

Links: grote sprite, op 18 augustus 1999 waargenomen boven Nebraska (VS). De opname is gemaakt met een gevoelige ccd-imager die 1000 beeldjes per seconden vastlegt. Het beeldveld is 6,4 graad hoog.

(Foto: H.C. Stenbaek-Nielsen, Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks) Hieronder: het eerste kleurenbeeld van een sprite. Het betreft een video-opname (33 milliseconde) die op 4 juli 1994 is gemaakt vanuit een Westwind 2 straalvliegtuig boven Oklahoma (VS). De rode 'kop' van de sprite bereikte een hoogte van 90 km; de ondergrens van de foto ligt bij 20 km.

(Foto: D. D. Sentman, Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks)



# Bliksem boven bliksem

Ook boven de wolken kan het behoorlijk slecht weer zijn. Tijdens zware onweersbuien kunnen hier enorme lichtflitsen met een lengte van tientallen kilometers ontstaan. Omdat ze boven de wolken en altijd samen met gewone bliksemschichten optreden, zijn ze vanaf de grond lastig te bestuderen. Maar dankzij *low-light-camera's*, videocamera's en telescopen en waarnemingen vanaf de grond, en vanuit vliegtuigen, satelieten en het ruimtestation komen onderzoekers steeds meer over ze te weten. Daardoor kunnen nu ook de achterliggende natuurkundige mechanismen ontrafeld worden.

**W**e kennen de spectaculaire verschijning van 'gewone' bliksemschichten tussen wolk en aarde. Soms zie je bliksemflitsen ook van wolk naar wolk lopen. Maar negen van de tien schichten zie je helemaal niet, want die blijven binnen hun wolk. En boven de wolken dan? In 1990 publiceerde het blad *Science* de eerste beelden van zuilen van licht die kilometers boven een donderwolk uitgroeiden. Tijdens een test met een *low-light-camera* hadden John Winckler en twee collega's van de University of Minnesota bij toeval een verschijnsel vastgelegd dat later bekend zou worden als een *sprite*.

## Ignorosfeer

Winckler was niet de eerste die een sprite had gezien. Met name piloten durfden echter niet over de 'rare' flitsen te praten uit angst hun vliegbrevet te verliezen. Meldingen van gekleurde flitsen boven de wolken waren wel bekend in de literatuur, maar daar werd weinig aandacht aan besteed. En dat terwijl de Schotse natuurkundige en Nobelprijswinnaar Charles Wilson (de uitvinder van de nevelkamer) al in de jaren twintig had voorspeld dat er boven onweerswolken opwaartse ontladingen konden ontstaan. Het was pas na de eerste beelden in *Science* dat het sprite-onderzoek op gang kwam.

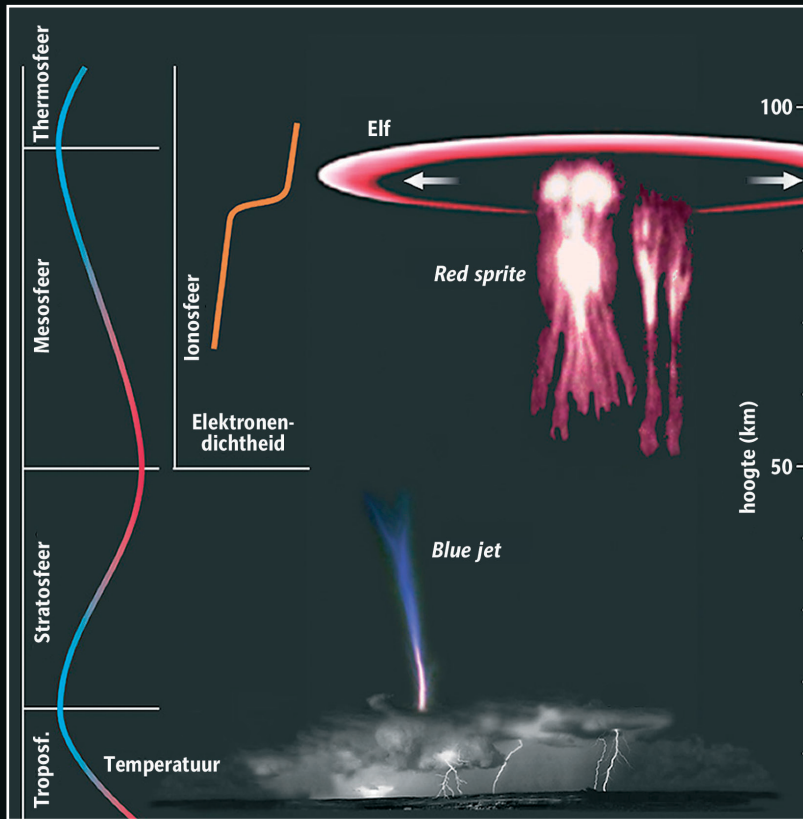
Helemaal vreemd is het niet dat het zo lang duurde voordat sprites bekend werden. Deze enorme, meestal rode lichtflitsen komen voor tussen de veertig en negentig kilometer hoogte, een slecht toegankelijk gedeelte van de atmosfeer. Geofysici hebben het dan ook vaak over de 'ignorosfeer'. Vliegtuigen en weerballonnen halen deze hoogten niet, en voor satelieten zijn ze weer te laag. Waarnemingen op afstand zijn daardoor de belangrijkste bron van informatie over sprites.

## Midzomernachtsdroom

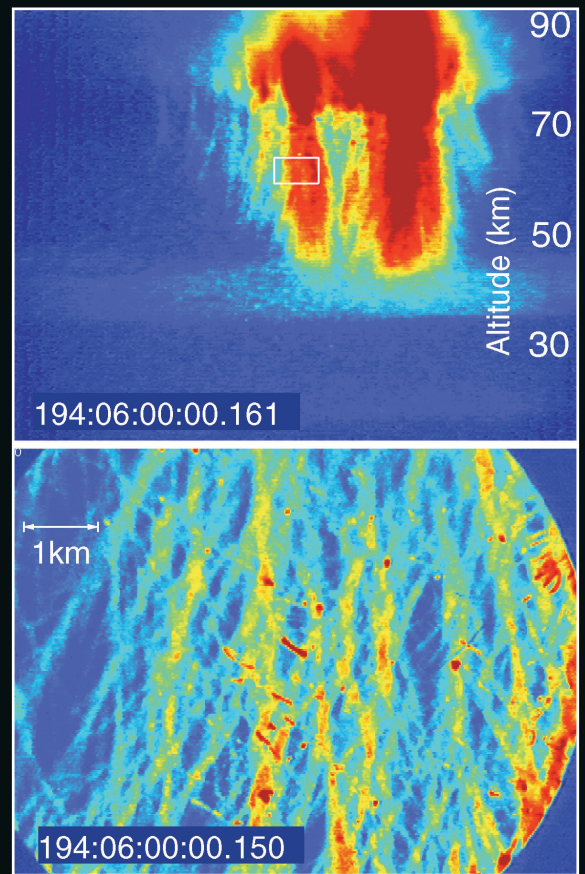
Maar makkelijk is dat niet. Sprites zijn even ongrijpbaar als de bosgeesten uit Shakespeare's *Midzomernachtsdroom*, waarnaar ze vernoemd zijn. Ze duren maar enkele tot tientallen microseconden en geven net genoeg licht om ze met het blote oog te kunnen zien. Op zijn website raadt de Amerikaanse meteoroloog en onweerdkundige Walter Lyons waarnemers aan een heldere, maanloze nacht te kiezen.

## Ute Ebert en Fedde van der Lijn\*

\* Ute Ebert leidt een onderzoeksgroep aan het Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI) in Amsterdam en is tevens deeltijd-hoogleraar natuurkunde aan de Technische Universiteit Eindhoven. Fedde van der Lijn is wetenschapsvoorlichter van het CWI.



De atmosfeer op hoogten van 20 tot 90 km is het domein van allerlei spectaculaire lichtverschijnselen zoals sprites, blue jets en elves. In deze figuur zijn de meest waargenomen verschijnselen weergegeven; recenter ontdekte verschijnselen als trolls, pixies en gnomes ontbreken.



Sprites zijn geen compacte lichtflitsen. Met deze beelden toonden Elizabeth Gerken en haar collega's aan dat ze zijn opgebouwd uit tienduizenden kanalen van enkele tientallen meters breed. De onderste figuur laat deze structuur zien voor het omkaderde gedeelte van de sprite in de bovenste figuur. (Bron: Gerken e.a., 2000)

Ook strooilicht en flitsen van 'gewone' bliksems kunnen het zicht op sprites ontnemen. Omdat sprites bovendien hoog boven de wolken uitschieten, moet een waarnemer op minstens honderd kilometer afstand van het onweer staan. Een vrij uitzicht op de horizon is daarom onmisbaar.

Door de korte duur en lage lichtintensiteit zijn foto's alleen met *low-light*-camera's te maken, bij voorkeur vanuit vliegtuigen of hooggelegen observatieposten, zoals de Pic du Midi in de Pyreneeën. Ook vanuit de ruimte zijn sprites te filmen. Sprite-onderzoek was onlangs nog onderdeel van de ruimtevlucht van André Kuipers. Hij gebruikte hierbij twee digitale camera's met speciale filters om de sprites te kunnen onderscheiden van gewone bliksemflitsen.

### Jets, elves en trolls

Onderzoekers van de Universiteit van Alaska ontdekten in 1993 een ander verschijnsel boven onweersbuien. Tijdens een vlucht met een tot laboratorium omgebouwde DC8 van de NASA legden zij smalle, blauwe kegelvormige flitsen vast

boven Kansas. In tegenstelling tot de meeste sprites ontspringen deze *blue jets* bovenin de onweerswolken op twintig kilometer hoogte en groeien vervolgens door tot een hoogte van veertig kilometer. Met een duur van enkele honderden milliseconden zijn blue jets langer zichtbaar dan sprites, maar ze zijn wel zwakker.

Vijftien jaar zoeken naar sprites heeft de ionosfeer veranderd van een oninteressant stuk atmosfeer in een kleurrijk sprookjesbos. Behalve sprites en blue jets zijn er allerlei nieuwe kortstondige lichtverschijnselen (*transient luminous events* of TLE's) gevonden. Vanuit Walter Lyons' observatorium aan de voet van de Rocky Mountains ontdekten onderzoekers in 1995 enorme uitdijende ringen van licht op een hoogte van negentig kilometer. Deze verschijnselen werden *elves* genoemd, een acroniem van *emissions of light and very low frequency perturbations due to electromagnetic pulse sources*. Later ontdekte TLE's kregen namen als trolls (*transient red optical luminous lineaments*), pixies en gnomes. Sprites blijven het meest voorko-

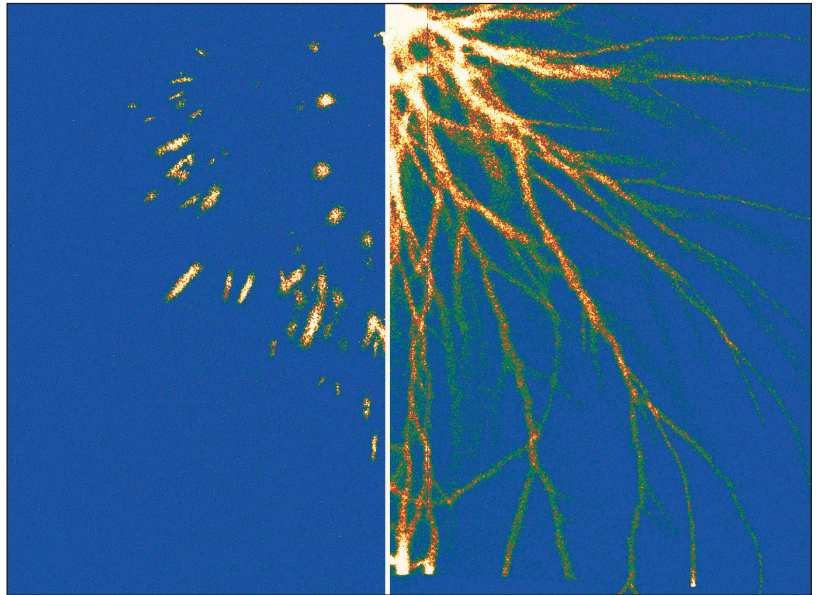
men. De meeste zien eruit als vage, omhoog of omlaag groeiende flitsen die allerlei vormen kunnen aannemen. Wortelvormige sprites komen relatief vaak voor, maar ze kunnen er ook uitzien als zuilen of kwallen. Van een afstand lijken sprites compacte lichtflitsen met een horizontaal oppervlak tot vijfhonderd vierkante kilometer. Opnamen met een telescoop lieten echter zien dat ze zijn opgebouwd uit tienduizenden kanalen die op een hoogte van zestig kilometer nog geen honderd meter breed zijn. In 2002 werd voor het eerst de groei van een sprite vastgelegd. Uit deze metingen blijkt dat ze groeisnelheden bereiken van meer dan duizend kilometer per seconde.

### Elektrische aarde

Sprites worden vaak gezien na sterke bliksemschichten die positieve lading van een wolk naar de grond verplaatsen. Deze soort bliksem is zonder meetapparatuur tot nu toe niet te onderscheiden van gewone, negatieve bliksem, die tien keer vaker optreedt. Enkele milliseconden na de positieve bliksem kan kilometers boven de wolken een sprite-ontlading omhoog



Beelden van streamerontladingen bij normale luchtdruk. De linker afbeelding heeft een belichtingstijd van vijf nanoseconden, in de rechterafbeelding was deze vijf microseconden. Links is goed te zien dat alleen de kop van de streamer licht uitzendt. De lengten van de strepen komen overeen met de afstand die de streamerkop binnen vijf nanoseconden aflegt. De ionisatiereactie is geconcentreerd in dat gedeelte. De structuur van streamers vertoont grote gelijkenis met de structuur van sprites. (Foto's: E.M. van Veldhuizen, TUE)



schieten. Waarom sprites voorkeur hebben voor positieve bliksem is niet duidelijk. Misschien kunnen negatieve bliksems geen sprites veroorzaken. Het kan ook liggen aan het feit dat positieve bliksem-schichten gemiddeld veel meer lading verplaatsen. Een ander raadsel is dat de horizontale afstand tussen een sprite en zijn bliksem tientallen kilometers kan zijn. Het zou kunnen zijn dat een bliksem binnen de wolk de horizontale locaties van primaire bliksemschicht en sprite verbindt.

Onderzoekers zijn daarnaast bezig met de rol van sprites in het elektrische circuit van de aarde. Dit circuit bestaat uit twee geleidende lagen: de aardbodem en de ionosfeer op ongeveer negentig kilometer hoogte. Tussen deze lagen ligt een gemiddeld elektrisch potentiaalverschil van ongeveer 250 kilovolt, dat in stand wordt gehouden door bliksemschichten (wereldwijd ongeveer 45 per seconde).

Onweerswolken zijn namelijk enorme ladingsscheidingsmachines, waarin negatieve ladingen zich doorgaans onderin de wolk verzamelen en positieve bovenin. Binnen een wolk kunnen spanningen van tientallen tot honderd megavolt optreden: veel groter dus dan het potentiaalverschil tussen aarde en ionosfeer. Bij de meeste bliksemschichten wordt de negatieve lading

van de onderkant van de wolk naar de grond getransporteerd. De hoge negatieve spanning aan de onderkant van de wolk wordt daarbij *ontladen*, waardoor de aardbodem negatief wordt *opgeladen*. Jets en sprites zijn ontladingen van de wolk naar de ionosfeer. Hierbij wordt waarschijnlijk negatieve lading naar boven getransporteerd, waardoor de ionosfeer wordt ontladen.

### Streamers

Zijn sprites dan een soort bliksemschichten? Ja en nee. Ja, wat betreft de oorzaak van de hoge potentiaalverschillen. Nee, wat betreft ladingstransport en lichtemissie.

Lucht is van nature een slechte geleider. Vrije elektronen en ionen kunnen elektrische stromen transporteren; in lucht kunnen ze worden aangemaakt door verhitting of met een sterk elektrisch veld. In een sterk veld winnen de elektronen tussen de botsingen met neutrale moleculen zo veel kinetische

energie dat ze de moleculen ioniseren. Hierdoor komen nieuwe elektronen vrij en ontstaat een lawine van ionisatiereacties. Als een gebied plaatselijk voldoende is geïoniseerd, treedt een tweede effect in werking: een elektrisch geleidend gebied schermt zijn binnenkant af van het elektrische veld. Hierdoor wordt het veld vóór een uiteinde van het geïoniseerde gebied extra sterk. Deze lokale veldversterking voor de punt van een groeiend kanaal leidt tot een sterke ionisatiereactie op die plek, waardoor het kanaal nog sneller groeit.

Door dit zelfaangemaakte elektrische veld kan het kanaal zich ook verplaatsen door gebieden waar het onverstoorde achtergrondveld te laag is voor botsingsionisatie. Vonkenkanalen groeien zo binnen tientallen nano- tot enkele microseconden in gewone lucht. Deze initiële kanalen heten *streamers*. In deze fase zendt niet het hele kanaal licht uit, maar alleen de actief groeiende uiteinden, zoals te zien in de afbeelding hierboven. Het licht is het gevolg van de botsingen van elektrisch versnelde elektronen met moleculen, die de moleculen in een hogere energietoestand kunnen brengen. Deze energie wordt vervolgens als licht uitgezonden. In een streamer is slechts elk honderdduizendste molecuul geïoniseerd en het kanaal wordt dus niet warm. De meeste onderzoekers denken tegenwoordig dat sprites streamerachtige verschijnselen zijn.

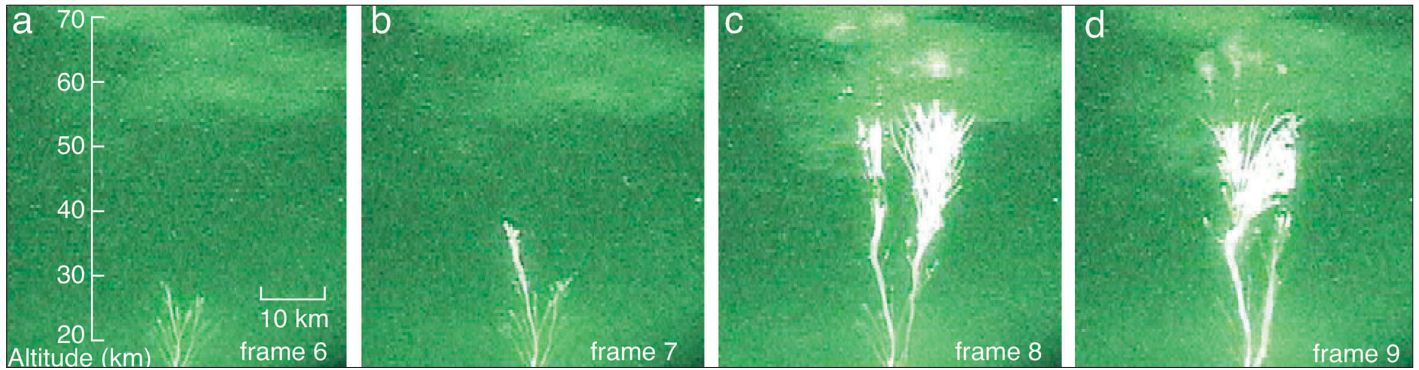
### Het vonkenkanaal

Nadat de streamer de overkant heeft gehaald, kan er elektrische kortsluiting optreden. Dan vloeien sterke elektrische stromen door het

## Sprites en jets zelf waarnemen

Op de website van de University of Alaska staan waarneemtips voor het zelf waarnemen van 'bovenbliksems'. We vatten deze even samen:

- De belangrijkste voorwaarde is vrij zicht op de bovenzijde van een onweersbui. Dat betekent in de praktijk dat het onweer zich laag bij de horizon afspeelt. Er mag niet veel tussenliggende bewolking zijn.
- De beste waarneemafstand is 200 tot 300 km. Op die afstand strekken sprites zich in verticale richting over 10 tot 20 graden uit.
- Het moet volkomen donker zijn (dus niet schemeren).
- De ogen van de waarnemer moeten aan het donker gewend zijn.
- Kijk naar de lucht *boven* het buiencomplex en dek zo nodig het gedeelte aan de hemel waar normale bliksemactiviteit te zien is af.
- Sprites zijn korte flitsen die maar *nét* zichtbaar zijn; men herkent ze vooral aan hun verticale, draderige structuur en hun rode tint. Wees geduldig! Gemiddeld treedt er ongeveer één sprite per honderd bliksemschichten op. Grootschalig tropisch onweer wekt de meeste sprites op, maar zelfs vanuit Alaska is er nog wel eens een te zien.



kanaal en verhitten het. Daardoor zendt het kanaal over zijn hele lengte warmtestraling uit. Dit is te zien als een vonk. Een bliksemkanaal is een soort reusachtig vonkenkanaal waar tientallen stroompulsen doorheen lopen. De opbouw van een kilometers lang bliksemkanaal is echter ingewikkelder dan die van het vonkenkanaal. Nadat een streamer enkele meters is gegroeid, keert de achterkant in zijn niet geleidende evenwichtstoestand terug, omdat hij dezelfde temperatuur heeft als de omgeving. Met alleen een streamer kan er dus geen kortsluiting tussen wolk en grond ontstaan. Voor een bliksem-schicht zijn daarom ook verhitte kanalen gedurende de groeifase nodig, die elektrisch geleidend blijven, zogeheten *leaders*.

Waarom heeft een bliksem van enkele kilometers lengte een verhit kanaal nodig om geleidend te blijven en een sprite van tientallen kilometers lengte niet? Dit heeft te maken met de afnemende deeltjesdichtheid van de atmosfeer. Op zeventig kilometer is de deeltjesdichtheid vijf orden van grootte lager dan op aarde. De weg die een vrij elektron kan afleggen voor het tegen een molecuul botst is dan vijf orden van grootte langer. De streamer blijft dan in wezen hetzelfde. Als het elektrisch veld vijf orden van grootte lager is dan op de grond, is hij alleen vijf orden van grootte langer en dikker. Dit is ook de reden waarom sprites vaak pas boven een zekere hoogte ontstaan. Pas daar is de verhouding van de veldsterkte en de deeltjesdichtheid groot genoeg om een streamer of sprite te laten ontstaan.

### Speculaties

Zonder toetsing blijven deze theorieën echter wetenschappelijke speculaties. En toetsing is juist het grote probleem bij verschijnselen in de 'ignorosfeer'. Beelden leren onderzoekers alleen iets over het uiterlijk van sprites. Om daaruit elek-

trische veldsterkten of elektronendichtheden te kunnen voorspellen, is theoretisch begrip nodig. Als het mogelijk is om met deze modellen de vorm van sprites te voorspellen, kunnen ze ook niet direct meetbare grootheden voorspellen, zoals het transport van energie en elektrische lading en het aanmaken van ozon en stikstofoxiden.

Ook Nederland speelt een rol in dit onderdeel van het sprite-onderzoek. Onderzoekers van het Centrum voor Wiskunde en Informatica in Amsterdam werken sinds 1998 aan modellen en simulaties van streamers. Daar staan experimenten aan de Technische Universiteit Eindhoven tegenover. Het onderzoek is gericht op streamers bij normale tot tien keer lagere druk, maar met kleine aanpassingen is het ook toe te passen op sprites. In 2002 waren CWI-onderzoekers de eersten die niet alleen de groei, maar ook het vertakken van streamers konden verklaren en voorspellen. Deze vertakkingen treden ook op wanneer een sprite zich splitst in tienduizenden kanalen. Verder staat onderzoek naar de onderlinge invloed van meerdere kanalen op het programma, evenals onderzoek naar de invloed van de veranderende deeltjesdichtheid langs de lengte van een sprite. Onderzoekers van streamer- en sprite-ontladingen zullen elkaar in mei ontmoeten op een internationale workshop aan de universiteit Leiden.

### Plasmareactors

Streamers hebben allerlei technische toepassingen. Zo worden ze gebruikt voor het maken van ozon en de afbraak van organische moleculen of stikstofoxiden. Door het zelf aangemaakte hoge elektrische veld krijgen de elektronen in de kop van het kanaal een hoge kinetische energie en ontstaat een plasma dat scheikundige reacties

*Bijzondere opnamen van een blue jet die boven de 40 km uitgroeit tot een sprite. Tussen de verschillende opnamen zit 33 milliseconden. De sprite groeit met een snelheid van meer dan 1000 km/sec. (Bron: Pasko e.a., 2002)*

veel effectiever stimuleert dan een plasma in thermisch evenwicht. De kop van de streamer is dus als het ware een zelfgeorganiseerde plasma-reactor.

Als sprites inderdaad verwant zijn aan streamers, zouden ze wel eens meer kunnen zijn dan een mooie lichtshow. Sommige ontladingen kunnen een volume beslaan van 30.000 kubieke kilometer. Een enkele sprite kan dus al een enorme hoeveelheid gas 'behandelen'. Met een geschatte hoeveelheid ontladingen van dertig per minuut kunnen sprites een belangrijke invloed hebben op de chemische samenstelling van de hogere lagen van de atmosfeer. De wereld boven de wolken zou wel eens dichterbij kunnen zijn dan gedacht.

### Meer informatie:

- Walter Lyons' website: <http://www.fma-research.com/>
  - website van de University of Alaska, in Fairbanks, met goede instructies voor waarnemingen: <http://elf.gi.alaska.edu>
  - E.A. Gerken, U.S. Inan, C.P. Barrington-Leigh, 'Telescopic imaging of sprites', *Geophys. Res. Lett.* **27**, 2637-2640 (2000).
  - V.P. Pasko e.a., 'Electrical discharge from a thundercloud top to the lower ionosphere', *Nature* **416**, 152-154 (2002).
- Informatie over de internationale workshop over streamers en sprites van 9-13 mei in Leiden is vanaf januari te vinden op <http://homepages.cwi.nl/~ebert>.

# telescopium



Het Telescoophuis® van Nederland  
 astronomische instrumenten  
 microscoop en verrekijkers  
 MEADE KERNDALER

Showroom open van maandag tot en met vrijdag  
 10-17 uur. Kolenbrandersstraat 20d • 2984 AT  
 Ridderkerk • Tel. 0180-417011 • Fax 0180-461213  
 info@telescopium.nl  
[www.telescopium.nl](http://www.telescopium.nl)