Bliksem!

Iedereen kent ze wel: de felle lichtflitsen die grote onweerswolken kunnen produceren. Maar hoe goed begrijpen we het fenomeen bliksem? Hier een kijkje in de wetenschap van bliksem en waar bliksemonderzoekers zich tegenwoordig mee bezig houden. Dit artikel is deel één van een drieluik waarin we ons verdiepen in elektrische ontladingen in de atmosfeer.



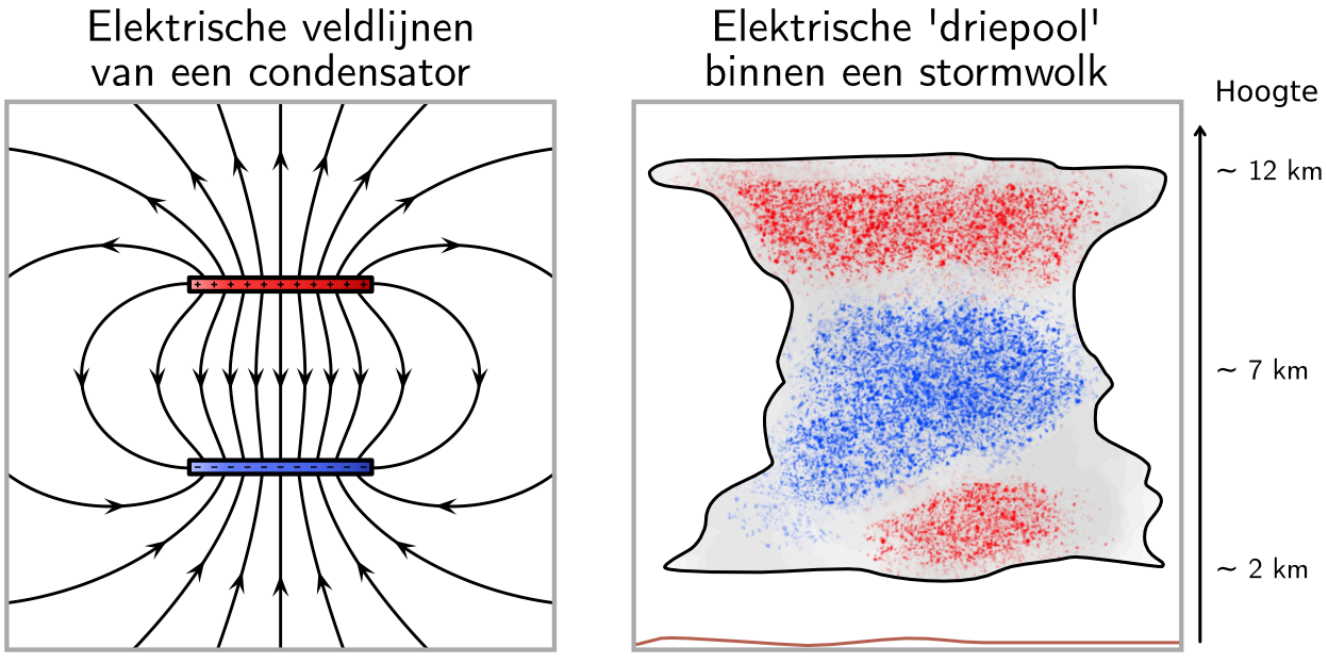
Afbeelding 1. Bliksem. Foto: Oscar van der Velde ©

Mede dankzij Benjamin Franklins beroemde vliegerexperiment weten we dat bliksem een vorm van elektrische ontlading is. Bij een blikseminslag komt een ongelooflijk grote hoeveelheid energie los, met een spanning van honderdduizenden volts en een stroom van tienduizenden ampères. Bliksemschichten zijn ook nog eens extreem heet; ze bestaan namelijk uit een heet plasma, met een kerntemperatuur van wel 30.000 graden Celsius. Dit is zelfs heter dan het oppervlakte van de zon (5.500 ˚C)! De lucht zet vanwege deze plotselinge hitte zo snel uit, dat dit een schokgolf produceert; dat is wat wij horen als donder.

Zwevende elektriciteit

Maar waar komt al die energie vandaan? Kilometershoge onweerswolken worden als enorme condensatoren ‘opgeladen’ vanwege de sterke luchtstromingen die erbinnen plaatsvinden. Warme lucht stijgt op, terwijl koude lucht daalt, met snelheden tot wel honderd kilometer per uur. Botsingen tussen vele, vaak minuscule, rondvliegende ijskristalletjes die door de stroming worden meegenomen, en zwaardere korrelhagelsteentjes, zorgen ervoor dat de deeltjes wel eens eindigen met wat elektronen meer of minder.

Experimenten in artificiële ‘wolkenkamers’ tonen aan dat kleine, symmetrische ijskristallen vaker positief geladen worden, terwijl grote, onregelmatige ijsdeeltjes (korrelhagelstenen) eerder een negatieve lading oppikken. (Lager in de wolk, waar het warmer is, kunnen de ladingen echter andersom zijn.) De lichtere, positief geladen kristallen stijgen met opwaartse stromingen naar de top van de wolk, terwijl de negatieve korrelhagel in het midden van de wolk achterblijft.



Afbeelding 2. Onweerswolken worden opgeladen als een condensator. Links: De elektrische veldlijnen rondom een condensator. Rechts: Door sterke luchtstromingen krijgt een typische onweerswolk een laag van negatief geladen deeltjes in het midden van de wolk, met een positief geladen laag erboven en (een kleinere) eronder. Dit lijkt op een condensator met drie geladen platen. Afbeeldingen van Geek3 en Jans Henke

Het resultaat is dat de wolk komt te bestaan uit lagen van tegenovergestelde ladingen. Die lagen kunnen verscheidene structuren aannemen, maar in de eenvoudigste voorbeelden verzamelen onweerswolken een dikke gordel van negatieve lading in het midden van de wolk, met kleinere positieve gebieden zowel boven als onder. Speciale weerballonnen hebben midden in een onweerswolk elektrische velden van meer dan honderdduizend volt per meter (100 kV m^{-1}) gemeten. (Voor een soortgelijk elektrisch veld in een condensator bestaand uit twee parallelle metalen platen op 1,5 cm afstand van elkaar, zou je maar liefst duizend AA-batterijen in serie moeten verbinden.)

Kortsluiting

Een bliksemschicht is in feite een ‘kortsluiting’ van zo’n elektrisch veld. De lucht is echter een bijzonder goede isolator, en de gemeten elektrische velden zijn nog lang niet sterk genoeg om uit zichzelf vrije elektronen zo hard te versnellen dat ze spontaan zo’n kortsluiting zouden kunnen veroorzaken.

Hoe ontstaat bliksem dan? Het kan zijn dat razendsnelle elektronen afkomstig uit kosmische straling een soort elektronenlawine veroorzaken, wat dan een ontlading kan aansturen. Dit heet ‘runaway breakdown,’ en zou ook metingen van sterke pulsen van radiogolven en röntenstraling afkomstig uit onweerswolken kunnen verklaren.

Een tweede, mogelijk complementaire theorie, is dat het lokale elektrische veld bij de uiteinden van langwerpige ijskristallen in de wolk zodanig wordt geconcentreerd dat het op kleine schaal alsnog sterk genoeg is om een bliksemontlading aan te sporen. Deze kan zich dan verder ontwikkelen tot een eerste bliksemkanaal. Zulke lokale versterkingen van een elektrisch veld veroorzaken ook elektrische ‘sproei-ontladingen’ rond bijvoorbeeld de top van scheepsmasten in een storm, een lichtfenomeen dat Sint-Elmsvuur heet. (Zie ook hier een Engelstalige video met uitleg en mooie beelden van Sint-Elmsvuur.)

/app/uploads/2021/05/Bliksem_3.webm

Afbeelding 3. Een slow-motion opname van een blikseminslag.Afbeelding: gifbin. Hongerig naar meer bliksemvideo’s? Kijk dan ook hier.

Kronkelingen

Zoals in de slow-motion opname hierboven te zien is, begint bliksem als een heleboel kronkelende tentakels (voorontlading of “leader” genoemd) die de weg zoeken met de minste weerstand. Wanneer een bliksemschicht dicht genoeg bij het aardoppervlak komt, wordt die vaak tegemoet gekomen door een opwaartse vonk van de tegenovergestelde polarisatie (ook wel vangontlading genoemd). Wanneer de twee elkaar bereiken, kan de wolk via deze directe verbinding ontladen, iets wat te herkennen is als een razendsnelle, felle flits (de hoofdontlading).

Dit hele proces gebeurt binnen een fractie van een seconde, te snel om met het blote oog te zien. Meestal ontstaan er meerdere van zulke flitsen achter elkaar, zodat we meerdere flitsen als één blikseminslag herkennen. Dit is waarom blikseminslagen vaak een beetje lijken te flikkeren. In uitzonderlijke gevallen, bij een sterke wind die het hoofdontladingskanaal tussen ontladingen een beetje verschuift, kun je op foto’s meerdere ontladingen naast elkaar zien, iets wat bandbliksem heet. Overigens gaan verreweg de meeste bliksemschichten niet van de wolk naar de grond, maar blijven ze in het wolkendek. Daar kunnen ontladingen plaatsvinden tussen de verschillende geladen lagen binnen een wolk of tussen twee wolken in.



Afbeelding 4. Meerdere voor- en hoofdontladingen. Foto: Oscar van der Velde ©

Positief of negatief?

We hebben het steeds over ontladen, en daarvoor zijn ladingdragers nodig. De deeltjes die daadwerkelijk bewegen zijn elektronen; positief geladen ionen zijn namelijk veel zwaarder en worden daardoor minder makkelijk versneld door een elektrisch veld. Toch wordt er gesproken van positieve en negatieve bliksem, om de polariteit (+/-) van de voorontlading aan te geven. Binnen de wolk zijn er meestal voorontladingen actief met beide polariteiten, in verschillende ladingslagen. Gaat de bliksem van de wolk naar de grond, dan geeft de polariteit van de voorontlading ook aan of de netto ontlading van de wolk positief of negatief is.

90-95% van alle blikseminslagen is negatief. Zo'n ontlading kan vanuit het negatieve gedeelte midden-onder in de wolk recht naar beneden schieten, of binnen de wolk eerst omhoog bewegen, waarna de bliksem zijwaarts de wolk uit kan schieten, vanuit daar naar beneden buigen, en de grond veel verder weg raken. Dat laatste wordt in het Engels ook wel een 'bolt from the blue' genoemd, omdat zo'n bliksem zo ver van het onweer in kan slaan dat daar gewoon de zon schijnt. Omdat deze soort ontlading een veel grotere afstand moet overbruggen vanaf bovenin de wolk, zo'n tien kilometer boven de grond, draagt de gemiddelde bolt from the blue meer lading dan een normale wolk-naar-grond-blikseminslag.



Afbeelding 5. Een ‘bolt from the blue’-blikseminslag. Dit is een negatieve blikseminslag. Foto: Oscar van der Velde ©

Bij positieve bliksem ontstaat er een voorontlading van positief geladen ionen. Aan het uiteinde van zo’n voorontlading is het lokale elektrische veld sterk genoeg om elektronen van nabijgelegen moleculen af te pakken, waarbij positief geladen ionen achterblijven zodat de positief geladen keten blijft groeien. Positieve bliksem draagt veel meer lading en stroomsterkte omdat die vaak een groter deel van de wolk ontlaadt. Zo kan een positieve blikseminslag wel 1.000.000.000 volt en een stroom van 300.000 ampère dragen!

In bliksemfoto’s zijn negatieve inslagen vaak te herkennen aan een golvend kanaal met zijtakken (die je bijna alleen in nachtelijke foto’s kan zien). Positieve inslagen zijn doorgaans rechter, en zijtakken komen vaak alleen uit de wolkenbasis. De donder klinkt vaak als een zware knal of dreun, zonder veel geknetter. Je vindt dit type bliksem vooral in winterse onweersbuien en in de rustigere delen van zomerse onweerscomplexen.

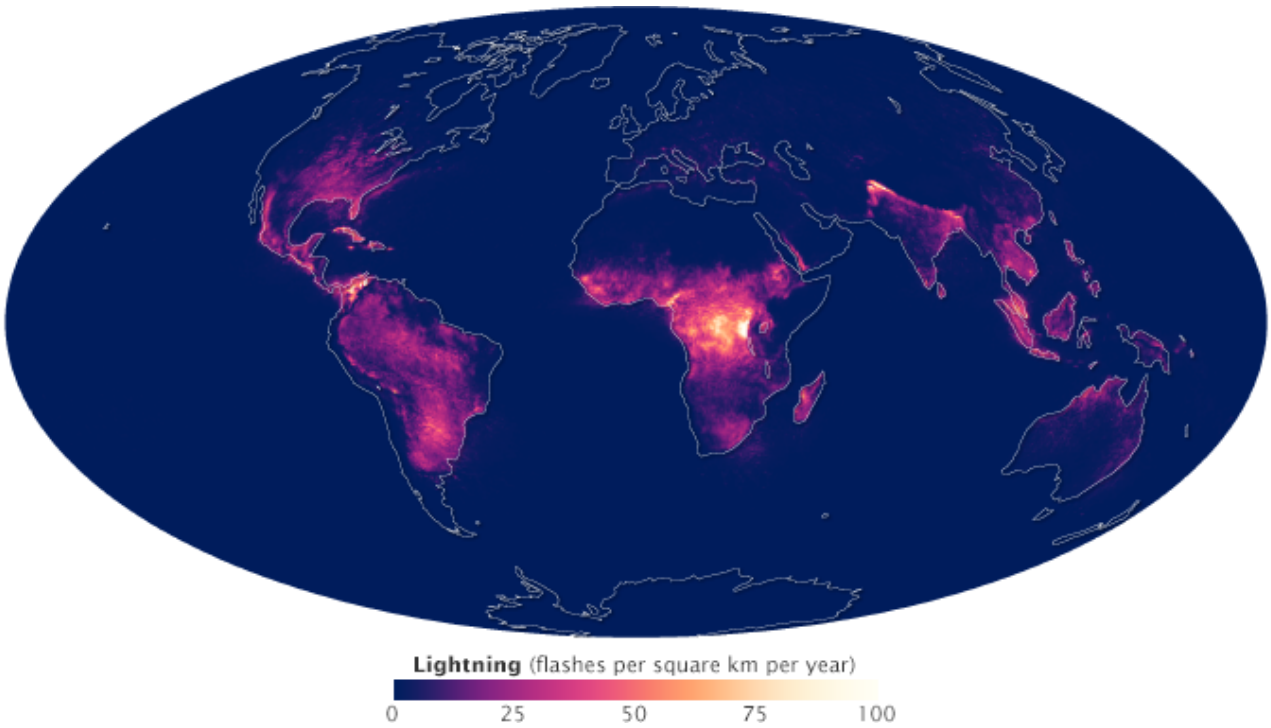


Afbeelding 6. Een positieve blikseminslag. Foto: Oscar van der Velde ©

Bliksemwetenschap

Dat we zoveel begrijpen van de werking van bliksem, hebben we te danken aan de combinatie van directe metingen, observaties, laboratoriumexperimenten en computermodellen. Vanuit de ruimte meten satellieten van NASA, NOAA en binnenkort ook ESA bliksemflitsen over de hele aarde. Vanaf de grond kunnen netwerken van radioantennes ook bliksemflitsen meten over een groot gebied, omdat iedere snelle stroomschok radiogolven produceert. Voor de geïnteresseerden: op de website Blitzortung.org kun je recente wereldwijde bliksemmetingen terugzien of zelfs live volgen.

Hieruit wordt duidelijk dat veruit de meeste bliksem voorkomt in de tropen. De meeste bliksemhotspots zijn locaties waar warme, vochtige lucht vanaf zee het land overwaait en vanwege nabijgelegen bergen snel moet stijgen. Een tegenvoorbeeld: boven Congo ontstaat er juist veel bliksem omdat daar veel vocht verdampt van regenwouden en andere vegetatie, en de samenkomst van passaatwinden (en bergen) ervoor zorgt dat deze warme vochtige lucht moet stijgen. Dat zijn de ideale condities voor het vormen van de grote onweerswolken die je nodig hebt voor bliksem.

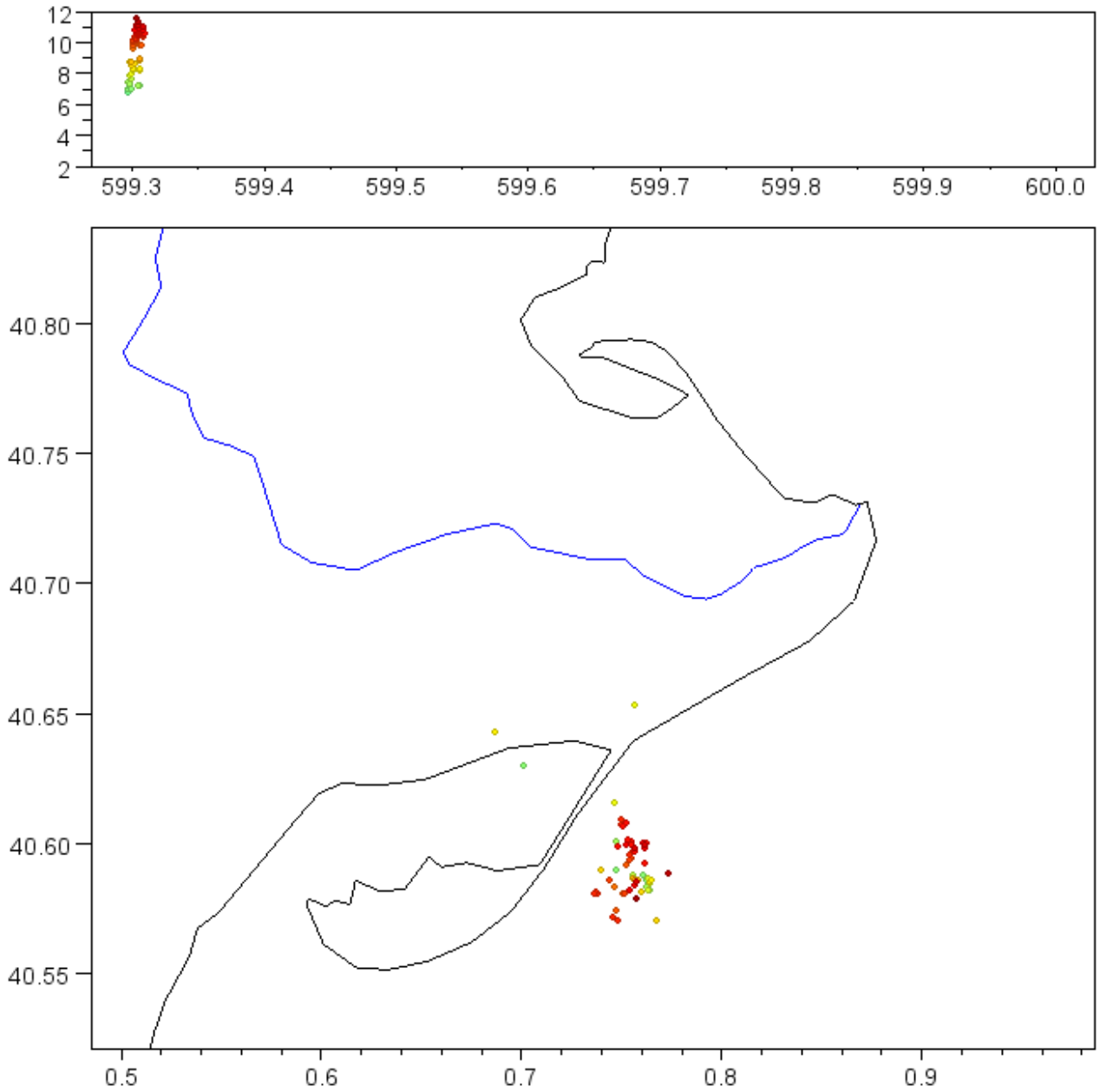


Afbeelding 7. Een kaart van hoeveel bliksem er op verschillende plekken voorkomt. Deze kaart is gebaseerd op metingen van NASA-satellieten van 1995-2011. De kleurschaal geeft het aan hoeveel bliksemflitsen er gemeten zijn per vierkante kilometer, gemiddeld per jaar. Afbeelding: Robert Simmon/NASA

Zulke grootschalige detectie geeft echter weinig informatie over wat er gebeurt binnen een enkele onweersbui. Daarvoor gebruiken onderzoekers ook wel weerballonnen, die ze dwars door wolken heen laten stijgen met verschillende soorten meetapparatuur. Het onhandige hieraan is echter dat deze ballonnen door de sterke wind mee worden gesleurd, waardoor hun route onvoorspelbaar is en ze niet altijd op de juiste plekken terechtkomen. Ook knapt de ballon op een gegeven moment, waarna alle apparatuur weer naar beneden valt. Een andere optie is om vliegtuigen met meetapparatuur door een storm te laten vliegen, of om neerslagradars te gebruiken. Met radarmetingen kunnen meteorologen eigenschappen zoals lokale windsnelheden en de soorten neerslag achterhalen.

Tegenwoordig staan er op steeds meer plekken ter wereld ook zogenoemde ‘Lightning Mapping Arrays’ (LMAs). Dit zijn combinaties van meerdere radioantennes, verspreid over enkele tientallen kilometers, die de ontwikkeling van bliksem midden in de wolk in drie dimensies kunnen volgen, zoals te zien is in de metingen hieronder. Daaruit is op te maken welk deel van een onweersbui het meest actief is, vooral omdat LMAs gevoeliger zijn voor wolkontladingen dan de meeste andere netwerken. Ook kan uit de verschillende

bliksemvertakkingen de polariteit afgeleid worden, en daarmee de ladingsstructuur van de onweerswolk.



Afbeelding 8. Bliksem zoals gemeten met een LMA. Deze ontlading is gemeten met een LMA in de Ebro Delta in Spanje. De stippen geven de bronlocaties van radiogolven aan, gekleurd naar hoogte. Het bovenste paneel toont de tijd (in seconden) vs. hoogte (in km), en het onderste paneel geeft de geografische locatie met GPS-coördinaten langs de assen weer (0,1 graad noorderbreedte is ongeveer gelijk aan 11 km). Er zijn duidelijk twee hoofdtakken, de ene (rood) is de negatieve tak die door het positief geladen deel van de wolk gaat en daarbij ook iets daalt. De andere (cyaan/blauw) is de positieve tak, die gaat door het negatief geladen deel van de wolk. Nergens daalt een tak (voorontlading) neer uit de wolk, dus dit is

een wolkontlading. Afbeelding: Oscar van der Velde (Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona) ©

Met deze soort metingen geldt: hoe dichter de radioantennes op elkaar staan, en natuurlijk hoe dichter je antennes bij de bliksem liggen (oftewel hoe groter je netwerk is), hoe nauwkeuriger je bliksemmetingen zijn. In Nederland kan de radiotelescoop LOFAR zeer nauwkeurige bliksemmetingen verrichten, hoewel deze telescoop eigenlijk voor astronomie-doeleinden was gebouwd!

Zulke directe metingen kunnen worden vergeleken met laboratoriumonderzoek, zoals met de artificiële wolkenkamer van de Universiteit van Manchester, en computermodellen, bijvoorbeeld van hoe individuele kronkelende plasmatentakels van bliksem zich voortbewegen.

Ten slotte zijn bliksemwetenschappers niet alleen academici en meteorologen, maar ook enthousiaste ‘stormjagers’ die er een kunst van maken om de mooiste en meest exotische stormfoto’s en videobeelden te maken. Doorbraken in de wetenschap van atmosferische lichtfenomenen kunnen voortkomen uit een enkele foto. In deel twee van dit drieluik zullen we ons verdiepen in exotischere lichtfenomenen, hoog in de atmosfeer, die (deels) op deze manier ontdekt zijn. Bereid je voor op blue jets, elves, sprites, ghosts en halo’s!

Dank aan ‘Lightning Wizard’ Oscar van der Velde (Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona) voor zijn duidelijke uitleg en hulp bij het schrijven van dit artikel!