

NAUWKEURIGE FIJN-STOFKAARTEN OP BASIS VAN ISPEX-METINGEN

Het iSPEX citizen science project werkt en kan een waardevolle aanvulling vormen op professionele fijnstofmetingen. Dit blijkt uit de eerste analyse van de duizenden metingen van iSPEX-gebruikers.

HESTER VOLTEN, FRANS SNIK, JEROEN H.H. RIETJENS, ARNOUD APITULEY, BAS MIJLING, ANTONIO DI NOIA, STEPHANIE HEIKAMP, RITSE C. HEINSBROEK, OTTO P. HASEKAMP, J. MARTIJN SMIT, JAN VONK, DAPHNE M. STAM, GERARD VAN HARTEN, JOZUA DE BOER, CHRISTOPH U. KELLER EN 3187 ISPEX CITIZEN SCIENTISTS*

De metingen geven een fijnmaziger beeld dan veel satellietmetingen en doorstaan de vergelijking met data van het AERONET-grondstation in Cabauw. Het wetenschappelijke artikel over deze eerste resultaten van het iSPEX-project is gepubliceerd in het prestigieuze tijdschrift *Geophysical Research Letters* (Snik et al., 2014). Het iSPEX-project toont daarmee aan dat met behulp van betrokken burgers tegen lage kosten grote hoeveelheden waardevolle gegevens verzameld kunnen worden.

Inleiding

De iSPEX is een opzetstukje dat voor de camera van de mobiele telefoon geplaatst wordt en een bijbehorende app. Met iSPEX verandert de smartphone in een meetinstrument. Hiermee ontstaat er een geheel nieuwe manier om fijn stof in de lucht te meten. iSPEX maakt gebruik van de camera, internetverbinding, gps en de rekenkracht van de smartphone en is ontwikkeld door

een breed team van wetenschappers van de Rijks Universiteit Leiden, SRON, KNMI en het RIVM. In oktober 2012 won dit iSPEX-team de Academische Jaarprijs. Deze prijs van € 100.000 is bestemd voor de beste vertaling van wetenschappelijk onderzoek naar een breed publiek. Het geldbedrag is geïnvesteerd om ongeveer 10.000 iSPEX-opzetstukjes te verspreiden onder iSPEX-gebruikers over heel Nederland en een groot citizen science project te doen.

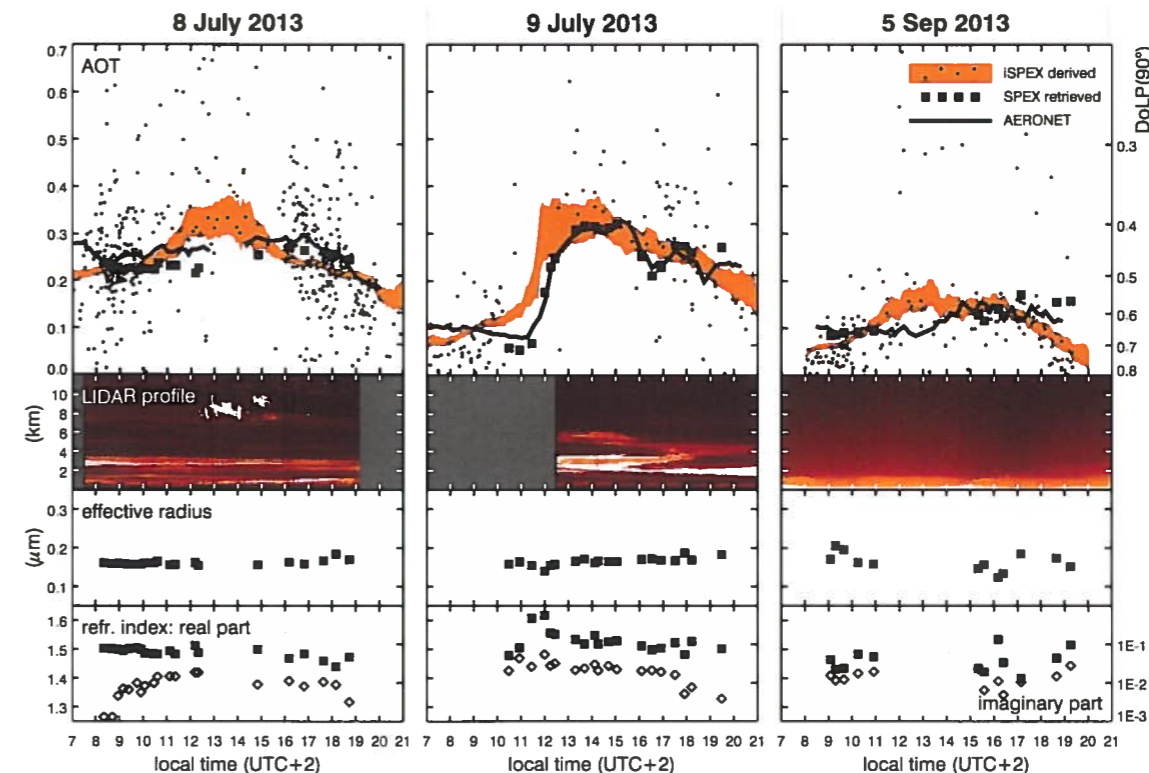
Ander soort data op meer plaatsen

iSPEX levert een ander soort data dan bijvoorbeeld de PM_{10} - of $PM_{2,5}$ -fijnstofmetingen van het RIVM, GGD Amsterdam en DCMR. Voor PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -concentraties gelden wettelijke normen. Er is echter behoefte aan meer informatie over fijn stof dan geleverd wordt door de PM-metingen (zie ook www.rivm.nl/ispex). Bovendien is professionele meetapparatuur van fijn stof duur, en kan daardoor niet overal op de wereld neergezet worden. Omdat iSPEX klein, mobiel en goedkoop is, kan met iSPEX wel tegen lage kosten overal ter wereld gemeten worden. Satellieten kunnen ook over de hele wereld fijn stof meten, maar die komen maximaal een aantal keer per dag over hetzelfde punt op de aarde heen. Ook brengen ze meestal geen kleine details in kaart,

maar smeren ze alles uit over een groot gebied.

Heldere dagen

In 2013 zijn er met hulp van onder andere het Longfonds bijna 10.000 iSPEX-opzetstukjes verspreid onder belangstellenden in heel Nederland. Vervolgens heeft het iSPEX-consortium een nationale meetdag georganiseerd op 8 juli 2013, een dag met wolkeloze lucht over heel Nederland. Op die dag zijn er 6.007 iSPEX-metingen opgestuurd naar de centrale database. Een dag later gingen veel mensen spontaan door met meten, wat 1.546 metingen opleverde. Op 5 september 2013 was er een tweede officiële meetdag, echter zonder veel publiciteit. Die leverde 2.444 metingen op. Eén meting levert ongeveer twintig foto's van spectra op. De onderzoekers van het iSPEX-team hebben een volledig datareductiealgoritme gemaakt, dat alle individuele foto's (meer dan 200.000!) van de iSPEX-metingen opnieuw analyseert. Alle foto's waarbij iets mis is gegaan (bijvoorbeeld een boom of gebouw in de weg, of toch een klein wolkje) worden genegeerd, terwijl voor alle andere foto's nauwkeurig het spectrum en de polarisatie van het blauwe licht wordt bepaald (zie ook www.ispex.nl). Alle polarisatiemetingen zijn vervolgens omgezet naar de zogenaamde Aerosol Optical Thickness (AOT), een gestan-



Figuur 1: Bovenste panelen: iSPEX-metingen (stippen) weergegeven op verschillende tijdstippen op de drie meetdagen. De iSPEX-metingen zijn gedaan op maximaal 20 kilometer afstand van Cabauw. De gemiddelden van de iSPEX-metingen, aangegeven met oranje curves, kloppen goed met de SPEX-metingen (zwarte blokjes) en de professionele metingen van AERONET in Cabauw (zwarte lijn). Panelen daaronder: de hoogte van het fijn stof in de atmosfeer gemeten met een LIDAR. Onderste panelen: grootte en brekingsindex van de fijnstofdeeltjes afgeleid uit SPEX-metingen. De brekingsindex geeft informatie over de chemische samenstelling van deeltjes in de lucht. Deze informatie zit in principe ook in de iSPEX-metingen. Figuur afkomstig uit Snik et al. (2014).

daardiseerde maat voor de totale hoeveelheid fijn stof in de lucht. Optische dikte is een maat voor de doorzichtigheid van de lucht. De doorzichtigheid wordt kleiner als er veel fijn stof in de lucht zit. Deze maat wordt ook gebruikt voor satellietmetingen van fijn stof, daarmee zijn de iSPEX-metingen direct met satellietmetingen te vergelijken. Uit de vele iSPEX-metingen tijdens de nationale meetdagen zijn daarom AOT-kaarten van Nederland gemaakt. De eerste analyse had als doel het vaststellen van de betrouwbaarheid van de nieuwe meetmethode. De iSPEX AOT-metingen zijn eerst vergeleken met metingen van het AERONET-grondstation in Cabauw. Hierna zijn de kaarten van Nederland vergeleken met satellieten, zoals MODIS, die eens per dag over ons heen vliegen.

CESAR-grondstation in Cabauw

De iSPEX AOT-metingen doorstaan goed de vergelijking met data van het AERONET-grondstation op de CESAR-site in Cabauw. In figuur 3 zijn iSPEX-metingen weergegeven op verschillen-

de tijdstippen. De metingen zijn allemaal gedaan op maximaal 20 kilometer afstand van Cabauw. De gemiddelden van de iSPEX-metingen, aangegeven met oranje curves, kloppen goed met de professionele metingen van AERONET in Cabauw.

Op de CESAR-site stonden ook twee goed gekalibreerde SPEX-instrumenten te meten (zie Van Harten et al., 2014). In de bovenste panelen vergelijken we de officiële SPEX AOT-waarden zoals gemeten in Cabauw met de iSPEX-metingen uit de omgeving. De oranje curven van de gemiddelde iSPEX-metingen komen ook hiermee goed overeen.

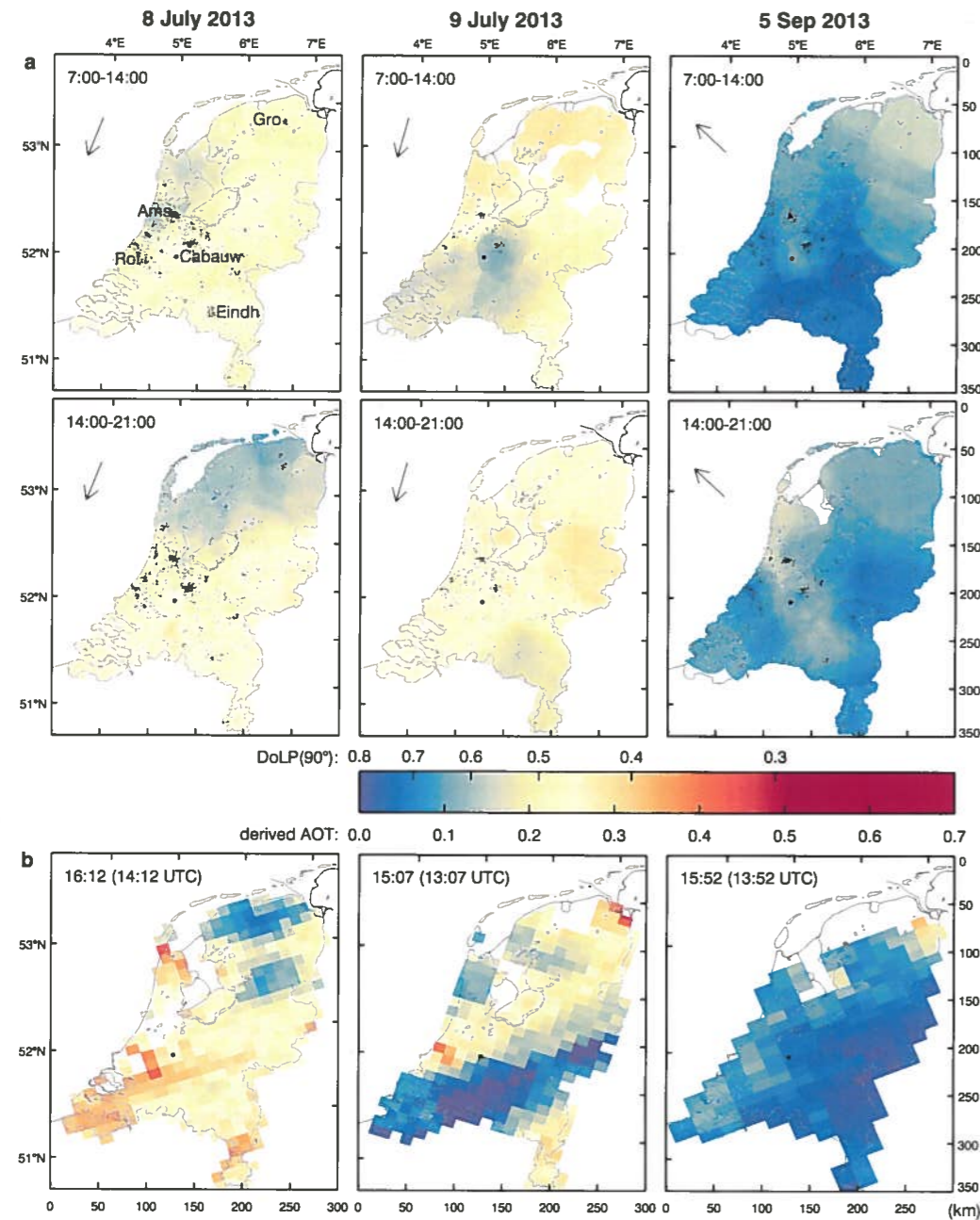
De panelen daaronder bevatten informatie over de hoogte van het fijn stof in de atmosfeer, verkregen met een laser-instrument (LIDAR) ook opgesteld op de CESAR-site in Cabauw (zie Apituley et al., 2009). Deze metingen laten zien dat in juli 2013 het stof voornamelijk op 2-6 kilometer hoogte in de atmosfeer zat, terwijl het op grondni-

veau grotendeels stofvrij was. Dit waren rookwolken van bosbranden in Noord-Amerika die in zuidelijke richting over Nederland geblazen werden. Op 8 juli vormden zich rond 12 uur hoge cirruswolken, waardoor de iSPEX-metingen tijdelijk een hogere AOT registreerden. Op 5 september was de lucht veel helderder, maar werd er wel signaal van fijn stof op grondniveau gemeten.

De onderste panelen laten zien dat we uit SPEX-metingen al de grootte en chemische samenstelling van deeltjes in de lucht (via de brekingsindex) kunnen bepalen (zie ook Di Noia et al. 2014). Deze informatie zit in principe ook in de iSPEX-metingen. We zijn nog druk bezig om dergelijke informatie ook uit de iSPEX-metingen te halen.

Vergelijking met satelliet

De iSPEX-metingen komen goed overeen met de AOT-data van satellieten. In gebieden met voldoende metingen is zelfs meer detail te onderscheiden dan in satellietdata.



Figuur 2: De gemeten aerosol optische dikte (AOT) van het fijn stof op de meetdagen weergegeven op basis van a) iSPEX-metingen en b) waarnemingen door MODIS-satellieten Aqua en Terra. Figuur afkomstig uit Snik et al. (2014).

Op de kaarten in figuur 2 (onderdeel a) is de gemeten aerosol optische dikte van het fijn stof op de meetdagen weergegeven op basis van iSPEX-metingen.

De iSPEX-gegevens kloppen goed met metingen van de MODIS-satellieten Aqua en Terra, die zijn weergegeven op onderdeel b van figuur 2. De verschillen met de satelliet worden voornamelijk veroorzaakt doordat er met de iSPEX-metingen gemiddeld is over een langere tijd dan bij de satelliet, die echt een momentopname geeft. De satelliet mid-

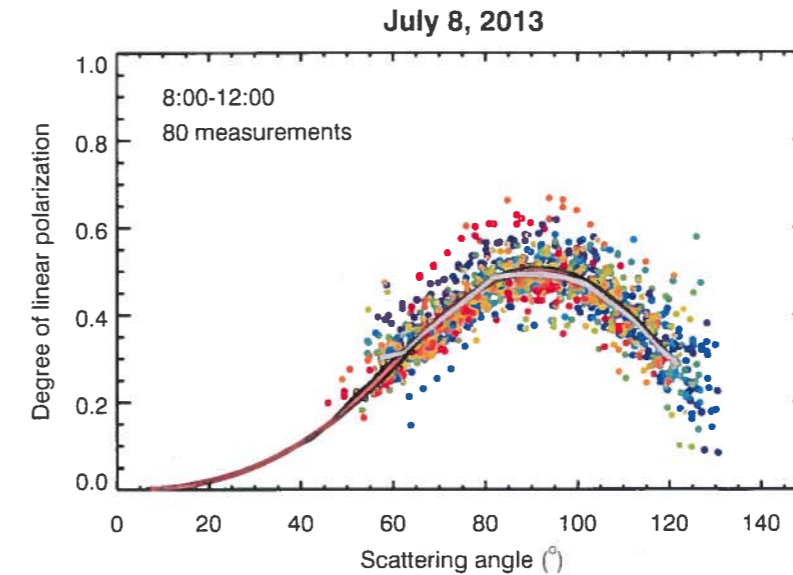
delt daarentegen juist over een groter oppervlak. Het uiteindelijke detailniveau waarop iSPEX informatie geeft, hangt af van het aantal metingen per oppervlak en de structuur van het fijn stof.

Zoals we zagen uit de LIDAR metingen, bevond op 8 en 9 juli 2013 het meeste fijn stof zich op een hoogte van een paar kilometer door bosbranden in Noord-Amerika. Op 8 juli werd in de loop van de dag schonere lucht uit zee in de richting van de noordelijke provincies geblazen. In de ochtend van

9 juli waren er fijnstoflagen op grote hoogte, behalve in Midden-Nederland. De fijnstofpluimen werden naar het zuiden geblazen, wat voor grote schommelingen in de AOT zorgde. Op 5 september was de fijnstofsituatie heel anders met een veel lagere AOT en bevond het fijn stof zich in lagere luchtlagen.

Hoe meer hoe beter

De grote kracht van iSPEX zit hem in de grote hoeveelheid metingen. In individuele metingen kan een behoorlijke meetfout zitten, die vooral veroorzaakt

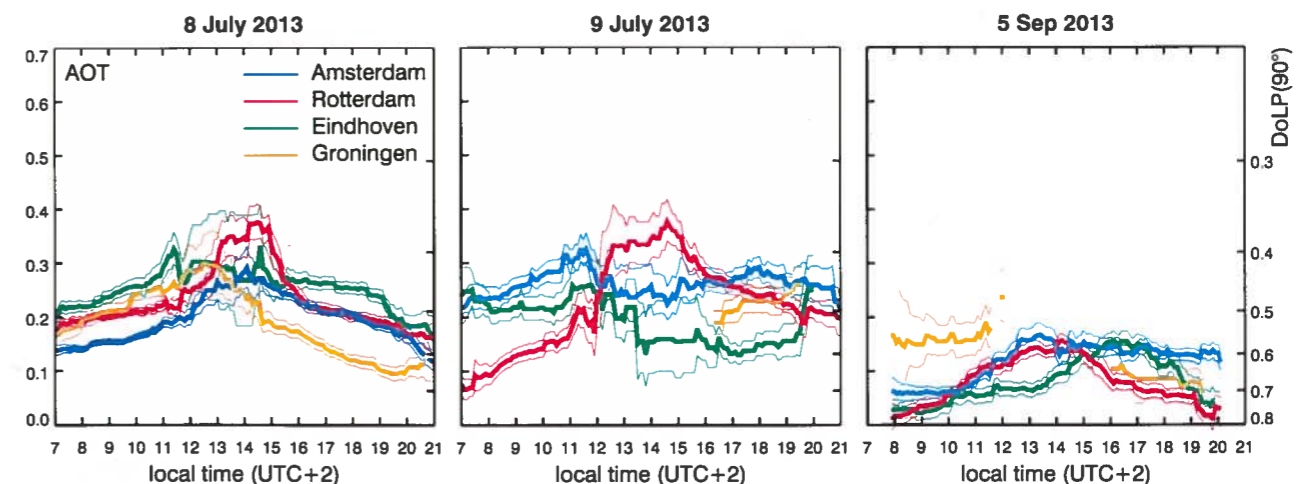


Figuur 3: Geleerde puntjes zijn de graad van lineaire polarisatie van individuele iSPEX-metingen, als functie van de hoek vanaf de zon. De rode curve is de graad van lineaire polarisatie gemeten met SPEX. De grijze curve is de gemiddelde graad van lineaire polarisatie van voor de iSPEX-metingen. Figuur afkomstig uit Snik et al. (2014).

kan worden door de smartphonecamera zelf. Maar door te middelen over meerdere metingen, worden er erg nauwkeurige resultaten verkregen. De grafiek in figuur 3 laat dit zien. Alle gekleurde puntjes zijn polarisatiemetingen van individuele iSPEX-metingen, als functie van de hoek vanaf de zon. De rode curve staat voor de goed gekalibreerde meting van SPEX. Maar door alle iSPEX-metingen te middelen, krijgen we de grijze curve, die dus goed overeenkomt met de SPEX-meting. Enkele tientallen iSPEX-metingen van polarisatie leveren dus dezelfde nauwkeurigheid als de professionele SPEX-meting.

Dit betekent dat we met iSPEX nu overal nauwkeurige AOT-metingen aan fijn stof kunnen uitvoeren, mits er maar voldoende mensen meedoen. Figuur 4 illustreert dat voor Amsterdam, Rotterdam, Eindhoven en Groningen.

Met iSPEX kunnen we dus waardevolle metingen toevoegen op plekken waar nu amper of geen grondmetingen worden uitgevoerd. En ten opzichte van satellietmetingen kunnen we veel informatie toevoegen op tijden wanneer de satelliet niet boven Nederland hangt. Een grondige analyse van de iSPEX-data laat ook zien dat in gebieden met veel metingen iSPEX-kaarten een fijnmazigheid van ongeveer twee



Figuur 4: iSPEX AOT-metingen van fijn stof kunnen uitvoeren voor Amsterdam, Rotterdam, Eindhoven en Groningen (dikke lijnen). De meetonzekerheid is aangegeven met dunne lijnen. Figuur afkomstig uit Snik et al. (2014).

kilometer hebben. Dat is een stuk beter dan de satellietbeelden van MODIS. Juist in stedelijke gebieden is de potentiële nauwkeurigheid van iSPEX groot. De meeste deelnemers aan het project wonen nu eenmaal in stedelijke gebieden, en dus kunnen we juist in die gebieden meer gedetailleerde informatie vergaren.

Betrokken burgers

Het iSPEX-project laat zien dat met behulp van betrokken burgers tegen lage kosten grote hoeveelheden onderzoeksgegevens verzameld kunnen worden. De laatste jaren is *citizen science* in opkomst. Dit biedt nieuwe mogelijkheden voor het verzamelen van wetenschappelijke gegevens.

De technologische ontwikkelingen maken mogelijk dat er veel meer van dit soort burgerinitiatieven zullen komen. Instituten met referentietaken, zoals het RIVM en KNMI, zijn in de unieke positie om *citizen science* te kunnen ondersteunen door met gebruik van de professionele apparatuur te helpen bij het ijken, verzamelen en interpreteren van de data. Op die manier

OMDAT ISPEX KLEIN, MOBIEL EN GOEDKOOP IS, KAN MET ISPEX WEL TEGEN LAGE KOSTEN OVERAL TER WERELD GEMETEN WORDEN

krijgen de data voor iedereen meer waarde.

De data (na de her-analyse) van alle metingen tijdens de meetdagen in 2013 staan op www.ispex.nl/data en zijn voor iedereen toegankelijk. Op deze pagina staan ook interactieve kaarten die deze data weergeven.

iSPEX internationaal
Dit succesvolle eerste resultaat van het iSPEX-project geeft aanleiding voor veel vervolgonderzoek en technische verbeteringen:

- nieuwe meetdagen bij verschillende omstandigheden (bijvoorbeeld hoge en lage temperatuur en verschillende windrichtingen), ook als het in een deel van het land bewolkt is;
- aanpassingen aan de meetprocedure, zodat je niet per se de zon in je rug hoeft te hebben en elke meetrichting kunt gebruiken waar blauwe lucht is;
- betere kalibraties voor de kleurcode vanuit de app, voornamelijk voor iPhone 5S;
- verdere ontwikkeling van het opzetstukje, zodat deze ook op andere toestellen past;
- betere toegankelijkheid van de iSPEX-data;
- meer inzoomen op stedelijke gebieden en lokale bronnen;
- een betere integratie met satellietdata, bijvoorbeeld door iSPEX-metingen te organiseren precies als een satelliet overkomt;
- verdere analyse van de iSPEX-data om ook informatie over deeltjesgrootte en -samenstelling te verkrijgen. Deze gegevens zouden bijvoorbeeld kunnen worden gekoppeld aan gezondheidsgegevens van mensen in een gebied. Hierdoor wordt het mogelijk om gericht onderzoek te doen naar de gezondheidseffecten van verschillende soorten fijn stof.

Het iSPEX-consortium richt zich in 2015 ook op een internationale uitbreiding van het project. Dan kunnen de metingen in Nederland vergeleken worden met metingen over heel Europa en elders in de wereld. Dan krijgen we ook een beter beeld van bronnen van fijn stof, want fijn stof houdt zich nu eenmaal niet aan landsgrenzen. De volgende stap is het realiseren van een wereldwijd netwerk van burgerwetenschappers voor gedetailleerd onderzoek aan lokale bronnen van fijn stof en hun maatschappelijke effecten.

Referenties

De figuren in dit artikel zijn afkomstig uit Snik et al. (2014). Met dank aan Daphne Hafkamp van het RIVM voor redactionele hulp. Meer achtergrond informatie is te vinden op www.ispex.nl en op www.rivm.nl/ispex.

1. Snik, F., Rietjens, J.H.H., Apituley, F., Volten, H., Mijling, B., Di Noia, A., Heikamp, S., Heinsbroek, S.C., Hasekamp, O.P., Smit, J.M., Vonk, J., Starn, D.M., Harten, G. van, Boer, J. de, Keller, C.U. and 3187 iSPEX citizen scientists (2014). 'Mapping atmospheric aerosols with a citizen science network of smartphone spectropolarimeters', *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL061462.
2. Harten, G. van, Boer, J. de, Rietjens, J.H.H., Di Noia, A., Snik, F., Volten, H., Smit, J.M., Hasekamp, O.P., Henzing, O.P. and Keller, C.U. (2014). 'Atmospheric aerosol characterization with a ground-based SPEX spectropolarimetric instrument', *Atmos. Meas. Tech. Discussions*, 7, 5741-5768, doi:10.5194/amtd-7-5741-2014.
3. Di Noia, A., Hasekamp, O.P., Harten, G. van, Rietjens, J.H.H., Smit, J.M., Snik, F., Henzing, J.S., Boer, J. de, Keller, C.U. and Volten, H. (2014). 'Use of neural networks in ground-based aerosol retrievals from multi-angle spectropolarimetric observations', *Atmospheric Measurement*

Techniques Discussions, 7, 9047-9094, doi:10.5194/amtd-7-9047-2014.

4. Apituley, A., Wilson, K.M., Potma, C., Volten, H. and Graaf, M. de (2009). Performance Assessment and Application of Caeli - A high-performance Raman lidar for diurnal profiling of Water Vapour, Aerosols and Clouds, 8th International Symposium on Tropospheric Profiling, 19/10/2009-23/10/2009. Apituley, A., Russchenberg, H.W.J., Monna, W.A.A. (Ed) (2009). Delft, Proceedings of the 8th International Symposium on Tropospheric Profiling, ISBN 978-90-6960-233-2.

- Hester Volten en Jan Vonk zijn werkzaam bij het RIVM, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. Frans Snik, Stephanie Heikamp, Gerard van Harten, Jozua de Boer, Christoph U. Keller en Ritse C. Heinsbroek zijn werkzaam bij NOVA, Leidse Sterrewacht, Leiden Universiteit, Leiden. Jeroen H.H. Rietjens, Otto P. Hasekamp, J. Martijn Smit en Antonio Di Noia zijn werkzaam bij SRON Netherlands Institute for Space Research, Utrecht. Arnoud Apituley en Bas Mijling zijn werkzaam bij KNMI Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt. Daphne M. Stam is werkzaam bij Faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek, Technische Universiteit Delft, Delft. 3187 iSPEX citizen scientists (<http://ispex.nl/participants/>)

AGENDA

8 januari 2015 CURSUS EMISSIES/DEN BOSCH

Duur: 1 dag
Tijdens deze cursus leer je:
welke emissies bedrijven tijdens productieactiviteiten kunnen veroorzaken;
wat de schade van emissies is voor mens, dier en milieu.

Je maakt kennis met:

- emissiereducerende maatregelen, zoals water- en luchtzuivering;
- bedrijfsethiek en arbo-omstandigheden.

Inlichtingen: HAS Kennistransfer en Bedrijfsopleidingen, tel. 088-890 36 37
E-mail: haskennistransfer@has.nl
Internet: www.haskennistransfer.nl

10 en 17 maart 2015 BASISCURSUS LUCHTKWALITEIT/UTRECHT

Duur: 2 dagen
In deze praktijkgerichte cursus wordt inzicht geboden in de gezondheidseffecten, de wet- en regelgeving, modelering en maatregelen van luchtkwaliteit. Ook staat de vraag centraal hoe u daar als gemeente of provincie mee om dient te gaan. U krijgt antwoord op vragen als:

- Wat is de kern van de problematiek?
- Waarom is fijn stof zo'n probleem: van fijn stof naar ultrafijn stof en roet?
- Hoe werkt de Wet luchtkwaliteit?
- Wat is het doel van het NSL?
- Hoe zit de systematiek van luchtkwaliteitsnormen in elkaar?
- Wat zijn de kritische onderdelen van luchtkwaliteitsonderzoeken?
- Wanneer is een onderzoek nodig?
- Op welke wijze vindt beoordeling en besluitvorming over plannen plaats?

Inlichtingen: Geoplan, tel. 088-556 05 70
E-mail: geoplan@geoplan.nl
Internet: www.geoplan.nl

2 april 2015 EMISSIE SYMPOSIUM 2015/UTRECHT

Duur: 1 dag
Op 2 april 2015 vindt het jaarlijkse Emissiesymposium plaats. Het symposium, georganiseerd door Deltares in samenwerking met STOWA, Rijkswaterstaat, de KNW en Alterra, geeft een overzicht van de laatste ontwikkelingen op het gebied van EmissieRegistratie en van recente projec-

ten waarbij emissies een belangrijke rol spelen. Het programma bestaat uit een aantal plenaire lezingen in de ochtend en workshops in de middag. De toegang is gratis. Meer informatie en aanmeldmogelijkheid volgt binnenkort.
Inlichtingen: STOWA, Cora Uijterlinde en Bert Palsma
Internet: www.stowa.nl

28 en 29 april 2015 BRAZILIAN CONGRESS ON CO₂/BRAZILIË, RIO DE JANEIRO

Duur: 2 dagen
Dit is de derde editie van het Braziliaanse Congres over CO₂, die de academische gemeenschap en de industrie van aardolie, gas en biobrandstoffen samenbrengt. Het evenement vindt plaats in Rio de Janeiro in april 2015 en zal in het kader staan van het belangrijkste debat van de 'uitdagingen & strategieën van CO₂ binnen de Braziliaanse en wereldwijde scenario's'.
Inlichtingen: IBP
Internet: www.ibp.org.br

1 t/m 3 juni 2015 Air Pollution 2015/SPANJE, VALENCIA

Duur: 3 dagen
Deze belangrijke conferentie brengt bijdragen van wetenschappers van over de hele wereld samen om recent werk over verschillende aspecten van luchtvervuilingverschijnselen te presenteren.
Inlichtingen: Wessex Institute
Internet: www.wessex.ac.uk

29 september en 6 oktober 2015 ESSENTIES LUCHTVERONTREINIGING VAN BEDRIJVEN/UTRECHT

Duur: 2 dagen
Programma:
• Introductie luchtverontreiniging
• Beleid, wet- en regelgeving
• Karakterisering van luchtmissies
• Lucht en milieuvergunningen
• NeR in de praktijk
• Meten en registreren
• Reductie van luchtmissies
• Industrie en luchtkwaliteit
Inlichtingen: Geoplan, tel. 088-556 05 70
E-mail: geoplan@geoplan.nl
Internet: www.geoplan.nl

TIJDSCHRIFT LUCHT

KWALITEIT IN RUIMTE, VERKEER, GEZONDHEID EN KLIMAAT

Ultrafijn stof van Schiphol aantoonbaar in woonwijken

Toegevoegde waarde burgermetingen met iSPEX en Milieudefensie

Verbeterde schattingen vuurwerksmog



CO₂