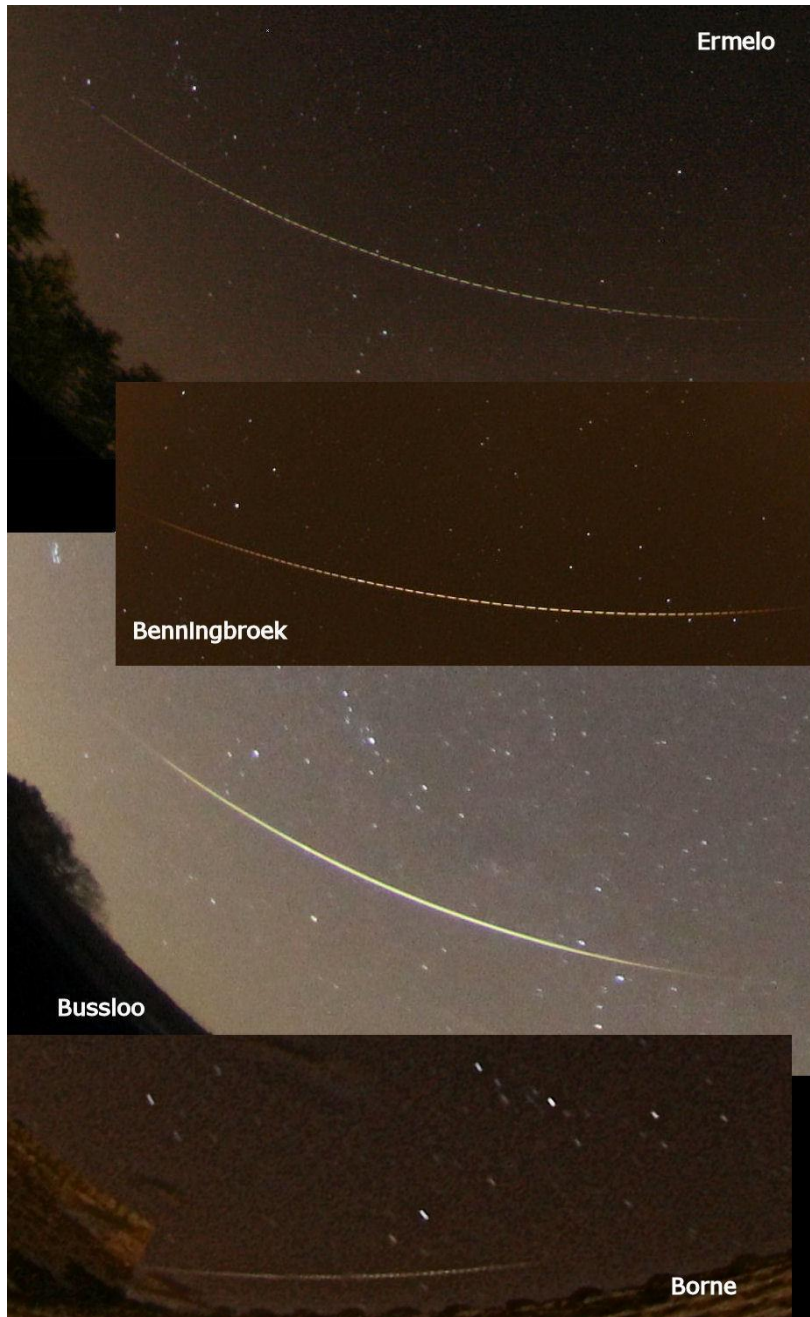


# eRadiant

Jaargang 13, nr.2  
April 2017

Elektronisch e-zine voor meteoren waarnemers uitgegeven door de Dutch Meteor Society



In dit nummer:

- De aardscherende vuurbol van 28 november 2016
  - CAMS
- Quadrantiden 2017

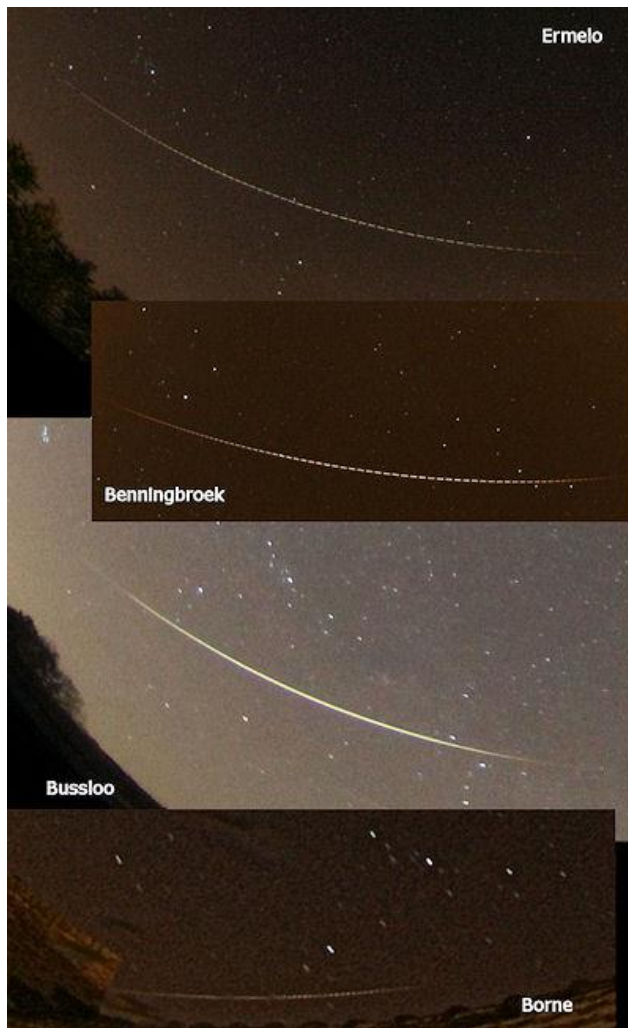
## Colofon

### Redactie eRadiant

|               |                   |
|---------------|-------------------|
| Kometen       | Jaap van 't Leven |
| Meteorën      | Carl Johannink    |
| Samenstelling | Koen Miskotte     |
| Correcties    | Jaap van 't Leven |
| Verspreiding  | Arnold Tukkers    |

eRadiant is een elektronisch tijdschrift van en voor meteorënwaarnemers. Het blad wordt uitgegeven door de Dutch Meteor Society. Het is kosteloos te downloaden vanaf de website:

[www.vallendesterren.info](http://www.vallendesterren.info)



### Voorplaat

Op de voorplaat een compositie van de aardscherende vuurbol van 28 november 2016 om 04:40 UT. Het betreft hier de opnamen vanuit Ermelo, Benningsbroek, Bussloo en Borne.

### Redactioneel

Voor u ligt alweer de 2<sup>de</sup> uitgave van eRadiant jaargang nummer 13.

In deze uitgave van eRadiant komen weer allerlei waarnemingen disciplines aan bod: fotografisch, CAMS en visueel.

We startten met een mooie analyse van Marco Langbroek van de aardscherende vuurbol van 28 november 2016.

Vervolgens twee interessante artikelen van Paul Roggemans. Het eerste artikel geeft een opsomming van gevonden activiteitsperiodes van een flink aantal grote en kleine zwermen op basis van de CAMS data. Het tweede artikel van Paul gaat over de ideale richthoogte van de CAMS systemen. In het verleden werden de CAMS richtpunten geoptimaliseerd op 90 km. Maar is dit wel een ideale waarde?

Tot slot volgt er nog een jaaroverzicht van Michel Vandeputte en een Quadrantiden verslag van Carl Johannink.

Een volgende uitgave van eRadiant zal niet lang op zich laten wachten. We wensen iedereen weer veel leesplezier!

Redactie eRadiant

## Inhoud eRadiant 2017-1

| Blz. | Artikel   | Auteur(s)  |
|------|---|--|
| 28   | Voorplaat   | Peter van Leuteren, Jaap van 't Leven, Koen Miskotte & Jos Nijland |
| 29   | Colofon, redactioneel, inhoud   | Redactie   |
| 30   | De 13.8 seconden durende, aardscherende sporadische vuurbol van 28 november 2016, 4:40 UT | Marco Langbroek et al  |
| 35   | Bevestigde meteorënzwermen, activiteit periode en banen                                   | Paul Roggemans   |
| 42   | Variaties in hoogte van CAMS meteorën   | Paul Roggemans   |
| 50   | Jaaroverzicht VANMC: Jaargang 2016  | Michel Vandeputte  |
| 51   | Quadrantiden 2017   | Carl Johannink   |

## De 13.8 seconden durende, aardscherende sporadische vuurbol van 28 november 2016, 4:40 UT

Marco Langbroek<sup>1</sup>, Felix Bettonvil, Klaas Jobse, Koen Miskotte, Jos Nijland, Peter van Leuteren, Jaap van 't Leven en Marco Verstraaten



*Figure 1. The 28 Nov 2016, 4:40 UT fireball as imaged by photographic all-sky station Benningbroek (Jos Nijland).*

### English summary

In the early morning hours of 28 November 2016, a long lasting, “earthgrazing” sporadic fireball with a duration of at least 13.8 seconds appeared over the Netherlands. The magnitude -5 fireball was visually seen by observer Koen Miskotte from Ermelo, who reported fragmentation along the trajectory, and photographically captured by 7 all sky camera stations: Benningbroek, Twisk, Ermelo, Oostkapelle, Utrecht, Bussloo and Borne. In this article we present analytical results on the atmospheric trajectory, radiant and heliocentric orbit for this fireball. For this purpose the imagery has been measured with AstroRecord [1], the trajectory and radiant point reconstructed with TRAJECT 3.0-beta [2] and the orbit calculated with METORB 9.0 [3].

The fireball was an “earthgrazing” fireball entering the atmosphere under a very shallow angle ( $11^{\circ}.2$ ). It moved from almost due west to east, coming from an apparent radiant at  $RA_{\text{obs}} 53^{\circ}.23$ ,  $Dec_{\text{obs}} +12^{\circ}.97$  in Taurus. The longest trajectory length was recorded by Benningbroek, which recorded 212 km trajectory length. The average length of the trajectory was 191 km, starting over the North Sea near  $53^{\circ}.01$  N,  $2^{\circ}.99$  E at an



atmospheric altitude of 82.5 km, crossing over the northern tip of North Holland province and Lake IJssel, and ending over the northern part of the Noordoost Polder at 52°.80 N, 5°.73 E at an altitude of 45.9 km (see table 1 and fig 2). A small brief flare occurred at 58.7 km altitude, perhaps the fragmentation witnessed by Koen Miskotte.

Four stations were equipped with a rotating shutter, providing speed information. The fireball duration was at least 13.8 seconds (Benningbroek recorded over 115 shutter breaks). Clear deceleration could be measured over the trajectory (fig 3). The initial speed  $V_{ini}$  of the fireball determined from a Gompertz-fit to the deceleration curve was 15.59 km/s. The terminal speed  $V_{term}$  at 45.9 km altitude was 6.3 km/s. All indications are that nothing of the original meteoroid remained upon termination of the fireball (endmass < 1 g). The geocentric radiant of the fireball is located at  $RA_{geo}$  44°.01,  $Dec_{geo}$  +00°.70 in Cetus (table 2 and fig 4). The geocentric speed  $V_{geo}$  was 11.27 km/s. The fireball is of asteroidal origin. The resulting orbit is an Apollo orbit with perihelion at 0.871 AU, aphelion at 2.81 AU, an eccentricity of 0.526 and orbital inclination of 4°.92 (table 3 and fig 5).

## Inleiding

In de vroege ochtenduren van 28 november 2016, rond 4:40 UT (5:40 MET), verscheen een heldere, trage, bijzonder langdurige sporadische vuurbol aan de Nederlandse hemel. Koen Miskotte nam de vuurbol vanuit Ermelo visueel waar en schatte de helderheid op magnitude -5. De vuurbol begon rond 4:40:26 UT en eindigde rond 4:40:40 UT. Het was een "aardscheerder" met het radiant laag aan de hemel. Koen Miskotte meldt fragmentatieverschijnselen langs het traject.

De verschijningsduur van de vuurbol was ongewoon lang: Benningbroek verkreeg een zeer fraaie plaat (figuur 1, bovenaan dit artikel) waarop maar liefst 13.8 seconden van de vuurbol is vastgelegd (tenminste 115 sector onderbrekingen). De vuurbol bewoog in dit tijdsinterval over een groot deel van de hemel, van west naar oost.

## Methodiek

In dit artikel geven we de resultaten van de traject-, radiant- en baanberekeningen aan deze vuurbol. Zeven fotografische all-sky stations legden de vuurbol vast: Benningbroek (Jos Nijland), Ermelo (Koen Miskotte), Bussloo (Jaap van 't Leven), Oostkapelle (Klaas Jobse), Utrecht (Felix Bettonvil), Borne (Peter van Leuteren) en Twisk (Marco Verstraaten). Benningbroek legde ook nog het laatste stukje van de vuurbol op video vast met een CAMS camera.

De opnamen zijn uitgemeten met *AstroRecord* [1], het traject is berekend met *TRAJECT* 3.0-beta [2] en de baan is berekend met *METORB* 9.0 [3].

De camera in Twisk (Marco Verstraaten) is geen reguliere all-sky camera maar een Orion Starshoot autoguideer, met 1/2 inch ccd en een relatief lage resolutie. Niettemin was deze registratie heel welkom, omdat ze analytisch de afhankelijkheid van de all-sky camera in Benningbroek sterk verminderde. Alle stations leveren namelijk goede convergentiehoeken met Benningbroek en Twisk, maar onderling verder zeer lage (onbruikbare) convergentiehoeken.

## Traject van de vuurbol

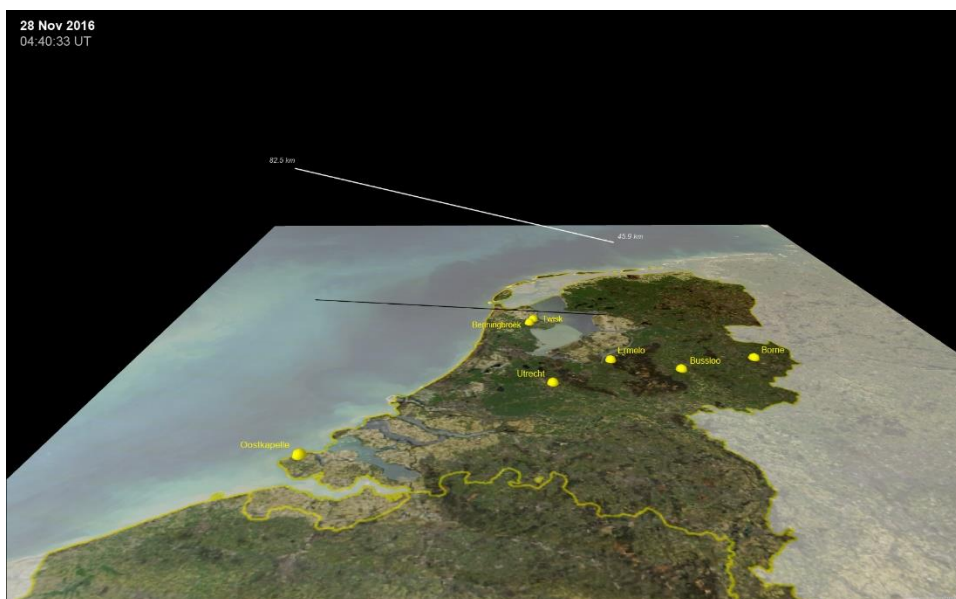


Figure 2. Atmospheric trajectory of the fireball.

De vuurbol kwam scherend de dampkring in, onder een hoek van slechts  $11^\circ.2$ . Samen met de lange tijdsduur zorgde dit voor een ongewoon lang geografisch traject. De gemiddelde trajectlengte op basis van de gemiddelde waarden voor begin- en eindpunt is maar liefst 191 km, maar sommige posten legden nog méér vast. Benningbroek spant de kroon met maar liefst 212 km vastgelegde trajectlengte!

Het gemiddelde beginpunt van de vuurbol ligt op 82.5 km hoogte boven de Noordzee, nabij  $53^\circ.01$  N,  $2^\circ.99$  E. De vuurbol bewoog vervolgens bijna pal west-oost, over de kop van Noord Holland en het IJsselmeer, om op 45.9 km hoogte te eindigen boven het noordelijk deel van de Noordoostpolder nabij  $52^\circ.80$  N,  $5^\circ.73$  E (zie tabel 1 en figuur 2).

Een viertal posten (Benningbroek, Ermelo, Oostkapelle en Utrecht) legden een kleine kort flare vast op 58.7 km hoogte, rond het moment dat de vuurbol de Noord Hollandse kust kruiste. Misschien was dit het moment van de door Koen Miskotte gemelde fragmentatie.

Table 1. Trajectory results (WGS84)

|                 | START     | END       |
|-----------------|-----------|-----------|
| <b>Lat</b>      | 53°.006 N | 52°.805 N |
| <b>Lon</b>      | 2°.993 E  | 5°.732 E  |
| <b>altitude</b> | 72.5 km   | 45.9 km   |

### Snelheid en radiant van de vuurbol

De radiant- en snelheidsgegevens staan samengevat in tabel 2. Vier stations (Benningbroek, Ermelo, Utrecht en Borne) leverden snelheidsinformatie. De vuurbol was traag. Over het traject is een duidelijke deceleratie zichtbaar, van een initiële snelheid  $V_{ini} = 15.59$  km/s naar een eindsnelheid  $V_{term} = 6.3$  km/s (figuur 3). De op basis van de vertraging op de eindhoogte van 45.9 km berekende eindmassa is minder dan 1 gram: er lijkt bij het uitdoven dus niets over te zijn geweest van de meteoroïde.

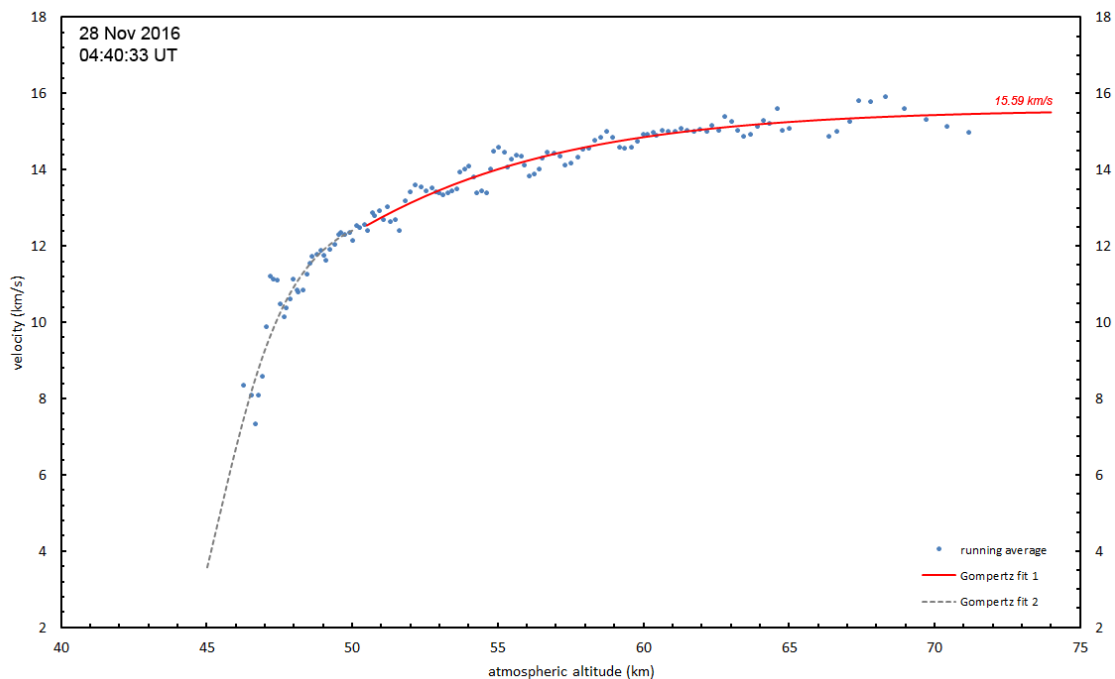


Figure 3. Velocity as a function of atmospheric altitude. A clear deceleration is visible over the trajectory, from  $V_{ini} = 15.59$  km/s to  $V_{term} = 6.3$  km/s. The velocity data above and below 50 km altitude have been fitted by two separate Gompertz curves.

Table 2. Radiant data (2000.0)

| OBSERVED           |                               | GEOCENTRIC         |            | HELIOCENTRIC       |            |
|--------------------|-------------------------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
| RA <sub>obs</sub>  | $53^\circ.23 \pm 0^\circ.08$  | RA <sub>geo</sub>  | 44°.01     | lambda             | 352°.53    |
| DEC <sub>obs</sub> | $+12^\circ.97 \pm 0^\circ.21$ | DEC <sub>geo</sub> | +00°.70    | beta               | -4°.72     |
| V <sub>inf</sub>   | $15.59 \pm 0.38$ km/s         | V <sub>geo</sub>   | 11.27 km/s | V <sub>helio</sub> | 36.27 km/s |

Door de geringe intredehoek van slechts  $11^\circ.2$  ligt het schijnbare radiant laag aan de hemel, en komt uit op Rechte Klimming  $53^\circ.23$ , declinatie  $+12^\circ.97$  in het sterrenbeeld Stier. Het geocentrische radiant komt uit op Rechte Klimming  $44^\circ.0$ , declinatie  $+0^\circ.7$ , nabij de ster Mira in de Walvis (figuur 4). De geocentrische snelheid  $V_{\text{geo}}$  was laag en bedroeg  $11.3 \text{ km/s}$ .

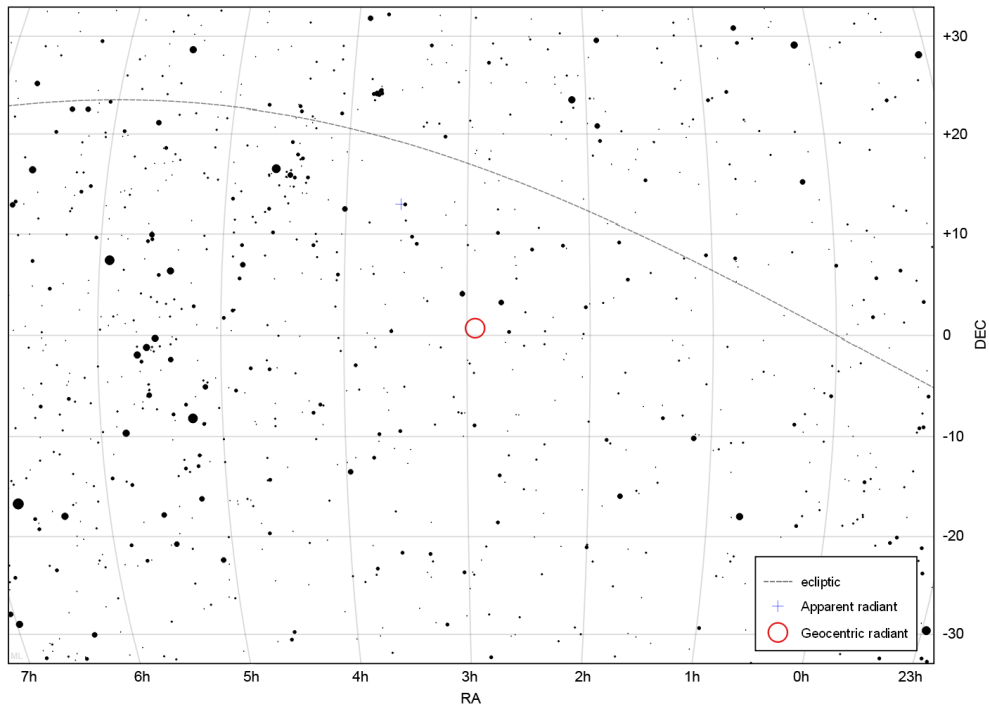


Figure 4. Positions of the apparent and geocentric radiant of the fireball

### Baan van de vuurbol

Tabel 3 en figuur 5 geven de op basis van het radiant en de snelheid berekende baan in het zonnestelsel. Dit was een object van planetoïdale origine, een fragmentje planetoïde dus, in een Apollo-baan met een periheliumafstand op  $0.871 \text{ AE}$  van de zon en een aphelium middenin de planetoïdengordel op  $2.81 \text{ AE}$  van de zon. De baaninclinatie was gering en bedraagt  $4^\circ.9$ . De omlooptijd om de zon bedroeg  $2.49 \text{ jaar}$ .

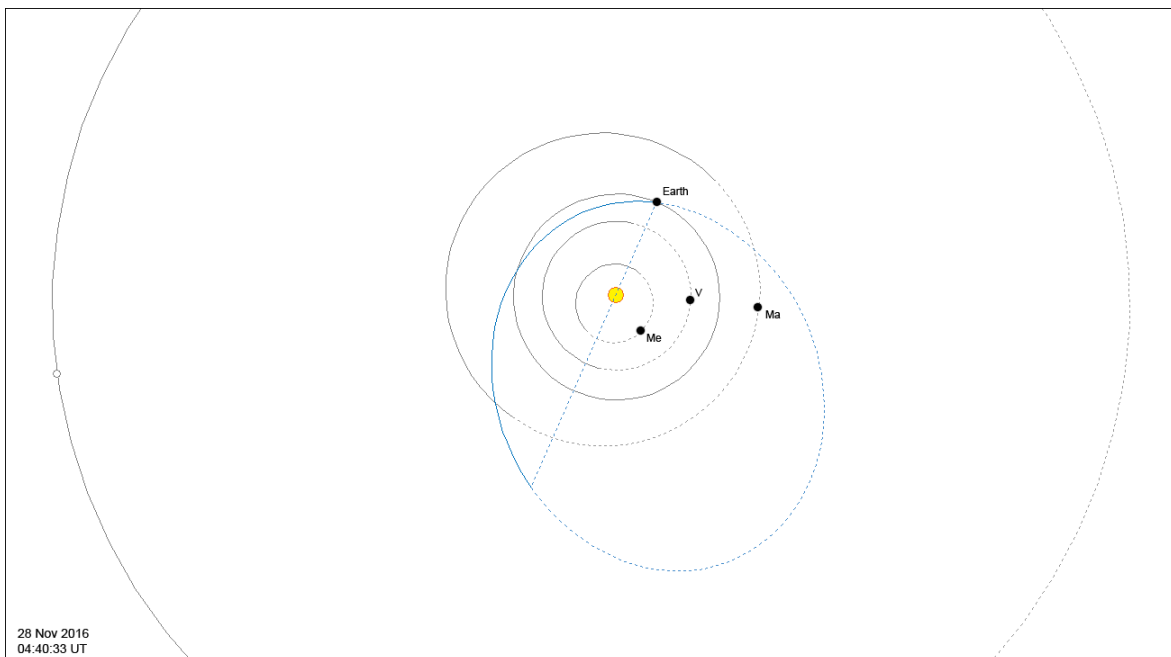


Figure 5. Heliocentric orbit of the fireball

Table 3. Orbital elements (2000.0)

|          |          |     |
|----------|----------|-----|
| q        | 0.8713   | AU  |
| a        | 1.8382   | AU  |
| e        | 0.5260   |     |
| i        | 4°.923   |     |
| $\omega$ | 48°.611  |     |
| $\Omega$ | 66°.1498 |     |
| $\pi$    | 114°.76  |     |
| Q        | 2.81     | AU  |
| period   | 2.49     | yrs |

## Referenties

- [1] De Lignie M., Astro record 3.0. *Radiant* (J. DMS) 19 (1997), 28-30.
- [2] Langbroek M., De vuurbol van 19 oktober 2014 (EN19102014): reductie met TRAJECT en METORB. *e-Radiant* 11:1 (2015), 3-7.
- [3] Langbroek M., A spreadsheet that calculates meteor orbits. *WGN* (J. IMO) 32:4 (2004), 109-110.

# Bevestigde meteorenzwermen, activiteit periode en banen

Paul Roggemans

De gegevens van de online IAU meteorenzwermen lijst werd geverifieerd aan de hand van de CAMS dataset met 111233 banen verzameld in de periode 2010–2013. De activiteit periode voor alle zwermen die door CAMS werden geregistreerd werd afgeleid uit de spreiding in de zonnelongte van alle individuele banen die met de zwerm werden geassocieerd. Voor de zwermen die niet voorkomen in de CAMS dataset, vooral daglicht zwermen, werd CMOR data gebruikt om de informatie te vervolledigen. Teneinde zwermassociaties makkelijker te maken en om vergissingen te vermijden in zwermdata werden de officiële zwerm benaming en de baanelementen in deze bijdrage toegevoegd.

## 1 Inleiding

Sommige CAMS tools vereisen een referentielijst om de associatie van niet simultane meteoren met actieve radianten mogelijk te maken. In het verleden werd een lijst gebruikt gebaseerd op de IMO Shower Calendar. Aangezien deze referentie onvolledig is en inmiddels niet meer up-to-date heeft de auteur op verzoek van Pete Gural, de CAMS software ontwikkelaar, een nieuwe referentielijst opgesteld gebaseerd op de IAU meteor shower list. Om de online gepubliceerde gegevens van de IAU zwermlijst te verifiëren werden de originele bronnen geraadpleegd. De meeste van de momenteel bevestigde meteorenzwermen (situatie januari 2017) zijn gebaseerd op recent gepubliceerde CAMS-gegevens (Jenniskens et al., 2016) en CMOR data (Brown et al., 2008, 2010). Voor de enkele gevallen waarvoor geen CAMS noch CMOR gegevens beschikbaar zijn werden de historische gegevens aangeleverd door Peter Jenniskens.

Bij het doorlopen van de officiële online lijst werden een aantal fouten opgemerkt die verduidelijking vereisten. Wat CAMS betrof was het een evidente keuze om de publieke dataset van de SETI-CAMS website te gebruiken. Deze CAMS dataset telt 111233 banen verzameld in 2010–2013. De banen werden per zwerm geselecteerd en de mediaan werd voor een aantal parameters berekend. Op deze manier konden verschillen tussen de online IAU lijst en de gepubliceerde referenties worden verbeterd.

Peter Brown stelde een werkdocument ter beschikking met de recentste CMOR data zodat ook deze data kon worden geverifieerd.

Het opzoekwerk leverde extra informatie op die niet in de online IAU lijst wordt vermeld. Aangezien deze bijkomende gegevens van nut zijn voor eenieder die met dit onderwerp bezig is, publiceren we deze data in deze bijdrage. Alhoewel de informatie online beschikbaar is kan het praktisch zijn om een lijst op papier bij de hand te hebben.

## 2 Activiteit periode voor alle zwermen

De IAU lijst vermeldt enkel de zonnelongte geldig voor de baan. In de meeste gevallen is deze zonnelongte de mediaan van zonnelongten van alle banen. In sommige gevallen werd deze waarde aangepast indien de precieze zonnelongte van een waargenomen maximum gekend is. Dit is niet noodzakelijk identiek aan de mediaan. Er is echter niets vermeld van de activiteit periode in de IAU lijst.

Aangezien dat CAMS voor de meeste zwermen veel banen heeft verzameld, krijgen we een goede kijk op het interval in zonnelongte waarin banen voor elke zwerm werden vastgesteld. Aangezien de criteria erg strikt zijn om een baan met een bepaalde zwerm te associëren is deze methode om de activiteit periode te bepalen veel relevanter dan de veronderstellingen op basis van statistieken van niet simultane meteoren.

Tabel 1 vermeldt de activiteit periode zoals afgeleid uit de originele CAMS dataset of de CMOR data. Data gebaseerd op CAMS staat aangegeven met 'C', data van CMOR met 'R' en de enkele gevallen met oudere historische gegevens met 'H'. Het aantal banen is in de meeste gevallen statistisch relevant maar houd er rekening mee dat voor sommige zwermen slechts weinig banen gekend zijn met behulp van CAMS. Het aantal banen staat vermeld in de laatste kolom in Tabel 1. De data is gebaseerd op dit aantal beschikbare banen en mag zeker niet beperkend worden geïnterpreteerd maar eerder als de tijdsperiode waarin tot nu toe met zekerheid banen werden vastgesteld voor de zwerm. Er zullen in de toekomst nog meer banen voor alle zwermen gevonden worden, ook buiten de huidig gekende activiteit periode.

De waarde  $\lambda O-m$  is de mediaan van alle banen, tenzij de zonnelongte van de maximale activiteit nauwkeuriger kon worden bepaald.  $\lambda O-b$  is de integer voorafgaande aan de zonnelongte van de vroegst vastgestelde baan en  $\lambda O-e$  de integer van de zonnelongte na deze van de laatst vastgestelde baan, bv. indien de laatste  $\lambda O$  26.3° bedroeg, dan werd  $\lambda O-e$  als 27° genomen.



| Zwerm (IAU code)                            | $\lambda_{0-b}$<br>(°) | $\lambda_{0-m}$<br>(°) | $\lambda_{0-e}$<br>(°) | $\alpha$<br>(°) | $\delta$<br>(°) | $\Delta\alpha$<br>(°) | $\Delta\delta$<br>(°) | $V_g$<br>Km/s | N     |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-------|
| $\kappa$ -Serpentids (KSE – 27)             | 3                      | 20                     | 27                     | 242.7           | +16.8           | +0.81                 | -0.20                 | 46.7          | C21   |
| Daytime April Piscids (APS – 144)           | 16                     | 26                     | 38                     | 4.9             | +5.5            | +0.94                 | +0.42                 | 29.2          | R2608 |
| $\alpha$ -Virginids (AVB – 21)              | 25                     | 32                     | 37                     | 203.5           | +2.9            | +0.91                 | -0.36                 | 18.8          | C12   |
| April Lyrids (LYR – 6)                      | 21                     | 32.3                   | 45                     | 272.0           | +33.4           | +0.66                 | +0.02                 | 46.7          | C257  |
| $\pi$ -Puppids (PPU – 137)                  | 26                     | 33.6                   | 40                     | 110.4           | -45.1           | +0.54                 | -0.14                 | 15.0          | H     |
| April $\rho$ -Cygnids (ARC – 348)           | 36                     | 38                     | 44                     | 322.1           | +46.6           | +0.66                 | +0.32                 | 40.9          | C42   |
| h-Virginids (HVI – 343)                     | 38                     | 40                     | 44                     | 204.8           | -11.5           | +0.95                 | -0.36                 | 17.2          | C11   |
| $\eta$ -Aquariids (ETA – 31)                | 27                     | 46.2                   | 64                     | 338.1           | -0.8            | +0.92                 | +0.37                 | 65.7          | C936  |
| North. Daytime $\omega$ -Cetids (NOC – 152) | 16                     | 49                     | 61                     | 11.8            | +18.9           | +0.99                 | +0.36                 | 36.2          | R2279 |
| South. Daytime $\omega$ -Cetids (OCE -153)  | 11                     | 49                     | 65                     | 23.4            | -4.3            | +0.91                 | +0.46                 | 37.0          | R2205 |
| $\eta$ -Lyrids (ELY – 145)                  | 47                     | 50                     | 53                     | 289.9           | +43.4           | +0.56                 | +0.14                 | 43.7          | C39   |
| South. Daytime May Arietids (SMA – 156)     | 36                     | 54                     | 59                     | 36.3            | +10.8           | +0.96                 | +0.30                 | 28.0          | R3289 |
| $\epsilon$ -Aquilids (EAU – 151)            | 58                     | 63                     | 73                     | 294.1           | +20.4           | +0.78                 | +0.17                 | 31.5          | C11   |
| $\tau$ -Herculids (TAH – 61)                | 58                     | 72                     | 83                     | 228.5           | +39.8           | +0.67                 | -0.26                 | 15.0          | H14   |
| Daytime $\zeta$ -Perseids (ZPE – 172)       | 56                     | 74.5                   | 90                     | 56.6            | +23.2           | +0.99                 | +0.23                 | 27.1          | R2304 |
| June $\mu$ -Cassiopeiids (JMC – 362)        | 58                     | 77                     | 84                     | 15.8            | +55.4           | +1.08                 | +0.38                 | 41.7          | C32   |
| Daytime Arietids (ARI – 171)                | 62                     | 81                     | 99                     | 45.7            | +25.0           | +0.86                 | +0.18                 | 41.1          | C31   |
| June $\rho$ -Cygnids (JRC – 510)            | 82                     | 84                     | 87                     | 320.5           | +44.1           | +0.67                 | +0.31                 | 50.9          | C14   |
| $\beta$ -Equuleids (BEQ – 327)              | 77                     | 84                     | 98                     | 301.1           | +0.1            | +0.91                 | +0.23                 | 33.2          | C38   |
| Daytime $\lambda$ -Taurids (DLT – 325)      | 71                     | 85.5                   | 98                     | 57.3            | +11.4           | +0.85                 | +0.33                 | 35.6          | R2059 |
| South. $\mu$ -Sagittariids (SSG – 69)       | 77                     | 86                     | 104                    | 273.2           | -29.5           | +1.14                 | +0.03                 | 25.1          | C70   |
| Corvids (COR – 63)                          | 79                     | 86                     | 95                     | 205.8           | +0.2            | +0.92                 | -0.36                 | 8.7           | C12   |
| $\epsilon$ -Perseids (EPR – 324)            | 86                     | 88                     | 91                     | 53.8            | +37.8           | +1.17                 | +0.23                 | 43.8          | C4    |
| Daytime $\beta$ -Taurids (BTA – 173)        | 89                     | 93.5                   | 101                    | 82.8            | +20.1           | +0.82                 | +0.05                 | 26.8          | R1386 |
| June $\iota$ -Pegasids (JIP – 431)          | 91                     | 94                     | 96                     | 332.1           | +29.1           | +0.81                 | +0.35                 | 58.5          | C11   |
| June Bootids (JBO – 170)                    | 94                     | 96.3                   | 98                     | 222.9           | +47.9           | +0.62                 | -0.29                 | 14.1          | H     |
| North. June Aquilids (NZC – 164)            | 75                     | 101                    | 119                    | 309.7           | -5.3            | +0.95                 | +0.26                 | 38.3          | C404  |
| $\phi$ -Piscids (PPS – 372)                 | 78                     | 103                    | 130                    | 17.0            | +25.0           | +0.97                 | +0.38                 | 66.5          | C379  |
| South. June Aquilids (SZC – 165)            | 79                     | 104                    | 115                    | 319.3           | -27.6           | +1.05                 | +0.30                 | 39.2          | C89   |
| c-Andromedids (CAN – 411)                   | 94                     | 107                    | 124                    | 28.6            | +47.7           | +1.13                 | +0.35                 | 57.5          | C169  |
| $\epsilon$ -Pegasids (EPG – 326)            | 101                    | 109                    | 120                    | 330.2           | +13.0           | +0.87                 | +0.35                 | 28.4          | C33   |
| $\alpha$ -Lacertids (ALA – 328)             | 100                    | 109                    | 121                    | 348.0           | +51.6           | +1.10                 | +0.42                 | 37.4          | C2    |
| July $\chi$ -Arietids (JXA – 533)           | 100                    | 111                    | 129                    | 35.4            | +8.8            | +0.97                 | +0.30                 | 68.9          | C20   |
| July Pegasids (JPE – 175)                   | 98                     | 112                    | 143                    | 346.5           | +12.1           | +0.90                 | +0.39                 | 64.0          | C104  |
| 49 Andromedids (FAN – 549)                  | 104                    | 118                    | 141                    | 25.3            | +48.2           | +1.07                 | +0.37                 | 60.2          | C76   |
| $\psi$ -Cassiopeiids (PCA – 187)            | 103                    | 119                    | 135                    | 35.0            | +73.3           | +1.68                 | +0.32                 | 42.0          | C36   |
| July $\gamma$ -Draconids (GDR – 184)        | 119                    | 124                    | 127                    | 280.1           | +50.3           | +0.45                 | +0.07                 | 27.5          | C40   |
| $\alpha$ -Capricornids (CAP – 1)            | 101                    | 125                    | 138                    | 304.6           | -9.6            | +0.97                 | +0.24                 | 23.0          | C646  |
| Southern $\delta$ -Aquariids (SDA – 5)      | 117                    | 127                    | 146                    | 340.0           | -16.3           | +0.95                 | +0.38                 | 41.3          | C1382 |
| Piscis Austrinids (PAU – 183)               | 125                    | 136                    | 146                    | 352.5           | -20.5           | +0.94                 | +0.40                 | 43.9          | C23   |
| Daytime $\chi$ -Orionids (XRI -188)         | 128                    | 137                    | 140                    | 107.5           | +16.2           | +0.70                 | -0.10                 | 43.8          | R1089 |
| $\eta$ -Eridanids (ERI – 191)               | 118                    | 138                    | 174                    | 44.1            | -12.4           | +0.86                 | +0.29                 | 64.5          | C214  |
| Perseids (PER – 7)                          | 115                    | 140                    | 158                    | 48.2            | +58.1           | +1.40                 | +0.26                 | 59.1          | C4366 |

| Zwerm (IAU code)                           | $\lambda_{0-b}$<br>(°) | $\lambda_{0-m}$<br>(°) | $\lambda_{0-e}$<br>(°) | $\alpha$<br>(°) | $\delta$<br>(°) | $\Delta\alpha$<br>(°) | $\Delta\delta$<br>(°) | $V_g$<br>Km/s | N     |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-------|
| Northern $\delta$ -Aquariids (NDA – 26)    | 120                    | 141                    | 154                    | 347.3           | +2.3            | +0.91                 | +0.39                 | 38.4          | C251  |
| $\kappa$ -Cygnids (KCG – 12)               | 136                    | 141                    | 144                    | 277.5           | +52.8           | +0.40                 | +0.05                 | 20.9          | C25   |
| August Draconids (AUD – 197)               | 140                    | 143                    | 146                    | 271.7           | +58.9           | +0.26                 | +0.01                 | 21.1          | C17   |
| Northern $\iota$ -Aquariids (NIA – 33)     | 133                    | 148                    | 160                    | 346.7           | -1.2            | +0.92                 | +0.39                 | 31.3          | C94   |
| $\beta$ -Hydrids (BHY – 198)               | 142                    | 143.8                  | 146                    | 36.3            | -74.5           | +0.08                 | +0.32                 | 22.8          | H     |
| Aurigids (AUR – 206)                       | 145                    | 158.6                  | 164                    | 90.9            | +38.6           | +1.24                 | -0.01                 | 65.6          | C19   |
| Daytime $\zeta$ -Cancriids (ZCA – 202)     | 140                    | 160                    | 167                    | 136.1           | +11.7           | +0.92                 | -0.18                 | 42.1          | R949  |
| September $\epsilon$ -Perseids (SPE – 208) | 161                    | 168                    | 190                    | 48.8            | +39.7           | +1.17                 | +0.26                 | 64.8          | C85   |
| $\nu$ -Eridanids (NUE – 337)               | 150                    | 181                    | 234                    | 77.1            | +6.4            | +0.95                 | +0.19                 | 67.1          | C291  |
| Daytime $\kappa$ -Leonids (KLE – 212)      | 164                    | 183                    | 200                    | 162.3           | +14.9           | +0.62                 | -0.30                 | 43.3          | R1366 |
| Daytime Sextantids (DSX – 221)             | 174                    | 186                    | 197                    | 154.1           | -1.5            | +0.91                 | -0.37                 | 32.9          | C14   |
| October Capricornids (OCC – 233)           | 177                    | 189.7                  | 201                    | 303.0           | -10.0           | +0.98                 | +0.22                 | 10            | H     |
| October Camelopardalids (OCT – 281)        | 192                    | 193                    | 196                    | 166.0           | +79.1           | +1.38                 | -0.39                 | 46.6          | H     |
| October Draconids (DRA – 9)                | 195                    | 195                    | 196                    | 262.9           | +55.7           | +0.34                 | -0.05                 | 20.7          | H     |
| $\epsilon$ -Geminids (EGE – 23)            | 187                    | 198                    | 212                    | 93.8            | +28.1           | +1.13                 | -0.03                 | 69.6          | C31   |
| October Ursae Majorids (OCU – 333)         | 201                    | 202                    | 203                    | 145.0           | +64.8           | +1.39                 | -0.33                 | 55.6          | C9    |
| Orionids (ORI – 8)                         | 180                    | 209                    | 245                    | 95.9            | +15.7           | +1.03                 | -0.05                 | 66.3          | C3024 |
| Leonis Minorids (LMI – 22)                 | 199                    | 209                    | 223                    | 159.9           | +36.6           | +1.02                 | -0.38                 | 61.9          | C64   |
| $\chi$ -Draconids (XDR – 242)              | 209                    | 210.8                  | 215                    | 171.2           | +70.6           | +0.98                 | -0.63                 | 37.1          | R1363 |
| $\lambda$ -Ursae Majorids (LUM – 524)      | 213                    | 214                    | 215                    | 157.8           | +50.2           | +1.09                 | -0.37                 | 60.9          | C4    |
| Southern Taurids (STA – 2)                 | 180                    | 216                    | 272                    | 47.9            | +12.8           | +0.99                 | +0.26                 | 26.6          | C916  |
| Northern Taurids (NTA – 17)                | 181                    | 220                    | 267                    | 48.9            | +20.7           | +1.03                 | +0.26                 | 28.0          | C509  |
| $\chi$ -Taurids (CTA – 388)                | 207                    | 221                    | 235                    | 63.0            | +26.2           | +1.09                 | +0.18                 | 41.1          | C52   |
| Southern $\lambda$ -Draconids (SLD – 526)  | 219                    | 221                    | 222                    | 162.0           | +68.2           | +1.21                 | -0.38                 | 49.1          | C13   |
| $\sigma$ -Eridanids (OER – 338)            | 201                    | 222                    | 242                    | 54.0            | -1.5            | +0.92                 | +0.20                 | 29.1          | C94   |
| Andromedids (AND – 18)                     | 213                    | 223                    | 235                    | 20.7            | +28.0           | +1.00                 | +0.37                 | 18.2          | C39   |
| $\kappa$ -Ursae Majorids (KUM – 445)       | 221                    | 225                    | 228                    | 147.2           | +45.0           | +1.13                 | -0.34                 | 65.7          | C8    |
| $\rho$ -Puppids (RPU – 512)                | 226                    | 231                    | 237                    | 130.4           | -26.3           | +0.77                 | -0.26                 | 57.8          | C22   |
| Leonids (LEO – 13)                         | 220                    | 235.3                  | 248                    | 153.8           | +21.8           | +0.99                 | -0.36                 | 70.2          | C268  |
| $\alpha$ -Monocerotids (AMO – 246)         | 238                    | 239.3                  | 240                    | 116.8           | +0.9            | +0.97                 | -0.09                 | 63.0          | H     |
| Southern $\chi$ -Orionids (ORS – 257)      | 238                    | 243                    | 268                    | 73.0            | +17.8           | +1.04                 | +0.11                 | 27.9          | C97   |
| November $\theta$ -Aurigids (THA – 390)    | 229                    | 244                    | 249                    | 95.7            | +34.7           | +1.19                 | -0.04                 | 32.5          | C82   |
| November Orionids (NOO – 250)              | 225                    | 247                    | 265                    | 90.6            | +15.2           | +1.03                 | -0.01                 | 42.5          | C369  |
| December $\kappa$ -Draconids (DKD – 336)   | 250                    | 252                    | 255                    | 187.2           | +70.2           | +0.77                 | -0.39                 | 43.8          | C36   |
| December $\phi$ -Cassiopeiids (DPC – 446)  | 246                    | 252                    | 258                    | 19.5            | +57.7           | +1.14                 | +0.37                 | 16.5          | C68   |
| Phoenicids (PHO – 254)                     | 252                    | 253                    | 254                    | 15.6            | -44.7           | +0.81                 | +0.38                 | 11.7          | H     |
| $\psi$ -Ursae Majorids (PSU – 339)         | 250                    | 253                    | 258                    | 169.8           | +42.4           | +0.98                 | -0.39                 | 61.7          | C18   |
| December $\alpha$ -Draconids (DAD – 334)   | 248                    | 256                    | 263                    | 210.8           | +58.6           | +0.58                 | -0.34                 | 40.8          | C47   |
| $\eta$ -Hydrids (EHY – 529)                | 248                    | 257                    | 274                    | 132.3           | +2.5            | +0.93                 | -0.27                 | 62.4          | C83   |
| December Monocerotids (MON – 19)           | 246                    | 261                    | 275                    | 102.9           | +7.8            | +0.97                 | -0.09                 | 41.4          | C240  |
| December $\sigma$ -Virginids (DSV – 428)   | 249                    | 261.8                  | 271                    | 200.8           | +5.8            | +0.90                 | -0.37                 | 66.2          | C22   |
| Geminids (GEM – 4)                         | 243                    | 262.2                  | 270                    | 113.5           | +32.3           | +1.15                 | -0.16                 | 33.8          | C5103 |
| $\sigma$ -Hydrids (HYD – 16)               | 188                    | 266                    | 275                    | 134.4           | -0.1            | +0.92                 | -0.28                 | 58.9          | C529  |
| December $\chi$ -Virginids (XVI – 335)     | 248                    | 267                    | 280                    | 194.3           | -12.0           | +0.94                 | -0.39                 | 69.1          | C46   |

| Zwerm (IAU code)                              | $\lambda_{0-b}$<br>(°) | $\lambda_{0-m}$<br>(°) | $\lambda_{0-e}$<br>(°) | $\alpha$<br>(°) | $\delta$<br>(°) | $\Delta\alpha$<br>(°) | $\Delta\delta$<br>(°) | $V_g$<br>Km/s | N     |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-------|
| Ursids (URS – 15)                             | 267                    | 270.1                  | 272                    | 219.9           | +75.4           | +0.05                 | -0.31                 | 32.9          | C62   |
| $\alpha$ -Lyncids (ALY – 252)                 | 266                    | 272                    | 274                    | 140.4           | +39.8           | +1.13                 | -0.31                 | 49.5          | C3    |
| $\sigma$ -Serpentids (SSE – 330)              | 272                    | 273                    | 275                    | 242.6           | -4.8            | +0.95                 | -0.16                 | 45.5          | C3    |
| Comae Berenicids (COM – 20)                   | 252                    | 274                    | 302                    | 167.0           | +28.0           | +0.96                 | -0.39                 | 63.3          | C497  |
| $\omega$ -Serpentids (OSE – 320)              | 277                    | 279                    | 281                    | 252.3           | -5.8            | +0.99                 | -0.37                 | 45.0          | C2    |
| January Leonids (JLE – 319)                   | 279                    | 283                    | 287                    | 147.7           | +24.1           | +1.01                 | -0.34                 | 51.4          | C13   |
| $\alpha$ -Hydrids (AHY – 331)                 | 265                    | 283                    | 297                    | 126.9           | -8.7            | +0.87                 | -0.24                 | 43.3          | C119  |
| Quadrantids (QUA – 10)                        | 270                    | 283.2                  | 297                    | 230.2           | +49.5           | +0.56                 | -0.25                 | 40.7          | C1029 |
| Daytime $\chi$ -Sagittariids (XSA – 100)      | 278                    | 288                    | 296                    | 282.3           | -16.3           | +0.77                 | +0.12                 | 25.3          | R896  |
| Southern $\delta$ -Cancriids (SCC – 97)       | 278                    | 289                    | 298                    | 125.0           | +14.4           | +1.00                 | -0.23                 | 27.0          | C69   |
| $\chi$ -Coronae Borealids (XCB – 323)         | 293                    | 296                    | 300                    | 250.9           | +29.7           | +0.70                 | -0.13                 | 45.1          | C26   |
| Northern $\delta$ -Cancriids (NCC – 96)       | 273                    | 296                    | 303                    | 127.6           | +21.5           | +1.04                 | -0.25                 | 27.2          | C74   |
| $\theta$ -Coronae Borealids (TCB – 321)       | 287                    | 296                    | 304                    | 233.6           | +34.4           | +0.30                 | +0.16                 | 37.7          | R3560 |
| $\lambda$ -Bootids (LBO – 322)                | 280                    | 296                    | 297                    | 221.5           | +42.4           | +1.04                 | -0.76                 | 40.7          | R2743 |
| $\gamma$ -Ursae Minorids (GUM – 404)          | 289                    | 298                    | 300                    | 228.3           | +69.2           | +0.14                 | -0.26                 | 28.8          | C26   |
| January $\chi$ -Ursae Majorids (XUM – 341)    | 295                    | 298                    | 302                    | 168.7           | +33.0           | +0.97                 | -0.39                 | 40.9          | C30   |
| $\eta$ -Corvids (ECV – 530)                   | 296                    | 302                    | 309                    | 192.2           | -17.3           | +0.95                 | -0.39                 | 68.1          | C15   |
| $\alpha$ -Antliids (AAN – 110)                | 304                    | 312                    | 328                    | 157.2           | -9.5            | +0.89                 | -0.37                 | 45.0          | C34   |
| $\sigma$ -Hydrids (OHY – 569)                 | 306                    | 313                    | 319                    | 179.2           | -34.9           | +0.92                 | -0.40                 | 58.2          | C12   |
| February $\varepsilon$ -Virginids (FEV – 506) | 300                    | 314                    | 328                    | 200.4           | +11.0           | +0.89                 | -0.37                 | 62.9          | C55   |
| February $\eta$ -Draconids (FED – 427)        | 314                    | 315                    | 316                    | 239.6           | +62.4           | +0.26                 | -0.20                 | 35.1          | C9    |
| $\alpha$ -Centaurids (ACE – 102)              | 313                    | 319.4                  | 330                    | 210.9           | -58.2           | +1.26                 | -0.34                 | 59.3          | H     |
| Daytime $\kappa$ -Aquariids (MKA – 128)       | 346                    | 350                    | 5                      | 332.0           | -8.4            | +1.75                 | +0.39                 | 31.4          | R1457 |
| x Herculids (XHE – 346)                       | 348                    | 350                    | 352                    | 253.0           | +49.2           | +0.48                 | -0.10                 | 35.2          | C4    |
| $\eta$ -Virginids (EVI – 11)                  | 350                    | 357                    | 4                      | 184.8           | +3.9            | +0.92                 | -0.40                 | 26.6          | C54   |

*Tabel 1. De activiteit periode voor alle 112 bevestigde zwermen. De radiant positie geldig bij  $\lambda_{0-m}$  wordt vermeld samen met de radiant drift  $\Delta\alpha$  en  $\Delta\delta$ , en de geocentrische snelheid  $V_g$ . Kolom N geeft aan waarop de data gebaseerd werd, 'C' staat voor CAMS, 'R' voor CMOR en 'H' voor historische data, het aantal banen waarop de data werd gebaseerd staat eveneens vermeld.*

Voor sommige zwermen die vermeld staan als daglichtzwerm gebruikten we CAMS data. Sommige van deze zwermen produceren voldoende meteoren in de schemering om een relevante baan te berekenen. De meeste daglichtzwermen werden uitsluitend op CMOR data gebaseerd. In de gevallen met CMOR data voor nachtzwermen gaat het wellicht om zwermen die enkel door CMOR werden geregistreerd omdat ze uit zwakke meteoren bestaan die buiten het bereik van CAMS blijven met helderheden zwakker dan +5.0. CMOR heeft een bereik dat veel zwakkere meteoren kan detecteren.

### 3 Banen voor alle zwermen

Bij het uitzoeken van de activiteit periode hadden we een makkelijke bonus door de baanelementen opnieuw te berekenen op basis van de originele dataset. Het resultaat is samengevat in Tabel 2. De mediaan werd berekend voor elk van de baanelementen. Tabel 2 is een aanvulling op Tabel 1 en kan worden vergeleken op basis van de IAU code. De waarden  $\lambda_{0-m}$  en  $V_g$  worden eveneens in Tabel 2 weer meegenomen. Het aantal beschikbare banen, vermeld onder 'N' in Tabel 1, moet in acht worden genomen om de relevantie van de baan te beoordelen. Heel wat van deze kleine zwermen zullen nauwkeuriger bekend zijn na verwerking van de banen die sinds 2013 werden bekomen.

Gedurende de voorbije 10 jaren hebben video camera netwerken zoals CAMS heel wat zwermen bevestigd en ontdekt. Veel van deze zwermen zijn weinig bekend bij waarnemers. De IAU code biedt een unieke identificatie maar toch dreigt het veelvoud aan zwermen verwarring te scheppen voor amateurs en ook voor professionelen. Een dergelijke situatie deed zich voor bij de aankondiging van een mogelijke zwermactiviteit die niet in de IAU lijst voorkwam en die door een misverstand aangekondigd werd als mogelijk verhoogde activiteit van de December  $\phi$ -Cassiopeïds (DPC – 446). Zowel de activiteit periode als de radiant waren fout en toch, ondanks

de duidelijke foutieve naam associatie bleef dit onopgemerkt tot een amateur beweerde enige activiteit te hebben waargenomen lang na de voorspelde datum. Deze bewering resulteerde in heel wat verwarring omtrent de verschillen tussen de voorspelling enerzijds en de December  $\phi$ -Cassiopeiids data.

Door het makkelijker te maken om de zwerm, de benaming, de IAU code, de radiant en de baan te vergelijken kunnen beide tabellen in deze bijdrage helpen om vergissingen in de toekomst te vermijden. Het kan handig zijn een lijst bij de hand te hebben met een overzicht van alle gegevens.

| IAU code  | $\lambda_{0-m}$<br>( $^{\circ}$ ) | $V_g$<br>Km/s | a<br>A.U. | q<br>A.U. | i<br>( $^{\circ}$ ) | e     | $\omega$<br>( $^{\circ}$ ) | $\Omega$<br>( $^{\circ}$ ) | $\Pi$<br>( $^{\circ}$ ) | $T_j$ |
|-----------|-----------------------------------|---------------|-----------|-----------|---------------------|-------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------|
| KSE – 27  | 20                                | 46.7          | 7.90      | 0.489     | 72.5                | 0.971 | 273.4                      | 20.1                       | 292.1                   | 1.41  |
| APS – 144 | 26                                | 29.2          | 1.53      | 0.249     | 4.5                 | 0.837 | 049.5                      | 26.0                       | 75.5                    | 3.99  |
| AVB – 21  | 32                                | 18.8          | 2.55      | 0.744     | 7.0                 | 0.716 | 247.9                      | 30.0                       | 278.3                   | 3.03  |
| LYR – 6   | 32.3                              | 46.7          | 10.80     | 0.921     | 79.4                | 0.956 | 214.0                      | 32.3                       | 246.1                   | 0.47  |
| PPU – 137 | 33.6                              | 15.0          | 2.97      | 1.000     | 21.0                | 0.663 | 359.0                      | 213.6                      | -                       | -     |
| ARC – 348 | 38                                | 40.9          | 6.14      | 0.842     | 69.7                | 0.864 | 130.3                      | 39.4                       | 169.6                   | 1.21  |
| HVI – 343 | 40                                | 17.2          | 2.28      | 0.742     | 0.9                 | 0.659 | 72.7                       | 218.2                      | 290.9                   | 3.28  |
| ETA – 31  | 46.2                              | 65.7          | 7.41      | 0.587     | 163.6               | 0.955 | 98.4                       | 46.2                       | 144.9                   | -0.49 |
| NOC – 152 | 49                                | 36.2          | 1.44      | 0.117     | 34.8                | 0.919 | 32.1                       | 49.0                       | 81.1                    | 3.95  |
| OCE -153  | 49                                | 37.0          | 1.70      | 0.128     | 34.8                | 0.924 | 215.2                      | 229.0                      | 84.2                    | 3.43  |
| ELY – 145 | 50                                | 43.7          | 21.42     | 0.999     | 74.1                | 0.954 | 192.3                      | 50.1                       | 242.7                   | 0.59  |
| SMA – 156 | 54                                | 28.0          | 1.61      | 0.296     | 4.4                 | 0.817 | 235.0                      | 234.0                      | 109.0                   | 3.86  |
| EAU – 151 | 63                                | 31.5          | 0.82      | 0.405     | 64.6                | 0.513 | 322.8                      | 62.5                       | 26.3                    | 6.55  |
| TAH – 61  | 72                                | 15.0          | 2.69      | 0.970     | 19.6                | 0.640 | 204.2                      | 72.6                       | 276.1                   | -     |
| ZPE – 172 | 74.5                              | 27.1          | 1.65      | 0.331     | 3.9                 | 0.800 | 58.8                       | 74.0                       | 132.9                   | 3.83  |
| JMC – 362 | 77                                | 41.7          | 6.04      | 0.629     | 68.5                | 0.913 | 100.6                      | 77.4                       | 175.1                   | 1.03  |
| ARI – 171 | 81                                | 41.1          | 2.67      | 0.078     | 27.7                | 0.974 | 28.7                       | 79.1                       | 106.7                   | 2.21  |
| JRC – 510 | 84                                | 50.9          | 1.03      | 0.157     | 46.5                | 0.849 | 327.6                      | 84.8                       | 55.0                    | 5.39  |
| BEQ – 327 | 84                                | 33.2          | 12.00     | 1.006     | 89.3                | 0.996 | 191.0                      | 84.5                       | 275.3                   | 0.03  |
| DLT – 325 | 85.5                              | 35.6          | 1.50      | 0.112     | 22.6                | 0.925 | 211.7                      | 266.0                      | 117.7                   | 3.84  |
| SSG – 69  | 86                                | 25.1          | 2.35      | 0.999     | 2.6                 | 0.571 | 193.7                      | 91.8                       | 284.2                   | 3.33  |
| COR – 63  | 86                                | 08.7          | 2.02      | 0.457     | 6.0                 | 0.769 | 104.5                      | 266.4                      | 10.8                    | 3.39  |
| EPR – 324 | 88                                | 43.8          | 9.05      | 0.167     | 53.0                | 0.982 | 46.8                       | 87.9                       | 134.8                   | 0.87  |
| BTA – 173 | 93.5                              | 26.8          | 1.94      | 0.383     | 3.5                 | 0.802 | 246.5                      | 274.0                      | 160.5                   | 3.41  |
| JIP – 431 | 94                                | 58.5          | 7.44      | 0.903     | 112.8               | 0.928 | 219.9                      | 094.1                      | 313.9                   | -0.02 |
| JBO – 170 | 96.3                              | 14.1          | 3.30      | 1.016     | 18.4                | 0.692 | 183.6                      | 96.0                       | -                       | -     |
| NZC – 164 | 101                               | 38.3          | 1.80      | 0.114     | 38.8                | 0.937 | 326.9                      | 101.7                      | 67.7                    | 3.21  |
| PPS – 372 | 103                               | 66.5          | 6.63      | 0.889     | 150.4               | 0.882 | 136.9                      | 102.9                      | 240.7                   | -0.28 |
| SZC – 165 | 104                               | 39.2          | 2.04      | 0.105     | 36.1                | 0.952 | 148.2                      | 282.8                      | 71.7                    | 2.87  |
| CAN – 411 | 107                               | 57.5          | 8.40      | 0.687     | 112.9               | 0.938 | 109.1                      | 107.4                      | 215.2                   | 0.10  |
| EPG – 326 | 109                               | 28.4          | 0.73      | 0.144     | 49.0                | 0.806 | 337.8                      | 109.3                      | 88.4                    | 7.39  |
| ALA – 328 | 109                               | 37.4          | 1.07      | 0.976     | 77.7                | 0.088 | 122.2                      | 114.5                      | 236.8                   | 5.05  |
| JXA – 533 | 111                               | 68.9          | 10.65     | 0.860     | 170.4               | 0.955 | 312.3                      | 291.3                      | 241.7                   | -0.83 |
| JPE – 175 | 112                               | 64.0          | 7.26      | 0.562     | 149.2               | 0.960 | 265.0                      | 112.4                      | 20.9                    | -0.43 |
| FAN – 549 | 118                               | 60.2          | 7.71      | 0.898     | 117.9               | 0.922 | 139.8                      | 118.0                      | 261.4                   | -0.08 |
| PCA – 187 | 119                               | 42.0          | 4.07      | 0.829     | 74.0                | 0.802 | 125.0                      | 119.3                      | 245.3                   | 1.58  |
| GDR – 184 | 124                               | 27.5          | 16.42     | 0.977     | 40.3                | 0.967 | 202.5                      | 124.7                      | 327.4                   | 1.12  |
| CAP – 1   | 125                               | 23.0          | 2.54      | 0.578     | 7.5                 | 0.774 | 268.9                      | 125.4                      | 33.7                    | 2.93  |

| IAU code  | $\lambda_{0-m}$<br>(°) | $V_g$<br>Km/s | a<br>A.U. | q<br>A.U. | i<br>(°) | e     | $\omega$<br>(°) | $\Omega$<br>(°) | $\Pi$<br>(°) | $T_j$ |
|-----------|------------------------|---------------|-----------|-----------|----------|-------|-----------------|-----------------|--------------|-------|
| SDA – 5   | 127                    | 41.3          | 2.59      | 0.069     | 29.0     | 0.975 | 152.9           | 306.6           | 98.9         | 2.16  |
| PAU – 183 | 136                    | 43.9          | 5.66      | 0.132     | 53.1     | 0.980 | 139.1           | 315.2           | 94.4         | 1.05  |
| XRI -188  | 137                    | 43.8          | 3.24      | 0.046     | 32.2     | 0.986 | 202.7           | 317.0           | 159.7        | 1.83  |
| ERI – 191 | 138                    | 64.5          | 10.33     | 0.953     | 132.7    | 0.945 | 28.4            | 317.7           | 343.0        | -0.53 |
| PER – 7   | 140                    | 59.1          | 9.57      | 0.949     | 113.1    | 0.950 | 150.4           | 139.3           | 288.7        | -0.19 |
| NDA – 26  | 141                    | 38.4          | 2.95      | 0.995     | 32.5     | 0.662 | 196.9           | 140.0           | 337.4        | 2.73  |
| KCG – 12  | 141                    | 20.9          | 1.99      | 0.090     | 22.3     | 0.955 | 330.7           | 140.8           | 111.1        | 2.95  |
| AUD – 197 | 143                    | 21.1          | 2.82      | 1.008     | 33.8     | 0.644 | 188.7           | 142.6           | 331.2        | 2.77  |
| NIA – 33  | 148                    | 31.3          | 3.25      | 0.966     | 35.0     | 0.703 | 27.3            | 323.8           | -            | -     |
| BHY – 198 | 143.8                  | 22.8          | 1.76      | 0.234     | 5.9      | 0.874 | 310.5           | 147.8           | 97.9         | 3.51  |
| AUR – 206 | 158.6                  | 65.6          | 13.23     | 0.663     | 149.1    | 0.956 | 107.3           | 156.2           | 263.9        | -0.51 |
| ZCA – 202 | 160                    | 42.1          | 4.64      | 0.088     | 16.6     | 0.981 | 212.6           | 340.0           | 192.6        | 1.47  |
| SPE – 208 | 167                    | 64.8          | 8.81      | 0.718     | 139.9    | 0.979 | 245.3           | 168.2           | 54.7         | -0.62 |
| NUE – 337 | 181                    | 67.1          | 7.04      | 0.867     | 150.7    | 0.916 | 43.7            | 0.6             | 43.2         | -0.47 |
| KLE – 212 | 183                    | 43.3          | 6.79      | 0.091     | 24.1     | 0.987 | 33.8            | 183.0           | 216.8        | 1.10  |
| DSX – 221 | 186                    | 32.9          | 1.14      | 0.147     | 24.3     | 0.874 | 214.3           | 6.4             | 219.1        | 4.96  |
| OCC – 233 | 189.7                  | 10            | 4.26      | 0.987     | 0.8      | 0.769 | 190.8           | 203.8           | -            | -     |
| OCT – 281 | 193                    | 46.6          | 50.00     | 0.993     | 79.3     | 0.980 | 170.5           | 192.6           | -            | -     |
| DRA – 9   | 195                    | 20.7          | 3.15      | 0.996     | 31.4     | 0.706 | 173.2           | 195.0           | 8.3          | 2.52  |
| EGE – 23  | 198                    | 69.6          | 11.30     | 0.813     | 171.2    | 0.957 | 230.9           | 198.4           | 68.8         | -0.79 |
| OCU – 333 | 202                    | 55.6          | 12.63     | 0.982     | 100.6    | 0.967 | 165.9           | 202.2           | 8.2          | -0.05 |
| ORI – 8   | 209                    | 66.3          | 6.87      | 0.578     | 163.9    | 0.944 | 82.2            | 28.3            | 111.0        | -0.38 |
| LMI – 22  | 209                    | 61.9          | 10.60     | 0.620     | 125.2    | 0.989 | 104.3           | 208.2           | 313.4        | -0.46 |
| XDR – 242 | 210.8                  | 37.1          | 1.28      | 0.986     | 71.9     | 0.231 | 162.3           | 211.0           | 13.3         | 4.36  |
| LUM – 524 | 214                    | 60.9          | 3.10      | 0.920     | 114.5    | 1.008 | 148.5           | 213.5           | 4.1          | -0.54 |
| STA – 2   | 216                    | 26.6          | 1.95      | 0.353     | 5.3      | 0.798 | 116.6           | 34.4            | 149.6        | 3.40  |
| NTA – 17  | 220                    | 28.0          | 2.13      | 0.355     | 3.0      | 0.829 | 294.6           | 220.6           | 158.5        | 3.16  |
| CTA – 388 | 221                    | 41.1          | 4.76      | 0.100     | 15.0     | 0.980 | 324.7           | 220.9           | 191.2        | 1.41  |
| SLD – 526 | 221                    | 49.1          | 4.47      | 0.987     | 89.0     | 0.779 | 188.5           | 221.1           | 50.3         | 1.21  |
| OER – 338 | 222                    | 29.1          | 3.73      | 0.476     | 20.4     | 0.872 | 95.9            | 42.3            | 140.3        | 2.17  |
| AND – 18  | 223                    | 18.2          | 2.99      | 0.759     | 9.4      | 0.742 | 243.7           | 222.5           | 106.8        | 2.74  |
| KUM – 445 | 225                    | 65.7          | -         | 0.988     | 129.6    | 1.000 | 185.9           | 224.0           | 50.7         | -0.79 |
| RPU – 512 | 231                    | 57.8          | 9.40      | 0.987     | 107.0    | 0.915 | 349.4           | 50.8            | 50.3         | 0.09  |
| LEO – 13  | 235.3                  | 70.2          | 6.63      | 0.983     | 162.2    | 0.867 | 170.8           | 234.5           | 45.2         | -0.42 |
| AMO – 246 | 239.3                  | 63.0          | 50.00     | 0.488     | 134.1    | 0.999 | 90.7            | 59.3            | 150.0        | -0.59 |
| ORS – 257 | 243                    | 27.9          | 2.16      | 0.381     | 5.3      | 0.828 | 111.3           | 64.3            | 175.3        | 3.11  |
| THA – 390 | 244                    | 32.5          | 1.12      | 0.142     | 24.9     | 0.879 | 327.5           | 243.6           | 210.7        | 5.03  |
| NOO – 250 | 247                    | 42.5          | 8.36      | 0.116     | 24.4     | 0.990 | 140.4           | 67.6            | 207.8        | 0.83  |
| DKD – 336 | 252                    | 43.8          | 10.31     | 0.929     | 73.1     | 0.914 | 208.5           | 251.5           | 100.0        | 0.84  |
| DPC – 446 | 252                    | 16.5          | 3.10      | 0.896     | 18.0     | 0.714 | 218.7           | 252.1           | 110.9        | 2.71  |
| PHO – 254 | 253                    | 11.7          | 2.96      | 0.990     | 13.0     | 0.666 | 359.0           | 74.0            | -            | -     |
| PSU – 339 | 253                    | 61.7          | 9.13      | 0.928     | 119.4    | 0.901 | 208.9           | 253.8           | 103.1        | 0.01  |
| DAD – 334 | 256                    | 40.8          | 2.48      | 0.983     | 71.8     | 0.603 | 177.4           | 254.8           | 74.2         | 2.37  |
| EHY – 529 | 257                    | 62.4          | 9.98      | 0.362     | 142.2    | 0.981 | 106.1           | 78.4            | 184.7        | -0.32 |

| IAU code  | $\lambda_{0-m}$<br>(°) | $V_g$<br>Km/s | a<br>A.U. | q<br>A.U. | i<br>(°) | e     | $\omega$<br>(°) | $\Omega$<br>(°) | $\Pi$<br>(°) | $T_j$ |
|-----------|------------------------|---------------|-----------|-----------|----------|-------|-----------------|-----------------|--------------|-------|
| MON – 19  | 261                    | 41.4          | 8.20      | 0.191     | 35.2     | 0.983 | 128.7           | 78.5            | 207.4        | 0.90  |
| DSV – 428 | 261.8                  | 66.2          | 8.18      | 0.565     | 151.5    | 0.971 | 97.9            | 261.8           | 6.4          | -0.57 |
| GEM – 4   | 262.2                  | 33.8          | 1.31      | 0.145     | 22.9     | 0.889 | 324.3           | 261.7           | 225.8        | 4.41  |
| HYD – 16  | 266                    | 58.9          | 9.08      | 0.257     | 128.7    | 0.985 | 119.5           | 76.5            | 195.7        | -0.08 |
| XVI – 335 | 267                    | 69.1          | 6.24      | 0.663     | 169.1    | 0.985 | 290.3           | 86.5            | 24.9         | -0.87 |
| URS – 15  | 270.1                  | 32.9          | 4.87      | 0.940     | 52.6     | 0.807 | 205.6           | 270.1           | 115.8        | 1.77  |
| ALY – 252 | 272                    | 49.5          | 6.78      | 0.213     | 84.0     | 0.969 | 306.4           | 272.2           | 217.0        | 0.83  |
| SSE – 330 | 273                    | 45.5          | 4.30      | 0.123     | 60.0     | 0.972 | 39.1            | 273.3           | 311.3        | 1.43  |
| COM – 20  | 274                    | 63.3          | 8.58      | 0.557     | 135.3    | 0.962 | 263.5           | 272.2           | 176.6        | -0.29 |
| OSE – 320 | 279                    | 45.0          | 15.70     | 0.151     | 50.3     | 0.990 | 45.4            | 278.8           | 324.1        | 0.67  |
| JLE – 319 | 283                    | 51.4          | 5.43      | 0.048     | 100.1    | 0.991 | 335.7           | 283.4           | 259.3        | 0.93  |
| AHY – 331 | 283                    | 43.3          | 7.07      | 0.297     | 58.1     | 0.971 | 114.6           | 103.2           | 217.3        | 0.85  |
| QUA – 10  | 283.2                  | 40.7          | 2.82      | 0.979     | 71.2     | 0.657 | 171.4           | 283.3           | 94.6         | 2.19  |
| XSA – 100 | 288                    | 25.3          | 2.18      | 0.471     | 6.0      | 0.784 | 79.3            | 288.0           | 7.3          | 3.18  |
| SCC – 97  | 289                    | 27.0          | 2.26      | 0.430     | 4.7      | 0.811 | 105.0           | 109.3           | 215.4        | 3.08  |
| XCB – 323 | 296                    | 45.1          | 2.23      | 0.410     | 2.7      | 0.814 | 286.6           | 290.0           | 217.6        | 3.11  |
| NCC – 96  | 296                    | 27.2          | 1.04      | 0.860     | 76.0     | 0.172 | 98.2            | 296.0           | 34.2         | 5.22  |
| TCB – 321 | 296                    | 37.7          | 1.36      | 0.965     | 78.3     | 0.291 | 203.9           | 296.0           | 139.9        | 4.02  |
| LBO – 322 | 296                    | 40.7          | 4.25      | 0.784     | 78.0     | 0.812 | 122.7           | 296.1           | 59.3         | 1.46  |
| GUM – 404 | 298                    | 28.8          | 1.50      | 0.217     | 66.8     | 0.857 | 313.2           | 298.0           | 251.6        | 3.70  |
| XUM – 341 | 298                    | 40.9          | 2.88      | 0.952     | 47.1     | 0.671 | 203.4           | 298.8           | 142.4        | 2.56  |
| ECV – 530 | 302                    | 68.1          | 5.44      | 0.823     | 158.1    | 0.853 | 49.8            | 122.5           | 171.6        | -0.03 |
| AAN – 110 | 312                    | 45.0          | 3.57      | 0.143     | 58.6     | 0.965 | 138.3           | 133.4           | 272.1        | 1.62  |
| OHY – 569 | 313                    | 58.2          | 6.20      | 0.673     | 114.0    | 0.891 | 70.9            | 133.3           | 205.1        | 0.45  |
| FEV – 506 | 314                    | 62.9          | 8.28      | 0.491     | 138.0    | 0.954 | 272.5           | 312.6           | 224.6        | -0.15 |
| FED – 427 | 315                    | 35.1          | 18.58     | 0.971     | 54.7     | 0.975 | 194.3           | 315.1           | 149.3        | 0.83  |
| ACE – 102 | 319.4                  | 59.3          | 14.00     | 0.977     | 107.0    | 0.930 | 348.9           | 138.9           | -            | -     |
| MKA – 128 | 350                    | 31.4          | 1.83      | 0.234     | 4.6      | 0.872 | 50.1            | 350.0           | 40.1         | 3.43  |
| XHE – 346 | 350                    | 35.2          | 2.99      | 0.975     | 59.8     | 0.673 | 196.7           | 350.0           | 186.5        | 2.30  |
| EVI – 11  | 357                    | 26.6          | 2.46      | 0.460     | 5.5      | 0.813 | 281.0           | 356.8           | 277.5        | 2.92  |

Tabel 2. De baanelementen voor alle 112 bevestigde meteorenzwermen.

#### 4 Conclusie

Het grote aantal nieuw ontdekte en bevestigde kleine zwermen dient verder te worden opgevolgd om de statistische relevantie van de baangegevens te verbeteren. De momenteel beschikbare data samengevat in deze bijdrage kan nuttig zijn voor waarnemers om zwerm associaties in de toekomst te verifiëren.

Alhoewel de radar en de video data het reeds mogelijk maakten om veel voorheen ontbrekende gegevens zoals betrouwbare baanelementen van kleine zwermen aan te vullen, zal toekomstige data zeker een regelmatige bijwerking vereisen van de gegevens in deze bijdrage.

Dankwoord

De auteur bedankt Peter Brown voor het ter beschikkingstellen van recente CMOR data en Peter Jenniskens voor het toezenden van de historische gegevens voor een aantal zwermen.

#### Referenties

- Brown P., Weryk R. J., Wong D. K. and Jones J. (2008). "A meteoroid stream survey using the Canadian Meteor Orbit Radar. I. Methodology and radiant catalogue". *Icarus*, 195, 317–339.
- Brown P., Wong D. K., Weryk R. J. and Wiegert P. (2010). "A meteoroid stream survey using the Canadian Meteor Orbit Radar. II: Identification of minor showers using a 3D wavelet transform". *Icarus*, 207, 66–81.
- Jenniskens P., Nénon Q., Albers J., Gural P. S., Haberman B., Holman D., Morales R., Grigsby B. J., Samuels D. and Johannink C. (2016). "The established meteor showers as observed by CAMS". *Icarus*, 266, 331–354.



## Variaties in hoogte van CAMS meteoren

Paul Roggemans

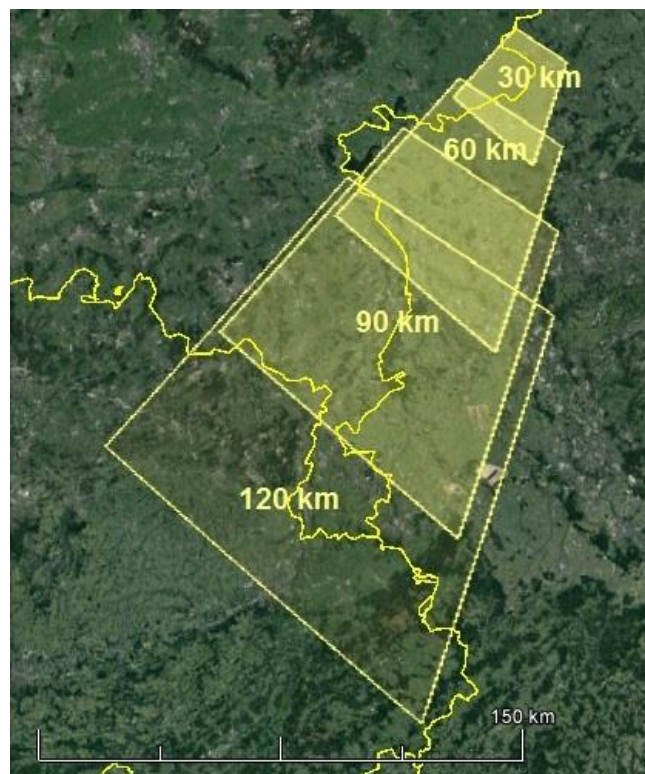
De mediaan waarden voor de beginhoogte, hoogte met grootste helderheid en eindhoogte werden berekend op basis van de CAMS data 2010–2013 voor sporadische meteoren en voor al de bevestigde zwermen van de IAU zwerm lijst. Er werd een sterke variatie in de loop van het jaar vastgesteld voor de sporadische meteoren met een maximum in snelheid en oplichthoogte rond zonnelongte  $225^\circ$  en een minimum rond  $45^\circ$ . Er werd ook een merkwaardig fenomeen vastgesteld met twee lagen met de grootste aantallen oplichthoogten met daartussen een laag met aanzienlijk minder oplichthoogten. Een aanzienlijk aantal zwermen heeft meteorsporen op geringere hoogte dan 90 km. Om enig selectie effect voor trage en minder hoog oplichtende meteoren te vermijden wordt 80 km hoogte aangeraden als referentie niveau om het CAMS BeNeLux netwerk te optimaliseren.

### 1 Inleiding

Het CAMS netwerk gebruikt een standaard configuratie op elke post voor zowel de hardware als voor de software. De uitrusting bestaat uit een Watec H2 Ultimate video camera met een Pentax 1.2/12mm lens. Het beeldveld is vrij klein met ongeveer  $30^\circ \times 22^\circ$ . Dit laat toe om zwakkere meteoren te registreren en deze keuze biedt tegelijk een betere nauwkeurigheid dan breedhoek optiek. Oorspronkelijk was het CAMS project bedacht om de hemel volledig af te dekken met behulp van 20 dergelijke camera's met elk een beetje overlap als een mozaïek all-sky, vergelijkbaar met een facette oog van een insect (Jenniskens et al., 2011).

De allereerste single-CAMS werden in Californië aan de hemel gericht als extra dekking voor de bestaande professionele all-sky CAMS posten. Zodra het principe van de single-CAMS elders werd toegepast zonder de all-sky dekking, kwam het erop aan om een optimaal volume in de atmosfeer vanuit twee of meerdere posten te gaan bewaken. Om zoveel mogelijk meteoren simultaan te hebben moeten de richtpunten worden vastgelegd in functie van een optimale overlap én zeer belangrijk, een gunstige geometrische configuratie. Om dit uit te vloeien worden de beeldvelden geprojecteerd in een vlak op een bepaalde hoogte, evenwijdig aan het aardoppervlak. De vraag hier is op welke hoogte we dit vlak zullen kiezen om zoveel mogelijk meteoren te pakken en dit zonder enig selectie effect te veroorzaken waarbij een bepaald deel van de sporadische activiteit of bepaalde zwermen worden benadeeld.

### 2 Beeldvelden en hoogte van meteoren



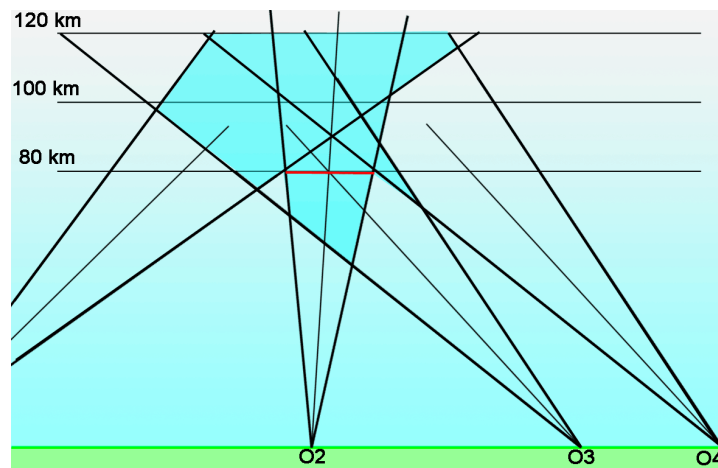
Figuur 1. Een beeldveld van  $30^\circ \times 22^\circ$  gericht op azimuth  $211^\circ$  en een hoogte van  $41^\circ$  met een tilt van  $5.6^\circ$  gesneden met vlakken op 30 km, 60 km, 90 km en 120 km.

Het volume in de atmosfeer dat door een beeldveld wordt afgedekt neemt toe met de hoogte in de atmosfeer. Op een hoogte van 100 km dekken we veel meer vierkante kilometers af dan op lagere hoogten en daarom werden in het verleden de cameragebieden veelal geoptimaliseerd met richtpunten geselecteerd op een hoogte van 100 km. Nochtans een groot deel van alle meteoren wordt lager dan 100 km in de atmosfeer gedetecteerd en deze meteoren worden mogelijk niet simultaan gepakt doordat ze onder de 100 km net tussen de beeldvelden verschijnen. In het verleden hebben we de CAMS-richtpunten geoptimaliseerd voor een referentie hoogte van 90 km, maar is dit de beste keuze?

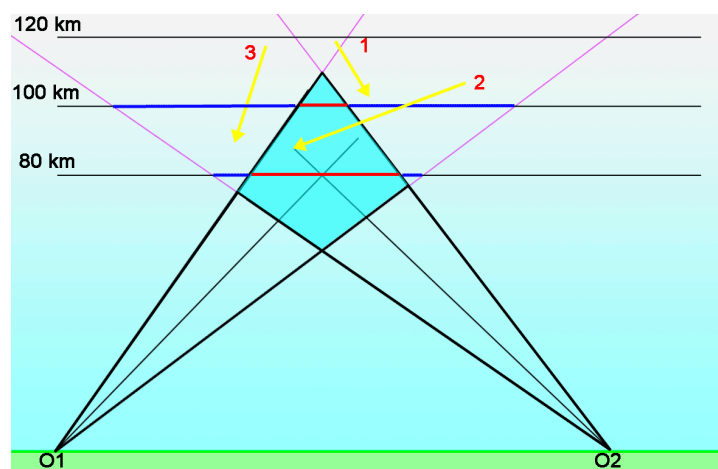
Het niveau waarop de overlap van beeldvelden dient te worden geoptimaliseerd moet omzichtig worden gekozen. Hoe hoger in de atmosfeer, des te groter het volume per camera en dus hebben we minder camera's nodig (zie Figuur 1). Indien de gemiddelde hoogten niet constant blijken te zijn gedurende het jaar of sterk verschillen van zwerm tot zwerm, dan dreigt een selectie effect waarbij meteoren lager in de atmosfeer gedeeltelijk verloren gaan in de gaten tussen de beeldvelden. Bijgevolg zijn er minder banen voor deze meteoren en ontstaat er een artificieel selectie effect. Uiteindelijk zal de dataset niet representatief zijn voor de totale meteoren populatie.

Voor een dicht en uitgebreid camera netwerk zoals het BeNeLux netwerk zal elke geometrisch gunstige combinatie op 80 km zelfs een betere afdekking bieden op grotere hoogte dank zij beeldvelden van camera's op andere posten dieper in de atmosfeer (zie Figuur 2). Dit is niet het geval wanneer te weinig camera's beschikbaar zijn, in dat geval zullen de beeldvelden divergeren op grotere hoogte zonder enig gemeenschappelijk volume (zie Figuur 3).

Voor het BeNeLux netwerk moeten we de variatie in hoogte van de trajecten in de atmosfeer te weten komen om uit te maken op welke hoogte we best optimaliseren.



*Figuur 2. Indien een camera netwerk voldoende camera's heeft op talrijke posten dan kan het aantal simultanen drastisch worden verhoogd door een optimalisatie van het volume dat vanuit meerdere posten wordt bewaakt. Een goede afdekking op bv. 80 km resulteert in een nog betere overlap op grotere hoogte door camera's op verder gelegen posten.*



*Figuur 3. Waarnemers  $O_1$  en  $O_2$  richten hun camera's op een gemeenschappelijk richtpunt op 80 km hoogte en zullen enkele simultanen vangen in het gemeenschappelijk volume van hun beeldvelden in de atmosfeer. Meteoren 1 en 2 zitten mooi in beeld bij  $O_1$ , meteor 3 en deel van meteor 2 in beeld van  $O_2$ , maar enkel een deel van meteor 2 zal simultaan zijn.*

### 3 Hoogte van meteoren in de dampkring

Een tijdje terug vroeg Pete Gural aan de auteur om de CAMS zwermlijst te herwerken. De bedoeling is om een nieuwe referentie lijst op te stellen met veel meer informatie voor toekomstige CAMS software tools. Er is beslist dat de nieuwe referentielijst gebaseerd wordt op de IAU referentielijst van bevestigde zwermen. Eén van de zwermeigenschappen die nodig zijn in de lijst betreft de begin- en eindhoogte alsook de hoogte waarop de maximale helderheid werd bereikt. Tot dusver werden daarvoor gegevens gebruikt van IMO maar deze data werd doorheen diverse edities gekopieerd van onderzoek uit de jaren 50 en 60 (Jacchia et al., 1967). De publiek beschikbare CAMS dataset van 111233 banen van de periode 2010–2013 (Jenniskens et al., 2016) biedt een betrouwbare bron om wat statistieken te maken aan de hand van de berekende trajecten.

| km      | Beginpunt |        | Helderste punt |        | Eindpunt |        |
|---------|-----------|--------|----------------|--------|----------|--------|
| <=60    | 8         | 0.0%   | 34             | 0.0%   | 143      | 0.1%   |
| 60-65   | 2         | 0.0%   | 56             | 0.1%   | 222      | 0.2%   |
| 65-70   | 17        | 0.0%   | 264            | 0.2%   | 907      | 0.8%   |
| 70-75   | 235       | 0.2%   | 1275           | 1.2%   | 2907     | 2.6%   |
| 75-80   | 1772      | 1.6%   | 3891           | 3.5%   | 7873     | 7.1%   |
| 80-85   | 4092      | 3.7%   | 9140           | 8.3%   | 17015    | 15.4%  |
| 85-90   | 7043      | 6.4%   | 18447          | 16.7%  | 22226    | 20.1%  |
| 90-95   | 14283     | 12.9%  | 20049          | 18.1%  | 17739    | 16.1%  |
| 95-100  | 21564     | 19.5%  | 15688          | 14.2%  | 21451    | 19.4%  |
| 100-105 | 13656     | 12.4%  | 22838          | 20.7%  | 16558    | 15.0%  |
| 105-110 | 19156     | 17.3%  | 16095          | 14.6%  | 3234     | 2.9%   |
| 110-115 | 21690     | 19.6%  | 2628           | 2.4%   | 230      | 0.2%   |
| 115-120 | 5893      | 5.3%   | 109            | 0.1%   | 16       | 0.0%   |
| 120-125 | 889       | 0.8%   | 6              | 0.0%   | 0        | 0.0%   |
| 125-130 | 169       | 0.2%   | 0              | 0.0%   | 0        | 0.0%   |
| >130    | 52        | 0.0%   | 1              | 0.0%   | 0        | 0.0%   |
|         | 110521    | 100.0% | 110521         | 100.0% | 110521   | 100.0% |

Tabel 1. Aantal trajecten voor 5 km dikke schillen in de atmosfeer tussen 60 km en 130 km hoogte.

| $\lambda_0$     | $H_b$      | $H_b$<br>max | $H_b$<br>min | $H_m$    | $H_m$<br>max | $H_m$<br>min | $H_e$    | $H_e$<br>max | $H_e$<br>min | $V_g$ | N     |
|-----------------|------------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|-------|-------|
| 0 – <30         | 98.6±10.3  | 125.8        | 73.8         | 92.2±9.2 | 114.4        | 57.1         | 87.9±9.1 | 114.4        | 49.7         | 34.5  | 2366  |
| 30 – <60        | 98.3±10.1  | 129.5        | 69.9         | 92.1±9.2 | 116.9        | 55.9         | 88.0±8.8 | 111.6        | 47.8         | 32.7  | 4355  |
| 60 – <90        | 98.0±9.8   | 129.8        | 72.1         | 92.2±9.1 | 123.7        | 51.9         | 88.6±8.6 | 119.5        | 47.7         | 35.9  | 4821  |
| 90 – <120       | 100.0±10.0 | 131.5        | 71.6         | 94.2±9.2 | 116.6        | 56.8         | 89.9±8.7 | 114.2        | 50.8         | 42.3  | 7355  |
| 120 – <150      | 103.0±9.7  | 132.3        | 58.0         | 96.7±9.0 | 117.5        | 50.6         | 91.8±8.6 | 115.0        | 46.8         | 52.4  | 9454  |
| 150 – <180      | 104.2±9.7  | 139.7        | 46.6         | 97.7±8.9 | 117.7        | 43.4         | 93.0±8.8 | 114.2        | 37.5         | 56.2  | 7277  |
| 180 – <210      | 104.3±10.2 | 136.1        | 65.7         | 97.9±9.4 | 119.4        | 50.0         | 93.0±9.0 | 117.5        | 46.0         | 55.5  | 7691  |
| 210 – <240      | 105.8±10.4 | 154.5        | 70.1         | 98.7±9.8 | 124.9        | 63.6         | 93.7±9.5 | 116.4        | 49.9         | 57.4  | 7762  |
| 240 – <270      | 105.3±10.4 | 136.2        | 58.9         | 98.7±9.7 | 119.5        | 53.4         | 93.8±9.5 | 117.7        | 46.6         | 56.2  | 8890  |
| 270 – <300      | 104.0±10.6 | 143.4        | 48.7         | 97.9±9.7 | 124.4        | 46.4         | 93.2±9.6 | 117.9        | 40.8         | 53.8  | 10338 |
| 300 – <330      | 101.1±10.5 | 137.3        | 49.9         | 94.9±9.8 | 132.2        | 53.1         | 90.6±9.7 | 114.5        | 44.6         | 43.6  | 6018  |
| 330 – <360      | 98.1±10.4  | 127.4        | 72.5         | 91.8±9.5 | 117.3        | 64.9         | 87.5±9.2 | 114.7        | 56.2         | 35.3  | 3663  |
| Alle sporadisch | 102.2±10.3 | 154.5        | 46.6         | 96.2±9.5 | 132.2        | 43.4         | 91.5±9.2 | 119.5        | 37.5         | 47.5  | 79990 |
| Alle zwermen    | 101.6±8.3  | 142.7        | 74.5         | 94.7±8.1 | 118.4        | 54.2         | 90.2±7.9 | 116.4        | 40.7         | 41.6  | 29513 |

Tabel 2. Hoogten in de atmosfeer (km) voor sporadische meteoren, met  $H_b$  de beginhoogte,  $H_m$  de hoogte van het punt met grootste helderheid,  $H_e$  de eindhoogte,  $V_g$  de geocentrische snelheid en N het aantal meteoren in het interval.

We tellen het aantal meteoren in lagen van elk 5 km dik, bijvoorbeeld hoger dan 60 km en lager dan of gelijk aan 65 km, en dit voor alle hoogte intervallen tot de laag boven 125 km en kleiner dan of gelijk aan 130 km. Slechts 0.2% van alle meteoren startte lager dan 75 km en slechts 0.2% hoger dan 125 km. Meer dan 99% van alle beginpunten zitten in de 50 km dikke schil tussen 75 en 125 km hoogte. Als we dit ook uitwerken voor de maximale helderheid en de eindhoogte, dan blijkt het overgrote deel gesitueerd boven 70 km en onder 115 km in de atmosfeer. Het resultaat vind je in Tabel 1.

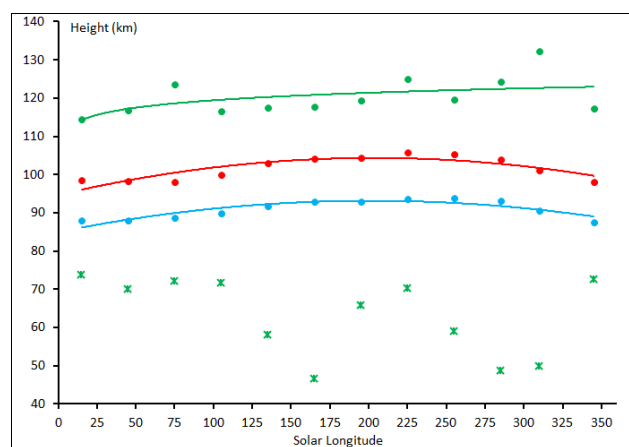
Er is een vreemd effect in Tabel 1 met aanzienlijk meer beginpunten tussen 105–115 km en 90–100 km dan tussen 100 en 105 km. Ditzelfde effect treedt op bij de maximale helderheid en eindpunten (resp. minder in 95–100 km en 90–95 km). Er is geen directe verklaring voor dit effect. De proporties vanwege grote zwermen kunnen dit niet verklaren aangezien slechts 27.6% van de totale dataset tot een bevestigde zwerm behoort en geen enkele zwerm enig bijzonder gewicht heeft in deze statistiek. Een mogelijke verklaring zou een kunstmatig effect kunnen zijn in de architectuur van de CAMS opstelling tenzij er een fysische verklaring zou zijn voor een verschil in de hogere lagen van de atmosfeer.

#### 4 Seizoensgebonden variaties

79990 banen betroffen sporadische meteoren. Om na te gaan of er enige variatie optreedt doorheen het jaar werd de dataset opgesplitst in 12 intervallen van elk 30° in zonnelongte. Voor elke interval werd de mediaan waarde berekend voor begin- en eindhoogte en het punt van de grootste helderheid. De resultaten staan in Tabel 2. Aangezien alle individuele banen in CAMS gevalideerd werden volgens strikte kwaliteitsnormen mogen we aannemen dat deze statistieken relevant zijn.

Uit Tabel 2 blijkt duidelijk dat de sporadische achtergrond duidelijk varieert gedurende het jaar. De periode rond zonnelongte 225° heeft een mediaan waarde voor de geocentrische snelheid die met 57.4 km/s aanzienlijk hoger ligt dan de 32.7 km/s rond 45° zonnelongte, net aan de andere kant van de aardbaan. De oplichthoogte van een meteor hangt af van de snelheid waarmee de meteoroïde in de atmosfeer duikt, hoe hoger de snelheid hoe groter de potentiële energie voor een bepaalde massa. Snelle meteoren lichten daarom hoger in de atmosfeer op dan trage meteoren. De reden waarom de sporadische meteoren gemiddeld trager zijn bij zonnelongte 45° en sneller bij 225° is niet duidelijk. Misschien zitten er verhoudingsgewijs veel meer sporadische meteoren rond zonnelongte 225° die hun oorsprong hebben in oude totaal uitgesmeerde stof filamenten van onbekende langperiodieke kometen van het type P/Halley?

Wat ook de mogelijke verklaring is voor deze seizoensgebonden variatie in snelheid en in oplichthoogte, we moeten de referentie hoogte voor de optimalisatie van ons cameranetwerk zodanig kiezen dat er geen selectie effect ontstaat waarbij trage meteoren dieper in de atmosfeer worden gemist. Uit de mediaanwaarden en de spreiding kunnen we concluderen dat we de schil in de atmosfeer van  $110 \pm 10$  tot  $90 \pm 10$  km moeten afdekken (zie Tabel 2 en Figuur 4). Om een idee te hebben van de meeste extreme gevallen met de laagste of hoogste waarde per interval werden deze eveneens vermeld. Deze zeldzame gevallen tonen aan dat ongewone meteoren soms ver boven of onder de referentie laag voorkomen. Om een optimaal niveau te kiezen om zoveel mogelijk simultanen te scoren is een afweging nodig tussen het aantal benodigde camera's en het aantal uitzonderingen die mogelijk gemist worden.



Figuur 4. De mediaan waarden voor sporadischen voor beginhoogte (groen), helderste punt (rood) en eindhoogte (blauw). De laagste beginhoogte per interval werd met x aangegeven.

De CAMS data laat toe om naar variaties gedurende het kalenderjaar te speuren, maar omvat nog niet voldoende jaren om lange termijn variaties over meerdere jaren vast te stellen. Dergelijke variaties werden eerder vastgesteld aan de hand van radar data en als oorzaak werd de 11-jarige zonnecyclus gesuggereerd. Dit vergt evenwel verder onderzoek (Porubčan et al., 2012).

| IAU code  | H <sub>b</sub> | H <sub>b</sub><br>max | H <sub>b</sub><br>min | H <sub>m</sub> | H <sub>m</sub><br>max | H <sub>m</sub><br>min | H <sub>e</sub> | H <sub>e</sub><br>max | H <sub>e</sub><br>min | V <sub>g</sub> | N     |
|-----------|----------------|-----------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|----------------|-------|
| KSE – 27  | 104.7±6.2      | 113.8                 | 87.9                  | 96.1±5.6       | 102.6                 | 82.1                  | 89.0±5.7       | 99.8                  | 74.4                  | 46.7           | C21   |
| AVB – 21  | 95.1±1.6       | 96.2                  | 90.7                  | 86.4±2.8       | 92.2                  | 81.3                  | 83.9±4.2       | 89.1                  | 72.7                  | 18.8           | C12   |
| LYR – 6   | 107.3±4.7      | 136.5                 | 91.4                  | 99.7±4.8       | 109.0                 | 76.9                  | 93.2±5.4       | 104.4                 | 71.7                  | 46.7           | C257  |
| ARC – 348 | 102.8±3.8      | 109.9                 | 89.3                  | 97.0±3.2       | 102.7                 | 86.3                  | 92.6±3.9       | 99.5                  | 80.8                  | 40.9           | C42   |
| HVI – 343 | 89.7±5.7       | 99.7                  | 84.1                  | 85.7±5.6       | 96.5                  | 78.6                  | 80.8±5.9       | 92.3                  | 75.1                  | 17.2           | C11   |
| ETA – 31  | 113.6±3.6      | 129.7                 | 98.3                  | 106.6±3.3      | 116.6                 | 92.2                  | 100.6±4.1      | 115.9                 | 87.0                  | 65.7           | C936  |
| NOC – 152 | 102.8±2.2      | 103.7                 | 98.9                  | 98.0±2.4       | 100.5                 | 95.5                  | 93.3±1.9       | 95.7                  | 91.0                  | 36.2           | C4    |
| ELY – 145 | 105.5±3.3      | 113.8                 | 95.5                  | 96.8±4.7       | 107.5                 | 84.6                  | 92.1±4.7       | 101.3                 | 83.5                  | 43.7           | C39   |
| EAU – 151 | 92.5±2.1       | 97.4                  | 90.9                  | 89.7±2.5       | 96.2                  | 88.0                  | 85.8±3.3       | 92.4                  | 82.8                  | 31.5           | C11   |
| JMC – 362 | 104.5±5.2      | 112.0                 | 91.8                  | 96.9±4.3       | 107.4                 | 90.0                  | 93.2±4.4       | 100.3                 | 84.8                  | 41.7           | C32   |
| ARI – 171 | 100.7±2.1      | 104.4                 | 96.2                  | 97.6±2.7       | 102.3                 | 90.1                  | 93.8±3.6       | 99.8                  | 87.1                  | 41.1           | C31   |
| JRC – 510 | 110.1±3.9      | 118.4                 | 104.7                 | 101.1±4.7      | 107.8                 | 91.5                  | 93.1±4.0       | 98.8                  | 86.2                  | 50.9           | C14   |
| BEQ – 327 | 93.4±3.0       | 103.2                 | 88.8                  | 89.4±2.2       | 96.8                  | 86.4                  | 85.6±1.9       | 90.7                  | 81.6                  | 33.2           | C38   |
| SSG – 69  | 97.3±2.9       | 103.3                 | 87.7                  | 92.4±2.9       | 101.3                 | 84.9                  | 89.9±3.1       | 99.6                  | 81.1                  | 25.1           | C70   |
| COR – 63  | 79.1±4.5       | 87.8                  | 75.4                  | 74.0±5.2       | 84.3                  | 67.8                  | 71.6±6.5       | 82.8                  | 60.1                  | 8.7            | C12   |
| EPR – 324 | 106.3±1.4      | 107.7                 | 104.3                 | 99.2±2.6       | 104.3                 | 98.9                  | 95.2±3.4       | 101.4                 | 94.2                  | 43.8           | C4    |
| JIP – 431 | 113.0±5.6      | 128.2                 | 106.8                 | 102.7±4.6      | 105.6                 | 90.4                  | 96.3±4.8       | 103.2                 | 84.8                  | 58.5           | C11   |
| NZC – 164 | 95.9±3.0       | 107.3                 | 87.3                  | 91.3±2.5       | 99.5                  | 78.5                  | 86.8±2.9       | 94.6                  | 65.6                  | 38.3           | C404  |
| PPS – 372 | 112.5±3.2      | 123.5                 | 97.0                  | 105.9±3.7      | 116.0                 | 88.3                  | 100.2±4.2      | 114.9                 | 87.0                  | 66.5           | C379  |
| SZC – 165 | 96.9±3.0       | 106.3                 | 91.3                  | 93.1±2.6       | 102.1                 | 86.4                  | 88.4±2.8       | 98.4                  | 82.7                  | 39.2           | C89   |
| CAN – 411 | 108.8±3.3      | 117.2                 | 95.7                  | 101.3±3.8      | 110.1                 | 89.8                  | 96.3±4.3       | 109.3                 | 82.3                  | 57.5           | C169  |
| EPG – 326 | 92.4±2.3       | 98.8                  | 89.3                  | 89.1±2.6       | 96.3                  | 83.6                  | 85.7±2.8       | 90.3                  | 79.9                  | 28.4           | C33   |
| ALA – 328 | 97.8±7.2       | 102.9                 | 92.7                  | 93.8±7.4       | 99.0                  | 88.6                  | 88.4±5.4       | 92.2                  | 84.6                  | 37.4           | C2    |
| JXA – 533 | 114.4±3.7      | 121.7                 | 107.7                 | 103.3±3.8      | 112.5                 | 97.5                  | 96.6±4.6       | 111.1                 | 92.1                  | 68.9           | C20   |
| JPE – 175 | 111.4±4.0      | 124.3                 | 95.9                  | 102.5±3.8      | 110.8                 | 89.6                  | 97.6±4.0       | 106.6                 | 84.1                  | 64.0           | C104  |
| FAN – 549 | 111.2±3.9      | 123.7                 | 99.7                  | 104.9±4.9      | 114.1                 | 85.5                  | 98.2±4.7       | 107.5                 | 81.8                  | 60.2           | C76   |
| PCA – 187 | 98.5±5.3       | 111.6                 | 91.2                  | 92.8±3.9       | 101.3                 | 85.8                  | 88.3±3.4       | 96.7                  | 82.8                  | 42.0           | C36   |
| GDR – 184 | 98.3±2.6       | 103.9                 | 93.4                  | 90.3±3.1       | 96.7                  | 83.8                  | 86.5±3.1       | 91.0                  | 78.1                  | 27.5           | C40   |
| CAP – 1   | 96.2±2.4       | 104.6                 | 84.3                  | 89.8±3.1       | 99.0                  | 73.5                  | 86.5±3.4       | 93.4                  | 69.8                  | 23.0           | C646  |
| SDA – 5   | 97.1±2.6       | 106.9                 | 88.9                  | 93.3±2.4       | 103.7                 | 79.8                  | 87.7±2.8       | 103.3                 | 72.2                  | 41.3           | C1382 |
| PAU – 183 | 97.0±3.6       | 104.9                 | 92.0                  | 93.9±2.6       | 99.6                  | 88.5                  | 89.4±2.9       | 94.4                  | 84.8                  | 43.9           | C23   |
| ERI – 191 | 112.1±3.7      | 129.8                 | 97.8                  | 105.6±3.7      | 116.0                 | 92.7                  | 101.3±4.4      | 111.2                 | 81.3                  | 64.5           | C214  |
| PER – 7   | 110.9±4.0      | 142.7                 | 89.4                  | 103.0±4.6      | 116.7                 | 79.6                  | 98.0±4.8       | 115.8                 | 65.8                  | 59.1           | C4366 |
| NDA – 26  | 96.1±3.0       | 104.0                 | 89.5                  | 91.8±2.6       | 101.2                 | 82.7                  | 87.0±2.9       | 96.8                  | 79.3                  | 38.4           | C251  |
| KCG – 12  | 93.7±2.4       | 98.1                  | 88.5                  | 86.5±4.5       | 95.1                  | 71.1                  | 84.2±4.6       | 88.0                  | 68.2                  | 20.9           | C25   |
| AUD – 197 | 95.1±2.9       | 97.4                  | 85.2                  | 86.3±2.3       | 89.7                  | 81.5                  | 83.9±3.4       | 88.0                  | 74.2                  | 21.1           | C17   |
| NIA – 33  | 96.2±4.3       | 106.3                 | 83.7                  | 89.6±3.9       | 99.0                  | 79.5                  | 85.6±3.7       | 95.8                  | 78.3                  | 31.3           | C94   |
| AUR – 206 | 111.5±3.7      | 119.4                 | 103.4                 | 105.4±4.8      | 114.1                 | 92.5                  | 101.9±5.5      | 113.7                 | 89.6                  | 65.6           | C19   |
| SPE – 208 | 111.9±5.1      | 131.3                 | 102.7                 | 102.9±5.1      | 111.0                 | 87.4                  | 97.8±5.0       | 106.0                 | 83.5                  | 64.8           | C291  |
| NUE – 337 | 112.7±4.1      | 130.5                 | 96.2                  | 106.3±4.1      | 116.1                 | 90.4                  | 101.3±4.5      | 114.2                 | 83.4                  | 67.1           | C85   |
| DSX – 221 | 98.4±2.5       | 105.1                 | 96.3                  | 93.0±3.5       | 99.9                  | 88.9                  | 90.4±4.6       | 98.0                  | 81.5                  | 32.9           | C14   |
| DRA – 9   | 97.8±2.2       | 102.6                 | 94.7                  | 93.8±3.1       | 99.0                  | 87.7                  | 90.1±3.4       | 94.6                  | 81.0                  | 20.7           | C30   |
| EGE – 23  | 113.4±3.1      | 118.8                 | 103.3                 | 104.0±4.2      | 113.8                 | 96.5                  | 97.8±3.6       | 109.7                 | 92.3                  | 69.6           | C31   |

| IAU code  | $H_b$     | $H_b$<br>max | $H_b$<br>min | $H_m$     | $H_m$<br>max | $H_m$<br>min | $H_e$     | $H_e$<br>max | $H_e$<br>min | $V_g$ | N     |
|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|-------|-------|
| OCU – 333 | 115.4±5.3 | 119.1        | 102.0        | 106.3±3.3 | 110.9        | 100.4        | 97.0±3.6  | 101.2        | 91.7         | 55.6  | C9    |
| ORI – 8   | 113.1±3.6 | 133.9        | 96.1         | 105.6±4.0 | 118.4        | 79.5         | 99.4±4.1  | 116.4        | 77.1         | 66.3  | C3024 |
| LMI – 22  | 115.4±4.6 | 124.1        | 102.3        | 107.9±4.4 | 115.6        | 88.2         | 98.3±4.2  | 110.4        | 87.5         | 61.9  | C64   |
| LUM – 524 | 114.2±3.9 | 117.0        | 108.5        | 106.5±7.9 | 108.0        | 91.3         | 99.0±5.1  | 103.0        | 90.8         | 60.9  | C4    |
| STA – 2   | 97.4±3.8  | 109.5        | 82.2         | 88.7±4.3  | 101.0        | 63.4         | 84.4±4.9  | 98.8         | 59.0         | 26.6  | C916  |
| NTA – 17  | 97.5±3.8  | 110.4        | 83.6         | 88.3±4.6  | 105.0        | 65.3         | 83.8±5.0  | 98.5         | 60.7         | 28.0  | C509  |
| CTA – 388 | 96.4±4.0  | 104.8        | 88.6         | 91.1±4.2  | 100.1        | 79.3         | 86.4±4.3  | 97.4         | 72.1         | 41.1  | C52   |
| SLD – 526 | 109.6±4.6 | 113.8        | 94.6         | 104.5±4.6 | 109.4        | 94.0         | 98.0±4.3  | 103.2        | 88.4         | 49.1  | C13   |
| OER – 338 | 99.3±3.5  | 110.6        | 88.5         | 90.6±4.4  | 102.7        | 71.1         | 86.8±4.7  | 97.2         | 67.3         | 29.1  | C94   |
| AND – 18  | 95.9±4.0  | 105.3        | 86.5         | 89.9±4.1  | 97.2         | 79.2         | 86.0±4.5  | 96.7         | 74.7         | 18.2  | C39   |
| KUM – 445 | 117.6±4.3 | 124.3        | 113.1        | 107.7±2.9 | 113.6        | 105.8        | 100.2±5.7 | 112.8        | 96.4         | 65.7  | C8    |
| RPU – 512 | 114.0±3.4 | 121.1        | 107.3        | 104.9±3.9 | 109.8        | 91.1         | 100.0±3.9 | 107.6        | 89.7         | 57.8  | C22   |
| LEO – 13  | 115.9±4.1 | 132.1        | 100.1        | 108.1±4.3 | 116.0        | 88.8         | 99.9±4.3  | 110.1        | 82.0         | 70.2  | C268  |
| ORS – 257 | 98.1±4.0  | 106.1        | 85.6         | 88.6±3.6  | 99.1         | 81.6         | 83.8±4.4  | 97.0         | 69.3         | 65.7  | C97   |
| THA – 390 | 94.8±3.5  | 106.5        | 88.7         | 89.2±3.4  | 98.0         | 79.4         | 84.2±3.8  | 93.9         | 72.5         | 32.5  | C82   |
| NOO – 250 | 101.1±5.5 | 114.6        | 88.5         | 93.3±4.2  | 107.1        | 72.9         | 88.2±4.2  | 100.4        | 70.8         | 42.5  | C369  |
| DKD – 336 | 107.2±2.9 | 110.6        | 95.4         | 101.4±3.5 | 107.7        | 90.1         | 97.6±3.6  | 102.1        | 87.2         | 43.8  | C36   |
| DPC – 446 | 96.3±3.5  | 103.9        | 87.6         | 92.1±3.8  | 97.8         | 76.1         | 86.9±3.9  | 95.8         | 74.4         | 16.5  | C68   |
| PSU – 339 | 112.5±3.1 | 120.7        | 106.6        | 106.4±3.1 | 110.8        | 98.8         | 98.5±3.9  | 106.0        | 91.2         | 61.7  | C18   |
| DAD – 334 | 100.1±3.9 | 108.3        | 94.1         | 93.9±4.2  | 106.2        | 88.0         | 88.8±4.8  | 102.9        | 82.7         | 40.8  | C47   |
| EHY – 529 | 110.5±3.7 | 123.2        | 97.1         | 101.6±3.9 | 110.8        | 91.5         | 97.6±4.2  | 105.0        | 84.6         | 62.4  | C83   |
| MON – 19  | 103.5±2.9 | 117.9        | 91.7         | 96.3±3.3  | 102.7        | 80.6         | 91.4±3.7  | 100.2        | 78.8         | 41.4  | C240  |
| DSV – 428 | 114.3±4.2 | 124.0        | 107.7        | 104.3±5.8 | 114.9        | 92.5         | 100.3±6.0 | 114.4        | 87.3         | 66.2  | C22   |
| GEM – 4   | 97.0±2.5  | 117.6        | 85.3         | 89.8±3.8  | 114.9        | 56.1         | 85.5±4.4  | 114.4        | 54.1         | 33.8  | C5103 |
| HYD – 16  | 109.5±3.2 | 122.6        | 97.1         | 101.2±4.0 | 111.8        | 79.9         | 96.6±4.8  | 109.9        | 73.4         | 58.9  | C529  |
| XVI – 335 | 114.7±4.5 | 131.0        | 102.3        | 107.0±3.7 | 112.8        | 94.8         | 101.5±4.3 | 112.7        | 92.2         | 69.1  | C46   |
| URS – 15  | 103.0±3.0 | 119.9        | 99.0         | 97.5±4.6  | 102.2        | 76.4         | 93.2±4.6  | 99.7         | 75.5         | 32.9  | C62   |
| ALY – 252 | 101.4±6.6 | 106.1        | 93.1         | 91.3±6.3  | 100.9        | 88.9         | 88.2±5.8  | 98.2         | 88.1         | 49.5  | C3    |
| SSE – 330 | 100.7±1.9 | 101.1        | 97.7         | 94.0±3.3  | 98.5         | 92.1         | 89.8±2.1  | 90.6         | 86.7         | 45.5  | C3    |
| COM – 20  | 112.0±3.9 | 129.5        | 95.9         | 104.3±3.6 | 113.8        | 87.4         | 97.3±4.0  | 111.5        | 82.0         | 63.3  | C497  |
| OSE – 320 | 106.6±2.2 | 108.1        | 105.0        | 101.7±3.3 | 104.0        | 99.3         | 98.2±3.7  | 100.8        | 95.5         | 45.0  | C2    |
| JLE – 319 | 95.8±2.8  | 104.3        | 94.3         | 91.7±1.8  | 93.7         | 87.5         | 88.3±2.3  | 91.8         | 83.9         | 51.4  | C11   |
| AHY – 331 | 105.1±4.1 | 112.3        | 91.5         | 98.2±3.9  | 104.4        | 87.7         | 93.8±4.5  | 101.3        | 81.4         | 43.3  | C119  |
| QUA – 10  | 101.0±2.9 | 112.3        | 89.5         | 94.4±3.7  | 107.3        | 74.6         | 89.3±4.3  | 106.7        | 71.2         | 40.7  | C1029 |
| SCC – 97  | 96.5±5.0  | 101.9        | 83.5         | 88.5±4.6  | 96.4         | 73.3         | 84.3±5.1  | 93.0         | 68.3         | 27.0  | C69   |
| XCB – 323 | 97.1±3.9  | 107.0        | 91.1         | 94.0±2.9  | 103.5        | 89.8         | 88.8±3.9  | 102.5        | 83.4         | 45.1  | C26   |
| NCC – 96  | 96.9±4.5  | 104.1        | 85.0         | 88.0±4.2  | 95.9         | 70.5         | 83.1±5.3  | 93.5         | 64.8         | 27.2  | C74   |
| GUM – 404 | 96.9±3.0  | 104.5        | 92.4         | 88.9±4.2  | 96.2         | 80.5         | 84.0±4.2  | 91.2         | 76.3         | 28.8  | C26   |
| XUM – 341 | 92.9±3.4  | 104.6        | 89.6         | 87.7±3.8  | 97.8         | 79.6         | 83.1±3.2  | 93.9         | 75.0         | 40.9  | C30   |
| ECV – 530 | 113.6±4.3 | 119.0        | 100.5        | 106.1±3.0 | 109.5        | 99.3         | 102.7±3.2 | 106.5        | 93.1         | 68.1  | C15   |
| AAN – 110 | 95.1±3.7  | 108.8        | 91.8         | 91.9±2.3  | 98.1         | 89.0         | 86.8±2.4  | 93.6         | 83.1         | 45.0  | C34   |
| OHY – 569 | 109.7±3.1 | 114.3        | 104.5        | 104.2±2.2 | 108.6        | 101.0        | 101.0±2.3 | 104.9        | 97.4         | 58.2  | C12   |
| FEV – 506 | 110.1±3.7 | 116.2        | 95.6         | 103.4±3.1 | 111.5        | 94.4         | 98.4±3.5  | 108.7        | 89.9         | 62.9  | C55   |



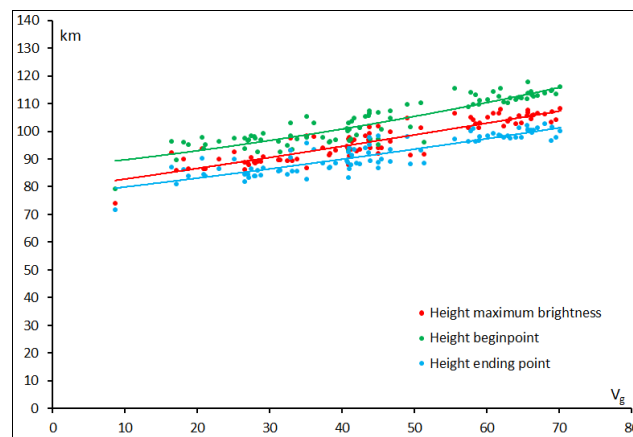
| IAU code  | $H_b$     | $H_b$<br>max | $H_b$<br>min | $H_m$    | $H_m$<br>max | $H_m$<br>min | $H_e$    | $H_e$<br>max | $H_e$<br>min | $V_g$ | N   |
|-----------|-----------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|-------|-----|
| FED – 427 | 105.1±1.1 | 105.7        | 102.7        | 98.3±3.1 | 100.8        | 91.2         | 95.7±4.2 | 99.5         | 85.6         | 35.1  | C9  |
| XHE – 346 | 97.6±2.0  | 100.6        | 95.8         | 86.6±3.0 | 89.8         | 83.5         | 82.6±2.8 | 87.6         | 81.4         | 35.2  | C4  |
| EVI – 11  | 93.6±3.3  | 101.3        | 87.1         | 86.0±5.0 | 94.2         | 61.9         | 81.7±6.9 | 94.2         | 56.0         | 26.6  | C55 |

Tabel 3. Hoogten in de atmosfeer (km) voor zwermmeteoren, met  $H_b$  de beginhoogte,  $H_m$  de hoogte van het punt met grootste helderheid,  $H_e$  de eindhoogte,  $V_g$  de geocentrische snelheid en N het aantal meteoren in het interval.

## 5 Bevestigde meteorzwermen

De mediaanwaarden voor alle zwermen zijn in dezelfde orde van grootte zoals deze voor de sporadischen in Tabel 2. Uit Tabel 2 zouden we kunnen concluderen dat een optimalisatie van ons netwerk voor een hoogte van 90 km een mooi compromis is. 90 km/s is goed voor een mediaan van 41.7 km/s maar wat voor zwermmeteoren met flink lagere snelheden? Volgens de tellingen in Tabel 1 licht 12% van alle meteoren op minder dan 90 km hoogte op. 30% bereikt de grootste helderheid onder de 90 km en 46.3% van alle meteoren heeft zijn eindpunt lager dan 90 km.

Een selectie van de banen voor elke bevestigde meteorzwerm die in de CAMS data voorkomt, laat toe om de mediaan waarden per zwerm te berekenen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3 en in Figuur 5. Een aantal zwermen heeft een mediaanwaarde lager dan 90 km voor het punt met grootste helderheid, waaronder één van de meest actieve zwermen, de Geminiden (GEM –). De eindhoogte voor zwermen met een lage geocentrische snelheid is vaak dicht bij de 80 km dan bij 90 km.



Figuur 5. De mediaan waarden in hoogte in functie van de geocentrische snelheid voor de diverse zwermen voor beginhoogte (groen), helderste punt (rood) en eindhoogte (blauw).

Er is één enkel uitzonderlijk geval met de Corviden (COR – 63) met hun uitzonderlijk lage geocentrische snelheid van 8.7 km/s waarvoor de trajecten duidelijk onder het 80 km niveau gesitueerd zijn. Tot dusver is dit de enige zwerm met zulke uitzonderlijk trage meteoren. Indien we zeker willen zijn dat het netwerk geen gaten vertoont waarin deze Corviden kunnen ontsnappen, dan moeten we op 70 km optimaliseren. Dit zou meer camera's vergen om de atmosfeer boven de BeNeLux af te dekken dan wat er momenteel beschikbaar zijn. Als we de uitzonderlijke aard en de lage activiteit van de Corviden in beschouwing nemen, dan is de afweging tussen de kostprijs om meer camera's in te zetten en de winst in het aantal banen in het voordeel van een compromis op 80 km om de overlap van de beeldvelden te optimaliseren.

## 6 Conclusies

De statistieken afgeleid uit de CAMS 2010–2013 dataset tonen een seizoensgebonden variatie in de geocentrische snelheid en de oplichthoogte van sporadische meteoren. Een telling van het aantal hoogten per schil van 5 km dik in de atmosfeer toont duidelijk twee lagen met hoge aantallen met daartussen een laag met opvallend lagere waarden. De mediaanwaarden voor sporadischen en zwermmeteoren pleit in het voordeel van 90 km als referentie hoogte. Indien we in detail kijken naar de statistieken voor elke zwerm afzonderlijk dan blijkt 80 km aanbevolen om discriminatie van sommige zwermen in het simultaandetectiesysteem te vermijden.

## Referenties

Jacchia L., Verniani F. en Briggs R. E. (1967). "An Analysis of the Atmospheric Trajectories of 413 Precisely Reduced Photographic Meteors". *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, 10, 1–139.

Jenniskens P., Gural P. S., Dynneson L., Grigsby B. J., Newman K. E., Borden M., Koop M. en Holman D. (2011). "CAMS: Cameras for Allsky Meteor Surveillance to establish minor meteor showers". *Icarus*, 216, 40–61.

Jenniskens P., Nénon Q., Albers J., Gural P. S., Haberman B., Holman D., Morales R., Grigsby B. J., Samuels D. en Johannink C. (2016). "The established meteor showers as observed by CAMS". *Icarus*, 266, 331–354.

Porubčan V., Bucek M., Cevolani G. en Zigo P. (2012). "Variation of Meteor Heights and Solar-Cycle Activity". *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 64, id.86, 5 pages.

## Jaaroverzicht VANMC: Jaargang 2016

### Michel Vandeputte

2016 was een jaar waarbij het maanlicht veel van de grotere zwermpjes zou gaan verstoren en waarbij alle ogen gericht waren op een bijzondere Perseïdenterugkeer... Toch waren er naast de Perseïden tal van andere hoogtepuntjes. Een overzicht.

De Quadrantiden verliepen bewolkt. Enkel in de postmaximumnacht konden er nog een aantal meteoren gezien worden tijdens een kort waarneemvenster. Erna werd overgeschakeld naar het 'off season' modus al herbergde januari en februari nog een mooi aantal heldere vriesnachten. Zo was de nacht van 7-8 januari de eerste volledig heldere (maanloze) nacht sedert de maand september 2015 (!) welke meteen uitnodigde om een meteorowaarneemarathon te houden. In de nacht erop werd ik geconfronteerd met ongewoon hoge SQM waardes tot bijna 20.70 vanuit de achtertuin!

In de heldere nacht van 16-17 februari en waarschijnlijk koudste vriesnacht van wat je 'winter' zou kunnen noemen in dat jaar werd ons zoontje Boris geboren. Precies één maand later was ik op 17 maart getuige van één van mijn persoonlijk grootste vuurbolverschijningen ooit met het opbranden van de St. Patricks vuurbol boven Engeland. De initiële massa werd hierbij geschat op  $66 \pm 16$  kg en kende een radiant in de Maagd bij een absolute magnitude van -13.6! De groene en alles oplichtende flares vanuit het zuidwesten waren een onvergetelijke herinnering.

Na het prille en mooie voorjaarsweer vervielen we in de maanden erop met somber en ongewoon nat weer welke tot en met juli aanhield. Dus ook geen Lyriden gezien in dit jaar. Enkel de eerste week van mei vormde een uitzondering op de regel met een mooie reeks van prachtige voorjaarsdagen incl. heldere nachten. Ideaal om enkele Eta Aquariden te verschalken. Dat lukte weer aardig in de ochtenden van de 5<sup>de</sup>, 6<sup>de</sup> en 7<sup>de</sup> mei. De meeste exemplaren werden gezien in de ochtendschemering van de 6<sup>de</sup> mei. Na de Eta's vervielen we in het slechte weer en moest ik noodgedwongen wachten tot in de Provence om nog eens geconfronteerd te worden met een mooi helder nachtelijk zwerk.

Dit lange wachten met een grote honger naar heldere nachthemels werd beloond met een onafgebroken reeks van meteorensessies rondom de Perseïden zwerm tussen 01 en 15 augustus. Het weerbeeld in de Provence was in deze periode bijzonder stabiel, rijk aan kraakheldere mistral-nachten. In het gezelschap van Koen Miskotte zag ik de zwerm zeer geleidelijk aan ontwaken om een absoluut hoogtepunt mee te maken in de nacht van 11-12 augustus. De zwerm barstte zoals verwacht uit haar voegen en liet de mooiste en sterkste activiteit zien sedert de roemruchte uitbarsting in 1993. Een combinatie van het 1 en 4 revolutie oude stofspoor leverde een eerste hoge activiteit piek op rondom het verwachte tijdstip 23.20 UT (ZHR ~300) terwijl het 'filament' nog eens tegen de ochtendschemering voor fraai slotspektakel zorgde... Een nacht om nooit meer te vergeten! Ook de traditionele maximumnacht (12-13 augustus) verliep helemaal kraakhelder.

Na afloop van het Perseïdengeweld werd me niet meteen rust gegund want de zomer denderde eind augustus onze regio binnen met menige heldere nachten. Hierbij konden de Aurigiden en September Perseïden zeer goed opgevolgd worden. Vooral dat laatste zwermpje kwam in 2016 behoorlijk opvallend uit de hoek zonder daarbij een grote opleving te veroorzaken zoals in 2008 en 2013 het geval was. De reeks heldere nachten werd in de volgende maanloze periode in eind september – begin oktober gewoon doorgezet met zicht op de eerste officiële Orioniden- en Tauriden activiteit. De oktober Camelopardaliden kenden op 5 oktober een korte maar opvallende activiteitspiek welke zich net voor mijn tijdvenster voordeed. In het eerste uurtje kon ik wel nog één exemplaar verschalken. Het Orioniden maximum verliep maanverlicht en bewolkt; enkel in de nacht van 22-23 oktober kon ik een aantal uurtjes waarnemen. Erna was het vat toen een beetje af en zo besloot ik om even halt te houden met mijn waarneempraktijken.

Mede om mijn achterstand in het Perseïdenhoofdstukje verder af te werken met data verwerking en het schrijven van artikels. Hierbij miste ik wel een aantal heldere vriesnachten in de eerste dagen van november, maar de extra nachtrust was welgekomen en broodnodig. Op het einde van de maand november nam ik de waarneemhandschoenen weer op en begon ik aan een nieuwe reeks heldere nachten. In deze mooie periode worden steevast de laatste Leoniden gezien in combinatie met de eerste Geminiden én een hoge sporadische meteoractiviteit. Deze zeer aantrekkelijke periode gaf me een nieuwe impuls om ook in december er voluit voor te gaan en alle kansen te benutten. Die kansen kwamen er ook in de eerste dagen van december dankzij het 'sinterklaas pre wintertje' waarbij ik een aantal waarneemarathons kon houden. Naast de vroege Geminiden kwam er nu ook versterking uit de hoek van de Monocerotiden, Hydriden en een onverwachte inbreng van de Kappa Draconiden (periode 2-4 december). In de nacht van 04-05 december zag ik overigens mijn 75.000ste meteor! De hoge druk invloeden persisteerden rondom het Geminiden maximum over een groot deel van het centraal Europese continent. Helaas lag de Benelux wat in de verkeerde hoek en moest het speculeren op opklaringsgebieden uit het zuiden. Haast miraculeus werd het een 'schot in de roos' toen zo een groot opklaringsgebied in de 2<sup>de</sup> helft van de nacht 13-14 december binnendreef vanuit het zuiden; goed voor nog een dikke 5 uren waarneemplezier vanaf 1 UT. Desondanks de aanwezigheid van een volle maan keek ik aan tegen mooie Geminiden aantallen welke pas tegen de ochtend progressief in dalende zin ging maar afgelost werd door een reeks van mooie vuurbollen. De maanvrije Ursiden verliepen dit jaar nog maar eens bewolkt. Het

was wachten tot in de ochtend van de 30<sup>ste</sup> december om mijn laatste meteoren van 2016 te zien waaronder een prachtig traag vuurbolletje en de eerste Quadrantiden als voorbodes van het nakende nieuwe jaar 2017... Die laatste sessie, nummer 59 in 2016, was nodig om de kaap van 200 effectieve waarnemingen te gaan overschrijden. Een 2<sup>de</sup> keer dat dit mij lukt. In totaal werden er in 5365 meteoren gezien inclusief 30 vuurbollen van op zijn minst -4. Nooit verwacht dat 2016 zo'n mooi waarnemingsjaar zou wezen.

## Quadrantiden 2017

Carl Johannink

Op Nieuwjaarsdag leek het er op dat ik weer eens de Quadrantiden zou kunnen zien. Dat zou dan precies 8 jaar zijn na de actie samen met Marco Langbroek op het hoogste punt in het Münsterland. Die verhuizing was toen nodig omdat de hele omgeving dichtgeslibt was met mist. Wij konden in de ochtend van de 3<sup>e</sup> januari 2009 onder diepvriesomstandigheden (thermometer wees bij de aankomst op de waarnemingsplek -12 graden aan) een prachtige show van deze zwerm zien.

Nu heel ander weer: een noordelijke stroming in deze tijd van het jaar is altijd een risico... Het klaarde in de avond van 3 januari 2017 in Twente tussen 19 en 20 uur plotsklaps op. Via mail en telefoon overleg tussen Peter van Leuteren, Sietse Dijkstra, Selma Koelers en ondergetekende. Peter en Sietse trokken direct naar de sterrenwacht, om daar tot 2 uur te slapen. Selma en ik bleven op onze stek, en probeerden thuis eerst wat te slapen.

Op een tamelijk ongebruikelijke tijd (00:15 uur) word ik wakker. Spullen gepakt en richting de sterrenwacht te Lattrop gereden. Aankomst daar om 01:45 uur. Tjonge, wat helder. Ongelofelijk, we boffen deze keer kennelijk. Peter is kort van te voren gestart met zijn waarnemingen. Sietse en ik haken om 02:15 uur (01:15 UT) in. De poten van mijn stretcher zakken 2 cm diep weg in een krokant laagje sneeuw, maar er staat geen wind, en het vriest ook nauwelijks. Een kwartier later arriveert Selma ook.

We zien een aantal leuke meteoren, maar de activiteit van de Quadrantiden lijkt duidelijk minder dan 8 jaar eerder. 2009 en 2017 zijn qua positie van de Aarde rond de Zon goed vergelijkbaar, dus de activiteit van deze zwerm zou snel moeten toenemen richting de ochtend. We zijn benieuwd. Af en toe verschijnt er eentje.

Peter was zo aardig om te melden dat hij rond 02:15 UT wolken zag aankomen in het noordoosten. Dit was het begin van een korte periode waarin de omstandigheden toch wel achteruit gingen, juist op het moment dat wij de indruk kregen dat de activiteit juist vooruit ging.

Om 02:26 UT moeten we pauzeren: een forse wolkenbank passeert ons gebied. De helderste sterren zijn soms maar vaag zichtbaar ... opeens zie ik vlak bij Capella een hele fraaie -2 a -3 Quadrantide door de dunne bewolking slaag 'prikken'. Het begin van deze meteor bleek later door CAMS 311 in Gronau te zijn vastgelegd. Het klaart weer op! Cassiopeia staat verlokkelijk te fonkelen laag in het noorden. Helaas duurt deze pret niet lang: om 02:38 UT moeten we er echt de brui aan geven. Opnieuw hebben we echter de indruk dat de wolken ons een toenemende activiteit door de neus boren.

Wachten heeft echter geen zin meer: de Noordzee-wolkenfabriek draait op volle toeren zien we op de SAT-plaatjes.

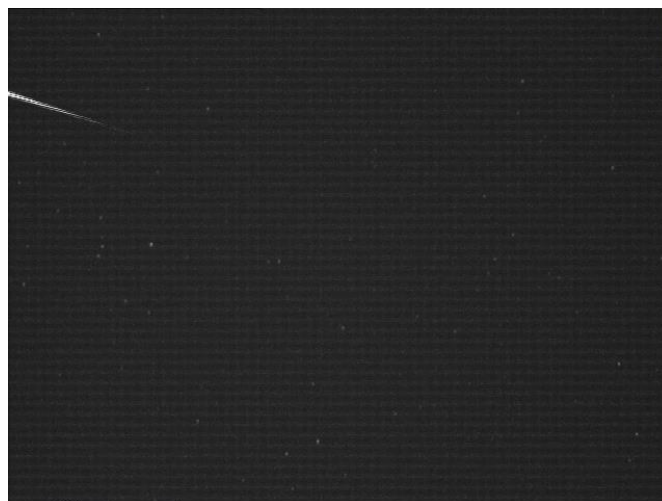
Wij verlaten Lattrop vlak voor 3 uur UT : we hebben weer een keertje, zij het beperkt, een blik kunnen werpen op deze schuchtere zwerm.

Al met al een wat minder uitbundige verschijning deze keer, maar toch redelijk tevreden.

Op de CAMS beelden in Gronau is te zien dat het daar rond 3 uur UT bewolkt werd.

Het was weer een genoegen om met Selma, Sietse en Peter te 'bivakkeren' onder een heldere hemel.

De waarnemingen: tussen 01:18 en 02:26 UT (ruim 1,1 uur) zie ik 12 Quadrantiden. In 2009 zag ik onder vergelijkbare omstandigheden tussen 2 en 6 uur UT de volgende uur-aantallen Quadrantiden : 20 – 32 – 48 – 67. Al met al lijkt dit het beeld te bevestigen van een wat lagere activiteit dit jaar.



*Figuur 1. Het eerste deel van de Quadrantide van magn. -3 welke verscheen op 4 januari 2017 om 02:29 UT. CAMS 311 te Gronau.*