

Pilotengaten

Vliegtuigen boren soms een gat in een laag middelbare bewolking waar ze kort na vertrek of vlak voor de landing doorheen vliegen. Eerst is zo'n gat gevuld met sluierbewolking, maar als deze na verloop van tijd is verdwenen, resteert er op de plek van de uitsparing uitsluitend blauwe lucht. De vliegtuiggaten, vaak ook pilotengaten genoemd, zijn niet alleen waarneembaar vanaf het aardoppervlak, maar ook terug te vinden op satellietbeelden. Vrij recent werden er weer enkele duidelijke voorbeelden gesignaleerd.

Door Kees Floor

De kleurrijke foto van figuur 1 laat zo'n recent vliegtuiggat of pilotengat zien, waargenomen op 3 november 2014 in Korumburra, (Victoria, Australië) in middelbare bewolking op een hoogte van 2 tot 6 kilometer. Dit type bewolking, meteorologen spreken van *altocumulus*, bestaat uit kleine waterdruppeltjes waarvan de temperatuur 10 tot 20 graden onder het vriespunt ligt. De algemeen als juist aanvaarde regel dat water bevriest bij nul graden, zodat zich ijs afzet tegen voorwerpen en vegetatie of er zich een laagje ijs vormt op plassen en open water, geldt namelijk niet voor het water in bewolking. Daar moeten er geschikte vuildeeltjes, zogeheten vrieskernen, aan te pas komen om bevroering op gang te brengen. Naarmate de temperatuur lager is, is het aantal soorten deeltjes dat als vrieskern kan dienen groter en neemt ook de kans op spontane bevroering, dus zonder tussenkomst van een vrieskern, toe.

Cirrusbewolking

In het pilotengat van figuur 1 bevindt zich eveneens bewolking. Deze zogeheten cirrusbewolking ziet er echter duidelijk anders uit; ze is gedrapeerd in vage sluiers en bestaat uit ijskristallen. De ijskristallen zijn ontstaan uit de waterdruppeltjes van de *altocumulus*slaag en zijn iets warmer dan die wolken- druppeltjes; bij het bevroeren van water komt namelijk warmte vrij die de temperatuur van de kristallen en de lucht



Figuur 1: Pilotengat met halo, 3 november 2014, Korumburra, Victoria, Australië. (Foto: David Barton)

eromheen iets doet oplopen. Het 'water' dat we zien op de foto is dus, tegen de verwachting in, iets kouder dan het ijs op diezelfde foto! Ook zijn we niet gewend dat de cirrusbewolking op dezelfde hoogte zit als de *altocumulus* bewolking. Cirrus is een variant van hoge bewolking, die zich doorgaans op grotere hoogte zal bevinden dan de middelbare bewolking, waartoe *altocumulus* wordt gerekend.

Het bevroeren van de wolken- druppeltjes in het vliegtuiggat is een direct gevolg van de doorkomst van een vliegtuig; de wolken- gaten worden dan ook vooral waargenomen in een straal van ongeveer 100 kilometer rond vliegvelden. Achter de vleugels van het vliegtuig, en bij propellervliegtuigen vooral ook achter de propellers, zet de lucht uit en koelt daarbij flink af, soms wel zo'n 20 graden. Door die temperatuurdaling kan er in veel gevallen ook spontane bevroering optreden. De uitstoot van het vliegtuig, waarin zich mogelijk vrieskernen zouden kunnen bevinden, speelt geen rol. Als er eenmaal ijskristallen zijn gevormd, groeien deze aan ten koste van eventueel nog aanwezige waterdruppels, die vrij snel zijn verdwenen. Het mechanisme dat hier werkzaam is, staat bekend als het Bergeron-Findeisenproces, genoemd naar de meteorologen die het als eersten waarnamen en beschreven.

Er zijn gevallen bekend waarin de sneeuw uit de cirrus in de vliegtuiggaten zelfs de grond bereikte.

Valstrepen en halo's

Uit de na de passage van een vliegtuig gevormde ijswolk vallen sommige kristallen als sneeuw naar beneden. Onder zo'n wolk zijn daardoor meestal zogeheten valstrepen zichtbaar. In Engelstalige artikelen noemt men de pilotengaten dan ook vaak *fallstreak holes* (valstreep- gaten). Er zijn gevallen bekend waarin de sneeuw uit de cirrus in de vliegtuiggaten zelfs de grond bereikte. Na het ontstaan groeien de gaten nog ongeveer een half uur geleidelijk uit om een maximale diameter te bereiken in de orde van 5 kilometer. De levensduur bedraagt gewoonlijk 1 à 2 uur, al zijn er ook gevallen bekend waarin het pilotengat 3 uur lang zichtbaar was.

Figuur 1 bevat nog een extra aanwijzing dat de cirrusbewolking in het pilotengat bestaat uit ijskristallen. In ijswolken doen zich namelijk geregeld kleurrijke haloverschijnselen voor, vaak voorzien van ingewikkelde namen. Ook hier is dat weer het geval. Het gaat vermoedelijk om een zogeheten circumhorizontale boog. Net als bij andere gekleurde halo's bevindt de rode rand zich aan de kant van de zon, die zich ergens ver boven de



Figuur 2: Pilotengat boven Las Vegas, 3 november 2014. (Foto: Jason Hill)

bovenrand van de foto moet bevinden. Andere halovormen die geregeld worden waargenomen in de cirrus en de valstrepen van pilotengaten, zijn de vrij algemene bijzonnen en de minder vaak optredende circumzenitale boog. Het optreden van halo's in pilotengaten is overigens eerder uitzondering dan regel. Meestal heeft de bewolking in en buiten het pilotengat eenzelfde witte tint. Dat zien we bijvoorbeeld op het lange-

rechte vliegtuiggat, eveneens van 3 november 2014. Ditmaal boven Las Vegas (figuur 2).

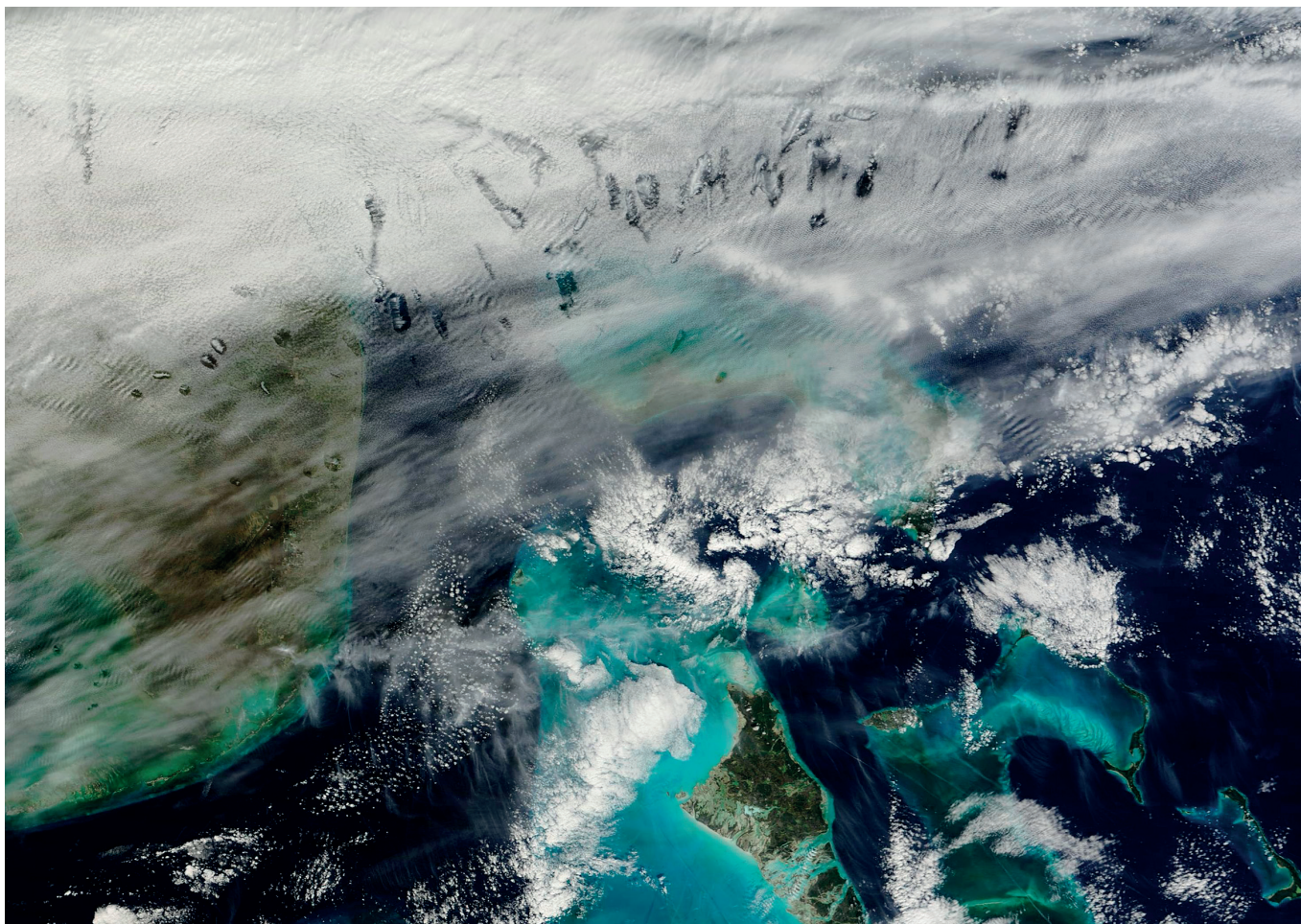
Meer gevallen

Een derde geval van vliegtuiggaten, nu boven Florida en het zeegebied rond de Bahama's, dateert van 12 december 2014. In dat gebied bevinden zich verscheidene belangrijke luchthavens, zoals Miami International, Fort Lauderdale Internati-

onal, Grand Bahama International en Palm Beach International. De vliegtuiggaten komen onder andere voor op de MODIS-beelden van die dag van de Amerikaanse aardobservatiesatelliet Terra (figuur 3).

De gaten zijn in het bovenste gedeelte van het satellietbeeld zowel te zien boven het vasteland van Florida als boven de oceaan. Vaak zijn de gaten rond of ovaal, maar naarmate het vliegtuig grotere afstanden door de wolkenlaag aflegt, worden de gaten langgerechter (zoals ook in figuur 2), soms zelfs lijnvormig. In de meeste gaten zien we tevens de sluierbewolking. Hoogstwaarschijnlijk is die voorzien van valstrepen, maar vanuit een satelliet, dus van boven, is dat natuurlijk niet te zien.

De vliegtuiggaten treden vooral op in de buurt van drukke luchthavens. We hoeven daarvoor overigens niet af te reizen naar Australië of de Verenigde Staten. Ook rond vliegvelden als Schiphol, Rotterdam, Eindhoven, Zaventem of Charleroi kunnen we ze geregeld verwachten. Op 28 februari vorig jaar was dat bijvoorbeeld het geval in het westen van Nederland (figuur 4), wat op de redacties van de NOS en RTL-weer een stroom aan weerfoto's met pilotengaten opleverde.



Figuur 3. MODIS-beeld in natuurlijke kleuren van pilotengaten boven Florida en bij de Bahama's, 12 december 2014. (Bron: NASA)



Figuur 4: Pilotengat, 28 februari 2015, Madurodam, Den Haag, Nederland. (Foto: Martijn Souman)

Op het satellietbeeld van de Terra was het verschijnsel boven de Noordzee ook te zien. Op beelden in natuurlijke kleuren (figuur 5) is het onderscheid tussen waterwolken en ijswolken soms overigens moeilijk te maken. Beide soorten bewolking reflecteren namelijk veel van het zonlicht dat erop valt en zijn daardoor wit van tint. Wanneer waarnemingen in het zichtbaar licht worden aangevuld met meetresultaten uit het infrarood, is het verschil wel goed zichtbaar te maken (figuur 6). Wolken die uit ijs bestaan, zoals de bewolking in figuur 6 linksboven en rechtsonder, hebben op de zo samengestelde satellietbeelden een turquoise tint; waterwolken zijn vrijwel wit. De altocumulusbewolking rond de vlieg-

tuiggaten is dus wit, de cirrus in de gaten turquoise.

Aanvankelijk was het een raadsel waar die gaten in de altocumulusbewolking vandaan kwamen of hoe ze ontstonden.

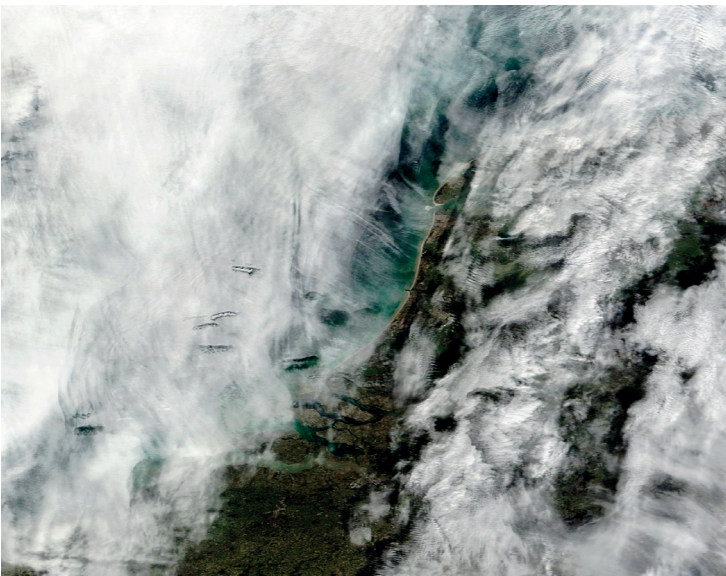
Geschiedenis

Vliegtuiggaten in bewolking werden voor het eerst waargenomen boven Duitsland in 1939; de eerste waarneming uit Nederland dateert van 1942. Aanvankelijk was het een raadsel waar die gaten in de altocumulusbewolking vandaan kwamen of hoe ze ontstonden.

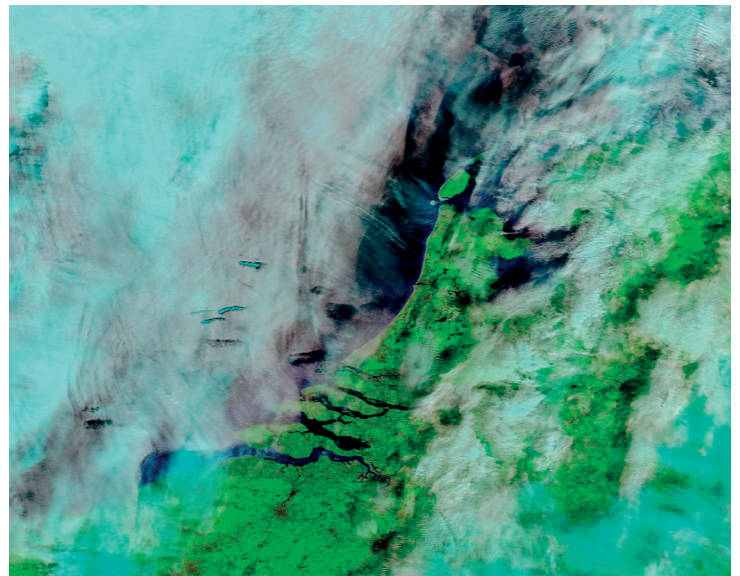
Doordat ze pas 10 tot 20 minuten na de doorkomst van een vliegtuig zichtbaar worden, was de link met luchtvaart niet meteen gelegd en duurde het tot eind jaren veertig tot iemand zo'n verband opperde. Toch deden ook daarna nog allerlei uiteenlopende verklaringen de ronde, zoals atoomproeven, meteoren, vliegende schotels, restanten van tropische cyclonen, uit vliegtuigen gegooid ballast en vrieskernen die op natuurlijke of kunstmatige wijze van boven af in de wolk terecht waren gekomen. Dat vliegtuigen de aanzet geven tot de bevroering van de waterdruppeltjes in de altocumuluswolken, werd in de jaren tachtig vrij algemeen geaccepteerd. Waarom de gaten zo duidelijk aanwezig zijn en zulke scherpe randen hebben, werd echter pas enkele jaren geleden afdoende verklaard. Door de temperatuurstijging van de lucht ten gevolge van de vrijkomende bevroeringswarmte ontstaat een luchtcirculatie met opstijgende luchtbewegingen in het midden van het gat en dalende bewegingen aan de randen. Die neerwaartse bewegingen helpen het gat scherp te houden door de verdamping van waterdruppels te bevorderen, een proces dat vergelijkbaar is met het oplossen van bewolking door dalende luchtbewegingen in hogedrukgebieden.

Zelf waarnemen

De omstandigheden rond de vliegvelden van Nederland en België zijn naar schatting gedurende 4 procent van de tijd geschikt voor de vorming van pilotengaten. Alle reden dus om ook zelf naar het verschijnsel uit te kijken en het zo mogelijk te fotograferen.



Figuur 5: MODIS-beeld in natuurlijke kleuren van pilotengaten boven de Noordzee voor de kust van Zeeland en Zuid-Holland, 28 februari 2015. (Bron: NASA)



Figuur 6: MODIS-beeld in oneigenlijke kleuren van pilotengaten boven de Noordzee voor de kust van Zeeland en Zuid-Holland, 28 februari 2015. (Bron: NASA)