

Figuur 6. Standaarddeviatie van de fout in de verwachting afhankelijk van discrepantie in de verwachtingen van de weerbureaus, voor Tn in het koude seizoen (links) en voor Tx in het warme seizoen (rechts).

elkaar te onderscheiden. Wat wel heel duidelijk opvalt is dat WeerOnline en het KNMI ongeveer gelijk opgaan. Bij Meteo Consult wordt de verwachting

ook onzekerder maar in veel mindere mate. Als we er echter van uitgaan dat de hoge discrepanties het gevolg zijn van meteorologisch onzekere situaties dan kunnen we concluderen dat de winst van Meteo Consult, in bijvoorbeeld het gemiddelde trefferpercentage bij figuur 1, ten opzichte van de twee andere weerbureaus vooral is gebaseerd op een betere behandeling van onzekere situaties.

#### Literatuur

- Kruizinga, S. 2007: Verificatie van publieksverwachtingen, *Meteorologica*, 16(3), 4-9.
- Kruizinga, S. 2011: Normalen voor de dagelijkse minimum- en maximumtemperatuur, *Meteorologica*, 20(4), 25-28.
- UK Meteorological Office, 2012: <http://www.metoffice.gov.uk/about-us/who/accuracy/forecasts>.
- Wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Hartley%27s\\_test](http://en.wikipedia.org/wiki/Hartley%27s_test).

## Nachtelijke zichtbaarlichtbeelden

KEES FLOOR

**Het dag/nachtkanaal van het VIIRS-instrument op de Amerikaanse weersatelliet Suomi NPP gunt ons een kijkje op de aarde in het donker. Bij volle maan is er bijna net zo veel te zien als overdag. Zwakke lichtbronnen, zoals de verlichting van steden, natuurbranden, bliksemflitsen en poollicht, vormen voor de VIIRS geen probleem.**

Weersatellieten leveren al tientallen jaren in steeds beter wordende kwaliteit beelden van het aardoppervlak en de bewolking daarboven in onder andere zichtbaar licht. Doordat dergelijke beelden gebaseerd zijn op op de sensors

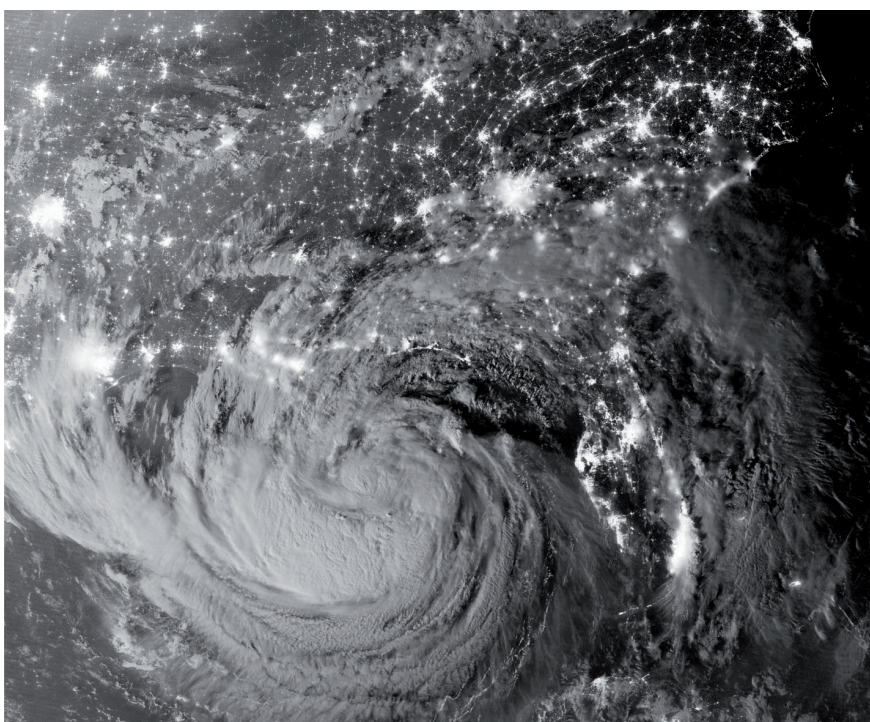
invallende hoeveelheden gereflecteerd zonlicht, zijn ze alleen overdag bruikbaar; 's nachts is er niets te zien.

Naast de 'burgerweersatellieten' van de NOAA zijn er echter ook militaire

exemplaren, die wél wat kunnen zien in het donker. De satellieten van het zogeheten Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) zijn namelijk uitgerust met het Operational Linescan System (OLS), dat aan maanlicht voldoende heeft om zichtbaarlichtbeelden te genereren en ook onder andere poollicht en het licht van steden en natuurbranden kan registreren (Floor 2003). De OLS is in gebruik sinds eind jaren zestig van de vorige eeuw, maar aanvankelijk werden de meetgegevens beschouwd als militair gevoelige informatie en kwamen er geen beelden vrij.

#### VIIRS-dag/nachtkanaal

Toen uit kostenoverwegingen besloten werd de satellietprogramma's van NOAA en DMSP in elkaar te schuiven, werd de mogelijkheid om de donkere aarde met zichtbaarlichtbeelden te kunnen blijven gadeslaan, gelukkig niet geschrapt. Sinds kort beschikken we dan ook over een instrument, de Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), waarvan een van de 22 banden, het zogeheten dag/nachtkanaal (DNB), kan worden beschouwd als de directe opvolger van de OLS (Lee et al. 2006). Het instrument bevindt zich aan boord van de in november 2011 gelanceerde aardobservatiesatelliet Suomi National Polar-orbiting Partnership (NPP),

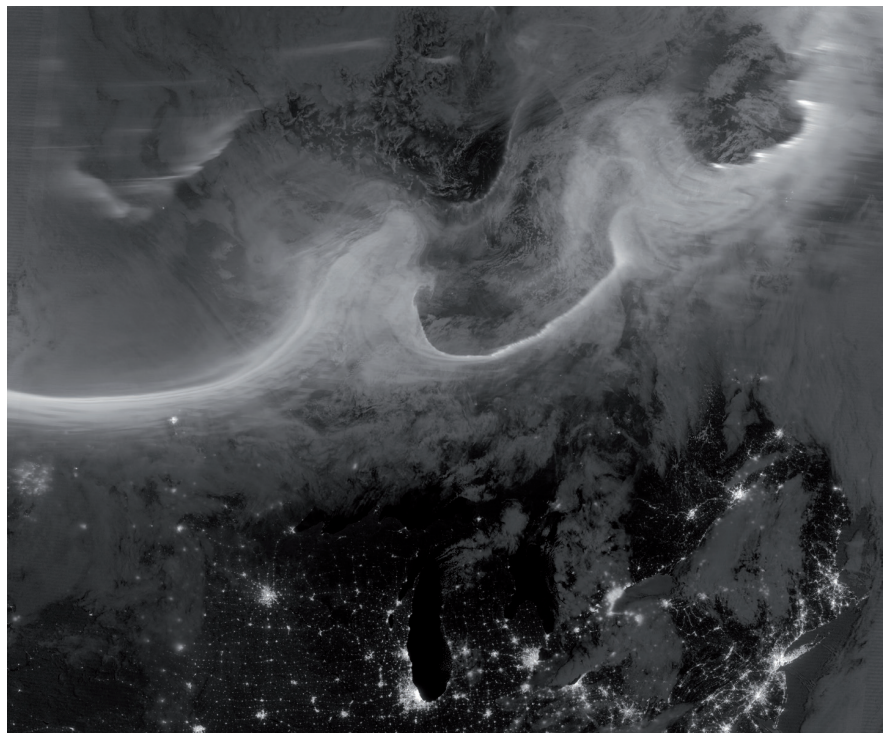


Figuur 1. Tropische storm Isaac boven de Golf van Mexico, waargenomen op 28 augustus 2012 door het dag/nachtkanaal van de VIIRS op de Amerikaanse aardobservatiesatelliet Suomi NPP. Naast de bewolking van de tropische storm is ook het licht van talrijke steden in de Verenigde Staten op het satellietbeeld zichtbaar. (Bron: NASA).



vernoemd naar de Amerikaanse satellietmeteorologiepionier Verner E. Suomi (1915-1995), wiens Finse ouders in 1902 emigreerden naar de Verenigde Staten. De satelliet cirkelt rond de aarde op een hoogte van 834 kilometer. De VIIRS scant de aarde in 3000 kilometer brede stroken. De stroken vertonen voldoende overlap om te voorkomen dat er gaten ontstaan in het waargenomen gebied, zoals bij de MODIS op de satellieten Terra en Aqua op lagere geografische breedten nog wél het geval is. De Suomi NPP komt twee keer per dag over, rond 01.30 en rond 13.30 plaatselijke tijd.

Het dag/nachtkanaal verzwakt heldere lichtbronnen en versterkt zwakke lichtbronnen om ze op de resulterende beelden zo goed mogelijk zichtbaar te laten zijn. De zwart-wit DNB-beelden tonen bewolking (figuur 1), mist, aardoppervlak, zee-ijs, stof, luchtverontreiniging, vulkanische as en landkenmerken als kustlijnen, rivieren, woestijnen en gebergten op dezelfde manier als de ons vertrouwde zichtbaarlichtbeelden van de operationele polaire of geostationaire satellieten. Daarnaast tonen de beelden soms ook lichtbronnen in de atmosfeer of aan het aardoppervlak, zoals poollicht (figuur 2) en bliksem (zie verderop) en boven land het licht van steden (alle figuren), van natuurbranden en van olie- en gaswinning. Op zee zien we de lichten van scheepvaart, visserij of offshore en opnieuw van olie- en gaswinning (Perzische Golf in figuur 3, Golf van Mexico in figuur 4). Vaste lichtbronnen aan het aardoppervlak bieden dezelfde hulp bij de interpretatie van de beelden als de landkenmerken: ze vergemakkelijken de oriëntatie, zijn goed zichtbaar bij helder weer en moeilijker of niet te zien als het bewolkt is.

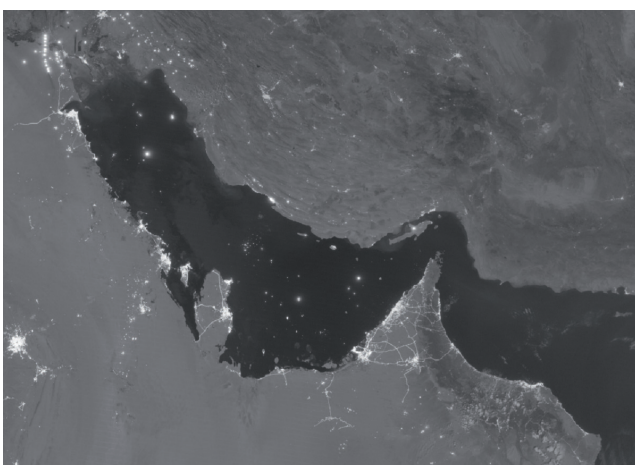


Figuur 2. Poollicht boven Canada, waargenomen in de vroege ochtend van 8 oktober 2012 door het dag/nachtkanaal van de VIIRS op de Amerikaanse aardobservatiesatelliet Suomi NPP. Meer naar het zuiden zijn de Grote Meren zichtbaar en talrijke steden in Canada en de Verenigde Staten. (Bron: NASA).

Het nieuwe instrument toont zwakke lichtbronnen en verschijnselen in maanlicht 10 tot 15 maal beter dan zijn voorganger; tegelijkertijd werd de resolutie verhoogd van 3 kilometer per beeldelement van de OLS naar ongeveer 750 meter per beeldelement van het dag/nachtkanaal van de VIIRS. Overigens tonen de nachtfoto's die de astronauten vanuit het internationaal ruimtestation ISS maken nog meer detail: een beeldelement komt overeen met een gebied van enkele tientallen tot enkele honderden meters. De ISS-beelden zijn echter slechts incidenteel beschikbaar, dus niet op routinebasis 24/7/365, zoals bij de VIIRS het geval is.

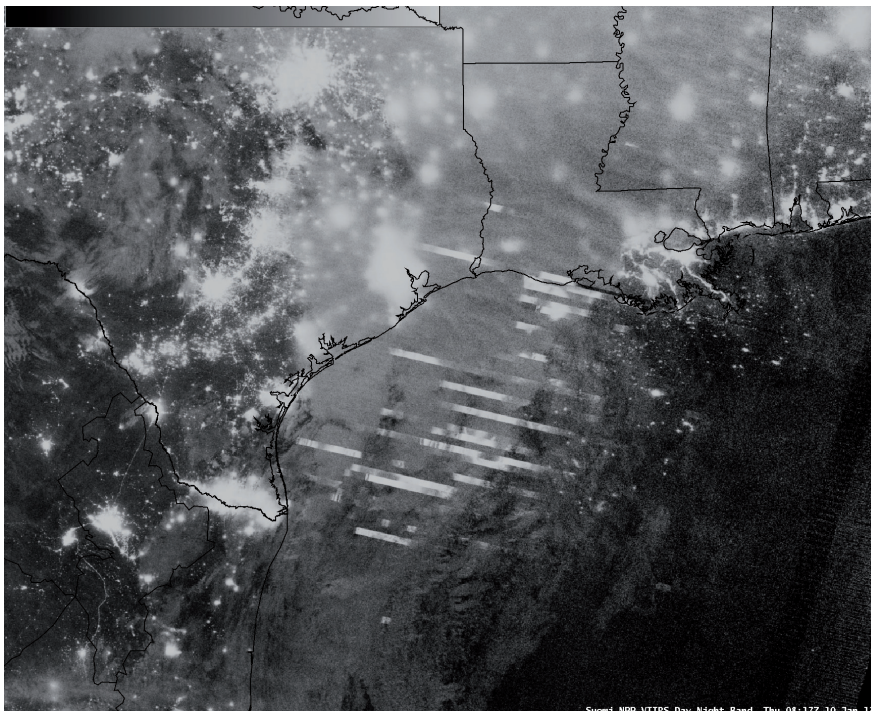
### Gereflecteerd maanlicht

's Nachts vormt de maan de belangrijkste lichtbron voor de belichting van de aarde op DNB-beelden. De lichtsterkte varieert van dag op dag echter sterk doordat ze afhankelijk is van de maanfase en de positie van de maan. De belichting is optimaal als de volle maan zo hoog mogelijk aan de hemel staat, maar voldoende gedurende de gehele periode tussen Eerste en Laatste Kwartier, althans voor zover de maan voor het in beeld gebrachte gebied boven de horizon staat. Tijdens routinecontroles van de VIIRS-DNB bleek echter totaal onverwacht dat er zelfs bij Nieuwe Maan bewolking zichtbaar te maken is, waarbij het nachthemellicht (airglow)



Figuur 3. VIIRS-dag/nachtbeeld van de Perzische Golf en omgeving bij Volle Maan (lichte beeld, 30 september 2012) en bij Nieuwe Maan (donkere beeld, 15 oktober 2012). (Bron: NASA).





Figuur 4. VIIRS-dag/nachtbeeld met onder andere onweer boven de Golf van Mexico bij de kust van Texas, 10 januari 2013 08:17 UTC. (Bron: NASA).

als lichtbron fungeert (Miller et al. 2012). Nachthemellicht ontstaat door de wisselwerking van zonlicht met moleculen en atomen in de dampkring op een hoogte van ongeveer honderd kilometer.

De rol van het maanlicht wordt duidelijk geïllustreerd in de beelden van het Arabisch Schiereiland, Iran, de Perzische Golf en de Golf van Oman (figuur 3). Het lichtere beeld toont het gebied bij Volle Maan, het donkere beeld bij Nieuwe Maan. Bij Volle Maan zijn de kustlijnen en details in het landschap het best zichtbaar. Bij Nieuwe Maan springt de verlichting van bewoonde gebieden (ook op eilanden), autowegen, schepen en installaties voor oliewinning het meest in het oog. Verstedelijkte gebieden in Saoedi-Arabië treft men aan rond de hoofdstad Riyad, geheel linksonder in beeld, en langs de noordoostkust. In

de Golfstaten Qatar en de Verenigde Arabische Emiraten baden niet alleen steden als Doha en Dubai maar ook de belangrijkste autosnelwegen in het licht.

Het maanlicht komt verder goed van pas in alle gevallen waarin we overdag naar een zichtbaarlichtbeeld zouden grijpen, zoals bij de detectie van mistvelden en van laaghangende bewolking. Doordat de temperatuur van de bovenzijde van een mistlaag niet of nauwelijks afwijkt van de temperatuur van het aardoppervlak, is de mist op infraroodbeelden, die in feite temperatuurverschillen tonen, niet te zien. Op zichtbaarlichtbeelden is mist altijd wél goed zichtbaar. Doordat het dag/nachtkanaal van de VIIRS genoeg neemt met maanlicht als lichtbron, kan het de mist dus toch 's nachts afbeelden en volgen. Ook voor de poolgebieden vormen de op maanlicht gebaseerde beelden een uitkomst, vooral tijdens

de lange poolnachten. Doordat de gescande stroken in de poolstreken veel overlap vertonen, zijn satellietbeelden er bovendien frequenter beschikbaar dan dicht bij de evenaar, waar de nachten 's winters korter duren.

### Bliksem

Een nachtelijk satellietbeeld van het dag/nachtkanaal van de VIIRS is direct te vergelijken met een 'gewoon' zichtbaarlichtbeeld van overdag. Aanvullend zijn er echter verscheidene, eerder genoemde lichtbronnen zichtbaar, die overigens op een voorspelbare manier worden afgebeeld. Een uitzondering op deze voorspelbaarheid vormt de bliksem, die op de DNB-beelden de vorm aanneemt van langgerekte, min of meer rechthoekige, lichtgetinte blokken in de scanrichting van het instrument, dus loodrecht op de bewegingsrichting van de satelliet (figuur 4) (Hillger 2013). Als het instrument een scan uitvoert, wordt een bliksemflits of de door die flits belichte bewolking in elke sensor zichtbaar als een dunne, witte streep. Het instrument heeft 16 verschillende sensoren, die de aarde tegelijkertijd aftasten. Doordat het gebied waar de bliksemontlading optreedt doorgaans groot genoeg is om al die sensoren te bedienen, resulteert dat in 16 streepjes, die gezamenlijk het rechthoekige blok vormen. Bij een volgende scan is er van de bliksem niets meer te zien, wat leidt tot abrupte uiteinden van de lichte blokken in de bewegingsrichting van de satelliet.

### Literatuur

- Floor, K., 2003: DMSP-beelden met stadslicht en poollicht. *Meteorologica* 12 (4), 11.  
 Hillger, D. et al., 2013: First-light imagery from Suomi NPP VIIRS. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 94, 1019-1029.  
 Lee, T. E. et al., 2006: The NPOESS VIIRS Day/Night Visible Sensor. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 87, 191-199.  
 Miller, S.D. et al., 2012: Suomi satellite brings to light a unique frontier of nighttime environmental sensing capabilities. *PNAS* doi/10.1073/pnas.1207034109, 6 pp.

### Websites

- <http://npp.gsfc.nasa.gov/>  
<http://www.meted.ucar.edu/satmet/dnb/print.php>

### Tabel: Afkortingen

Afkorting	Betekenis	Toelichting
<i>DNB</i>	Day/night band	Dag/nacht kanaal van de VIIRS
<i>DMSP</i>	Defence Meteorological Satellite Program	
<i>ISS</i>	International Space Station	
<i>MODIS</i>	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer	Instrument op de aardobservatiesatellieten Terra en Aqua
<i>NPP</i>	National Polar-orbiting Partnership	Oude naam: NPOESS Preparatory Project
<i>OLS</i>	Operational Linescan System	Instrument op DMSP-satellieten
<i>NPOESS</i>	National Polar-orbiting Environmental Satellite System	
<i>VIIRS</i>	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite	Instrument op de aardobservatiesatelliet Suomi NPP