

Hans Voshage

## Neue Forschungsergebnisse über den Eisenmeteoriten Unter-Mössing

Die Meteoritenforschung hat längst die Grenzen einer beschreibenden und klassifizierenden „Meteoritenkunde“ gesprengt. In verschiedenen Forschungsinstituten, darunter im Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz, interessiert man sich heutzutage sehr für jene unscheinbaren Besonderheiten der chemischen Zusammensetzung der meteoritischen Materie, die nur mit ausgeklügelten und evtl. auch aufwendigen analytischen Methoden entdeckt und gemessen werden können. Die Entschlüsselung gerade dieser Besonderheiten liefert nämlich ein zunehmend besseres Bild von der vor-irdischen Geschichte der Meteorite und außerdem sonst nicht erhältliche Informationen über das Alter, die Entstehung und die Weltraumumgebung unseres Planetensystems.

### Meteorite als Asteroidenfragmente

Unser Planetensystem ist von Zehntausenden von Asteroiden bevölkert, die nicht nur im Asteroidengürtel zwischen den Mars- und Jupiterbahnen, sondern auch innerhalb dieses Gürtels ihre Bahnen um die Sonne ziehen. Es gibt Hinweise darauf, daß sowohl die Stein- wie die Eisenmeteorite Bruchstücke dieser Asteroiden sind. Zum Beispiel verhält sich das Sonnenlicht bei der Reflexion an Asteroiden gerade so wie bei der Reflexion an meteoritischem Material; die Ähnlichkeiten im Reflexionsverhalten sind so spezifisch, daß sie einen genetischen Zusammenhang zwischen einigen Arten von Meteoriten und verschiedenen Arten von Asteroiden nahelegen. Von einigen Meteoriten konnte man auf Grund genauer Beobachtungen der Fallerscheinungen die Bahnen im interplanetaren Raum berechnen; die sonnenfernsten Abschnitte dieser Bahnen lagen tief im Asteroidengürtel. Die Raumfahrtmissionen des letzten Jahrzehnts haben gezeigt, daß alle aus hinreichend festen Materialien bestehenden Oberflächen der Planeten und ihrer Monde mit Kollisions-

Im vergangenen Jahr (1979) haben wir eine Probe des im Museum der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg ausgestellten Eisenmeteoriten Unter-Mössing in unsere Studien über einen Teilaspekt der Meteoritenforschung einbezogen. Eine schon 1975 von L. SCHULTZ durchgeführte Untersuchung zum gleichen Thema hat Prof. E. PREUSS in einem früheren Aufsatz über Forschungsergebnisse am Meteoriten Unter-Mössing erwähnt (NHG-Jahresmitteilungen 1976). Hier soll zusammenfassend über beide Untersuchungen berichtet werden. Bei dieser Gelegenheit sei dem Vorstand der NHG dafür gedankt, daß er eine Probe des Meteoritenmaterials „geopfert“, dadurch aber auch, wie wir hoffen, den Wert des Meteoriten zum Vorteil aller naturwissenschaftlich Interessierten gesteigert hat.

kratern übersät sind. Das trifft ganz gewiß auch für die noch nicht aus der Nähe photographierten Asteroiden zu. Kaum ein Meteoritenexperte bezweifelt heute mehr, daß es sich bei den Meteoriten überwiegend um Material handelt, das bei Kollisionen zwischen Asteroiden aus den dabei entstehenden Kratern, teilweise wohl aber auch beim mehr oder weniger vollständigen Auseinanderbrechen von kleinen Asteroiden freigesetzt wurde.

Von da an haben die Asteroidenbruchstücke als selbständige Kleinstplaneten die Sonne auf Bahnen umkreist, die nicht allzusehr von den Bahnen ihrer „Mutterasteroiden“ verschieden waren. In Zeiträumen von vielen Jahrtausenden sind ihre Bahnen aber nach und nach durch Gravitationswechselwirkungen mit den Planeten verändert worden. Oft sind die „Meteoroiden“ dabei auf Bahnen geraten, auf denen sie mit der Erde zusammengestoßen und auf die Erdoberfläche aufgeprallt sind. Die Stücke, die den Durchgang durch die irdische Atmosphäre überlebt haben, nennen wir „Meteorite“.

Wir haben bei unserer Studie u.a. die Frage zu beantworten versucht, wie lange der Meteoroid Unter-Mässing nach dem Herausgebrochen-Werden aus seinem Mutterkörper unterwegs war, bis er auf die Erde aufschlug. Dadurch, daß wir diese Frage für

eine Vielzahl von Eisenmeteoriten beantworteten, hoffen wir, zur Lösung eines anderen ungelösten Problems beitragen zu können: Wie war das Nickeleisenmaterial im Inneren der Asteroiden verteilt und wie ist es entstanden?

### **Durch die kosmische Strahlung erzeugte Edelgasisotope im Meteoriten Unter-Mässing**

Während ihrer Reise durch den interplanetaren Raum sind die Meteoroiden der kosmischen Strahlung ausgesetzt, die zu über 90% aus schnellen, energiereichen Protonen besteht. Diese dringen 5, 10 oder 20 cm tief in das Material ein, kollidieren mit Atomkernen und zersplintern sie eventuell. Dabei wird auch eine sekundäre Teilchenstrahlung ausgelöst, die tiefer in die Meteoroiden eindringt und sogar noch in rund einem Meter Tiefe zu zwar sehr geringen, aber durchaus meßbaren Veränderungen der Materialzusammensetzung führt. All diese Kernreaktionen faßt man unter den Namen Zersplittungs- oder Spallations-Reaktionen zusammen; die „spallogenen“ Reaktionsprodukte sind sowohl leichte, abgesplitterte Kernbruchstücke wie z.B. Atomkerne der Heliumisotope  $^3\text{He}$  und  $^4\text{He}$  als auch die übrigbleibenden Ruinen der getroffenen Atomkerne, die sogenannten Restkerne. Bei der Bestrahlung von Eisenmeteoriten werden alle Sorten von Atomkernen und damit auch alle Elemente erzeugt, die leichter sind als Eisen. Ihre Konzentrationen im Meteoriten liegen allerdings typischerweise in den Größenordnungen um Milliardstel Gramm pro Gramm Meteoritensubstanz. Deshalb sind längst nicht alle Sorten von Spallationsprodukten auch wirklich nachweisbar.

Im Meteoriten Unter-Mässing sind die spallogenen Edelgase Helium, Neon und Argon schon 1975 durch L. SCHULTZ nachgewiesen worden. Abb. 1 zeigt ein stark vereinfachtes Schema der dabei benutzten Apparatur. Eine Probe von  $\frac{1}{4}$  g des Meteoriten wurde in einem Ultrahochvakuum-Ofen bei  $1800^\circ\text{C}$  vollständig verdampft, wobei sich das Nickeleisen aber sofort oben an den kalten Wänden des Ofenrohrs wieder niederschlagen konnte. Das freigesetzte Gas hatte

die Möglichkeit, sich mit erhitztem Titanmetall zu verbinden. Die nicht reaktionsfähigen Edelgase Helium, Neon und Argon blieben gasförmig in der Apparatur zurück. Zur quantitativen Analyse wurde das zunächst im linken Teil (Abb. 1) befindliche Edelgasgemisch in ein Massenspektrometer expandiert. In der Ionenquelle eines solchen Gerätes werden durch Elektronenbeschuß der Gasatome positiv geladene Edelgasionen erzeugt, die elektrisch beschleunigt und dadurch zu einem gerichteten Ionenstrom gebündelt werden. Beim Durchgang durch das Magnetfeld wird der Ionenstrom abgelenkt, wobei aber für leichte Ionen ein größerer Ablenkeffekt erzielt wird als für schwere. Der Magnet sortiert die Ionen also nach ihren Massen. Durch passende Einstellung der Magnetfeldstärke können die verschiedenen Teilionenströme zeitlich nacheinander auf den Ionenauffänger gelenkt und einzeln gemessen werden. Die quantitativen Beziehungen zwischen den verschiedenen Stromstärken und den entsprechenden Gasmengen in der Apparatur werden durch Eichung bestimmt; dazu wird durch eine Schleuse hindurch ein wohl dosierter Schluck eines Edelgasgemischs bekannter Zusammensetzung eingelassen. Die bei dem Experiment von L. SCHULTZ gefundenen Konzentrationen an Edelgasisotopen sind in Tab. 1 zusammengestellt. Die Gaskonzentrationen werden in Millionstel Kubikzentimeter pro Gramm Meteoriteneisen angegeben, wobei der Zusatz NTP bedeutet, daß es sich um auf Normalbedingungen (Temperatur =  $0^\circ\text{C}$ , Druck = 1 atm) bezogene Kubikzentimeter handelt. Die Konzentrationen sind also außerordentlich klein.

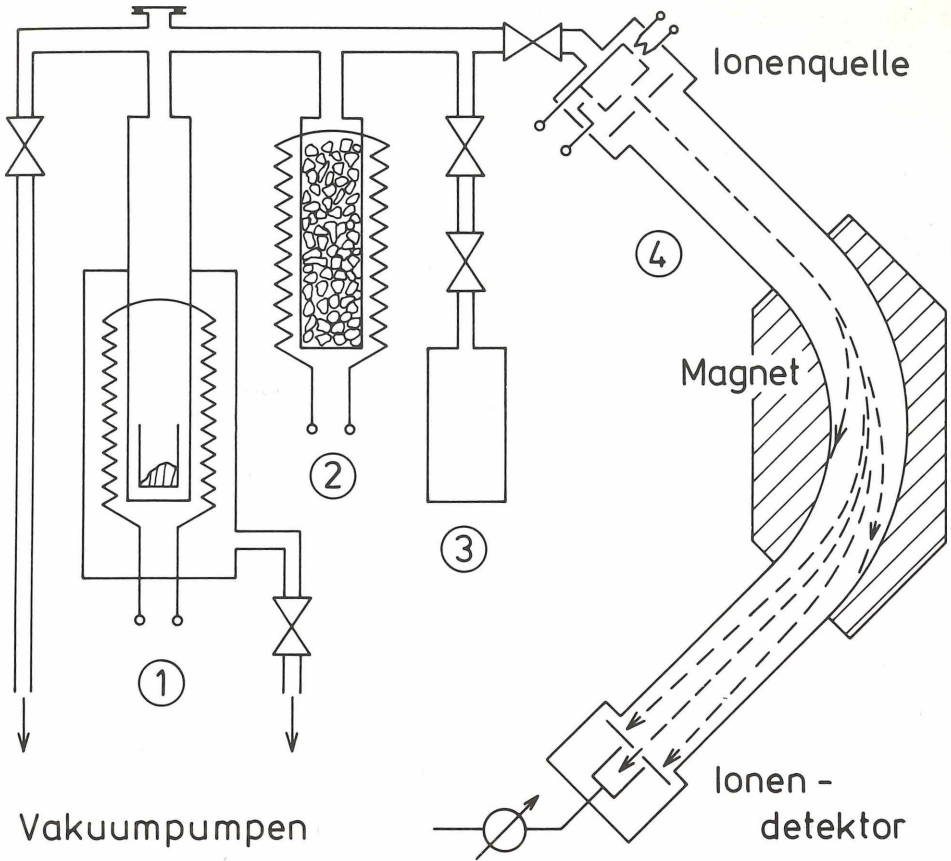


Abb. 1. Schema einer Apparatur für Extraktion und Analyse von Helium, Neon und Argon aus Eisenmeteoriten.

- 1) Extraktionsofen mit Probenriegel aus Molybdän, Ofenrohr aus Tantal und Schutzvakuum für das Heizelement.
- 2) Titan-Getterofen zur chemischen Bindung reaktionsfähiger Gaskomponenten.
- 3) Behälter und Schleuse für den Einlaß von Edelgasgemischen zur Eichung der Apparatur.
- 4) Massenspektrometer.

Tabelle 1. Konzentrationen (in  $10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ NTP/g}$ ) der Isotope von Helium, Neon und Argon im Eisenmeteoriten Unter-Mässing (L. SCHULTZ, 1975).

$^3\text{He}$	$^4\text{He}$	$^{20}\text{Ne}$	$^{21}\text{Ne}$	$^{22}\text{Ne}$	$^{36}\text{Ar}$	$^{38}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}$
10,7	38,1	0,135	0,144	0,154	0,397	0,622	0,39

Das Häufigkeitsverhältnis des leichten Heliumisotops  $^3\text{He}$  zum schweren  $^4\text{He}$  ist mit etwa 1:4 sehr verschieden von dem entsprechenden Verhältnis 1 : 700 000 für atmosphärisches Helium. Für das Neon unterscheiden sich die Verhältnisse  $^{20}\text{Ne} : ^{21}\text{Ne} : ^{22}\text{Ne} = 0,93 : 1,00 : 1,07$  ebenfalls stark von

den entsprechenden Verhältnissen 338 : 1 : 35 für atmosphärisches Neon. Daß die verschiedenen Isotope eines Elementes in größenordnungsmäßig gleichen Häufigkeiten vorkommen, ist ein spezifisches Charakteristikum für spallogene Reaktionsprodukte.

Aber auch die Häufigkeitsverhältnisse für die verschiedenen Edelgase sind dafür charakteristisch. Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß z.B. bei der Spallation eines Eisenkerns der Masse 56 ein kleiner  $^4\text{He}$ -Atomkern abspaltet, ist viel größer (in unserer Unter-Mässig-Probe 265 mal) als die Wahrscheinlichkeit dafür, daß dabei ausgerechnet auch eine  $^{21}\text{Ne}$ -„Ruine“ übrigbleibt. Das  $^4\text{He}/^{21}\text{Ne}$ -Häufigkeitsverhältnis von 265 sagt uns, daß unsere Probe nicht stark durch sie allseitig umgebendes Meteoroidenmaterial gegen die kosmische Strahlung abgeschirmt gewesen war. Wäre sie stark abgeschirmt gewesen, dann wäre bei der Analyse ein sehr viel höheres Verhältnis, etwa zwischen 400 und 900, herausgekommen. Die in ihrer Intensität und Energie stark geschwächte Sekundärstrahlung im Inneren sehr großer Meteoroiden ist nämlich kaum

mehr fähig, Eisenkerne so „zusammenzuschießen“, daß von deren 56 Protonen und Neutronen nur noch die 21 eines  $^{21}\text{Ne}$ -Kerns übrigbleiben. Kleine  $^4\text{He}$ -Trümmerbruchstücke werden dagegen immer noch häufig abgelöst. Ein hohes  $^4\text{He}/^{21}\text{Ne}$ -Verhältnis deutet also auf den Beschuß mit relativ energiereichen Teilchen und auf das Fehlen der energiereicheren kosmischen Primärstrahlung hin. Umgekehrt bedeutet das relativ niedrige  $^4\text{He}/^{21}\text{Ne}$ -Verhältnis von 265, daß unsere Probe viel energiereiche Strahlung abbekommen hat. Ob sich die Probe allerdings nahe der Oberfläche eines Riesenmeteoroiden oder in der Mitte eines ziemlich kleinen Meteoroiden befunden hat, kann durch eine Edelgasanalyse allein nicht festgestellt werden. Ich komme weiter unten auf diese Frage zurück.

### Spallogene Kaliumisotope und das Bestrahlungsalter von Unter-Mässig

Unter den spallogenen Restkernen kommen auch die des Kaliums vor. Die drei verschiedenen Arten bestehen aus 19 Protonen und entweder aus 20, 21 oder 22 Neutronen; es handelt sich also um die Isotope  $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$  und  $^{41}\text{K}$ . Unter ihnen zeichnen sich die  $^{40}\text{K}$ -Atomkerne dadurch aus, daß sie sich mit einer überhaupt nicht beeinflussbaren, sehr kleinen Geschwindigkeit durch radioaktiven „Zerfall“ entweder in  $^{40}\text{Ar}$ - oder  $^{40}\text{Ca}$ -Atomkerne umwandeln. Von einer einmal vorhandenen Menge von  $^{40}\text{K}$  ist nach 1,3 Milliarden Jahren die Hälfte nicht mehr vorhanden. Die Abb. 2 zeigt, wie sich die Konzentrationen der drei Kaliumisotope im Meteoroiden Unter-Mässig langsam aufgebaut haben. In diesem Bild haben wir das Ergebnis unserer Messung bereits vorausgenommen, nämlich daß die Bestrahlung vor 1,4 Milliarden Jahren begann. Außerdem ist vorausgesetzt, daß das Meteoroidenmaterial bis zu dieser Zeit gar kein Kalium enthielt und daß die Bestrahlungsintensität und damit die Produktionsgeschwindigkeiten der spallogenen Isotope von da an immer konstant gewesen sind.

Im Prinzip ist unser Bild mit einem Diagramm für die zeitliche Vermögensentwicklung

eines Geschäftsmannes vergleichbar, der seinen konstant fließenden Reinerlös immer in den selben Verhältnissen auf drei Geldsäcke verteilt, von denen einer ein Loch hat, dessen Durchlässigkeit der angesammelten Geldmenge proportional ist. Natürlich bleibt die hierin angesammelte Geldmenge mit der Zeit immer mehr hinter denen in den anderen Säcken zurück. Auch ohne Kenntnis der absoluten Höhe des Reinertrags oder des bis jetzt angesammelten Vermögens wäre es nun aber möglich, den Einstieg unseres Sparers ins Geschäftsleben zu datieren, wenn man nur wüßte,

1. in welchen Verhältnissen er den Ertrag auf die Säcke zu verteilen pflegt,
2. in welchen Verhältnissen die Sackinhalte jetzt stehen und
3. wie lange es dauern würde, bis im löchrigen Sack bei gestoppter Geldzufuhr ein einmal erreichter Inhalt zur Hälfte ausgelaufen wäre.

Die Analogiebetrachtung soll das zur Bestimmung des „Bestrahlungsalters“ von Unter-Mässig und anderen Eisenmeteoriten angewendete Prinzip verdeutlichen.

Offensichtlich geht es darum, das Massenspektrum von Kalium und die Verhältnisse

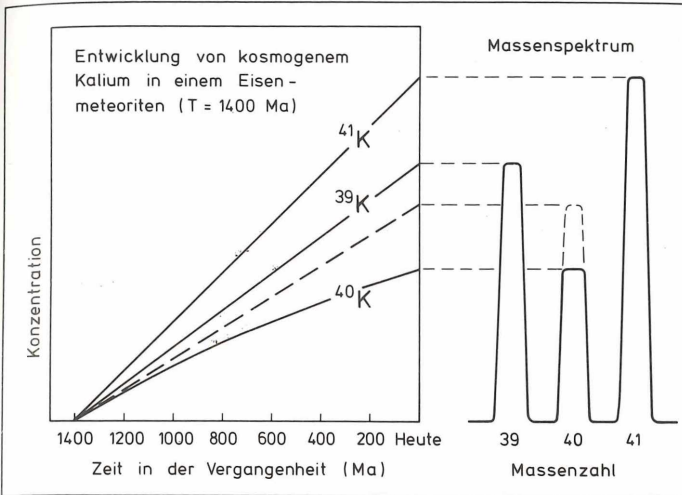
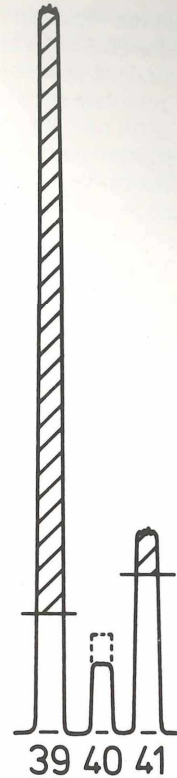


Abb. 2. Die zeitliche Entwicklung der Isotopenzusammensetzung und das Massenspektrum von spallogenenem Kalium in einem Eisenmeteoriten mit einem Bestrahlungsalter von 1400 Ma (Ma = Millionen Jahre).

Abb. 3. Massenspektrum von Kalium aus einer Probe des Eisenmeteoriten Unter-Mässing in seiner Zusammensetzung aus der spallogenen (vgl. Abb. 2) und gewöhnlichen Komponente (schraffiert).



der Produktionsgeschwindigkeiten zu bestimmen. Die mathematische Formulierung des Problems und eine ziemlich detaillierte Darstellung unseres Experimentes ist in einer neueren Publikation von VOSHAGE, FELDMANN und SCHULTZ (1980) enthalten. Im folgenden fasse ich nur die Hauptpunkte zusammen:

Die Abb. 3 zeigt das von uns erhaltene Massenspektrum von Kalium aus dem Meteoriten Unter-Mässing. Auf den ersten Blick ist es dem Spektrum von Abb. 2 ganz unähnlich. Das liegt daran, daß dem Spektrum von spallogenenem Kalium noch das von gewöhnlichem Kalium überlagert ist. Gewöhnliches Kalium enthält fast kein  $^{40}\text{K}$  und die Häufigkeiten von  $^{39}\text{K}$  und  $^{41}\text{K}$  stehen etwa im Verhältnis 93 : 7. Anders als im Fall der Edelgase ist bei der Bildung des meteoritischen Nickeleisens trotz des lithophilen Charakters von Kalium doch eine winzige Spur davon ins Kristallgefüge eingebaut worden. Die Auswertung des Spektrums nach allen in der

oben erwähnten Publikation beschriebenen Regeln ergibt für das Bestrahlungsalter von Unter-Mässing ein Ergebnis von  $1385 \pm 75$  Millionen Jahren, d.h. praktisch 1,4 Milliarden Jahre.

Für die Abtrennung und Isotopenhäufigkeitsanalyse von Kalium aus Eisenmeteoriten mußte eine besondere Apparatur entwickelt werden, die sich von der in Abb. 1 skizzierten Edelgasapparatur unterscheidet, aber doch, wenigstens im Prinzip, die gleichen Funktionen zu erfüllen hat: Extraktion, Reinigung und Massenspektrometrie. Auf die Mengenbestimmung und damit die Eichung kann man dagegen verzichten: Es kommt nur auf die Verhältnisse der Konzentrationen der drei Isotope an, und es genügt daher die Abtrennung und Analyse einer repräsentativen Stichprobe.

Dabei kommt uns eine besondere Eigenschaft der Kaliumatome zustatten: Sie besitzen ein sehr locker gebundenes Valenzelektron. Wenn man eine Probe eines Eisen-

meteoriten im Hochvakuum schmilzt, verdampfen alle flüchtigen Elemente, darunter auch Kalium. Die Kaliumatome hinterlassen jedoch ihr locker gebundenes Valenzelektron in der Schmelze, das heißt, sie verdampfen als positiv geladene Ionen. Wir extrahieren diese Ionen mit geeigneten elektrischen Feldern aus dem Schmelztiegel und fangen sie selektiv auf einem Platindraht auf. Den Platindraht mit dem darauf niedergeschlagenen Kaliumpräparat überführen wir

dann in die Ionenquelle eines Massenspektrometers. Wenn wir nun einen elektrischen Strom durch den Platindraht schicken und ihn auf diese Weise erhitzen, verdampfen die Kaliumatome wiederum unter Hinterlassung ihres Valenzelektrons, und wir erhalten so die Ionenströme, die wir für die Massensortierung im Magneten des Massenspektrometers brauchen. Wir kommen dabei mit Präparaten von größenordnungsmäßig  $10^{-12}$  g abgetrennten Kaliums aus.

## Vergleich mit den Bestrahlungsaltern anderer Meteorite

Das für Unter-Mässing erhaltene Bestrahlungsalter von 1400 Ma (Ma = Millionen Jahre) ist für Meteorite ungewöhnlich hoch. Zwar haben wir schon vor Jahren für einen anderen Meteoriten, Deep Springs, ein Alter von 2300 Ma gemessen, jedoch liegen die Alterswerte für die meisten Eisenmeteorite zwischen 400 und 900 Ma.

Werte um 675 und 450 Ma kommen besonders häufig vor. Die 675 Ma alten Meteorite sind hinsichtlich ihrer Gehalte an gewissen Spurenelementen, insbesondere an Gallium und Germanium, einander sehr ähnlich. Die 450 Ma alten Meteorite sind einander ebenfalls ähnlich, aber von den 675 Ma alten ganz verschieden. Die Deutung ist, daß diese Meteorite von zwei verschiedenen Mutterasteroiden stammen; der eine erlitt vor 675 Ma, der andere vor 450 Ma eine stärkere Kollision, wobei jedesmal vielleicht Hunderte von Millionen von Meteoroiden freigesetzt wurden. Nur wenige von ihnen fielen nach und nach auf die Erde und noch viel weniger, nämlich etwa 150 bzw. 40, gerieten in unsere naturhistorischen Museen.

Unter-Mässing stammt höchstwahrscheinlich von noch einem anderen Asteroiden, denn er unterscheidet sich von den eben erwähnten Meteoriten nicht nur in seinem Bestrahlungsalter, sondern auch in seinem Gehalt an Spurenelementen und in seiner metallographischen Struktur. Es sind nur noch 7 weitere Meteorite bekannt, die ihrer chemisch-metallographischen Klassifikation entsprechend ebenfalls vom „Unter-Mäs-

sing-Asteroiden“ stammen könnten. Nur für einen von ihnen, dem 1938 in Colorado in den USA gefundenen Wiley, haben wir bisher das Bestrahlungsalter gemessen und einen Wert von 800 Ma erhalten. Der Unter-Mässing-Asteroid hat also nicht alle „seine“ Meteorite gleichzeitig in den interplanetaren Raum entlassen. Das ist ja von vornherein auch gar nicht zu erwarten, denn wir glauben zu wissen, daß alle planetaren Körper von vielen nacheinander entstandenen Kollisionskratern übersät sind.

Es ist übrigens noch nicht klar, wie die Metallbrocken, die von Zeit zu Zeit auf die Erde fallen, ursprünglich in ihren Mutterasteroiden verteilt waren und wie sie entstanden sind. Aber sicherlich kommen die Oberflächenschichten vieler Asteroiden als Lieferanten für Eisenmeteorite gar nicht in Frage. In der Tat fallen auch viel mehr Stein- als Eisenmeteorite.

Die Bestrahlungsalter von Steinmeteoriten können nicht nach unserer Kaliummethode bestimmt werden. Steinmeteorite enthalten soviel gewöhnliches Kalium (vgl. Abb. 3), daß der später entstandene, geringe spallogene Beitrag daneben oft nicht auszumachen ist. Es gibt aber auch Methoden zur Bestimmung der Bestrahlungsalter von Steinmeteoriten.

Die Bestrahlungsalter der Steinmeteorite liegen i.a. zwischen 1 und 50 Ma, sind also sehr deutlich kleiner als die der Eisenmeteorite. Steinmeteorite können im interplanetaren Raum nicht so alt werden wie Eisenmeteorite. Offensichtlich erleben Meteoro-

roide immer wieder Zusammenstöße, bei denen die Steinmeteoroiden in Zeiträumen von einigen 10 Ma aufgerieben werden und nur die widerstandsfähigeren Eisenmeteo-

roide für längere Zeit überleben. Untermäsing ist dafür ein ganz hervorragendes Beispiel.

## Die Größe des Meteoroiden Unter-Mäsing

Wenn wir annehmen, die Konzentration  $C_{21}$  von spallogem  $^{21}\text{Ne}$  ( $C_{21} = 0,1435 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ NTP/g}$ , vgl. Tab. 1) habe sich während der  $T = 1400 \text{ Ma}$  während Bestrahlung in zeitlich gleichmäßiger Weise aufgebaut, dann berechnen wir mit der Formel  $P_{21} = C_{21}/T$  für die Produktionsgeschwindigkeit  $P_{21}$  von  $^{21}\text{Ne}$  einen Wert von etwa  $1 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^3 \text{ NTP/g} \cdot \text{a}$ . Das heißt: In jedem Gramm unserer Unter-Mäsing-Probe hat die kosmische Strahlung jedes Jahr 3000  $^{21}\text{Ne}$ -Atome produziert, oder alle drei Stunden ein Atom.

Natürlich hängt die Produktionsgeschwindigkeit von  $^{21}\text{Ne}$  davon ab, von wieviel Meteoroidenmaterial die Probe während der Bestrahlung umgeben war. Wie weiter oben schon erläutert wurde, nimmt sie in jedem Meteoroiden von außen nach innen ab, während das  $^4\text{He}/^{21}\text{Ne}$ -Verhältnis zunimmt, weil die leichten  $^4\text{He}$ -Atomkerne ja auch durch die energiearme Sekundärstrahlung relativ leicht von den getroffenen Eisenatomkern abgesplittert werden können. Aus dem gleichen Grunde nimmt die Produktionsgeschwindigkeit von  $^{21}\text{Ne}$  auch mit zunehmender Masse der Meteoroiden ab.

Für ungefähr kugelförmige Eisenmeteoroiden sind diese Zusammenhänge einigermaßen gut bekannt (VOSHAGE und FELDMANN, 1979) und in Abb. 4 dargestellt. Aus Tab. 1 entnehmen wir für unsere Probe, daß  $^4\text{He}/^{21}\text{Ne} = 265$  ist, und erhalten zusammen mit dem oben angegebenen Wert für die  $^{21}\text{Ne}$ -Produktionsrate den eingezeichneten Meßpunkt. Der Meteoroid Unter-Mäsing hatte demnach eine prä-atmosphärische Masse von etwa 2000 kg, und unsere Probe stammt aus einer Tiefe von etwa 15 cm.

Demgegenüber beträgt die Masse des Meteoriten nur etwa 80 kg. Ein sehr großer Teil des Unterschiedes zwischen Meteoroiden- und Meteoritenmasse geht sicher auf das Konto des Abbrandes, den jeder Meteoroid

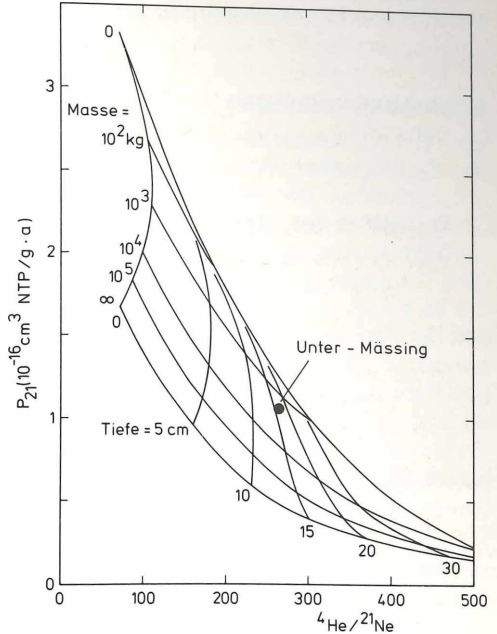


Abb. 4. Die  $^{21}\text{Ne}$ -Produktionsrate  $P_{21}$  und das Verhältnis  $^4\text{He}/^{21}\text{Ne}$  als Funktion der Meteoroidenmasse und Probentiefe für annähernd kugelförmige Meteoroiden. Der eingezeichnete Punkt entspricht den Resultaten für unsere Unter-Mäsing-Probe.

beim Durchgang durch die irdische Atmosphäre erleidet. Vielleicht sind vom Meteoroiden Unter-Mäsing dabei auch noch größere Stücke abgebrochen, die nicht aufgefunden wurden. Dem ist hinzuzufügen, daß derartige Größenabschätzungen grundsätzlich nicht besonders genau sind.

Andererseits haben unsere bisherigen Messungen (VOSHAGE und FELDMANN, 1979) gezeigt, daß die entsprechenden Meßpunkte für sehr große Meteorite, die z.B. Einschlagkrater von 100 m Durchmesser oder mehr auf der Erdoberfläche produziert haben, stets in den unteren Randbereichen des in Abb. 4 gezeigten „erlaubten“ Gebietes liegen. So groß war der Meteoroid Unter-Mäsing also sicher nicht.

Der Meteorit Unter-Mässing ist nur etwa 60 km vom Nördlinger Ries entfernt aufgefunden worden. Diese Tatsache legte natürlich die Frage nahe, ob er ein vom Impaktprojektill des Rieskraters stammendes Fragment sein könnte, das entweder schon in der hohen Atmosphäre oder beim explosiven Auf-

schlag von der Hauptmasse des Projektills abgespalten ist. Die aus Abb. 4 ablesbare Antwort auf diese Frage ist, daß die unserem Meteoriten zugehörige präatmosphärische Masse nicht so groß gewesen sein kann, daß sie den Rieskrater hätte produzieren können.

## Schlußbemerkungen

Vom Bestrahlungsalter eines Meteoriten ist das Bildungsalter seines Materials streng zu unterscheiden. Das Bildungsalter gibt den „Zeitpunkt“ in der fernen Vergangenheit an, als beim letztmaligen Erkalten des Materials eine Temperatur unterschritten wurde, bei der es infolge der thermischen Beweglichkeit der Atome gerade noch einen Stofftransport über die Grenzen der verschiedenen Mineralbestandteile gegeben hat. Von da an gab es nur noch geringe stoffliche Veränderungen. Etwa der Art, daß durch die kosmische Strahlung ausgelöste Kernreaktionen zur Neubildung von Spallationsprodukten geführt haben. Andere geringfügige Veränderungen sind in allen Meteoriten, ebenso wie in allen Erd- und Mondgesteinen, durch den langsamen Zerfall von radioaktiven Isotopen einiger Elemente wie Uran, Rhenium, Rubidium, Kalium u.a. erfolgt. Das Studium dieser Veränderungen ermöglicht die Bestimmung der oben definierten Bildungsalter.

Für weitaus die meisten Meteorite, darunter auch für die Eisenmeteorite, werden übereinstimmende Bildungsalter von 4,6 Milliarden Jahren gemessen. Natürlich: Das meteoritische Material, d.h. das Material der Mutterasteroiden, ist älter als der Meteoroid als Bruchstück seines Mutterasteroiden. Es kann kaum einen Zweifel geben (aber sollte doch eines Tages durch Messungen überprüft werden), daß auch das Nickeleisen-Material unseres Unter-Mässing Meteoriten vor 4,6 Milliarden Jahren entstanden ist. Aber wie? Mit einiger Sicherheit kann man nur sagen, daß dieses Alter wahrscheinlich

die Abtrennung des Nickeleisens aus einem Eisen- und Nickel-haltigen Silikatgemisch datiert.

Noch ein anderes Ergebnis der Meteoritenforschung sei hier erwähnt: Unmittelbar nach seiner Bildung hat meteoritisches Material relativ kurzlebige radioaktive Atomkerne, und zwar solche mit Halbwertszeiten von rund 1 Millionen Jahre enthalten. Diese Atomkerne sind heute – 4,6 Milliarden Jahre später – längst ausgestorben. Die Analysen der Zerfallsprodukte ergeben aber eindeutig, daß der radioaktive Zerfall im „fertigen“ meteoritischen Material erfolgt ist. Wenn es aber die kurzlebigen Atomkerne vor 4,6 Milliarden Jahren in unserem Sonnensystem gab, muß es hier wenige Millionen Jahre vorher Prozesse gegeben haben, durch die sie produziert wurden. Hierfür kommen nur kernphysikalische Reaktionen in Betracht, wie sie bei Sternexplosionen – etwa in Supernovae – ablaufen.

Die Schlußfolgerung der Meteoritenforscher lautet nun folgendermaßen: Vor 4,6 Milliarden Jahren hat eine Sternexplosion das Kollabieren einer ihr benachbarten interstellaren Gas- und Staubwolke und dadurch die Entstehung unserer Sonne, unsers Planetensystems und des Meteoritenmaterials ausgelöst. Die Materie unseres Sonnensystems besteht also aus der sehr alten Materie der interstellaren Gas- und Staubwolke, zu der vor 4,6 Milliarden Jahren in der Sternexplosion frisch synthetisierte Atomkerne, u.a. die erwähnten kurzlebigen, hinzugemischt wurden.



Bei dieser Hinzumischung hat es übrigens keine ganz perfekte Durchmischung der relativ jungen Sternexplosions-Materie mit der älteren Materie der interstellaren Gas- und Staubwolke gegeben. Im Steinmeteoriten Allende hat man kürzlich sogar ganze Mineralkörner gefunden, die aus der alten, „prä-

solaren“ Gas- und Staubwolke stammen müssen und ihren vor 4,6 Milliarden Jahren erfolgten Einbau in das meteoritische Material unbeschadet überstanden haben. Für diese Mineralkörner ergaben die Messungen nämlich das außergewöhnlich hohe Alter von über 5 Milliarden Jahren.

## Literatur:

**PREUSS, E.** (1976): Der Meteorit von Unter-Mässing. – Natur und Mensch, J.Mitt.Nat.Hist.Ges. Nürnberg, S. 49–54.

**VOSHAGE, H.** und **H. FELDMANN** (1979): Investigations on cosmic-ray-produced nuclides in iron meteorites, 3. Exposure ages, meteoroid sizes and sample depths determined by mass spectrometric analyses of potassium and rare gases. – Earth and Planetary Science Letters 45, pp. 293–308.

**VOSHAGE, H., H. FELDMANN** und **L. SCHULTZ** (1980): Das Bestrahlungsalter und die präatmosphärische Größe des Eisenmeteoriten Unter-Mässing. Z. Naturforschung 35a, S. 50–56.

Anschrift des Verfassers:

**Prof. Dr. Hans Voshage**  
Max-Planck-Institut für Chemie  
Postfach 3060,  
6500 Mainz

## Buchbesprechung:

George Adams

### **Grundfragen der Naturwissenschaft**

Aufsätze zu einer Wissenschaft des Ätherischen.

Beiträge zur Anthroposophie, Band 5) Übersetzt von Thomas Meyer. Verlag Freies Geistesleben Stuttgart. 145 Seiten mit 10 Abbildungen, kartoniert DM 19,-

Der Band vereinigt Aufsätze des englischen Mathematikers George Adams, die damit erstmalig in deutscher Übersetzung erscheinen. Adams hat sich besonders intensiv mit der synthetischen oder projektiven Geometrie befaßt. Während die traditionelle euklidische Geometrie längst Rüstzeug der Naturwissenschaft ist, aber eben einer atomistisch eingestellten, deren eigentliche Domäne das Reich des Anorganischen darstellt, will Adams aufzeigen, wie die projektive Geometrie, oft auch die „neue“ genannt, dazu berufen ist, in ähnlicher Weise Rüstzeug einer echten Wissenschaft des Lebendigen, nach anthroposophischer Terminologie des Ätherischen, zu werden. Denn das Organische wird ja bislang immer noch weithin mit den Denkweisen und Begriffen zu erforschen gestrebt, die eigentlich nur dem Anorganischen angemessen sind. Es geht also in den Auf-

sätzen zu einem guten Teil um Erkenntniskritik und philosophische Fundierung, was die Lektüre zwar oft nicht leicht, aber dafür gewinnbringend macht. Selbstverständlich wird die neue Geometrie wenigstens referierend soweit dargestellt, daß derjenige, der sie noch nicht kennt, den davon ausgehenden Erörterungen des Verfassers zu folgen vermag. Dies geschieht sogar wiederholt, weil die Aufsätze voneinander unabhängig sind und beispielhaft naturwissenschaftliche Probleme aufgreifen, etwa „Pflanzenwachstum und die Formen des Raums“ oder „Potenzierung und die peripheren Kräfte des Universums“. In der Anordnung, die der Übersetzer getroffen hat, bilden die Aufsätze aber doch eine gewisse Stufenfolge. Mit ihrer klaren Diktion könnten sie manches Vorurteil gegen die anthroposophisch orientierte Naturwissenschaft abbauen helfen.

Heinrich Niebler

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Natur und Mensch - Jahresmitteilungen der naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg e.V.](#)

Jahr/Year: 1979

Band/Volume: [1979](#)

Autor(en)/Author(s): Voshage Hans

Artikel/Article: [Neue Forschungsergebnisse über den Eisenmeteoriten Unter-Mössing 97-105](#)