

Scandium<sup>45</sup> als Reaktionsprodukt der Höhenstrahlung in Eisenmeteoriten I

Von H. WÄNKE

Aus dem Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

(Z. Naturforsch. 13 a, 645—649 [1958] ; eingegangen am 12. Mai 1958)

Mit Hilfe einer Neutronenaktivierungsanalyse wurde der Scandium-Gehalt dreier Eisenmeteorite gemessen. Die gefundenen Scandium-Mengen lagen bei etwa  $10^{-9}$  g Sc/g und erwiesen sich den durch die Höhenstrahlung entstandenen Helium 3-, Helium 4- und Neon-Mengen proportional, wodurch mit ziemlicher Sicherheit der Schluß gezogen werden kann, daß diese Scandium-Mengen zumindestens zum überwiegenden Teil durch die Einwirkung der Höhenstrahlung auf die Atomkerne der Meteorite entstanden sind. Die absoluten Konzentrationen des Scandiums werden mit anderen bisher in Meteoriten gemessenen Reaktionsprodukten der Höhenstrahlung verglichen. Unter Verwendung der gleichen Technik wurde auch der Scandium-Gehalt eines Steinmeteoriten (Pultusk) gemessen. Der gefundene Wert von  $5 \cdot 10^{-6}$  g Sc/g fügt sich gut in andere von Steinmeteoriten gemachte Messungen ein.

In den letzten fünf Jahren ist eine Reihe von Arbeiten bekannt geworden, die sich mit der Einwirkung der Höhenstrahlung auf die Atomkerne der Meteoriten befassen<sup>1-20</sup>. Zunächst beschränkten sich diese Arbeiten auf den Nachweis der „kosmogenen“ Herkunft des schon seit wesentlich längerer Zeit in Eisenmeteoriten aufgefundenen Heliums<sup>1</sup>. Helium mit einem Isotopenverhältnis  $^3\text{He}/^4\text{He} \sim 1:3$  ist auch das bei weitem häufigste Reaktionsprodukt der Höhenstrahlung, das in Meteoriten bisher gemessen wurde. Die Heliumkerne der Masse 3 und 4 entstehen bei den durch die Teilchen der Höhenstrahlung (im wesentlichen Protonen mit Energien oberhalb 2 GeV) ausgelösten Verdampfungsprozessen der Eisenkerne. Die getroffenen Atomkerne werden dabei so hoch angeregt, daß es zu einem Abdampfen einzelner Nukleonen und auch leichter zusammengesetzter Kerne, wie etwa  $^3\text{H}$ ,  $^3\text{He}$  und  $^4\text{He}$  kommt<sup>21</sup>. Das Ergebnis dieser Kernverdampfung ist ein Restkern, der sowohl hinsichtlich seiner Massenzahl als auch seiner Ordnungszahl je nach der

Höhe der primären Anregung mehr oder weniger weit unterhalb der des Eisens zu liegen kommt. Von diesen Restkernen konnten in letzter Zeit Neon und Argon gemessen werden. Die absoluten Konzentrationen sind jedoch z. B. beim Neon um den Faktor von etwa 200 kleiner als die des Heliums.

Neben solchen stabilen Restkernen können natürlich auch alle radioaktiven Kerne unterhalb des Eisens entstehen. Von diesen radioaktiven Kernen wurden bisher  $^3\text{H}$  (s. Anm. 14, 15),  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$  und  $^{60}\text{Co}$  (s. Anm. 17, 18) in Meteoriten nachgewiesen. Bei den stabilen Reaktionsprodukten beschränkten sich jedoch alle bisherigen Arbeiten auf die oben erwähnten Edelgase Helium, Neon und Argon. Es wäre jedoch außerordentlich wünschenswert, auch noch andere Reaktionsprodukte zu messen, vor allem auch im Hinblick auf die in neuester Zeit im Gange befindlichen Arbeiten über die Erzeugungsquerschnitte einer großen Zahl solcher Restkerne durch Bestrahlung von Eisen und anderen Elementen mit verschiedenen Protonenenergien bis zu

<sup>1</sup> K. I. MAYNE, F. A. PANETH u. P. REASBECK, *Geochim. Cosmochim. Acta* **2**, 300 [1952].

<sup>2</sup> K. I. MAYNE, F. A. PANETH u. P. REASBECK, *Nature, Lond.* **172**, 200 [1953].

<sup>3</sup> F. A. PANETH, *Geochim. Cosmochim. Acta* **3**, 257 [1953].

<sup>4</sup> K. F. CHACKETT, P. REASBECK u. E. J. WILSON, *Geochim. Cosmochim. Acta* **3**, 261 [1953].

<sup>5</sup> G. R. MARTIN, *Geochim. Cosmochim. Acta* **3**, 288 [1953].

<sup>6</sup> J. C. DALTON, F. A. PANETH, P. REASBECK, S. J. THOMSON u. K. I. MAYNE, *Nature, Lond.* **172**, 1168 [1953].

<sup>7</sup> P. REASBECK, „Thesis“, University Durham 1953.

<sup>8</sup> P. REASBECK u. K. I. MAYNE, *Nature, Lond.* **176**, 186 [1955].

<sup>9</sup> P. REASBECK u. K. I. MAYNE, *Nature, Lond.* **176**, 733 [1955].

<sup>10</sup> W. GENTNER u. J. ZÄHRINGER, *Z. Naturforsch.* **10 a**, 498 [1955].

<sup>11</sup> E. K. GERLING, *Dokl. Akad. Nauk, USSR.* **107**, Nr. 4, 555 [1956].

<sup>12</sup> E. K. GERLING u. L. K. LEVSKI, *Dokl. Akad. Nauk, USSR.* **110**, Nr. 5, 750 [1956].

<sup>13</sup> W. GENTNER u. J. ZÄHRINGER, *Geochim. Cosmochim. Acta* **11**, 60 [1957].

<sup>14</sup> E. L. FIREMAN u. D. SCHWARZER, *Geochim. Cosmochim. Acta* **11**, 252 [1957].

<sup>15</sup> F. BEGEMANN, J. GEISS u. D. C. HESS, *Phys. Rev.* **107**, 540 [1957].

<sup>16</sup> I. H. REYNOLDS u. J. I. LIPSON, *Geochim. Cosmochim. Acta* **12**, 330 [1957].

<sup>17</sup> W. D. EHMANN, „Thesis“, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

<sup>18</sup> T. P. KOHMAN u. W. D. EHMANN, *UNESCO/NS/RIC/219*.

<sup>19</sup> K. H. EBERT u. H. WÄNKE, *Z. Naturforsch.* **12 a**, 766 [1957].

<sup>20</sup> J. GEISS, *Chimia* **11**, 349 [1957].

<sup>21</sup> K. J. LE COUTEUR, *Proc. Roy. Soc., Lond. A* **63**, 259 [1950].



6 GeV<sup>22-30</sup>. Ein Vergleich der so erhaltenen Erzeugungsquerschnitte mit den in den Meteoriten aufgefundenen Restkernen würde wertvolle Hinweise auf das Energiespektrum der Höhenstrahlung im freien Weltraum liefern. Von besonderem Interesse wäre es auch, Kerne zu messen, die nur wenig unterhalb des Eisens liegen, da hiermit insbesondere in kleinen Meteoriten (geringer Anteil der Sekundärteilchen an den Kernverdampfungsprozessen) Aussagen über das untere Ende des Energiespektrums der Höhenstrahlung möglich würden. Der Nachweis stabiler Kerne fester Elemente als Reaktionsprodukte der Höhenstrahlung wird jedoch durch zwei Umstände sehr erschwert.

Bestehen die Eisenmeteorite auch zum überwiegenden Teil aus reinem Eisen mit etwa 10% Nickel und 0,6% Co, so sind doch auch fast alle anderen in Frage kommenden Elemente, wenn auch nur in Spuren, so doch im Verhältnis zu den Mengen, die man als Restkerne zu erwarten hat, in viel zu großen Konzentrationen vertreten. Die Mengen, die man zu erwarten hat, lassen sich größenordnungsmäßig aus den bekannten Konzentrationen von Neon und Argon abschätzen. Dabei kommt man zu Konzentrationen von etwa  $10^{-10}$  bis  $10^{-9}$  g/g. Es bedarf daher der Verwendung spezieller außerordentlich empfindlicher Methoden, um derartig extrem kleine Mengen noch nachzuweisen bzw. zu messen.

Von allen in Frage kommenden Kernen erschienen uns zwei besonders aussichtsreich bzw. interessant. Nämlich Calcium 46 und Scandium 45. Calcium 46 kommt im natürlichen Calcium nur mit einer Konzentration von  $3,2 \cdot 10^{-5}$  vor, und auch der gesamte Calcium-Gehalt von Eisenmeteoriten ist sehr gering. Anders liegen die Verhältnisse beim Scandium, welches ein Reinelement ist. Dieses ganz allgemein sehr seltene Element ist in der Metallphase der Meteorite sicher nur in sehr kleinen Konzentrationen zu erwarten. Für den Scandium-Gehalt von Eisenmeteoriten findet sich zwar in der Literatur ein Wert von  $4 \cdot 10^{-7}$  g Sc/g<sup>31</sup>, doch ist dieser, wie sich bereits nach unseren ersten Vorversuchen herausstellte, sicherlich wesentlich zu hoch. Allerdings ist zu bemerken, daß der oben erwähnte Wert mit

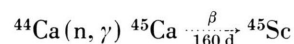
einer Einwaage von 650 g erhalten wurde, während wir für unsere Bestimmungen nur Probenmengen von etwa 1–2 g verwendeten und auch streng darauf achteten, nur Proben mit reiner Metallphase ohne jegliche Einschlüsse zu untersuchen.

## Experimenteller Teil

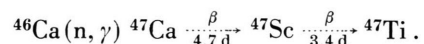
### a) Calcium

Diese Versuche führten bisher nicht zu meßbaren Mengen von Calcium 46; sie seien daher nur kurz beschrieben.

Das Verhältnis <sup>44</sup>Ca/<sup>46</sup>Ca beträgt im natürlichen Isotopengemisch 660 : 1. Mißt man dieses Verhältnis für das Calcium aus Eisenmeteoriten, so kann man daraus sofort auf den Ursprung der einzelnen Calcium-Isotope schließen. Wie wir mit natürlichem Calcium zeigen konnten, läßt sich dieses Verhältnis mit Hilfe einer Neutronenaktivierungsanalyse auf folgende Weise bestimmen



und



Das Verhältnis dieser Aktivitäten von Calcium 45 und Scandium 47 kann also als direktes Maß für das Isotopenverhältnis von <sup>44</sup>Ca/<sup>46</sup>Ca benützt werden.

Eine Probe des Meteoriten Carbo von ca. 10 g wurde 14 Tage in Harwell im Reaktor mit einem Neutronenfluß von  $10^{12}$  Neutronen/cm<sup>2</sup> sec bestrahlt. Nach der Rückkunft wurde die Oberfläche mit Salzsäure gereinigt und die Probe unter Zugabe von Calcium als Träger gelöst. Calcium wurde als CaSO<sub>4</sub> ausgefällt und mehreren Reinigungsoperationen unterzogen, schließlich wurde Scandium zugegeben und dieses von Calcium abgetrennt. Nach neuerlicher Zugabe von Scandium wurde die Lösung 5 Tage stehen gelassen; während dieser Zeit sollte Scandium 47 aus dem Calcium 47 nachwachsen. Danach wurde das zugegebene Scandium wieder abgetrennt und dieses, sowie das zurückbleibende Calcium unter einem Glockenzählrohr gemessen. Ein Vergleich mit einem mit der Probe bestrahlten Calcium-Standard ergab aus der Aktivität von Calcium 45 eine Konzentration von Calcium 44 von  $\leq 2 \cdot 10^{-8}$  g <sup>44</sup>Ca/g. Dieses entspricht für das Isotopenverhältnis des natürlichen Calciums einem Gesamtcalciumgehalt von

<sup>22</sup> E. BATZEL, D. R. MILLER u. G. T. SEABORG, Phys. Rev. **84**, 671 [1951].

<sup>23</sup> G. RUDSTAM, P. G. STEVENSON u. R. L. FOLGER, Phys. Rev. **87**, 358 [1952].

<sup>24</sup> G. RUDSTAM, Phil. Mag. VII, **44**, 1131 [1953].

<sup>25</sup> G. FRIEDLANDER, J. M. MILLER, R. WOLFGANG, J. HUDIS u. E. BAKER, Phys. Rev. **94**, 727 [1954].

<sup>26</sup> E. BELMONT u. J. M. MILLER, Phys. Rev. **95**, 1554 [1954].

<sup>27</sup> G. D. WAGNER u. E. O. WIG, Phys. Rev. **96**, 1100 [1954].

<sup>28</sup> E. L. FIREMAN, Phys. Rev. **97**, 1303 [1955].

<sup>29</sup> L. A. CURRIE, W. F. LIBBY u. R. L. WOLFGANG, Phys. Rev. **101**, 1557 [1956].

<sup>30</sup> E. L. FIREMAN u. J. ZÄHRINGER, Phys. Rev. **107**, 1695 [1957].

<sup>31</sup> IDA NODDACK, Z. anorg. Chem. **225**, 337 [1935].

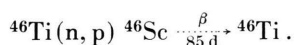
$\leq 10^{-6}$  g Ca/g. Für Calcium 46 ergab sich aus der Scandium 47-Aktivität ein Wert von  $\leq 5 \cdot 10^{-10}$  g <sup>46</sup>Ca/g. In beiden Fällen war es also nur möglich, obere Grenzen anzugeben.

### b) Scandium

Der Gehalt an Scandium sollte ebenfalls durch Neutronenaktivierungsanalyse bestimmt werden:



Günstig ist hier der hohe Einfangquerschnitt von Scandium 45 gegenüber thermischen Neutronen (23 barn). Vorversuche ergaben eine Zählrate von etwa 100 Impulsen/min für  $10^{-9}$  g Sc, welches 14 Tage mit einem Neutronenfluß von  $10^{12}$  Neutronen/cm<sup>2</sup> sec bestrahlt wurde. Die Empfindlichkeit erschien daher durchaus ausreichend. Eine gewisse Schwierigkeit ergibt sich aus der Tatsache, daß dieselbe 85-Tage-Aktivität von Scandium 46 auch noch auf andere Weise gebildet werden kann:



Titan 46 ist im natürlichen Isotopengemisch zu 8,0% enthalten. Die Reaktion benötigt eine minimale Neutronenenergie von 1,57 MeV. Neutronen mit dieser Energie und darüber sind im Reaktor durchaus vorhanden.

Bezüglich des Titangehaltes von Eisenmeteoriten gibt es nur wenig Hinweise. Die gemessenen Werte liegen mit einer Ausnahme zum Teil wesentlich unter  $10^{-4}$  g Ti/g <sup>32, 33</sup>.

Wir haben eine kleine Menge eines Titansalzes im Reaktor bestrahlt. Aus diesem Titanstandard wurde nun Scandium abgetrennt und die Aktivität gemessen. Neben Scandium 46 können durch (n, p)-Prozesse auch noch die Aktivitäten von <sup>47</sup>Sc, <sup>48</sup>Sc, <sup>49</sup>Sc und <sup>50</sup>Sc entstehen. Die beiden letzten Isotope entzogen sich jedoch wegen ihrer kurzen Halbwertszeiten von 57 min bzw.

1,7 min unserer Messung. Das Ergebnis dieser Analyse zeigt Tab. 1.

Der eventuelle Einfluß dieser Nebenreaktion hinsichtlich einer Verfälschung der Meßergebnisse wird weiter unten diskutiert werden. Die Meteoritenproben wurden wiederum sorgfältig auf das Nichtvorhandensein irgendwelcher Einschlüsse hin geprüft. Bei der Kleinheit der verwendeten Proben von 1–2 g war es nicht allzu schwierig, Stücke mit reiner Metallphase auszuwählen. Die Proben wurden in Harwell 14 Tage im Reaktor mit einem Neutronenfluß von  $10^{12}$  Neutronen/cm<sup>2</sup> sec bestrahlt. Die äußersten Schichten wurden mit Salzsäure abgelöst und die nicht zerkleinerten Proben in stark verdünnter Salzsäure elektrolytisch gelöst (1–2 A, etwa 2–3 Stunden). Vorher wurden jeweils 20 mg Scandium als Träger zugesetzt. Während der Elektrolyse wurde durch Zugabe von konzentrierter Salzsäure der pH-Wert konstant gehalten. Die Lösung wurde eingeeengt, mit Schwefelsäure abgeraucht und mit verdünnter Schwefelsäure wieder aufgenommen. Diese Lösung kam nun in ein Elektrolysiergefäß mit Quecksilber als Kathode und einer Platinanode. Unter ständigem Rühren mittels eines Magnetrührers wurde etwa 5 Stunden mit 2 A elektrolysiert, bis die Lösung farblos wurde. Eisen, Nickel und Kobalt werden hierbei kathodisch abgeschieden und gehen ins Quecksilber, Scandium bleibt quantitativ in Lösung. Diese Elektrolyse wurde unter Wechsel des Elektrolysiergefäßes und mit jeweils frischem Quecksilber noch zweimal wiederholt. Vor der zweiten und dritten Elektrolyse wurden jeweils 1 g Eisen, 100 mg Nickel und 10 mg Kobalt in Form der Sulfate zugegeben. Während der Elektrolyse steigt die Wasserstoffionenkonzentration und die Lösung wird farblos.

Auf diese Weise wurde das Scandium von allen Hauptaktivitäten abgetrennt. Die so erhaltene Lösung wurde eingeeengt, mit Salpetersäure neutralisiert, wieder schwach angesäuert und nach vorheriger Zugabe von 3 mg Rutheniumchlorid einer H<sub>2</sub>S-Fällung unterzogen. Aus dem Filtrat wurde nun das Scandium mit Ammontartrat unter Zugabe von NH<sub>4</sub>OH ausgefällt. Der Niederschlag wurde abfiltriert, in Salzsäure gelöst, eingedampft, der Rückstand mit Salzsäure aufgenommen, 5 mg Lanthan als Rückhalteträger zugesetzt und nach Zugabe von Ammonrhodanid zweimal mit Äther extrahiert. Scandium geht dabei als Rhodanid in die äthe-

	<sup>46</sup> Sc	<sup>47</sup> Sc	<sup>48</sup> Sc	<sup>49</sup> Sc	<sup>50</sup> Sc	
Entstanden aus	<sup>46</sup> Ti	<sup>47</sup> Ti	<sup>48</sup> Ti	<sup>49</sup> Ti	<sup>50</sup> Ti	
Häufigkeit	8,0	7,4	73,8	5,5	5,3	%
Halbwertszeit	84 d	3,4 d	44 h	57 m	1,7 m	
Aktivität	$\leq 470$	15800	$\leq 2500$	—	—	Imp./min
Q <sub>theor.</sub>	— 1,57	0,19	— 3,21	— 1,21	— 5,5	MeV

Tab. 1. Aktivitäten der durch (n, p)-Reaktionen erzeugten Scandiumisotope. Die Zahlen der Zählrate gelten für Bestrahlungsende und entsprechen 1 mg Titan, das 14 Tage mit  $10^{12}$  Neutronen/cm<sup>2</sup> sec im Reaktor bestrahlt wurde.

<sup>32</sup> M. ISHIBASHI, Z. anorg. Chem. **202**, 372 [1931].

<sup>33</sup> W. A. JOHNSON u. D. P. NORMAN, Astrophys. J. **97**, 46 [1956].

rische Phase. Die Extrakte wurden vereinigt, mit Salzsäure eingeeengt, mit einigen Tropfen Salpetersäure versetzt und kurz erhitzt, Phosphorsäure zugegeben und diese im geringen Überschuß mit Zirkon wieder ausgefällt. Der Niederschlag zeigt eine deutliche Phosphor 32-Aktivität. Anschließend werden 5 mg Eisen zugesetzt, die Ammontartratfällung und die Extraktion als Rhodanid wiederholt, wobei zu letzterer 5 mg Lanthan und 5 mg Cer als Rückhalteträger zugesetzt wurden.

Nach nochmaliger Zugabe von 5 mg Eisen erfolgte eine dritte Ammontartratfällung. Der Niederschlag wurde abfiltriert, getrocknet, zu  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  verglüht und gewogen. Die Ausbeute betrug stets etwa 60%. Anschließend wurde das  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  vorsichtig in einer kleinen Achat-schale zerrieben, mit Äther aufgeschlemmt und auf ein Filter abgesaugt. Nebenversuche bewiesen die Brauchbarkeit dieses Verfahrens hinsichtlich der Erzielung reproduzierbarer Zählraten.

Die Aktivität wurde mittels eines üblichen Glockenzählrohrs gemessen. Die radiochemische Reinheit der Proben konnte an Hand des radioaktiven Abfalls sowie mit Hilfe von Absorptionsversuchen eindeutig bewiesen werden. Gleichzeitig mit den Meteoritproben wurden auch noch kleine Mengen von reinem Scandiumoxyd bestrahlt. Diese Standardproben wurden einem ähnlichen, jedoch gegenüber den Meteoritproben stark verkürzten Reinigungsverfahren unterzogen.

Neben Proben dreier Eisenmeteorite haben wir auch den Scandiumgehalt eines Steinmeteoriten gemessen. Das chemische Trennungsvorgehen war in diesem Fall gegenüber dem der Eisenmeteorite etwas abgeändert worden. Da bereits sehr exakte Messungen über den durchschnittlichen Scandiumgehalt von Steinmeteoriten vorliegen, war dieser Versuch als Beweis für die Brauchbarkeit der verwendeten Methoden gedacht. Tatsächlich fügt sich der von uns gefundene Wert gut in die von PINSON, AHRENS und FRANCK<sup>34</sup> angegebenen Ergebnisse ein.

### Diskussion der Ergebnisse

Die gefundenen Scandium-Mengen sind in Tab. 2 aufgezeichnet. Ein Vergleich mit den ebenfalls angeführten gemessenen Helium- bzw. Neongehalten<sup>19</sup> (es handelt sich bei allen drei Meteoriten um Proben, die denselben Stücken entstammen, wie die der Helium- bzw. Neonanalysen) läßt sofort die auffallende Proportionalität erkennen. Ein Vergleich

der aus den Meteoriten abgetrennten Scandiumaktivitäten mit der Aktivität von  $^{46}\text{Sc}$ , welche aus den Titanstandards abgetrennt wurde, ergibt bei einem als obere Grenze angenommenen Titangehalt von  $10^{-4}$  g Ti/g, im Falle des Meteoriten Tamarugal eine Verfälschung um höchstens 15%, d. h. es besteht die Möglichkeit, daß die Scandiumwerte von Tamarugal

	He $10^{-6}$ cm <sup>5</sup> /g	Ne $10^{-8}$ cm <sup>3</sup> /g	Sc $10^{-9}$ g/g
Eisenmeteorite:			
Tamaragul	23,1	14,7	2,0
Carbo	20,9	12,3	1,9
Gibeon (Amalia)	3,51	1,98	0,4
Steinmeteorit:			
Pultusk	—	—	5000

Tab. 2. Helium-, Neon- und Scandium-Gehalt der untersuchten Meteoritproben.

und auch von Carbo um etwa 15% zu hoch liegen. Zu dem etwa gleichen möglichen Fehler gelangt man auch aus der Analyse der Abfallkurven für die aus den Meteoritproben abgetrennten Scandiumaktivitäten. Bei dem Meteoriten Gibeon Amalia ist allerdings ein etwas größerer Fehler möglich. Ein zum Helium- bzw. Neongehalt relativ höherer Gehalt an Scandium wäre in diesem Falle etwa wegen des schon aus den Helium- und Neongehalten geschlossenen stärkeren Anteils von Sekundärteilchen durchaus zu verstehen. Eine absolute Entscheidung aber wird erst möglich sein, wenn neben den Scandiumanalysen auch zuverlässige Titananalysen vorhanden sein werden. Es ist beabsichtigt, den Titangehalt über die (n, p)-Reaktion am Titan 47 durch Bestrahlung mit schnellen Neutronen zu bestimmen. Selbstverständlich ist auch eine Verfälschung der Ergebnisse durch natürlich in den Meteoriten vorhandenes Scandium möglich. Hierzu sollen einige Eisenmeteorite mit sehr kleinem Heliumgehalt untersucht werden. Dennoch läßt sich aus den vorhandenen Ergebnissen schon mit ziemlicher Sicherheit der Schluß ziehen, daß die gemessenen Scandiummengen zumindestens zum überwiegenden Teil durch die Wechselwirkung der Höhen-

	$^3\text{He}$	$^4\text{He}$	Ne (20 + 21 + 22)	$^{36}\text{Ar}$	$^{38}\text{Ar}$	$^{45}\text{Sc}$	$^{46}\text{Ca}$
Eisenmeteorite	100	345	3,6	4,0	6,7	20	$\leq 4$

Tab. 3. Relative Häufigkeiten der stabilen Reaktionsprodukte der Höhenstrahlung beim Meteoriten Carbo, Normierung  $^3\text{He}=100$ .

<sup>34</sup> W. H. PINSON, L. H. AHRENS u. M. L. FRANCK, Geochim. Cosmochim. Acta 4, 251 [1953].



strahlung mit den Atomkernen der Meteorite entstanden sind.

In Tab. 3 wurden für den Fall des Meteoriten Carbo die relativen Mengen aller bisher in Eisenmeteoriten aufgefundenen stabilen Reaktionsprodukte der Höhenstrahlung zusammengestellt. Die Zahlen für Argon 36 und Argon 38 entstammen Messungen von GENTNER und ZÄHRINGER am Meteoriten Henbury. Diese wurden über die gefundenen <sup>3</sup>He-Mengen mit den Werten für Carbo normiert. Die aufgefundenen Scandiummengen fügen sich gut in das Bild der durch die Höhenstrahlung ausgelösten Kernverdampfungsprozesse ein. Der Anstieg zwischen Argon 38 und Scandium 45 ist durchaus zu verstehen. Ein derartiges Überwiegen der Restkerne in diesem Bereich ist auch schon in Bestrahlungsexperimenten gefunden worden<sup>24</sup>. Ein Vergleich der Zahlen für Scandium, Argon und Neon beweist, daß wir es, zumindest was die Kerne mit Massenzahlen von etwa 40 anbelangt, zum überwiegenden Teil mit Reaktionsprodukten aus Kernverdampfungsprozessen zu tun haben, da im Falle einfacher Kernspaltungen leichtere und schwere Bruchstücke etwa im gleichen Verhältnis auftreten müssen.

Es sollen demnächst noch eine Reihe weiterer Meteorite hinsichtlich ihres Scandiumgehaltes untersucht werden, um im Vergleich zu den anderen Reaktionsprodukten (Helium, Neon und Argon) eindeutige Aussagen machen zu können. Auch wäre es wünschenswert, einige sehr kleine Eisenmeteorite auf ihren Scandiumgehalt zu untersuchen, da in diesen der Einfluß von Sekundärteilchen nur eine geringe Rolle spielt, andererseits die Bildung von Scandium bei der Einwirkung von Protonen auf die Eisenkerne schon für kleine Protonenenergien mit ausreichenden Erzeugungsquerschnitten vor sich geht,

so daß insbesondere wieder im Zusammenhang von Bestrahlungsexperimenten Aussagen über die Intensität der Höhenstrahlung am unteren Teil des Energiespektrums möglich werden sollten.

Wie mit allen anderen Reaktionsprodukten, so lassen sich auch aus den gemessenen Scandiummengen Aussagen über die Zeitdauer der Einwirkung der Höhenstrahlung machen, d. h. sogenannte „Bestrahlungsalter“ angeben, doch soll dies einer späteren Arbeit vorbehalten bleiben. Hierbei bietet Scandium als festes Element gegenüber den Edelgasen den Vorteil, daß irgendwelche Verluste durch zwischenzeitliches Erhitzen absolut ausgeschlossen werden können.

Das bisherige negative Ergebnis beim Calcium 46 erklärt sich daraus, daß bei der Kernverdampfung jene Kerne in der Nähe der  $\beta$ -Stabilitätskurve mit wesentlich größeren Erzeugungsquerschnitten entstehen als die von dieser Linie etwas entfernteren Kerne. Dieses Ergebnis wurde für allerdings wesentlich kleinere Energien als sie in der Höhenstrahlung vorkommen, schon in Bestrahlungsexperimenten gefunden<sup>23, 24</sup>.

Herrn Prof. F. A. PANETH möchte ich auch an dieser Stelle aufrichtig danken für die weitgehende Förderung, die er mir im Laufe dieser Arbeit zuteil werden ließ, sowie für die Überlassung der Meteoritproben. Frau Dr. E. VILCSEK danke ich für zahlreiche wertvolle Anregungen und Ratschläge. Besondere Anerkennung verdient Fräulein I. SCHLÜTER, welche in zum Teil sehr selbständiger Weise umfangreiche chemische Trennungen durchführte. Die Arbeit wurde unterstützt durch Sachbeihilfe des Bundesministeriums für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft.

The research reported in this paper has been sponsored in part by the Geophysics Research Directorate, Air Force Cambridge Research Center of the Air Research and Development Command, United States Air Force, through its European Office.