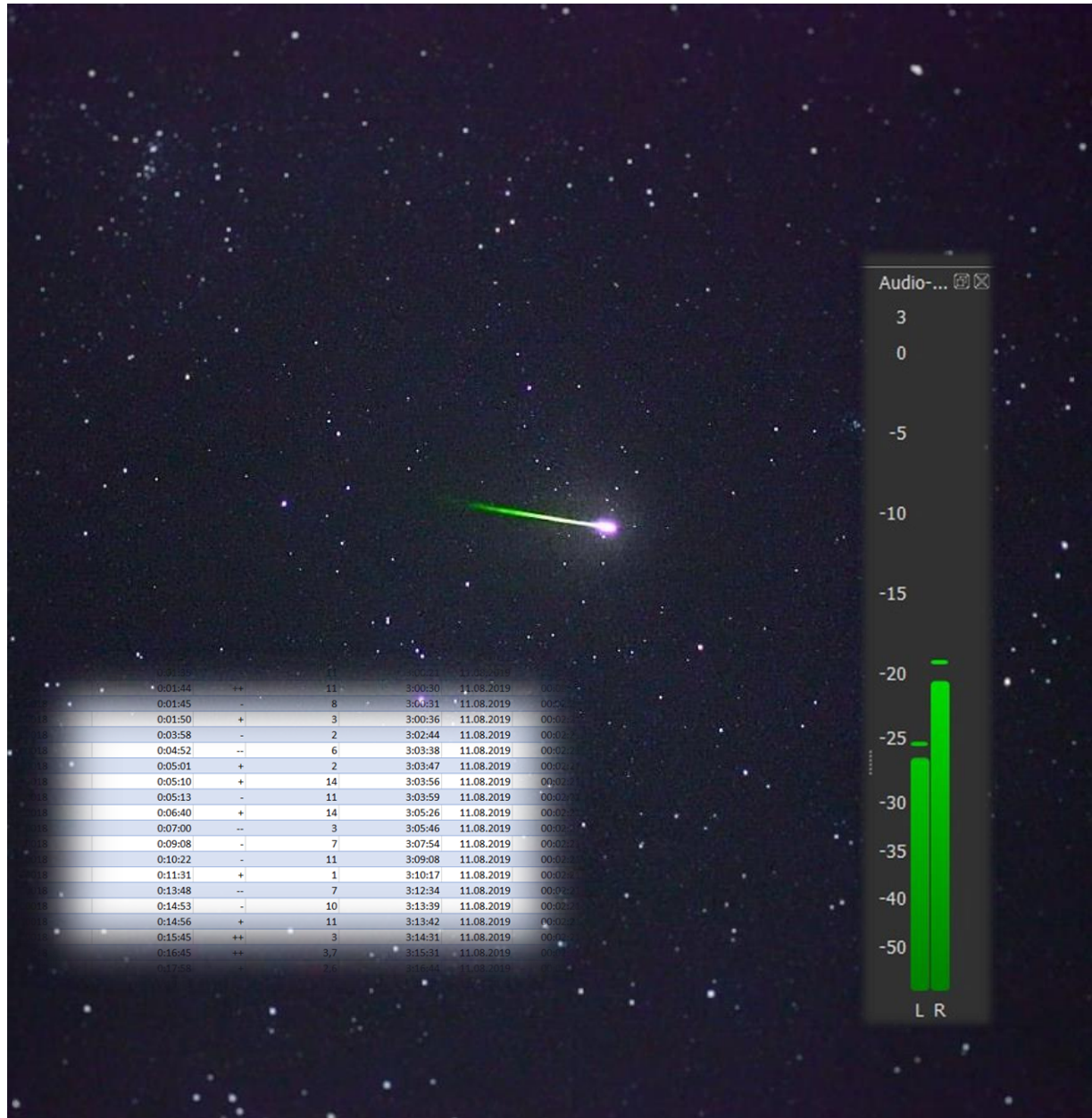


Meteore

Video- und Radiobeobachtungen des Perseidenstromes



Linus Sorg und Till Eissler
Jugend forscht 2020

Meteore – Video- und Radiobeobachtungen des Perseidenstromes

Linus Sorg (13), Till Eissler (14)

Progymnasium Rosenfeld, Schulstraße 9, 72348 Rosenfeld

Projektbetreuer: Herr Dipl.-Phys. Till Credner

Thema des Projekts: Meteore – Video- und Radiobeobachtung des Perseidenstromes

Fachgebiet: Geo- und Raumwissenschaften

Wettbewerbssparte: Schüler experimentieren

Bundesland: Baden – Württemberg

Wettbewerbsjahr: 2020

Im August 2019 wurden Perseiden-Meteore gefilmt und gleichzeitig durch den Audiokanal Radiodaten mit zwei Antennen aufgenommen. Um herauszufinden, ob es einen Zusammenhang zwischen den Videoaufzeichnungen und den Radiodaten gibt, haben wir die Daten ausgewertet und bei fast der Hälfte der Meteore ein Radiosignal im Zeitraum 8 s davor bis 2 s nach dem sichtbaren Meteor gefunden. Gleichzeitig war das Radiosignal jedoch nur bei knapp 5 % der Meteore. Die Videodaten zeigen einen Anstieg der Meteorhäufigkeit mit dem Ansteigen des Sternbildes Perseus.

Gliederung der schriftlichen Arbeit

Einleitung	4
Allgemeines zu Meteoren	4
Fachausdrücke und -begriffe	5
Beobachtungsweisen.....	5
Radiosignale bei Meteoren.....	5
Vorgehensweise, Materialien und Methoden	6
Beobachtungsvorbereitung.....	6
Meteorbeobachtungen.....	7
Auswertung der Videodaten	8
Auswertung der Radiodaten	9
Ergebnisse	10
Ergebnisse der Videometeore	10
Kombinierte Ergebnisse.....	11
Ergebnisdiskussion	12
Zusammenfassung.....	13
Quellen- und Literaturverzeichnis	13
Quellen und Literatur	13
Unterstützung durch Personen und Institutionen	13

Einleitung

In unserer Schüler-Experimentieren-Arbeit soll untersucht werden, ob Radiodaten von Meteoren empfangen werden können und ein Zusammenhang zwischen Video- und Radiodaten von Meteoren erkennbar ist. Daher lautet die Leitfrage:

Welchen Zusammenhang gibt es zwischen Video- und Radiodaten von Meteoren?

Das heißt, wir wollen auch den zeitlichen Zusammenhang überprüfen: Kommen tatsächlich Radiosignale gleichzeitig mit Meteoren? Oder vielleicht auch kurz danach oder davor?

Diese Fragen sind aufgekommen, als wir durch unerklärliche Weise beim Meteorcamp im Jahr 2018 ein Radiosignal mit der Kamera empfangen haben, obwohl keine Antenne oder ähnliches angeschlossen war. Nach etwas Recherche haben wir herausgefunden, dass es bereits bekannt ist, dass Meteore Radiosignale von Rundfunkmasten reflektieren, die sonst nicht empfangen werden können, weil es aufgrund der Tatsache, dass die Erde rund ist, keine gerade Luftlinien-Verbindung gibt¹. Dann haben wir beschlossen, zu untersuchen, ob dieses Signal nur ein Zufall war oder man Radiosignale von Meteoren wirklich mit einfachen Mitteln empfangen kann.

Allgemeines zu Meteoren

„Der Meteor“ bzw. „das Meteor“ ist ein Wort, das ursprünglich aus dem Altgriechischen kommt und übersetzt ins Deutsche „in der Luft schwebend“ bedeutet. Meteore entstehen durch Bruchstücke von Körpern im Weltall, z. B. Kometen, die mindestens 0,1 mm dick sind. Wenn sie mit enorm hoher Geschwindigkeit, laut Literatur zwischen 11,2 km/s und 72 km/s, auf die Erde zufliegen, treffen sie auf die Erdatmosphäre, wo sie verglühen^{2,3}. Vom Boden sieht man für ungefähr eine Sekunde einen sich schnell bewegenden, hellen Leuchtpunkt, der in den meisten Fällen eine grünliche Leuchtspur hinter sich herzieht. Diese entsteht durch die Reibung mit den Luftmolekülen, welche, fachlich ausgedrückt, ionisiert werden. Besonders viele Meteore kommen in sogenannten Meteorschwärmen vor, z.B. die Geminiden im Dezember oder die Perseiden im August. Bereits der angesehene Wissenschaftler und Forscher *Alexander von Humboldt* beobachtete die Leoniden auf seiner Südamerikareise im November 1799².

¹ <http://www.astrosurf.com/luxorion/qs1-meteor-scatter.htm>, 10.01.2020

² Herrmann, Joachim: dtv-Atlas zur Astronomie, 11. Aufl., Deutscher Taschenbuch Verlag, München 1993, S. 128 - 139

³ <https://de.wikipedia.org/wiki/Meteor>, 02.01.2020

Fachausdrücke und -begriffe

Es gibt diverse Unterschiede zwischen den Fachausdrücken „Meteor“, „Meteoroid“ und „Meteorit“, die häufig nicht beachtet und falsch benutzt werden. Als „Meteor“ wird die Himmelserscheinung bezeichnet, die von der Erde aus zu sehen ist. Die Gesteinsbrocken, die diese Erscheinung hervorrufen, heißen „Meteoroid“. Wenn ein solcher Meteoroid nicht vollständig verglüht, sondern die Atmosphäre durchdringt, spricht man von einem „Meteorit“. Diese Meteoriten können auch auf der Erde gefunden werden und sind relativ teuer. Besonders beeindruckend sind die hellen Meteore, sie werden „Feuerkugeln“ oder „Boliden“ genannt². Die letzte dokumentierte Feuerkugel wurde am 11. Januar 2020 in den USA gesichtet⁴. Lange Zeit war man sich nicht sicher, ob Meteore außerirdische Phänomene sind. Den Beweis dafür brachten die zwei Göttinger Studenten *Brandes* und *Benzenberg*, indem sie im Jahre 1798 Meteore von zwei verschiedenen Orten aus beobachteten⁵.

Beobachtungsweisen

Früher dokumentierten Astronomen die einzelnen Meteore mithilfe von Sternkarten, in die man mit Linien die Bahn einzeichnete. In der heutigen Zeit verwendet man zur astronomischen Beobachtung von Meteoren entweder lichtstarke Kameras, die einen großen Teil des Himmels abdecken oder Radargeräte, die den Vorteil haben, dass sie auch bei Tag oder einem bewölkten Himmel alle Meteore aufzeichnen².

Radiosignale bei Meteoren

Bei unserer Recherche haben wir erfahren, dass Meteore gerne bei Funkern verwendet werden, um über sehr große Distanzen zu funken. Der Rekord war eine Strecke von 3101 km, von Russland nach Wales. Diese Strecke wäre durch normale Funkübertragung unmöglich gewesen, weil die jeweils andere Station unter dem Horizont und deshalb keine Verbindung per Luftlinie möglich war. Da Radiosignale aber an der ionisierten Spur der Meteore reflektiert werden, konnte diese große Strecke erreicht werden (siehe Abb. 1)¹.



Abb. 1: Funkrekord von Russland nach Wales
Grafik: Linus Sorg

¹ <http://www.astrosurf.com/luxorion/qs1-meteor-scatter.htm>, 10.01.2020

⁴ https://fireballs.imo.net/members/imo_view/browse_reports, 12.01.2020

⁵ J. F. Benzenberg und W. H. Brandes, „Annalen der Physik 6“, 1800, S. 224

Vorgehensweise, Materialien und Methoden

Beobachtungsvorbereitung

Wir haben uns dafür entschieden, im August die Perseiden zu beobachten und diesen Meteorschwarm für unsere Forschungszwecke zu verwenden. Also sind wir auf den Berg Schachen in der Nähe von Münsingen gefahren und haben dort eine Konstruktion gebaut, die wir an unsere Kamera montieren konnten. Diese Konstruktion besteht aus einem Holzblock, der ca. 10mm x 95mm x 30mm misst, und an dem 2 Teleskopantennen so montiert sind, dass sie im 90°-Winkel zueinanderstehen. Durch den Holzblock bohrt man ein Loch mit der Dicke 10mm, dann wird der Holzblock mithilfe einer Schraube am Videoneiger befestigt, sodass die horizontale Antenne nach links zeigend 90 Grad von der Kamera absteht (siehe Abb. 2).

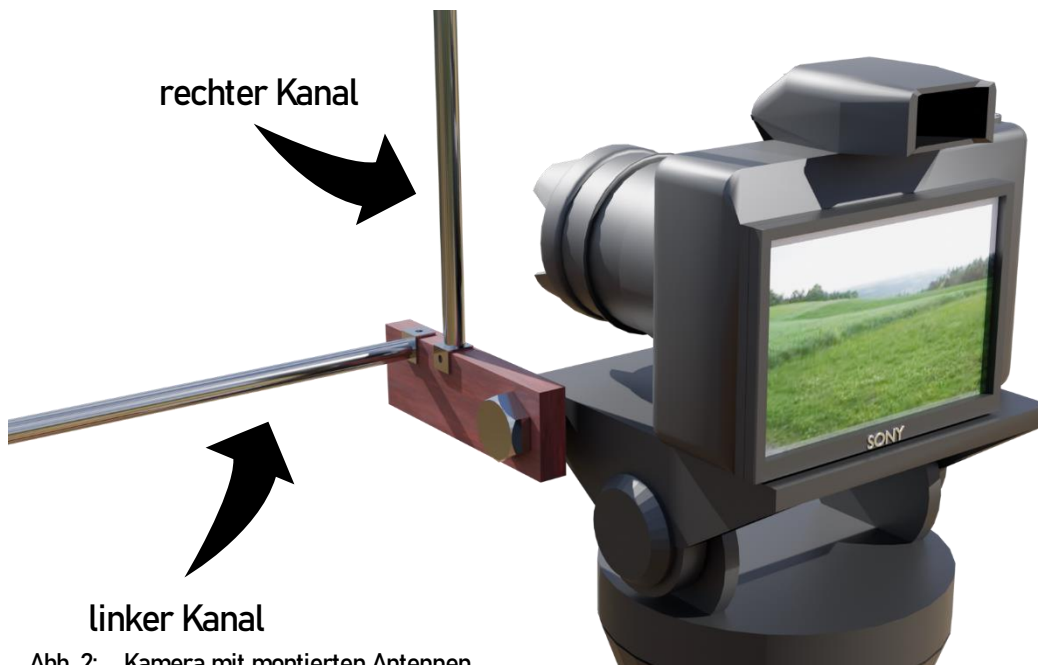


Abb. 2: Kamera mit montierten Antennen
Grafik: Linus Sorg

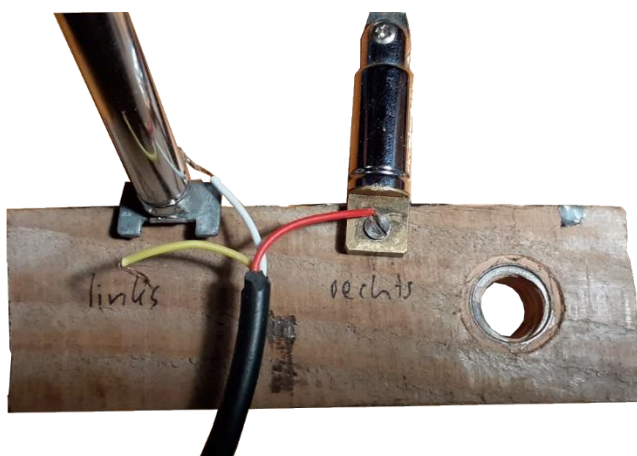


Abb. 3: Holzblock mit angelöteten Kabeln
Foto: Linus Sorg

Danach wird ein 3,5 mm Klinkenstecker mit Kabel nach ca. 10cm abgeschnitten und die drei Kabel im Inneren abisoliert. Das weiße Kabel, das den linken Kanal darstellt, wird an die waagerechte Antenne gelötet und das rote Kabel, der rechte Kanal, wird an die senkrechte Antenne gelötet (siehe Abb. 3). Das gelbe Massekabel bleibt in unserem Fall ungebraucht.

Meteorbeobachtungen

Wir haben in der Nacht vom 10. August zum 11. August 2019 und in der Nacht vom 12. August zum 13. August 2019 den Perseidenstrom beobachtet, der zu dieser Zeit des Jahres seinen Höhepunkt erlebt.

Da zu dieser Zeit der helle Mond im Süden stand, richteten wir unsere Kamera mit der angeschraubten Antennenkonstruktion nach Norden auf das Sternbild Kassiopeia aus und steckten den Klinkenstecker in den Audioeingang der Kamera ein (siehe Abb. 4).



Abb. 4: Kamera mit Antennen vor der Beobachtung
Foto: Till Credner, Projektbetreuer

Nacht 1: 9.-10.8.

bewölkt

Nacht 2: 10.-11.8.

Die Kamera hatte am Beobachtungsbeginn, das war am 10. August um 22:39 MEZ, folgende Einstellungen:

- ISO: 51.200
- Belichtungszeit: 1/25s
- Weißabgleich: 4000 K

Am 11. August um 01:23 Uhr MEZ wechselten wir aufgrund des untergegangenen Mondes auf ISO 100.000.

- Beobachtungsende: 11. August, 03:59 MEZ

Nacht 3: 11.-12.8.

schlechtes Wetter

Nacht 4: 12.-13.8.

Kameraeinstellungen am Beobachtungsbeginn, 12. August 2019 um 22:07 MEZ:

- ISO: 51.200
- Weißabgleich: 4000 K
- Belichtungszeit: 1/25s

Geänderte Einstellungen aufgrund des untergegangenen Mondes am 13. August um 01:30 Uhr MEZ:

- ISO: 100.000

Erneut geänderte Einstellungen am 13. August um 02:23 Uhr MEZ zu ISO 25.600

- Beobachtungsende: 13. August, 4:30 MEZ

Auswertung der Videodaten

Nachdem wir nach der Beobachtung über 9 Stunden Videomaterial verfügten, mussten wir diese Daten auswerten. Die Videos hatten meistens eine Länge von ca. 30 min., wurden von einer SONY Alpha S7 II aufgenommen und trugen Namen zwischen „C0001“ und „C0025“, der Reihe nach durchnummeriert. Zusätzlich legten wir noch eine Tabelle in Microsoft Excel an, in die wir die entdeckten Meteore eintrugen (siehe Abb. 5). Diese Tabelle rechnet die Uhrzeit, an der der Meteor auftaucht, anhand des Videoanfangs und der Zeit im Video, an der man den Meteor gesehen hat, aus. Um herauszufinden, ob die Kamera einen Zeitfehler hatte, wurde nach der letzten Beobachtung mit dieser die Uhrzeit der Atomuhr ab fotografiert und die Aufnahmezeit des Fotos mit der fotografierten Uhrzeit abgeglichen.

Dadurch kam heraus, dass die Kamera einen Zeitfehler von 2 min und 21 s hatte, die Tabelle zieht diesen auch gleich ab. Nach dem Entdecken eines Meteors

wechselten wir zu dem Programm Shotcut⁶, in welchem wir die genaue Sekunde feststellen und zusätzlich auch noch ein Raster über das Video legen konnten. Dieses Raster teilt das Video in 16 gleichgroße Bereiche ein, jeweils vier Teilungen horizontal und vertikal. Diese Kästchen haben wir von links nach rechts durchnummeriert, das oberste Kästchen ganz links war also die

Nummer 1 und das 2. Kästchen von links in der unteren Reihe die Nummer 14 (siehe Abb. 5). Per

Augenmaß wird zusätzlich noch die Helligkeit mit --, -, + oder ++ angegeben.



Abb. 6: Nummeriertes Raster in Shotcut
Grafik: Linus Sorg

Videoanfang MEZ [hh:mm:ss]	Videonum- mer	Zeit im Video [hh:mm:ss]	Helligkeit	Gitterabschnitt(e)	Uhrzeit MEZ [hh:mm:ss]	Datum [dd.mm.yyyy]
22:07:02	C0006	0:02:59	+	11	22:39:52	10.08.2019
22:07:02	C0006	0:29:11	-	11	23:06:04	10.08.2019
22:07:02	C0006	0:29:47	++	13, 9	23:06:40	10.08.2019
22:45:12	C0007	0:01:18	-	12	23:14:50	10.08.2019
22:45:12	C0007	0:01:41	-	10	23:15:13	10.08.2019
22:45:12	C0007	0:01:50	--	15	23:15:22	10.08.2019
22:45:12	C0007	0:03:31	++	2,3	23:17:03	10.08.2019
22:45:12	C0007	0:04:07	-	2,3	23:17:39	10.08.2019
22:45:12	C0007	0:11:35	+	11,15	23:25:07	10.08.2019
22:45:12	C0007	0:17:06	-	9	23:30:38	10.08.2019
22:45:12	C0007	0:18:44	+	10,9,13	23:32:16	10.08.2019

Abb. 5: Beispiel einer solchen Microsoft-Excel-Tabelle
Grafik: Linus Sorg

⁶ <https://shotcut.org>

Auswertung der Radiodaten

Als Nächstes untersuchten wir die Aufnahmen der Antennen im Audiokanal. Dazu haben wir uns aus unserer Tabelle jene Zeiten im Video herausgesucht, an denen die Metore zu sehen waren, und suchten anschließend wieder in Shotcut die angegebene Stelle. Dann spulten wir einige Sekunden zurück und starteten die Wiedergabe, achteten gleichzeitig auf das Video und die grünen Pegelmesser (siehe Abb. 7) daneben. Der linke Pegelmesser stellt die waagerechte Antenne und der rechte die senkrechte Antenne dar. Wenn sich die Pegelmesser stark bewegen – „stark“ entspricht etwa dem Abstand zwischen dem aktuellen Pegelmesser in Abbildung 5 und dem Strich darüber – ist das vielleicht ein Radiosignal des Meteors. Wenn das Radiosignal sehr unruhig ist, kann man nicht genau sagen, was der Ausschlag des Meteors war. Diese Entdeckung kann dann leider nicht gewertet werden. Anfangs haben wir nur auf Signale geachtet, die gleichzeitig mit dem Meteor auftraten, aber nach einiger Zeit fiel auf, dass es auch regelmäßig Ausschläge vor und nach dem Meteor gab. Deshalb wurde entschieden, die Radiosignale im Bereich von 2s vor dem Meteor bis 8s danach zu werten. Nach dem Finden eines solchen Signals vermerkten wir unsere



Abb. 7: Pegelmesser in Shotcut
Grafik: Linus Sorg

Beobachtung mit einem Kreuz in unsere Tabelle, mit den zusätzlichen Angaben, ob das Signal gleichzeitig, früher oder später vorkommt (siehe Abb. 8). Um letztendlich zu überprüfen, ob die gefundenen Ausschläge nur Zufälle waren, wird eine Zeitspanne ohne Meteore herausgesucht. In dieser Zeit werden die Ausschläge, die auch bei den Meteoriten gelten würden, gezählt. Sind es übermäßig viele im Vergleich zur Meteorhäufigkeit, wie z. B. 5 Ausschläge pro Minute, sind die Radiosignale bei den Meteoriten vielleicht nur Zufallstreffer. In unserem Fall wurden hochgerechnet 30 Ausschläge pro Stunde gezählt, das ist

Uhrzeit des Meteors MEZ [hh:mm:ss]	Gleichzeitig	Später	Früher
0:21:49	x		
0:22:14	x		
0:24:03		x	
0:27:54		x	
0:30:08		kein eindeutiges Signal erkennbar	
0:32:42		kein eindeutiges Signal erkennbar	
0:28:11		x	
0:31:16		kein eindeutiges Signal erkennbar	
0:37:17		kein eindeutiges Signal erkennbar	
0:37:20			x
0:39:02		kein eindeutiges Signal erkennbar	

Abb. 8: Tabelle mit Spalten für die Radiosignale
Grafik: Linus Sorg

immer noch weniger als die Meteorrate (39 pro Stunde). Diese Ausschläge könnten z. B. auch von Meteoriten außerhalb des Sichtfeldes der Kamera stammen, und deshalb ist es sehr unwahrscheinlich, dass alle gefundenen Radiosignale Zufallstreffer sind.

Ergebnisse

Ergebnisse der Videometeore

In den Videoaufzeichnungen der ersten Beobachtungsnacht vom 10.-11.8. – diese hatten eine Länge von 4 Stunden und 32 Minuten – wurden insgesamt 176 Meteore gefunden. Das ergibt eine durchschnittliche Rate von ca. 39 Meteoren pro Stunde. In der zweiten Beobachtungsnacht vom 12.-13.8. wurden in 5 Stunden und 6 Minuten insgesamt 195 Meteore gefunden, also etwa 38 Meteore pro Stunde.

Da wir nicht jede Minute beobachtet haben, sondern zwischen manchen Videos kleinere Pausen von einigen Minuten waren, haben wir die gezählten Meteore für das Aktivitätsprofil (siehe Abb. 9) auf volle Stunden hochgerechnet.

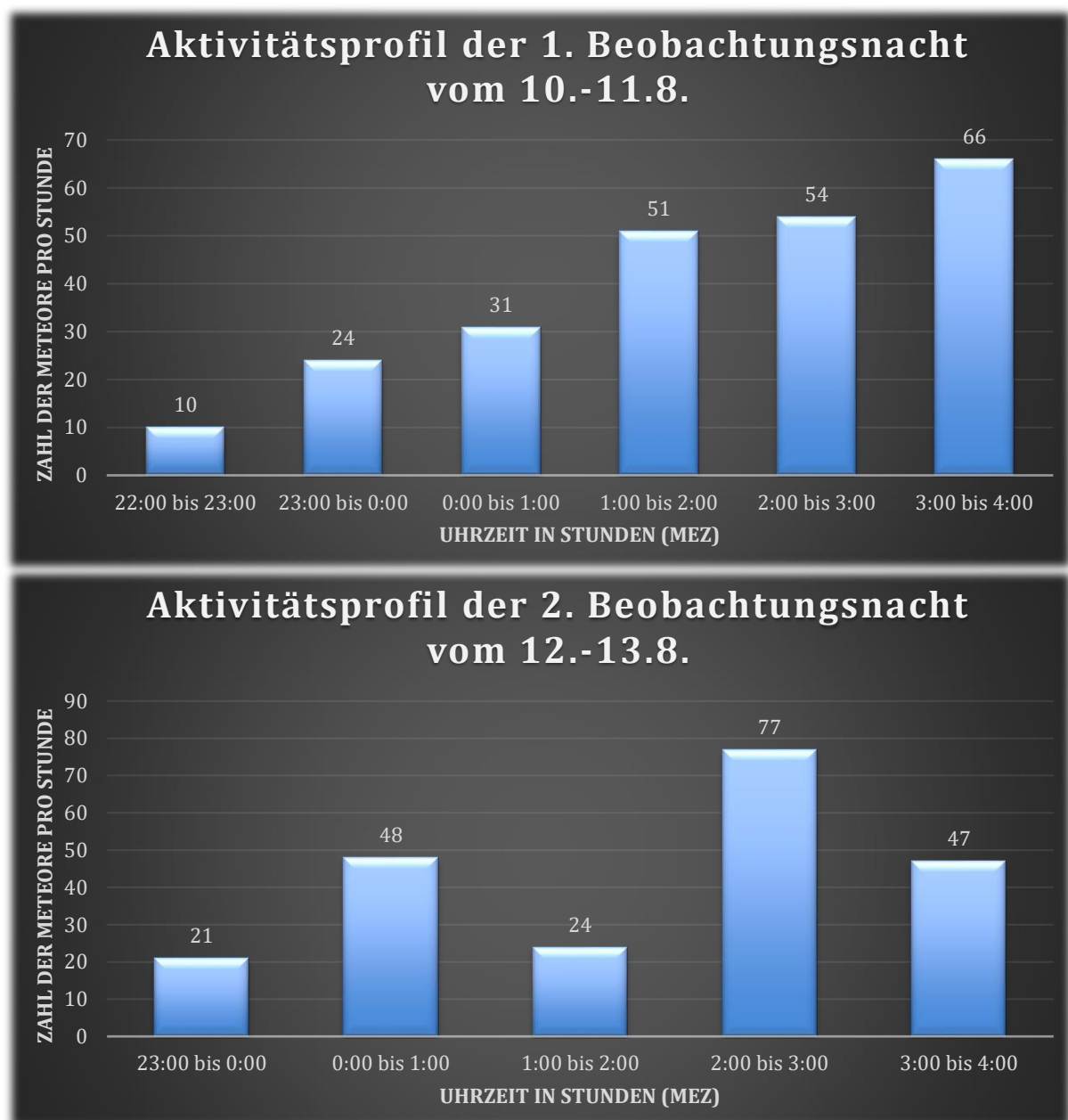


Abb. 9: Aktivitätsprofil der Beobachtungsnächte
Grafik: Linus Sorg

Kombinierte Ergebnisse

160 von 371 untersuchten Meteoren - das entspricht ungefähr 43,1% - zeigen ein eindeutiges Radiosignal im Zeitraum von 2s vor dem Erscheinen des Meteors bis 8s danach.

In 18 Fällen kam das Signal genau gleichzeitig mit dem sichtbaren Meteorverlauf, also 4,9%.

In 102 Fällen kam das Signal nach dem Meteor, das entspricht 27,4%.

In 40 Fällen kam das Signal vor dem Auftauchen des Meteors, das sind 10,8%.

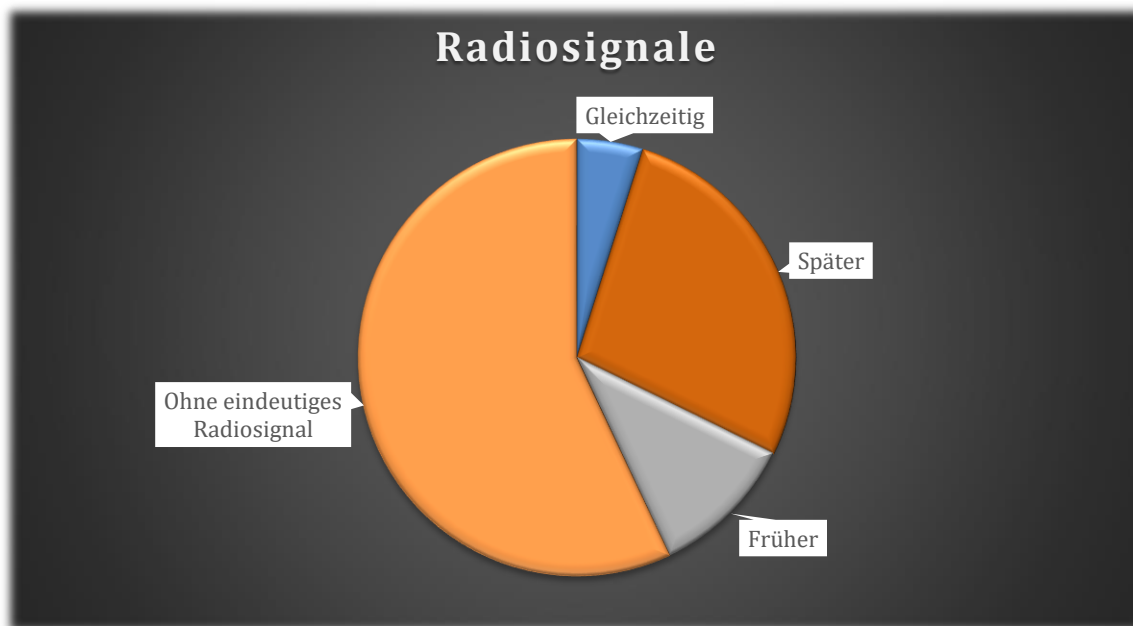


Abb. 10: Kreisdiagramm zur Verteilung der Radiosignale
Grafik: Linus Sorg

Ergebnisdiskussion

Wir sind durch unsere Forschung zu dem Schluss gekommen, dass man zwar viel mit einfachen Mitteln beobachten kann, es aber unzählige noch nicht erforschte Themen im Zusammenhang von Radioastronomie mit Meteoren gibt. Wir haben außer den gezählten Signalen auch sehr viele andere Radiosignale ohne geklärten Ursprung empfangen. Man könnte durch mehrere Kameras, die einen größeren Teil des Himmels abdecken, mit Sicherheit noch deutlich mehr Radiosignale Meteoren zuordnen. Wir haben gemerkt, dass es durchaus wahrscheinlich ist, dass man ein Radiosignal eines Meteors empfängt, und verstehen jetzt auch, warum die reflektierende Eigenschaft der Meteore gerne bei Amateurfunkern verwendet wird.

Wenn man die gleichen Beobachtungen mit Antennen durchführen würde, die auf eine bestimmte Frequenz eingestellt und genau auf den Himmelsausschnitt gerichtet sind, den auch die Kamera abdeckt, würde man deutlich präzisere Signale bekommen, die man auch besser den Meteoren zuordnen könnte. Unsere Teleskopantennen waren einfache Stabantennen, deren Empfang nur wenig gerichtet ist. Sie haben deshalb Radiosignale aus vielen Richtungen empfangen.

Bei unseren Experimenten ist auch aufgefallen, dass die Pegelmesser der beiden Antennen gleichzeitig und etwa gleich viel ausschlugen. Das kommt wahrscheinlich daher, dass unsere Teleskopantennen nicht in eine bestimmte Richtung gerichtet waren.

Es war überraschend, dass es keine Relation zwischen der Helligkeit des Meteors und der Stärke des Signals gab. Bei sehr schwachen Meteoren wurden trotzdem Radiosignale gefunden und bei manchen beeindruckend hellen Meteoren war keine Spur eines Radiosignals zu finden. Das zeigt vielleicht, dass es ausschließlich um die ionisierte Luft und nicht um die Helligkeit geht. Es könnte aber auch an der Richtung und Höhe der Meteorspur zur Radioquelle liegen, sodass sie das Radiosignal besser oder schlechter reflektiert.

Anhand der Aktivitätsprofile lässt sich auch Folgendes erkennen: Je mehr das Sternbild Perseus, der scheinbare Ursprung der Perseiden, am Himmel ansteigt, desto mehr Meteore sind auch für uns sichtbar. Das kommt daher, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Meteor, den Teil des sichtbaren Himmelsausschnittes zu treffen, steigt, je höher Perseus von uns aus gesehen liegt. Man könnte sich das wie mit einer Zielscheibe vorstellen: Je schräger man auf sie schießt, desto kleiner ist auch die Trefferwahrscheinlichkeit.

Zusammenfassung

Wir haben herausgefunden, dass ein Zusammenhang zwischen Meteoren und Radiosignalen wahrscheinlich ist. Es ist aber nicht vollständig klar, ob alle unsere Radiosignale wirklich von Meteoren stammen, denn auch in Zeitspannen ohne Video-Meteore wurden Radiosignale ohne Zuordnung gefunden. Um zu überprüfen, ob die Radiosignale wirklich von Meteoren stammen, müsste man mit einer richtungsgenaueren Antenne forschen, die uns leider nicht zur Verfügung stand. Beim Großteil der Meteore mit Radiosignal trat das Signal im Zeitraum von 8 s danach auf, am zweitmeisten kam ein Signal bis 2 s davor und am wenigsten Signale fanden wir gleichzeitig mit den Meteoren. Außerdem haben wir eine positive Relation zwischen der Höhe des Sternbildes Perseus und der Meteorhäufigkeit gesehen.

Quellen- und Literaturverzeichnis

Quellen und Literatur

- Dr. Celnik, Werner; Bannuscher, Dietmar; Melchert, Sven; Riepe, Peter: Journal für Astronomie, Radioastronomie, Vereinigung der Sternfreunde e.V., Laudenbach 2019
- <http://www.astrosurf.com/luxorion/qsl-meteor-scatter.htm>, 10.01.2020
- Herrmann, Joachim: dtv-Atlas zur Astronomie, 11. Aufl., Deutscher Taschenbuch Verlag, München 1993
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Meteor>, 02.01.2020
- https://fireballs.imo.net/members/imo_view/browse_reports, 10.01.2020
- J. F. Benzenberg und W. H. Brandes, „Annalen der Physik 6“, 1800, S. 224

Unterstützung durch Personen und Institutionen

- Credner, Till: Projektbetreuer, Progymnasium Rosenfeld
- Gaiselmann, Marianne und Sorg, Armin: Korrekturen schriftliche Arbeit