

JAARGANG 23 - NR. 2 - JUNI 2014

# METEOROLOGICA

## **PILOTENGATEN**

**HOE VLIEGTUIGEN WOLKEN**

**KUNNEN LATEN**

**VERDWIJNEN**



# Vliegtuiggaten op MODIS-beelden

KEES FLOOR

In 1915 werd in de Italiaanse Alpen in Zuid-Tirol voor het eerst een vliegtuigstreep waargenomen (Gosnell 2007)<sup>1</sup>. Aanvankelijk bleven de contrails een zeldzame verschijning. Met de toename van het vliegverkeer ging het bijzondere er echter snel af en inmiddels is het verschijnsel algemeen bekend.

Pas in de jaren tachtig van de vorige eeuw bleek dat vliegtuigen bewolking niet alleen kunnen veroorzaken, maar ook kunnen laten verdwijnen (Hobbs 1985). Als ze tijdens het opstijgen of het landen een uit onderkoelde druppels bestaande wolkenlaag doorkruisen, laten ze daarin soms een rond of ovaal gat achter (Figuur 1). Vliegt men op min of meer constante hoogte door de bewolking, meestal dunne lagen altocumulus, dan ontstaat onder dergelijke omstandigheden een langgerekt spoor (Figuur 2). De gaten zijn doorgaans deels gevuld met cirrusbewolking met valstrepen (virga). Vliegtuiggaten in bewolking werden voor het eerst waargenomen in 1939 (Schumann 1940)<sup>2</sup>; de eerste Nederlandse waarneming van het verschijnsel komt uit 1942 (Zwart 1969)<sup>3</sup>. Een verband met het vliegverkeer werd echter pas voor het eerst geopperd door de uitsluitend met zijn initialen aangeduide R.M.P. (1948). In de periode 1940-1985 deden talrijke mogelijke verklaringen de ronde, soms plausibel, maar veelal ook ronduit bizar (Hobbs 1985). Als mogelijke oorzaken werden naast natuurlijke of kunstmatige cloud seeding onder meer genoemd: atoomproeven, meteoren, vliegende schotels, restanten van tropische cyclonen en uit vliegtuigen gegooid ballast.

## Onderkoeld water

De temperatuur van de wolkenlaag waarin de verschijnselen zich voordoen bedraagt doorgaans min 10 tot min 20 graden; ter vergelijking: vliegtuigstrepen ontstaan bij temperaturen van min 40 graden. De gaten worden pas 10-20 minuten na de doorkomst van een vliegtuig zichtbaar; dat is ook de reden dat het verband met het vliegverkeer niet vanaf de eerste waarnemingen werd gelegd. Na het ontstaan breiden de gaten zich nog ongeveer een half uur geleidelijk uit om een maximale diameter in de orde van 5 kilometer te bereiken; na een tot twee uur zijn ze meestal weer opgevuld en verdwenen, al zijn er ook vliegtuiggaten gerapporteerd met een levensduur van 3 uur.

Aanvankelijk is het gat of het spoor deels gevuld met cirrusbewolking; de ijskristallen in die bewolking maken middels het Findeisen-Bergeronproces korte metten met de eventueel nog aanwezige onderkoelde waterdruppels. Het bevroeringsproces van de onderkoelde waterdruppels wordt in gang gezet door adiabatische expansie van de lucht achter de propellers en – bij straalvliegtuigen – achter de vleugels; daarbij kan de lucht soms wel 20 graden afkoelen en koud genoeg worden om spontane nucleatie te doen optreden. De uitstoot van waterdamp en condensatiekernen speelt geen rol (Heymsfield et al., 2010). De bevroeringswarmte die vrijkomt, verwarmt de lucht, die vervolgens gaat opstijgen. Tegen wat je zou verwachten in zijn

de waterwolken rond het gat daardoor kouder dan de cirrus binnenin. Ter compensatie van de opstijgende luchtbewegingen ontstaan rondom of aan weerszijden ervan daalbewegingen, die het door het vliegtuig veroorzaakte gat of spoor doen groeien en de randen scherp maken (Heymsfield et al., 2011). Als de cirrus is ‘uitgesneeuwd’, resteert een wolkenloos gebied, dat geleidelijk opvult.

## Foto's

Vliegtuiggaten worden tegenwoordig in de wijde omgeving van grotere vliegvelden geregeld waargenomen en gefotografeerd. Verscheidene foto's van enthousiaste weerwaarnemers en wolkenfotografen belandden op internet, zij het onder uiteenlopende namen. In het Nederlands kun je het beste zoeken onder ‘pilotengat’, in het Engels worden ‘punch hole cloud’, ‘hole punch cloud’ en ‘fallstreak hole’ gebruikt om de door het vliegverkeer veroorzaakte gaten in de altocumuluslaag aan te duiden. De verwante langgerekte sporen worden ‘canal cloud’ genoemd; hieronder houden we het op ‘vliegtuigstraten’. De genoemde Engelse zoektermen komen overigens geen van alle voor in de Glossary of Meteorology (AMS, z.j.) Ze moeten niet verward worden met de wél in de glossary vermelde ‘dissipation trails’ of kortweg ‘distrails’, het tegenovergestelde van een vliegtuigstreep. Een distrail is een wolkenloos spoor dat soms ontstaat als de verbrandingswarmte van de vliegtuigmotoren leidt tot verdamping van de bewolking erachter. Er vindt bij de vorming van distrails geen ijsvorming plaats en sluierbewolking laat zich niet zien. Overigens heeft het toch zin om op ‘distrails’ te googelen, omdat lang niet



Figuur 1. Vliegtuiggat (pilotengat, punch hole cloud, hole punch cloud of fallstreak cloud), gevuld met uitsneeuwende cirrus (cirrus met virga), waarin een bijzon zichtbaar is. Foto: Mark Ayers.



iedereen, mogelijk bijna niemand, de definitie uit de glossary of de terminologie van Heymsfield et al. (2010) kent en aanhoudt.

Figuur 1 geeft een voorbeeld van een vliegtuiggat. Het gat is gevuld met cirrusbewolking, wat niet alleen blijkt uit de vage randen en structuren, maar ook uit de aanwezigheid van een bijzon. Bijzonnen en andere haloverschijnselen zijn namelijk alleen te zien in bewolking die uit ijskristallen bestaat. De cirrus bevindt zich op dezelfde hoogte of bij uitsneeuwen zelfs lager dan de altocumulus. Dat botst dus enigszins met de klassieke indeling van wolkengeslachten, die cirrus situeert in de bovenste wolkenetage met op gematigde breedten een hoogte van 5-12 kilometer, terwijl altocumulus wordt gerekend tot de middelbare bewolking op 2-7 kilometer hoogte (KNMI, 1980). Figuur 2 laat een vliegtuigstraat zien, gefotografeerd in de omgeving van Manchester.

### MODIS-beelden

Vliegtuiggaten en -straten zijn zo nu en dan ook te zien op MODIS-beelden. Dat is overigens geen vanzelfsprekende zaak. Zo is het niet altijd duidelijk of je een gat in de bewolking zo maar mag toeschrijven aan een wisselwerking met het vliegverkeer. Daarnaast kan andere bewolking in de weg zitten: ze kan op de voorgrond het effect afschermen of op de achtergrond het contrast tussen het gat en de bewolking waarin het gat zit, verkleinen. Verder is het verschijnsel niet zo groot, zodat je je eigenlijk een hogere resolutie zou wensen dan de 250 meter waarover MODIS beschikt. Overigens is het verschijnsel toch ook al waargenomen op GOES-beelden met een resolutie van slechts 1 kilometer (Corfidi and Brandli 1986; Duda and Minnis 2002). Tenslotte hebben zowel waterwolken als ijswolken op zichtbaarlichtbeelden een witte tint, zodat een gat of een spoor in witte waterwolken, zeker in de beginfase, deels is opgevuld met witte, niet contrasterende cirrus.

### Oneigenlijke kleuren

Aan dat laatste is overigens wel wat te doen: we kunnen onze toevlucht nemen tot beeldpresentaties die een duidelijk onderscheid laten zien tussen waterwolken en ijswolken. Dat is bijvoorbeeld het geval bij de beelden in oneigenlijke kleuren die zijn gebaseerd op stralingsmetingen in de MODIS-banden 3 (blauw; 0,479 mm), 6 (kortgolvig infrarood; 1,652 mm) en 7 (kortgolvig infrarood; 2,155 mm). In de uiteindelijke beelden is

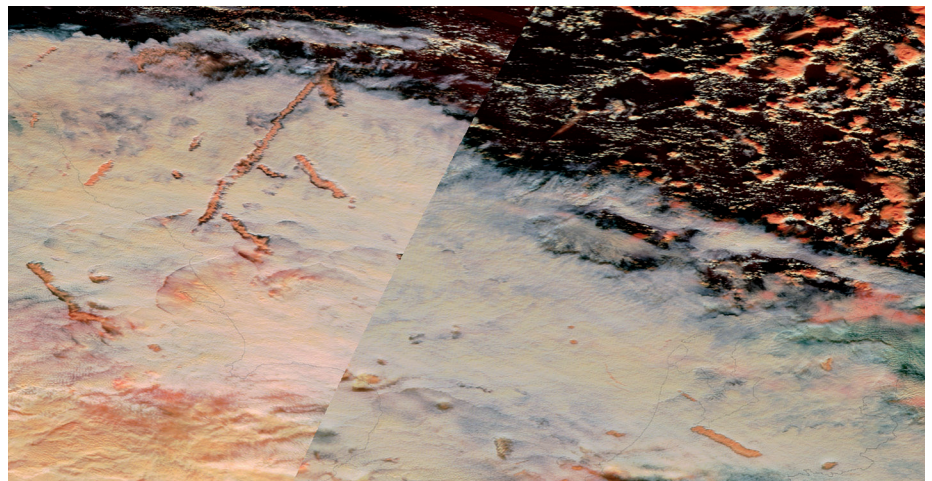


Figuur 2. Vliegtuigstraat (canal cloud), 4 september 2012, Hale, 15 kilometer ten zuidwesten van Manchester, Engeland. Foto: Vincent Phillips.

de kleur rood toegewezen aan informatie uit band 3, terwijl band 6 en 7 respectievelijk de kleuren groen en blauw van de monitor aansturen. Sneeuw en ijs reflecteren zeer goed in het zichtbaar licht en absorberen licht in het kortgolvig infrarood. Doordat band 3 de enige is die gereflecteerd zichtbaar licht toont, krijgen sneeuw en ijs een opvallende rode kleur. De kleine druppeltjes van waterwolken verstrooien het licht in alle drie de banden en zijn daardoor wit. Het kleurcontrast tussen de witte altocumulus rond de vliegtuiggaten en aan weerszijden van de vliegtuigstraten enerzijds en de roodgekleurde cirrus erin anderzijds is dan ook groot.

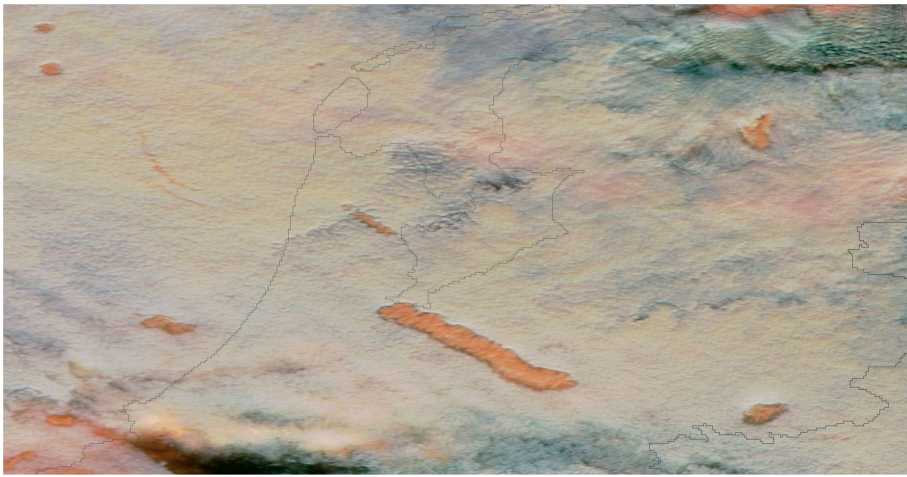
Figuur 3 geeft een voorbeeld van hoe vliegtuiggaten en -straten er op MODIS-367-beelden uit zien. Deze situatie van 6 november 2013 werd eerder beschreven op basis van satellietbeelden van METEOSAT en Suomi NPP door Kerk-

mann et al. (2013), die overigens het onderscheid tussen vliegtuigstraten (canal clouds) en distrails niet maken. Het MODIS-beeld is opgebouwd uit twee opeenvolgende overkomsten van de Terra-satelliet. We zien onder andere een vliegtuiggat boven de Achterhoek (rechtsonder) en een tweede meer naar het noorden boven Zuid-Drenthe (zie ook de uitvergroting van de bewolking boven Nederland in Figuur 4). Ten westen daarvan bevindt zich boven Utrecht en Het Gooi een vliegtuigstraat; een kleiner exemplaar ligt boven Noord-Holland. Boven Engeland en de Noordzee bevinden zich nog talrijke andere vliegtuiggaten en -straten; ze zijn op het MODIS-367-beeld veel makkelijker terug te vinden dan in Figuur 5 en andere MODIS-143-beelden in natuurlijke kleuren, gebaseerd op data uit de banden 1 (rood; 0,670 mm), 4 (groen; 0,565 mm) en 3.



Figuur 3. Satellietbeeld van vliegtuiggaten en -straten boven Nederland, de Noordzee en Engeland, 6 november 2013. Instrument: MODIS, banden 3, 6 en 7. Satelliet: Terra. Bron: NASA's Worldview.





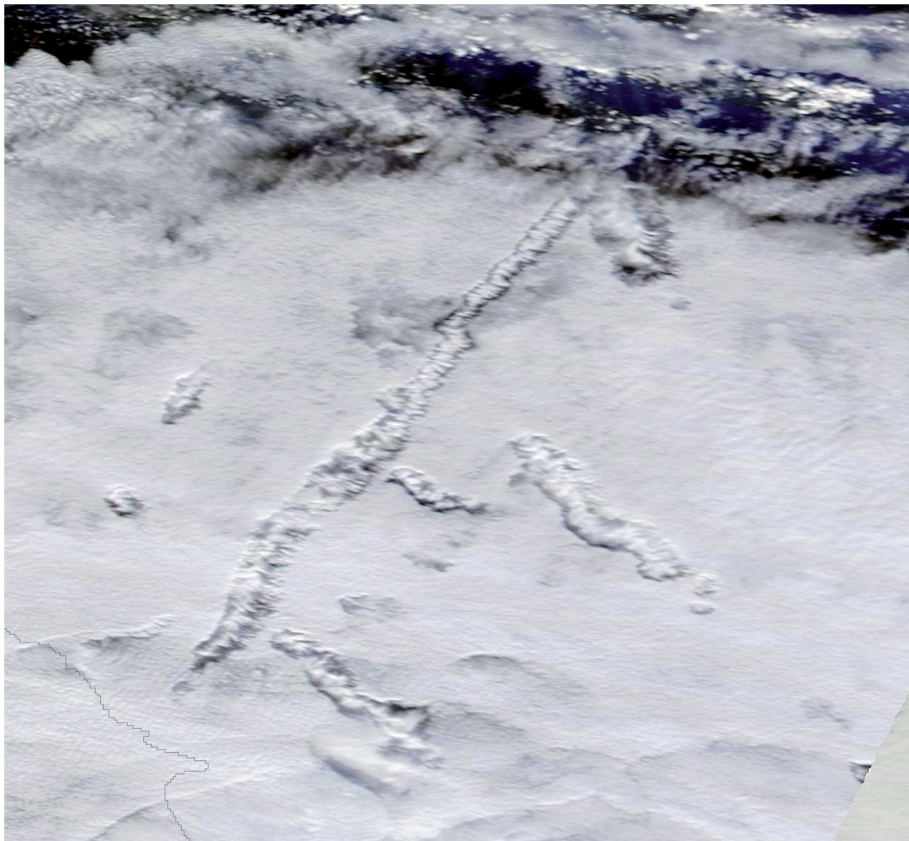
Figuur 4. Waterwolken met vliegtuiggaten en -straten, herkenbaar aan de rode tint van de bijbehorende cirrus. Detail uit Figuur 3, rechtsonder.

### MODIS-721

Het verschil tussen waterwolken en ijswolken is ook goed zichtbaar op MODIS-beelden in oneigenlijke kleuren gebaseerd op data uit de banden 7, 2 (nabij-infrarood; 0,876  $\mu\text{m}$ ) en 1. In de uiteindelijke beelden is de kleur rood toegewezen aan informatie uit band 7, terwijl band 2 en band 1 respectievelijk de kleuren groen en blauw van de monitor aansturen. De kleine druppeltjes van waterwolken verstrooien het licht weer in alle drie de banden en zijn daardoor wit. Sneeuw en ijs reflecteren goed in band 1 en 2, maar absorberen het licht in het kortgolvig infrarood (IR-B) van golflengteband 7; ze krijgen daardoor

deze beelden een markante blauwgroene tint.

Een voorbeeld van een MODIS-721-beeld met vliegtuiggaten en -straten is afgebeeld als Figuur 6. De situatie is van 29 november 2013, is ontleend aan het WDR-weerbericht van die dag en toont het verschijnsel boven Beieren in de omgeving van München. De noordzijde van de besneeuwde en daardoor in blauwgroene tinten weergegeven Alpen is onderin het beeld nog net te zien. Vergelijking van de hier getoonde weergave met de zichtbaarlichtbeelden in het TV-weerbericht van de WDR (2013) toont weer de meerwaarde van de hier gekozen



Figuur 5. Satellietbeeld in natuurlijke kleuren van vliegtuiggaten en -straten boven de Noordzee en Engeland, 6 november 2013. Vergelijk dit beeld met het gedeelte linksboven in Figuur 3. Instrument: MODIS, banden 1, 4 en 3. Satelliet: Terra. Bron: NASA's Worldview.

presentatie.

### Frequenties

Om gevoel te krijgen voor hoe vaak vliegtuiggaten en -straten op satellietbeelden voorkomen, verzamelde ik via zoekopdrachten op internet dagen waarop ze zich hadden voorgedaan boven Nederland of een van de ons omringende landen. De zoektocht leverde uiteindelijk 30 dagen op in de periode oktober 2003 - februari 2014. De meeste gevallen (25) zijn van 2011 of later. In de jaren daarvoor was het op internet plaatsen van weerfoto's kennelijk minder algemeen dan tegenwoordig; ook kunnen oudere opnamen weer verwijderd zijn. Sommige fotografen beschouwen het verschijnsel of hun foto daarvan als uniek; andere, vermoedelijk ervarener of beter geïnformeerde waarnemers, vermelden dat ze het verschijnsel geregeld zien. Hobbs (1985) voert een Californische waarnemer op, die vier maal een vliegtuiggat zag binnen zes maanden.

Van 6 van de 30 op de hier beschreven manier verzamelde dagen waren geen MODIS-beelden beschikbaar. In de helft van de 24 resterende gevallen was er niets te zien. Naast de genoemde factoren die de zichtbaarheid van het verschijnsel op satellietbeelden bemoeilijken, speelt ook een rol dat de vliegtuiggaten en -straten in sommige gevallen pas ontstaan na overkomst van de satelliet of ervoor al weer zijn opgevuld. Op de overige 12 dagen was het verschijnsel op MODIS-beelden te zien, zij het meestal lang niet zo duidelijk als op de bij dit artikel geplaatste satellietbeelden.

Heymans et al. (2011) gingen na hoe vaak de omstandigheden in de atmosfeer in een straal van 100 kilometer rond een aantal grote vliegvelden geëigend waren voor het optreden van vliegtuiggaten en -straten. Schiphol zat er niet bij, maar Londen Heathrow, Frankfurt en Parijs Charles de Gaulle wel. Ze kwamen voor de genoemde luchthavens uit op ongeveer 4 procent van de tijd, een getal dat vermoedelijk ook voor Schiphol van toepassing is. Het heeft dus, gezien deze schatting en gezien de ruime aanwezigheid van in Nederland genomen foto's van het verschijnsel op internet, zin om bij de aanwezigheid van dunne lagen altocumulus uit te kijken naar vliegtuiggaten en -straten.



## Wetenschappelijk geheugenverlies

Van de meteorologische literatuur is vanaf ongeveer 1990 nagenoeg alles digitaal beschikbaar en op te zoeken via internet. Voor eerder gepubliceerde waarnemingen en onderzoeksresultaten zijn we vaak nog aangewezen op papier. Vandaar dat NVBM-erlid Jon Wieringa tijdens het NVBM-symposium van november 2013 jonge onderzoekers oproep om ook af en toe eens een bibliotheek in te duiken. Zo voorkom je dat eerdere onderzoeksresultaten in de vergetelheid raken.

Wieringa blijkt niet de enige die het probleem onderkent. In een commentaar op de artikelen van Heymsfield et al. (2010, 2011), waarin ze het ontstaan en de ontwikkeling van vliegtuiggaten bespreken, wijst Hindman (2013) op het ontbreken van verwijzingen naar een door hem in 1968 reeds voorgesteld en door de auteurs omarmd circulatiemechanisme dat daarbij een rol speelt. Het mechanisme kwam in 1969 opnieuw ter sprake in een artikel dat verscheen in BAMS, - nota bene hetzelfde tijdschrift waarin veel later ook de bijdragen van Heymsfield et al. het licht zagen, - en waarnaar een verwijzing eveneens ontbrak. 'De auteurs kunnen dit BAMS-artikel uit 1969 gemakkelijk over het hoofd gezien hebben', zo vergoelijkt Hindman hun omissie, 'omdat het tijdschrift pas vanaf 1970 digitaal beschikbaar is'.

Het in de vergetelheid raken van eerdere publicaties is overigens niet iets van uitsluitend het digitale tijdperk. Hobbs (1985) geeft talrijke voorbeelden van publicaties uit de jaren 40, 50 en 60 van de vorige eeuw met foto's en mogelijke verklaringen van vliegtuiggaten en -straten. Wat ze gemeen hebben is dat er in geen van de artikelen wordt verwezen naar een van de eerdere publicaties; Zwart (1969), niet bekend in de Verenigde Staten door de taalbarrière en/of de te laag ingeschatte impactfactor van het Nederlandstalig tijdschrift *Hemel en Dampkring*, vormt hierop een overtuigende uitzondering. En ondanks de vele meldingen bleef het verschijnsel onder wolkenfysici nagenoeg onbekend. Hobbs waagt zich dan ook aan de voorspelling dat de vliegtuiggaten nog vele malen herontdekt zullen worden; dankzij de internetfoto's en de daarbij geplaatste toelichtingen kunnen we tegenwoordig inderdaad van verscheidene van deze herontdekkingen getuige zijn. 'Is er nog wel iets nieuws, naast alles wat is vergeten?', zo verzucht Hobbs. Hij karakteriseert het gebeuren als wetenschappelijk geheugenverlies.

### Literatuur

Duda, D. P., and P. Minnis, 2002: Observations of aircraft dissipation trails from GOES. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 398-406.

Gosnell, M., 2007: Flight Lines, Why contrails hang around. *Air and Space Magazine*, juli 2007.

Heymsfield, A.J. et al., 2010: Aircraft-induced hole punch and canal clouds: Inadvertent cloud seeding. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91 (6), 753-766.

Heymsfield, A.J. et al., 2011: Formation and Spread of Aircraft-Induced Holes in Clouds. *Science* 333, 1 July.

Hindman, W., 2013: Comments on "Aircraft-Induced Hole-Punch and Canal Clouds: Inadvertent Cloud Seeding", *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 94 (9), 1407.

Hobbs, P.V., 1985: Holes in clouds, a case study of scientific amnesia. *Weatherwise* oktober 1985, 254-258.

KNMI, 1980: *Wolkenatlas*, 's-Gravenhage.

Pedgley, D.E., 2008: Some thoughts on fallstreak holes. *Weather* 63 (12), 356-360.

R.M.P. 1948: Man made cirrus? *Weather* 3, 232.

Schumacher, V. C., 1940: Beobachtungen an einer Altkumulusdecke. *Z. Angew. Meteor.* 57, 214-220.

Zwart, B., 1969: Door vliegtuigen veroorzaakte gaten in wolkenbanken. *Hemel en Dampkring* 67, 242-249.

### Internet

AMS, z.j.: Dissipation trail, Glossary of Meteorology. <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Distrail>

Kerkmann, J. et al., 2013: Distrails over Central Europe. [https://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT\\_2085276.html](https://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT_2085276.html)

NASA, z.j.: Worldview. <https://earthdata.nasa.gov/labs/worldview/>

WDR, 2013: Weerbericht van 29 november 2013. [www.youtube.com/watch?v=T1cbvHGvDI](http://www.youtube.com/watch?v=T1cbvHGvDI)

### Voetnoten

<sup>1</sup> Verscheidene Amerikaanse auteurs houden 1919 aan, het jaar waarin de waarneming uit 1915 werd gepubliceerd.

<sup>2</sup> Volgens Hobbs (1985) bevat Cave (1926) al een foto van een vliegtuiggat. Pedgley (2008) schrijft echter dat de verzamelingen wolkenfoto's uit de jaren 20 van de vorige eeuw, waaronder de expliciet genoemde van Cave (1926), geen voorbeelden bevatten van vliegtuiggaten. Cave's boek [Cave, C.J.P., 1926: *Clouds*, Cambridge] kon ik niet vinden in de KNMI bibliotheek; daarom houd ik hier, net als de meeste geraadpleegde auteurs, Schumacher (1940) aan als oudste bron.

<sup>3</sup> Een van de eerste Nederlandse waarnemers die een vliegtuiggat beschreef, karakteriseerde het verschijnsel als een wak in de bewolking. Doordat 'wolkenwak' in 2013 met een andere betekenis werd gekozen tot weerwoord van het jaar, heb ik het woord wak in de tekst vermeden.



Figuur 6. Satellietbeeld van vliegtuiggaten en -straten boven Beieren, omgeving München, 29 november 2013. Instrument: MODIS, banden 7, 2 en 1. Satelliet: Terra. Bron: NASA's Worldview.