

Der erste Meteoritenfall in Baden-Württemberg aufgrund von Berechnungen des Europäischen Feuerkugelnetzes

Am Dienstag, den 10. Juli 2018 um 23:30 Uhr MESZ wurde über einem großen Gebiet entlang des Mittelrheins, nahe der deutsch-französischen Grenze, besonders in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und in Elsaß-Lothringen ein sehr heller Meteor, eine sog. Feuerkugel, gesichtet. Mit Ausnahme großer Teile Frankreichs und kleinerer Gebiete Südwestdeutschlands wurde die Beobachtung dieses Boliden durch eine Wolkendecke vereitelt, die über West- und Mitteleuropa lag.

Daher erregte die Leuchterscheinung, die kurzzeitig sogar heller als der Vollmond war, nicht so große Aufmerksamkeit wie das bei derart hellen Feuerkugeln sonst der Fall ist. Zudem war die atmosphärische Leuchtspur des Boliden sehr steil und daher ziemlich kurz, sowohl was die Länge als auch die Dauer der ganzen Meteorerscheinung angeht.

Zum Glück überwachen Spezialkameras des Europäischen Feuerkugelnetzes seit über fünfzig Jahren kontinuierlich den Nachthimmel um die atmosphärischen Bahnen heller Feuerkugeln zu registrieren. In Tschechien werden die Kameras vom Astronomischen Institut Ondřejov der tschech. Akademie der Wissenschaften und in Deutschland vom DLR-Institut für Planetenforschung betrieben. In West-Böhmen und in unmittelbarer Nähe des Boliden war der Himmel erfreulicherweise recht klar. Dieser Umstand war ganz entscheidend für die korrekte Erklärung und Beschreibung dieses sehr seltenen Naturereignisses. Der Bolide wurde nämlich von den Stationen des tschechischen und des deutschen Teils des Europäischen Feuerkugelnetzes erfaßt, über denen der Himmel klar war. Dank dieser Registrierungen konnte der Meteor sehr exakt berechnet und präzise beschrieben werden. Von Dr. Pavel Spurný aus Ondřejov konnte unter anderem kalkuliert werden, daß sich am 10. Juli ein Meteoritenfall mit Restmasse ereignet hat, und es war ihm möglich, das Fallgebiet der niedergefallenen Meteorite zu bestimmen.

Alle Berechnungen wurden mit hoher Priorität am Astronomischen Institut in Ondřejov durchgeführt und sehr rasch an die Kollegen des DLR-Institut für Planetenforschung in Deutschland übermittelt. Der große Erfolg dieses internationalen Wissenschaftsprojekts liegt darin, daß ein bewährtes Suchteam bereits nach kurzer Zeit Meteorite genau im vorher berechneten Streufeld finden konnte. Daher gehört dieser Meteoritenfall in die "Königsklasse" der extrem seltenen Meteorite, für die ein genauer Herkunftsnachweis vorliegt, d.h. für die sowohl die atmosphärische Bahnspur bekannt ist als auch die heliozentrische Umlaufbahn, auf welcher der Meteoroid vor seinem Zusammenstoß mit der Erde viele Millionen Jahre lang um die Sonne gezogen ist.

Die Feuerkugel, nachfolgend als EN100718 Renchen bezeichnet, wurde von zwei digitalen Meteorbeobachtungsstationen in Tschechien, den Kameras Přimda (siehe Abbildung 1) und Churáňov, registriert. Diese Aufnahmen ermöglichten nicht nur die präzise Berechnung der atmosphärischen Flugbahn, sondern auch die Aussage, daß es bei diesem Feuerkugelereignis sicherlich zu einem Meteoritenfall gekommen ist. Diese Stationen sind Teil des European Network (EN), welches ganz Mitteleuropa umfaßt und dessen Zentrale sich im Astronom. Institut der tschechischen Akademie der Wissenschaften in Ondřejov befindet.

Die Abbildung 1 zeigt die Spur des Meteors von der Kamerastation Přimda aus, von wo die Feuerkugel sehr tief ($10.4^\circ - 0.8^\circ$) am Westhorizont zu sehen war. Des weiteren befinden sich an den tschechischen Meteorobservatorien Photometer mit einer sehr hohen Zeitauflösung (5000 Meßpunkte pro Sekunde), welche die Leuchtkurve von Boliden detailliert registrieren und auch die absolute Aufleuchtzeit der Meteore mit hoher Genauigkeit markieren.

Die Feuerkugel vom 10. 7. 2018 über der deutsch-französischen Grenze hatte eine derart hohe Leuchtkraft, daß sie von den beiden tschechischen Kameras sogar noch in einer Entfernung von 365 bis 420 km auswertbar erfaßt werden konnte. Erfreulicherweise konnten diese Daten

durch Aufnahmen aus nächster Nähe ergänzt und bereichert werden. Bereits wenige Stunden nach dem Feuerkugelereignis kontaktierte Dr. Pavel Spurný seinen Kooperationspartner auf der deutschen Seite des EN, Dieter Heinlein und informierte ihn über die diesen spektakulären Boliden. Heinlein ist Mitarbeiter des DLR-Institut für Planetenforschung und der Technische Leiter des deutschen Feuerkugelnetzes, dessen All-sky Kamerastationen noch vorwiegend mit Analogfilm arbeiten. Eine der Meteorkameras des DLR-Netzwerks, die Station 78 Osenbach (Elsaß, Frankreich), wurde jedoch bereits vor einigen Jahren auf Digitalbetrieb umgerüstet. Für eine komplette Auswertung der Feuerkugel erwies sich deren Bild als ganz wesentlich, weil die Aufnahme bereits zwei Tage nach der Feuerkugelercheinung zur Auswertung vorlag und zudem Zeitmarken (durch einen rotierenden Shutter) aufweist, die zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Meteoroiden dienen. Zusammen mit den zwei tschechischen Aufnahmen konnten sehr rasch alle Parameter der atmosphärischen Flugbahn, die Elemente der heliozentr. Bahn und auch das Streufeld der gefallenen Meteorite berechnet werden.

Nach Rückruf und Entwicklung der Filme zeigte sich, daß trotz widriger Wetterbedingungen auch eine Analogkamera in Südwestdeutschland den Meteor aufgezeichnet hatte. Die Station 87 Gernsbach lag in unmittelbarer Nähe zur Feuerkugel (die Entfernung am Boden betrug nur 30 km). Jedoch wies diese Aufnahme keine Shutter Markierungen auf, und wetterbedingt standen leider kaum Sterne zur Vermessung des Bildes zur Verfügung (siehe Abbildung 3).

Weiterhin erhielt das European Network eindrucksvolle Registrierungen von Digitalkameras aus Karlsruhe-Knielingen (Uwe Baron), Oberwolfach (Martin Rebbe) und von der Sternwarte Welzheim (Steffen Brückner). Zudem wurde die Feuerkugel von webcams aus Weil der Stadt (Thomas Kurtz) und Schwarzenberg (Rene Zinke), sowie aus Frankreich (Chaligny) und der Schweiz (Schafmatt) erfasst. Diese Aufnahmen wurden durch das Team in Ondřejov nicht zur Berechnung verwendet, da sie keine von den professionellen Registrierungen unabhängige Lösung der Feuerkugelbahn geliefert hätten. Alle dargestellten Ergebnisse gründen sich daher ausschließlich auf die Aufnahmen des Europäischen Feuerkugelnetzes.

Was genau ist am Dienstag, den 10. Juli 2018 über Baden-Württemberg passiert?

Exakt um 23:29:49 MESZ (21:29:49 UT) drang ein Meteoroid von der Größe eines Fußballs in die Erdatmosphäre ein. Dabei erzeugte er eine Leuchterscheinung, die bereits in einer Höhe von 80 km begann. Aufgrund der sehr steilen Flugbahn mit einer Neigung von lediglich 10° gegen die Vertikale, wurde der Meteor sehr schnell heller und erreichte im Maximum die Helligkeit des Vollmonds (-13.4^m bezogen auf 100 km Einheitsentfernung). Die Projektion der atmosphärischen Bahn in Abbildung 4 ist wegen des sehr steilen Eindringens ziemlich kurz (nur 13 km). Tatsächlich war die Leuchtspur des Boliden 63 km lang und wurde in 4 Sekunden zurückgelegt. Das ganze Feuerkugel-Ereignis spielte sich über der Stadt Renchen im Ortenaukreis in Baden-Württemberg ab. Mit knapp 20 km/s Geschwindigkeit traf der Meteoroid auf die obere Erdatmosphäre. Er wurde dann abgebremst, verlor viel an Material und zerbrach in etliche Bruchstücke. Dank der relativ geringen Eintrittsgeschwindigkeit, der steilen Flugbahn und recht großen Anfangsmasse und einer ausreichenden Materialfestigkeit leuchtete die Feuerkugel bis in eine Endhöhe von 18 km über Grund, etwas westlich des Städtchens Renchen, unweit des Rheins, welcher die Grenze zwischen Deutschland und Frankreich bildet. Eine derart niedrige Eindringtiefe ist sehr selten, und wurde während der systematischen Himmelsüberwachung durch das Europäische Feuerkugelnetz über mehrere Jahrzehnte, nur in wenigen Fällen erreicht. Dieses tiefen Eindringen bedeutet zwangsläufig, daß es zum Niedergang von Meteoriten gekommen ist. Der in der Abbildung 2 erkennbare Helligkeitsausbruch des Boliden in einer Höhe von 28 km bedeutet weiterhin, daß es ganz offensichtlich zu einem Zerbrechen des Meteoroiden in mehrere kleinere Stücke und zum Niedergang einer größerer Anzahl kleiner Fragmente von wenigen Gramm bis in den Bereich von Kilogramm auf der Erdoberfläche gekommen ist.

Das Streufeld der Meteorite jeglicher Größe liegt komplett auf deutschem Gebiet, vorwiegend im Bereich der Stadt Renchen (siehe Abbildung 5). Kleinere Bruchstücke liegen am östlichen Ende des berechneten Streufelds, in Richtung Westen nehmen die Massen der Meteorite zu.

Die größten Fragmente sind in einem schmalen Streifen westlich von Renchen, jenseits der Autobahn A5, gefallen. Das Meteoritenstrefeld ist relativ zur Feuerkugelbahn verschoben weil die Meteoroidenteile durch atmosphärische Höhenwinde von ihrer direkten Absturzbahn abgelenkt wurden. Die Dauer des Dunkelflugs in der sich die Fragmente des Himmelskörpers nur noch mit freier Fallgeschwindigkeit bewegen variiert für unterschiedlich große Fragmente erheblich. Während ein Bruchstück von etwa 1 Kilogramm aus einer Höhe von 18 km etwa 2 Minuten bis zur Erde benötigt, dauert der Dunkelflug von kleineren Fragmenten im Bereich von 10 bis 1 Gramm aus der Höhe der großen Fragmentation (28 km) etwa 5 bis 10 Minuten. Für den Fall von Renchen war das steile Eindringen des Körpers sehr günstig, weil daraus ein relativ kleines Streufeld resultierte. Dennoch bedingte der Einfluß von Stratosphärenwinden auf die Landepositionen einzelner Meteoritenfragmente, daß das berechnete Streufeld eine Fläche von etlichen Quadratkilometern hat.

Vor seinem Zusammenstoß mit der Erde, zog der Meteoroid eine elliptische Bahn um die Sonne, die eine geringe Exzentrizität und eine kleine Neigung gegen die Ekliptik aufweist. Im Perihel der Umlaufbahn war der Meteoroid der Sonne nur geringfügig näher als die Erde, im Aphel erreichte er den inneren Asteroidengürtel. Es handelte sich also beim Meteoriten von Renchen um das Fragment eines Kleinplaneten aus dem inneren Teil des Asteroidengürtels.

Meteoritenfunde nach Berechnung und Ansage

Sobald klar geworden ist, daß sich am 10. Juli ein spektakulärer Meteoritenfall ereignet hatte, begannen die ersten Anstrengungen, diese Meteorite auch zu finden. Diese Bemühungen auf deutscher Seite wurden vor allem von Dieter Heinlein koordiniert, der mit den tschechischen Meteorforschern vom Astronomischen Institut Ondřejov bereits seit Jahrzehnten am Projekt des Europäischen Feuerkugelnetzes erfolgreich zusammenarbeitet.

Eine erste, vorläufige Beschreibung des Streufeldes und Hinweise zur Suchstrategie konnte Dr. Spurný seinem deutschen Kollegen bereits am Samstag, den 14. Juli 2018 liefern. Danach sollte sich die Suche zunächst auf die kleineren Fragmente des Meteoriten konzentrieren, von denen etliche über der Stadt Renchen und in deren Umfeld niedergegangen sind.

Prädestiniert für eine Sondierung des Geländes waren zwei sehr zuverlässige und engagierte Mitarbeiter des deutschen Feuerkugelnetzes, nämlich Ralph Sporn and Martin Neuhofer. Die beiden waren, dank ihrer Erfahrung und Ausdauer, bereits bei früheren Meteoritenfällen sehr erfolgreich. Trotz sehr schwieriger Suchbedingungen (sommerliche Vegetation, große Hitze und unzugängliche Areale) führten die zwei Abenteurer aus dem Chiemgau vom 15. bis 17. Juli, sowie vom 22. bis zum 25. Juli erste Sichtungen des Geländes durch und begannen mit der systematischen Suche. Am Dienstag, den 24. Juli 2018 wurden Ralph und Martin durch einen schier unglaublichen Erstfund belohnt: In einer Obstplantage zwischen Renchen und Stadelhofen fanden sie einen 11,9 Gramm schweren Steinmeteoriten (siehe Abbildung 6). Dieser kleine Meteorit war größtenteils von einer frischen, schwarzen Schmelzkruste bedeckt und er gehörte ganz offensichtlich zum Feuerkugelereignis vom 10. Juli. Der Fundort und die Masse des Meteoriten stimmen ganz ausgezeichnet mit den Berechnungen überein, welche Ende Juli durch ein verbessertes Windmodell noch verfeinert werden konnten. Dieser Fund machte es möglich, die atmosphärische Flugbahn zu kalibrieren und präzisere Voraussagen zu treffen über das Landegebiet eines Hauptstücks oder dessen Fragmente, die sich am Ende der Flugbahn abspalteten. Inzwischen konnte in Ondřejov auch das Originalnegativ der Allsky-Station 87 Gernsbach vermessen und ausgewertet werden. Mit Informationen über das jetzt etwas präziser bestimmte Streufeld, starteten Ralph und Martin am 29. Juli zu einer dritten Expedition ins 460 km entfernte Renchen und konzentrierten sich auf das nordwestliche Ende des Suchgebiets, in dem Fragmente der Hauptmasse im Bereich von etwa einem Kilogramm zu erwarten waren. Diese Strategie erwies sich als überaus sinnvoll, denn die beiden fanden am Dienstag, den 31. Juli 2018 auf einer recht gut absuchbaren Wiese einen Meteoriten von 955 Gramm Masse, der neben einem kleinen Einschlagsloch lag (siehe Abbildung 7). Von der Masse und Fundposition passt der Meteorit perfekt ins berechnete Streufeld. Ein großer Teil der Oberfläche des Steinmeteoriten ist von frischer, schwarzer Schmelzkruste (sowie einigen

Anhaftungen von Erde und Stroh) bedeckt. An einer Ecke des Meteoriten ist ein Teil (von geschätzten 100 g Masse) abgeplatzt. Offensichtlich trennte sich dieses Meteoritenstück erst während des Dunkelfluges ab, da die Bruchfläche keine Schmelzkruste aufweist.

Ab dem 8. August, als wirklich gesicherte Erkenntnisse über das Meteoritenstreufeld vorlagen, informierte Dieter Heinlein alle anderen Mitarbeiter des Feuerkugelnetzes und weitere Sucher. Diese versuchten, je nach der ihnen zur Verfügung stehenden Zeit, ebenfalls ihr Glück im Streufeld von Renchen, wurden aber von der großen Zahl von Schlackebröckchen, welche in diesem Gebiet zu finden sind, irritiert und durch die schwierigen Suchbedingungen oft rasch entmutigt. Erst ca. einen Monat nach dem zweiten Meteoritenfund, am Samstag 1. September 2018 gelang es einer Gruppe von polnischen Suchern, auf einem Waldweg einige am Boden zerplitterte Fragmente des Renchen-Meteoriten zu finden. Lukasz Smula, Magda Skirzewska und Thomas Kurtz konnten etliche Bruchstücke aufsammeln, die zusammen 20,6 Gramm wiegen. Von ihrer Größe und Fundposition her ist es offensichtlich, daß diese Bruchstücke nicht aus der großen Fragmentation in 28 km Höhe stammen können, sondern sich wohl erst im Dunkelflug von dem 955 g Hauptstück abgelöst haben müssen.

Während ihrer achten Exkursion in das Renchen Streufeld, und nach 26 sehr anstrengenden Suchtagen, gelang Ralph Sporn and Martin Neuhofer noch ein ganz außergewöhnlicher Fund am Sonntag, dem 30. September. Sie fanden nämlich im Osten von Renchen einen Meteoriten von 4,8 Gramm Masse, der sich im Hagelschutznetz einer Apfelplantage gefangen hatte. Das Meteoritenstück hatte es nicht ganz bis zum Erdboden geschafft und wurde von den beiden Findern aus einer Höhe von 2,5 Metern geborgen (siehe Abbildung 8).

Die Klassifikation des Meteoriten wurde dankenswerterweise von Dr. Addi Bischoff und seinem Doktoranden Markus Patzek am Institut für Planetologie der Universität Münster durchgeführt. Die Dünnschliffanalyse eines kleinen Fragments des Steinmeteoriten ergab, daß es sich um einen Chondriten des Typs L5-6 handelt, und zwar um eine Brekzie, d.h. das Meteoritenmaterial besteht aus verschiedenen Komponenten. Die Zusammensetzung des Material ist typisch für einen Meteoroiden aus dem Asteroidengürtel. Der (noch nicht offiziell bestätigte) Name des Meteoriten ist "Renchen".

Die Auffindung der Meteorite hat das komplette Szenarium dieses Falles perfekt bestätigt, das aus den Aufzeichnungen und der Analyse aller Aufnahmen der Forschungsinstrumente des tschechischen und deutschen Teils des Europäischen Feuerkugelnetzes gewonnen wurde. Dies ist ein schöner Erfolg grenzübergreifender Zusammenarbeit und eine große Errungenschaft des internationalen Langzeitprojekts, das im Jahr 1963 von Dr. Zdeněk Ceplecha gegründet wurde. Das Europäische Feuerkugelnetz war das erste derartige Projekt und ist das einzige, das über so lange Zeit bis heute Bestand hat.

Es gibt etwa 30 Meteorite, die in die "Königsklasse" der extrem seltenen Meteoritenfälle, für die ein genauer Herkunftsnachweis vorliegt, gehören, weil ihre Bahnsuren durch Fotos oder Videos präzise dokumentiert sind. In mehr als der Hälfte dieser seltenen Fälle, einschließlich des allerersten Meteoritenfalls von Příbram am 7. April 1959, wurde die Auswertung von Spezialisten des Astronom. Instituts Ondřejov der tschech. Akademie der Wissenschaften durchgeführt. Nach deren Berechnungen wurden in letzter Zeit z.B. auch die tschechischen Meteorite von Ždár nad Sázavou vom 9. Dezember 2014 und Hradec Králové vom 17. Mai 2016, sowie die Meteorite von Stubenberg in Niederbayern vom 6. März 2016 gefunden.

"Renchen" ist übrigens der erste, gesicherte Meteoritenfall im deutschen Bundesland Baden-Württemberg. Es gibt zwar historische Aufzeichnungen über einen Meteoritenfall, der sich am 27. Februar 1671 in der Ortenau ereignet haben soll, aber von diesem 10 Pfund schweren Stein ist kein Material mehr erhalten, und er wurde auch niemals wissenschaftlich untersucht.

Danksagung: Lukasz Smula hat einige Fragmente seines Renchen Meteoritenfundes für die Klassifikation und weitere Analysen gespendet, dafür gebührt ihm herzlicher Dank. Weiterhin sind wir Dr. Gerd Baumgarten vom Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik in Kühlungsborn und Dr. Radmila Brožková vom Hydrometeorologischen Institut in Prag und für Wetterdaten und Windmodelle zu Dank verpflichtet.

Kontaktadresse:

Dieter Heinlein
Lilienstraße 3
86156 Augsburg

Tel. 0821 443313

Technischer Leiter des
DLR-Feuerkugelnetzes
www.dlr.de/feuerkugelnetz

Email:

dieter.heinlein@meteoros.de



Abb. 1: Ausschnitt aus der all-sky Aufnahme der automatischen, digitalen Feuerkugelkamera Přimda, Tschechien. Die Feuerkugel vom 10. Juli 2018 ist tief am Westhorizont zu sehen. (Foto: Pavel Spurný, Astronomisches Institut Ondřejov).

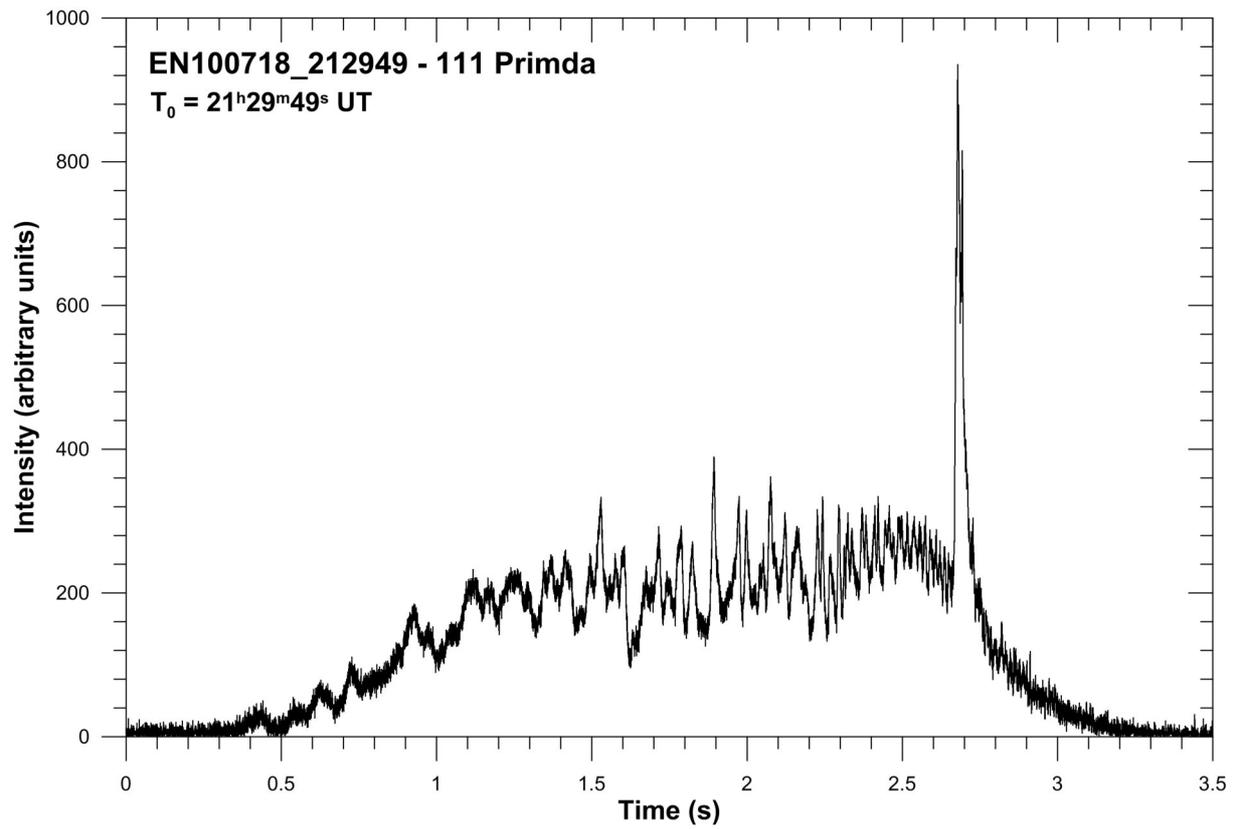


Abb. 2: Leuchtkurve des Boliden EN100718 Renchen, aufgezeichnet durch das Radiometer der tschechischen Kamerastation Přimda. Die Leuchtkurve gibt wertvolle Aufschlusse uber das Zerbrechen des Meteoroiden in der Atmosphure. (Grafik: Pavel Spurný, Astronomisches Institut Ondřeřov).

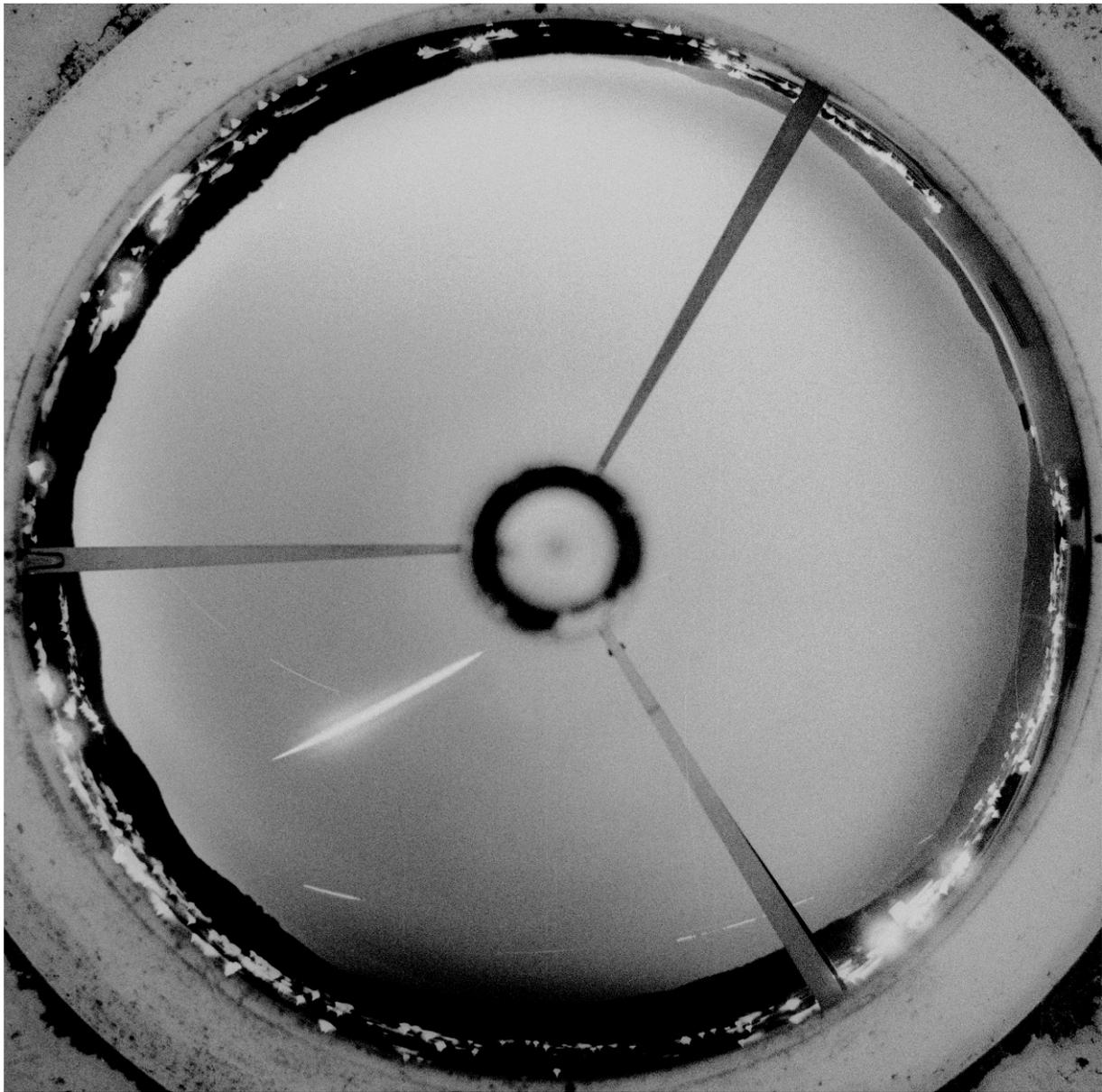


Abb. 3: Aufnahme des Boliden EN100718 Renchen von der all-sky Spiegelkamerastation 87 Gernsbach des deutschen Teils des Europäischen Feuerkugelnetzes (Foto: DLR, Institut für Planetenforschung).

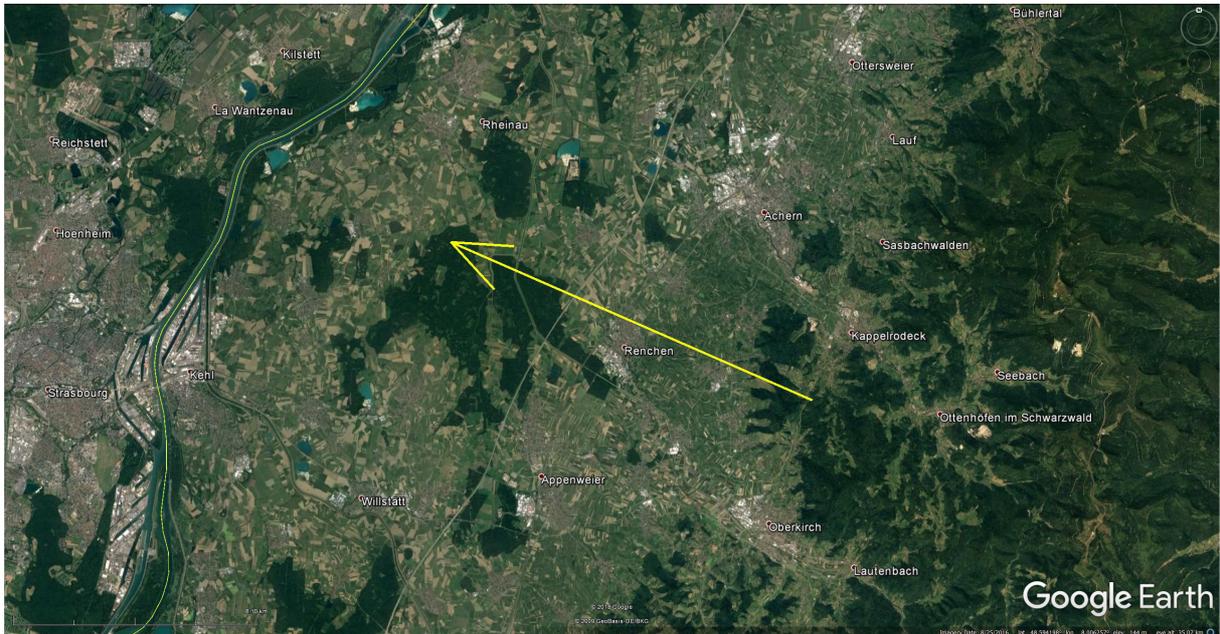


Abb. 4: Projektion der Leuchtspur des Boliden EN100718 Renchen auf die Erdoberfläche. Die tatsächliche Länge der fotografierten Leuchtbahn betrug 63 km, und der Meteoroid legte diese Strecke in 4 Sekunden zurück. (Grafik: Google, Astronomisches Institut Ondřejov).

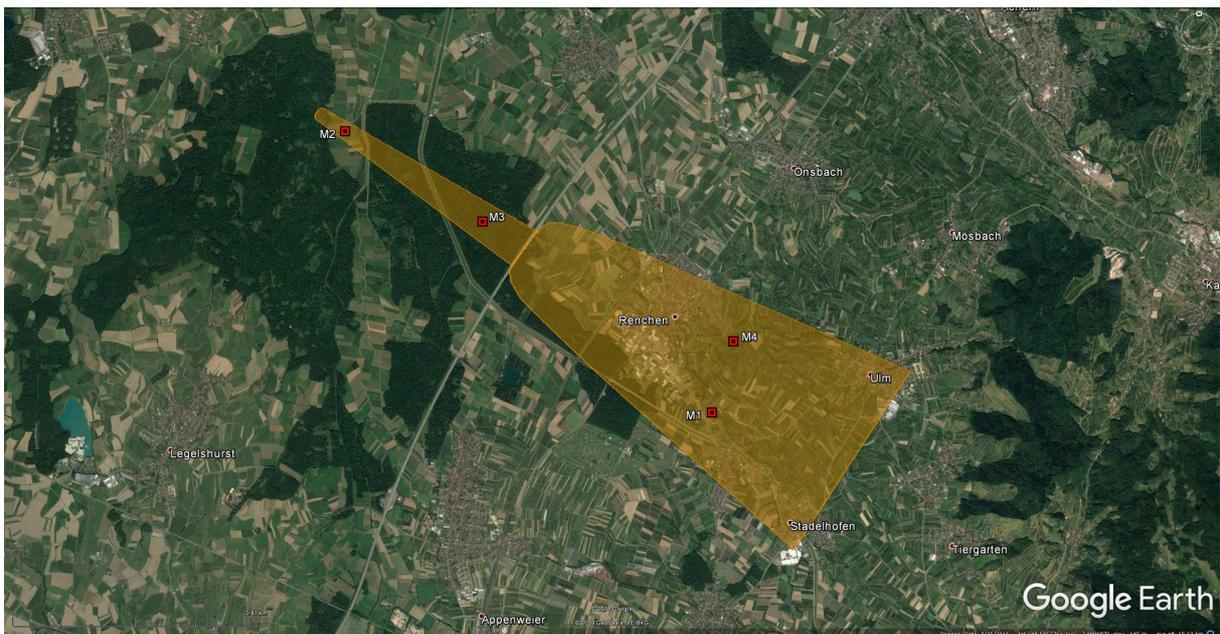


Abb. 5: Schematische Darstellung des Meteoritenstreufelds. Die kleineren Bruchstücke liegen im breiteren, östlichen Bereich des berechneten Streufelds. In Richtung Westen nehmen die Meteoritenmassen zu. Die größten Fragmente sind in dem schmalen, nordwestlichen Streifen gefallen. Fundpunkte der geborgenen Meteorite: M1: 12 g, M2: 955 g, M3: 21 g und M4: 5 g. (Grafik: Google, Astronomisches Institut Ondřejov).

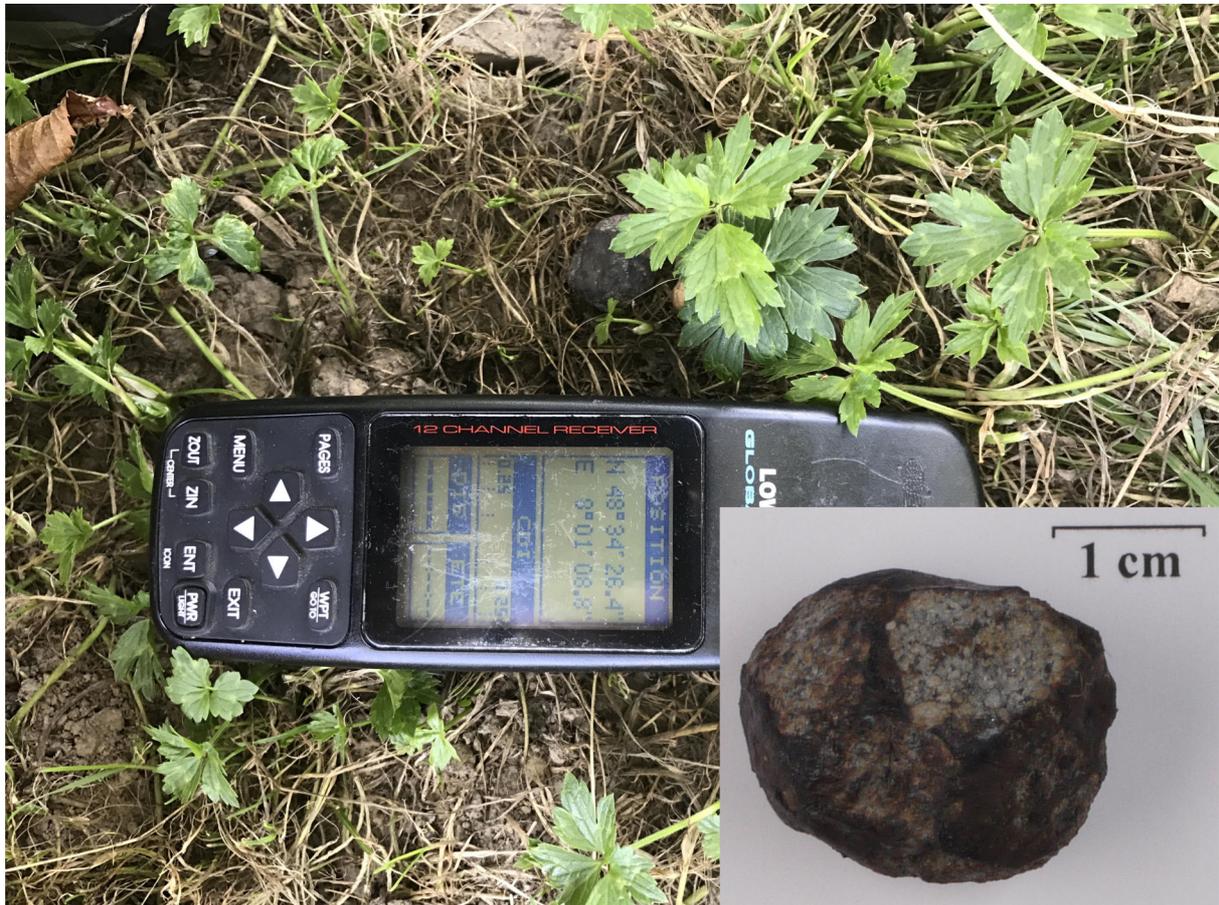


Abb. 6: Der erste Renchen Meteorit hat eine Masse von 11,9 g. Ralph Sporn und Martin Neuhofer entdeckten das Fundstück vierzehn Tage nach dem Fall, am 24. Juli 2018, auf dem Boden einer Obstplantage zwischen der Stadt Renchen und der Ortschaft Stadelhofen. (Fotos: Ralph Sporn und Dieter Heinlein).



Abb. 7: Der größte Meteorit, der im Renchen Streufeld geborgen wurde, wiegt 955 g und wurde drei Wochen nach dem Fall, am 31. Juli 2018, von Ralph Sporn und Martin Neuhofer gefunden. Das Bild wurde unmittelbar nach dem Auffinden gemacht. Neben dem Meteoriten ist auch das kleine Einschlagsloch zu sehen, in welchem der Stein landete. (Foto: Ralph Sporn und Martin Neuhofer).



Abb. 8: Am 30. September 2018 entdeckten Ralph Sporn und Martin Neuhofer ein 4,8 g schweres Meteoritenstückchen im Osten der Stadt Renchen, welches sich im Hagelschutznetz einer Apfelplantage verfangen hatte. (Foto: Ralph Sporn und Martin Neuhofer).
