

Onderzon en ondermaan



Figuur 1: Deze bijzonder goed gevormde onderzon vertoont zich als een bijna volmaakt spiegelbeeld van de zon. Dit is hoogst zeldzaam omdat dit vereist dat de spiegelende vlakken van de zwevende ijskristallen onderling perfect parallel zijn. Deze foto is gemaakt door de auteur op een vlucht van Amsterdam naar Rhodos in 1971.

G.P. Können

G.P. Können houdt zich graag bezig met verschijnselen op het snijvlak van astronomie en atmosferische optica. Zie www.guntherkonnen.com.

Onderzon en ondermaan: in tegenstelling tot wat hun namen suggereren gaat het hier om halo-vormen en niet om astronomische verschijnselen. Het waarnemen ervan vormt een aangenaam tijdverdrijf voor luchtreizigers. Onderzonnen zijn vaak te zien; ondermanen zijn veel zeldzamer.

Figuur 1 toont een foto van een bijna perfecte onderzon: een halo^{#1} die vaak voorkomt maar weinig wordt gezien – om de simpele reden dat hij altijd onder de horizon verschijnt. Zijn verschijnen vereist dus de aanwezigheid van een zwerm ijskristallen beneden de waarnemer, een voorwaarde die voor vogels vaak is vervuld maar voor mensen minder. De massale opkomst van het vliegverkeer heeft dit veranderd. Luchtreizigers die aan de zonkant van een vliegtuig zitten, zien vaak een onderzon – een heldere vlek recht onder de zon. Deze vlek staat even ver onder de horizon als de zon er boven staat en reist met het vliegtuig mee.

De onderzon is de simpelste van alle halo's en tevens, in termen van signaal/achtergrond-verhouding, de helderste. De enige voorwaarde voor zijn ontstaan is de aanwezigheid – onder de waarnemer, dus – van ijskristallen die zodanig georiënteerd zijn dat tenminste één van de kristalvlakken horizontaal staat. Vaak gaat het bij de vorming van de onderzon om plaatvormige ijskristallen; de lichtweg die het meest bijdraagt tot de helderheid van de onderzon is een

#1 Een halo is een atmosferisch lichtverschijnsel dat ontstaat door breking (refractie) en/of weerkaatsing (reflectie) van licht door ijskristallen.

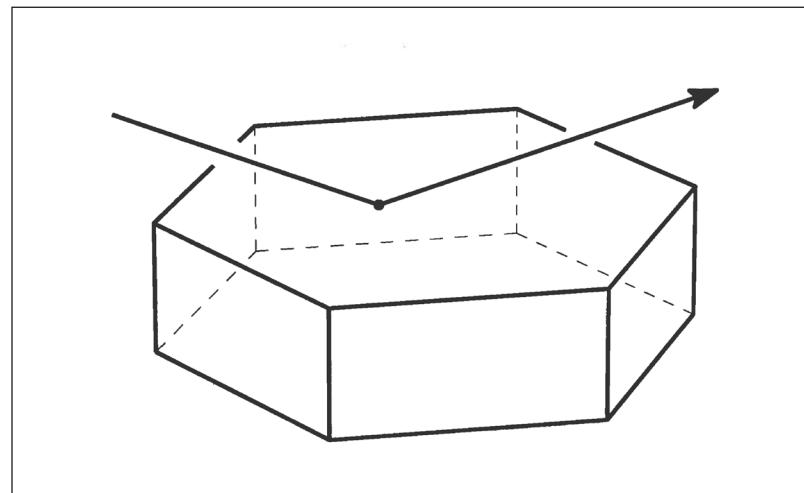
uitwendige weerkaatsing op het bovenvlak van het kristal (figuur 2). Het collectief van horizontale kristalvlakjes werkt als een kolossale spiegel, waarin het beeld van de zon – of een ander hemels object – verschijnt. Dit gebeurt ondanks het feit dat de spiegelende vlakjes zich op verschillende hoogten bevinden. De onderzon is dan ook geen gewoon spiegelbeeld, zoals op water (figuur 3). Nabije objecten vormen namelijk geen spiegelbeeld in een wolk van kristallen. Een ‘ondervliegtuig’ – ofwel een spiegelbeeld van een passend vliegtuig in de wolken onder hem – krijgt de luchtreiziger dus nooit te zien.

Een kogelronde onderzon, zoals in figuur 1, komt maar uiterst zelden voor. Omdat de kristallen bijna altijd wat heen en weer schommelen rond hun evenwichtspositie, is een onderzon vrijwel altijd ietwat langwerpig (figuur 4) – net zoals het spiegelbeeld van de zon of een straatlantaarn in lichtgolvend water. Evenzo, maar minder vaak, kan de onderzon een onregelmatige en snel wisselende vorm aannemen als de kristallen chaotisch schommelen door hevige turbulentie (figuur 5). Het waarnemenvan een onderzon vanuit een vliegtuig is nooit saai, omdat vaak in hoog tempo wolken gepasseerd worden met steeds wisselende dichtheid en oriëntaties van de ijskristallen.

Reflectie-halo's

De onderzon behoort tot de klasse der reflectie-halo's, dat zijn de halo's waarbij breking van licht door de kristallen geen rol speelt. Zulke halo's zijn ongekleurd, dit in tegenstelling tot de refractie-halo's. De onderzon is een prominent lid van zijn klasse. De overheersende bijdrage tot zijn vorming is de lichtweg afgebeeld in figuur 2 en in overeenstemming hiermee vertoont het licht van de onderzon een sterke polarisatie. Deze opmerkelijke eigenschap kan eenvoudig worden waargenomen met een simpel polarisatiefiltertje, zoals in een polaroid-zonnebril.

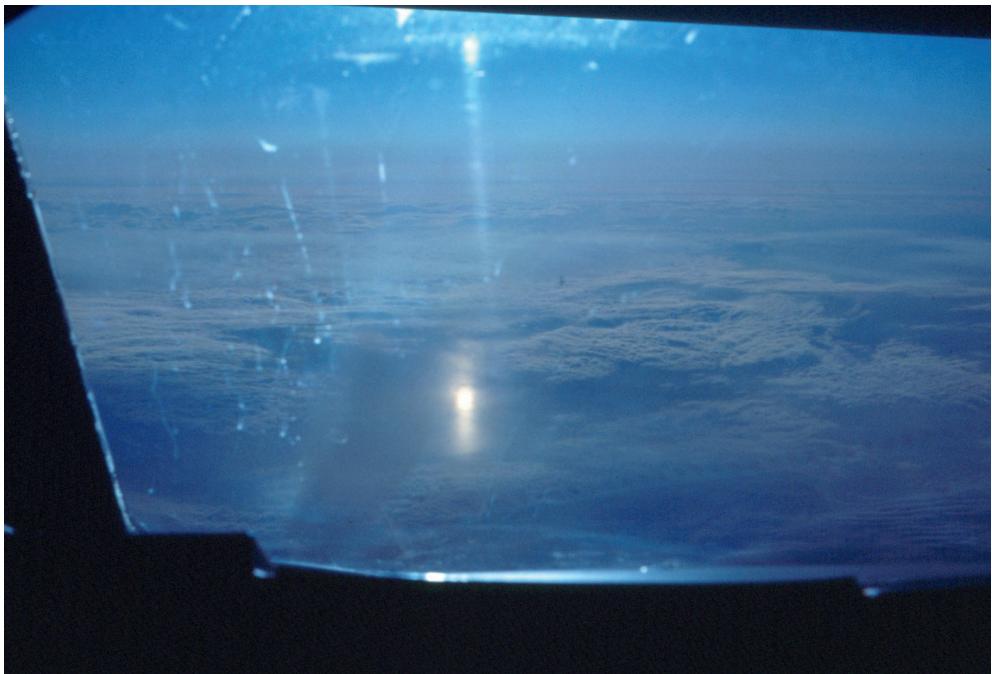
De hoge verschijningsfrequentie en grote helderheid vergeleken met die van ander halo's maakt de onderzon of zijn equivalent door andere lichtbronnen een logisch doelwit bij onderzoeken naar het optreden van halo's in marginale situaties, zoals bij zoektochten naar halo's in de atmosfeer van andere planeten of naar aardse halo's door lichtbronnen die veel zwakker zijn dan de zon.



Figuur 2: De lichtweg die het meest bijdraagt aan de helderheid van de onderzon is een uitwendige weerkaatsing op het horizontaal georiënteerde kristalvlak van ijskristallen die in de lucht zweven.



Figuur 3: Een vlak meertje naast een ‘onderzon’ ook voor het spiegelbeeld van nabijgelegen objecten. Dit laatste gebeurt niet bij weerkaatsing op een zwerm georiënteerde ijskristallen. (Foto: G.P. Können)



Figuur 4: De gebruikelijke langwerpige verschijningsvorm van de onderzon ontstaat als de georiënteerde ijskristallen licht om hun evenwichtstand schommelen. (Foto: G.J. Heinen)



Figuur 5: Turbulente luchtstromingen boven cumulusvormige wolken (stapelwolken) zorgen voor chaotische schommelingen in de stand van de ijskristallen en daarmee voor een onregelmatig gevormde onderzon. (Foto: G.J. Heinen)

Ondermaan

Figuur 6 toont een ondermaan: een halo die identiek is aan de onderzon, maar nu veroorzaakt wordt door maanlicht. De afgebeelde ondermaan verscheen op 29 september 2012, 2.37 UTC tijdens een nachtvlucht van Vancouver naar Amsterdam. Een uitdraai van het Aircraft Condition Monitoring System (een uitgebreide versie van de Flight Data Recorder ofwel de welbekende 'Black Box') geeft ten tijde van de foto een positie aan boven het ijskoude en desolate Prins Charles Eiland dat op de poolcirkel in Noordoost-Canada ligt. Dit is een eiland dat ondanks zijn grootte (gelijk aan die van Cyprus) pas in 1948 is ontdekt en destijds ter ere van de geboorte van de Britse Prins Charles zijn naam ontving.

Het vliegtuig koerste op 10,7 km hoogte richting oostnoordoost. De vrijwel volle maan stond dwars op het vliegtuig op 21,5° boven de horizon. Recht onder de maan, op 21,5° onder de ware horizon, verscheen een ietwat langwerpige ondermaan met een centrum dat een afmeting had van $1,4^\circ \times 0,7^\circ$.

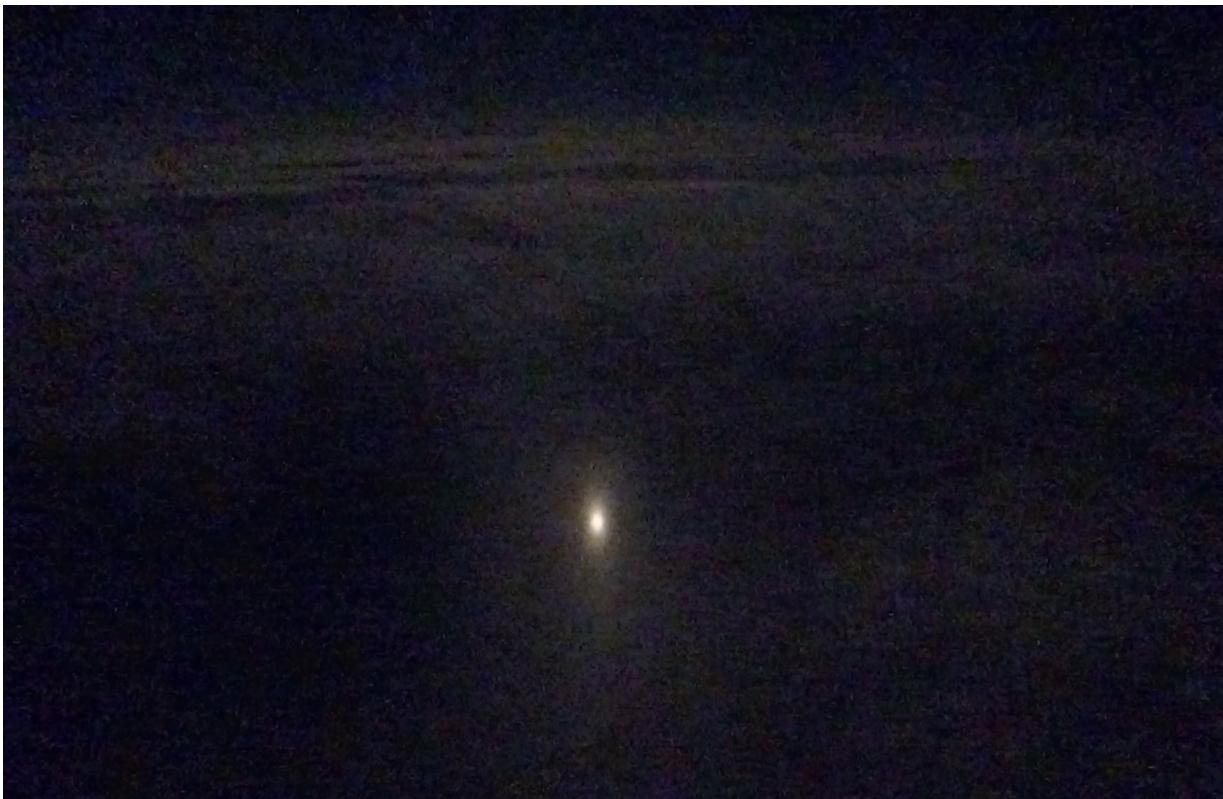
De ondermaan verscheen in een polair cirrusdek, ruim onder het vliegtuig. Meteorologische ballonoplatingen in de buurt geven aan dat de bovenkant van de cirruslaag een temperatuur had van -35°C en zich op 6,8

km boven het aardoppervlak bevond; boven deze laag was de lucht wolkenloos. Klaarblijkelijk bestond de cirrus waarin de ondermaan verscheen uit plaatvormige ijskristallen, zoals afgebeeld in figuur 2.

Visuele waarnemingen van ondermaan zijn eerder gerapporteerd, maar minder vaak dan men misschien zou verwachten. Een zoektocht door een halobibliografische databank leverde slechts acht rapporten op, merkwaardigerwijze vrijwel alle van vóór 1950 en alle in de Duitstalige literatuur. Vijf van deze verslagen zijn bijproducten van de meteorologische vliegtuigoptijgingen die vanuit diverse plaatsen in Duitsland in de jaren 1930 routinematiig plaatsvonden ter bepaling van temperatuur en wind bovenin de atmosfeer; de andere drie zijn afkomstig van meteorologische stations in het Europese hooggebergte. Foto's van de ondermaan zijn zeer zeldzaam, hoewel er al in 1934 één is gepubliceerd die genomen was vanaf een Zwitsers bergstation – waarschijnlijk de eerste foto ooit van dit verschijnsel. Recentelijk is daar vanuit Finland een tweede foto bijgekomen in een polaire ijsnevel vlak bij de waarnemer.

Omdat de Volle Maan zo'n miljoen keer zwakker is dan de zon, moet een foto van een ondermaan een miljoen maal langer belicht worden dan die van een onderzon. Een opname zoals figuur 6 is alleen maar mogelijk dankzij de opkomst van gevoelige digitale camera's. Mogelijk is het de eerste momentopname van een ondermaan vanuit een bewegend object.

Hoewel het bij ondermaan en onderzon in principe om hetzelfde verschijnsel gaat, wordt de ondermaan veel minder vaak gezien. Dit komt niet door de geringere lichtsterkte, van maanlicht-halo's, zoals soms wordt beweerd. De bepalende factor is namelijk niet de lichtsterkte maar de signaal/achtergrond-verhouding van de halo en die is – in afwezigheid van andere lichtbronnen – onafhankelijk van de helderheid van de hemelse lichtbron die de halo genereert. Dit speelt evenzo bij reflecties op een wateroppervlak, waarin je in een donkere nacht gewoon de spiegelbeelden van planeten en heldere sterren kan zien. Het feit dat er vanaf een bergstation ooit een onderjupiter in een ijswolk is gezien, waarbij lichtbron en onderjupiter dus nog eens 10.000 maal zwakker zijn dan maan en ondermaan tijdens Volle Maan, vormt een fraaie illustratie van deze regel.



Figuur 6: Ondermaan, gefotografeerd tijdens een vlucht van Canada naar Europa op 29 september 2012, d.w.z. één dag voor Volle Maan. Het horizontale beeldveld is 58°; het centrum van de ondermaan meet 1,4° 0,7°. Belichting 1/8 s bij ISO 6400 en diafragma F/2,4. (Foto: G.P. Können)

Een werkelijke reden voor de zeldzaamheid is het feit dat de maan op de meeste dagen van de maand maar een deel van de nacht boven de horizon staat. Uiteraard is de situatie het gunstigst rond Volle Maan, als de maan de hele nacht boven de horizon is. De grote helderheid van de maan tijdens die fase draagt ook enigszins bij tot de signaal/achtergrond-verhouding van de ondermaan, omdat deze het achtergrondlicht wegdrukt afkomstig van andere bronnen dan de maan. Een andere reden voor de zeldzaamheid van de ondermaan is dat er zich 's nachts maar weinig mensen boven de wolken bevinden: de hogergebergten zijn 's nachts nog dunner bevolkt dan overdag. Alleen beroepsmeteorologen die in bergstations zijn gestationeerd, bekijken gedurende de hele nacht de hemel.

Vanuit vliegtuigen lijken de kansen om een ondermaan te zien beter, maar in de praktijk valt het aantal waarnemingen door vliegtuigpassagiers tegen. Een mogelijke oorzaak is dat het cabinepersoneel er doorgaans bij de weinige passagiers die tijdens nachtvluchten wakker blijven, sterk op aandringt de vensters toch maar te sluiten!

Dit artikel is een populaire versie van het artikel 'Sub-moon' van G.P. Können and R. Schmidt, dat in augustus 2013 verscheen in het Engelse tijdschrift *Weather* (jaargang 68, blz. 208-209) en zich concentreert op de ondermaan. Referenties naar publicaties van eerdere beschrijvingen van de ondermaan zijn in dat tijdschrift artikel opgenomen. Het Engelse artikel is te downloaden vanaf www.guntherkennen.com.

**Sterrenkijkavonden
Cursussen
Tentoonstellingen
Planetarium**

www.sonnenborgh.nl

MUSEUM STERRENWACHT SONNENBORGH

de oudste koepelsterrenwacht van Nederland

musea Utrecht