

## DER METEORIT VON UTZENSTORF: EIN BOTE AUS DEM WELTRAUM

OTTO EUGSTER UND THEODOR HÜGI

*Vorbemerkung der Redaktion:* Mit dem nachstehenden Artikel greift das Jahrbuch Oberaargau etwas über seine angestammte Region hinaus, wie sie u.a. im Jahrbuch 1962 definiert wurde. Utzenstorf gehört zum Gebiet der sog. «Unteren Emme», das gegen die Oesch zu an den Oberaargau grenzt. Grenzen sind in diesem weiten Flachland nur in Form von Übergangsstreifen zu ziehen; sodann zählen sich seit alters gewisse Vereinigungen an der Unteren Emme zum Oberaargau. Wir gestatten uns deshalb die Veröffentlichung dieses Aufsatzes aus unserem Nachbargebiet, zu dem recht vielseitige und enge Beziehungen bestehen.

### *1. Zur Petrologie und Geochemie (Tb. H.)*

Über den Fall des Steinmeteoriten bei Utzenstorf ( $47^{\circ} 7' N$ ,  $7^{\circ} 33' E$ ) vom 16. August 1928 hat *E. Gerber* (1929) berichtet (siehe dazu Seite 261 dieses Jahrbuchs). Aus verschiedenen Gründen erschien die petrologisch-petrochemische Studie über den Utzenstorfer-Meteoriten viel später (siehe dazu: *Huttenlocher und Hügi*, 1952). Kürzlich gelangte der Redaktor des «Jahrbuchs des Oberaargaus», Dr. V. Binggeli, an den Verfasser dieses Abschnittes, mit dem Wunsche, die bisherigen Kenntnisse über diesen Meteoriten einem breiteren Publikum näher zu bringen. Im Laufe der Forschergenerationen haben sich nicht nur die Untersuchungsmethoden für Meteoriten, sondern auch der Kreis von Interessenten für diese «Himmelskörper» ganz wesentlich erweitert. Im Zeitalter der Weltraumfahrt mag das ja kaum wundern.

In früheren Zeiten interessierten sich für die «vom Himmel gefallenen Steine» vor allem Mineralogen und Petrographen. Eine schöne Zahl von Meteoriten sind seit dem 18. Jahrhundert mit immer verfeinerteren Methoden untersucht worden. Die früheren Arbeiten über Meteoriten enthalten Daten über Struktur, Textur, mineralogische und chemische Zusammensetzung der in verschiedenen Gegenden der Erde aufgefundenen Himmelskörper. Das Verdienst, die wahre Natur der Meteoriten erkannt und den Ansichten zum Durchbruch verholfen zu haben, kommt dem Wittenberger Physiker

*F. Chladni* zu. Er hat einen vom deutschen Reisenden Pallas im Jahre 1775 in Sibirien aufgefundenen Meteoriten als vom Himmel gefallen definiert. 1790 erklärte die französische Akademie jede Nachricht vom Fall eines Meteorsteins als Unsinn. Die Ansicht von *Chladni* vermochte sich erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts endgültig durchzusetzen. Nach *Hugi* (1930) fiel der «Aufklärung» auch der am 18. 5. 1698 bei Walkringen gefallene Meteorit zum Opfer. Es dürfte sich bei diesem erstmals auf Schweizer Boden gemachten Fund um einen Steinmeteoriten gehandelt haben.

Über die schweizerischen Meteoritenfälle orientiert die *Tabelle 1*. In wissenschaftsgeschichtlicher Hinsicht dürfte in diesem Zusammenhang von Interesse sein, dass das Verschwinden des Meteoriten von Walkringen von *Studer* (1873) jedoch in Zusammenhang mit der seinerzeit in Bern herrschenden orthodoxen Ansichten gebracht wurde. Dies ist aber später von *Fluri* (1911) bezweifelt worden. Bei der Suche nach Akten über den Walkringer Meteoriten stiess *Fluri* auf eine damals noch in Privatbesitz befindliche Verzeichnis-Abschrift. Die Burgerbibliothek Bern besitzt erst seit 1937 diese handschriftliche Abschrift, verfasst im November des Jahres 1816 von *Sigmund Wagner*: «Verzeichnis einiger Gemälde und Curiositäten, die sich ehemals, laut einem handschriftlichen Catalog von Herrn Bibliotheksekretär, Marquard Wild (1700–1710) auf der ordentlichen Bibliothek zu Bern befanden»<sup>1</sup>. In diesem Verzeichnis figuriert der Meteorit von Walkringen als «Lapis fulminaris oder Wolkenstein», gefallen in Walkringen am 18. März 1698 (vgl. Abb. 1). In der Einleitung zum Verzeichnis beklagt sich *Wagner* darüber, dass einige Objekte aus Unkenntnis, andere vielleicht um sie selbst zu besitzen, aus der Sammlung entfernt worden seien. Erwiesen ist jedenfalls, dass der Walkringer Meteorit, entgegen bisherigen Ansichten, mit Sicherheit eine Zeitlang in der Sammlung der Stadtbibliothek aufbewahrt wurde. Wann und aus welchen Gründen er verschwand, kann kaum mehr eruiert werden.

<sup>1</sup> Bei meinen Recherchen wurde ich in verdankenswerter Weise unterstützt durch die Herren Dr. Häberli (Burgerbibliothek Bern) und Prof. Gorgé vom Institut für theoretische Physik (Bern). Die erwähnte Wagnersche Abschrift ist bereits reproduziert in «Reminiszenzen aus der Geschichte der exakten Wissenschaften in Bern» (vervielfältigte Schrift, Herrn Prof. A. Mercier zum 60. Geburtstag gewidmet von den Mitgliedern des Instituts für theoretische Physik). Die Verzeichnis-Abschrift ist auf der Burgerbibliothek unter der Signatur MS Mül. 630(4) registriert.

Tabelle 1  
Chronologie schweizerischer Meteoritenfälle  
(mit Angaben über Menge und Aufbewahrungsort des Fundmaterials)

	Falldatum
Meteorit von Walkringen der Stadtbibliothek von Bern durch Pfarrer Jak. Dünki übergeben, später verlorengegangen (siehe S. 270)	18. 5. 1698
Meteorit von Lugano nicht aufgefunden	15. 3. 1826
Meteorit von Rafrüti bei Wasen i/E, 18,2 kg als Eisenmeteorit (Atexit) erkannt 1900 Naturhistorisches Museum Bern	Ende Okt. 1856
Meteorit von Aubonne nicht aufgefunden	15. 7. 1871
Meteorit vom Grauholz nicht aufgefunden	26. 6. 1890
Meteorit von Chervettaz (VD) Steinmeteorit (Olivin-Bronzit-Chondrit), 705 g Musée géologique cantonal, Lausanne	30. 11. 1901
Meteorit von Ulmiz (FR) Steinmeteorit (Olivin 41,5 in Gew.-%) Enstatit + Klnoenstatit 33,2%, Gesteinsglas 8,5%, Nickerleisen 7,8%, Troilit 8%, Chromit 1,1% und Schreibersit 1,1% sowie Feldspat. 10 Stücke, insgesamt 7 5 g. 6 Stücke für wissenschaftliche Unter- suchungen verwendet. Naturhistorische Museen Bern und Freiburg besitzen 4 Stücke (67 g), 2 Private in Bern und Lyss	25. 12. 1926
Meteorit von Utzenstorf Steinmeteorit, Olivin-Bronzit-Chondrit, für Mineralbestand siehe Seite 277. Grosses Stück 2764 g, mittleres Stück 600 g, kleines Stück 58 g. Von den insgesamt 3422 g sind für wissenschaft- liche Untersuchungen über 60 g verbraucht worden. Naturhistorisches Museum Bern.	16. 8. 1928

*Hinweis:* Unter dem Titel «Steine, die vom Himmel fallen – Schweizer Meteoritenfälle» erschienen im «Schweizer Strahler», Vol. 3, Nr. 11 und 12, Vol. 4, Nr. 2 und 9, zwischen 1975 und 1978 vier redaktionelle Beiträge von Frau Brigitte Stalder-Scherrer.

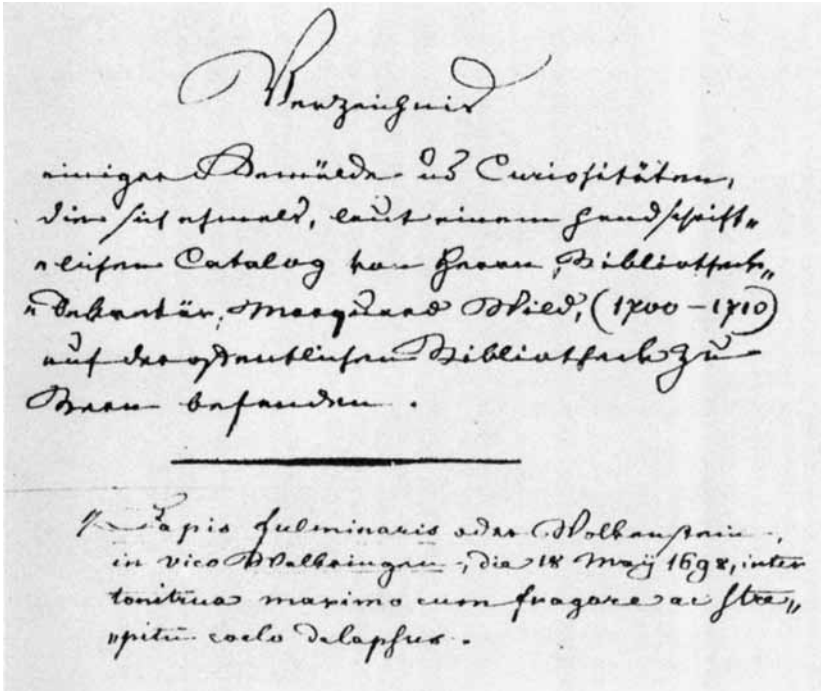


Abb. 1: Kopie der Wagnerschen Abschrift des Wildschen Verzeichnisses (Titel) sowie Hinweis «Wolkenstein von Walkringen» (vgl. Seite 266).

### 1.1 Merkmale der Meteoriten

Heute interessieren sich nach wie vor Mineralogen, aber auch Physiker für die vom «Himmel gefallenen Steine». Die Meteoriten können nach mineralogisch-petrographischen Merkmalen zusammenfassend in folgende Gruppen unterteilt werden (siehe z.B. Mason 1962, Sears 1978, Heide 1957):

*Steinmeteorite*, mit vorwiegend Silikatmineralien und variablen Anteilen von metallischen Mineralien und an Graphit. Steinmeteorite werden weiter unterteilt in Chondrite, wenn gewisse Mineralien (Olivin oder Pyroxen) Kügelchen (= Chondren) bilden und Achondrite (Chondren fehlen). Chondrite machen etwa 86% aller Meteoritenfunde aus, sind also die häufigsten.

In Meteoriten ist bereits im letzten Jahrhundert Diamant mikroskopisch nachgewiesen worden, ein Befund, der inzwischen röntgenographisch be-

stätigt werden konnte. Diamant kann als Gemengteil in Achondriten und Eisenmeteoriten auftreten.

*Eisenmeteorite*, mit vorwiegend metallischen Mineralien, wie Nickeleisen (= Troilit), sowie Graphit und seltenen Meteoritmineralien. Eine weitere Unterteilung der Eisenmeteorite erfolgt nach dem Ätzverhalten polierter Flächen (Anätzen mittels Mineralsäuren). Zeigen die Ätzstrukturen Oktaederaufbau, dann liegt ein Oktaedrit vor (sog. Widmannstettersche Figuren), bei Hexaederaufbau spricht man von Hexaedrit (sog. Neumannsche Linien). Ein Ataxit liegt vor, wenn keine Ätzstrukturen erkennbar sind.

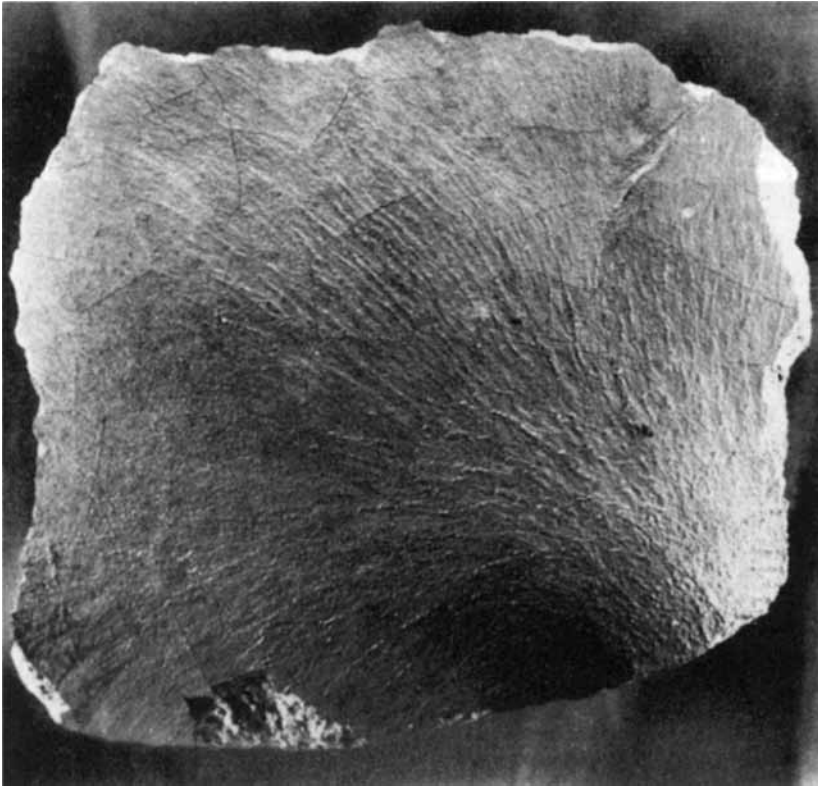


Abb. 2: Ansicht der Stirnseite des Meteoriten von Utzenstorf. Die Rinde weist deutliche, vom Apex ausgehende Schmelzdriftung mit Glasperlen und brotkrustenartig aussehenden Erstarrungsrissen auf (aus *Huttenlocher und Hügi*, 1952).

Die *Stein-Eisen-Meteorite* (Siderolites) sind solche, bei denen Silikatminerale und metallisches Eisen in annähernd gleichen Mengen vorkommen. Je nach mineralogischer Zusammensetzung spricht man von Pallasit (mit Olivin und Nickeleisen), Siderophyr (mit Orthopyroxen und Nickeleisen); Mesosiderit oder Lodranit sind sehr selten.

Es ist nicht möglich, für den Laien allgemein gültige Regeln zum Erkennen von Meteoriten aufzustellen. Es bedarf dazu genauer mineralogischer und chemischer Analysen. Im Laufe der Jahre sind mir viele Fundstücke vorgewiesen worden, die sich bei näherer Untersuchung – leider – durchwegs nicht als Meteorite erwiesen. Meist waren es Industrieprodukte, wie Ferrochrom, Ferrowolfram usw., die dem Finder wegen des hohen spezifischen Gewichtes auffielen. All denen, die glauben, einen Meteoriten gefunden zu haben, sei geraten, das Fundstück einem mineralogischen oder physikalischen Universitätsinstitut oder einem Naturhistorischen Museum zur weiteren Untersuchung zu übergeben.



Abb. 3: Herauspräparierte Chondren des Meteoriten von Utzenstorf. Grössere Chondre in der Bildmitte zeigt Eindrücke, die länglich geformte Chondre weist Agglomeration auf.

Abb. 4: Olivinchondre des Meteoriten von Utzenstorf: radialexzentrischer Bau. Chondre zeigt reichliche Durchsetzung von bräunlich gefärbten Glasleisten und -faden.



### 1.2 Mineralogie und Chemie des Meteoriten von Utzenstorf

Mit der mineralogischen und chemischen Untersuchung des Meteoriten von Utzenstorf ist vor über 30 Jahren begonnen worden. Aus der später publizierten Arbeit (*Huttenlocher und Hügi*, 1952) seien einige wesentliche mineralogische und chemische Fakten festgehalten. Bei diesem Meteoriten handelt es sich um einen chondritischen Steinmeteoriten. Er besteht aus Rinde, Kernmasse und darin eingestreuten «Kügelchen», den Chondren. Abb. 2 zeigt die Stirnseite des Meteoriten. (Die Abb. 2, 3, 4 und 5 sind der Arbeit *Huttenlocher und Hügi* [1952] entnommen; mit freundlicher Erlaubnis des derzeitigen Redaktors der Mitt. Naturf. Ges. Bern, Herrn Dr. med. vet. H. Hutzli). Die für einen chondritischen Meteoriten kennzeichnenden, um Millimeter grossen «Kügelchen», im vorliegenden Fall die aus Olivin oder Orthopyroxen bestehenden Chondren, sind auf Abb. 3 ersichtlich. Den radialexzentrischen Bau eines Chondrums zeigt Abb. 4. Der Mineralbestand der Kernmasse – in die die Chondren eingebettet sind – ist relativ einfach. Folgende Mineralien sind vertreten: Olivin (mit 20%  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ -Anteil, d.h. 20% Fa = Fayalit-Komponente), Orthopyroxen (mit 88% Enstatit-Anteil), ganz wenig Klinopyroxen, Feldspat, Nickeleisen (Ni, Fe) = Kamazit (mit ca. 5% Ni), Schwefeleisen (FeS) = Troilit und Cohenit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Abb. 5 veranschaulicht die gegenseitige Verwachsung der einzelnen Mineralien. Die Trümmerstruktur ist aus diesem Strukturbild ersichtlich. Der Utzenstorfer Meteorit gehört zur Gruppe der Steinmeteorite, d.h. er enthält neben Silikatmineralien auch metallische Mineralien. Es handelt sich um einen Olivin-Orthopyroxen-

(= Bronzit)-Chondrit. Ziel der mikroskopischen Untersuchung war, in Kenntnis der Gesteinsbildung denkbare Rückschlüsse auf die Bildungsprozesse bei Meteoriten zu ziehen. *Huttenlocher* schreibt auf Seite 94 der zitierten Arbeit:

«Zusammenfassend können wir alle jene für die Chondriten so charakteristischen Gefügeerscheinungen als diejenigen ansehen, die während der stürmisch sich vollziehenden Veränderungen eines Himmelskörpers mit basisch bis intermediärem Gesteinschemismus erzeugt wurden. Dem Ausgangsmaterial dürfte Tiefengesteinscharakter zugesprochen werden; alle diejenigen Erscheinungen, die für Analogien zu vulkanischer Tätigkeit sprechen, sind diesem Katastrophenakt zuzuschreiben.

Eine weitere Stütze findet diese Auffassung im Fehlen von Übergangsformen zwischen Tiefen- und Ergussgesteinen. Solche Übergänge schaffende physiko-chemische Bedingungen vermag dieser episodenhaft verlaufende Katastrophenvorgang nicht zu bieten.

Schliesslich steht eine kontinuierliche Übergangsserie zwischen Stein- und Eisenmeteoriten, wie sie aus den Darlegungen von *Brown* und *Patterson* (1947) angenommen werden muss, am besten in Übereinstimmung mit einer gravitativ wirkenden Differentiationsmöglichkeit unter gleichzeitiger Tiefengesteinsentwicklung. Das Schwerfeld selbst braucht in seiner Dimensionierung keineswegs an das auf unserem Planeten herrschende heranzukommen.

Die Erscheinungen, die sich während einer kosmischen Katastrophe – wie sie im Vorausgehenden angenommen wurde – einstellen, können eine gewisse Analogie erlangen in Vorgängen, auf welche schon *Tschermak* (1877) in seinen Betrachtungen «Über Vulkanismus und kosmische Erscheinungen» hingewiesen hat. Danach wären die Meteoriten Trümmer eines in statu nascendi begriffenen kleinen Planeten. Bei diesem Anlass fühlen Kondensation, Erstarrung, Sprengung der eben gebildeten Erstarrungskruste durch die rasch eingeschlossenen Gase und Zersprätzen der flüssigen Planetarsubstanz zu den jeweils in den Chondriten beobachteten Phänomenen mit teilweise vulkanismusähnlichem Charakter.»

Die besonderen mineralogischen Phänomene der Rinde sind näher untersucht und mittels experimenteller Versuche einer Klärung näher geführt worden. Die petrochemischen Verhältnisse sind mit den damals verfügbaren Analysemethoden (Nasschemie, Spektralanalyse) von Th. Hügi untersucht worden. Analysiert wurde das Kernmaterial des Meteoriten; es musste vorerst sorgfältig von der Rinde getrennt, anschliessend von Hand mittels Hufeisenmagnet separiert werden – moderne Magnetseparatoren standen nicht zur Verfügung: Anteile magnetische Fraktion = 19,9%, unmagnetische = 80,1%. Diese beiden Fraktionen (= Kernmaterial ohne Rinde) sind getrennt analysiert worden. Die Analysendaten sind in Tabelle 2 enthalten.

Seit 1952 sind die chemischen Analysemethoden und die Mineral-Trennverfahren ganz wesentlich verbessert worden. Hinzu kommt, dass sich inzwischen die Physiker in ganz besonderem Masse für Meteoriten interessierten. Sie haben denn auch ganz neue Untersuchungsmethoden entwickelt,

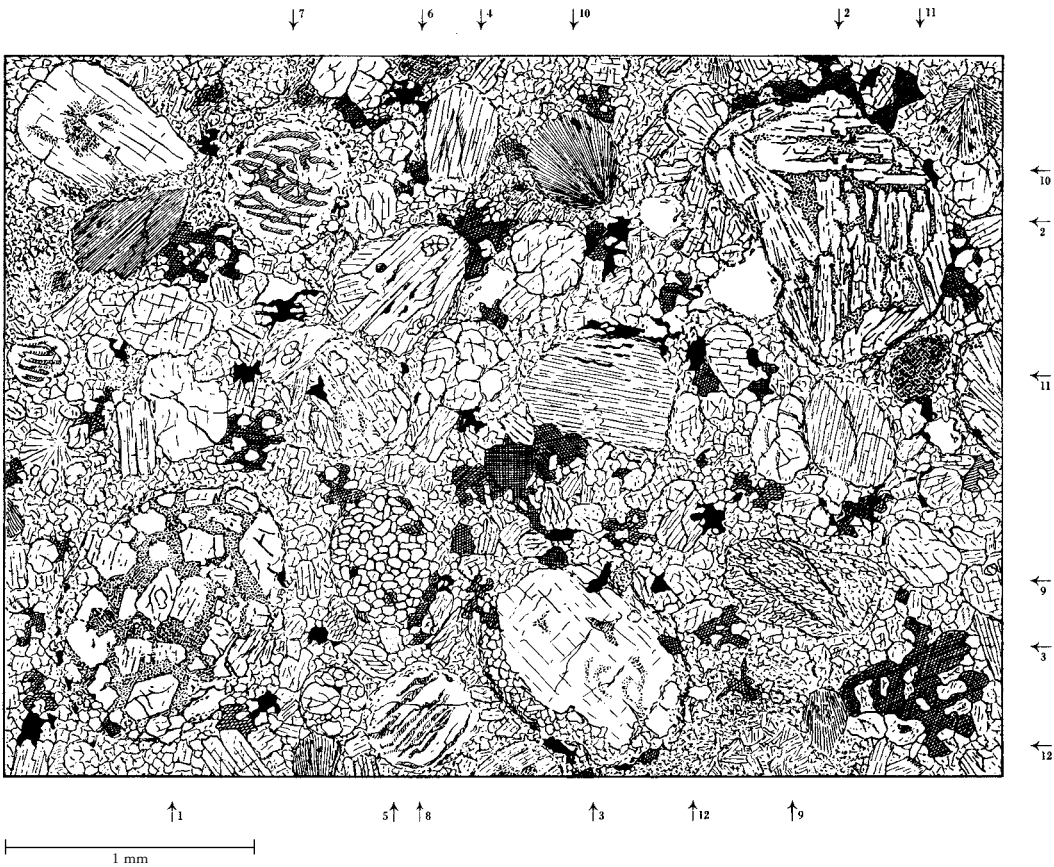


Abb. 5: Strukturbild des Meteoriten von Utzenstorf. In dieser Dünnschliffzeichnung bedeuten: Kreuzschraffur vertikal-horizontal = Sulfideisen, Kreuzschraffur diagonal = Nickeisen inkl. Cohenit, schwarz = Magnetit-Chromit, ferner 1-1 → Olivin-Chondre, mehr isometrisch ausgebildet. 2-2 ↑ Olivin-Chondre, mehr leistenförmig. 3-3 Olivin-Chondre, polysomatisch, vollkristallin. Dieses grosse Olivinkorn zeigt seitlich einen Saum kleiner Olivinkristallkörner. Schläuche und Fahnen im grossen Korn = Glas. 4-4 Olivin-Chondre, vollkristalline, polysomatische Chondren. 5-5 Olivin-Chondre, kleine, runde Olivinkörner bilden Pflastergefüge. 6-6 Enstatit-Chondrum, mit eingeschlossenen Olivinkörnern. 7-7, 8-8 Olivinchondren, monosomatisch, von dunkelbraunen Glaszügen durchsetzt. 9-9 Olivinchondrum, mit dünnsten Glaseinlagerungen, Gitterzeichnung aufweisend. 10-10 Enstatitchondre, feinkristallin, strahlig-exzentrisch. 11-11 Kryptokristallines Korn. 12-12 feinkristallines Zerreibsei, beginnende Rekristallisation.

Tabelle 2  
 Meteorit von Utzenstorf, Gesamtanalyse (Kernmaterial)

	1	2	3	
SiO <sub>2</sub>	36,21 Gew.-%	36,21 Gew.-%		
TiO <sub>2</sub>	0,11	0,11	«Feldspat»	8,0 Vol.-%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,88	1,88	Pyroxen	30,6
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,08	Olivin	41,4
FeO	14,10	14,20	Merillit	0,4
MnO	1,60	1,60		
MgO	22,94	22,94		
CaO	2,26	2,26		
Na <sub>2</sub> O	1,27	1,27		
K <sub>2</sub> O	0,33	0,33		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22	0,22		
H <sub>2</sub> O+	0,00	0,00		
H <sub>2</sub> O-	0,00	0,00		
Silikate	81,00	81,10		80,4
Be	11,91	12,59		
Ni	1,55	1,55		
Co	0,14	0,14		
Metall	13,60	14,28		13,2
Fe	3,25	3,25		
S	1,87	1,87		
Schwefeleisen	5,12	5,12		6,4*
Summe	99,72 Gew.	100,50 Gew.		100,0 Vol.-%
Spez. Gewicht	3,734	3,734 (pyknometrisch)		

Analytiker: Dr. Th. Hügi

1 = Analyse mit Fe-Bestimmung nach Friedheim-Wiik (FeO berechnet)

2 = Analyse mit FeO-Bestimmung im HCl-löslichen Silikat-Anteil (Fe berechnet)

3 = Berechneter Mineralbestand

\* = Schwefeleisen + Chromit

um die Entstehung und Herkunft der Meteoriten besser verstehen zu lernen. So blieb der Utzenstorfer Meteorit weiterhin im Brennpunkt des wissenschaftlichen Interesses. Er ist von *Bevan* und *Easton* (1977) mittels moderner Methoden wiederum chemisch analysiert worden. Es war nun auch möglich, die einzelnen Mineralien chemisch mittels Elektronenmikrosonde zu analy-

Tabelle 3  
Analyse des Utzenstorf-Meteoriten<sup>1</sup>  
(Probe B. M. 1975, M. 14, nichtmagnetische «unattacked» Fraktion –  
Silikate, Phosphate, Oxide)

		Elektronenmikrosonde-Analysen	
		Olivin	Orthopyroxen
SiO <sub>2</sub>	35,93 Gew.-%	39,51	57,07
TiO <sub>2</sub>	0,28	–	0,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,46	–	0,19
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,50	–	0,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,67		
FeO	8,38	17,28**	10,83**
MnO	0,28	–	–
MgO	23,06	43,34	30,93
CaO	1,70	0,03	0,60
Na <sub>2</sub> O	0,85		
K <sub>2</sub> O	0,10		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,24		
NiO	0,06		
H <sub>2</sub> O+	0,40		
C	0,30		
Ge	0,5 ppm		
Ga	1 ppm		
	99,79	100,16	99,82
Total Fe =	28,75	** Gesamteisen als FeO	

<sup>1</sup> Nach *Bevan and Easton* (1977)

Analytiker: A. J. Easton («Chlorination technique»). Für weitere Daten sei auf die zitierte Publikation verwiesen.

sieren. Tabelle 3 zeigt neue chemische Daten. Unterschiede zwischen Daten der Tabellen 2 und 3 sind bedingt durch ungleich behandelte Meteoritteilprobe (verschiedene Bruchstücke und Trennverfahren), sowie verschiedene Analysemethoden. Durch diese neue Untersuchung ist die frühere Klassifikation des Utzenstorfer Meteoriten als Olivin-Orthopyroxen (= Bronzit)-Chondrit bestätigt worden.

Der mittels Elektronenmikrosonde (EMS) im Olivin gefundene Fayalit-Anteil (=Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>)<sup>1</sup> von 18,3% stimmt recht gut mit dem früher mittels op-

tischer Methode ermittelten Wert von 20% überein (siehe *Huttenlocher und Hügi*, 1952). Gleiches gilt für den im Orthopyroxen gefundenen Enstatitanteil: 82,6% (EMS), 88% (optisch)<sup>2</sup>. Nach den Analysendaten für den Orthopyroxen (siehe *Bevan and Easton*, 1977) handelt es sich um einen Bronzit mit 10,83 Gew.-% FeO. Nach der neuen Meteoritennomenklatur handelt es sich beim Utzenstorfer Meteoriten um einen «H-group chondrite, petrologic type 5» nach *van Schmus and Wood* (1967). Nach diesem Nomenklaturvorschlag gehören chondritische Meteorite der *H* oder «High-iron-group» an, wenn das Verhältnis Eisen zu Kieselsäure (Fe:SiO<sub>2</sub>) hoch ist. Neben diesen chemischen Merkmalen hat diese Klassifikation überdies petrologische Merkmale zu berücksichtigen. Chondrite gehören zum Typ 5, wenn Olivin und Orthopyroxen die Hauptbestandteile bilden, Klinopyroxen nur von untergeordneter Bedeutung ist. Wegen seiner deutlichen Rekristallisationserscheinungen kann der Meteorit auch dem Typ H6 zugewiesen werden, wie dies *King* tut (s. unten), statt dem Typ H5.

<sup>1</sup> Die Olivin-Mischkristallreihe ist gekennzeichnet durch die Endglieder Forsterit = Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> (Fo) und Fayalit = Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> (Fa).

<sup>2</sup> Mit steigendem Eisengehalt unterscheidet man folgende Glieder der Orthopyroxen-Gruppe: Enstatit = Mg<sub>2</sub>[Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] mit 0–5% FeO, Bronzit = (Mg,Fe)<sub>2</sub>[Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] mit 5–15% FeO und Hypersthen = (Fe,Mg)[Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] mit 15–34% FeO. Der Orthopyroxen des Utzenstorf-Meteoriten ist ein Bronzit.

Auf Anfrage hin stellte Th. Hügi dem Kollegen Prof. Elbert A. King (Dept. of Geosciences, Univ. of Houston, Texas, USA) Material zu weiteren Untersuchungen zur Verfügung. Seine Resultate fasst King (briefliche Mitteilung vom 10. 5. 1982) wie folgt zusammen:

«Thank you for your inquiry about our results with the Utzenstorf meteorite. We prepared three polished thin sections from the Utzenstorf specimen that you so kindly furnished. These were examined in the petrographic microscope and, to a limited degree, on the electron microprobe. However, our results were not very unusual or especially interesting. We find that the meteorite is fully equilibrated, with homogeneous olivine and orthopyroxene compositions, contains no clinopyroxene, has rare grains of chromite and the matrix is completely recrystallized. In summary, it appears to be a beautiful, ordinary olivine-bronzite chondrite, petrologic type H6 in the *Van Schmus & Wood* (1967) Classification. There is slight orientation of the chondrules and clasts so that there is a distinct petrofabric. This may be shock induced or formed by simple gravitational compaction on the parent body. Most of the chondrules that can still be distinguished are of the fluid drop variety (*King and King*, 1978), and most are non-phryritic. However, the recrystallization has obscured the chondrule type in many cases.»

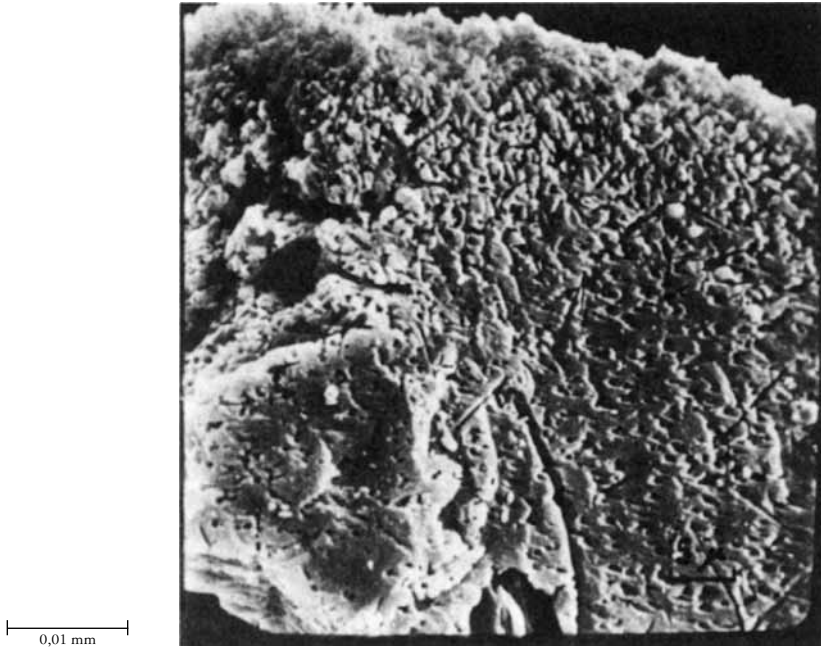


Abb. 6: Schnitt durch einen Klinopyroxen-Kristall aus dem Meteoriten Weston. Die Fläche wurde angeätzt und dadurch die Spuren und Löcher, die durch die kosmische Strahlung verursacht wurden, sichtbar gemacht (Pellas et al., 1969).

## 2. Untersuchungen mit physikalischen Methoden (O.E.)

Das wohl untrüglichste Zeichen für den ausserirdischen Ursprung von Meteoriten ist die Tatsache, dass das Meteoritenmaterial Atome enthält, die durch die Weltraumstrahlung entstanden sind und auf der Erde selten oder gar nicht vorkommen. Die Weltraumstrahlung, auch kosmische Strahlung genannt, ist ein Strom von schnell fliegenden Atomen, der unser Sonnensystem durchdringt und auf alle Himmelskörper einschliesslich der Meteoriten aufprallt. Während die Erdoberfläche und somit die irdischen Steine durch die Atmosphäre fast vollständig abgeschirmt sind, dringen die Teilchen der kosmischen Strahlung in die sich im Weltraum befindenden Meteoriten ein und zertrümmern die getroffenen Atome. Spuren dieser kosmischen Teilchen können durch Anätzen der Oberfläche von Dünnschliffen sichtbar

gemacht werden, weil die Ätzflüssigkeit die geschädigten Stellen stärker angreift als die ungeschädigten. In Abb. 6 sind die so entstandenen Spuren und Löcher bei einem Dünnschliff vom Meteoriten Weston, der von *Pellas* u.a. (1969) untersucht wurde, deutlich zu sehen.

Bei der Zertrümmerung eines getroffenen Atoms entstehen nach bestimmten Gesetzmässigkeiten leichtere Atome, wobei zum Teil Isotopen gebildet werden, die auf der Erde nicht natürlich vorkommen. (Isotopen sind die verschiedenen Arten der Atome eines Elements, die sich durch die Anzahl Neutronen im Atomkern unterscheiden.) Das Studium der so entstandenen Isotope ist seit vielen Jahren ein Forschungsprojekt am Physikalischen Institut der Universität Bern, und in diesem Rahmen wurde in den sechziger Jahren der Meteorit Utzenstorf untersucht. Besonders interessant sind die durch die Einwirkung der kosmischen Strahlung entstandenen (kosmogenen) Isotopen der Edelgase Helium, Neon, Argon, Krypton und Xenon. Die Messung der in jedem Fall sehr kleinen Edelgasmengen ist ein Spezialgebiet in Bern, für dessen Zweck Massenspektrometer entwickelt wurden, die es erlauben, ein Gasvolumen von  $10^{-15}$  Kubikzentimetern noch nachzuweisen. Diese Gasmenge hat in einem Raum Platz, der eine Million mal kleiner ist als der milliardste Teil eines Spielwürfels. Meistens sind die Gasmengen aber grösser und können auf ungefähr ein Prozent Genauigkeit gemessen werden.

Je länger sich ein Meteorit im Weltraum aufhält, desto grösser ist die Zahl der gebildeten kosmogenen Isotope. Somit ermöglicht die Messung der Menge der kosmogenen Isotope eine Aussage über die Zeit, während der ein Meteorit als kleiner Körper sich frei im Weltraum bewegte und dabei der kosmischen Strahlung ausgesetzt war. Diese Zeitdauer wird Strahlungsalter genannt. Die Mengen einiger Edelgasisotope im Meteoriten Utzenstorf, wie sie von *Eugster* u.a. (1969) gemessen wurden, und das daraus berechnete Strahlungsalter sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Das Strahlungsalter ist eine für Meteoritenforscher und Astrophysiker wichtige Grösse, da es Aufschluss über die Entstehungszeit und den Herkunftsort der Meteoriten geben kann. Deshalb wurden bei einer grossen Zahl von Meteoriten die Edelgase gemessen und die Strahlungsalter berechnet. Da der Meteorit Utzenstorf zu der Klasse der Olivin-Orthopyroxen- (= Bronzit)-Chondrite gehört, ist es interessant zu untersuchen, welches Strahlungsalter andere Meteoriten dieser Klasse aufweisen. Die Resultate von mehreren Laboratorien, zusammengestellt von *Zähringer* (1968), sind in

Tabelle 4  
Durch den Beschuss der kosmischen Strahlung erzeugte Edelgasmengen im  
Meteoriten Utzenstorf.

He <sup>3</sup>	Ne <sup>21</sup>	Ar <sup>38</sup>	Kr <sup>83</sup>	Xe <sup>126</sup>	Strahlungsalter in Millionen Jahren
10 <sup>-8</sup> cm <sup>3</sup> STP/g <sup>1</sup>			10 <sup>-12</sup> cm <sup>3</sup> STP/g <sup>2</sup>		
25,4	2,92	0,58	1,2	0,06	12,7
± 1,6	± 0,12	± 0,10	± 0,4	± 0,01	

<sup>1</sup> Die Mengen sind angegeben pro Gramm Meteoritenmaterial in cm<sup>3</sup> Gasvolumen bei Atmosphärendruck und 0° Celsius.

Abb. 7 dargestellt, woraus ersichtlich ist, dass sehr viele Strahlungsalter der Bronzit-Chondrite jünger als 15 Millionen Jahre sind, im Vergleich zum Alter unseres Sonnensystems von 4600 Millionen Jahren eine relativ kurze Dauer. Ein ganz anderes Resultat fanden wir in Bern (*Eberhardt* u.a., 1965) für neun Meteoriten der Klasse der Aubriten, die sich von den Bronzit-Chondriten in ihrer Struktur und chemischen Zusammensetzung unterscheiden und daher wohl von anderem Ursprung sind. Die meisten Aubriten weisen ein Strahlungsalter von 40–50 Millionen Jahren auf. Diese Ergebnisse zeigen, dass viele Bronzit-Chondrite, die chemisch und in ihrer Struktur einander gleich sind, vor etwa 15 Millionen Jahren begannen, sich frei im Weltall zu bewegen und von da an der kosmischen Strahlung ausgesetzt waren. Wesentlich früher wurden jedoch die Meteoriten der Aubritenklasse freigesetzt.

Diese und andere Überlegungen haben zum Schluss geführt, dass der Meteorit Utzenstorf und viele seiner Klassengenossen bis vor etwa 15 Millionen Jahren in einem grösseren Körper eingeschlossen gewesen waren. Der wahrscheinlichste Ursprungsort für den Meteoriten Utzenstorf, die anderen Bronzit-Chondrite, die Aubrite und Meteoriten weiterer Klassen sind die Asteroiden, winzige «Planeten» mit Durchmessern von etwa 100 Metern bis vielen Kilometern, die wie die grossen Planeten um die Sonne kreisen, und zwar in einer Umlaufbahn, die zwischen derjenigen von Mars und Jupiter liegt (siehe z.B. *Anders*, 1978). Es ist heute ziemlich sicher, dass der Mond nicht als Ursprungsort von Meteoriten in Frage kommt, da die chemische Zusammensetzung der Mondsteine mit keiner der verschiedenen Meteoriten-

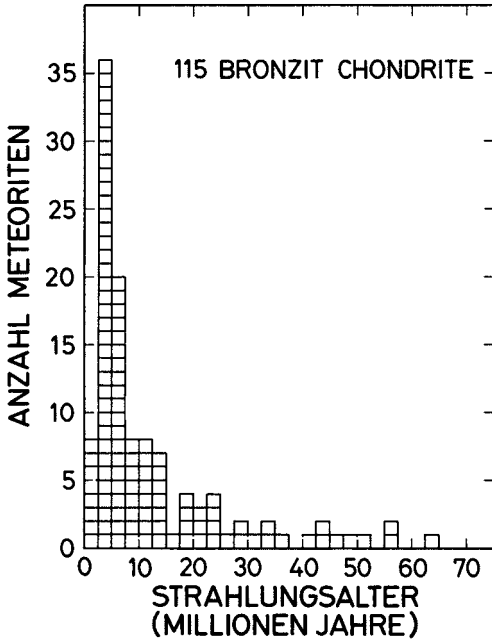


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung der Strahlungsalter bei 115 Meteoriten der Klasse der Bronzite-Chondrite. Die meisten Bronzite-Chondrite wurden vor weniger als 15 Millionen Jahren aus einem oder mehreren grossen Körpern, vermutlich Asteroiden, herausgebrochen. (Zusammengestellt von Zähringer, 1968.)

klassen übereinstimmt. Da die Asteroiden sehr zahlreich sind, stossen sie gelegentlich zusammen oder werden von Meteoriten getroffen und zerbrechen, wobei die Bruchstücke als Meteoriten freigesetzt werden und ihre Strahlungsalter-Uhr zu laufen beginnt, weil nun die kosmischen Strahlen das Meteoritenmaterial erreichen können.

Da die Teilchen der kosmischen Strahlung nur etwa zwei Meter tief in das Meteoritenmaterial eindringen können, d.h. also gebremst werden, ist ihr Effekt an der Oberfläche nicht derselbe wie im Innern. Dieser Tiefeneffekt hat einen Einfluss auf die Verhältnisse der verschiedenen kosmogenen Edelgase zueinander, und es kann deshalb berechnet werden, wie gross der Meteorit gewesen sein muss, bevor er in den Anziehungsbereich der Erde geriet und von dieser eingefangen wurde. Die voratmosphärische Grösse ist meistens nicht dieselbe wie die des gefundenen Meteoriten, da dieser beim Durchdrin-

gen der Atmosphäre häufig mit Donner und Rauch in mehrere Stücke zerspringt. Aus den Edelgasverhältnissen können wir schliessen, dass der Meteorit Utzenstorf einen Durchmesser von weniger als 60 cm gehabt haben muss, bevor er die Erde erreichte (*Eugster* u.a., 1969). Dies entspricht einem Stein von höchstens 400 kg Gewicht. Da nur ein Stein von 3, 4 kg Gewicht gefunden wurde, liegen möglicherweise noch mehr Meteoritenbruchstücke in der Gegend von Utzenstorf.

Die Isotopen in einem Meteoriten enthüllen uns aber weitere Geheimnisse ausser denjenigen, die den Meteoriten selbst betreffen: Die Meteoriten erlauben es uns nämlich, das Alter und die Frühgeschichte des Sonnensystems zu enträtseln. Wir verfügen heute über drei verschiedene Quellen von Material des Sonnensystems, das im Labor eingehend untersucht werden kann: irdische Gesteine, Mondgesteine und Meteoriten. Obschon die Erde vor 4600 Millionen Jahren gebildet wurde, sind die ältesten Gesteine erst vor ungefähr 3700 Millionen Jahren erstarrt und konnten deshalb keine durch den radioaktiven Zerfall vor dieser Zeit entstandenen Gase speichern. Aus diesem Grunde enthalten die irdischen Gesteine keine direkten Informationen über die ersten 900 Millionen Jahre der Erde. Die Masse des Mondes ist 81mal kleiner als diejenige der Erde, weshalb der Mond rascher abkühlte. Man weiss heute, dass der Mond auch vor 4600 Millionen Jahren gebildet wurde; seine steinige Kruste verfestigte sich zwar schneller als die der Erde, aber doch mehrere hundert Millionen Jahre nach der Entstehung des Mondes. Die kleinen Asteroiden, deren Masse weniger als ein Milliardstel der Erdmasse betragen, kühlten sich nach ihrer Bildung sehr rasch ab und die Meteoriten, die Bruchstücke von Asteroiden, enthalten deshalb durch keine spätere Erhitzung verfälschte Mengen an Zerfallsprodukten von radioaktiven Isotopen.

Ein in Meteoriten relativ häufig vorkommendes radioaktives Isotop ist Kalium 40, welches in das Edelgasisotop Argon 40 zerfällt. Beide Isotopen wurden in Bern gemessen und daraus das Gesteinsalter berechnet, d.h. die Zeit seit der Abkühlung des Meteoritenmaterials auf eine Temperatur von weniger als 600° C, bei der das Argon 40 im Gestein gespeichert werden konnte. Für den Meteoriten Utzenstorf erhielten wir ein Alter von 4500 Millionen Jahren, ein für Bronzit-Chondrite typisches Alter, wie aus der Abb. 8 ersichtlich ist, in der die Resultate für 101 Meteoritendatierungen aus mehreren Laboratorien, zusammengestellt von *Zähringer* (1968), dargestellt sind. Wenn, auch die anderen Meteoritenklassen und andere Datierungsmethoden

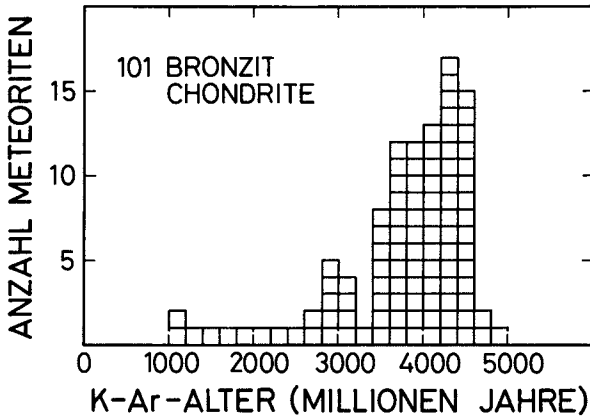


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung der Absolutalter von 101 Meteoriten der Klasse der Bronzit-Chondrite. Das K-Ar-Alter gibt den Zeitpunkt an, als sich das Meteoritenmaterial verfestigte. (Zusammengestellt von Zähringer, 1968.)

in Betracht gezogen werden, kann der Zeitpunkt der Bildung der Asteroiden auf 4600 Millionen Jahre festgelegt werden, was als Alter unseres Sonnensystems betrachtet werden darf, da die Asteroiden zu den ältesten Körpern im Sonnensystem gehören.

Das ist aber noch nicht alles, was an Information im Meteoriten Utzenstorf steckt: Das älteste Material unseres Sonnensystems enthält auch Zerfallsprodukte, die beim Zerfall von sehr kurzlebigen Isotopen entstanden sind. So fanden wir bei der Analyse von Utzenstorf auch Xenon 129, das beim Zerfall von Jod 129 entstanden ist. Die Meteoriten enthalten auch Xenon-isotope, die vom kurzlebigen Plutonium 244 herkommen. Diese beiden Isotope sind so stark radioaktiv, dass sie heute praktisch vollständig zerfallen, also ausgestorben sind. Das Studium der aber noch heute im Meteoritenmaterial enthaltenen Zerfallsprodukte dieser ausgestorbenen Jod- und Plutoniumisotope und anderer radioaktiver Elemente wie Uran und Thorium erlaubt es, Rückschlüsse zu ziehen, wie lange es dauerte, bis unser Sonnensystem aufgebaut war. Wasserburg u.a. (1969) berechneten die überraschend lange Dauer von etwa 10 000 Millionen Jahren, womit der Entstehungsprozess des Sonnensystems vor ungefähr 15 000 Millionen Jahren mit einem Ereignis, das von den Astrophysikern «Big Bang» oder «Urknall» genannt wird, begann.

Der Meteorit, der am 16. August 1928 bei Utzenstorf auf die Erde fiel, ist ein Bote aus dem Weltraum, und die Nachricht, die er mit sich trägt, löst ein Geheimnis, das die Menschen seit jeher beschäftigte, nämlich die Frage, wann Sonne, Erde und Mond entstanden sind.

### *Literatur*

- Anders, E. (1978): Most stony meteorites come from the asteroid belt. In *Asteroids: An Exploration Assessment*. D. Morrison and W. C. Wells (ed.), NASA CP-2053, U. S. Gov. Printing Office, Washington, D. C.
- Bevan, A. W. R. and Easton, A. J. (1977): The Utzenstorf Stony Meteorite. *Schweiz, mineral.-petrogr. Mitt.* 57, 169–173.
- Brown and Patterson (1947): The composition of meteoric matter, *J. Geol.* 40, 405 uff.
- Eberhardt, P., Eugster, O. and Geiss, J. (1965): Radiation ages of aubrites. *J. Geophys. Res.* 70, 4427.
- Eugster, O., Eberhardt, P. and Geiss J. (1969): Isotopic analyses of krypton and xenon in fourteen stone meteorites. *J. Geophys. Res.* 74, 3874.
- Fluri, A. (1911): Vier verschwundene Curiosa der alten Stadtbibliothek, insbes. I. Der Meteorstein von Walkringen. *Blätter für Bernische Geschichte, Kunst und Altertumskunde*, 7, 288–294.
- Gerber, Ed. (1929): Vorläufige Mitteilung über den Meteoriten von Utzenstorf (Unteremmental), Kanton Bern. *Mitt. Naturf. Ges. Bern aus dem Jahre 1928*, 25–31.
- Heide, F. (1957): *Kleine Meteoritenkunde, Verständliche Wissenschaft*, 23. Bd., 2. Aufl. Springer-Verlag Berlin (da vergriffen nur noch auf Bibliotheken erhältlich).
- Hugi, E. (1930): Der Meteorit von Ulmiz (Kt. Freiburg). *Mitt. Naturf. Ges. Bern aus dem Jahre 1929*, 34–121.
- Huttenlocher, H. und Hügi, Th. (1952): Der Meteorit von Utzenstorf, eine petrologische und petrochemische Studie. *Mitt. Naturf. Ges. Bern, N.F. 9. Bd.*, 67–128.
- King, Trude V. V. and King, Elbert A. (1978): Grain size and petrography of C2 and C3 carbonaceous chondrites. *Meteorites* 13, No. 1 March 31, 47–72.
- Mason, B. (1962): *Meteorites*. John Wiley, New York and London.
- Pellas, P., Poupeau, G., Lorin, J. C., Reeves, H. and Andotize, J. (1969): Primitive low-energy particle irradiation of meteoritic crystals. *Nature* 223, 272.
- Van Schmus, W. R. and Wood, J. A. (1967): A chemical-petrologic Classification for the chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 31, 747–765.
- Sears, D. W. (1978): The nature and origin of meteorites. *Monographs on astronomical subjects*: 5. Adam Hilger, Ltd. Bristol.
- Studer, B. (1873): Der Meteorstein von Walkringen. *Mitt. Naturf. Ges. Bern aus dem Jahre 1872, Nr. 792*, 1–7.
- Tschermak, G. (1877): Über den Vulkanismus als kosmische Erscheinung. *Sitzber. Akad. Wiss. Math.-naturw. Kl.* 75, 151–176.

- Wasserburg, G. J., Schramm, D. N. and Huneke, J. C. (1969): Nuclear chronologies for the galaxy. *The Astrophysical Journal* 157, L91.
- Zähringer, J. (1968): Rare gases in stony meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 32, 209.