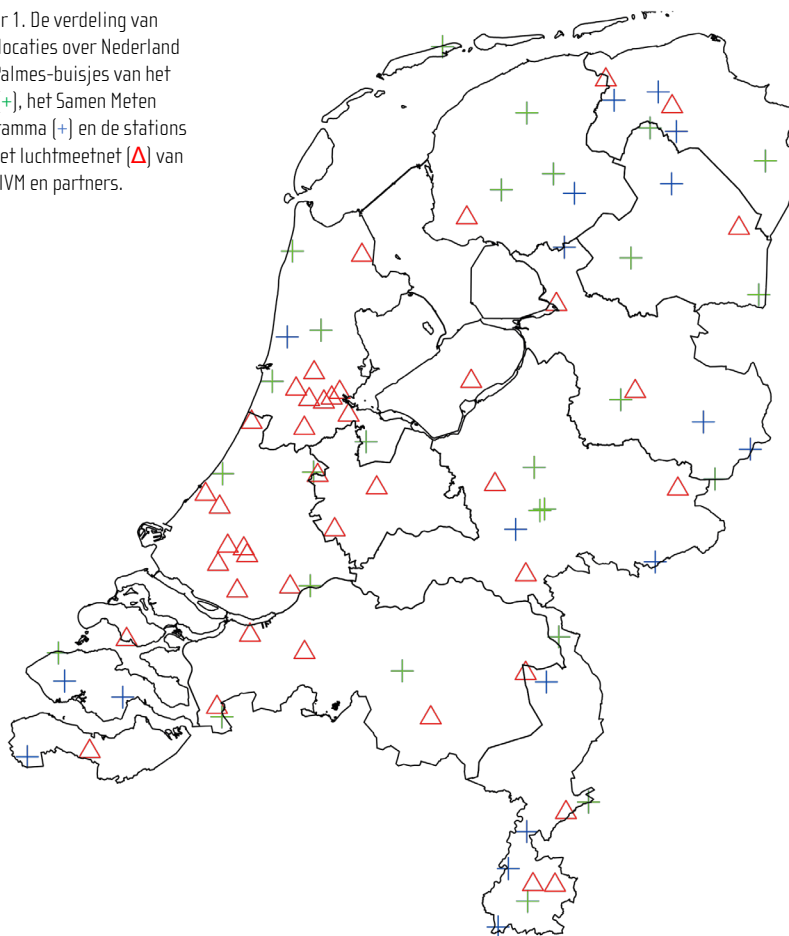
Toen het RIVM op zoek ging naar vrijwilligers om de NO₂-metingen uit te voeren

lag het voor de hand om die vrijwilligers te zoeken onder de achterban van het Samen Meten programma. Dit programma biedt een infrastructuur die het eenvoudig maakt om 'citizen science' projecten op te zetten op het gebied van metingen aan de leefomgeving, zoals luchtkwaliteitsmetingen. Dit gebeurt via het kennisportaal samenmeten.nl waar burgers informatie kunnen vinden en met elkaar in contact kunnen komen. Ook is er een dataplatform samenmeten.rivm.nl waarop data gedeeld kan worden en kan worden vergeleken met data van andere deelnemers en het landelijk luchtmeetnet. Een van de uitdrukkelijke doelen van Samen Meten is dat de data uiteindelijk van nut is voor zowel de deelnemende burgers als voor luchtkwaliteitsexperts. Voor het RIVM betekent dit bijvoorbeeld dat de data kan worden gebruikt om modellen te valideren en te kalibreren.

De vrijwilligers werden gevonden via een oproep in de Samen Meten nieuwsbrief, op Twitter en op LinkedIn. Eén oproep leverde voldoende respons op om een selectie te kunnen maken. We waren op zoek naar mensen in landelijke gebieden in met name Zeeland, Noord-Nederland en Limburg, die zich voor langere tijd wilden committeren. De motivatie van mensen om mee te doen kwam voor een groot

Verdeling van meetlocaties over Nederland

Figuur 1. De verdeling van meetlocaties over Nederland met Palmes-buisjes van het MAN (+), het Samen Meten programma (+) en de stations van het luchtmeetnet (Δ) van het RIVM en partners.



deel voort uit nieuwsgierigheid naar de luchtkwaliteit in hun buurt. Sommige vrijwilligers maakten zich zorgen vanwege gezondheidsproblemen van henzelf of naasten.

Naast de vrijwilligers van het Samen Meten programma werd gebruik gemaakt van de infrastructuur van het MAN. Het MAN is een citizen science project 'avant la lettre'¹. Figuur 1 laat de verdeling van de meetlocaties over Nederland zien. De Palmes-buisjes worden op vrijwillige basis verwisseld door lokale natuurbeheerders, die over het algemeen geen meetexperts zijn. Zonder de inzet van de vrijwilligers van het Samen Meten programma en de natuurbeheerders van het MAN zou een dergelijke uitbreiding van het NO₂-meetnet financieel niet haalbaar zijn.

Meettechniek en dataverwerking
De NO₂-metingen in het Samen Meten

programma en het MAN worden uitgevoerd met Palmes- diffusiebuisjes. Dit zijn buisjes van ruim 7 cm lang met aan de bovenzijde een gaasje geïmpregneerd met tri-ethanolamine dat NO₂ uit de lucht absorbeert als nitraation (zie figuur 2). Het buisje wordt met een open onderkant verticaal opgehangen en gedurende een maand aan de lucht blootgesteld. Iedere maand worden de buisjes door de vrijwilligers opgestuurd naar het RIVM en worden nieuwe buisjes geplaatst. Bij het ingenieursbureau Buro Blauw wordt de NO₂-concentratie in µg/m³ berekend^{2,3}. Elke maand worden de buisjesmetingen gevalideerd en gekalibreerd. Bij de validatie wordt gecontroleerd op geldigheid en afwijkingen in de data. Op elk meetpunt worden twee



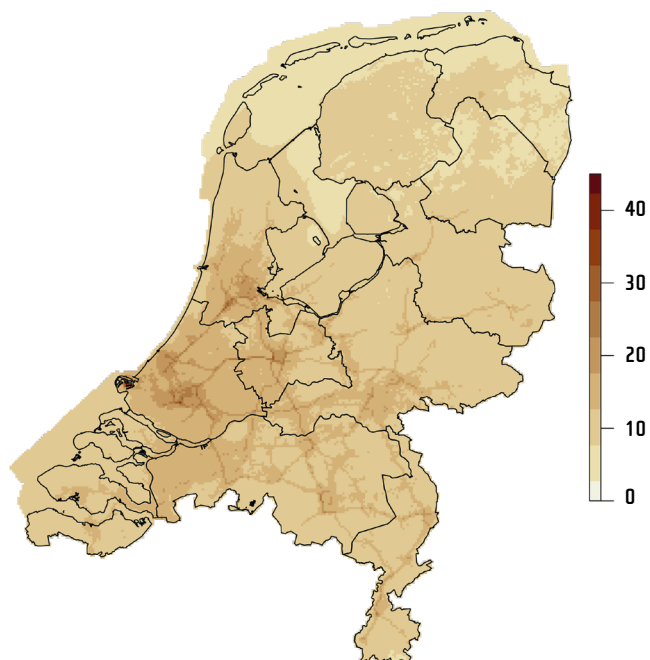
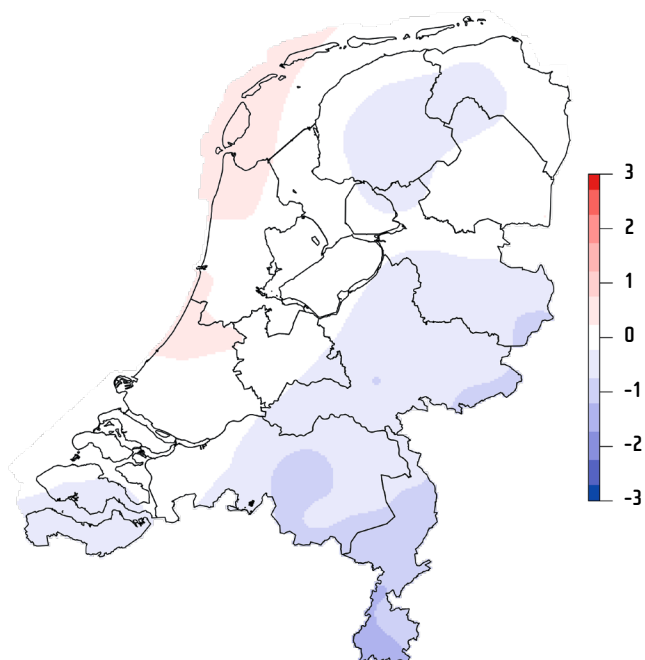
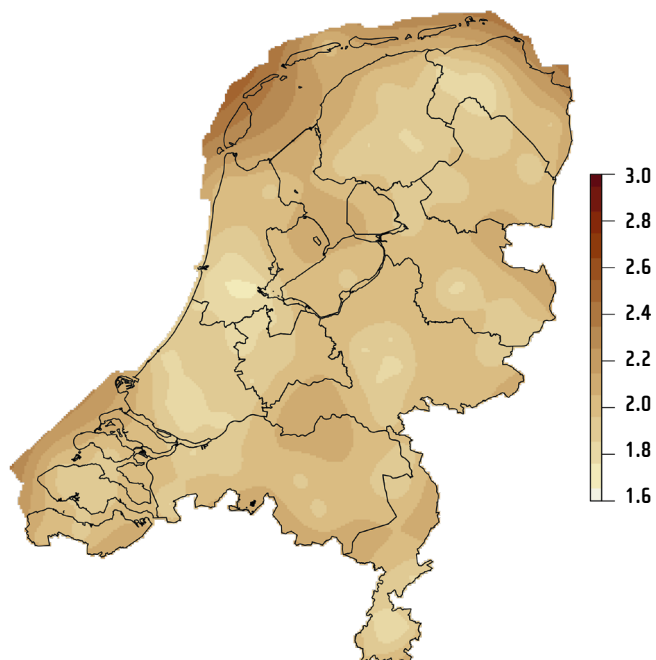
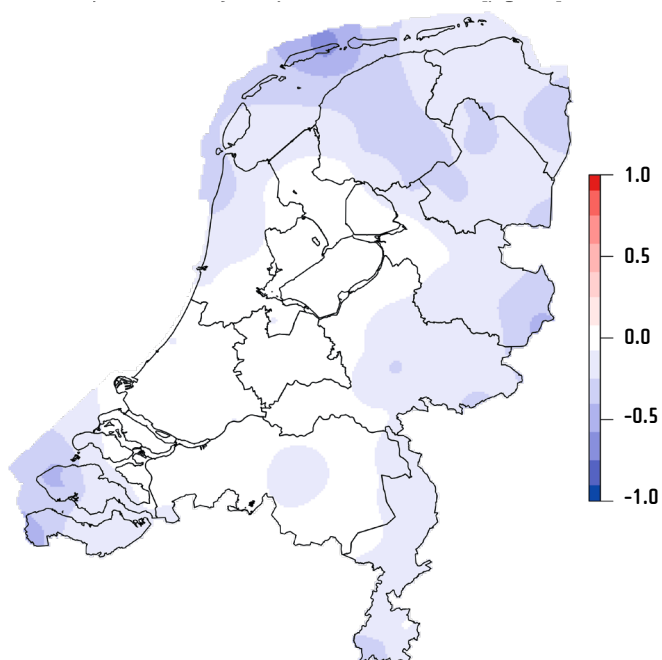
Figuur 2. Schematische weergave van een Palmes-buisje. TEA = tri-ethanolamine⁴.

Palmes-buisjes gelijktijdig opgehangen. Van elk duplo wordt het gemiddelde, de standaarddeviatie en procentuele standaardafwijking berekend en wordt er getoetst aan een vastgesteld criterium. Soms ontstaan er afwijkingen tussen de twee buisjes, bijvoorbeeld doordat er een buisje op de grond is gevallen, verdwenen is of doordat insecten actief zijn geweest in het meetbuisje. Zo komt het regelmatig voor dat er een spinnetje of spinnenweb in een buisje aanwezig is, wat invloed kan hebben gehad op de uitwisseling van NO₂ tussen de buitenlucht en het buisje. Na de validatie worden de NO₂-concentraties aan de hand van de automatische metingen in het LML gecorrigeerd voor systematische afwijkingen. Daarvoor worden de buisjesmetingen en automatische metingen op diverse meetstations binnen het LML met elkaar vergeleken en gecorrigeerd met een kalibratiefactor. Na elk meetjaar gaat er daarnaast nog een extra validatieslag overheen waarbij gecontroleerd wordt op uitschieters. Daarna is de data klaar voor verdere analyse en voor gebruik bij het maken van de grootschalige concentratiekaarten.

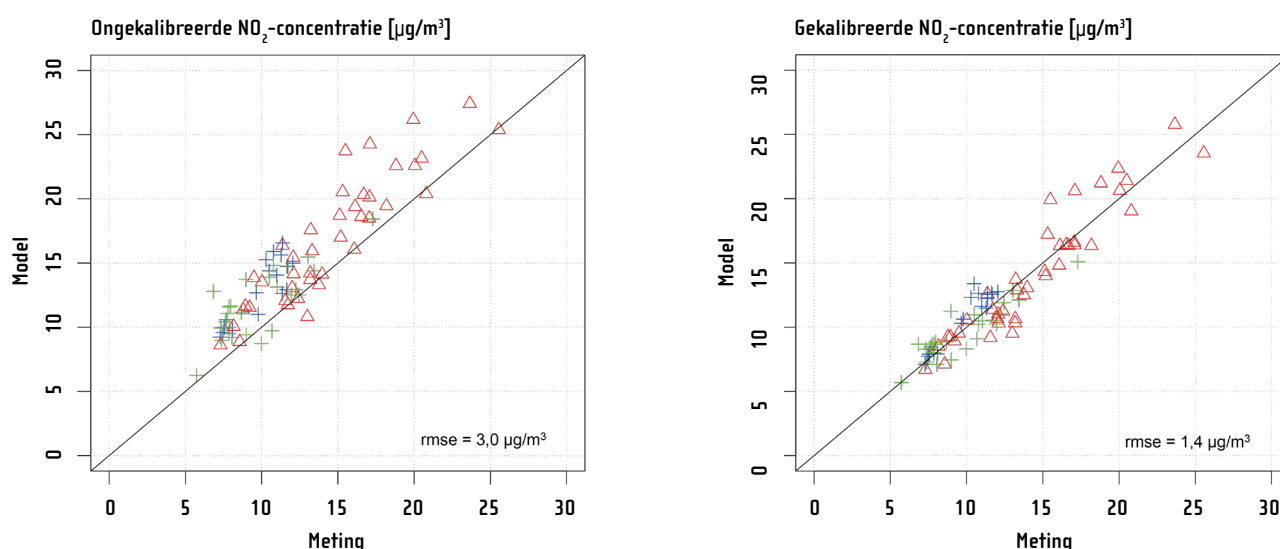
Grootschalige NO₂-concentratiekaarten

GCN-kaarten worden gemaakt door gemodelleerde en gemeten concentraties te combineren⁵. Het Operationele Prioritaire Stoffen (OPS) model berekent NO₂-concentraties voor heel Nederland op een resolutie van 1 bij 1 kilometer. De berekende concentraties worden vervolgens →

'Verzamelde data van nut voor de burger en de expert'

NO₂-concentratie na kalibratie [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]Effect palmesbuisjes op de concentratie [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]Onzekerheid in NO₂-concentratie [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]Effect palmesbuisjes op de onzekerheid [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Figuur 3. Het effect van het meenemen van de Palmes-buisjes metingen op de concentratie (boven) en de onzekerheid in de NO₂-concentratie (onder, 1σ). De onzekerheidskaart geeft de wortel van de Kriging variance ⁶.



Figuur 4. Vergelijking tussen meting en model op alle meetlocaties voor het jaar 2020 voor zowel het ongekalibreerde modelresultaat (links) als het gekalibreerde modelresultaat (rechts), met Palmes-buisjes van het Samen Meten programma (+), het MAN netwerk (+) en de stations van het luchtmeetnet (Δ). Het getoonde gekalibreerde modelresultaat is verkregen volgens het 'leave one out' principe, waarbij de gemodelleerde concentratie op een meetlocatie is berekend door te kalibreren op alle metingen behalve die van de betreffende meetlocatie. Op deze manier wordt een eerlijke vergelijking tussen model en meting mogelijk. De rmse (root mean squared error) is een maat voor de afwijking van het model ten opzichte van de meting (lager is beter). De zwarte lijn geeft aan waar het modelresultaat en de meting exact gelijk zijn aan elkaar.

geijkt aan de gemeten concentraties. Omdat de metingen met Palmes-buisjes een grotere meetonzekerheid hebben (24,2%, 2 σ) dan metingen van het bestaande luchtmeetnet (12,5%, 2 σ)³ moest de kalibratiemethode worden aangepast om ook de door vrijwilligers verzamelde data te kunnen gebruiken.

Nieuwe kalibratiemethode

De nieuwe kalibratiemethode gaat uit van een ruimtelijke correlatie in de benodigde modelcorrectie. Met andere woorden: de benodigde correctie is vergelijkbaar voor locaties die dicht bij elkaar liggen en verschilt voor locaties die ver van elkaar liggen. Dit wordt veroorzaakt doordat onzekerheden in emissies en meteorologie een regionale impact hebben op de berekende stikstofdioxideconcentraties. Op basis van luchtmeetnetdata en modelresultaten van 2015-2019 blijkt dat deze modelonzekerheid $\pm 2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bedraagt (1 σ) en dat de ruimtelijke correlatie ruim 80 km reikt.

Het niet-ruimtelijk gecorreleerde aandeel kan onder andere worden toegeschreven aan meetonzekerheid en bedraagt $\pm 1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Deze drie variabelen zijn invoer voor een zogeheten semi-variogrammodel. Met het semi-variogrammodel en de gemeten en gemodelleerde concentraties voor 2020 kan de meest waarschijnlijke concentratie worden bepaald voor locaties waar niet gemeten is en enkel gemodelleerde concentraties bekend zijn. Dit proces heet co-kriging van meet- en modelgegevens en houdt rekening met het verschil in meetonzekerheid tussen de gebruikte meettechnieken.

Figuur 3 laat zien hoe het meenemen van de Palmes-buisjesmetingen de berekende concentratiekaart verandert en waar het de onzekerheid in de concentraties verkleint. De Palmes-buisjesmetingen zorgen in het zuidoosten van Nederland voor een bijstelling naar beneden van 0,5 tot $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Met name in het noorden en oosten van het land en in Zeeland - de

gebieden waar veel Palmes-buisjes zijn geïntroduceerd - wordt de onzekerheid in de GCN-kaart kleiner. Een flinke afname is te zien in het waddengebied, al blijft de onzekerheid daar relatief groot ten opzichte van de rest van het land. Figuur 4 laat zien dat de berekende concentraties op de meetlocaties over het algemeen hoger zijn dan de gemeten concentraties. Deze overschatting van het model werd met name veroorzaakt door onzekerheden in de emissies voor 2020 als gevolg van de maatregelen met betrekking tot de COVID-19 pandemie. Deze overschatting wordt door de kalibratie op de metingen ongedaan gemaakt.

NO₂-concentraties in natuurgebieden

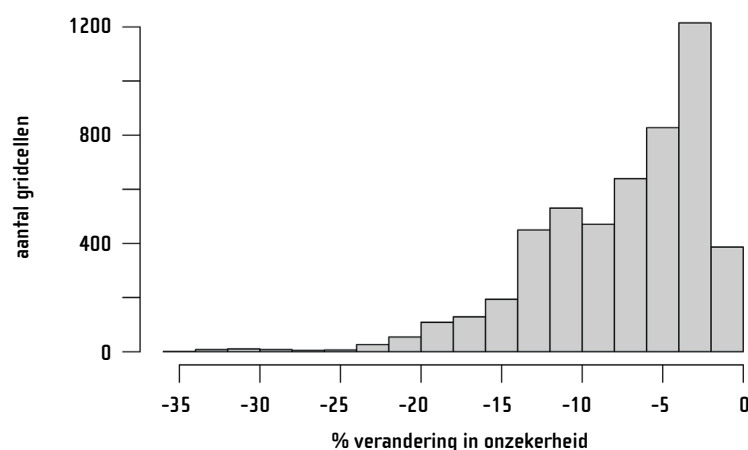
Het doel van het uitbreiden van het meetnet met Palmes-buisjes was om meer inzicht te krijgen in de NO₂-concentraties in landelijk gebied en in het bijzonder de natuurgebieden. Hoge NO₂-concentraties →

in de lucht leiden namelijk ook tot meer depositie van stikstof, wat gevolgen heeft voor natuurgebieden die gevoelig zijn voor stikstof.

De Palmes-buisjes hangen nu op 29 MAN locaties, vrijwel allemaal Natura2000 gebieden. In deze gebieden werd in 2020 een gemiddelde NO_2 -concentratie gemeten van $9,6 \pm 2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit is ongeveer vergelijkbaar met de gemiddelde concentratie in landelijke gebieden ($10,3 \pm 1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dankzij de Palmes-buisjes in natuurgebieden kunnen we de GCN-kaart nu vergelijken met NO_2 -metingen in natuurgebieden. De gemeten en gemodelleerde concentraties komen goed overeen (zie de +-symbolen in figuur 4) en de GCN-kaart blijkt een net zo goede weergave te geven van de NO_2 -concentraties in natuurgebieden als voor andere gebieden in Nederland. Daarnaast zorgen de Palmes-buisjesmetingen voor een substantiële afname van de onzekerheid in de NO_2 -concentraties in natuurgebieden

Conclusie

De ervaring met de uitbreiding van het meetnet door het inzetten van vrijwilligers is zeer positief. Betrokken burgers en natuurbeheerders krijgen inzicht in de lokale luchtkwaliteit en dragen tegelijk bij aan een nauwkeuriger landelijk beeld. Dankzij het grotere aantal meetlocaties in het landelijk gebied is daar de onzekerheid in de berekening van NO_2 -concentraties afgenomen. Daarnaast waren de metingen van de vrijwilligers zeer welkom in een jaar waarin de emissies, en daarmee de modelresultaten, een grotere onzekerheid kenden als gevolg van de COVID-19 uitbraak en de daaropvolgende maatregelen. De metingen van de vrijwilligers en de



Figuur 5. Relatieve verandering in de onzekerheid van de GCN NO_2 -kaart voor Natura2000 gebieden op land door het meenemen van de Palmes-buisjes meetresultaten. De gridcellen hebben een oppervlakte van 1 bij 1 km. De berekende onzekerheid is de wortel van de Kriging variance in het midden van de gridcel ⁶.

nieuwe kalibratiemethode zullen ook in de toekomst worden ingezet om de GCN-kaarten te berekenen.

Alle auteurs zijn werkzaam bij het RIVM. Met dank aan alle vrijwilligers en medewerkers van het RIVM voor hun bijdrage aan het verzamelen en analyseren van de NO_2 -metingen.

Referenties

1. Volten, H., Devilee, J., Apituley, A., Carton, L., Grothe, M., Keller, C.U., Kresin, F., Land-Zandstra, A.M., Noordijk, E., Putten, E. van, Rietjens, J.H.H., Snik, F., Tielemans, E., Vonk, J., Voogt, M. en Wesseling, J. 2018. Enhancing national environmental monitoring through local citizen science. In: Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy, Susanne Hecker et al., eds. London: UCL Press, London, 2018: 337–52
2. Hafkenscheid, T., Fromage-Mariette, A.,

Goelen, E., Hangartner, M., Pfeffer, U., Plaisance, H., de Santis, F., Saunders, W., Swaans, W., Tang, Y.S., Targa, J., van Hoek, C. en Gerboles, M. 2009 Review of the application of diffusive samplers in the European Union for the monitoring of nitrogen dioxide in ambient air. JRC 51106: 14-18.

3. Nguyen, P. L. en Wesseling, J. 2016. Metingen van stikstofdioxideconcentraties (NO_2) met Palmes buisjes. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM Brieftapport 2016-0089.
4. Interreg Vlaanderen - Nederland, Project Zuivere Lucht, Hoemeetiklucht.eu, geraadpleegd d.d. 10-06-2021, via: https://hoemeetiklucht.eu/passieve-samplers-voor-stikstofdioxiden#wat_is_een_passieve_stikstofdioxiden_sampler
5. Hoogerbrugge, R., Geilenkirchen, G.P., den Hollander, H.A., Siteur, K., Smeets, W., Van der Swaluw, E., De Vries, W.J. en Wichink Kruit, R.J. 2021. Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland. Rapportage 2021. RIVM Rapport 2021-0068.
6. Oliver, M.A. en Webster R. 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. Catena 113: 56-69.

'Onzekerheid NO_2 -concentratie in natuurgebieden aanzienlijk afgenomen dankzij buisjesmetingen'