

ner Elektronenkonfiguration gegenüber einem H-Atom besitzt. Dagegen sollte die geringe Häufigkeit der Massen 34, 35 und 36 durch die kurze Lebensdauer der Zwischenprodukte bedingt sein. Ionen, wie sie bei (c) und (d) nachgewiesen wurden, werden in der Theorie der Ionen-Molekül-Reaktionen<sup>17</sup> als Zwischenzustände angenommen.

<sup>17</sup> J. L. FRANKLIN, F. H. FIELD u. F. W. LAMPE, in J. D. WALDRON, *Advances in Mass Spectrometry*, Pergamon Press, London 1959, S. 308.

Herrn Prof. Dr. I. N. STRANSKI, Herrn Prof. Dr. G. BORRMANN und Herrn Dr. M. DRECHSLER möchte ich für das der Arbeit entgegengesetzte Interesse sowie für ihre Förderung danken. Herrn R. VANSELOW danke ich für wertvolle Anregungen sowie für seine Mithilfe bei einigen Messungen. — Diese Arbeit wurde durch ERP-Mittel sowie durch Mittel der Deutschen Forschungsgemeinschaft in dankenswerter Weise unterstützt.

## Radiogene, spallogene und primordiale Edelgase in Steinmeteoriten

Von H. HINTENBERGER, H. KÖNIG, L. SCHULTZ und H. WÄNKE

Max-Planck-Institut für Chemie (Otto-Hahn-Institut), Mainz

(Z. Naturforschg. 19 a, 327—341 [1964]; eingegangen am 5. Dezember 1963)

The total content as well as the isotopic composition of helium and neon of 47 stone meteorites have been determined. The concentrations of  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $^{20}\text{Ne}$ ,  $^{21}\text{Ne}$  and  $^{22}\text{Ne}$  are included in the tables. For meteorite samples without primordial rare gas content, the radiogenic component of  $^4\text{He}$  has been calculated by subtracting the fourfold amount of  $^3\text{He}$  from the total  $^4\text{He}$  in order to allow for the spallation fraction of  $^4\text{He}$ . From radiogenic  $^4\text{He}$  the U-Th-He ages of the investigated meteorites have been calculated using an average uranium content of  $1.1 \cdot 10^{-8} \text{ g/g}$  (except those cases where uranium determinations existed) and the 3.5 fold amount for thorium.

The cosmic ray exposure ages were calculated using the average production rates for  $^3\text{He}$  and  $^{21}\text{Ne}$  derived from the decay rate of tritium and  $^{22}\text{Na}$  measured in some meteorites. The calculated values for the exposure ages lie between  $0.5 \cdot 10^6$  years and  $40 \cdot 10^6$  years.

Some of the meteorites show very low  $^3\text{He}/^{21}\text{Ne}$  ratios which indicate diffusion loss of the spallogenic rare gases.

Our results indicate differences in the distribution of the U-Th-He ages as well as of the cosmic ray exposure ages between the chondrites of the low iron group (L) and the chondrites of the high iron group (H). On the average the U-Th-He ages of the H group chondrites are considerably higher than those of the L group. In fact, there are only a few H group chondrites with low U-Th-He ages, and for most of these exceptions we show that they lost their radiogenic  $^4\text{He}$  during the time of cosmic ray exposure. The cosmic ray exposure ages of the H group chondrites are below 10 million years in 74% of the cases, while for those of the L group only 40% are below this value.

Investigations on the 47 meteorites also disclosed two additional meteorites (Pultusk and Vigarano) which exhibit a high content of light primordial rare gases, as was earlier found by us for Pantar, Breitscheid and Tabor.

Obwohl in letzter Zeit, vor allem durch die Arbeiten von KIRSTEN, KRANKOWSKY und ZÄHRINGER<sup>1</sup> und unsere eigene früher erschienene Arbeit<sup>2</sup>, eine relativ große Anzahl von Steinmeteoriten auf ihren Edelgasgehalt untersucht worden sind, scheint es uns, daß es gerade bei der Meteoritenforschung von entscheidender Bedeutung ist, die Daten von einer großen Anzahl von Meteoriten zu besitzen, um wirklich zuverlässige Schlüsse ziehen zu können. Es gilt aus dem Dilemma der kleinen Zahlen herauszukommen, um endlich der Tücke der Statistik zu ent-

rinnen. Auf Grund des Mangels an entsprechendem Zahlenmaterial ist man oft versucht, aus einer einzigen Messung allgemeine Schlüsse zu ziehen. Zur Illustration sei nur an die erste und für ein paar Jahre einzige Messung des Bestrahlungalters eines Steinmeteoriten von BEGEMANN, GEISS und HESS<sup>3</sup> erinnert. Es stellte sich im Laufe der nächsten Jahre heraus, daß der von diesen Autoren untersuchte Meteorit, Norton County, nicht nur das bisher höchste Bestrahlungsalter, das unter allen Steinmeteoriten je gefunden wurde, hatte, sondern daß

<sup>1</sup> T. KIRSTEN, D. KRANKOWSKY u. J. ZÄHRINGER, Geochim. Cosmochim. Acta 27, 13 [1963].

<sup>2</sup> H. HINTENBERGER, H. KÖNIG u. H. WÄNKE, Z. Naturforschg. 17 a, 1092 [1962].

<sup>3</sup> F. BEGEMANN, J. GEISS u. D. C. HESS, Phys. Rev. 107, 540 [1957].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

Nr.	Name, Fundort	Falldatum	Gesamtgewicht kg	Klassifizierung	U-C-Gr.	Herkunft der Probe	Kartei-Nr.
1	Abee, Kanada	9. 6. 1952	107	Enstatit-Chondrit	—	Geolog. Survey Canada, Ottawa Amer. Met. Lab.	—
2	Arriba, Colorado (USA)	Fund 1936	33,6	polymikt. brecc. intermediärer Chondrit	L	328.62	1/11
3	Barratta, New South Wales	Fund 1845	203	schwarzer Hypersthen-Chondrit	L	Mineral. Inst. Univ. Tübingen	73/1
4	Bjurböle, Finnland	12. 3. 1899	~ 330	Hypersthen-Kügelchen-Chondrit	L	K. Fredriksson, La Jolla (USA)	—
5	Bluff, Texas (USA)	Fund ~ 1878	145	brecc. kristalliner Hypersthen-Chondrit	L	Deyrolle, Paris	6/1
6	Bondoc, Philippinen	Fund 1957	886,8	Chondrit, nicht näher klassifiziert	—	Amer. Met. Lab. 684.87	86/32
7	Chantonnay, Frankreich	8. 5. 1812	31,5	polymikt. brecc. grauer Hypersthen-Chondrit	L	Mineral. Inst. Univ. Tübingen	72/1
8	Cullison, Kansas (USA)	Fund 1911	~ 10	polymikt. brecc. Bronzit-Kügelchen-Chondrit	H	Amer. Met. Lab. 215.3	21/1
9	Dhurmsala, Indien	14. 7. 1860	> 150	intermediärer Hypersthen-Chondrit	L	Sammlung F. A. Paneth	Pa 38/1
10	Ehole, Angola (Afrika)	31. 8. 1961	2,4	kristalliner Chondrit	H	H. E. Suess, La Jolla (USA)	86/1
11	Ergheo, Somaliland (Ostafrika)	4. 7. 1889	20	kristalliner Hypersthen-Chondrit	L	A. Berger, Wien-Mödling	23/1
12	Estacado, Texas (USA)	Fund 1883	290	kristalliner Bronzit-Chondrit	H	Sammlung F. A. Paneth	Pa 40/1
13	Farley, New Mexico (USA)	Fund 1936	19,4	geaderter, grauer kristalliner Chondrit	H	Amer. Met. Lab. 316.15	26/1
14	Fayetteville, Arkansas (USA)	26. 12. 1934	2,36	brecc. Bronzit-Chondrit	H	K. Kuroda, Fayetteville (USA)	92/1
15	Goodland, Kansas (USA)	Fund 1923	3,6	Chondrit	L	Amer. Met. Lab. 425.13	28/1
16	Harleton, Texas (USA)	30. 5. 1961	8,36	weißer Chondrit	L	U. S. National Museum, Washington	87/1
17	Hvittis, Finnland	21. 10. 1901	14	kristalliner Enstatit-Chondrit	—	Geol. Minerl. Inst. Helsinki	33/1
18	Kapoeta, Sudan	22. 4. 1942	11,3	Achondrit	—	Sudan Geol. Survey	85/1
19	Karoonda, Südaustralien	25. 11. 1930	41,7	Olivin-Pigeonit-Chondrit	—	Sammlung F. A. Paneth	—
20	Khohar, Indien	19. 9. 1910	9,7	grauer Kügelchen-Chondrit	L	K. Keil, Los Altos (USA)	—
21	Kiel, Deutschland	26. 4. 1962	0,74	Hypersthen-Chondrit	L	Mineral. Inst. Univ. Kiel	93/1
22	Kingfisher, Oklahoma (USA)	Fund 1950	—	schwarzer Chondrit	L	Amer. Met. Lab. 601.29	38/1
23	Knyahinya, Tschechoslowakei	9. 6. 1866	~ 500	polymikt. brecc. grauer Hypersthen-Chondrit	L	A. Berger, Wien-Mödling	39/1
24	Ladder Creek, Kansas (USA)	Fund 1937	35,1	kristalliner Kügelchen-Chondrit	L	Amer. Met. Lab. 405.59	40/1
25	L'Aigle, Frankreich	26. 4. 1803	~ 37	brecc. intermediärer Hypersthen-Chondrit	L	Mineral. Inst. Univ. Tübingen	68/1
26	La Lande, New Mexico (USA)	Fund 1933	30	kristalliner Hypersthen-Kügelchen-Chondrit	L	Amer. Met. Lab. 464. 245	41/2

Tab. 1. Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Nr.	Name, Fundort	Falldatum	Gesamtgewicht kg	Klassifizierung	U-C-Gr.	Herkunft der Probe	Kartei-Nr.
27	Long Island, Kansas (USA)	Fund 1891	612	geaderter, intermed. Hypersthene-Chondrit	L	U. S. National Museum, Washington	94/1
28	McKinney, Texas (USA)	Fund 1870	> 100	schwarzer Hypersthene-Chondrit	L	Mineral. Inst. Univ. Tübingen	74/1
29	Mezö Madaras, Ungarn	4. 9. 1852	22,7	polymikt. brecc. grauer Hypersthene-Chondrit	L	Mineral. Petrogr. Inst. Univ. Göttingen, Nr. 488	—
30	Mooresfort, Irland	8. 1810	~ 3,5	geaderter, grauer Chondrit	H	Mineral. Inst. Univ. Tübingen	69/1
31	Morland, Kansas (USA)	~ Fund 1890	330	kristalliner Chondrit	H	Amer. Met. Lab. 282.47	45/12
32	Murray, Kentucky (USA)	20. 9. 1950	> 7	kohliger Chondrit	—	U. S. National Museum, Washington	46/1
33	New Concord, Ohio (USA)	1. 5. 1860	~ 227	geaderter, intermed. Hypersthene-Chondrit	L	Sammlung F. A. Paneth	Pa 75/1
34	Ochansk, Perm (UdSSR)	30. 8. 1887	~ 500	polymikt. brecc. Bronzit-Kügelchen-Chondrit	H	K. Keil, Los Altos (USA)	—
35	Oberlin, Kansas (USA)	Fund 1911	~ 2,5	intermediärer Chondrit	L	Amer. Met. Lab. 283.2	50/1
36	Pantar, Philippinen	16. 6. 1938	—	geaderter Chondrit	H	I: Amer. Met. Lab. 503.17 II: Univ. of Arizona (USA)	51/1 51/2
37	Paragould, Arkansas (USA)	17. 2. 1930	408	grauer Chondrit	L	U. S. National Museum, Washington	52/5
38	Parnallee, Madras (Indien)	28. 2. 1875	771	polymik. brecc. geaderter, grauer Chondrit	L	Mineral. Petrogr. Inst. Univ. Göttingen Nr. 486	—
39	Příbram, Tschechoslowakei	7. 4. 1959	5,5	Bronzit-Chondrit	H	Naturwiss. Fakultät, Univ. Prag	56/1
40	Pultusk, Polen	30. 1. 1868	210	geaderter, grauer Bronzit-Chondrit	H	A. Berger, Wien-Mödling	57/2, 4, 6
41	Tabor, Tschechoslowakei	3. 7. 1753	—	brecc. Bronzit-Kügelchen-Chondrit	H	II: Mineral. Inst. Univ. Budapest III: Naturhist. Museum, Wien	— 71/2
42	Taiban, New Mexico (USA)	Fund 1934	14	schwarzer Ch. (?) oder geaderter, krist. Chondrit	L	Amer. Met. Lab. 541.4	62/1
43	Texline, Texas (USA)	Fund 1937	26,2	grauer Chondrit	H	Amer. Met. Lab. 415.16	65/12
44	Vigarano, Italien	22. 1. 1910	16	Olivin-Pigeonit-Chondrit	—	Sammlung F. A. Paneth	—
45	Walters, Oklahoma (USA)	28. 7. 1946	28,1	geaderter Hypersthene-Chondrit	L	U. S. National Museum, Washington	66/1
46	Woodward County, Oklahoma (USA)	Fund vor 1933	45,5	Chondrit	H	U. S. National Museum, Washington	95/1
47	Zemaitkiemis, Litauen (UdSSR)	2. 2. 1933	42,2	geaderter, weißer Hypersthene-Chondrit	L	Sammlung F. A. Paneth	Pa 119/1

Tab. 1. Fall- bzw. Funddaten und Klassifizierung der 47 in dieser Arbeit untersuchten Meteorite (im wesentlichen nach PRIOR und HEY<sup>12</sup> und MASON<sup>13</sup>).

<sup>12</sup> G. T. PRIOR u. M. H. HEY, "Catalogue of Meteorites" printed by order of the trustees of the British Museum London 1953.

<sup>13</sup> B. MASON, Geochim. Cosmochim. Acta 27, 1011 [1963].

Meteorit	Fall- (Fund-)jahr	Ein- waage	<sup>3</sup> He	<sup>4</sup> He	<sup>20</sup> Ne	<sup>21</sup> Ne	<sup>22</sup> Ne	<sup>4</sup> He <sup>3</sup> He	<sup>3</sup> He <sup>21</sup> Ne	Lit.
<i>Chondrite der Gruppe L:</i>										
Arriba	Fund 1936	9,851	20,5	497	4,78	5,11	5,40	24,3	4,01	
Barratta	Fund 1845	3,046	15,5	179	3,81	3,16	3,31	11,5	4,91	
Bjurböle (ohne Chondren)	Fall 1899	2,626	16,7	1543	3,35	3,87	4,11	92,6	4,31	
Bjurböle (Chondren)		1,245	18,2	1723	2,08	4,03	4,18	94,7	4,51	
Bjurböle			19	1600	4,1	4,4	4,8			1
Bjurböle			15	1545	3,4	1,7	1,7			14
Bjurböle			16,5	1670	—	—	—			15
Bjurböle			—	—	4,40	4,45	4,75			16
Bluff	Fund 1878	8,268	43,8	343	8,00	7,49	7,92	7,83	5,85	
Chantonay (hell)	Fall 1812	4,385	19,5	188	—	—	—	9,65	—	
Chantonay (dunkel)		5,358	16,8	145	4,28	4,05	4,30	8,62	4,16	
Dhurmsala	Fall 1860	3,680	14,0	481	3,07	3,43	3,58	34,3	4,09	
Ergheo	Fall 1889	9,102	39,4	368	6,86	6,71	7,13	9,34	5,87	
Goodland	Fund 1923	3,016	24,2	220	6,36	5,37	5,79	9,08	3,26	
Harleton	Fall 1961	4,691	69,7	550	11,8	12,6	13,5	7,89	5,55	
Kohar (dunkel)	Fall 1910	0,672	15,4	609	17,0	5,44	6,61	39,6	2,83	
Kiel	Fall 1962	5,835	26,0	1163	3,94	2,61	3,27	44,7	9,96	
Kiel		9,956	26,5	1256	3,08	2,50	3,26	47,4	10,6	
Kingfisher	Fund 1950	4,997	25,7	215	5,26	4,78	5,07	8,35	5,38	
Knyahinya	Fall 1866	5,686	64,3	1147	11,0	11,2	12,3	17,8	5,73	
Ladder Creek	Fund 1937	8,648	1,55	860	4,71	0,32	0,78	555	4,84	
L'Aigle (hell)	Fall 1803	4,046	15,3	905	3,17	3,28	3,49	59,3	4,66	
L'Aigle (dunkel)	Fall 1803	0,979	13,3	824	2,25	2,63	2,77	62,0	5,06	2
L'Aigle			14,0	935	3,5	3,6	3,8		3,89	1
La Lande	Fund 1933	6,295	15,7	254	4,10	2,69	2,92	16,1	5,85	
La Lande		—	—	4,38	4,08	4,5				17
Long Island	Fund 1891	5,496	20,5	370	6,21	5,43	5,65	18,0	3,78	
McKinney	Fund 1870	5,626	5,47	98	3,87	1,38	1,72	17,9	3,96	
McKinney		5,4	133	4,2	1,5	1,8		3,6		1
Mezö Madaras	Fall 1852	4,569	53,5	670	10,2	9,77	10,67	12,5	5,47	
New Concord	Fall 1860	4,517	4,33	255	0,60	1,12	0,95	58,9	3,87	
Oberlin	Fund 1911	8,002	17,2	247	3,63	3,44	3,59	14,3	5,01	
Paragould	Fall 1930	3,698	25,1	140	4,74	4,85	5,17	5,58	5,18	
Parnallee	Fall 1875	3,446	6,37	697	2,59	2,33	2,52	109	2,73	
Taiban	Fund 1934	5,043	14,1	189	4,46	2,79	2,99	13,4	5,11	
Walters (hell)	Fall 1946	5,465	4,82	285	1,63	1,22	1,29	59,1	3,95	
Walters		3,317	4,85	224	1,79	1,28	1,38	46,2	3,79	
(vorwiegend dunkel)										
Zemaitkiemis	Fall 1933	3,186	15,5	256	2,34	2,72	2,82	16,5	5,71	
<i>Chondrite der Gruppe H:</i>										
Cullison	Fund 1911	2,125	0,79	293	1,42	0,55	0,65	373	1,42	
Ehole	Fall 1961	4,923	29,0	1715	4,23	4,74	5,35	59,1	6,12	
Estacado	Fund 1883	4,973	8,90	1384	8,57	1,99	2,67	156	4,47	
Farley	Fund 1936	11,234	35,8	1235	10,7	7,39	8,00	34,5	4,84	
Fayetteville (dunkel)	Fall 1934	0,0158	745	2027300	5048	21,2	406	2720	—	
Fayetteville (dunkel)				~ 2000000	6000					18
Fayetteville (dunkel)				> 10000	28408	124,8	2664			19
Fayetteville (dunkel)				> 10000	16320	73,4	1510			19
Fayetteville (hell)					9,0					18
Fayetteville (hell)			7,99	258	31,3	13,9	17,6	32,3		19
Fayetteville (hell)			7,33	1583	118,1	8,79	14,7	217,3		19
Mooresfort (hell)	Fall 1810	5,746	15,7	830	3,07	3,36	3,36	52,8	4,68	
Mooresfest (dunkel)		2,750	14,1	832	2,43	3,21	3,35	59,0	4,39	2
Morland	Fund 1890	8,685	1,02	987	3,60	0,18	0,50	972	5,64	
Ochansk (dunkel)	Fall 1887	0,1664	13,02	1856	—	2,34	—	143	5,56	
Ochansk			15	1485	1,0	0,6	0,6	100		14
Ochansk		—	—	1600	2,0	1,0	1,0	—		14
Pantar I (dunkel, 40 g Pulver)	Fall 1938	0,333	25,1	80200	174	1,48	15,0	3200	—	

Tab. 2. Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Meteorit	Fall- (Fund-)jahr	Einwaage	$^3\text{He}$	$^4\text{He}$	$^{20}\text{Ne}$	$^{21}\text{Ne}$	$^{22}\text{Ne}$	$\frac{^4\text{He}}{^3\text{He}}$	$\frac{^3\text{He}}{^{21}\text{Ne}}$	Lit.
Pantar I (dunkel, 1 Stück)	Fall 1938	0,646	42,3	110000	395	2,53	32,6	2600	—	1
Pantar I (dunkel)			54	149000	179	1,42	15,4	2740		20
Pantar I (dunkel)			16,5	46000	150	1,40	14,0			21
Pantar I (dunkel)			24,0	69000	215	1,70	18,0			21
Pantar I (dunkel)			17,5	45000	145	1,35	12,5			21
Pantar I (hell, 4 Stücke)		4,775	3,88	1226	1,59	0,96	1,04	316	4,04	
Pantar I (hell, 1 Stück)		0,912	4,00	1446	5,02	1,36	2,00	360	2,94	9
Pantar I (hell)			7,74	2872	—	1,31	1,67	362		20
Pantar I			3,55	1080	3,90	0,92	1,30			21
Pantar I			4,50	1210	3,55	1,10	1,35			21
Pantar II (dunkel, 1 Stück)		4,525	4,1	1036	0,74	1,06	1,04	253	3,87	
Pantar II (dunkel)			3,85	1040	1,1	1,1	1,1			21
Pantar II (dunkel)			3,85	1040	1,2	1,5	1,2			21
Pribram	Fall 1959	3,586	27,6	1306	4,80	4,88	5,08	47,4	5,65	
Pultusk (dunkel)	Fall 1868	2,035	13,3	8712	22,6	1,84	3,55	655	—	
Pultusk (vorwiegend dunkel)		5,013	13,1	6930	15,91	1,89	2,97	530	—	
Pultusk (hell)		4,996	6,8	1383	1,67	1,61	1,68	203	4,22	
Pultusk			10	1300	1,75	1,75	2,00		5,71	1
Tabor I (dunkel)	Fall 1753	3,238	24,0	67280	125	2,13	11,6	2800	—	10
Tabor I (dunkel)			14,2	14900	41,0	2,2	5,6			21
Tabor II (dunkel)		0,425	9,8	1430	3,16	2,42	2,71	146		
Tabor II (hell)		1,067	11,1	1489	2,42	2,12	2,50	134		
Tabor III (dunkel)		2,244	10,9	1281	0,85	1,52	1,60	118	7,17	
Texline	Fund 1937	10,512	9,85	388	3,19	2,15	2,36	39,4	4,58	
Woodward County	Fund 1933	7,597	8,06	776	4,34	1,80	2,19	96,3	4,48	
<i>Enstatit-Chondrite:</i>										
Abree	Fall 1952	7,333	13,0	1142	3,32	2,62	2,28	87,8	4,97	
Abree			12	1320	10	2,5	3,3		4,8	1
Abree			11	2360	8,58	2,4	3,28			22
Abree			12,5	1240	—	—	—			15
Hvittis	Fall 1901	5,906	36,3	1188	9,91	7,45	7,90	32,7	5,01	
Hvittis			37,0	1090	10,5	8,90	9,60			21
<i>Kohlinger Chondrit:</i>										
Murray	Fall 1950	2,340	4,47	7557	39,9	1,13	5,03	1691	4,03	
Murray			4	8900	40,7	1,1	5,1		3,64	1
Murray			—	—	54,7	1,0	6,0	—		23
Murray			6,8	14200	65,2	2,22	9,07			24
<i>Olivin-Pigeonit-Chondrite:</i>										
Karoonda	Fall 1930	3,660	77,9	2511	12,2	13,0	14,0	32,2	6,01	
Karoonda		2,292	83,2	2589	13,0	12,8	13,6	31,1	6,51	
Vigarano	Fall 1910	3,098	10,6	9470	33,5	1,77	4,36	893	5,99	
<i>Chondrit (nicht näher klassifiziert):</i>										
Bondoc	Fund 1957	9,056	8,28	206	1,75	1,67	1,68	24,9	4,96	
<i>Achondrit:</i>										
Kapoeta (grauer Anteil)	Fall 1942	0,147	61,7	157300	1718	9,92	135,1	2550	—	
Kapoeta (grauer Anteil)		0,136	44,0	133000	1950	6,00	152			21
Kapoeta (heller Anteil)		0,211	5,15	4100	1,1	0,77	0,98			21
Kapoeta			57,5	223000	2300	7,8	180		0,74	1
Kapoeta			43	137000	2400	6,9	173			22
Kapoeta			55,2	205000	2220	7,5	169			25
Kapoeta			55	216000	2240	8,1	170			25
Kapoeta			46	166000	1630	6	125			25

Tab. 2. Edelgaskonzentrationen der in dieser Arbeit untersuchten Meteorite in  $10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ NTP/g}$ ; Luftbeimischungen sind gemäß dem Apparaturblindwert korrigiert.

<sup>14</sup> E. K. GERLING u. L. K. LEVSKIJ, Dokl. Akad. Nauk, SSSR **110**, 750 [1956].

<sup>15</sup> P. EBERHARDT u. D. C. HESS, Astrophys. J. **131**, 38 [1960].

<sup>16</sup> P. und A. EBERHARDT, Z. Naturforschg. **16a**, 236 [1961].

<sup>17</sup> H. STAUFFER, J. Geophys. Res. **66**, 1513 [1961].

<sup>18</sup> P. SIGNER u. H. E. SUESS, Privatmitteilung.

<sup>19</sup> K. KURODA, Privatmitteilung.

<sup>20</sup> C. M. MERRIHUE, R. O. PEPIN u. J. H. REYNOLDS, J. Geophys. Res. **67**, 2017 [1963].

<sup>21</sup> P. SIGNER u. H. E. SUESS, Earth Science and Meteoritics, North Holland Publish. Comp., Amsterdam 1963, S. 241.

<sup>22</sup> J. ZÄHRINGER u. W. GENTNER, Z. Naturforschg. **15a**, 600 [1960].

<sup>23</sup> H. STAUFFER, Geochim. Cosmochim. Acta **24**, 70 [1961].

<sup>24</sup> J. H. REYNOLDS, Phys. Rev. Letters **4**, 351 [1960].

<sup>25</sup> J. ZÄHRINGER, Geochim. Cosmochim. Acta **26**, 665 [1962].

auch das Bestrahlungsalter dieses Meteoriten etwa zwanzigmal höher ist als das durchschnittliche Strahlungsalter der übrigen Steinmeteorite. Gerade Edelgasmessungen sind besonders deshalb leicht an einer großen Zahl von Meteoriten durchführbar, weil die benötigten Probenmengen im allgemeinen nur wenige Gramm betragen und bereits mit Proben in der Größenordnung von Bruchteilen eines Grammes häufig schon wertvolle Aussagen gewonnen werden können.

Nachdem wir bereits vor etwa einem Jahr über Edelgasmessungen an insgesamt 24 Steinmeteoriten berichtet haben<sup>2</sup>, sollen in dieser Arbeit die Ergebnisse unserer Messungen an weiteren 47 Steinmeteoriten mitgeteilt werden.

## 1. Durchführung der Experimente

Probennahme und Durchführung der Messungen erfolgte in der bereits in der vorhergehenden Arbeit<sup>2</sup> ausführlich beschriebenen Weise. Alle Meteoritproben wurden mittels Hochfrequenz auf etwa 1500 °C erhitzt, wobei die Edelgase extrahiert wurden. Die Absolutmessungen der Edelgase Helium und Neon erfolgten mit der in Mainz seit 8 Jahren in Betrieb befindlichen Hochvakuumapparatur zur Mikroanalyse von Edelgasen, die nach Methoden arbeitet, die von PANETH und seinen Schülern entwickelt wurden<sup>4-7</sup>. Anschließend erfolgte die Bestimmung der Isotopenhäufigkeiten in einem 60°-Ganzmetallmassenspektrometer im statischen Betrieb. Der mittlere Fehler der Mengenbestimmungen von Helium und Neon liegt bei etwa 5%. Nur im Falle des Neons steigt er für Meteorite mit sehr kleinem Neongehalt auf etwa 10% an. Die Hauptursache für diesen Fehler liegt bereits bei der Edelgasextraktion; zum Teil sind Schwankungen auch durch die Inhomogenität der Proben bedingt. Die absolute Genauigkeit der Isotopenhäufigkeitsverhältnisse liegt zwischen 3 und 5%, sinkt jedoch für Proben mit weniger als  $3 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3$  auf etwa 10% ab. Bei  $^{20}\text{Ne}$  kommt noch bei Meteoriten mit sehr geringen Konzentrationen dieses Isotops eine Unsicherheit durch den Apparaturblindwert hinzu. Der Blindwert unserer Apparatur betrug im Durchschnitt  $10 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3$  NTP für Helium und  $4 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3$  NTP für Neon.

Insgesamt haben wir im letzten Jahre Edelgasmessungen an 47 verschiedenen Steinmeteoriten durchgeführt<sup>8</sup>,

<sup>4</sup> F. A. PANETH u. U. PETERS, Z. Phys. Chem. **134**, 353 [1928].

<sup>5</sup> E. GLÜCKAU, Proc. Roy. Soc., Lond. **185**, 98 [1945].

<sup>6</sup> K. F. CHACKETT, P. REASBECK u. E. J. WILSON, Geochim. Cosmochim. Acta **3**, 261 [1953].

<sup>7</sup> K. H. EBERT u. H. WÄNKE, Z. Naturforsch. **12a**, 766 [1957].

<sup>8</sup> Zu diesen 47 Meteoriten gehören auch L'Aigle, Mooresfort, Pantar und Tabor, die schon in früheren Arbeiten von uns untersucht wurden. Von L'Aigle und Mooresfort wurden jetzt die hellen Anteile gemessen, früher jedoch nur die dunklen<sup>2</sup>. Bei den uredelgashaltigen Meteoriten Pantar<sup>9</sup>

deren Fall- bzw. Funddaten und Klassifizierung in Tab. 1 aufgeführt sind. In dieser Tabelle ist auch die Herkunft unserer Proben angegeben. Von den neu gemessenen Meteoriten gehörten 14 zur Gruppe H (High iron nach UREY und CRAIG<sup>11</sup>), 26 zur Gruppe L (Low iron), der Rest waren Enstatit-, Olivin-Pigeonit- und kohlige Chondrite sowie 1 Achondrit und ein nicht näher klassifizierter Steinmeteorit.

## 2. Meßergebnisse

In Tab. 2 sind die Meßdaten der untersuchten Meteorite aufgeführt. Alle Werte sind für Luftbeimischungen gemäß dem Apparaturblindwert korrigiert. Tab. 2 enthält außerdem, soweit vorhanden, die Meßergebnisse anderer Autoren sowie teilweise auch Daten aus früheren eigenen Messungen zum Vergleich.

Wiederum konnten wir 2 Meteorite mit hohem Gehalt an leichten Uredelgasen entdecken. Beide Meteorite gehören, wie sich nachträglich herausstellte, zu Gruppen, die bereits generell als reich an leichten Uredelgasen bekannt sind. Bei dem einen dieser Meteorite, nämlich Pultusk, handelt es sich um einen Meteoriten mit Hell-Dunkel-Struktur. Der erste Meteorit mit hohem Uredelgasgehalt (Pantar), bei dem diese besondere Struktur auffiel, wurde durch KÖNIG, KEIL, HINTENBERGER, WLOTZKA und BEGEMANN<sup>9</sup> ebenfalls in Mainz entdeckt. Der zweite neue, uredelgashaltige Meteorit, Vigarano, ist ein Olivin-Pigeonit-Chondrit und gehört zur Klasse der kohligen Chondrite Typ III (nach WIJK<sup>26</sup>).

Bei einer Reihe weiterer Meteorite zeigten sich mehr oder minder deutliche Hinweise auf einen kleineren Gehalt von leichten Uredelgasen, worauf wir später noch zurückkommen werden. Im allgemeinen haben wir uns auf Messungen solcher Meteorite konzentriert, für die noch keine Analysen anderer Autoren vorliegen. Eine Ausnahme hiervon bildeten nur die uredelgashaltigen Meteorite Murray, Kapoeta und Fayetteville. Hier ging es uns vor allem darum, etwaige systematische Abweichungen der einzelnen Labors untereinander zu prüfen. Der Uredelgas-

und Tabor<sup>10</sup> wurden nunmehr andere Stücke untersucht, die sich als frei von Uredelgasen erwiesen.

<sup>9</sup> H. KÖNIG, K. KEIL, H. HINTENBERGER, F. WLOTZKA u. F. BEGEMANN, Z. Naturforsch. **16a**, 1124 [1961].

<sup>10</sup> H. KÖNIG, K. KEIL u. H. HINTENBERGER, Z. Naturforsch. **17a**, 357 [1962].

<sup>11</sup> H. C. UREY u. H. CRAIG, Geochim. Cosmochim. Acta **4**, 36 [1953].

<sup>12-25</sup> siehe Seite 329 und 331.

<sup>26</sup> H. B. WIJK, Geochim. Cosmochim. Acta **9**, 279 [1956].

gehalt im Meteoriten Kapoeta war 1960 von ZÄHRINGER und GENTNER<sup>22</sup> festgestellt worden. Der Uredelgasgehalt von Murray wurde von REYNOLDS<sup>24</sup> und der von Fayetteville von SIGNER und SUESS<sup>18</sup> sowie von KURODA<sup>19</sup> entdeckt.

Besondere Aufmerksamkeit schenkten wir dem Meteoriten Pultusk, da wir in unserer früheren Arbeit<sup>2</sup> auf starke Abweichungen der Edelgas-konzentrationen zu den von KIRSTEN, KRANKOWSKY und ZÄHRINGER<sup>1</sup> veröffentlichten Werten hingewiesen hatten. Wir mußten feststellen, daß Edelgasbestim-mungen an anderen in unserem Besitz befindlichen Stücken nicht mit unseren früheren Messungen übereinstimmten. Bei der früher von uns untersuchten Meteoritprobe hat es sich nach den Edelgasdaten wahrscheinlich um eine Probe des Meteoriten Mocs gehandelt<sup>27</sup>. Nach dem geringen Metallgehalt der früheren Probe von 7,8% kann nur ein Chondrit der Gruppe L vorgelegen haben<sup>29</sup>, während Pultusk zur Gruppe H gehört. Die jetzigen Analysenwerte von hellen Stücken des Meteoriten Pultusk stimmen mit den Werten von KIRSTEN, KRANKOWSKY und ZÄHRINGER gut überein.

Tab. 2 enthält auch neue Analysendaten der Meteorite Pantar und Tabor. Von dem Chondriten Tabor konnten wir jetzt auch völlig urgasfreie Stücke analysieren und die früher von KÖNIG, KEIL und HINTENBERGER<sup>10</sup> ausgesprochene Vermutung bestätigen, daß die hellen Anteile frei von leichten Uredel-gasen sind. Merkwürdigerweise gibt es bei den Meteoriten Pantar und Tabor auch Stücke mit Hell-Dunkel-Struktur, deren dunkle Anteile völlig oder nahezu frei von Uredelgasen sind. Sie sind mit den Ziffern II und III gekennzeichnet, ihr Edelgasgehalt stimmt mit demjenigen der hellen Stücke im wesentlichen überein, wie die <sup>3</sup>He- und <sup>21</sup>Ne-Werte deutlich zeigen.

Auffällig ist, daß diejenigen Chondrite mit Hell-Dunkel-Strukturen, die aber keine Uredelgase enthalten – wie Chantonay, L'Aigle, Walters und Mooresfort –, in den dunklen Anteilen meist weniger Edelgase als in den hellen enthalten, und zwar sowohl weniger radiogenes <sup>4</sup>He als auch weniger spallogene Edelgase. Dieser Effekt ist nur schwach

<sup>27</sup> Diese Meteoritprobe wurde von uns als eine Probe des Meteoriten Pultusk bei A. Berger, Wien-Mödling, gekauft. Sie wurde, wie oben ausgeführt, als Probe des Meteoriten Mocs identifiziert. Umgekehrt erhielt J. Geiss von der gleichen Firma eine Probe des Meteoriten Mocs, die sich auf Grund ihrer Eigenschaften als eine Probe des Meteoriten Pultusk erwies<sup>28</sup>.

<sup>28</sup> J. Geiss, Privatmitteilung.

ausgeprägt, liegt aber mindestens teilweise vermutlich außerhalb der Fehlergrenzen der Messungen. Da diese Erniedrigung des Edelgasgehaltes in dem dunklen Anteil auch die durch die kosmische Strahlung erzeugten Edelgase betrifft, läßt sich eine Erklärung dafür nur schwer finden. Es könnte vielleicht eine höhere Diffusionsrate der Edelgase in den dunklen Anteilen dafür verantwortlich sein, die durch eine etwaige feinkörnigere Struktur der Minerale bedingt wird.

18 der von uns untersuchten Meteorite sind keine beobachteten Fälle, sondern Funde. Da von allen Meteoritmineralien höchstens das Nickeleisen, das in den Steinmeteoriten nur zu ca. 10% vorhanden ist, bei längerer Lagerung auf der Erde einer gewissen Verwitterung ausgesetzt ist, sind Verfälschungen im Edelgasgehalt bei den radiogenen und spallogenen Edelgasen nicht zu erwarten. Hingegen können bei Uredelgasen Verfälschungen durch Verwitterung nicht ausgeschlossen werden, um so mehr, als HINTENBERGER, VILCSEK und WÄNKE<sup>30</sup> feststellen konnten, daß die Uredelgase jeweils in den äußersten Schichten der einzelnen Kristalle stark angereichert sind.

### 3. Diskussion der Meßergebnisse

#### a) Radiogene Alter und Diffusionsverluste

Tab. 3 enthält in Spalte 2 die berechneten Konzen-trationen von radiogenem <sup>4</sup>He. Zu der Berechnung von <sup>4</sup>He<sub>rad</sub> gingen wir von der Annahme aus, daß durch Spallation viermal soviel <sup>4</sup>He gebildet wird als <sup>3</sup>He. Zur Berechnung der U-Th-He-Alter der Chondrite haben wir im allgemeinen einen mittleren Urangehalt von  $1,1 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g}$  und eine 3,5mal höhere Thoriumkonzentration angenommen<sup>31</sup>. Lediglich für die beiden Meteorite Abée und Ergheo liegen Uranbestimmungen von  $1,45 \cdot 10^{-8}$  und  $2,1 \cdot 10^{-8} \text{ g/g}$  von GOLES und ANDERS<sup>32</sup> vor. In Tab. 3 sind die U-Th-He-Alter und die Strahlungsalter aller bisher von uns untersuchten Meteorite zusammengefaßt. Dabei wurden die <sup>4</sup>He<sub>rad</sub>-Werte der früher veröffentlichten Meteoritanalysen<sup>2</sup> mit dem jetzt benutzten Pro-duk-tionsverhältnis <sup>4</sup>He/<sup>3</sup>He = 4 für das durch die kosmische Strahlung gebildete <sup>4</sup>He neu berechnet.

<sup>29</sup> H. HINTENBERGER, E. VILCSEK u. H. WÄNKE, Z. Naturforschg. **19a**, 219 [1964].

<sup>30</sup> H. HINTENBERGER, E. VILCSEK u. H. WÄNKE, in Vorbereitung, erscheint voraussichtlich Z. Naturforschg. 1964.

<sup>31</sup> H. KÖNIG u. H. WÄNKE, Z. Naturforschg. **14a**, 866 [1959].

<sup>32</sup> G. G. GOLES u. E. ANDERS, Geochim. Cosmochim. Acta **26**, 723 [1962].

Meteorit	${}^4\text{He}_{\text{rad}}$ $10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g}$	U-Th-He- Alter $10^9 \text{ a}$	${}^3\text{He}$ ${}^{21}\text{Ne}$	${}^3\text{He}$ Alter $10^6 \text{ a}$	${}^{21}\text{Ne}$ Alter $10^6 \text{ a}$	Mittelwert d. Bestrahlungsalter $10^6 \text{ a}$
<b>Chondrite der Gruppe L:</b>						
Akaba	642	2,86	7,45	20,9	16,9	18,9
Arriba	415	1,55	4,01	10,47	15,77	13,12
Barratta	124	0,46	4,91	7,92	9,74	8,83
Bjurböle (ohne Chondren)	1484	4,20	4,31	8,53	11,96	
Bjurböle (Chondren)	1650		4,51	9,30	12,44	
Bruderheim	336	1,27	5,80	24,20	25,20	24,70
Bluff	320	1,22	5,85	22,40	23,10	22,80
Chantonnay (hell)	114	0,38	—	9,96	—	—
Chantonnay (dunkel)	81		4,16	8,58	12,5	10,54
Dhurmsala	430	1,60	4,09	7,15	10,6	8,83
Ergheo	213	0,44	5,87	20,10	20,7	20,40
Goodland	126	0,50	3,26	12,40	16,6	14,50
Harleton	276	1,05	5,55	35,60	38,8	37,20
Hayes Center	152	0,60	4,89	25,00	30,9	28,0
Holbrook	1640	4,00	4,20	12,30	17,7	15,0
Kohar (dunkel)	569	1,98	2,83	7,87	16,8	16,8
Kiel	1107	3,37	10,29	10,4	7,90	10,65
Kingfisher	112	0,44	5,38	13,1	14,80	13,95
Knyahinya	894	2,93	5,73	32,9	34,70	33,80
Ladder Creek	854	2,84	4,84	0,79	0,99	0,89
L'Aigle (hell)	848		4,66	7,82	10,13	
L'Aigle (dunkel)	771	2,72	5,06	6,80	8,12	8,22
La Lande	191	0,74	5,85	8,02	8,30	8,14
Leedey	602	2,15	5,85	7,00	7,22	7,11
Long Island	288	1,11	3,78	10,47	16,76	13,62
McKinney	77	0,32	3,96	2,80	4,26	3,53
Mezö Madaras	460	1,68	5,47	27,3	30,20	28,80
Mocs	657	2,32	4,30	11,90	16,70	14,30
Modoc	744	2,60	5,85	29,1	30,00	29,50
New Concord	241	0,92	3,87	2,21	3,46	2,84
Oberlin	181	0,70	5,01	8,80	10,62	9,71
Okniny	948	3,07	3,37	4,66	8,36	6,51
Paragould	42	0,20	5,18	12,80	15,00	13,90
Parnallee	675	2,35	2,73	3,26	7,19	7,19
Ramsdorf	109	0,43	4,97	3,53	4,29	3,91
Taiban	136	0,53	5,11	7,18	8,61	7,90
Temple	805	2,72	4,81	17,40	21,80	19,60
Walters (hell)	268		3,95	2,46	3,77	
Walters (vorwiegend dunkel)	208	0,91	3,79	2,48	3,95	3,14
Zemaitkiemis	195	0,77	5,71	7,94	8,40	8,17
<b>Chondrite der Gruppe H:</b>						
Beardsley	1257	3,50	4,44	3,40	4,66	4,03
Beddgeler	225	0,40	4,48	4,43	5,12	4,78
Breitscheid (hell)	466	1,53	3,82	18,0	28,6	23,3
Cullison	294	1,11	1,42	0,402	1,70	1,70
Ehole	1601	4,27	6,12	14,8	14,6	14,7
Estacado	1348	3,84	4,47	4,55	6,14	5,35
Farley	1092	3,35	4,84	18,3	22,8	20,6
Fayetteville	—	—	—	13,9	21,0	17,5
Mooresfort (hell)	771	2,64	4,68	8,02	10,37	8,88
Mooresfort (dunkel)	776		4,39	7,21	9,91	
Morland	986	3,13	5,64	0,521	0,556	0,54
Ochansk	1804	4,53		6,65	7,22	6,99
Pantar I (hell)	1211	3,49	4,04	1,98	2,96	2,47
Plainview	902	2,69	3,39	2,96	5,27	4,12
Příbram	1199	3,23	5,65	14,1	15,1	14,60
Pultusk (hell)	1356	3,87	4,22	3,47	4,97	4,22
Seres	137	0,53	0,67	0,063	0,55	0,55
Tabor III	1237	3,64	7,17	5,57	4,69	5,13
Texline	349	1,33	4,58	5,03	6,64	5,84
Woodward County	744	2,56	4,48	4,12	5,56	4,84

Tab. 3. Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Meteorit	${}^4\text{He}_{\text{rad}}$ $10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g}$	U-Th-He- Alter $10^9 \text{ a}$	$\frac{{}^3\text{He}}{{}^{21}\text{Ne}}$	$\frac{{}^3\text{He}}{{}^{21}\text{Ne}}$ Alter $10^6 \text{ a}$	${}^{21}\text{Ne}$ Alter $10^6 \text{ a}$	Mittelwert d. Bestrahlungs- alter $10^6 \text{ a}$
<b>Enstatit-Chondrite:</b>						
Abee	1093	2,78	4,97	6,65	8,09	7,27
Hvittis	1047	3,27	5,01	18,55	23,00	20,80
<b>Kohlinger Chondrit:</b>						
Murray	7539	—	4,02	2,28	3,49	2,89
<b>Olivin-Pigeonit Chondrite:</b>						
Karroonda	2228	4,97	6,26	41,2	39,75	40,5
Vigarano	9434	—	5,99	5,44	5,45	5,45
<b>Nicht näher klassifizierter Chondrit:</b>						
Bondoc	176	0,60	4,96	4,23	5,17	4,70
<b>Achondrite:</b>						
Johnstown	299	4,20	6,04	20,80	20,80	20,80
Juvinas	4715	2,91	9,06	7,69	5,12	6,42
Kapoeta	—	—	—	4,46	6,23	5,35
Pasamonte	4916	3,16	9,56	3,52	2,22	2,87
Sioux County	4598	2,72	7,22	10,40	8,70	9,55
Stannern	6549	3,63	7,91	16,50	12,60	14,60

Tab. 3. Gehalte aller 67 bisher von uns untersuchten Steinmeteorite an radioaktivem Helium und die damit berechneten U-Th-He-Alter sowie die zugehörigen Bestrahlungsalter. Bei Meteoriten mit  $\frac{{}^3\text{He}}{{}^{21}\text{Ne}} \leq 3,0$  wurde für den Mittelwert der Bestrahlungsalter nur der Wert des  ${}^{21}\text{Ne}$ -Alters berücksichtigt.

Dementsprechend haben sich auch die U-Th-He-Alterswerte dieser Meteorite alle geringfügig verringert.

Wie ersichtlich, liegen die U-Th-He-Alter für die meisten Meteorite wesentlich unter den 4,5 Milliarden Jahren, wie sie für den Zeitpunkt der Phasentrennung nach der Rubidium-Strontium-<sup>33, 34</sup> und Blei-Blei-Methode<sup>35, 36</sup> für Steinmeteorite gefunden wurden. In Abb. 1 haben wir die Verteilung der U-Th-He-Alter der von uns untersuchten Steinmeteorite in Histogrammen dargestellt, und zwar getrennt für die Gruppen H und L und die anderen Steinmeteorite. Wie aus den Histogrammen ersichtlich ist, besteht ein deutlicher Unterschied in den U-Th-He-Altern der Meteorite der H-Gruppe und denen der L-Gruppe. Dieser Unterschied bleibt auch erhalten, wenn man zu unseren Meßergebnissen noch die anderer Autoren hinzunimmt<sup>1, 37</sup> (siehe Abb. 2).

<sup>33</sup> E. SCHUMACHER, Z. Naturforschg. **11 a**, 206 [1956].

<sup>34</sup> P. W. GAST, Geochim. Cosmochim. Acta **26**, 927 [1962].

<sup>35</sup> C. C. PATTERSON, Geochim. Cosmochim. Acta **7**, 151 [1955].

<sup>36</sup> D. C. HESS u. R. R. MARSHALL, Geochim. Cosmochim. Acta **20**, 284 [1960].

<sup>37</sup> J. GEISS, H. OESCHGER u. P. SIGNER, Z. Naturforschg. **15 a**, 1016 [1960].

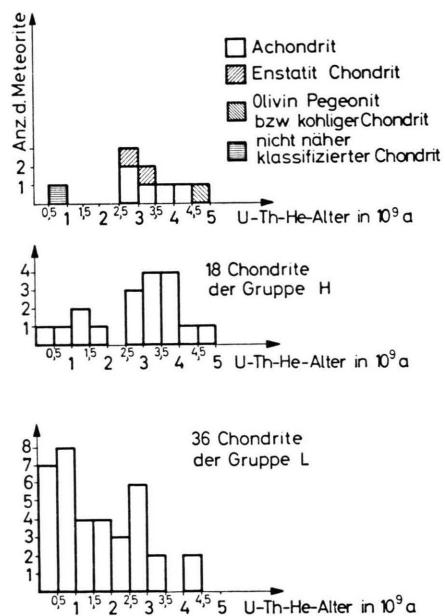


Abb. 1. Histogramm der U-Th-He-Alter der von uns untersuchten Steinmeteorite, aufgegliedert nach Chondriten der L-Gruppe, Chondriten der H-Gruppe und der übrigen Steinmeteorite. Die U-Th-He-Alter der Chondrite der H-Gruppe liegen im Durchschnitt beträchtlich höher als diejenigen der L-Gruppe.

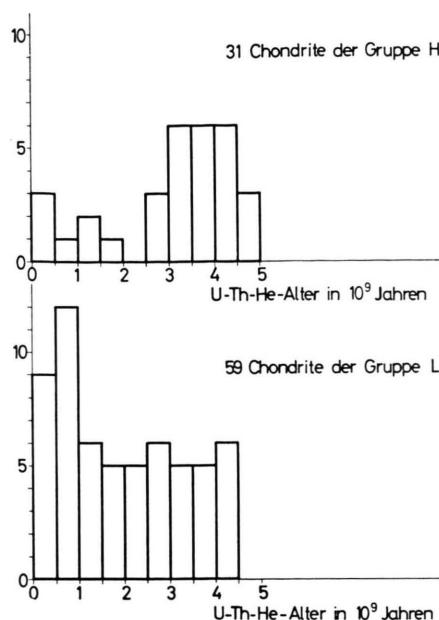


Abb. 2. Histogramm der U-Th-He-Alter der Chondrite der H- und L-Gruppe, jedoch unter Hinzuziehung aller in der Literatur bisher vorhandenen Daten<sup>1, 37</sup>. Die Daten von 54 Meteoriten sind unseren eigenen Arbeiten entnommen, während die Daten der übrigen 36 Meteorite aus den Arbeiten anderer Autoren<sup>1, 37</sup> stammen.

Vor kurzem war es bereits KEIL<sup>38</sup> aufgefallen, daß hinsichtlich der Verteilung der Kalium-Argon-Alter Unterschiede zwischen den Meteoriten der Gruppe H und denen der Gruppe L bestehen. Diese Unterschiede treten bei den radiogenen Heliumaltern noch wesentlich deutlicher hervor. Von den 36 Meteoriten der Gruppe L, die wir untersuchten, haben 26 (72%) ein radiogenes Heliumalter unter 2,5 Milliarden Jahren. Hingegen zeigen bei der Gruppe H von 18 Meteoriten nur 5 (28%) ein Alter unter 2,5 Milliarden Jahren. Bei diesen 5 Meteoriten handelt es sich um Bedgelert, Breitscheid, Cullison, Seres und Texline. Es lohnt sich, diese 5 „Ausnahmen“ von den Meteoriten der Gruppe H näher zu betrachten. Für Breitscheid konnten wir in einer anderen Arbeit<sup>29</sup> zeigen, daß dieser Meteorit starke Diffusionsver-

luste sowohl von radiogenen als auch spallogenen Edelgasen erlitten hat. Die Deutung dieser Diffusionsverluste ist zwar noch nicht vollkommen sicher, doch müssen radiogene und spallogene Edelgase in diesem Fall während der Einwirkung der Höhenstrahlung verlorengegangen sein. Zwei weitere dieser 5 Ausnahmen zeigen ein extrem niedriges  $^3\text{He}/^{21}\text{Ne}$ -Verhältnis (Cullison 1,42 und Seres 0,67 – gegenüber dem Durchschnitt von etwa 4,5), so daß starke Diffusionsverluste von spallogenen Edelgasen erwiesen sein dürften\*. Für die beiden anderen Meteorite, Bedgelert und Texline, kann aus dem  $^3\text{He}/^{21}\text{Ne}$ -Verhältnis nicht direkt auf Diffusionsverluste geschlossen werden. Wir werden jedoch diese beiden Meteorite unter Verwendung der Methode der spezifischen Lösungsmittel<sup>29, 39</sup> noch näher auf Diffusionsverluste von spallogenen Edelgasen hin untersuchen<sup>40</sup>.

Wenn auch die Art und der genaue Zeitpunkt der für die Diffusionsverluste verantwortlichen Erwärmung in den erwähnten 5 Meteoriten noch nicht genau feststehen, so ist doch auf alle Fälle sicher, daß die Erwärmung während oder nach der Einwirkung der Höhenstrahlung auf diese Meteorite stattgefunden haben muß. Solche starken Diffusionsverluste können natürlich nicht in der kurzen Zeit nach dem Fall dieser Meteorite auf die Erde stattgefunden haben. Im Gegensatz zu den Meteoriten der Gruppe H konnten VILCSEK, HINTENBERGER und WÄNKE<sup>29</sup> für vier Meteorite der Gruppe L, die alle relativ niedrige U-Th-He-Alter hatten, zeigen, daß bei diesen keinerlei Diffusionsverluste von spallogenem  $^3\text{He}$  aufgetreten sind. Nur das radiogene  $^4\text{He}$  scheint manchmal durch Diffusionsverluste erniedrigt. In allen den Fällen, in denen das U-Th-He-Alter mit dem K-Ar-Alter übereinstimmt, müssen solche Diffusionsverluste überhaupt ausgeschlossen werden. Für Meteorite, bei denen beide Alter übereinstimmen und unter 4,5 Milliarden Jahren liegen, muß wohl eine höhere Aufbewahrungstemperatur bis zu dem Zeitpunkt, der durch die Edelgasalter beschrieben wird, angenommen werden, oder aber diese Meteorite

<sup>38</sup> K. KEIL, Vorabdruck.

\* Anm. b. d. Korr.: Nach einer persönlichen Mitteilung von Herrn E. ANDERS, Chicago, hat der Meteorit Seres auf Grund von  $^{26}\text{Al}$ -Messungen ein Bestrahlungsalter von mindestens  $2,1 \cdot 10^6$  Jahren. Außerdem konnte ANDERS an diesem Meteoriten Merkmale einer starken sekundären Erwärmung nachweisen.

<sup>39</sup> E. VILCSEK u. H. WÄNKE, in Vorbereitung, erscheint voraussichtlich Z. Naturforschg. 1964.

<sup>40</sup> Geringe Unterschiede in den Diffusionskonstanten von Olivin und Pyroxen in den beiden Gruppen der Chondrite sind wegen des unterschiedlichen Mg/Fe-Verhältnisses denkbar, können aber kaum die Unterschiede in den Konzentrationen des radiogenen  $^4\text{He}$  erklären. Gegen einen solchen Einfluß der Diffusionskonstanten spricht aber die Tatsache, daß die  $^3\text{He}/^{21}\text{Ne}$ -Verhältnisse der spallogenen Edelgase nahezu gleich, ja sogar eher bei den Chondriten der Gruppe H etwas niedriger sind als bei denen der Gruppe L.

müssen zu diesem Zeitpunkt in einer stärkeren Erwärmung alle ihre bisher angesammelten Mengen von radiogenen Edelgasen verloren haben.

Wie aus unseren Untersuchungen mit großer Deutlichkeit hervorgeht, haben Chondrite der Gruppe H im allgemeinen hohe radiogene Edelgasalter, die nur manchmal durch Diffusionsverluste, bedingt durch eine Erwärmung, die während oder nach der Einwirkung der Höhenstrahlung stattgefunden haben muß, verfälscht sind. Als Grund für diese Erwärmung könnte man eine größere Annäherung an die Sonne annehmen. Es ist in diesem Zusammenhang auffällig, daß alle Chondrite mit einem hohen Gehalt an leichten Uredelgasen der Gruppe H angehören. Man kann vermuten, daß diese Meteorite mit einem hohen Gehalt an leichten Uredelgasen aus den obersten Schichten eines größeren Meteoritenmutterkörpers stammen. Ein solcher größerer atmosphärenloser Himmelskörper, wie beispielsweise der Erdmond, erwärmt sich durch die Sonneneinstrahlung in seinen obersten Schichten ziemlich kräftig (Erdmond auf ca.  $+130^{\circ}\text{C}$ )<sup>41</sup>, während die mittlere Temperatur bereits in einigen Metern Tiefe wesentlich tiefer liegt (beim Erdmond etwa  $-60^{\circ}\text{C}$ )<sup>42</sup>. Diese obersten Schichten sind aber nicht nur einer Erwärmung durch die Sonne, sondern auch der Einwirkung der Höhenstrahlung ausgesetzt. Gleichzeitig wäre, wie von WÄNKE<sup>43</sup> vorgeschlagen, eine Quelle für die Uredelgase durch den Sonnenwind gegeben \*. Für Oberflächenschichten eines Körpers von Mond- oder Asteroidengröße, der eine geeignete Umlaufbahn um die Sonne besitzt, wären die Bedingungen für den Ursprungsort der Meteorite, wie sie unseren Experimenten nach erforderlich sind, erfüllt. Diese Bedingungen sind:

1. Alle bisher aufgefundenen Chondrite mit einem hohen Gehalt an leichten Uredelgasen gehören der Gruppe H an. Wenn die Uredelgase dem Sonnenwind<sup>30, 43</sup> entstammen, müssen diese Chondrite aller Wahrscheinlichkeit nach aus den äußersten Schichten des Meteoritenmutterkörpers kommen.

2. Der Großteil derjenigen Meteorite der Gruppe H mit radiogenen Altern von wesentlich weniger als 4 Milliarden Jahren zeigten neben Diffusionsverlusten der radiogenen auch solche der spallogenen Edelgase, insbesondere von  ${}^3\text{He}$ , die möglicherweise

in Oberflächenschichten eines größeren Körpers durch die dort herrschenden höheren Temperaturen verursacht worden sind.

3. Es bestehen Anzeichen dafür, daß der prozentuale Diffusionsverlust an spallogenem  ${}^3\text{He}$  manchmal größer ist als der des radiogenen  ${}^4\text{He}$ . Die Einwirkung der Höhenstrahlung auf diese Meteorite muß deswegen während der Bildung von radiogenem Helium durch den Zerfall von Uran und Thorium stattgefunden haben. Da die „Bestrahlungsalter“ dieser Meteorite gegenüber den radiogenen Edelgasaltern klein sind, muß sich die Meteoritmaterie während der Einwirkung der Höhenstrahlung in wesentlich größerer Tiefe befunden haben, als es in den heutigen kleinen Meteoritkörpern, wie sie auf die Erde fallen, möglich wäre. Selbstverständlich verliert dann das Bestrahlungsalter seinen ursprünglichen Sinn. Die Zeitspanne der Einwirkung der Höhenstrahlung wäre wesentlich länger, hätte jedoch mit einer viel geringeren und vielleicht mit veränderlichen Intensitäten stattgefunden.

Kein einziger Meteorit der Gruppe L, der von uns untersucht wurde, zeigt ein Verhältnis von  ${}^3\text{He}/{}^{21}\text{Ne} \leq 2,5$ . Meteorite dieser Gruppe haben also vermutlich nur in seltenen Fällen größere Diffusionsverluste von spallogenen Edelgasen erlitten, wie auch aus der Arbeit von HINTENBERGER, VILCEK und WÄNKE<sup>29</sup> hervorgeht. Man könnte daher annehmen, daß die Meteorite dieser Gruppe aus tieferen Schichten des Meteoritenmutterkörpers stammen. Sie waren in dieser Tiefe im allgemeinen von der Einwirkung der Höhenstrahlung abgeschirmt. Dabei bleibt es noch vollständig offen, ob es sich um einen einzigen Mutterkörper für die Meteorite der Gruppe H und L oder um zwei verschiedene Körper gehandelt hat. Das Überwiegen von relativ niedrigen radiogenen He-Altern in der Gruppe L kann nur durch eine erhöhte Aufbewahrungstemperatur erklärt werden. Das röhrt offenkundig daher, daß die Temperatur bei einem großen Körper mit der Tiefe zunimmt. Falls die Meteorite aus dieser Schicht jemals größere Mengen von Uredelgasen oder spallogene Edelgase aus einer früheren Einwirkung der Höhenstrahlung angesammelt hatten, so haben sie diese sicherlich, zusammen mit den radiogenen Gasen, schon sehr frühzeitig in ihrer Lebensgeschichte verloren.

<sup>41</sup> E. PITTIT u. S. B. NICHOLSON, *Astrophys. J.* **71**, 102 [1930].

<sup>42</sup> C. H. MAYER, in *The Solar System*, Vol. III, p. 449, herausgegeben von G. P. KUIPER und B. M. MIDDLEHURST, Univ. of Chicago Press 1961.

<sup>43</sup> H. WÄNKE, in Vorbereitung, erscheint voraussichtlich *Z. Naturforsch.* 1964.

\* Sonnenwind und Sonnenstrahlung können praktisch nur auf die Oberfläche einwirken; durch die häufigen Einschläge kosmischer Körper verschiedener Größe wird jedoch eine dauernde Durchmischung der lockeren Oberflächenmaterie erfolgen.

### b) Bestrahlungsalter

Wir sind uns zwar der Fragwürdigkeit des Begriffs „Bestrahlungsalter“ nach dem Modell von MARTIN<sup>44</sup>, als der Zeit, die seit dem Ausbrechen des Meteoriten aus einem größeren Mutterkörper vergangen ist, bewußt, haben aber trotzdem Bestrahlungsalter nach diesem Modell berechnet. Dazu nahmen wir eine  $^3\text{He}$ -Produktionsrate von  $1,96 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3$  pro Gramm in  $10^6$  Jahren an, sowie eine solche von  $0,324 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g}$  in  $10^6$  Jahren für  $^{21}\text{Ne}$  (siehe HINTENBERGER, KÖNIG und WÄNKE<sup>2</sup>).

Wie aus der Tab. 3 ersichtlich ist, variieren die Mittelwerte der Bestrahlungsalter, wie sie aus dem  $^3\text{He}$ - bzw. dem  $^{21}\text{Ne}$ -Gehalt errechnet wurden, zwischen 0,3 und 40,5 Millionen Jahren. Ähnlich wie bei den radiogenen Edelgasaltern wurden kürzlich Unterschiede in den Bestrahlungsaltern zwischen den Chondriten der Gruppe H und den Chondriten der Gruppe L durch EBERHARDT und GEISS<sup>45</sup> aufgezeigt. Ein Vergleich unserer Histogramme (Abb. 3)

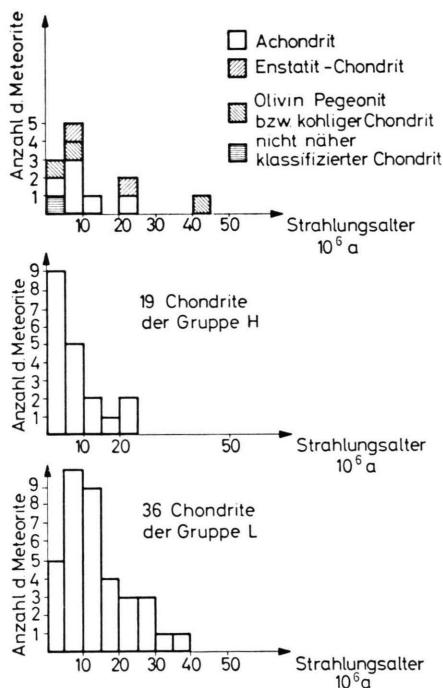


Abb. 3. Histogramm der Bestrahlungsalter aller von uns untersuchten Steinmeteorite, aufgegliedert nach Chondriten der H-Gruppe, der L-Gruppe und der übrigen Steinmeteorite. Hierzu wurden die Mittelwerte der Bestrahlungsalter aus Tab. 3 verwendet. Die Bestrahlungsalter der Chondrite der H-Gruppe liegen zu 74% unterhalb von 10 Millionen Jahren, während bei der L-Gruppe nur etwa 40% in diesen Bereich fallen.

<sup>44</sup> G. R. MARTIN, Geochim. Cosmochim. Acta 3, 288 [1953].

mit denen von EBERHARDT und GEISS, die im wesentlichen die Meßergebnisse von KIRSTEN, KRANKOWSKY und ZÄHRINGER<sup>1</sup> verwendet haben, zeigt, daß bei uns die Unterschiede für diese beiden Gruppen hinsichtlich der Bestrahlungsalter wesentlich weniger ausgeprägt sind.

Hierzu ist zu sagen, daß EBERHARDT und GEISS für ihre Zusammenstellung einmal natürlich von Meßdaten anderer Meteorite ausgingen, zum anderen zu den Chondriten der Gruppe H die Enstatit-chondrite und die kohlgelben Chondrite hinzugezählt haben. Ihrer chemischen Zusammensetzung nach gehören diese beiden Gruppen zweifellos zur Gruppe H. Dennoch sind sie von allen übrigen Chondriten so verschieden, daß ein gemeinsamer Ursprung nicht unbedingt vorausgesetzt werden kann, wenngleich beispielsweise hinsichtlich des Ur-edelgasgehaltes zumindest im Falle der kohlgelben Chondrite eine Parallelität besteht.

Wenn auch die Unterschiede in den Bestrahlungsaltern zwischen Chondriten der Gruppen H und L bei uns nicht so ausgeprägt sind wie bei EBERHARDT und GEISS, so läßt sich aus unseren Messungen auf keinen Fall ein Gegenbeweis für die von diesen Autoren hervorgehobenen Unterschiede ableiten. Es bleibt ein deutlicher, wohl außerhalb statistischer Schwankungen liegender Unterschied zwischen den beiden Gruppen von Chondriten bestehen. Von 19 Meteoriten der Gruppe H, an denen wir Bestrahlungsalter gemessen hatten, liegt das Bestrahlungsalter von 14 unter 10 Millionen Jahren (also von 74%). Hingegen besitzen nur 15 von 36 Meteoriten der Gruppe L, also nur etwa 40%, Bestrahlungsalter unter 10 Millionen Jahren. Die Verteilung der Bestrahlungsalter der Chondrite der Gruppe H zeigt auch, unter Weglassung der kohlgelben und der Enstatit-chondrite, etwa den gleichen exponentiellen Abfall wie bei EBERHARDT und GEISS.

Falls die Meteorite der Gruppe L tatsächlich aus einer größeren Tiefe des Meteoritenmutterkörpers stammen, so wäre es durchaus verständlich, daß Ereignisse, die zur Absplitterung solcher Meteorite vom Mutterkörper führen, nur in selteneren Intervallen eintreten als solche Ereignisse, die nur die oberen Schichten betreffen.

### c) Meteorite mit primordialen Edelgasen

Die Mengen und Isotopenverhältnisse der Meteorite, die große Mengen von primordialen Edelgasen

<sup>45</sup> P. EBERHARDT u. J. GEISS, Vorabdruck.

Meteorit	$^3\text{He}$	$^4\text{He}$	$^{20}\text{Ne}$	$^{21}\text{Ne}$	$^{22}\text{Ne}$	$\frac{^4\text{He}}{^3\text{He}}$	$\frac{^4\text{He}}{^{20}\text{Ne}}$	$\frac{^{20}\text{Ne}}{^{22}\text{Ne}}$	Lit.
Breitscheid $\Delta$	7,7	17950	204	1,25	15,4	2300	88	13,3	*
Breitscheid		17600	202	(0,57)	14,5		87	13,9	*
Breitscheid	6,0	16600	200	0,2	15,4	2780	83	13,0	21
Fayetteville	718	2027000	5040	(14,4)	399	2820	402	12,6	*
Fayetteville	—	—	28400	111	2650				19
Pantar	38,2	109000	394	1,47	31,6	2860	276	12,5	*
Pantar	36,7	109000	394	(1,12)	31,1	2970	276	12,7	*
Pantar	46,3	146000	178	0,11	14,0	3180	820	12,7	20
Pantar	12,5	45000	147	0,35	12,8	3570	305	11,5	21
Pantar	21,0	68000	214	0,65	17,1	3230	320	12,5	21
Pantar	14,0	44000	142	0,30	11,4	3080	310	12,5	21
Pultusk	6,5	7340	20,9	0,23	1,87	1140	351	11,2	*
Pultusk	6,2	7720	20,8	(0,06)	1,62	1250	370	12,9	*
Tabor	13,1	66000	124	0,61	9,95	5040	532	12,5	*
Tabor	16,9	66300	123	(0,35)	9,62	3920	539	12,8	*
Tabor	4,2	13800	39,2	—	3,6	3280	350	10,9	21
Murray	—	6560	38,9	(0,11)	3,92	—	169	9,9	*
Murray	—	8900	39,7	—	4,0	—	225	9,7	1
Murray	—	14200	63,2	—	6,8	—	225	9,2	24
Murray	—	—	53,8	—	5,06	—	—	10,6	23
Vigarano	3,8	8480	31,8	(0,09)	2,51	2230	267	12,7	*
Kapoeta	53,6	156400	1720	(4,9)	132	2920	91,1	13,0	*
Kapoeta	38,0	136000	2400	5,3	172	3580	56,5	14,0	22
Kapoeta	52,5	222000	2300	6,3	179	4260	96,5	12,8	1
Kapoeta	50	204000	2220	6,0	164	4080	93,0	13,5	25
Kapoeta	39,2	132000	1930	5,2	151	3390	68,5	12,8	21

Tab. 4. Mengen- und Isotopenverhältnisse der in Steinmeteoriten enthaltenen leichten Uredelgase. Die Helium- und Neonmengen sind in  $10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ NTP/g}$  angegeben. In den mit  $\Delta$  bezeichneten Zeilen wurden die Konzentrationen der primordialen Edelgase durch Subtraktion der in den hellen Anteilen gemessenen Konzentrationen erhalten. Die Berechnung der in den übrigen Zeilen angegebenen Uredelgasdaten sind im Text erklärt. Die mit \* bezeichneten Daten sind unseren eigenen Arbeiten entnommen.

enthalten, sind in Tab. 4 zusammengestellt. Hier ist auch der Meteorit Breitscheid <sup>46</sup> aufgeführt, und es sind alle Meteorite berücksichtigt, an denen in unserem Institut jemals Messungen gemacht wurden. Den Ergebnissen der eigenen Messungen sind wiederum zum Vergleich die Ergebnisse anderer Autoren angefügt. Während die Konzentrationen an spallogenen Gasen in den urgashaltigen Meteoriten bemerkenswert konstant von Probe zu Probe sind, variiert der Gehalt an Urgasen beträchtlich, wie ein Vergleich der von uns bestimmten Werte mit den in der Literatur angegebenen zeigt. Von den 5 normalen Chondriten, die große Mengen von leichten Uredelgasen enthalten, wurden 4, nämlich Pantar, Breitscheid, Tabor und Pultusk, in Mainz entdeckt. Alle diese Meteorite zeigen die sogenannte Hell-Dunkel-Struktur, und es sind jeweils nur die dunklen Anteile dieser Meteorite, die Uredelgase enthalten. Von SIGNER und SUESS <sup>21</sup> wurde später nachgewiesen, daß auch der Achondrit Kapoeta eine Hell-Dunkel-Struktur

<sup>46</sup> H. HINTENBERGER, H. KÖNIG u. H. WÄNKE, Z. Naturforschg. 17 a, 306 [1962].

besitzt, und daß auch bei ihm die hellen Anteile frei von Uredelgasen sind. Besonders bemerkenswert erscheint uns die Tatsache, daß es von den Meteoriten, bei denen Uredelgase nachgewiesen wurden, sehr häufig Stücke gibt, die keine leichten Uredelgase enthalten, obwohl sie teilweise sogar Hell-Dunkel-Strukturen aufweisen (Pantar, Pultusk, Tabor).

Der Meteorit Fayetteville, dessen Urgasgehalt von SIGNER und SUESS <sup>18</sup> entdeckt wurde, übertrifft zumindest im Heliumgehalt alle anderen uredelgas-haltigen Meteorite nochmals um einen Faktor 10. Hingegen liegen die Isotopen- und Elementverhältnisse der Uredelgase in Fayetteville durchaus in dem Bereich, in dem sich auch die der anderen uredelgas-haltigen Meteorite befinden. Bei den Meteoriten mit Hell-Dunkel-Struktur ist es möglich, wie es erstmals von KÖNIG, KEIL, HINTENBERGER, WLOTZKA und BEGEMANN <sup>9</sup> ausgeführt wurde, in den hellen uredelgas-freien Meteoritenanteilen die Konzentrationen der radioaktiven und spallogenen Edelgase zu messen und diese von den Edelgasmengen, wie sie im dunklen Anteil gefunden wurden, zu subtrahieren. Auf diese

Weise erhält man die reinen primordialen Komponenten der Edelgase ( $\Delta$ -Werte in Tab. 4). Dies ist insbesondere für die Berechnung des Verhältnisses  $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$  wertvoll.

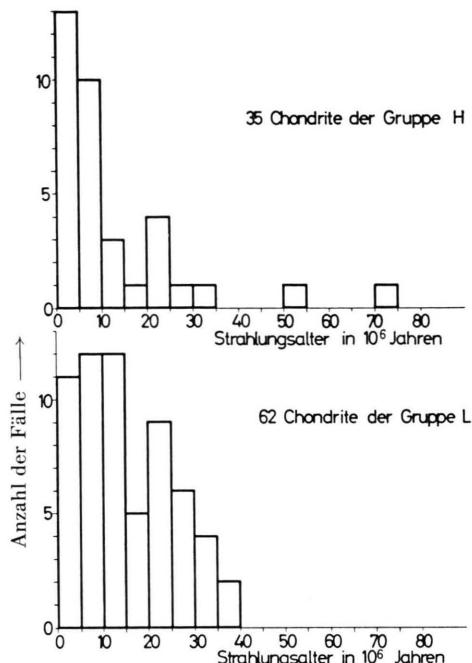


Abb. 4. Histogramm der Bestrahlungsalter wie nach Abb. 3, jedoch unter Hinzuziehung aller in der Literatur vorhandenen Daten<sup>1, 37</sup>. Die Bestrahlungsalter von 55 Meteoriten wurden aus eigenen Arbeiten entnommen, während die Daten von 41 Meteoriten aus den Arbeiten anderer Autoren stammen.

Wie wir an anderer Stelle beweisen konnten<sup>30</sup>, beträgt das Verhältnis  $^{20}\text{Ne}/^{21}\text{Ne}$  im Uredelgas etwa 350. Mit der Kenntnis dieses Verhältnisses läßt sich in den meisten Fällen der spallogene Anteil von  $^{21}\text{Ne}$  mit genügender Genauigkeit berechnen. Die Isotopenhäufigkeiten von  $^{20}\text{Ne}$ ,  $^{21}\text{Ne}$  und  $^{22}\text{Ne}$  des spallogenen Neons betragen: 0,89 : 0,92 : 1,00 (Zitat 2). Hat man somit den spallogenen Anteil von  $^{21}\text{Ne}$ , so läßt sich auch der spallogene Anteil von  $^{22}\text{Ne}$  und  $^{20}\text{Ne}$  leicht angeben. Auf diese Weise haben wir für alle in Tab. 4 aufgeführten Meteorite das für Spallationsneon korrigierte Isotopenverhältnis  $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$  im Uredelgas berechnet. Wie ersichtlich, stimmen die auf diese Weise errechneten Neon-isotopenverhältnisse recht gut mit denen überein, die durch Subtraktion der im hellen Anteil gemessenen Konzentrationen von den Konzentrationen im dunklen Anteil des jeweiligen Meteoriten erhalten wurden. Das Verhältnis  $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$  im Urneon liegt für

den kohlguten Chondriten Murray mit 9,9 besonders tief. Bereits STAUFFER<sup>23</sup> konnte vor ein paar Jahren zeigen, daß in den kohlguten Chondriten dieses Verhältnis teilweise unter dem Verhältnis im atmosphärischen Neon liegt. Doch auch bei den 5 uredelgashaltigen Chondriten der normalen Gruppe H sind gewisse Schwankungen, die wohl außerhalb der Meßfehler liegen, zu beobachten.

Im Gegensatz zu Murray handelt es sich bei Vigarano um einen kohlguten Chondriten, der ein relativ hohes  $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ -Verhältnis besitzt. Schon STAUFFER<sup>23</sup> hat darauf hingewiesen, daß die Unterschiede in den Isotopenverhältnissen des Urneons zwischen den einzelnen uredelgashaltigen Meteoriten vermutlich auf Grund von Diffusionsverlusten entstanden sind. Diese Meinung wurde auch von ZÄHRINGER<sup>25</sup> vertreten. Kürzlich konnten HINTENBERGER, VILCSEK und WÄNKE<sup>30</sup> zeigen, daß selbst innerhalb eines einzelnen uredelgashaltigen Meteoriten große Unterschiede in den Neon-isotopenverhältnissen zwischen den einzelnen Mineralien auftreten. Falls es sich, wie auch wir vermuten, tatsächlich um Isotopenverschiebungen durch Diffusion handelt, bedarf es natürlich sehr großer Diffusionsverluste, d. h. aber auch, daß der ursprüngliche Gehalt an Uredelgasen in den jeweiligen Meteoriten noch mindestens etwa einen Faktor 1000 höher war. Die Variationen des  $^{4}\text{He}/^{20}\text{Ne}$ -Verhältnisses sind wesentlich größer als diejenigen des  $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ -Verhältnisses; ihre Schwankungen reichen bis zu einem Faktor 6. Etwaige durch Diffusionsverluste bedingte Verschiebungen der Uredelgasisotope müssen sich natürlich bei dem  $^{4}\text{He}/^{20}\text{Ne}$ -Verhältnis besonders stark auswirken.

ZÄHRINGER und GENTNER fanden auch im Enstatit-chondriten Abee<sup>22</sup> einen gewissen Überschuß an  $^{20}\text{Ne}$ , der auf Urneon hindeutet. Jedoch konnten wir sowohl bei Abee als auch bei dem zweiten von uns untersuchten Enstatit-chondriten Hvittis, wie aus Tab. 2 ersichtlich, bestenfalls nur geringe Andeutungen auf Urneon feststellen. Bei Abee entstammte unsere Probe 100 g pulverisierten Materials dieses Meteoriten und sollte somit einen guten Durchschnitt geben.

Wie ebenfalls aus Tab. 2 ersichtlich, zeigen sich noch bei einer Reihe von anderen Meteoriten gewisse Hinweise auf einen geringen Anteil von Uredelgasen. Da es sich bei diesen Meteoriten meist um Funde handelt, sind gewisse Verfälschungen durch Luftneon nicht auszuschließen. Bei den Meteoriten mit Anzeichen für einen kleinen Gehalt an Urneon

handelt es sich um die folgenden: Khobar, Kiel, Ladder Creek, La Lande, McKinney, Taiban, Estacado, Morland, Texline und Woodward County. Da für die meisten dieser Meteorite die Mengen an spallogenem  ${}^3\text{He}$  und  ${}^{21}\text{Ne}$  sehr klein sind, sind natürlich Verunreinigungen durch Luftneon besonders kritisch.

Für die bereitwillige Überlassung von Meteoritproben danken wir herzlich den Herren Dr. M. A. ABDULLAH, Khartoum (Kapoeta), Prof. Dr. C. W. CORRENS und Prof. Dr. S. KORITNIG, Göttingen (Merö Maderas, Parnallee), Prof. Dr. K. R. DAWSON, Ottawa (Abee) (vermittelt durch Dr. F. BEGEMANN), Prof. Dr. W. VON ENGELHARDT, Tübingen (Barratta, Chantonay, L'Aigle, McKinney, Mooresfort), Dr. K. FREDRIKSSON, La Jolla (Bjurböle), Prof. Dr. E. HELLNER und Dr. W. SCHREYER,

Kiel (Kiel), Dr. E. P. HENDERSON, Washington (Harleton, Long Island, Murray, Paragould, Walters, Woodward County), Dr. K. KEIL, Los Altos (Khobar, Ochansk), Prof. Dr. K. KURODA, Fayetteville (Fayetteville), Dr. C. W. MOORE, Temple (Pantar II), Prof. Dr. R. ROST, Prag (Přibram), Prof. Dr. M. SAKSELA, Helsinki (Hvittis), Prof. Dr. H. SCHOLLER, Wien (Tabor III), Prof. Dr. H. E. SUESS, La Jolla (Ehole) und Prof. Dr. K. SZTRÓKAY, Budapest (Tabor II) (vermittelt durch Dr. F. BEGEMANN). Die Meteorite Estacado, Dhurmsala, Karoonda, New Concord, Vigarano und Zemaitkiemis entstammen der Sammlung F. A. PANETH.

Für ihre Mithilfe bei der Ausführung der experimentellen Arbeiten danken wir Fräulein H. HARASIN, Fräulein M. MONERJAN und den Herren B. SPETTEL und B. WELLNER. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sind wir für die leihweise Überlassung von Geräten zu Dank verpflichtet.

## Strahlungsalter einiger Eisenmeteorite

Von H. VOSHAGE und D. C. HESS \*

Max-Planck-Institut für Chemie (Otto-Hahn-Institut), Mainz  
(Z. Naturforschg. 19 a, 341—346 [1964]; eingegangen am 11. Dezember 1963)

Continuing investigations described earlier the cosmic-ray exposure ages of eight iron meteorites have been determined using the  ${}^{40}\text{K}/{}^{41}\text{K}$ -method. The results are: Canyon Diablo  $655 \pm 65$  Myrs, Dayton  $215 \pm 85$  Myrs, Grant  $695 \pm 55$  Myrs, Morradal  $155 \pm 95$  Myrs, Norfolk  $680 \pm 55$  Myrs, Norfork  $605 \pm 75$  Myrs, Piñon  $695 \pm 125$  Myrs, Washington County  $610 \pm 70$  Myrs.

In früheren Publikationen<sup>1—5</sup> ist über Isotopenhäufigkeitsmessungen an Kalium aus Eisenmeteoriten und über die Bestimmung der  ${}^{40}\text{K}/{}^{41}\text{K}$ -Strahlungsalter von 17 Eisenmeteoriten ausführlich berichtet worden. Im folgenden werden entsprechende Ergebnisse über 8 weitere Eisenmeteorite mitgeteilt.

### 1. Methode

Das Strahlungsalter  $T_S$  eines Eisenmeteoriten ergibt sich aus dem Massenspektrum einer aus dem Meteoriten abgetrennten Kaliumprobe mittels der Gleichung

$$\frac{\lambda T_S}{1 - \exp\{-\lambda T_S\}} = \frac{{}^{41}\text{K}/{}^{40}\text{K} - a {}^{39}\text{K}/{}^{40}\text{K}}{P_{41}/P_{40} - a P_{39}/P_{40}}. \quad (1)$$

\* Anschrift: Argonne National Laboratory, Argonne, Ill./USA.

<sup>1</sup> H. VOSHAGE u. H. HINTENBERGER, Z. Naturforschg. 14 a, 194 [1959].

<sup>2</sup> H. VOSHAGE u. H. HINTENBERGER, Z. Naturforschg. 14 a, 828 [1959].

Dabei ist der „ $M$ -Wert“

$$M = {}^{41}\text{K}/{}^{40}\text{K} - a {}^{39}\text{K}/{}^{40}\text{K} \quad (2)$$

durch die Isotopenhäufigkeitsverhältnisse  ${}^{41}\text{K}/{}^{40}\text{K}$  und  ${}^{39}\text{K}/{}^{40}\text{K}$  in einer beliebigen Mischung aus kosmogenem und primordialem Meteoritenkalium sowie aus terrestrischem Verunreinigungskalium und durch das Isotopenhäufigkeitsverhältnis  $a = ({}^{41}\text{K}/{}^{39}\text{K})_n = 0,07424$  (s. Anm. <sup>6</sup>) von terrestrischem Kalium gegeben. Der „ $N$ -Wert“

$$N = P_{41}/P_{40} - a P_{39}/P_{40} \quad (3)$$

enthält die Verhältnisse  $P_{41}/P_{40}$  und  $P_{39}/P_{40}$  der Produktionsraten der kosmogenen Kaliumnuklide in den Meteoriten.  $\lambda$  ist die Zerfallskonstante von  ${}^{40}\text{K}$  ( $\lambda = 0,545 \cdot 10^{-9} \text{ a}^{-1}$ ).

Von den verschiedenen früher angegebenen Methoden zur Bestimmung des  $N$ -Wertes einer Meteorite

<sup>3</sup> H. VOSHAGE u. H. HINTENBERGER, Z. Naturforschg. 16 a, 1042 [1961].

<sup>4</sup> H. VOSHAGE, Z. Naturforschg. 17 a, 422 [1962].

<sup>5</sup> H. VOSHAGE u. H. HINTENBERGER, in „Radioactive Dating“, International Atomic Energy Agency, Wien 1963, S. 367.

<sup>6</sup> A. O. NIER, Phys. Rev. 77, 789 [1950].