

Mikroobservatorier ser det nære univers – og alle kan være med!

Holger Pedersen, Niels Bohr Institutet, og Tobias C. Hinse, Syddansk Universitet & Syddansk Universitetsbibliotek & Videncenter for Citizen Science

Den mørke nattehimmel med dens lejlighedsvis, flygtige stjernesked kan give den velplacerede iagttager en uforlignelig oplevelse. Det er dog en oplevelse, som stigende lysforurening vanskeliggør. Det næstbedste må så være at tage teknikken til hjælp. Direkte transmission, “livestreaming” af nattehimlen, er efterhånden veludviklet, prisbillig, og kan, i tilgift til den æstetiske oplevelse, benyttes til videnskabelige målinger. Vi vil berette om computerdetektion af stjernesked (meteor) som et videnskabsprojekt faciliteret indenfor rammerne af et muligt fremtidig borgerdrevet “citizen science” forløb.

Mikroobservatorier, drevet af amatører og professionelle astronomer i forening, vinder frem i store dele af verden. Hensigten er at beskrive solsystemets bestand af meteorstrømme – måske af ukendte eller helt opløste kometer – og give mulighed for opsamling af friske fald af meteoritter. Endelig er det et håb at registrere meteorer med interstellare baner, eller i det mindste fra Oortskyen. Alt dette er en konsekvens af de seneste års udvikling af prisbillig detektor- og computerkraft, kombineret med opensource softwareudvikling anført af en gruppe begejstrede Python-programmører.

I sammenligning med Det Europæiske Sydobservatoriums ELT-kikkert, hvis spejldiameter bliver 39,3 meter, er meteorkameraernes typiske frie åbning på knap 4 millimeter omkring 100 millioner gange mindre, hvilket skulle berettiggeliggøre betegnelsen “mikro”.

En gennemgang af den historiske udvikling vil nok føre for vidt, men nogle få punkter fortjener at blive nævnt. De tidligste – tonstunge – dobbeltkameraer til fotografisk bestemmelse af meteorbaner blev opstillet i USA og Canada i 1946 – formelt drevet af Harvard University, men formodentlig på bestilling af US Air Force, som ønskede at kende de fysiske forhold i stratosfæren – noget som raketopsendelser dog snart overflødiggjorde [1].

For Zdeněk Ceplecha, fra Ondřejov Observatoriet i det daværende Tjekkoslaviet, lykkedes det i 1959, ved brug af mere beskedent udstyr, at beregne nedfaldsstedet for Příbram-meteoritten. Příbram blev den første meteorit med beregnet interplanetarisk bane. Få år senere, fra 1964 til 1975, drev Smithsonian Astrophysical Observatory et netværk af 16 kameraer på den amerikanske prærie. Men denne prisværdige indsats førte til blot et enkelt fund af en meteorit, Lost City, i 1970. Sidenhen kom der systemer med billedforstærkede TV-kameraer, men teknologien var vanskelig, og resultaterne få.

Fremkomsten af de elektro-optiske detektorer, CCD og CMOS, har bevirket et stort fremskridt i lysfølsomhed. Et af de tidlige eksempler fra maj 1986 på vidvinkel CCD-observationer var Lubos Kohoutek og undertegnede observationer af 106 meteorer fra Eta Aquaride-sværmen, der som bekendt er associeret med komet Halley. Vi kunne blandt andet beskrive, hvorledes

radianten flyttede sig 0,74 grad fra dag til dag, og hvor stor tætheden var: $4.0 \times 10^{-13} \text{ g km}^{-3}$ [2].



Figur 1. GMN-detektionerne over Nordvesteuropa fra august 2022. Langt de fleste stjernesked er perseider – støv fra kometen *109P/Swift-Tuttle* – en komet som ses med ca. 133 års mellemrum og hvis seneste passage nær Solen var i december 1992. Frigivet under CC-BY 4.0 licens.

Vidvinkelobservationer drevet til det ekstreme benytter naturligvis fiskeøjeoptik. Det er grundlaget for adskillige ildkugleprojekter, heriblandt det danske, anført af Anton Norup Sørensen, hvis resultater ofte ses citeret i pressen. Op mod ti kameraer overvåger hver nat himlen over Danmark, og Antons idéer har dannet skole for lignende projekter i Norge og Sverige – alle er fortsat velfungerende. Ligeledes er det franske “Fripon” baseret på fiskeøjeoptik. Fripon ledes fra Parisobservatoriet og det støttes af mange franske institutioner, og et stort antal internationale ditto, heriblandt Det Europæiske Rumagentur, Det Europæiske Sydobservatorium og de naturvidenskabelige museer i London og Wien [3]. Bedre kan det ikke blive.

Men teknologien er allerede passé, og tendensen går nu mod optik med mindre synsvinkel og dermed forbedret rumlig opløsning. Ligeledes vinder den billige Raspberry Pi4-singleboard computer frem til erstatning for klassiske Linux laptops/PCer – som dog ikke er dømt ude, specielt til brug af mange kameraer. Kameraer til sikkerhedsovervågning har vist sig særdeles brugbare, og deres data (Sonys CMOS-chip IMX291 med 1280×720 pixels) kan, med 25 billeder i sekundet, nu analyseres i realtid (figur 2). Det såkaldte Global Meteor Network (GMN) [4], benytter fortrinsvis linser med

åbningsforhold $F0,95$ og brændvidde $f = 3,6$ millimeter, hvilket giver et synsfelt på omkring 45×88 grader.

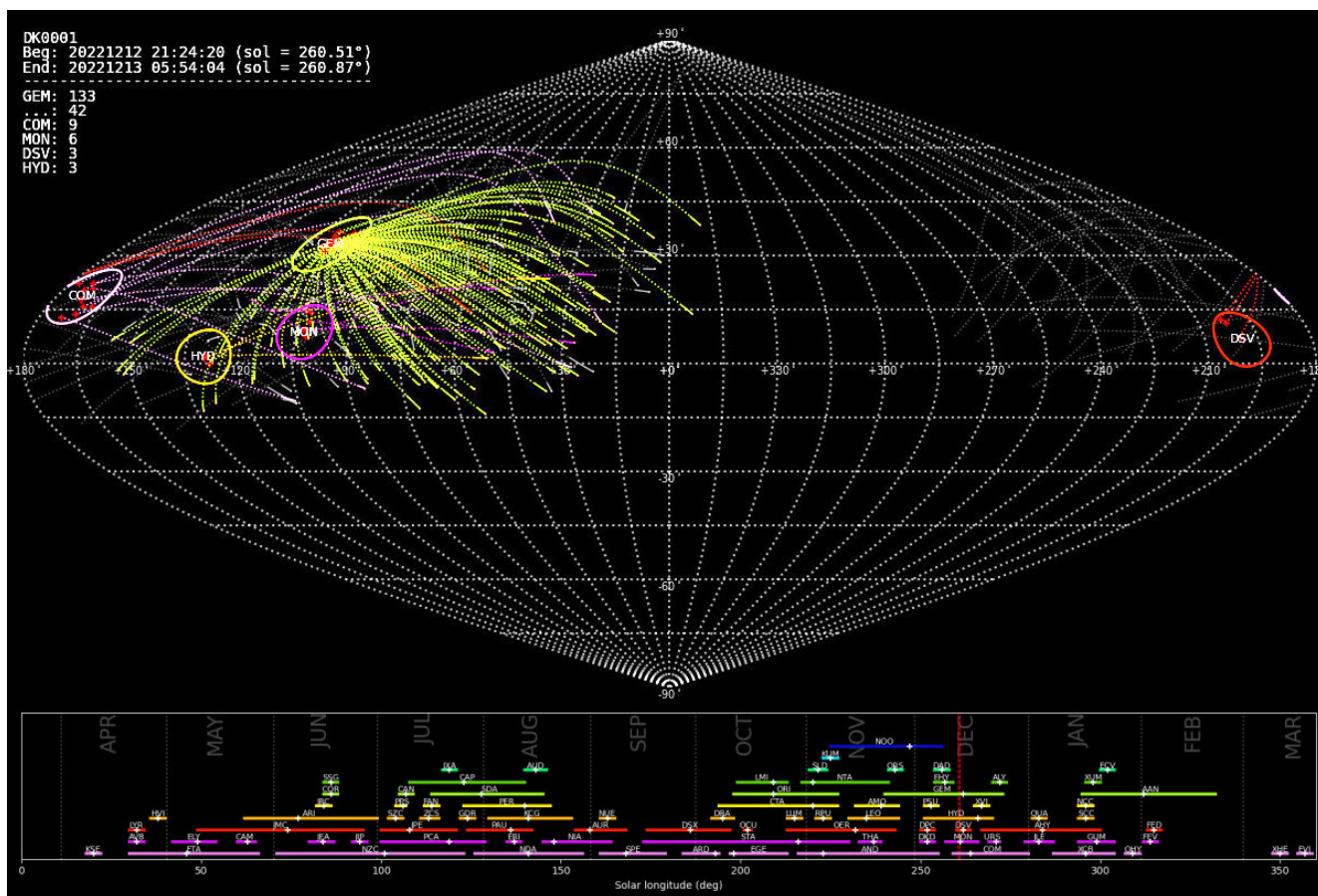


Figur 2. DK0001 titter ud af et afblændet vindue. Optikkens frie åbning, som kun anes, er ca. 3,8 millimeter.

Med seks sådanne kameraer kan hele himlen dækkes, og det sker flere steder. Noget lignende gør det tyske AllSky7netværk [5] og det amerikanske CAMS [6].



Figur 3. Summen af DK0001-observationer fra den kun delvis klare nat mellem 12. og 13. december 2022. Kameraet peger i en fast opstilling mod vestsydvest. Stjernefeltet har bevæget sig fra øverste venstre hjørne mod det nederste højre. Efter automatisk frasortering af spor fra stjerner, satellitter, fly og måske ugler og flagermus, tilbagestår 187 meteorer, af hvilke de fleste er geminider, se næste figur.



Figur 4. En-stations klassifikation af meteorerne fra foregående figur, baseret på deres storcirkelretning og vinkelhastighed. Grønne symboler markerer geminider, som nu vides at have deres oprindelse i asteroide 3200 Phaethon. Andre kommer fra mindre aktive, men veletablerede sværme. Den nederste ramme viser årets gang i stjerneskudssværme. Frigivet under CC-BY 4.0 licens.

I alt har GMN over 700 kameraer installeret i 34 lande, og selvom nogle er inaktive, bliver en overvældende mængde data hver morgen uploadet til University of Western Ontario, Canada, som leder analysen – det være sig associering med data fra andre kameraer, triangulering af atmosfærisk bane, beregning af ned-

bremsning, eventuelt faldområde, bestemmelse af interplanetarisk bane, eventuelt medlemskab med tidligere kendte meteorstrømme, etc. De atmosfæriske baner (figur 1) visualiseres med et program skrevet af Tammo Jan Dijkema (Holland). I perioden fra december 2018 til juni 2021 bestemtes 220.000 præcise interplanetariske

meteorbaner. Men selv ved den enkelte station skabes interessante data, således ses et dagligt plot af de observerede meteoriter (figur 3) og deres mulige oprindelse i kendte meteorstrømme, hvor tilhørsforholdet er sandsynliggjort ved storcirkelbane og vinkelhastighed (figur 4).¹

Regulære ildkugler, observeret med GMN, har potentialet til hurtig lokalisering og dermed opsamling af nyfaldne meteoritter, hvilket er vigtigt for laboratoriemåling af hurtigt henfaldende radionukleider. Hvis flere stationer har set samme ildkugle, kan banen gennem atmosfæren bestemmes til omkring 20 meters nøjagtighed. Hvad det eventuelle nedslagspunkt angår, vil stykkernes geometriske form (deres ukendte afvigelse fra symmetri) og vindforholdene i de nedre højder, hvor fragmenterne ikke længere er lysende, påvirke flugten. Hvad man *kan* tage i betragtning, beregningsmæssigt, er de typiske glimt, som ofte udsendes under flugtens seneste tredjedel: De vides at modsvares af fragmenters separation fra hovedmassen. Det australske fald+fund Murrili er et glimrende eksempel [7].

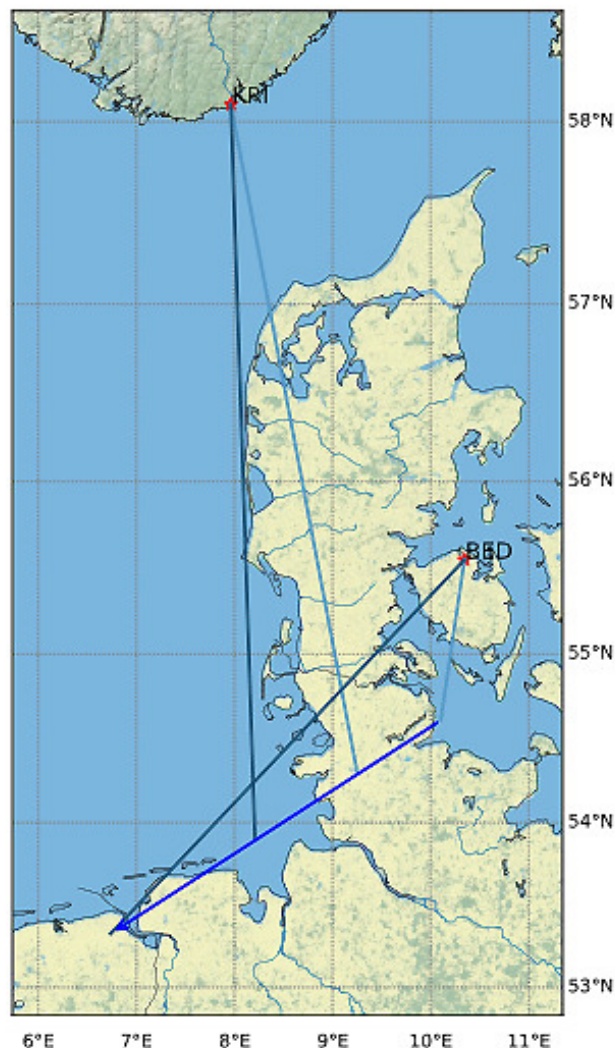


Figur 5. Ildkugle observeret 1. december 2022, 17:36 dansk tid, delvis gennem skyer. Billedet er summen af 512 enkeltbilleder taget med frekvensen 25 per/sekund. Tydeligvis var fænomenet godt i gang, da det kom tilsyn i 36 graders højde i billedets overkant; det forsvandt i 5,8 graders højde bag efeu-bevoksede træer. Sporets krumme form skyldes optikkens fortegnings. De klareste stjerner er Altair – i stjernebilledet Ørnen – og Rasalhague i Slangebæreren.

Den hidtil klareste detektion med det første danske GMN-kamera, DK0001, var en ildkugle, som blev registreret den 1. december 2022 (figur 5). I alt 22 visuelle observationer af det samme fænomen blev indrapporteret til Den Internationale Meteororganisation – flere med oplysning om lysstyrke og gradvis fragmentering: Tre til fem fragmenter sås dale ned fra sporet af hovedmassen og én rapport talte om rumlen [8]. Et fiskeøjekamera i Kristiansand, Norge, fangede det også [9], hvilket muliggjorde Steinar Midtskogens beregning af baneforholdene (figur 6).

Hvis vi kort skal omtale to nylige successhistorier, må det blive 1) fundet af Winchcombe-meteoritten [11], en CM-kondrit, som faldt den 28. februar 2021 over Gloucestershire, UK. Stykker af den blev opsamlet efter få timer – den hurtigste sådanne opsamling nogensinde fra et beregnet nedslagssted. 2) Detektionen af det første *klippefragment* fra Oort-skyen [10]. At det var en sten – ikke en *snebold* – tvinger os til nytænkning

af solsystemets struktur og dannelse. Det vil sikkert blive et hot emne for fremtidige observationer med mikroobservatorier.



Figur 6. De to instrumentelle observationer er benyttet til beregning af den atmosfæriske og den interplanetare bane. Hældningen mod horisonten var 7,9 grader, og mod ekliptika 4,3 grader. Hastigheden var ikke stor, 20,6 km/sekund. De foreliggende data er dog ikke tilstrækkelige til at måle hverken udslukningshøjden (≤ 44 km) eller opbremsningen præcist. Figuren er reproduceret med tilladelse fra Norsk Meteornetværk [9].

For flere år siden bevirkede uheldige omstændigheder (skyer) at to danske fald+fund af meteoritter kun i mindre grad var baseret på hjemlige, instrumentelle målinger. Det var den bemærkelsesværdigt hurtige kulkondrit Maribo [12], opsporet af Thomas Grau ved sin lydsignatur, og L-kondritten Ejby [13], fundet i en indkørsel, før nogen beregnet lokalisering var på plads (figur 7).

Citizen science ved Syddansk Universitet

Forfatterne af denne artikel har, som det fremgår af ovenstående, installeret det første GMN-kamera i Danmark, og forud derfor i udlandet. Hvad vi troede ville blive svært, viste sig at være en bunke trivialiteter.

På denne baggrund påtænkes det nu at søsætte følgende initiativ med støtte fra offentligheden:

¹Der findes også en offentlig tilgængelig video af de komprimerede data på <https://istrastream.com/rms-gmn>.



Figur 7. Finderen af det første fragment af Ejby meteoritten tog dette foto for at overbevise Henning Haack (meteorit-ansvarlig på Geologisk Museum), om at hun nok havde fundet noget interessant. Det var ikke svært ...

“Videncenter for Citizen Science” [14] ved Syddansk Universitet (Odense campus) har siden 2019 specialiseret sig i facilitering, udbud, træning og udvikling af borgerdrevne videnskabsprojekter spændende over en bred vifte af fagområder, det være sig fra litteratur- og naturvidenskab til social- og sundhedsvidenskab. Formålet er at bygge bro mellem de akademiske

institutioner og offentligheden. Det praktiske fokus er på forskningsformidling, læring og vidensdeling, og der stræbes efter offentlighedens inddragelse i dataindsamling og synliggørelse af den videnskabelige proces.

På baggrund af de erfaringer, som den ene af os (TCH) har opnået, stiler SDU nu mod et citizen science projekt med det mål at hjælpe til med opstilling af GMN-meteorkameraer [15] rundt omkring i Danmark. Vi planlægger derfor at søge midler til sådant initiativ, og vil gerne høre fra læserne, om der er interesse for projektet. Figur 7 viser nogle af de elektroniske og optiske komponenter, der indgår i et enkelt GMN-kamera. Som det ses, er det ikke meget hardware der skal til. Prisen per kamera er 4.000–5.000 kr.

Formidling og læring omkring meteorer og deres egenskaber vil være en del af projektet med fokus på rådgivning om anskaffelse af komponenter, praktisk samling af disse, installation af software, fejlfinding, opstilling samt datahåndtering. Alle kan være med: private, skoler, klubber og foreninger. I det tilfælde at der findes den nødvendige opbakning vil projektet indgå i et mere generelt citizenscience forløb ved SDU med udbud af praktiske hands-on workshops. Interesserede kan henvende sig til Tobias C. Hinse (toch@sdu.dk) og indhente mere information.



Figur 8. Varianter af GMN kameraet, som man kan installere derhjemme – i haven, på taget eller balkonen. Foto: Mike Mazur, University of Western Ontario, Canada.

Litteratur

- [1] R.A. Jarrell (2009) “Canadian meteor science: the first phase, 1933-1990”, *Journal of Astronomical History and Heritage*, bind **12**, side 224–234.
- [2] L. Kohoutek og H. Pedersen (2010) “Eta Aquarids meteor stream in 1986”, *Abhandlungen aus der Hamburger Sternwarte*, bind **14**, hæfte 1. (De originale data gik tabt da ESO i 1989 slettede sit digitale arkiv fra samtlige kikkerter).
- [3] F. Colas m.fl. (2020) “FRIPON: a worldwide network to track incoming meteoroids”, *Astronomy and Astrophysics*, bind **644**, side A53, samt hjemmeside <https://fireball.fripon.org>
- [4] <https://globalmeteornetwork.org>
- [5] M. Hankey, V. Perlerin og D. Meisel (2020) “The all-sky-6 and the Video Meteor Archive system of the AMS Ltd.”, *Planetary and Space Science*, bind **190**, side 105005.
- [6] P. Jenniskens m.fl. (2011) “CAMS: Cameras for All-sky Meteor Surveillance to establish minor meteor showers”, *Icarus*, bind **216**, side 40–61.
- [7] M. C. Towner m.fl. (2022) “Dark-flight Estimates of Meteorite Fall Positions: Issues and a Case Study Using the Murrili Meteorite Fall”, *The Planetary Science Journal*, bind **3**, side 44.
- [8] http://fireballs.imo.net/members/imo_view/event/2022/9587
- [9] <http://norskmeteornetverk.no/meteor/20221201/163705/>
- [10] D. Vida m.fl. (2022) “Direct measurement of decimetre-sized rocky material in the Oort cloud”, *Nature Astronomy*, <https://doi.org/10.1038/s41550-022-01844-3>
- [11] A. J. King m.fl. (2022) “The Winchcombe meteorite, a unique and pristine witness from the outer solar system”, *Science Advances*, bind **8**, nr. 46, side eabq3925.
- [12] J. Borovicka, O. Popova og P. Spurný (2019) “The Maribo CM2 meteorite fall – Survival of weak material at high entry speed”, *Meteoritics & Planetary Science*, bind **54**, side 1024–1041.
- [13] P. Spurný m.fl. (2017) “Atmospheric trajectory and heliocentric orbit of the Ejby meteorite fall in Denmark on February 6, 2016”, *Planetary and Space Science*, bind **143**, side 192–198.
- [14] <https://www.sdu.dk/da/forskning/forskningsformidling/citizenscience>
- [15] T.C. Hinse et al. (2017) “Proto-Type Installation of a Double-Station System for the Optical-Video-Detection and Orbital Characterisation of a Meteor/Fireball in South Korea”, *PKAS*, bind **32**, side 381–405.

Optagelser med DK0001

På hjemmesiden www.kvant.dk/MM.gif kan man se en lille animeret gif som viser optagelser detekteret med DK0001.

Taksigelse

HP er Anton Norup Sørensen tak skyldig for henvisningen til GMN, og til Steinar Midtskogen, for beregningen af ildkuglebanen. TCH vil gerne sige tak til Mike Mazur, Denis Vida og Nick Moskovitz for gode råd, diskussion og altid hurtige svar på spørgsmål.



Holger Pedersen, er cand.scient. og lektor emeritus ved Niels Bohr Institutet. Har skrevet tre bøger om meteorit-historie. Blev i 2016 af det russiske videnskabsakademi inviteret til Sibirien, Trans-Jenisei, for at lede efter faldstedet for pallasjernet, den første videnskabeligt erkendte meteorit.



Tobias C. Hinse er ph.d., dr. habil. og har læst fysik og astronomi ved Københavns Universitet. Tobias er forskningsbibliotekar og lektor ved Syddansk Universitet.

Nyt fra Astronomisk Selskab

Generalforsamling

Astronomisk Selskab afholder generalforsamling lørdag den 22. april 2023 kl. 10.30 på Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet, Ny Munkegade 120, 8000 Aarhus C.

Ny foredragsrække

Til efteråret planlægger selskabet nye spændende foredrag om bl.a. Den Internationale Rumstation, galaksernes historie, Danmark på Mars, universets udvidelse og dannelsen af galakser, Danmark i rummet, støvindhyllede “starburst”-galakser i det unge univers, Aarhus i rummet, galakser i det lokale univers, Athena og andre fremtidige ESA missioner samt om de første galakser. Se mere i næste nummer af Kvant.