



Dorian Cieloch

Am 12. September war Dorian Cieloch in der Wesermündung vor Wremen beim Kitesurfen unterwegs. Mit einem Selfiestick ausgerüstet, dokumentierte er für seinen Youtube-Kanal »Kite Buddy« den Ausflug. Dabei hielt er auch den Moment des Bolideintritts in die Erdatmosphäre fest.



Während des Kitesurfens filmte Dorian Cieloch den Tagesboliden (bei 1:10): [suw.link/2008-kitesurfer](https://suw.link/2008-kitesurfer)

**W I S** wissenschaft in die schulen!

## Ein wertvoller Meteoritenfund nahe Flensburg

*Als am 12. September 2019 kurz vor 15 Uhr Fenster und Türen des Hauses des Autors in Gettorf, rund 20 Kilometer nördlich von Kiel, durch eine heftige Detonation erschüttert wurden, ahnte er noch nicht, dass er sich schon bald viel näher mit der Ursache beschäftigen würde.*

Am 12. September 2019 sichteten zahlreiche Personen von den Niederlanden, von Dänemark, von Belgien und von Norddeutschland aus um 14:49 Uhr MESZ eine sehr helle Leuchterscheinung am nachmittäglichen Himmel (siehe SuW 11/2019, S. 16). Noch am selben Tag erreichte mich die Information der NASA, dass die Instrumente des CNEOS-Systems den Eintritt eines kleinen Asteroiden in die Atmosphäre bestätigten, der dabei zerbarst. CNEOS ist das »Center for Near Earth Object Studies« beim Jet Propulsion Laboratory (JPL) der NASA. Die freigesetzte Energie wurde mit einer äquivalenten Explosion von etwa 480 Tonnen TNT angegeben. Die Geschwindigkeit des eingetretenen Himmelskörpers lag bei 18,5 Kilometern pro Sekunde und die Höhe der Explosion bei 42 Kilometern. Ausgehend von der üblichen mittleren Dichte eines Steinmeteoriten von rund drei Gramm pro Kubikzentimeter ließ sich die Masse auf etwa zwölf Tonnen schätzen. Daraus ergab sich eine ursprüngliche Größe von rund zwei Metern.

Kurz darauf sorgte ein Video des Kitesurfers Dorian Cieloch von der Nordsee

vor Wremen in Niedersachsen für Aufsehen: Bei Filmaufnahmen für eine Veranstaltung am kommenden Wochenende zeigte sich im Hintergrund die helle Tagesfeuerkugel (siehe Bild oben). Dabei dokumentierte er auch die Fragmentation des Meteoroiden. Zuerst nichtsahnend, veröffentlichte er das Video im Internet und wurde durch die ersten Kommentare auf die »Sternschnuppe im Hintergrund« aufmerksam gemacht. Später konnten wir die Landmarken – unter anderem ein Hotel – gut für die Berechnung der Flugbahn benutzen.

Parallel dazu wurde bei der Deutschen Gesellschaft zur Rettung Schiffbrüchiger (DGzRS) ein Rettungseinsatz in der Nordsee vor Wangerooge ausgelöst, diverse Schiffe meldeten die Sichtung eines Lichtblitzes und gingen zunächst von einem möglichen Seenotfall aus.

### Zahlreiche Sichtungen

Die einschlägigen Webseiten für ein solches Ereignis wie Meteoros, International Meteor Organisation (IMO) und American Meteor Society (AMS) registrierten zahlreiche Augen- und Ohrenzeugenberichte.

Unter Berücksichtigung der in den ersten zwei Stunden eingegangenen Berichte ließ sich die Flugbahn des Meteors über Grund realistisch rekonstruieren. Gingen die Auswerter anfangs von einer Flugbahn in Richtung Nordwest auf die Nordsee aus, bestätigten immer mehr eintreffende Videos, gerade auch in Verbindung mit den CNEOS-Daten der NASA, recht schnell den Eintritt über Husum mit der Flugrichtung Flensburg und südliches Dänemark.

Zusammen mit dem Bild einer Überwachungskamera einer Werft in den Niederlanden, dem Video des Kitesurfers und einer Aufnahme der Kamera AMS21 der American Meteor Society gab es nun genügend geeignete Aufnahmen, um die Flugbahn exakt zu berechnen. Dabei erlaubte die Bestimmung der räumlichen Winkel der Bahn eine dreidimensionale Triangulation.

### Auf der Suche nach Meteoriten

Zu diesem Zeitpunkt begannen unter anderem Laura Kranich, Studentin der Physik des Erdsystems am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung an der Universität Kiel und ebenfalls aktives Mitglied im Arbeitskreis Meteore e.V., und ich

mit weiteren Berechnungen und der intensiven Suche im möglichen Streufeld. Wir durchsuchten dabei Felder, Start- und Landebahnen, Straßen und Flächen von Eggebek bis ins südliche Dänemark, sowie von der Kreisgrenze bei Dithmarschen bis zur Ostseeküste. Unser oberstes Ziel war es dabei, möglichst schnell eventuelle Meteoriten aufzuspüren, um wenigstens ein frisches Stück für wissenschaftliche Analysen und Dokumentation zu sichern.

### Der erste Fund

Als am 13. September 2019 gegen 11 Uhr Erik Due-Hansen in seinem Garten in Flensburg Rasen mähen wollte, stieß er auf einen auffälligen Stein (siehe Bild rechts). Als Hobbyastronom erkannte sofort dessen Bedeutung und nahm den Fund mit ins Haus. Kurz darauf verfasste er Meldungen mit Bildern, die zwar auf einen Meteoriten hindeuteten, aber auch eine bräunliche Färbung an Bruchflächen und somit möglicherweise Verwitterungsspuren zeigten. Somit war die Zuordnung zum Ereignis vom 12. September vorerst noch nicht gesichert.

Mehrere Vereinsmitglieder versuchten daraufhin vergeblich, Herrn Due-Hansen zu erreichen. Am 25. September trafen Lau-



Der Finder des Meteoriten Flensburg, Erik Due-Hansen (links), zeigt zusammen mit Mike Hankey von der American Meteor Society AMS auf den genauen Fundort auf seinem Rasen.

Carsten Jonas

## Was ist das Besondere am Flensburg-Meteoriten?

Mit dem Fall des Meteoriten Flensburg am 12. September 2019 erreichte uns ein sehr ungewöhnlicher kosmischer Körper. Die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen am Institut für Planetologie der Universität Münster zeigten, dass der Meteorit ein kohlgiger Chondrit ist – ein sehr urtümliches Gestein aus der Frühzeit des Sonnensystems vor 4,56 Milliarden Jahren. »Kohligh« bezieht sich auf die oft dunkle Färbung des Meteoritengesteins. Der Name Chondrit bedeutet, dass sich im Gestein des Meteoriten tausende kleine Kügelchen mit Durchmessern zwischen einem Zehntel und einem ganzen Millimeter befinden.

Im Fall des Meteoriten Flensburg beträgt die durchschnittliche Größe der Chondren weniger als 0,2 Millimeter. Sie sind von einer dunklen, feinkörnigen Matrix umgeben, die das Gestein zusammenhält. Die Kügelchen werden als Chondren, Einzahl Chondre, bezeichnet. Der Begriff wurde vom griechischen Wort für Korn = Chondros abgeleitet.

Die genaue Typisierung des Meteoriten Flensburg lautet: kohlgiger Chondrit des Typs C1 ungruppiert.

■ Das Kürzel C1 steht für einen kohlgigen Chondriten mit Mineralen, die sehr ausgeprägt die Wechselwirkung mit flüssigem Wasser kurz nach der Entstehung des Gesteins im solaren Urnebel vor mehr als 4,5 Milliarden Jahren belegen. Im Meteoriten finden sich Blatt- oder Schichtsilikate (Fachbegriff: Phyllosilikate) und Karbonatminerale wie Kalzit oder Dolomit. Die Phyl-

losilikate entstanden im Mutterkörper des Meteoriten Flensburg aus Silikaten wie Olivin oder Pyroxen, als in dessen Inneren noch flüssiges Wasser im warmen Gestein zirkulierte. Auch Sulfidminerale wie Troilit, Pyrrhotin und Pentlandit, alles Verbindungen von Eisen mit Schwefel, treten auf. Diese wässrige Aktivität war aber schon nach wenigen Tausend Jahren wieder vorbei und zeigt sich nur noch im Mineralbestand. Heutzutage ist das Innere des Meteoriten Flensburg völlig trocken, und Wasser tritt nur noch in chemisch gebundener Form auf.

■ »Ungruppiert« bedeutet, dass sich der Meteorit Flensburg keinem der vielen tausend anderen bekannten kohlgigen Chondriten zuordnen lässt, er für sich also etwas Besonderes darstellt.

Unter der Bezeichnung »C1 ungruppiert« finden sich in der »Meteoritical Database« der »Meteoritical Society« – einem internationalen Zusammenschluss von Fachwissenschaftlern, der alle Meteoritenfunde weltweit systematisch und vollständig erfasst – nur zwei weitere Einträge.

Derzeit ist die detaillierte Untersuchung des Meteoriten im Gange, so dass in einigen Monaten mit einer ausführlichen wissenschaftlichen Publikation des Instituts für Planetologie in Münster und 15 weiterer Forschungsinstitutionen in Deutschland, Frankreich, den USA und in der Schweiz zu rechnen ist. Koordiniert werden die Studien von Professor Addi Bischoff an der Universität Münster.

TILMANN ALTHAUS

## ZUM NACHDENKEN



# Meteoroid beim Atmosphäreneintritt

Objekte aus unserem Sonnensystem können mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf die Erde treffen, je nachdem, von wo sie kommen und ob sie mit oder gegen den Umlaufsinn der Erde um die Sonne kreisen. Treffen sie dann auf die Atmosphäre, reiben sie sich an der Luft und geben über diesen Prozess Bewegungsenergie ab – sie werden abgebremst. Die Maximalgeschwindigkeit solcher Meteoroiden ist  $v_M = 42,1$  km/s, wie bei einem Objekt, das aus der Oort'schen Wolke kommt. Die Bahngeschwindigkeit der Erde ist  $v_{\text{Erde}} = 29,7$  km/s.

**Aufgabe 1:** In welchem Bereich  $v_{\text{min}}$  bis  $v_{\text{max}}$  kann die Eintrittsgeschwindigkeit  $v_M$  eines Meteoroiden liegen?

**Aufgabe 2:** Entlang seiner Flugbahn erfährt der Meteoroid einen aerodynamischen Druck  $p_{\text{ae}} = \rho_L v^2$  durch die At-

mosphäre, der von seiner Geschwindigkeit  $v$  und der Luftdichte  $\rho_L$  abhängt. Er wird dabei mit der Kraft  $F_{\text{ae}} = \frac{1}{2} A_M p_{\text{ae}}$  abgebremst. Dabei ist  $A_M$  die wirksame Querschnittsfläche des Meteoroiden

$$A_M = S_F (m_M / \rho_M)^{2/3}. \quad (1)$$

$S_F$  ist ein Formfaktor. Er beschreibt die momentane Form des Körpers während seines heißen Ritts durch die Atmosphäre. Für Kugelform gilt  $S_F = 1,309$ . Für eine Halbkugel – man denke an die Form von Crewkapseln wie Apollo und Orion – ist  $S_F = 1,919$ . Man zeige das Zustandekommen von Gleichung (1) mit Hilfe von  $\rho_M = m_M / V_M$  bei dem Volumen des Meteoroiden  $V_M$  und begründe die Werte für  $S_F$ .

**Aufgabe 3:** Nach einer Veröffentlichung von Ernst J. Öpik aus dem Jahr 1958 übersteigt der aerodynamische Druck die inneren Kräfte eines typischen Steinmeteoroiden der Dichte  $\rho_M = 3$  g/cm<sup>3</sup>, sofern  $p_{\text{ae,max}} = 1,7 \cdot 10^7$  N/m<sup>2</sup> erreicht wird. Man berechne für die Wertepaare  $(h, \rho_L(h))$  aus der Höhe des Meteoroiden  $h$  und der dortigen atmosphärischen Dichte  $\rho_L(h)$  **a)** (70 km, 0,000074 kg/m<sup>3</sup>), **b)** (50 km, 0,00098 kg/m<sup>3</sup>) und **c)** (20 km, 0,088 kg/m<sup>3</sup>) die für ein Zerbrechen erforderliche Mindestgeschwindigkeit  $v_Z$  des Meteoroiden. In welchen Höhen kann ein Zerbrechen demnach auftreten? AXEL M. QUETZ

## Literaturhinweis

Öpik, E. J.: Physics of Meteor Flight in the Atmosphere. Interscience Publishers Ltd., London, 1958

Ihre Lösungen senden Sie bitte an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. E-Mail: zum-nachdenken@sterne-und-weltraum.de. Einsendeschluss ist der 31. Juli 2020.

Alle Leser, die bis einschließlich des Mai-Heftes 2021 mindestens neun richtige Lösungen senden, werden bei der jährlichen Verlosung berücksichtigt. Bitte beachten Sie unsere Teilnahmebedingungen auf Seite 16! Sie können Ihre Datenschutzrechte nach Art. 15 ff. DSGVO ausüben, indem Sie uns unter [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de) kontaktieren.

ra und ich zunächst die Ehefrau des Finders zu Hause an und vereinbarten über sie ein Treffen mit ihm. Zwei Tage danach kamen wir schließlich mit Herrn Due-Hansen persönlich zusammen, worauf er uns über die Umstände des Funds genauestens informierte. Er war sehr an der Unterstützung der wissenschaftlichen Untersuchungen und der Ergebnisse interessiert und zeigte uns den Fundort auf dem Rasen. Wir dokumentierten alles sehr genau. Anschließend übergab er uns den Fund für den Versand zur genauen Bestimmung in den Laboren.

## Ab zu den Profis

Schnell legten wir fest, dass Dieter Heinlein aus Augsburg vom DLR-Feuerkugelnetzwerk in seinem »Bavarian Meteorite Lab« die Untersuchungen koordinieren sollte. Zum Abschluss sollte der Fund an der Universität Münster bestimmt werden. Nach umfangreicher Fotodokumentation sandten wir den Meteoriten nach Augsburg und informierten alle Beteiligten per E-Mail. Auf Grund eines Feiertags und des schlechten Services des Versanddienstleisters traf die Probe aber erst am 4. Oktober im Labor von Dieter Heinlein ein. Dort bestätigte sich dann sehr schnell die Bedeutung des Funds für die Forschung. Die erste wissenschaftliche Untersuchung zeigte einen Meteoriten mit einer schwarzen frischen Schmelzkruste, die Kontraktionsrisse aufwies (siehe Bild S. 21). An einigen Stellen war die Kruste abgeplatzt und ließ eine hellbraune Matrix des ungeschmolzenen Gesteinsmaterials erkennen. Sowohl die hellbraune Färbung als auch die geringe Dichte fielen sofort auf. Bei einem Gewicht von 24,5 Gramm und einer Größe von  $3,5 \times 3,7$  Zentimetern betrug diese nur 1,99 Gramm pro Kubikzentimeter.

Dieter Heinlein nahm Kontakt zum Felsenkeller-Labor in Dresden auf, um dort die radioaktive Reststrahlung der kurzlebigen, kosmogenen Radioisotope zu messen. Diese entstehen während des Aufenthalts des kleinen Himmelskörpers auf der Sonnenumlaufbahn und zerfallen sehr schnell, wodurch sie sich nur innerhalb von wenigen Wochen nach dem Fall registrieren lassen. Anfang November zeigten die Messdaten, dass es tatsächlich ein fallfrischer Meteorit ist. Somit war ein direkter Zusammenhang mit dem Ereignis vom 12. September sehr wahrscheinlich.

Nun wurde der kleine Gesteinsbrocken mit einem Computertomografen bei sehr hoher Auflösung mit Röntgenstrahlen ge-

## ZUM NACHDENKEN: Unser Sonnensystem



Das Buch enthält 119 Aufgaben und Lösungen der Rubrik »Zum Nachdenken« zum Sonnensystem, alle überarbeitet und mit zusätzlichen Informationen versehen.

368 Seiten. Preis: 25 €. Bestell-Link: <https://amzn.to/2sIYh6L>



**Maximal 3,7 Zentimeter groß ist der frisch gefallene Meteorit Flensburg. Teilweise ist die dunkle Schmelzkruste abgeplatzt, die beim Eintritt des Meteoroiden in die Erdatmosphäre entstand. Hier ist der Blick auf die bräunliche Sekundärkruste möglich. Im Inneren ist der Meteorit grau.**

offiziell anerkannt, registriert und veröffentlicht.

Aktuell untersuchen wir zusammen mit Experten in Tschechien die kalibrierten Videos genauer, um das Abbremsverhalten des Meteoroiden in der Atmosphäre zu bestimmen. Dadurch lässt sich das vermutete Streufeld möglicherweise noch mehr einschränken, so dass vielleicht zusätzliche Funde möglich sind. Allerdings wären diese Meteoritenbruchstücke durch Wind und Wetter wohl bereits teilweise verwittert.

*CARSTEN JONAS ist selbstständiger Medizintechniker und begeisterter Amateurastronom (siehe [www.jonastronomie.de](http://www.jonastronomie.de)). Er ist an der Sternwarte Kronshagen aktiv und Mitglied des Arbeitskreises Meteore e.V. (AKM).*

scannt, um Dichteunterschiede im Innern des Meteoriten zu erforschen. Zudem ermittelte das Labor dessen magnetische Suszeptibilität. Diese gibt den Grad der Magnetisierbarkeit in einem externen Magnetfeld an.

Anfang Januar übergab Dieter Heinlein den Fund persönlich Professor Addi Bischoff von der Universität Münster zur detaillierten Analyse.

Mittlerweile ist der Meteorit als ein urtümlicher Meteorit vom Typ kohlgiger Chondrit eingestuft. Er gehört zur Klasse »C1 ungruppiert« (siehe Kasten S. 19). Da er bereits einen Tag nach seinem Fall entdeckt wurde, ist er unverwittert. Unterdessen wurde er als Meteorit Flensburg vom »Meteoritical Bulletin« der »Meteoritical Society«, der Internationalen Gesellschaft für Meteoriten- und Planetenforschung,

### Literaturhinweise

Eintrag »Flensburg« in der »Meteoritical Database« der »Meteoritical Society«: [www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php](http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php)

**W I S** Didaktische Materialien: [www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1051389](http://www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1051389)

## SPEZIAL Physik Mathematik Technik



AUCH ALS  
DIGITAL- ODER  
KOMBIABO

Bei der **Spektrum Spezial**-Reihe **PMT** dreht sich alles um die Naturwissenschaft: von Physik über Astronomie, Geowissenschaften, Informatik bis hin zur Mathematik. Jahresabo der Reihe (4 Ausgaben pro Jahr): Print € 30,80; Digital € 21,-; Kombiabo Print + Digital € 34,80 (Printpreise inkl. Versandkosten Inland)

[www.spektrum.de/spezialabo](http://www.spektrum.de/spezialabo)

