

# Tien jaar Baseline Surface Radiation Network (BSRN) in Cabauw

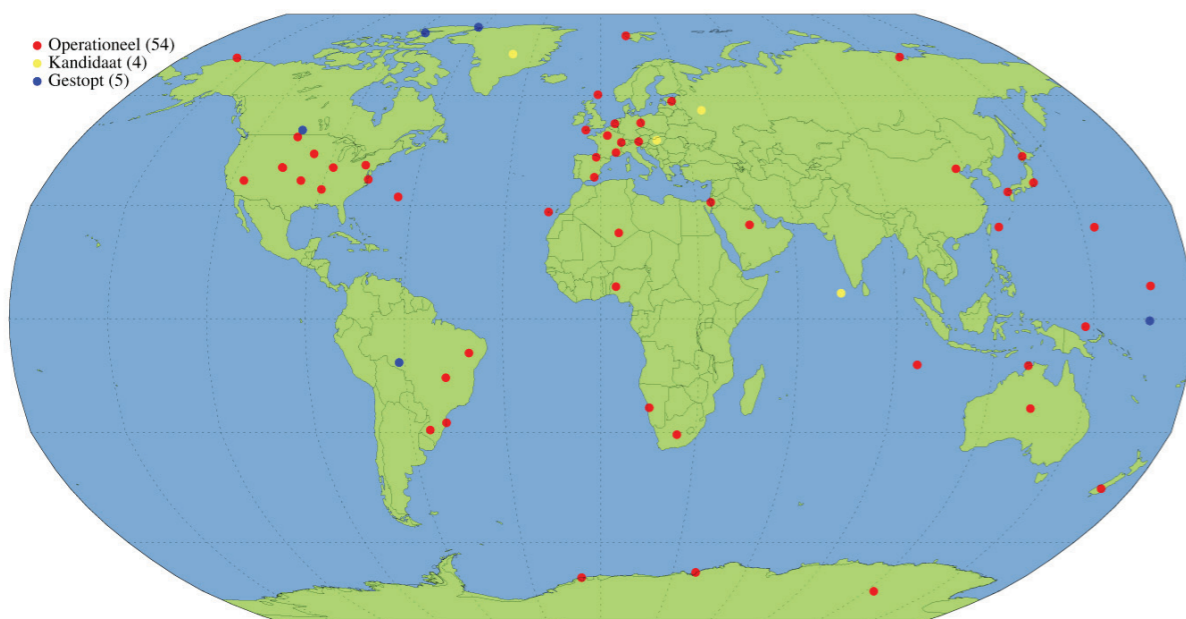
WOUTER KNAP EN COR VAN OORT (KNMI)

Langdurig meten kan spannende zaken aan het licht brengen. Zaken die we op voorhand niet wisten of konden weten. Een mooi voorbeeld daarvan zijn tijdreeksen van zonnestraling, gemeten op diverse plaatsen op aarde, die een duidelijke afname lieten zien over de periode 1950 – 1980 en juist weer een toename vanaf 1980. In populaire bewoordingen worden deze fasen met *dimming* en *brightening* aangeduid. De waargenomen trends hebben veel onderzoek in gang gezet en worden inmiddels in verband gebracht met veranderingen in atmosferisch aerosol. Zouden de meteorologen van vroeger zich gerealiseerd hebben hoe belangrijk hun waarnemingen waren en dat die veel later tot verregaande inzichten in het klimaatsysteem hebben geleid? Juist omdat straling zo'n belangrijke rol speelt in het klimaatsysteem heeft het World Climate Research Programme (WCRP) in 1988 het internationale Baseline Surface Radiation Network (BSRN) in het leven geroepen met als doel het uitvoeren van nauwkeurige en precieze stralingsmetingen in een wereldwijd netwerk, ten behoeve van klimaatonderzoek. In 2004 werd BSRN een onderdeel van GCOS, het Global Climate Observing System. En sinds 2005 doet het KNMI officieel mee aan BSRN met het stralingsinstrumentarium dat opgesteld staat op de meetlocatie in Cabauw. Op het moment van schrijven bevindt Cabauw zich in het gezelschap van 54 volledig operationele stations en 4 kandidaat stations (Figuur 1) en vieren we tien jaar deelname aan BSRN. Ook gezien het Internationaal Jaar van het Licht een mooi moment om even bij stil te staan.

## Terugblik

In de jaren 1990 was er een heet hangijzer in het klimaatonderzoek, en dat draaide om een fenomeen met de naam "anomale absorptie". Diverse studies gaven aan dat stralingsalgoritmen in klimaatmodellen de absorptie van zonnestraling in de aardatmosfeer zouden onderschatten. Er was typisch 30 to 40 W/m<sup>2</sup> "zoek". Andere studies gaven juist geen verschil tussen metingen en berekeningen. Een controverse was geboren en spannende theorieën staken de kop op. Missen we een absorberend bestanddeel in de beschrijving van de atmosfeer? Snappen we de interactie tussen straling en wolken/aerosolen wel goed? De mogelijke implicaties waren verstrekkend: onjuiste atmosferische absorptie zou kunnen leiden tot onjuiste beschrijvingen van atmosfeer- en oceaancirculaties en de hydrologische cyclus, met alle gevolgen van dien. Diverse klimaatonderzoekers stortten zich op deze controverse en ook het KNMI droeg een steentje bij aan de ontrafeling van dit probleem. Rond 2000 werd er in het kader

van het Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change door de instituten KNMI, ECN en RIVM een zogenaamde sluitingsstudie (*closure study* in het Engels) uitgevoerd waarin berekeningen van zonnestraling vergeleken werden met metingen. Omdat er alleen naar onbewolkte omstandigheden werd gekeken lag de nadruk op het correct formuleren van de optische eigenschappen van het atmosferisch aerosol op basis van metingen. Ook deze studie suggereerde een mismatch tussen model en meting van gemiddeld 25 W/m<sup>2</sup>. Als hypothese werd genoemd dat de atmosfeer ultrafijn absorberend aerosol zou bevatten dat niet door de metingen gedetecteerd was. Helaas kon deze hypothese worden bevestigd noch ontkend. Wat wel uit de studie bleek was dat die 25 W/m<sup>2</sup> wellicht voor een deel veroorzaakt werd door meetonzekerheid in de stralingsfluxen (er speelden ook nog andere onzekerheden een rol, zoals die in de aerosolmetingen die als input voor het stralingstransportmodel dienden). Er was dus behoefte aan hogere kwaliteit stralingsmetingen



Figuur 1. Wereldwijde verdeling van BSRN stations in januari 2015. Operationele stations produceren kwaliteitsgecontroleerde data en sturen data naar de centrale BSRN database aan het AWI in Bremerhaven [1].

en dat was voor het KNMI, naast het langdurig monitoren van de stralingsfluxen in het licht van klimaatverandering, de aanleiding om deel te gaan nemen aan BSRN<sup>1</sup>. Het toen al actieve BSRN station van MeteoSwiss in Payerne diende als voorbeeld voor het opbouwen van de opstelling in Cabauw. In 2002 werd Payerne bezocht om informatie te verzamelen en eind 2004 waren we operationeel op de meetlocatie in Cabauw (Figuur 2).

## Van instrument tot database

Kort gezegd is het doel van BSRN het meten van stralingsfluxen ten behoeve van model- en satellietevaluatie, monitoring van het klimaat en processtudies voor het beter begrijpen van het klimaatsysteem (Ohmura et al. 1998). Om welke grootheden gaat het precies? Binnen BSRN zijn de zogenaamde *basic radiation measurements* gedefinieerd: directe straling (de zonnestraling die rechtstreeks uit de richting van de zon komt, in W/m<sup>2</sup>, gemeten met een pyrheliometer), de diffuse straling (de zonnestraling die uit alle overige richtingen van de halve hemelbol komt, gemeten met een beschaduwde pyranometer) en de neerwaartse thermische straling (gemeten met een pyrgeometer). Zonnestraling wordt vaak aangeduid met de term "kortgolvig" en dekt het golflengtegebied tussen 0.3 en 5 µm. Thermische straling refereert aan golflengten tussen 5 en 50 µm en wordt daarom "langgolvig" genoemd. Om aan BSRN mee te doen moeten minimaal de hiervoor genoemde stralingscomponenten gemeten worden, plus temperatuur, vocht en druk op instrumenthoogte. Om de stralingsbalans aan het oppervlak compleet te hebben wordt ook aangeraden om de opwaartse componenten van de kortgolvlige en langgolvlige straling te meten, hetgeen we dan ook doen in Cabauw. Verder zijn er nog allerlei optionele grootheden zoals UV straling en aerosol optische dikte. Hoe er precies gemeten dient te worden staat beschreven in de BSRN *Operations Manual*, een lijvig document met richtlijnen voor data-acquisitie, meetonzekerheden, calibraties, omgevings- en opstellingseisen en onderhoud (McArthur, 2005). Verder zijn er aanvullende documenten verschenen met beschrijvingen van dataformats en kwaliteitscontrole. De verantwoordelijkheid voor het voldoen aan al deze richtlijnen ligt bij de individuele stations, om precies te zijn bij de site scientists. Hoewel men bij het World Radiation Monitoring Center (WRMC) een ruwe kwaliteitscontrole op de stralingsmetingen uitvoert ligt de verantwoordelijkheid voor het afleveren van kwaliteitsgecontroleerde data bij de BSRN stations zelf.

We hebben in de loop der jaren veel tijd gestoken in het automatiseren van de gehele keten van ruwe meting tot kwaliteitsgecontroleerde dataset. BSRN verwacht van de deelnemers dat er iedere maand een *station-to-archive* file ingestuurd wordt naar de centrale BSRN database van het WRMC, dat gevestigd is aan het Alfred Wegener Institut (AWI) in Bremerhaven [1]. Vooral het automatiseren van de keten, met behulp van een goede IT infrastructuur, heeft er enorm aan bijgedragen om de data snel in de database te krijgen. Het snel beschikbaar stellen van data aan de buitenwereld heeft binnen BSRN hoge prioriteit, maar functioneert nog niet voor alle stations even optimaal. Koplopers, in positieve zin, zijn op het moment Chesapeake Light (een NASA/NOAA offshore station in Virginia), Toravere (Tartu University Observatory, Estland) en Cabauw. Inmiddels hebben we voor Cabauw tien jaar aan data in de database staan, ofwel 120 station-to-archive

<sup>1</sup> Begin jaren '90 is er op het KNMI al eens een poging gedaan om aan te sluiten bij BSRN maar dat is toen om diverse redenen niet van de grond gekomen.

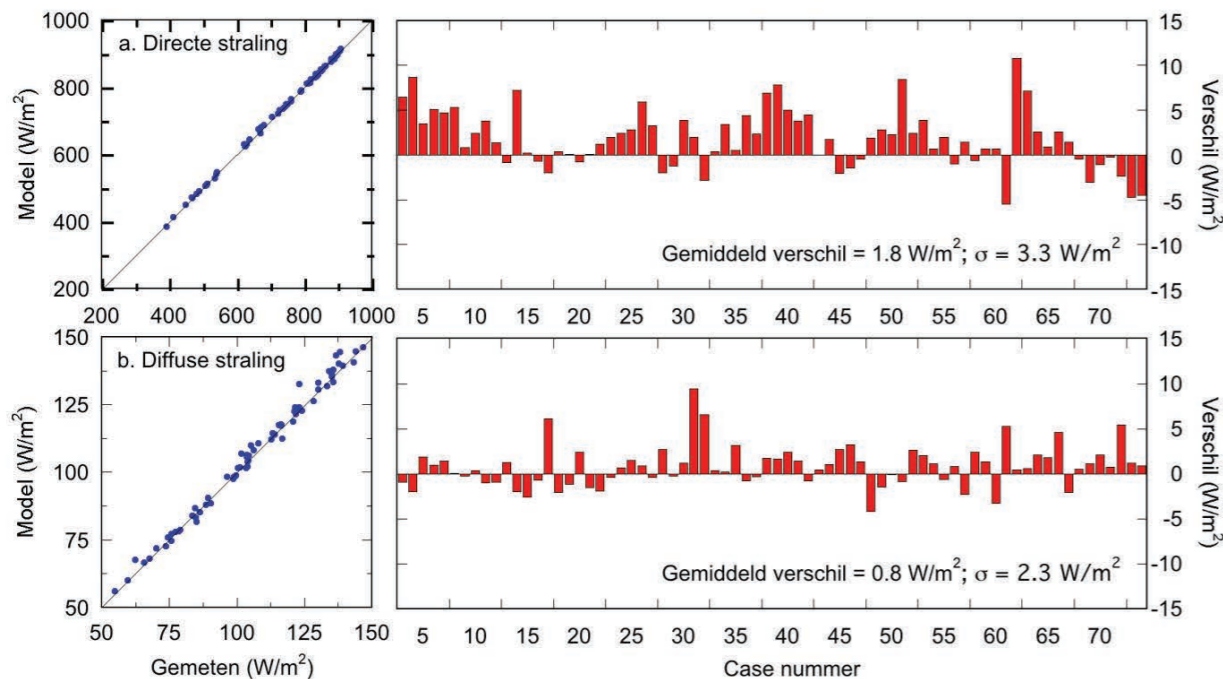


Figuur 2. Foto van het BSRN station in Cabauw (december 2008) met op de achtergrond de 213 m hoge meetmast. Centraal staat de zonnevolger met beschaduwde pyranometers (voor het meten van diffuse straling), een pyrgeometer (neerwaartse langgolvlige straling) en pyrheliometers (directe straling). Verder staan er op de site instrumenten voor het meten van aerosol optische dikte, bedekkingsgraad en wolken-temperatuur, zonneshijnduur en UV straling. Voor meer informatie en quicklooks: [3].

files [2]. In de volgende secties laten we de resultaten zien van een processtudie die gerelateerd is aan de kwestie van anomale absorptie en presenteren we tijdreeksen van 10 jaar BSRN data.

## Anomale absorptie: feit of fictie?

Hoe is het nu afgelopen met de discussie rondom anomale absorptie? Die is in de loop van de jaren wat verstomd omdat men toch niet echt hard kon maken dat er een missende absorberend stof aanwezig zou zijn in de atmosfeer. Toch bleef het aantal studies met goede overeenkomst tussen berekeningen en metingen beperkt. Dit motiveerde ons om nogmaals een poging te wagen, dit keer met BSRN metingen en gebruik makend van het Doubling Adding KNMI (DAK) stralingstransportmodel (Wang et al., 2009). Weer kozen we ervoor om in eerste instantie de eenvoudigste reële situatie te beschouwen: die van de wolkenloze hemel. Nu zijn écht wolkenloze dagen (dus ook zonder een spoortje cirrus) in Nederland behoorlijk zeldzaam; die zijn op jaarbasis op één hand te tellen. In de tweede week van mei 2008, nota bene tijdens een meetcampagne die op wolken gericht was, waren de omstandigheden perfect: dagen achtereen geen wolke te bekennen, een droge bovenlucht, en mooie variaties in aerosol en waterdamp. Het resultaat was verbluffend: voor alle componenten van zonnestraling (direct, diffuus, en de som: globaal) was er zeer goede overeenkomst tussen model en meting en van missende energie was geen sprake (Figuur 3). Is hiermee de discussie rondom anomale absorptie gesloten? Een kanttekening bij het sluitingsexperiment van 2008 is wel op zijn plaats. Een zuivere sluitingsstudie is gebaseerd op onafhankelijke metingen van de samenstelling van de atmosfeer, zoals van waterdamp en aerosolen en hun optische eigenschappen. De eerlijkheid gebiedt te zeggen dat de optische eigenschappen van het aerosol in de voorgenoemde studie verkregen zijn uit *skyscans* van een zonnephotometer. Op basis van inversietechnieken worden uit deze scans grootheden zoals de enkelvoudige verstrooiingsalbedo en asymmetrieparameter berekend. Voor deze inversie wordt wederom een stralingstransportmo-



Figuur 3. Resultaten van het sluitingsexperiment van mei 2008. Modelberekeningen die gedaan zijn met het stralingstransportmodel DAK (zie tekst) zijn vergeleken met BSRN metingen van diffuse en directe straling, voor de onbewolkte hemel. De verschillen bleken in het algemeen klein en er is geen aanwijzing gevonden voor problemen in het model of een onvolledige beschrijving van de samenstelling van de atmosfeer.

del gebruikt. Daarom is de sluitingsstudie, strikt genomen, niet helemaal zuiver en zit daar mogelijk nog een probleem.

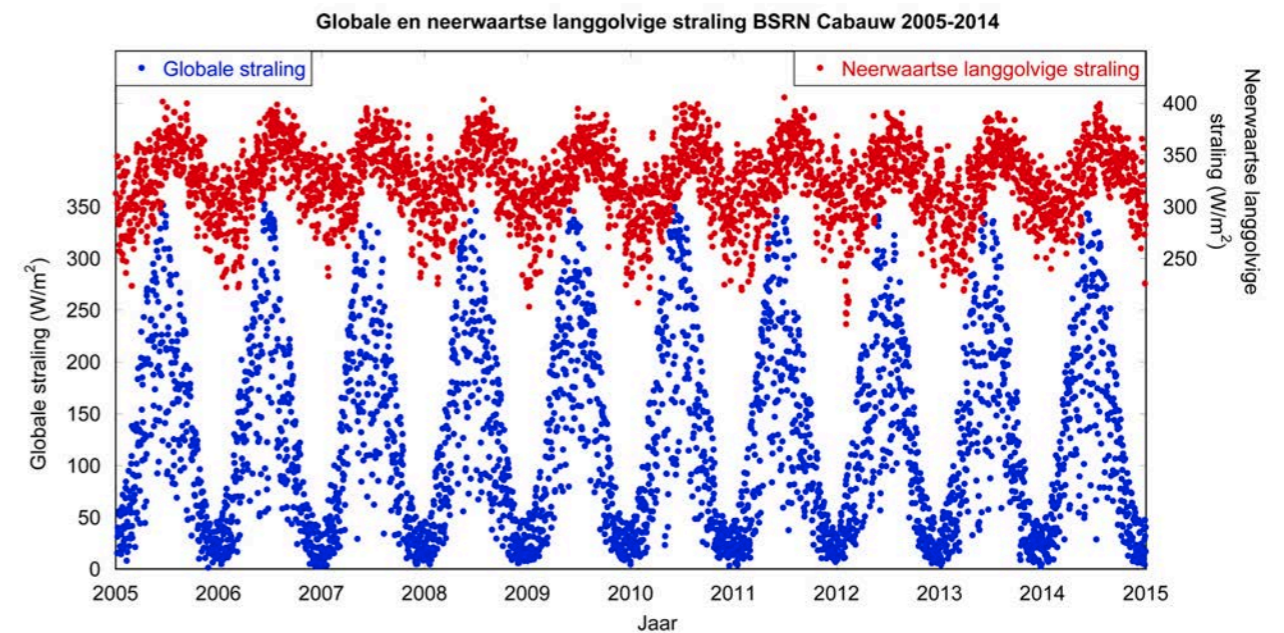
#### Tien jaar BSRN in Cabauw

Zoals in de inleiding opgemerkt is heeft het langdurige meten van globale straling ertoe geleid dat er trends in deze grootte ontdekt werden die later gerelateerd zijn aan een veranderend aerosolklimaat. Antropogene emissies van aerosolen in de jaren 1950 – 1980 hebben het zonlicht gesluiert en zoals het er nu naar uitziet de opwarming ten gevolge van broeikasgasen voor een deel verhuld (Wild, 2012). Schonere verbrandingsprocessen die op deze periode volgden deden de aerosolconcentraties op diverse plekken op aarde dalen zodat de hoeveelheid zonnestraling die het aardoppervlak bereikt weer ging stijgen (Van Beelen en van Delden (2012) beschrijven treffend de situatie voor Nederland). De getemperde opwarming leek voorbij en de wereldwijde temperatuur kon fors stijgen. Omdat de variaties in globale straling zich typisch op decadaal tijdschaal voordeden illustreert dit mooi het belang van langdurig meten ten behoeve van een beter begrip van het klimaatstelsel.

De BSRN tijdreeksen van Cabauw zijn op klimatologische tijdschaal nog maar kort, maar we kunnen het tienjarig feestje natuurlijk niet voorbij laten gaan zonder er op zijn minst een blik op te werpen. Figuur 4 laat daarom etmaalgemiddelden van de globale en neerwaartse langgolvlige straling voor de periode 2005 – 2014 zien. De globale straling varieert ruw van (bijna) 0 tot 50 W/m<sup>2</sup> in hartje winter tot maximaal ca. 350 W/m<sup>2</sup> rond de langste dag. Gemiddeld over de tien jaar ontvingen we in Cabauw 123 W/m<sup>2</sup>. De neerwaartse langgolvlige straling loopt net als de temperatuur een beetje achter op de astronomisch gedreven variatie van de globale straling en varieert van rond de 250 W/m<sup>2</sup> in de winter tot ca. 400 W/m<sup>2</sup> in de zomer (gemiddeld: 324 W/m<sup>2</sup>). De grootste uitschieters naar beneden vinden plaats tijdens koude en droge

(lage luchtvochtigheid) omstandigheden, bijvoorbeeld tijdens het zeer koude eerste decade van februari 2012. Dan kunnen waarden tot rond de 180 W/m<sup>2</sup> gemeten worden (zie [3] voor quicklooks).

De hamvraag, die gezien de lengte van de tijdreeksen wellicht een beetje voorbarig is, is natuurlijk: zijn er trends te vinden in de tienjarige dataset van de stralingsfluxen? Daartoe deden we een trendanalyse op de tijdreeksen die in Figuur 4 getoond zijn. Het resultaat hiervan is dat zowel voor de globale straling als voor de neerwaartse langgolvlige straling er vooralsnog geen statistisch significante trends te vinden zijn. In het licht van het fenomeen van dimming en brightening is het opvallend dat de globale straling geen enkele aanwijzing geeft voor de aanwezigheid van een reële trend. Toch geeft de literatuur nog steeds aan dat er in Europa na 2000 sprake zou zijn van een toename in de globale straling van typisch 3 W/m<sup>2</sup>/decade (weliswaar met ruimte voor regionale verschillen; Wild, 2012). Wereldwijd is er een gemengd beeld: ook in de VS wordt nog van een toename gesproken (van maar liefst 8 W/m<sup>2</sup>/decade) maar in Japan is een afvlakking geconstateerd en in China is mogelijk sprake van een hernieuwde fase van dimming. Om meer duidelijkheid te krijgen over wat er precies in Nederland gaande is op het vlak van dimming en brightening hebben we natuurlijk een langere tijdreeks nodig dan de tien jaar waar we het tot nu toe over hebben. Door langdurig te blijven meten komen we langzaam op de klimatologische tijdschaal en zijn trends, of het uitblijven van trends, beter te herkennen. Tijdens de pré-BSRN periode bieden de stralingsreeksen van het landelijk KNMI netwerk van pyranometers een wat minder nauwkeurige maar toch zeker nuttige bron van historische gegevens die aan de BSRN reeks van globale straling geknoopt kunnen worden (de reeks van De Bilt gaat bijvoorbeeld terug tot 1957). Bovendien zijn er vóór 2005 in Cabauw zowel kortgolvlige als langgolvlige metingen gedaan in het kader van energiebalansstudies (deze metingen zijn te



Figuur 4. Etmaalgemiddelde waarden van de globale straling (blauw) en de neerwaartse langgolvlige straling (rood) van BSRN Cabauw voor de periode 2005–2014.

vinden in de CESAR database: [4]). In toekomstige beschouwingen moeten we zeker de indrukwekkende tijdreeks van Wageningen niet vergeten: die gaat zelfs terug tot 1928 en wordt uitgebreid beschreven door de Bruin et al. (1995).

#### Uitdagingen

Het langdurig meten van de neerwaartse langgolvlige straling is interessant omdat de grootte, net als de kortgolvlige straling, allerlei informatie bevat over de samenstelling van de atmosfeer. Veranderingen in de langgolvlige straling worden in de eerste plaats gedreven door de temperatuur (denk aan de wet van Stefan-Boltzmann) die versterkt worden door de terugkoppeling met waterdamp. De jaarlijkse gangen die we in Figuur 4 zien zijn dan ook door de temperatuur gedomineerd. Maar de langgolvlige straling wordt ook in hoge mate beïnvloed door bewolking: een heldere hemel staat garant voor lage waarden, en vice versa. Daarnaast spelen broeikasgassen een rol waarvan waterdamp, kooldioxide, methaan en ozon de belangrijkste zijn voor de langgolvlige straling. Het aantonen van een signaal in de neerwaartse langgolvlige straling ten gevolge van veranderingen in broeikasgasconcentraties ten gevolge van menselijk handelen is natuurlijk een serieuze uitdaging. De complexiteit ervan zit in het isoleren van verschillende effecten zoals opwarming (of afkoeling) door advectie en het in rekening brengen van terugkoppelingsmechanismen. Daarnaast is het signaal relatief klein: Philipona et al. (2004) berekenden op basis van nauwkeurige metingen in de Alpen een verandering van enkele tienden W/m<sup>2</sup> per jaar (ongeveer 2 W/m<sup>2</sup> per decade). Dit vraagt dus het uiterste van de metingen in termen van nauwkeurigheid en precisie en dat is zelfs, of bij uitstek, een uitdaging voor BSRN.

Henk de Bruin en Huug van den Dool braken in het juni-nummer van Meteorologica (2014) een lans voor het meten van de neerwaartse langgolvlige straling. Terecht! In het algemeen mag wel gesteld worden dat het meten van straling (zowel langgolvlig als kortgolvlig) van groot belang is, zowel voor het signaleren van veranderingen als voor het begrijpen van het klimaatstelsel. Bekijken we het systeem aarde-atmosfeer als geheel en beschouwen we de diverse energiestromen in het

stelsel dan begint het met straling (input van zonne-energie) en eindigt het met straling (weerkaatste zonnestraling terug de ruimte in en langgolvlige uitstraling). Die balans bepaalt de temperatuur op aarde, atmosferische en oceaancirculaties en de hydrologische cyclus. Een verstoring van de stralingsbalans, zoals door menselijk handelen maar ook door bijvoorbeeld een vulkaanuitbarsting, heeft dus impact op onze leefomgeving. En juist omdat straling zo'n fundamentele grootte is in ons klimaatstelsel moeten we die meten. Nauwkeurig, precies en langdurig. Op een aantal BSRN stations wordt sinds begin jaren '90 gemeten en inmiddels beginnen de tijdreeksen enig gewicht te krijgen. Gezien het stijgende aantal publicaties waarin BSRN genoemd wordt vinden de metingen gretig aftrek [5]. Voor Cabauw kunnen we zeggen: het begin van een klimatologische tijdreeks is er. En nu rustig blijven doormeten want veranderingen zullen er komen en die willen we niet missen.

#### Literatuur

- De Bruin, H.A.R., van den Hurk, B.J.J.M. and Welgraven, D., 1995: A series of global radiation at Wageningen for 1928–1992. *Int. J. Climatol.*, 15: 1253–1272. doi:10.1002/joc.3370151106.
- Henzing, J.S., W. H. Knap, P. Stammes, H. M. ten Brink, G. P.A. Kos, D. P.J. Swart, A. Apituley, J. B. Bergwerf, 2004: The effect of aerosols on the downward shortwave irradiances at the surface – measurements versus calculations with MODTRAN4.1. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2003JD004142.
- McArthur, L. J. B., 2005: Baseline Surface Radiation Network (BSRN). Operations Manual Version 2.1, WCRP-121, WMO/TD-No. 1274.
- Ohmura, A., H. Gilgen, H. Hegner, G. Müller, M. Wild, E. G. Dutton, B. Forgan, C. Fröhlich, R. Philipona, A. Heimo, G. König-Langlo, B. McArthur, R. Pinker, C. H. Whitlock, and K. Dehne, 1998: Baseline Surface Radiation Network (BSRN/WCRP): New Precision Radiometry for Climate Research. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 2115–2136.
- Philipona, R., B. Dürri, C. Marty, A. Ohmura, and M. Wild, 2004: Radiative forcing - measured at Earth's surface - corroborate the increasing greenhouse effect. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L03202, doi:10.1029/2003GL018765.
- Van Beelen, A. J. and A. J. van Delden, 2012: Cleaner air brings better views, more sunshine and warmer summer days in The Netherlands. *Weather*, 67, 21–25.
- Wang, P., W. H. Knap, P. Kuipers Munneke, and P. Stammes, 2009: Clear-sky shortwave radiative closure for the Cabauw Baseline Surface Radiation Network site, Netherlands. *J. Geophys. Res.*, 114, D14206, doi:10.1029/2009JD011978.
- Wild, M., 2012: Enlightening Global Dimming and Brightening. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 27–37.

#### Websites

- [1] <http://bsrn.awi.de>
- [2] [http://www.pangaea.de/PHP/BSRN\\_Status.php](http://www.pangaea.de/PHP/BSRN_Status.php)
- [3] <http://www.knmi.nl/bsrn>
- [4] <http://www.cesar-database.nl>
- [5] <http://bsrn.awi.de/other/publications/bsrn-in-web-of-science.html>