

Validatie van OMI Aerosol waarnemingen met GLOBE Aerosol waarnemingen door scholieren in 2007

Joris de Vroom

Juli, 2008

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
Afdeling: Aardobservatie en klimaat (AK)
Wilhelminalaan 10, 3732 GK De Bilt

Inhoud

1.	GLOBE-Aerosol: introductie.....	4
1.1.	Meetmethode.....	4
2.	Meetcampagnes.....	5
2.1.	Nieuwe aanpak.....	5
2.2.	Meetresultaten.....	6
3.	Validatie.....	8
3.1.	Validatie 2007.....	8
3.2.	Data kwaliteit.....	8
4.	Resultaten.....	10
4.1.	Seizoensgang.....	12
5.	Conclusie.....	14

1. GLOBE-Aerosol: introductie

Het GLOBE-aerosol project loopt sinds 2000 in de VS en sinds 2002 op het KNMI (www.globe.gov en www.globenederland.nl en www.knmi.nl/globe). In het kader van dit project doen scholieren (14-18 jaar) metingen van aerosol optische dikte (AOD). Het aantal leerlingen dat meedoet met het project kan variëren tussen de twee en twintig per school. De metingen worden gebruikt voor de validatie van OMI AOD-metingen. De docenten en leerlingen van de scholen die starten met het project worden getraind op het KNMI in het doen van de metingen.

1.1. Meetmethode

Met de GLOBE-Zonnemeter doen de scholieren een meting, bestaande uit drie afzonderlijke metingen (het zgn. meettriplet), van direct zonlicht bij 508 (groen) en 625 (rood) nm binnen 10 minuten van de OMI meting [*Figuur 1*]. Deze metingen worden via

www.globenederland.nl

gerapporteerd aan het KNMI.

Vervolgens wordt via de wet van Lambert-Beer bij de twee golflengtes de AOD berekend [*Boersma and De Vroom, 2006*].

De resultaten worden op www.knmi.nl/globe beschikbaar gemaakt. De getoonde AOD-waarde is het gemiddelde van het meettriplet en de spreiding daarop is een maat voor de meetonzekerheid.



De kwaliteit van de GLOBE-data wordt gecontroleerd middels visuele inspectie. Er kan data worden geweigerd op grond van: A) Onvolledig ingevulde dataformulieren (zoals minder dan drie metingen), B) tijdsverschillen van meer dan 15 minuten tussen de drie afzonderlijke AOD-metingen uit het meettriplet en C) grote meetonzekerheid, d.w.z. grote spreiding in de AOD-waardes uit het meettriplet. Daarna wordt als laatste controle gekeken naar de metadata die bij de meting wordt gerapporteerd door de scholieren, onder andere bewolgingsgraad, bewolkingstype en heigheid van de atmosfeer. Op grond van deze metadata kan in bepaalde gevallen, zoals bij veel cirrusbewolking of een erg heiige atmosfeer, data worden geweigerd. Op deze manier kan een uiteindelijke meetnauwkeurigheid van 0.03 AOD (10%) worden gehaald [*Boersma and De Vroom, 2006*].

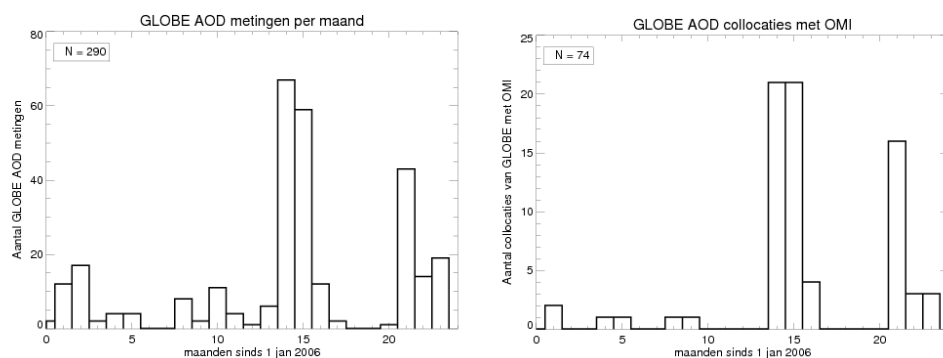
2. Meetcampagnes

2.1. Nieuwe aanpak

Met als doel het vergroten van het aantal metingen, alsmede het vergroten van het aantal gelijktijdig door verschillende scholen uitgevoerde metingen, zijn er in 2007 twee aerosolmeetcampagnes uitgevoerd. Het idee is dat het voor scholen moeilijk is om de alertheid m.b.t. aerosolmetingen een heel jaar vast te houden, terwijl dit tijdens een twee maanden durende campagne wel vol te houden is. Van de scholen die zich opgeven voor de campagne wordt verwacht dat ze bij elke overkomst van OMI klaar staan om te meten, zodat elke OMI-meting boven de school kan worden gevalideerd. In 2007 zijn er twee meetcampagnes georganiseerd: een voorjaarsmeetcampagne, van 1 maart tot 1 mei en een najaarsmeetcampagne, van 1 oktober tot 1 december. De meetcampagnes worden voorafgegaan door een startdag op het KNMI. Deze startdag wordt gebruikt om leerlingen goed voor te bereiden op het doen van metingen tijdens de campagne door het doen van een proefmeting en het geven van achtergrondinformatie. Daarnaast worden de leerlingen geënthousiasmeerd door het geven van achtergrondinformatie over satellietonderzoek en klimaatverandering.

Figuur 1a laat het maandelijkse aantal binnengekomen metingen vanaf 1 januari 2006 tot en met 1 januari 2008 zien. Zoals blijkt uit de figuur kunnen we het verschil tussen het aantal metingen in 2006 (66) en 2007 (224) toeschrijven aan de meetcampagnes. Nog duidelijker is het verschil tussen gecolloqueerde metingen in 2006 (6) en 2007 (68) in *figuur 1b*. Dit verschil is zo groot doordat leerlingen gedurende de meetcampagne naar buiten mogen tijdens lesuren om een meting gelijktijdig met een OMI overkomst te doen.

De conclusie is dat de meetcampagnes een groot succes zijn gebleken. Door deze nieuwe aanpak is het aantal binnengekomen metingen sterk gestegen en dit geldt zeker voor het aantal collocaties met OMI. Het succes van de meetcampagnes is zo groot dat deze aanpak met ingang van 2008 ook wordt geïntroduceerd in de GLOBE-modules *bodem* en *natuurkalender*, waarbij het KNMI overigens niet betrokken is.



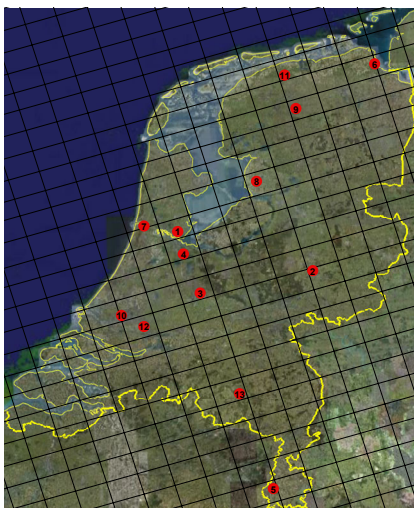
Figuur 1a en b: Aantal GLOBE Aerosol metingen (a) en collocaties met OMI (b) vanaf 1 jan. 2006 tot 1 jan. 2008.

2.2. Meetresultaten

GLOBE-aerosol scholen kunnen zich elk halfjaar opgeven voor een meetcampagne en de bijbehorende startdag. Aan de meetcampagnes van 2007 hebben van de 30 GLOBE-scholen in totaal 13 scholen meegedaan. De locaties van de verschillende scholen zijn te zien op het kaartje in *figuur 2*, waar overheen een denkbeeldig OMI-raster is geprojecteerd. Uit Drenthe, Overijssel en Zeeland kwamen tijdens deze meetcampagne geen scholen, verder waren alle provincies vertegenwoordigd. *Tabel 1* geeft een overzicht van het aantal metingen per school, en het aantal collocaties met OMI. De nummers in de eerste kolom corresponderen met de nummers in *figuur 2*. In totaal zijn er 224 AOD-grondmetingen gedaan. In de voorjaarscampagne zijn bijna twee keer zoveel metingen gedaan als in de najaarscampagne. Dit verschil is vooral te verklaren door het uitzonderlijk goede weer in de voorjaarscampagne, dat een groot aantal metingen mogelijk maakte.

nr	school	plaats	metingen	collocaties
1	Bernard Nieuwentijt college (BNC)	Amsterdam-Noord	22	6
2	Baudartius college (Bau)	Zutphen	18	7
3	College de Heemlanden (Hee)	Houten	11	3
4	Open Scholengem. Bijlmer (OSB)	Amsterdam-Zuid	7	2
5	Sint-Maartens college (Maa)	Maastricht	30	5
6	Fivel college (Fiv)	Delfzijl	8	2
7	Ichthus college (Dri)	Driehuis	10	1
8	Zuyderzee college (Zuy)	Emmeloord	8	2
9	OSG Singelland (Dra)	Drachten	4	4
10	OSG Schravelant (Sch)	Schiedam	52	20
11	Dockinga college (Dok)	Dokkum	8	0
12	Farel college (Far)	Ridderkerk	9	2
13	Christiaan Huygens college (Huy)	Eindhoven	37	14
Campagne	scholen	Metingen	collocaties	
Voorjaar 2007	11	147	46	
Najaar 2007	7	77	22	
Totaal 2007	13	224	68	

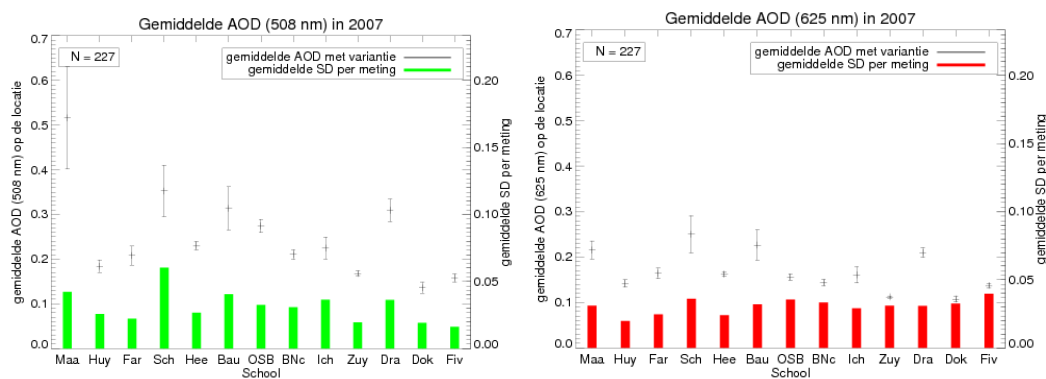
Tabel 1: Deelnemende GLOBE aerosolen scholen aan de meetcampagnes in 2007 en resultaten.



Figuur 2: Geografische spreiding van deelnemende GLOBE aerosolen scholen aan de meetcampagnes in 2007.

Door per school de gemiddelde AOD-waarde met spreiding te berekenen, kunnen we een idee krijgen van de gemiddelde AOD op de meetlocatie tussen 12 en 16 UTC (wanneer OMI overkomt) en de variabiliteit daarvan. In *figuur 3* is per school de gemiddelde AOD met de variabiliteit weergegeven voor het groene kanaal (508 nm) en het rode kanaal (625 nm). De gemiddelde AOD bij het groene kanaal is groter dan het rode kanaal. Dit is in overeenstemming met de Ångström relatie [Ångström, 1929]. De onzekerheidsmarge geeft de spreiding van het gemiddelde weer. Dit is een maat voor de variabiliteit van de AOD boven de locatie van de school tijdens de meetcampagnes. Zo geeft de kleine spreiding bij het Bernard Nieuwentijtcollege (BNc) aan dat de AOD bij 508 nanometer gedurende de meetcampagnes in 2007 vrij constant rond de 0.2 is geweest boven deze school in Amsterdam-Noord. De spreiding bij het Schravelantcollege (Sch) geeft aan dat de AOD bij 508 nanometer boven deze school in Schiedam tijdens de meetcampagnes in 2007 tussen de 0.3 en 0.4 varieerde. Wat opvalt is dat een hogere AOD ook een hogere spreiding oplevert. Dit is niet geheel onverwacht omdat een hoge AOD-waarde vaak wordt veroorzaakt door de nabijheid van een bron van aerosolen, zoals een industriegebied of de zee. Afhankelijk van de windrichting zal de AOD dan sterk kunnen variëren. De zeer hoge waarde bij het groene kanaal voor het St. Maartenscollege uit Maastricht (Maa) is verdacht, mede omdat het rode kanaal niet zo'n hoge waarde laat zien. Deze meetpunten zullen verderop nader worden bekeken.

Een maat voor de kwaliteit van de metingen per school is het gemiddelde van de standaarddeviaties (SD) van de meettripletten. Dit zijn de groene en rode balken in *figuur 3*. Dit is per school de gemiddelde spreiding van de AOD in de drie afzonderlijke metingen. Een grote SD betekent dat de drie afzonderlijke metingen uit het triplet onderling veel verschillen. Deze metingen worden dan minder goed vertrouwd. Omdat de drie metingen meestal binnen 10 minuten van elkaar worden gedaan, kan worden aangenomen dat dezelfde lucht is bemeten. Onderlinge verschillen worden dus veroorzaakt door meetfouten, zoals onnauwkeurige uitlijning of cirrusbewolking in het lichtpad. De meetonzekerheid op GLOBE-aerosolmetingen is bepaald op 0.03 AOD [Boersma and De Vroom, 2006]. De waarden voor de gemiddelde spreiding in *figuur 3* variëren rond de 0.03 en bevestigen dit inderdaad.



Figuur 3: Meetresultaten per school in 2007. Getoond worden de gemiddelde AOD met spreiding (zwarte balk) en de gemiddelde meetonzekerheid per meting per school (groene en rode balk).

3. Validatie

3.1. Validatie 2007

Doel van de GLOBE-aerosol meetcampagnes is om OMI-aerosolobservaties boven Nederland te valideren. In de laatste kolom van *tabel 1* staat het aantal metingen dat is vergeleken met een OMI-meting, ofwel het aantal collocaties. Er zijn alleen OMI data meegenomen met een wolkenfractie kleiner dan 0.10 en met een tijdsverschil tussen de GLOBE- en de OMI-meting van maximaal 10 minuten. Er zijn in 2007 in totaal 224 AOD-metingen door de scholen verricht, en daarvan zijn er 68 collocaties overgebleven. Dat het aantal collocaties kleiner is dan het aantal metingen komt door de volgende oorzaken:

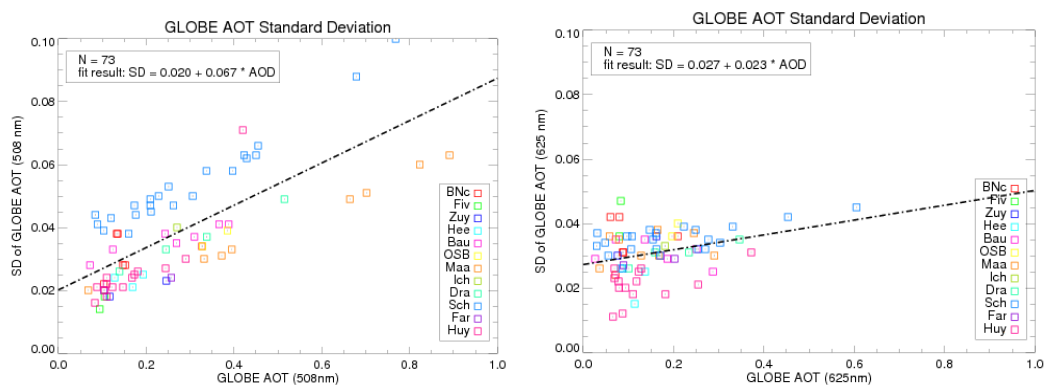
- Niet alle metingen zijn binnen 10 minuten van OMI gedaan.
- OMI kan niet meten bij bewolking, terwijl GLOBE soms net tussen de wolken door kan meten (bv. bij cumulusbewolking).
- Als het OMI swath slechts half over Nederland gaat, meten toch alle scholen.

3.2. Data kwaliteit

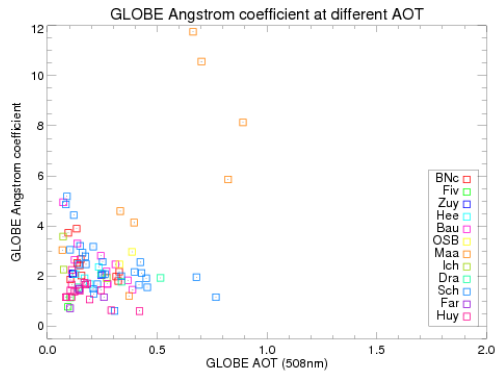
Om de kwaliteit van de data beter te begrijpen, is in *figuur 4a* en *b* voor elke ge-colloqueerde meting de standaarddeviatie uitgezet tegen de AOD. Deze standaarddeviatie is dezelfde als die weergegeven in *figuur 3a* en *b*, dus de spreiding van het meettriplet, maar dan voor elke meting apart. Bij het groene kanaal zien we een duidelijk verband; toenemende fout bij toenemende AOD. Bij het rode kanaal zien we dit niet of nauwelijks. Uit de kleinste kwadratenfit (gestippelde lijn) komen de volgende relaties:

$$\sigma_{508} = 0.02 + 0.07 * \tau_{508} \quad \text{en} \quad \sigma_{625} = 0.03 \quad \text{Vgl.1}$$

Waarbij σ de meetonzekerheid en τ de optische dikte voorstelt.

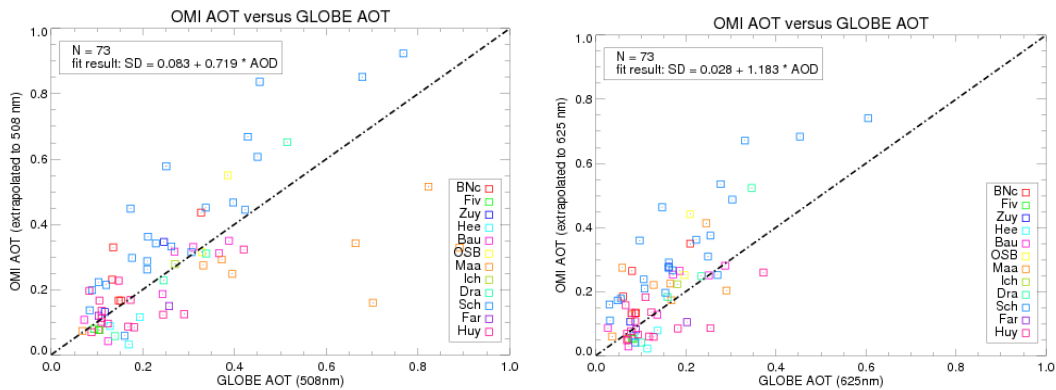


Figuur 4a en b: Standaarddeviatie als functie van AOD voor het 508 nm kanaal (a) en het 625 nm kanaal (b).



Figuur 5: Ångströmexponent als functie van AOD.

Een parameter die belangrijk is voor kwaliteitscontrole is de Ångströmexponent (α). Deze kan worden berekend uit de GLOBE-AOD-waardes op de twee GLOBE-golflengtes en de Ångströmrelatie [Ångström, 1929]. De waarde van α varieert voor De Bilt tussen de 1.4 en 1.6 [Stammes and Henzing, 2000]. In *figuur 5* staat α voor de gecolloqueerde GLOBE-metingen uitgezet tegen de gemeten AOD bij 508 nm. Wat opvalt is dat α bij lage AOD ver buiten de verwachte grenzen valt. Dit komt doordat de twee GLOBE-golflengtes erg dicht bij elkaar liggen voor het bepalen van α . Kleine onzekerheden in de AOD leveren dan al snel zeer grote fouten in α op. Pas bij een AOD van 0.4 treedt er een zekere mate van convergentie op. Deze methode kan dan ook slecht worden gebruikt als zeer ruwe vorm van dataselectie. Er is voor gekozen om vanaf een AOD van 0.4 data toe te staan waarvoor geldt $1.0 < \alpha < 2.5$. De metingen van het Sint Maartenscollege uit Maastricht vallen hier duidelijk buiten. Hier komen we in het volgende hoofdstuk op terug.



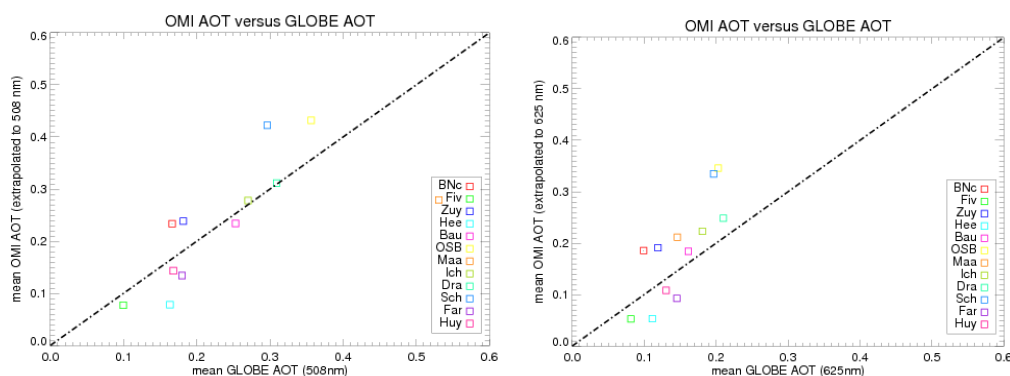
Figuur 6a en b: Scatterplot van OMI AOD tegen GLOBE AOD voor het 508 nm kanaal (a) en het 625 nm kanaal (b). De getrokken lijn is de 1:1 lijn.

4. Resultaten

In *figuur 6a* en *b* is de OMI-AOD voor beide kanalen uitgezet tegen de GLOBE-AOD met verschillende kleuren voor de verschillende scholen. De OMI-data zijn verkregen door de OMI AOD bij 483.5 nm (AOTB483.5) te extrapoleren naar de beide GLOBE-golflengten met behulp van de Ångström relatie [Ångström, 1929]. De Ångströmexponent is rechtstreeks bepaald uit de golflengte-afhankelijkheid van de OMI AOD. De gestippelde lijn is de 1:1-lijn. Als GLOBE en OMI hetzelfde meten komen de datapunten op deze lijn terecht. We zien dat voor de beide kanalen geldt dat er sprake is van een zekere spreiding om de 1:1-lijn, met een duidelijke systematische afwijking naar boven. Dit wijst erop dat de -AOD systematisch hoger is dan de GLOBE-AOD. De correlatiecoëfficiënten zijn 0.68 (groen) en 0.77 (rood).

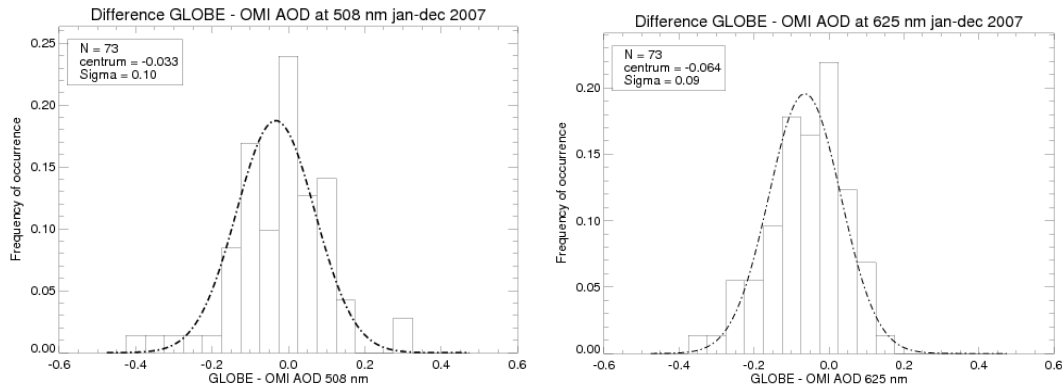
De metingen in het groene kanaal van Maastricht springen er direct uit. Aangezien deze afwijkende waarden niet in het rode kanaal worden teruggevonden kan worden aangenomen dat er iets mis is met deze groene metingen. Uit *figuur 5* bleek al dat er iets mis was met de metingen uit Maastricht. Nu blijkt dus dat dit te wijten is aan de metingen met het groene kanaal. Het lijkt er bij dit instrument op dat er iets mis is met de calibratie van het dit kanaal. Deze data worden verder niet meer meegenomen in de analyse.

Om een beeld te krijgen hoe de vergelijking met OMI afhangt van de school is in *figuur 7a* en *b* voor elke school het gemiddelde van de data uit *figuur 6* geplot. We zien dat er kleine verschillen optreden tussen de scholen, maar er zijn geen scholen die erg afwijken, behalve dan het groene kanaal van het St. Maartenscollege, waarvan reeds bekend is dat het met calibratieproblemen te kampen heeft.



Figuur 7: Scatterplot van gemiddelde OMI AOD tegen gemiddelde GLOBE AOD per school. De getrokken lijn is de 1:1 lijn.

Om een beter inzicht te krijgen in de aard van de spreiding van de data in *figuur 6* is de data in een histogram met binrootte 0.05 AOD geplot in *figuur 8a* en *b*. Als er geen sprake is van systematische verschillen tussen GLOBE- en OMI-AOD verwachten we een normale verdeling rondom 0, die gerepresenteerd kan worden door een Gaussische fit. De grootste bin in *figuur 8a* en *b* is inderdaad die rond 0 en de verdeling is redelijk symmetrisch



Figuur 8a en b: Histogram van het verschil tussen GLOBE en OMI (GLOBE - OMI) met een bingrootte van 0.05. De getrokken lijn is een Gaussische fit door de data.

daaromheen. In beide figuren worden de data gerepresenteerd door de fit (stippellijn). Het centrum van deze Gaussische fit ligt op -0.033 (508 nm) en -0.064 (625 nm). Het gemiddelde van deze twee wordt genomen als bias in de OMI AOT metingen. OMI overschat de AOD dus met ongeveer 0.05. Hierbij moet nog worden opgemerkt dat het strikt genomen nog zo zou kunnen zijn dat GLOBE en OMI last hebben van gelijksoortige systematische fouten, maar dat verwaarlozing van de kans daarop gerechtvaardigd wordt door de grote onderlinge verschillen in meetmethodes. De standaarddeviatie van de Gaussische fit is 0.10 (508 nm) en 0.09 (625 nm). De breedte wordt bepaald door de gecombineerde meetonzekerheid in de GLOBE- en de OMI-metingen en door representativiteitsverschillen:

$$\sigma_{Gauss} = \sqrt{\sigma^2_{globe} + \sigma^2_{omi} + \sigma^2_{representativiteit}} \quad \text{vgl. 2}$$

De drie meest belangrijke representativiteitsverschillen zijn weergegeven in *tabel 2*. Het effect van het vergelijken van een puntmeting met een gebiedsgemiddelde is het grootst, doordat de ruimtelijke variabiliteit van aerosolen groot kan zijn. Hierdoor kunnen variaties in AOD binnen een pixel ook groot zijn. Door algoritmeverschillen zijn gevoeligheden voor bijvoorbeeld hoogteverdeling en zonnehoek anders voor GLOBE dan voor OMI. Ook dit veroorzaakt een zekere spreiding. Tijdsverschillen tussen gecolloqueerde metingen veroorzaken ook een zekere spreiding. Immers, in de tussentijd vindt horizontaal transport plaats van lucht in en om het pixel en worden er dus verschillende luchtmassa's bemeten. Het tijds criterium van 10 minuten is gekozen zodat bij een pixel van 10 bij 30 km² er gemiddeld minimaal 67% van de luchtmassa binnen het pixel blijft. Dit onder de aanname dat de aerosolen zich in de onderste kilometer bevinden en dat de gemiddelde windsnelheid in de onderste kilometer 30 km/h bedraagt.

Representativiteit	GLOBE	OMI	effect
Locatie	Puntmeting	Gemiddelde AOD in pixel	Groot
Algoritme	GLOBE algoritme	OMI algoritme	Middel
Meettijd	± 10 min van OMI overkomst	Tijdens OMI overkomst	Klein

Tabel 2: Representativiteitsverschillen tussen GLOBE en OMI.

Door nu in *vgl. 2* de waarden voor σ_{Gauss} en σ_{globe} in te vullen kunnen we de gezamenlijke bijdrage van σ_{omi} en $\sigma_{\text{representativiteit}}$ berekenen.

$$\sigma_{\text{omi}}^2 + \sigma_{\text{representativiteit}}^2 = \sigma_{\text{Gauss}}^2 - \sigma_{\text{globe}}^2$$

Als de representativiteitsfout op nul wordt gesteld, krijgen we als bovengrens voor de fout in OMI:

$$\sigma_{\text{omi}}(\text{max}) = \sqrt{\sigma_{\text{Gauss}}^2 - \sigma_{\text{globe}}^2} = \sqrt{0.10^2 - 0.036^2} = 0.09$$

Waarbij σ_{Gauss} uit de fit van *figuur 8* wordt gehaald en σ_{globe} wordt bepaald door in *vgl. 1* de gemiddelde τ_{globe} in te vullen. Deze berekening is gedaan voor het 508-nm-kanaal. Omdat de grootste OMI-golflengte waarbij AOD wordt gerapporteerd (483 nm) dicht bij deze GLOBE-golflengte ligt, kunnen we dit verschil verwaarlozen en extrapoleren we dit resultaat naar 483 nm. Een bovengrens voor de meetonzekerheid in OMI-AOD bij 483 nm, bepaald uit de vergelijking met GLOBE, is dus 0.09.

De resultaten van een vergelijking tussen OMI en MODIS AOT [*Braak et al., 2007*] zijn dat OMI systematisch te hoge AOT geeft door het effect van vervuiling door wolken. De hier gevonden bias lijkt dit te bevestigen.

4.1. Seizoensgang

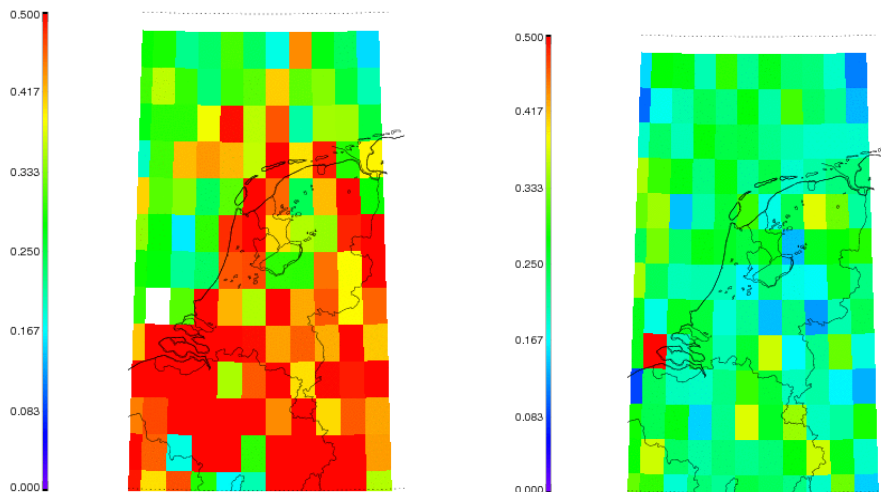
In *Figuur 9a* en *b* zijn seizoensgemiddelde AOD-waarnemingen van OMI geplot in gridboxen van 0.5° bij 0.5° voor respectievelijk de lente (maart, april, mei) en herfst (september, oktober, november). De gemiddelde AOD ligt in de lente rond de 0.4 en in de herfst rond de 0.2. Deze seizoensgang werd eerder al gevonden in MODIS waarnemingen door *Boersma en De Vroom [2006]*. De hogere AOD in de lente wordt verklaard enerzijds door een hogere luchtvochtigheid in de lente, waardoor aerosoldeeltjes sneller groeien, en anderzijds door een hogere regenval in de herfst, dat voor verwijdering van aerosoldeeltjes zorgt. In *figuur 10* is een spreidingsdiagram van OMI-AOD tegen GLOBE-AOD bij 508 nm. Het is een kopie van *figuur 6a*, waauit de onbetrouwbare data is verwijderd. De blauwe datapunten zijn gecolloqueerde metingen uit de lente, de rode uit de herfst en de gestreepte en gestippelde lijnen zijn

kleinstekwadratenfits door de data uit respectievelijk de lente en de herfst. We zien een duidelijk verschil tussen de lente en de herfst.

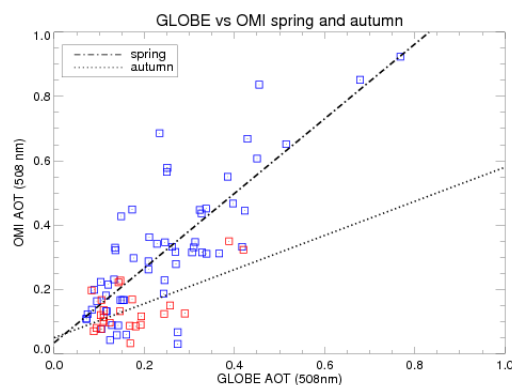
De fit door de lentedata (gestreepte lijn) geeft de volgende relatie tussen de GLOBE- en OMI-metingen in de lente:

$$\tau_{\text{omi}} = 0.01 + 1.23 * \tau_{\text{globe}}$$

Dit geeft aan dat OMI de AOD sterk overschat voor metingen gedaan in de lente van 2007. Er komt in de lente ook een groot bereik van AOD-waardes voor, wat vertrouwen geeft in de fit. De fit door de herfstdata (gestippelde lijn) heeft richtingscoëfficiënt 0.55. Echter, het aantal datapunten is zeer gering en er komen hoofdzakelijk lage waardes voor. Deze fit is dan ook niet significant. Voordat we een conclusie kunnen trekken over de herfst zullen we meer datapunten nodig hebben.



Figuur 9a en b: Seizoensgemiddelde AOD waarnemingen van OMI bij 483,5 nm voor de lente (a) en de herfst (b). Figuren door Remco Braak.



Figuur 10: Scatterplot per seizoen van OMI AOD tegen GLOBE AOD voor de lente (blauw) en de herfst (rood). De twee getrokken lijnen zijn lineaire fits door de data.

5. Conclusie

De meetonzekerheid van OMI AOD bij 483 nm wordt geschat op kleiner dan 0.09. Verder lijkt OMI de AOD systematisch te overschatten met 0.05 AOT. Deze bias is duidelijk aanwezig in de lente en niet aanwezig in de herfst. In de herfst is echter ook het sample minder representatief.

De standaarddeviatie voor de GLOBE-metingen die met OMI zijn vergeleken is voor het groene kanaal afhankelijk van de AOD ($\sigma=0.02+0.7*\tau$) en voor het rode kanaal constant ($\sigma=0.03$).

Er zijn in 2007 twee aerosol meetcampagnes georganiseerd, een voorjaars- en najaarsmeetcampagne. De nieuwe aanpak met meetcampagnes is erg succesvol gebleken voor dit project. Het aantal metingen is zeer sterk toegenomen en dat geldt zeker voor het aantal collocaties met OMI. Er hebben 13 scholen meegedaan aan (één van) beide meetcampagnes en die hebben in totaal 224 AOD-metingen gerapporteerd. De gerapporteerde AOD-waardes bij 508 nm variëren per locatie tussen 0.1 en 0.4. De variabiliteit van de AOD op een locatie is groter naarmate de AOD groter is. In totaal zijn er 68 collocaties gevonden met OMI.

REFERENTIES

Ångström, A. (1929), On the atmospheric transmission of Sun radiation and on dust in the air, *Geogr. Ann.*, **11**, pp.156-166

Boersma, K.F. and J.P. de Vroom (2006), Validation of MODIS aerosol observations over The Netherlands with GLOBE student measurements, *J. Geophys. Res.*, **111**, D20311, doi:10.1029/2007JD007172

Braak, R.; Veihelmann, B.; Veeffkind, P.; Torres, O.; Levelt, P. (2007), Validation of the OMI multi-wavelength aerosol product, American Geophysical Union, Fall Meeting 2007, abstract #A23A-0877

Stammes, P. and J.S. Henzing (2000), Multispectral optical thickness at De Bilt, 1997 – 1999, *J. Aerosol Sci.*, **31**, S283 – S284