



Bewolkingspatronen achter bergachtige eilanden

C. Floor

Gelijkmatige luchtstromingen boven oceanen kunnen verstoord worden door bergachtige eilanden, die als obstakel fungeren.

Satellietfoto's laten zien dat zich achter zulke obstakels in een aantal gevallen een prachtig patroon met wervels vormt.

Daarnaast geven dezelfde eilanden soms aanleiding tot „boeggolfvormige” opklaringsgebieden, terwijl nu en dan een of twee wolkenpluimen zichtbaar zijn.

Wervelpatronen, zoals zichtbaar op fig. 1 en 2, werden voor het eerst gezien met behulp van de Amerikaanse weersatelliet TIROS V in 1962.

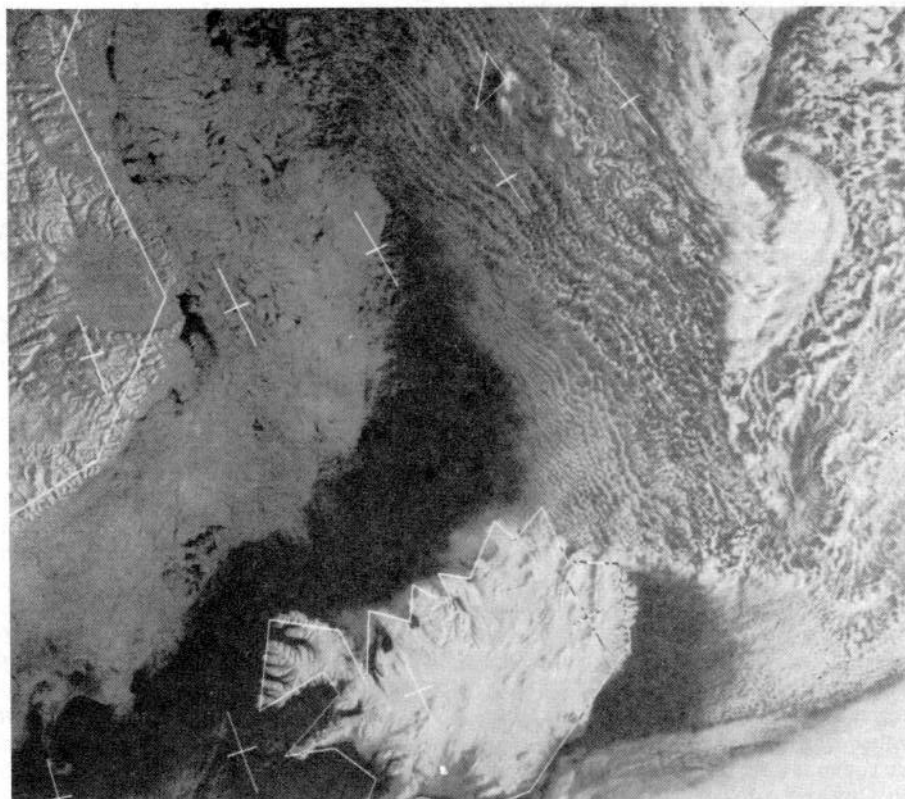
Voor die tijd was het verschijnsel niet waarneembaar. De bewolkingspatronen zijn te kleinschalig om ze te kunnen terugvinden op een weerkaart, temeer daar de waarnemingsgegevens in de gebieden waar het wervelpatroon voorkomt erg schaars zijn. De wervels zijn echter weer te groot om door waarnemers vanaf sche-

pen of vanuit vliegtuigen als zodanig herkend te worden.

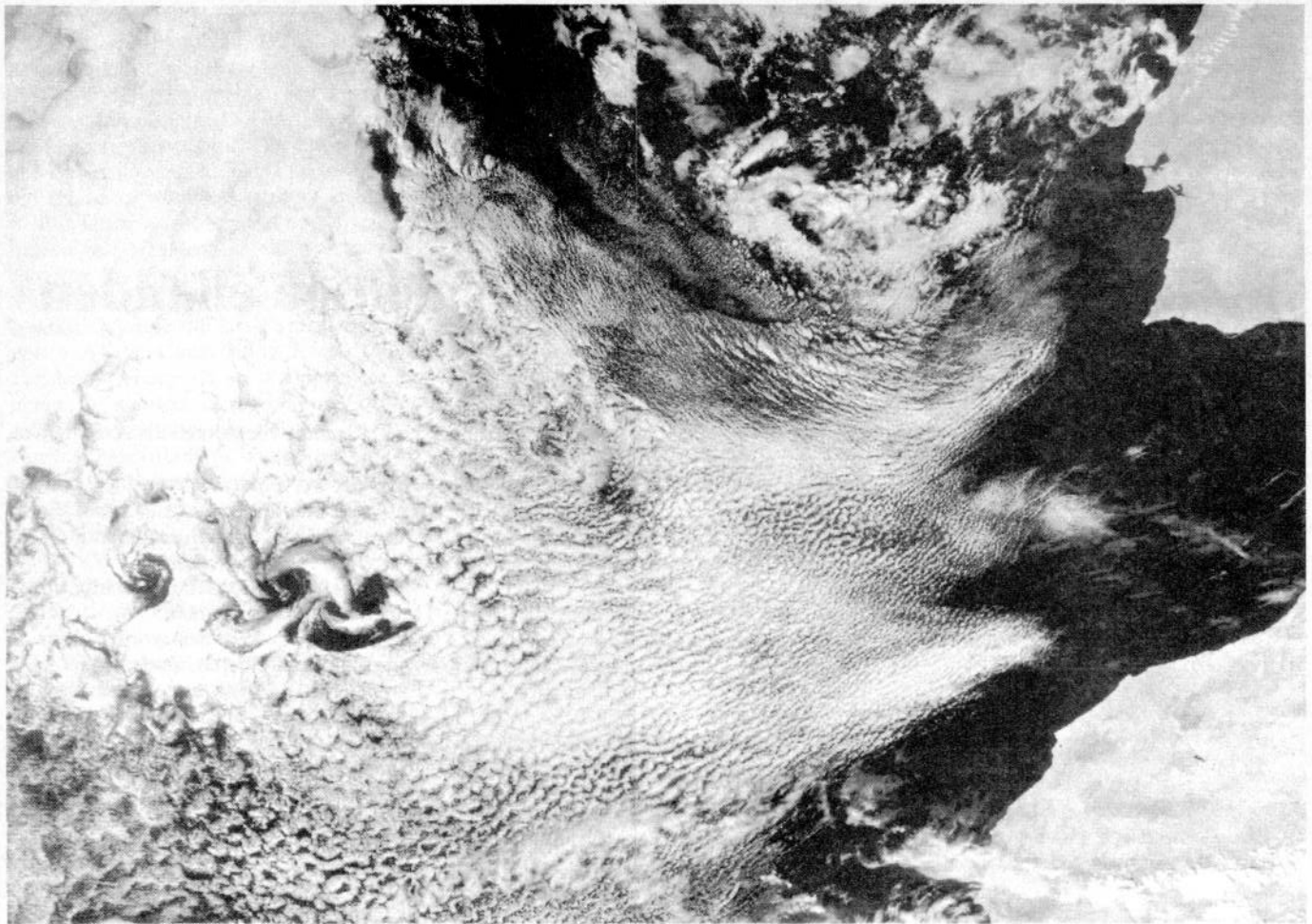
Zo is het wervelpatroon van fig. 1 ca. 500 km lang; dat van fig. 2 ca. 400 km. Beide wervelpatronen worden regelmatig op satellietfoto's waargenomen.

wervelpatronen worden regelmatig op satellietfoto's waargenomen.

De foto's die verzonden worden door de zgn. polaire satellieten, zoals de NOAA 6 en 7, en die te De Bilt op routinebasis ontvangen worden, tonen het verschijnsel regelmatig, voornamelijk achter Jan Mayen in de Groenlandzee tussen Groenland en Lapland/Spitsbergen en achter Madeira voor de Noord-afrikaanse kust. Andere eilanden waarachter de wervelpatronen zijn waargenomen (volgens de literatuur) worden gegeven in de tabel. Voor de weerdienst in De Bilt zijn naast Madeira en Jan Mayen ook de Canarische eilanden nog interessant; al deze eilanden komen namelijk zo nu en dan op de Biltse foto's voor.



Figuur 1: Wervelweg van Von Kármán achter Jan Mayen op 10 maart 1983, ca. 10.15 G.M.T. Opname van de weersatelliet NOAA 6.



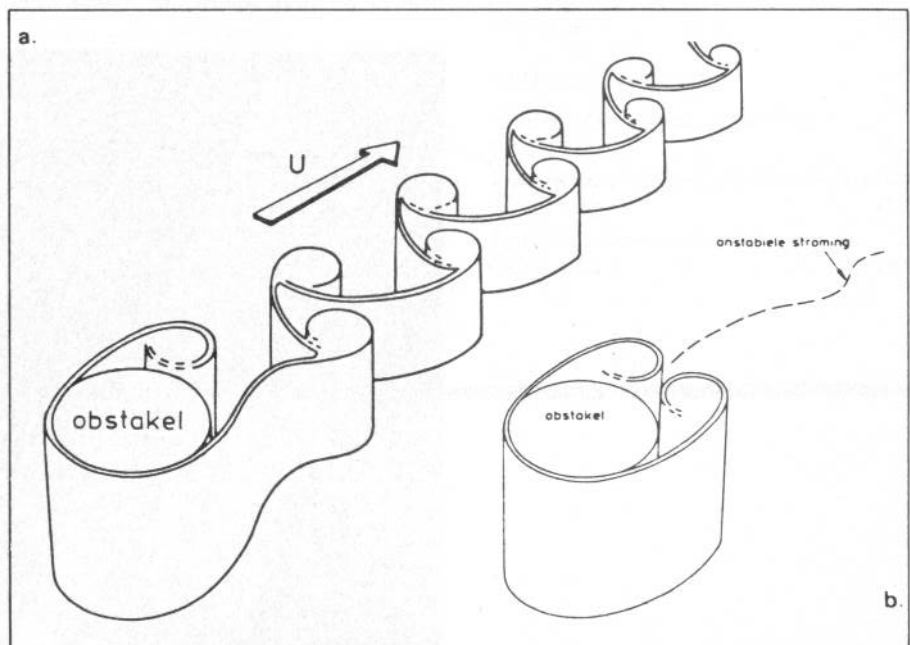
Figuur 2: Stromingspatronen in een noordoostelijke luchtstroming achter Madeira en de Canarische eilanden. Opname van de weersatelliet NOAA-7, 28 februari 1983, ca. 15.30 G.M.T.

Wervelweg van Von Kármán

Het verschijnsel dat er zich wervelpatronen vormen in een gelijkmatige stroming achter een obstakel is bekend uit de stromingsleer. De wervels ontstaan afwisselend aan de linkerkant en aan de rechterkant van het obstakel, laten los en worden vervangen door een nieuw gevormde wervel (fig. 3a).

Zo vormt zich een patroon dat bestaat uit twee bijna evenwijdige rijen wervels; de afstand tussen de hartlijnen van de wervelrijen is gelijk aan de diameter van het obstakel. In beide rijen volgen de wervels elkaar zo op, dat de onderlinge afstanden ongeveer gelijk zijn. Wervels van één rij hebben dezelfde draairichting; deze draairichting is tegengesteld aan die van een wervel uit de andere rij.

Een dergelijk stromingspatroon staat bekend als „wervelweg van Von Kármán”. Théodore Von Kármán was een natuurkundige van Hongaarse afkomst, die in 1911 voor het eerst een wiskundige beschrijving gaf van het verschijnsel. De wervels van Von Kármán vormen de verklaring van zwiptonen van de wind die tegen takken of touwen blaast; ze veroorzaken ook het lawaai van de imperial op de rijdende auto en ze maken het zo moeilijk om een roeispaan strak door het water te trekken. Vóór Von Kármán hadden anderen zich al met de naar hem genoem-



Figuur 3a: Schematische voorstelling van een wervelweg van Von Kármán, ontstaan achter een obstakel in een gelijkmatige stroming door het afwisselend loslaten van wervels aan de lijkzijde van het obstakel.

Figuur 3b: Stromingspatroon achter een obstakel bij een geringe stroomsnelheid. In de onstabile stroming achter het obstakel kan zich een wervelweg van Von Kármán vormen.

de wervels bezig gehouden. Reeds in de tiende eeuw bouwde aartsbisschop

Dunstan van Canterbury (die volgens de overlevering meer tijd stak in het beoefe-

nen van muziek en natuurwetenschap dan in het houden van preken) een windharp of Aeolusharp. De snaren van deze harp werden door de wind bespeeld onder vorming van Von Kármán wervels. De aartsbisschop laadde hiermee echter de verdenking van tovenarij op zich en hij moest asiel zoeken in België. In de tijd van de romantiek raakte het instrument weer in zwang en ook in ons land stonden in de vorige eeuw bij een aantal buitenverblijven windharpen opgesteld.

Een andere voorganger van Von Kármán was Leonardo da Vinci, die het verschijnsel noemt in zijn verhandeling „Del moto e misura dell'acqua”.

In de huidige tijd staat het verschijnsel in de belangstelling in verband met trillingen die onverwacht bleken op te treden bij hoogspanningskabels, fabrieksschoorstenen, sloopschroeven, periscopen van onderzeeboten en raketten die klaar stonden voor lancering. Ook het instorten van de gloednieuwe Tacoma Narrows brug in het najaar van 1940, bekend door de film die ervan werd gemaakt, wordt aan Von Kármán wervels toegeschreven.

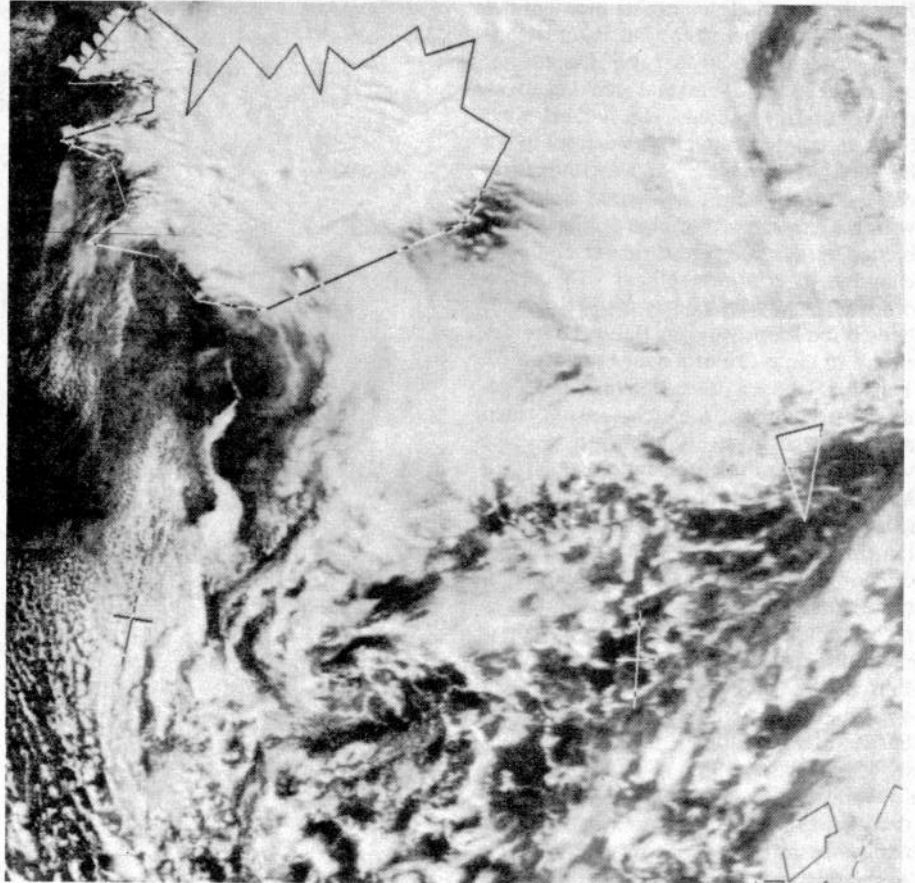
Een wervelpatroon zoals in fig. 3a ontstaat in het laboratorium alleen bij bepaalde aanstroomsnelheden „U” uit om en om loslatende wervels. Bij lagere aanstroomsnelheden laten de wervels niet meer los (fig. b); wel kan dan weer een vergelijkbaar wervelpatroon ontstaan in de onstabiele stroming achter het obstakel.

Von Kármán wervels op satellietfoto's

Ook in de meteorologie komen wij de wervelweg van Von Kármán weer tegen. Het patroon vormt zich soms aan de lijzijde van bergachtige eilanden in gelaagde bewolking (stratocumulus) aan de oostzijde van subtropische hogedrukgebieden (fig. 2). Daarnaast treffen we het aan in de wolkenstratenpatronen op hogere breedten (fig. 1).

In enkele gevallen is hooggebergte nabij de kust voldoende om een wervelpatroon te veroorzaken (fig. 4). Voorwaarde voor het ontstaan van een wervelweg van Von Kármán is de aanwezigheid van een sterke inversie.

Het eiland dat de wervels veroorzaakt moet hoog genoeg zijn om door de inversie heen te prikken; vandaar dat de tabel bijna uitsluitend eilanden bevat met een hoogte van 1500 m of meer. Verder moet er een gelijkmatige luchtstroming in de luchtlaag onder de inversie voorkomen met windsnelheden tussen 5 en 15 m/s; bij lagere snelheden vormen de wervels zich niet altijd, bij hogere snelheden kunnen gevormde wervels zich niet handhaven. Als de wervels eenmaal gevormd zijn bewegen ze met de luchtstroming mee. Ze verdwijnen weer als ze in een gebied terecht komen waar de luchtstroming of de temperatuuropbouw van de atmosfeer te sterk afwijkt van de toestand in de omgeving van het eiland waar ze gevormd werden. Verder kunnen ze ook ver-



Figuur 4: Wervelweg van Von Kármán in een noordelijke luchtstroming achter IJsland, 17 april 1983; ca. 16.00 G.M.T. Opname van de weersatelliet NOAA-7.

dwijnen door verweven te raken met een andere wervel; omdat naburige wervels (in verschillende rijen) tegengestelde draairichtingen hebben doven ze elkaar als het ware uit.

Een mooi geval van een wervelweg van Von Kármán op een satellietfoto deed zich voor achter Jan Mayen op 10 maart 1983 (fig. 1).

Over het eiland, dat op de foto wordt gemarkeerd door een witte driehoek, stond een noordelijke luchtstroming, die in stand werd gehouden door een hogedrukgebied boven het zeegebied tussen Groenland en IJsland en een lagedrukgebied ten noorden van Lapland. Voor de wolkenstraten in de stroming is achter Jan Mayen een patroon van Von Kármán-wervels in de plaats gekomen. Uit de radiosonde-opstijging van 12 uur GMT blijkt dat zich op een hoogte van iets meer dan 1000 m een inversie bevindt. De hoogte van de Berenberg op Jan Mayen bedraagt 2545 meter, zodat ruimschoots voldaan is aan de eis dat het obstakel door de inversie heen moet prikken.

Fig. 2 toont een wervelweg van Von Kármán achter Madeira op 28 februari 1983. Een hogedrukgebied dat al enkele dagen boven het zeegebied ten westen van Portugal lag, houdt boven Madeira en de Canarische eilanden een noordoostelijke stroming in stand. Niet alleen achter

Madeira, ook achter de Canarische eilanden ziet men het begin van een wervelpatroon. De wervelpatronen werden op 28 februari voor de derde achtereenvolgende dag waargenomen achter de genoemde eilanden, wat een indruk geeft van de mogelijke levensduur van de patronen.

Fig. 4 laat een wervelpatroon in een noordelijke stroming achter IJsland zien op 17 april 1983. Vlak bij de zuidkust van IJsland ligt de 1666 m hoge Eyjafalla-jökull, die in dit geval als obstakel in de stroming fungeert.

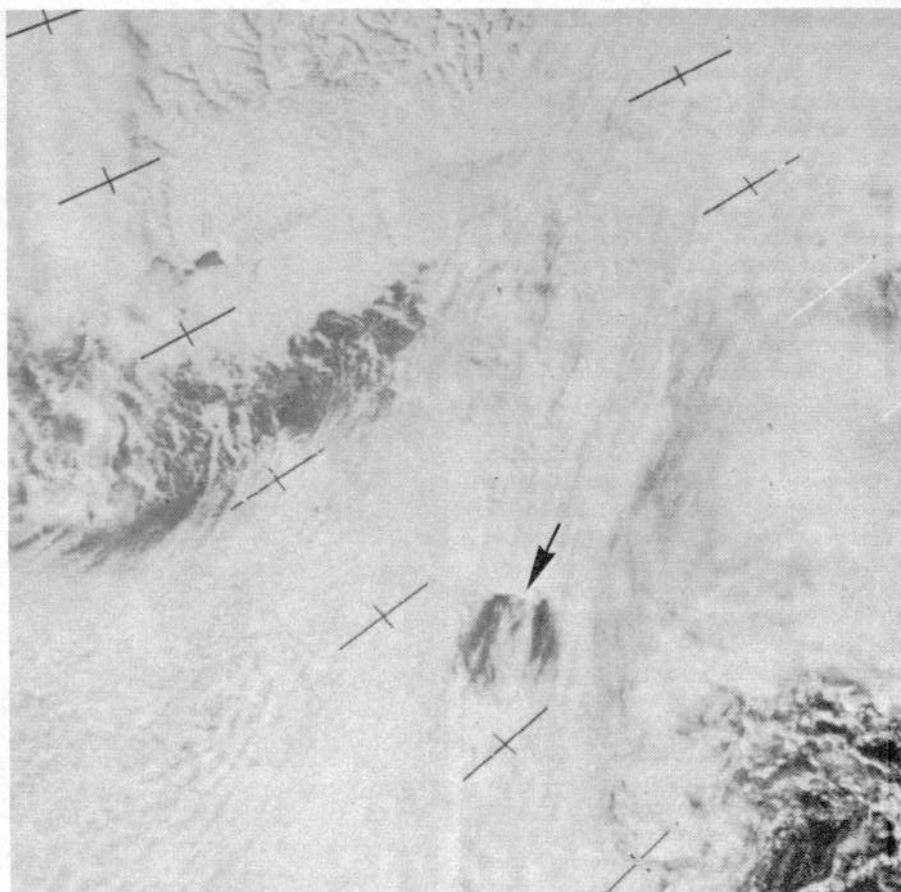
Het bewolkingspatroon op deze foto wordt veroorzaakt door onstabieleit in de stroming achter het obstakel (vgl. fig. 3b); de wervelpatronen van fig. 1 en 2 zijn ontstaan uit om en om loslatende wervels zoals schematisch weergegeven in fig. 3a.

Andere eilandeffecten

Naast een wervelweg van Von Kármán kunnen ook andere effecten veroorzaakt worden door bergachtige eilanden die zich als obstakel in een luchtstroming bevinden. Op fig. 5 is te zien dat er in de luchtstroming achter Jan Mayen (zie pijl) opklaringsgebieden voorkomen die ontspringen bij het eiland.

Hetzelfde verschijnsel is mooi zichtbaar bij de Canarische Eilanden in de opname van fig. 2.

De wolken verdwijnen op het moment dat ze de eilanden bereiken. Dit is onder andere duidelijk zichtbaar bij Lanzarote; achter het eiland ontstaat een kegelvormig opklaringsgebied. Het geheel doet denken aan de boeg golf van een schip. In het opklaringsgebied ligt Fuerteventura, dat daardoor vanuit de ruimte zichtbaar wordt. De boeggolfvormige opklaringsgebieden veroorzaakt door de verschillende eilanden overlappen elkaar. De scheidslijn tussen gebieden met en zonder bewolking loopt van Las Palmas over Tenerife en Gran Canaria naar Lanzarote. Tenslotte dienen de wolkenpluimen genoemd te worden, die zich soms vormen achter bergachtige eilanden ten gevolge van verticale tubulente bewegingen. Meestal gaat het om één wolkenpluim, (niet afgebeeld) maar in bijzondere gevallen (bij afname van de windsnelheid met de hoogte) kunnen er twee wolkenpluimen ontstaan, stroomafwaarts links en rechts van het eiland. (fig. 5).



Figuur 5: Opklaringsgebied achter Jan Mayen met twee wolkenpluimen, 25 maart 1983 ca. 12.15 G.M.T. Opname van de weersatelliet NOAA-7.

Een eerdere versie van dit artikel verscheen als „stromingspatronen achter bergachtige eilanden” in Zenit 10, blz. 62-65, (februari 1983). De hier getoonde foto-illustraties zijn echter nieuw; ze werden gemaakt met de nieuwe satellietontvangstapparatuur van het KNMI, die sinds, december 1982 officieel in gebruik is, door Mevrouw L. P. M. van den Berg, G. Boog, W. J. Dammers, H. A. T. Donker, F. K. Drechsler, G. K. Gaudart, Tj. Langerveld en R. J. Kamminga.

Literatuur

Anderson R. K. e.a. (1974)
„Application of meteorological satellite data in analysis and forecasting”
ESSA Techn. Report NESC 51, Washington, D.C.

Berlin P. (1981)
„Meteosat tracks Kármán Vortex Streets in the atmosphere” ESA bulletin 25, 16-19.

Fett R. W. en W. F. M. Mitchell (1977)
„Navy tactical applications guide Vol. I. Techniques and Applications of Image Analysis”. Washington D.C.

Goroch A. en R. W. Fett (1982)
„Shear induced flows in the lee of an island”
First International Conference on Meteorological and Air/Sea interaction of the Coastal Zone, Den Haag, 181-184.

Minnaert M. (1970)
„De natuurkunde van 't vrije veld”
Deel 2, 70 e.v.; deel 3, 136 e.v. Zutphen.

Moll H. G. (1971)
„Die atmosphärische Umströmung Madeiras” Beitr. Phys. Atm. 44, 227-244.

Tabel

Eilanden waarachter een wervelweg van Von Kármán is waargenomen, hun hoogte in meters en hun ligging.

Atlantische Oceaan

<i>Tussen Groenland en Lapland</i>	
Jan Mayen	2545
<i>Voor de kust van Marokko</i>	
Madeira	1861
<i>Canarische eilanden, voor de westkust van Noord-Afrika</i>	
Las Palmas	2423
Tenerife	3718
Gran Canaria	2602
<i>Kaap Verdische eilanden, voor de westkust van Afrika</i>	
Fogo	2829
Santo Antás	1979

Indische Oceaan

<i>Ten oosten van Madagascar</i>	
Réunion	3069
Mauritius	826

Stille Oceaan

<i>Voor de Amerikaanse west-kust</i>	
Socorro	1130
<i>Voor de kust van Zuid-Californië (Mexico)</i>	
Guadaloupe	1402
<i>Ten zuiden van Korea</i>	
Cheju-eiland	1950