

Eine Feuerkugel der Extraklasse

Selten wird ein Meteor gleichzeitig per Video, Foto, mittels Radiowellen und auch mit bloßem Auge beobachtet. So gelang es findigen Amateurastronomen, einer Feuerkugel des Perseidenstroms ungewöhnliche Geheimnisse zu entlocken.

Von Reinhardt Wurzel

Es ist tiefe Nacht, die Sternbilder prangen erhaben am Firmament. Das Band der Milchstraße beleuchtet die dunkle Landschaft in seltener Schönheit. Kein Mondlicht und keine Wolke trüben in dieser Nacht die vollkommene Klarheit der Sterne. Gemeinsam mit dem befreundeten Amateurastronomen Jürgen Michelberger habe ich es mir auf einer Lichtung nahe Horní Vltavice behaglich gemacht. Der Ort im Böhmerwald liegt in einem sehr dunklen Gebiet im westlichen Tschechien. Der 12. August 2018 ist zwar ein Sommerabend, aber wer würde glauben, dass wir vielschichtige Winterbekleidung tragen müssen, mit mehreren Paar Socken, Handschuhen und Mütze. Zusätzlich wärmt uns seit Stunden ein Schlafsack – bei nur fünf Grad Lufttemperatur (siehe Bild rechts).

Zeitgleich beobachten 230 Kilometer entfernt die uns gut bekannten Amateurastronomen Peter C. Slansky und Bernd Gärken südlich von München im bayerischen Geigersau auf 930 Meter Höhe den Himmel. Hier, auf einem dunklen, zwischen Staffelsee und Schongau gelegenen Hügel in den Voralpen, hoffen sie auf ereignisreiche Stunden, denn die große Sternschnuppennacht des Jahres ist be-

reits in vollem Gang. Lautlos durchstreifen die Meteore das Himmelsgewölbe und huschen über das dunkle Firmament: die Sternschnuppen des Perseidenstroms.

Kameras, Stativ und alles, was wir sonst noch zur Beobachtung in Horní Vltavice benötigen, ist aufgebaut. Noch vor wenigen Stunden war die Luft 30 Grad Celsius warm, doch nach dem Temperatursturz ist in der nun kühlen Nacht Taubildung zu befürchten. Trotzdem versehen unsere Geräte zuverlässig ihren Dienst. Auch im weiter südlich gelegenen Geigersau herrschen ideale Verhältnisse mit klarer Luft. Jeder Stern leuchtet, glitzert und blinkt, als wäre der Himmel nur dafür geschaffen worden, sein eigenes Wunder anzuzeigen.

Es ist schon bald Morgen – exakt 3 Uhr, 50 Minuten und 58,1 Sekunden Uhr MESZ – als plötzlich eine gigantische Feuerkugel das Firmament über uns erleuchtet. In anfänglich unscheinbarer Spur schießt der Bolide an den Sternbildern vorbei – doch im letzten Moment passiert das Wunder: Das interplanetare Geschoss explodiert grell aufleuchtend in einem alles überstrahlenden, –7 mag hellen Blitz (siehe Bild rechts oben). Die Lichtung und die halbkreisförmig angrenzenden Bäume erstrahlen, finstere Schatten werfend,

in hellem Licht. Momente später steht eine nachleuchtende Spur am Himmel, bis sie, wie von unsichtbarer Hand ausgewischt, den Blick auf den samtschwarzen Sternhimmel wieder freigibt als wäre nie etwas geschehen (siehe Bild S. 64 rechts oben).

Ein Foto mit Folgen

Die maximale Aktivität des Perseidenstroms trat im Jahr 2018 zwei Nächte nach Neumond ein: astronomisch optimale Bedingungen. Eigentlich wollten wir unsere Beobachtungen über mehrere Nächte hinweg ohne wissenschaftlichen Anspruch durchführen. Als seit Langem befreundete Sternschnuppenjäger ging es uns vielmehr um das gemeinsame Ausspannen, Fachsimpeln und natürlich – nach alter Tradition – um das Beobachten der Meteore. Auch war die Erprobung einer selbstprogrammierten App zum Aufzeichnen der Daten beobachteter Meteore eine Hauptbeschäftigung in diesen Nächten.

So war unser fotografischer Einsatz beinahe nur Beiwerk, mit der Hoffnung, dass sich vielleicht ein schöner Meteor auf den Chip unserer Kamera verirrt. Unser Anspruch an die Qualität der Aufnahmen hielt sich in Grenzen: Wir verzichteten da-



Jürgen Michelberger



Jürgen Michelberger

Nur eine vermurkste Aufnahme? Dieses Bild einer –7 mag hellen Feuerkugel entstand während der Beobachtung der Perseiden am 12. August 2018 im tschechischen Horní Vltavice. Die Sternfreunde, die den hellen Meteor mit eigenen Augen bestaunen konnten, ließen dieses zufällig aufgenommene Foto zunächst unbeachtet. Doch dabei sollte es nicht bleiben – denn mehrere Beobachter in Mitteleuropa hatten das Leuchten am Himmel ebenfalls gesehen.

Mitten im Sommer ist es am Beobachtungsort in kühler Nacht ohne einen Polarschlafsack sehr ungemütlich. Nach einigen Stunden ist alles feucht, da die Taubildung nach einem Temperatursturz ungewöhnlich hoch ist.



Durch Videoaufnahmen mit einer Kamera vom Typ Sony Alpha 7S überwachte Peter C. Slansky in der Perseidennacht 2018 im oberbayerischen Geigersau den Himmel. Es stellte sich heraus, dass seine Aufnahmen denselben Boliden zeigten, den die Beobachter in Tschechien gesehen hatten.



Eine beeindruckende Nachleuchtspur kennzeichnete den Boliden am Himmel über Tschechien. Sieben Minuten lang war die leuchtende Wolke fotografisch nachweisbar. Ihre Farben werden von Molekülen der Erdatmosphäre bestimmt, aber auch von Stoffen, aus denen der verglühende Felsbrocken selbst besteht.

Die Perseiden: Praktische Tipps zur Beobachtung

In den Nächten um den 12. August sind alljährlich viele Meteore des Perseiden-Stroms zu sehen (siehe auch den Beitrag auf S. 56 in diesem Heft). Der Name dieses Stroms verweist auf die Lage des Ausstrahlungspunkts seiner Meteore, der fachsprachlich als Radiant bezeichnet wird und im Sternbild Perseus liegt (siehe Bild rechts). Die Perseiden bieten einen guten Anreiz, die Meteorbeobachtung selbst systematisch anzugehen: Versuchen Sie, die Anzahl der gesehenen Meteore zu ermitteln und den Ursprungsort des Stroms am Himmel selbst zu bestimmen. Dies lässt sich schon durch einfache visuelle Beobachtungen mit bloßem Auge erreichen – allein oder besser in einer kleinen Gruppe. Hier sei kurz erläutert, worauf es dabei ankommt.

Ein Logbuch für Meteore

Die stündliche Rate der beobachtbaren Meteore hängt nicht nur von der Ergiebigkeit des Meteorschauers ab, sondern auch von der Qualität der Nacht und des beobachtenden Auges sowie von der Höhe des Radianten über dem Horizont. Ein Maß für die Aktivität eines Stroms ist diejenige stündliche Fallrate, die sich ergäbe, wenn sich der Radiant im Zenit befände und wenn der Beobachter dabei den gesamten Himmel im Auge behalten könnte. Die unter diesen idealisierten Bedingungen bestimmte Fallrate wird als Zenithal Hourly Rate (ZHR) bezeichnet. Sie bezieht sich zudem auf einen dunklen Himmel, unter dem noch Sterne mit einer Helligkeit von 6,5 mag mit bloßem Auge sichtbar sind. Für die Perseiden ergibt sich während der maximalen Aktivität, die für den Morgen des 13. August 2019 erwartet wird, eine ZHR von mehr als hundert Meteoren pro Stunde.

Die unter realen Bedingungen beobachtete Rate ist natürlich viel geringer als die ZHR. Um aus der beobachteten Fallrate die ZHR zu berechnen, muss man außer Beobachtungsort und Datum unbedingt auch die visuelle Grenzgröße (siehe SuW 3/2019, S. 72)

und die Uhrzeit notieren, sowohl zu Beginn als auch zum Ende jeder Beobachtung. Denn nicht nur die Höhe des Radianten verändert sich im Lauf der Nacht: Durch den Aufgang des Mondes oder den Aufzug dünner Schleierwolken mag dies auch für die Sichtbedingungen gelten.

Pro Beobachter wählt man maximal einen Quadranten des Himmels aus, denn mehr als ein Viertel des Himmels lässt sich allein kaum überwachen. Haben Sie keine Mitbeobachter, dann bleiben Sie einfach konsequent bei dem einmal gewählten Quadranten; später wird dann die so ermittelte Zahl beobachteter Meteore einfach mit vier multipliziert. Ist der Strom sehr intensiv, dann lohnt es sich, die Beobachtungen auf ein Diktiergerät zu sprechen oder mit der Aufnahmefunktion eines Smartphones festzuhalten und später auszuwerten, um sich durch das Notieren nicht von der Beobachtung ablenken zu lassen. Für die Aufzeichnung stehen auch spezielle Smartphone-Apps mit diversen Zähl- und Analysefunktionen zur Verfügung.

Solche Techniken sind jedoch kein Muss: Im Normalfall reicht eine Strichliste pro Zeitintervall von zehn Minuten. Stellen Sie sicher, dass ein gesehener Meteor tatsächlich ein Perseid ist, indem Sie gleich bei der Sichtung eines Meteors seine Bahn am Himmel zurückverfolgen und so sehen, ob er tatsächlich dem Radianten des Stroms, also dem Sternbild Perseus entstammt.

Beobachtungen sind auch mit Hilfe der Videotechnik möglich, beispielsweise mit Bildern einer hochempfindlichen SW-CCTV-Kamera der Baureihe Mintron oder WaTec. Bezüglich der Auswertung der Videos sei auf die Programme MetRec und Radiant hingewiesen, die bei der International Meteor Organization (IMO) unter www.imo.net kostenfrei verfügbar sind. Die IMO sammelt auch visuelle Beobachtungen, wertet sie aus und liefert so den bestmöglichen Überblick über die Entwicklung der ZHR eines Meteorstroms. KLAUS-PETER SCHRÖDER

rauf, das Objektiv zu heizen, so dass sich der Tau allmählich auf dem Glas niederschlug. Deshalb konnten wir die Feuerkugelaufnahme aus Horní Vltavice, die uns in jener Nacht gelang, leider nur als vermurkst bezeichnen; sie hätte normalerweise keine weitere Beachtung verdient (siehe Bild S. 63). Doch dann meldete sich Peter C. Slansky, der mit anscheinend gut geplante Glück ein geniales Video eines Boliden aufgenommen hatte (siehe Bild ganz links).

Für seine Aufnahmen nutzte Slansky zwei Kameras vom Typ Sony A7S mit Canon-FD-Objektiven (50 Millimeter, $f/1,4$) auf einer parallaktischen Montierung. Die beiden Kameras hatte er so gegeneinander gedreht, dass sich ihre Gesichtsfelder am Himmelsnordpol geringfügig überlappten und die lange Bildachse des Vollformats etwa auf den Radianten der Perseiden ausgerichtet war. War ihm nun

derselbe Meteor vor die Kameraobjektive geraten, den auch wir gesehen und fotografiert hatten?

Eine erste grobe Auswertung führte überraschenderweise dazu, dass die Leuchtspuren auf seinem Video und unserem Foto identisch waren. Es stellte sich heraus, dass wir unsere »vermurksten« Aufnahme sehr gut für eine genaue Bahnberechnung nutzen konnten. Sogleich suchten wir nach weiteren Bestätigungen dieser Beobachtung durch den Kontakt zu anderen Meteorfreunden. Dabei stießen wir auf ein Foto der Donausternwarte, das den Boliden ebenfalls zeigte. Auch wenn es nur eine sehr grobe Aufnahme war, so ließ sie sich trotzdem für eine zusätzliche überprüfende Bahnbestimmung nutzen. Nach der baldigen Meldung unserer Beobachtung an die International Meteor Organization (IMO) erhielt der Perseide den IMO-Code 3414-2018.

Unser Glücksfall bestand im Wesentlichen in einem zeitlich hochaufgelösten Film, der über die wenigen Sekunden hinweg doch ganz unerwartete Erkenntnisse erbrachte, über die ich nachfolgend genauer berichten möchte – auch wenn damit der poetisch-emotionale Eindruck, den jene Nacht in uns hinterließ, nun den nüchternen Ergebnissen einer systematischen Analyse weichen muss.

Der Weg zum großen Finale

Unserer Auswertung zufolge konnte der Meteor per Video erstmals in einer Höhe von 157 Kilometern aufgenommen werden (siehe Kasten S. 67). Meteore mit Aufleuchthöhen von mehr als 120 Kilometern wurden erstmals während der Aktivitätsausbrüche des Leonidenstroms zur Jahrtausendwende entdeckt. Dies galt als eine große Überraschung, da in diesen Höhen die Luft eigentlich zu dünn ist, um das Leuchten zu erklären. Inzwischen gilt jedoch als gesichert, dass flüchtige Stoffe in den Meteoroiden beim Durchgang durch die Erdatmosphäre eine Gashülle bilden, an der sich die restliche Materie reiben kann. Der Effekt ist allerdings nicht sehr deutlich und das Leuchten so schwach, dass erst moderne Technik einen Nachweis in großen Höhen ermöglichte.

Die Bahnanalyse unserer Perseiden-Feuerkugel bezüglich der Lichtverteilung erfolgte unter Berücksichtigung der vertikalen Schichtung der Erdatmosphäre. Dabei steigt die durch die Anzahl der Moleküle pro Kubikmeter ausgedrückte Dichte der Atmosphäre in einer Höhe von 90 bis 80 Kilometer extrem an. Die Höhe des Endblitzes der beobachteten Feuerkugel liegt genau innerhalb dieser Atmosphärenschicht. Bereits in einer Höhe von 94,9 Kilometern nahm die Helligkeit des Meteors exponentiell zu, was dem deutlichen Anstieg der Luftdichte entspricht. In 82,7 Kilometer Höhe zerfiel der Bolide schließlich explosionsartig in einem Blitz, der weniger als vier Millisekunden dauerte (siehe Kasten S. 68).

Bei diesem finalen Aufblitzen (englisch: terminal flash) handelt es sich nicht um explodierendes heißes, leuchtendes Material, sondern um ein Strahlungsphänomen. Für eine Explosionswolke von mehreren Kilometern Durchmesser wäre die Masse des eindringenden Körpers viel zu gering. Es ist anzunehmen, dass er sich an der Grenzschicht auflöste und dabei seine Oberfläche schlagartig vergrößerte;



Levin Dieterle

Die Perseiden in Aktion: Die Spuren der Meteore laufen am Himmel perspektivisch im Ausstrahlungspunkt, dem Radianten des Stroms, zusammen. Er liegt im Sternbild Perseus und verleiht den Sommersternschnuppen ihren Namen.

Die Bahn des Boliden

Die Auswertung des in der Perseidennacht vom 12. August 2018 gewonnenen Foto- und Videomaterials ermöglichte es den Beobachterteams, die Bahn des Boliden im Raum zu ermitteln. Der Meteor befand sich zum Zeitpunkt seines Auftauchens auf den Videobildern oberhalb eines Ortes rund 13 Kilometer östlich von Eichstätt (Punkt A). Erst als der Bolide eine Eintrittshöhe von 110 Kilometern erreicht hatte, ließ er sich auch auf dem in Westböhmen, bei Horní Vltavice, aufgenommenen Foto nachweisen (siehe Bild S. 63). Der entsprechende auf die Erdoberfläche projizierte Bahnpunkt befindet sich acht Kilometer nordwestlich von Neuburg an der Donau (Punkt B). Ungefähr 1,5 Kilometer südlich der Ortschaft Rain explodierte der Perseid in einer Höhe von 82,7 Kilometern (Punkt C), und knapp fünf Kilometer weiter erlosch der letzte Rest des Meteors in einer Höhe von 78 Kilometern (Punkt D).

Der Auswertung zufolge beträgt die Bahnlänge der Leuchtspur rund 93 Kilometer, bei einer Flugdauer von 1,56 Sekunden, was im aufgenommenen Video 39 Einzelaufnahmen entspricht. Hieraus errechnet sich eine durchschnittliche Geschwindigkeit von rund 59 Kilometern pro Sekunde. Betrachtet man nur den ersten Bahnabschnitt von Punkt A bis B, entsprechend der Flugphase von 158 bis 110 Kilometer Höhe, so ergibt sich nahezu der gleiche Wert. Somit hat der in die Erdatmosphäre eingedrungene Meteoroid überraschenderweise bis zuletzt – also auch noch in der zweiten Flugphase (Punkt B bis Punkt D, entsprechend 110 Kilometer bis 77 Kilometer Höhe) – ohne abzubremesen seine maximale Geschwindigkeit beibehalten.



Die von den Beobachtern in Deutschland und Tschechien rekonstruierte räumliche Bahn des Boliden (blau) verlief über Oberbayern, nördlich von München. Bezeichnet sind die auf die Erdoberfläche projizierten Punkte des ersten Auftauchens (A), des ersten Nachweises auf dem Foto (B) sowie der Ort des hellsten Auftauchens (C) und des Erlöschens (D). Die untere Grafik zeigt die Bahn noch einmal in Aufsicht.

die gesamte Bewegungsenergie wurde dabei in Wärme umgesetzt. Hierbei entstand Strahlung, die sich kugelförmig ausbreitete und die Luft der Umgebung zum Leuchten anregte. Der Strahlungsfluss nimmt bei solchen Ereignissen mit zunehmender Distanz ab, bis keine Ionisation der umgebenden Luftmoleküle mehr möglich ist.

Grünes Nachleuchten, blaues Glühen

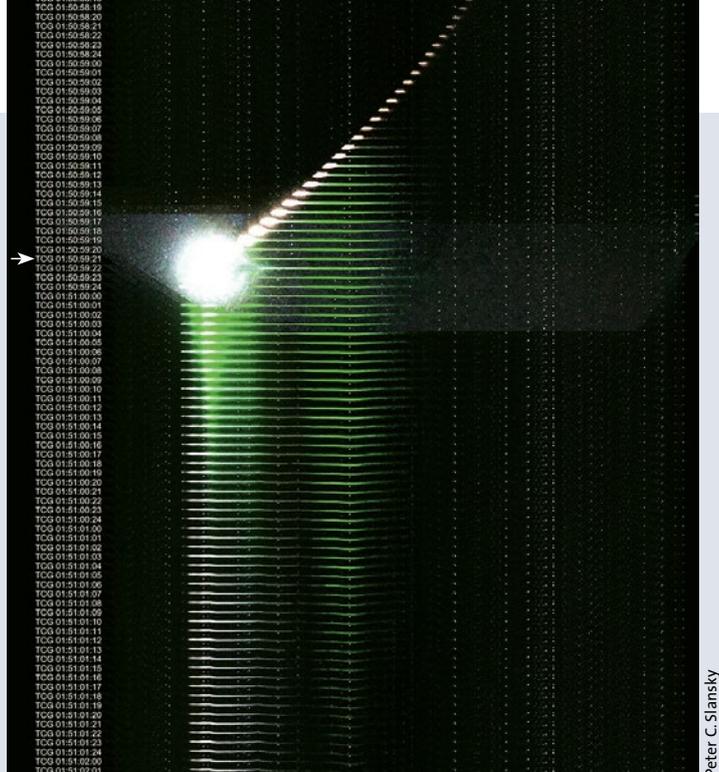
Begleitet wurde der finale Blitz von einem kräftigen grünen Nachleuchten mit scharfem Umriss und einem Radius von vier Kilometern. Dies entspricht einem Volumen von 268 Kubikkilometern. Noch ungewöhnlicher ist, dass der Blitz und das grüne Nachleuchten nicht nur in der Luft reflektiert wurden, sondern von einem enorm weit ausgedehnten bläulichen Himmelsleuchten (englisch: Sky Glow) begleitet wurde. Dieses Leuchten ging vom Punkt des finalen Blitzes aus, dauerte 360 Millisekunden und war innerhalb der Atmosphäre bis in eine Entfernung von rund 120 Kilometern nachweisbar.

Die Bildverarbeitung der mit einer Kamera vom Typ Sony Alpha 7s erstellten Videos umfasste das Zusammenfügen der Full-HD-Videos mit 1920×1080 Pixeln bei 25 Bildern pro Sekunde mit einer Datentiefe von acht Bit (siehe SuW 2/2018, S. 68). Da die Kameras mit der maximalen Empfindlichkeit von ISO 409 000 betrieben wurden, sind die Bilder stark verrauscht: Mit jeder Erhöhung der ISO-Einstellung gegenüber der Grundempfindlichkeit der Sony Alpha 7S (ISO 3200) nimmt das Signal-Rausch-Verhältnis entsprechend ab, und das Bildrauschen wird deutlicher sichtbar. Die außergewöhnlich große Fläche des Boliden auf den Einzelbelichtungen veranlasste Peter C. Slansky und Bernd Gärken, mit den in der Beobachtungsnacht genutzten Kameras und Objektiven nachträglich einige Labortests durchzuführen: Ist die auf den Bildern sichtbare Ausdehnung des Boliden real oder wurde sie durch Reflexe und Lichtstreuungen innerhalb der Kameraoptik verursacht?

Um diese Frage zu klären, wurden im Labor Aufnahmen mit einer nahezu punktförmigen künstlichen Lichtquelle absichtlich überbelichtet. Bei passender Belichtungszeit und Empfindlichkeit zeigten die Bilder dann einen Lichtfleck desselben Durchmessers wie das Originalbild des Boliden – jedoch war dieser von weiteren Lichtflecken begleitet, die auf Reflexi-

Sequenzanalyse

Auf der Grundlage von 140 Bildern eines Videos erstellte Peter C. Slansky diese Sequenzanalyse der Meteorsichtung. Sie veranschaulicht den zeitlichen Ablauf der Leuchterscheinung über einen Zeitraum von 5,7 Sekunden in Schritten von $\frac{1}{25}$ Sekunde. Die Zahlen links geben von oben nach unten die Uhrzeit in UT an. Der Meteor tritt von rechts in das Bildfeld der Kamera ein, und schon bald ist der Meteorhaupt stark überbelichtet, ebenso die nachfolgend verbleibende Leuchtspur. Sie besteht aus einem weißen und einem grünen Anteil, die als Wake beziehungsweise Train bezeichnet werden. Um 01:50:59:21 Uhr UT explodierte der Meteorhaupt in einem finalen Blitz (englisch: terminal flash). Bemerkenswert ist das langsame Abklingen des grünen Nachleuchtens: Es bleibt rund zwei Sekunden lang sichtbar, das Nachleuchten des Wake hingegen für mehr als zwei Minuten – bei Weitem länger als die hier dargestellte Sequenz.



Peter C. Slansky

onen innerhalb der Optik zurückzuführen sind und auch als Lens Flares bezeichnet werden. In den tatsächlichen Videoaufnahmen des Boliden waren jedoch keinerlei Lens Flares vorhanden.

Zudem ließ sich verifizieren, dass eine runde, flächenhafte Lichtquelle, die denselben scheinbaren Durchmesser hatte wie der Blitz des Boliden, schon bei einer deutlich geringeren Überbelichtung ähnlich erscheint wie der Bolide in den Originalaufnahmen. Das Erscheinungsbild des finalen Blitzes auf den Videoaufnahmen ist also mit hoher Wahrscheinlichkeit real, und sein Durchmesser konnte zu rund acht Kilometer bestimmt werden.

Zwar geht das Leuchten des Blitzes im Wesentlichen auf weißes Licht zurück, das sehr schnell abklingt. Jedoch ergab ein Kameratest mit einem Schmalbandfilter für die Wellenlänge des grünen Lichts von 540 Nanometern, dass das Gebiet des finalen Blitzes in diesem Spektralbereich deutlich länger nachleuchtet. Dieses Nachleuchten hatte im ersten Augenblick etwa dieselbe räumliche Ausdehnung wie der Blitz im weißen Licht.

Der bläuliche Sky Glow, der diese Erscheinungen begleitete, leuchtete gemäß den Aufnahmen beider Kameras nur 360 Millisekunden lang, bevor er gänzlich abgeklungen war; seine räumliche Ausdehnung war jedoch riesig. Auch hierbei ist ausgeschlossen, dass es sich um ein Artefakt handelt, da der Sky Glow synchron in den Aufnahmen beider Kameras zu sehen ist – insbesondere in Kamera 1, in

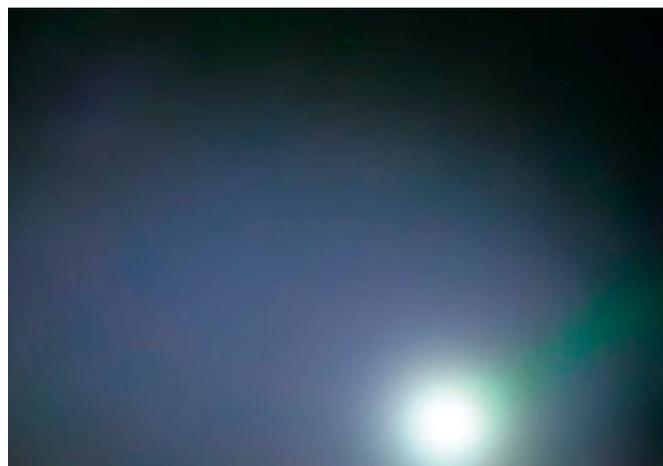
deren Bildfeld der finale Blitz nicht enthalten war. Ebenso wenig kann es sich hierbei um eine Lichtstreuung innerhalb der Erdatmosphäre handeln, denn der Sky Glow leuchtet langsamer nach als der finale Blitz. Zudem unterscheidet er sich durch seine bläuliche Farbe vom grünen Nachleuchten.

Zusätzliche aufschlussreiche Informationen über die Feuerkugel erreichten uns aus einem ganz anderen Spektralbereich: Mittels Radiowellen konnte ein findiger Funkamateur den Meteor indirekt nachweisen.

Meteorbeobachtung mit Radio-Echos

Die Bahn eines Meteors ist von einem engen Schlauch aus elektrisch geladenem Gas umgeben (englisch: Meteor Trail). An einem solchen Plasmakanal können Radiowellen, beispielsweise von einem

Zur Verdeutlichung des bläulichen Sky Glow wurde ein Videobild mit Weichzeichner bearbeitet und die Farbsättigung erhöht. Die Helligkeitsabnahme des Sky Glow zum Rand hin wurde nur zu einem geringen Teil durch die Aufnahmeoptik verursacht.



Peter C. Slansky

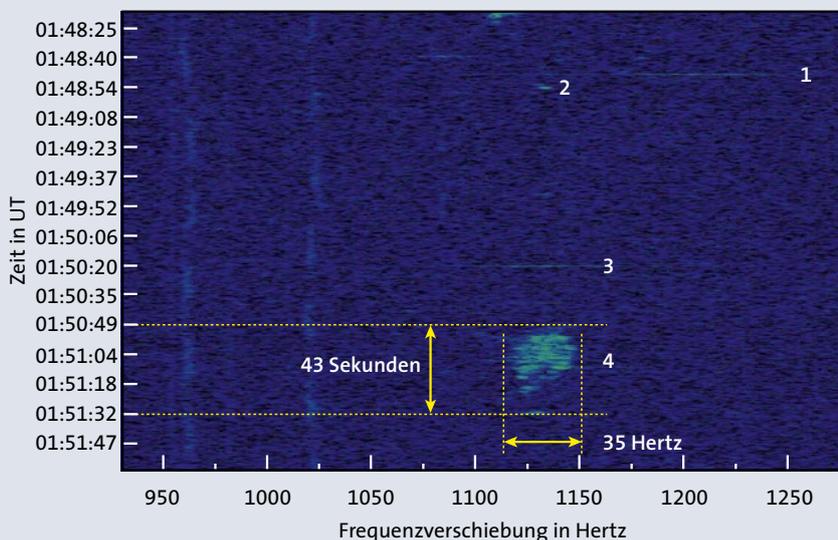


Getty Images / Patrick Aventurier

Die Radarstation GRAVES im Nordosten Frankreichs arbeitet mit vier Antennenfeldern der hier gezeigten Art. Durch unterschiedliche Neigungswinkel sowie durch Phasenverschiebungen zwischen den einzelnen Antennen lässt sich die Richtung des gesendeten Signals beeinflussen.

Die Radiosignatur der Feuerkugel

Der Funkamateurl Wolfgang Kinzel registrierte bei zwei Meter Wellenlänge mehrere Meteorechos, die hier in einem Wasserfalldiagramm dargestellt sind: Die bei der Reflexion von Radiowellen an einer Meteorspur entstehende Frequenzverschiebung ist auf der horizontalen Achse in Hertz angegeben. Auf der senkrechten Achse ist die Uhrzeit in UT aufgetragen. Mit 1, 2 und 3 sind die Echos schwächerer Meteore bezeichnet, das Signal 4 ist das Echo der Feuerkugel. Dabei sind die Signale 1 und 3 Kopfechos, Signal 2 ist ein Trailecho von einigen Hundert Millisekunden Dauer. Das Signal 4 ist ebenfalls ein Trailecho: Es hält rund 43 Sekunden an und hat eine Bandbreite von rund 35 Hertz. Hier verrät sich die Feuerkugel IMO 3414-2018. Für das ungewöhnliche Erscheinungsbild dieses Signals können Höhenwinde verantwortlich sein, in denen einzelne Teile der Meteorspur unterschiedlich schnell driften. Anhaltspunkte für eine Fragmentierung des Meteoroiden sind jedoch nicht ersichtlich.



Wolfgang Kinzel, SuW-Grafik

Sendestation nutzt vier 15×6 Meter große geneigte Phased-Array-Antennen, die den Himmel von Südwesten bis Südosten erfassen und dabei eine Abdeckung von rund 240 Grad gewährleisten (siehe Bild links).

Christoph Dörle, Experte für Meteor-scatter, erklärte uns, dass ein Meteoroid beim Eintritt in die Erdatmosphäre grundsätzlich mit Luftmolekülen kollidiert, was zu einer so großen Erwärmung führt, dass Atome von der Oberfläche des kosmischen Steins abdampfen. Die typische Geschwindigkeit der freigesetzten Atome ist annähernd gleich groß wie die Geschwindigkeit des Meteoroiden selbst. Die Atome kollidieren ihrerseits mit Molekülen der Luft und werden dabei ionisiert. So bildet sich entlang der Flugbahn des Meteoroiden der erwähnte Plasmaschlauch aus elektrisch negativ geladenen freien Elektronen und positiv geladenen Ionen. Die optische Leuchterscheinung entsteht – entgegen landläufiger Meinung – nicht durch die Reibung des Meteoroiden mit den Luftschichten, sondern durch die Wiedervereinigung der freien Elektronen mit den Ionen (Rekombinationsleuchten). Insgesamt teilt sich die freigesetzte Energie zu 99,895 Prozent in Wärme, zu 0,1 Prozent in Licht und zu 0,005 Prozent in die zur Ionisation nötige Energie auf.

Die Radiometeorbeobachtung unserer Perseiden-Feuerkugel mit der Dessauer Empfangsanlage gelang außergewöhnlich gut – trotz der großen Distanzen, die das Radarsignal dabei überbrücken musste: Immerhin betrug die Entfernung zwischen der Empfangsantenne in Dessau und dem GRAVES-Sender im französischen Broye-Aubigny-Montseugny 692 Kilometer. Von GRAVES bis zur Mitte der Meteorbahn waren es 440 Kilometer, und von dort aus bis zur Empfangsantenne in Dessau nochmals 355 Kilometer. Das registrierte Echo dauerte 43 Sekunden und zeigte eine signifikante Dopplerverschiebung.

Wolfgang Kaufmann, Experte für Radioastronomie, erklärt dazu: Nutzt man, wie im vorliegenden Fall, das GRAVES-Radar als Strahlungsquelle für die Radiobeobachtung von Meteoren, so erfasst man nur das Geschehen innerhalb eines halbkreisförmigen Strahlungsfelds über dem südlichen Frankreich. Allerdings haben die GRAVES-Antennen in nordöstlicher bis nordwestlicher Richtung auch einige Nebenabstrahlungen, wenngleich mit deutlich geringerer Leistung. Somit

können aus diesen Regionen mit den üblichen Amateurempfangsanlagen nur die Signale hellerer Meteore aufgenommen werden, mit entsprechend höherem Vermögen, die Atome der Luft zu ionisieren.

Genau betrachtet entwickeln Meteore bei ihrem Durchgang durch die Atmosphäre zwei verschiedene Plasmastrukturen, die Radiostrahlung reflektieren: Erstens eine annähernd kugelförmige Plasmaschicht, die den Meteoroiden eng umschließt und sich mit ihm fortbewegt. Die hier reflektierte Radiostrahlung wird als Kopfecho bezeichnet und ist durch eine starke Dopplerverschiebung charakterisiert. Zweitens bildet sich hinter dem Meteoroiden ein mehrere Kilometer langer Kanal aus ionisierter Luft. Radio-reflexionen an diesem Meteortrail sind durch eine längere Dauer und nur geringe Dopplerverschiebung charakterisiert. Der gemeinsame Empfang von Kopfecho und Trailecho eines Meteors ist eher selten (siehe Kasten links).

Forschungsgebiet mit Zukunft

Moderne Nachweistechiken liefern immer detailliertere Informationen über die Natur von Himmelserscheinungen und gestatten uns, neue Fragen zu stellen. Auch vor der Meteorforschung macht die-

ser Trend nicht halt und gestaltet dieses Themengebiet sehr spannend. So sind die Phänomene um den von uns beobachteten Perseidenmeteor IMO 3414-2018 noch nicht restlos verstanden: Das weit ausge-dehnte Himmelsglühen haben zwei Kameras unabhängig voneinander erfasst. Sicher ist nur, dass die bläuliche Farbe dieses Sky Glow vom drastischen Farbwechsel des weißen finalen Blitzes zum grünen Nachleuchten unbeeinflusst bleibt.

Diese Themen laden jeden Amateurastronomen und Wissenschaftler ein, an der Diskussion neuer Fragen der Meteorforschung mitzuwirken. Unsere Zusammenarbeit mit den helfenden Experten hat sich ebenso erfreulich in unser Gedächtnis eingebrannt wie der Anblick der Feuerkugel in jener Augustnacht des Jahres 2018: Wir haben viel gelernt – und sind noch längst nicht am Ende. ©



REINHARDT WURZEL

schreibt als Journalist über Naturphänomene – am liebsten aber über seltene astronomische Himmelsereignisse wie totale Sonnenfinsternisse. Viele Publikationen zu diesen Themen finden sich auf seiner Webseite www.bilder-der-welt.com.

Literaturhinweise

Haude, S.: Konstruktion einer Meteor-kamera. *Sterne und Weltraum* 8/2009, S. 78–83

Klebsattel, G.: Wie hoch fliegt ein Meteor? *Sterne und Weltraum* 3/2016, S. 74–79

Michelberger, J., Wurzel, R.: Earthgrazer – Wunder des Himmels. *Sterne und Weltraum* 11/2005, S. 76–83

Neumann, M. J.: Feuerkugeln über Europa. *Sterne und Weltraum* 2/2017, S. 26–34

Pröschold, B.: Astrofotografie mit einer Sony A7s? *Sterne und Weltraum* 2/2018, S. 69–71

Schröder, K.-P.: Perseiden: Meteore am Sommerhimmel. *Sterne und Weltraum* 8/2018, S. 58–60

Saner, M.: Sternschnuppenjagd ohne Morgen-Grauen. Eine Anleitung für Einsteiger. *Sterne und Weltraum* 11/2012, S. 76–80

Wurzel, R.: Sternentraum am Gornegrat. *Sterne und Weltraum* 3/2017, S. 62–67

Dieser Artikel und Weblinks unter:

www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1653682



STERNE UND WELTRAUM JAHRGANGS-CD-ROM 2018

Auf der CD-ROM von **Sterne und Weltraum** finden Sie den kompletten Jahrgang mit sämtlichen Bildern sowie alle Jahresinhaltsverzeichnisse von 1962 bis 2018. Die Auflösung der Bilder ist doppelt so hoch wie in den monatlichen PDF-Dateien. Der zum Lesen erforderliche Acrobat Reader ist enthalten.

Die SuW-CD-ROM 2018 kostet als Einzelbestellung € 25,- (zzgl. Porto); als Standing Order zur Fortsetzung € 22,50 (inkl. Porto Inland). Alle Preise verstehen sich inkl. Mehrwertsteuer.

Alternativ gibt es den Jahrgang auch als Download für € 22,50.

Telefon: 06221 9126-743
service@spektrum.de
www.spektrum.de/sammeln