

Element- und Isotopenhäufigkeiten der Edelgase in der Sonne - He, Ne und Ar in Fe-Ni-Teilchen gasreicher Meteorite

Doctoral Thesis

Author(s):

Murer, Christoph A.

Publication date:

1994

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001436186>

Rights / license:

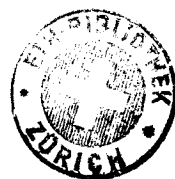
[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH Nr. 10964

Element- und Isotopenhäufigkeiten der Edelgase
in der Sonne - He, Ne und Ar in Fe-Ni-Teilchen
gasreicher Meteorite

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von
Christoph A. Murer
dipl. phil. II, Universität Zürich
geboren am 21. 9. 1959
von Rüti (ZH)



Cat 5

angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. P. Signer, ETH Zürich, Referent
PD Dr. R. Wieler, ETH Zürich, Korreferent
Prof. Dr. L. Schultz, MPI Mainz, Korreferent

Zürich 1994

Kurzfassung

In dieser Arbeit untersuche ich die solaren Edelgase Helium, Neon und Argon in Fe-Ni-Mineralen der edelgasreichen Meteorite Acfer 111, Fayetteville und Noblesville. Dazu habe ich die Methode der stufenweisen Oxidation der Fe-Ni-Teilchen mit CuCl_2 -Lösungen zur Anwendungsreife entwickelt. Die CuCl_2 -Lösungen reagieren sehr selektiv nur mit den Fe-Ni-Teilchen. Die mit dieser Methode extrahierten Edelgase Helium, Neon und Argon wurden massenspektrometrisch analysiert.

Fe-Ni-Teilchen sind als einzige Mineralphase aus Elementen aufgebaut, deren Atomgewichte grösser sind, als jene der implantierten He-, Ne- und Ar-Gase. Dies bedeutet, dass He, Ne und Ar in den Fe-Ni-Teilchen, im Vergleich mit anderen Mineralen, am ehesten gleich gut eingefangen und zurückgehalten werden und damit am besten die Zusammensetzung der solaren Korpuskularstrahlung widerspiegeln.

Die wichtigsten Resultate dieser Arbeit sind:

- 1.) Die Ne-Isotopenzusammensetzung der SW-Gase (SW: Sonnenwind) aus den Fe-Ni-Teilchen von Fayetteville ist mit den Verhältnissen in lunaren Ilmeniten (Benkert et al., 1993) und dem Wert aus dem Sonnenwindexperiment im Apollo-Programm identisch (Geiss et al., 1972). Dies bedeutet, dass nicht nur die Fe-Ni-Teilchen SW-Ne unfraktioniert festgehalten haben, sondern auch lunare Ilmenite.
- 2.) Die Daten meiner Arbeit bekräftigen die Existenz der SEP-Gase (Wieler et al., 1986; SEP: Solar Energetic Particles) mit Nachdruck: Das schwere solare Ne in den meteoritischen Fe-Ni-Teilchen hat ein $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ -Verhältnis, welches mit dem SEP-Wert aus dem lunaren Ilmenit identisch ist. Dies ist insofern bedeutend, als die Edelgase in den Fe-Ni-Teilchen im Vergleich mit jenen in Plagioklas, Pyroxen und auch Ilmenit weniger anfällig auf diffusive Umverteilungen sind.
- 3.) Die Ne-Isotopenzusammensetzung der SW- und SEP-Komponente in den Fe-Ni-Teilchen, die in den Fe-Ni-Teilchen durch keine oder nur durch eine minimale Diffusion der Edelgase verändert ist, stimmt mit den Werten aus Plagioklas-, Pyroxen- und Ilmenitenseparaten aus Mondproben (Wieler et al., 1986; Benkert et al., 1993) überein. Diese Übereinstimmung zeigt, dass auch in den Silikaten die Isotopenverhältnisse der zwei Komponenten nicht diffusiv verändert sind. Damit lässt sich die Frage nach dem eindiffundierten SW-Anteil beantworten: Falls migrierte SW-Gase bestehen, dann ist ihr Anteil unbeobachtbar klein.
- 4.) Die Daten aus den Fe-Ni-Teilchen der Proben Fayetteville und Acfer 111 bekräftigen die These, dass das $^{36}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ -Verhältnis im SW höher ist als der

atmosphärische Wert von 5.32.

5.) Die solaren Ne/Ar-Verhältnisse der einzelnen Oxidationsschritte und die daraus berechneten gewichteten Mittelwerte der Fe-Ni-Separate Noblesville und Fayetteville sind innerhalb der Fehlergrenzen identisch mit dem Wert im heutigen Sonnenwind und dem Wert aus Messungen mit Teilchendetektoren auf Raumsonden. Dies bedeutet, dass SW und SEP innerhalb der Auflösung der Analyse im Vergleich zum heutigen Sonnenwind identische Ne/Ar-Verhältnisse haben. Falls die Elementverhältnisse im Sonnenwind zur Zeit der Bestrahlung der Proben mit den heutigen Werten identisch sind, zeigen meine Daten, dass bei der Implantation von He, Ne und Ar durch die solare Teilchenstrahlung in die Fe-Ni-Teilchen im Asteroidenregolith nicht nur keine Fraktionierung stattgefunden hat, sondern dass die Fe-Ni-Teilchen das Implantat auch unverändert zurückgehalten haben. Für das Fe-Ni-Separat Fayetteville gelten diese Aussagen auch für He/Ne und He/Ar.

6.) Die Elementverhältnisse der solaren Edelgase in den Fe-Ni-Teilchen zeigen, dass die von Cerutti (1974) angewandte Korrektur der gemessenen $^{20}\text{Ne}/^{36}\text{Ar}$ - und $^4\text{He}/^{36}\text{Ar}$ -Werte aus den Al-Folien des Sonnenwindexperimentes im Apollo-Programm auf Verhältnisse von rund 50, beziehungsweise 27000 richtig war.

7.) Die Elementverhältnisse der solaren Edelgase in Fayetteville sind unabhängig vom Grad der Oxidation durch CuCl_2 konstant und gleich wie im heutigen Sonnenwind. Dies bedeutet, dass die beobachteten Isotopenverhältnisse des Ne nicht durch Migration von SW-Ne ins Korninnere erklärt werden können, wie dies von Frick et al. (1988) postuliert wurde.

8.) Das berechnete Verhältnis von $\text{SW}_{\text{Ne}}/\text{SEP}_{\text{Ne}}$ aus den Fe-Ni-Teilchen ist um vier bis fünf Größenordnungen kleiner, als das Verhältnis aus den Flüssen der Protonen im Sonnenwind und der Protonen mit Energien zwischen 20 KeV/Nukleon und 0.1 MeV/Nukleon.

Die Existenz der SW- und SEP-Komponente ist heute belegt. Der Anteil des ins Korninnere migrierten SW am nominellen SEP-Anteil ist unbeobachtbar klein. Wir wissen, dass die He/Ne/Ar-Elementverhältnisse sowohl im SW als auch im SEP ähnlich den Werten im heutigen Sonnenwind sind.

Diese Tatsachen sind sehr erstaunlich und führen zur folgenden Schlussfrage an die Sonnentheoretiker:

Wie fraktioniert die Sonne Isotope und lässt dabei die Elementhäufigkeiten unverändert?

Abstract

The aim of this study is to analyse the solar noble gases helium, neon, and argon in Fe-Ni-minerals from the gas-rich meteorites Acfer 111, Fayetteville, and Noblesville. To this end, I developed a new extraction technique, the closed system stepped oxidation with CuCl_2 -solutions. This reagent very selectively attacks only metal phases. Helium, neon, and argon are analysed by on-line mass spectrometry.

Fe-Ni-separates retain solar He, Ne, and Ar better than all the other minerals because the atomic weight of Fe and Ni is higher than that of the trapped gases. This means that the trapping efficiencies for He, Ne, and Ar are very nearly the same. Therefore, trapped noble gases in Fe-Ni should best reflect elemental and isotopic abundances of the noble gases in the incoming solar corpuscular radiation.

The most important results of the stepwise oxidation of the Fe-Ni separates are:

1.) The Ne isotopic composition of the solar wind gases (SW) is identical in Fayetteville metal, lunar ilmenite (Benkert et al., 1993) and the Apollo solar wind experiment (SWC, Geiss et al., 1972). This supports the conclusion that metal and also ilmenite retain isotopically unfractionated SW-Ne.

2.) The new data support the existence of SEP gases (Wieler et al., 1986; SEP: Solar Energetic Particles). The $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ -ratio of the SEP gases in metal and ilmenite are identical. This is important, because in metal the solar gases are less susceptible to diffusive redistribution than in plagioclase, pyroxene, and even ilmenite.

3.) The Ne isotopic composition of both SW and SEP components, respectively, are identical in metal, lunar plagioclase, lunar pyroxene, and lunar ilmenite. This conformity shows that the isotope ratios of the two components are not diffusively altered, not even in silicates. Amounts of SW gases that may have migrated into the grain interior are unobservably small.

4.) The $^{36}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ -ratios of the SW component in Fayetteville and Acfer 111 are higher than the atmospheric value of 5.32.

5.) The solar Ne/Ar-ratios of the individual steps and the average values in metal of Noblesville and Fayetteville are identical within error limits to the present-day solar wind (Cerutti, 1974) and values obtained with satellite borne instruments. This indicates that Noblesville and Fayetteville retain unfractionated SW-Ne and SW-Ar and that the Ne/Ar-ratios in SW and SEP are within error limits the same as the

present-day solar wind value. Assuming that the element ratios of the present-day solar wind are identical to their ratios at the time of the irradiation of the samples in the regolith, this means that Ne and Ar are not altered by fractionation during implantation and that Fe-Ni-separates retain unfractionated solar gases. For the metal separate of Fayetteville the same result is observed for He/Ne and He/Ar.

6.) The $^{20}\text{Ne}/^{36}\text{Ar}$ - and $^4\text{He}/^{36}\text{Ar}$ -ratios of the solar gases retained in metal agree with the values obtained by Cerutti (1974) by extrapolating the measured values in the Al-foils to zero ^4He -flux. This agreement shows that these extrapolations to values of 50 and 27000, respectively, are correct.

7.) The solar He/Ne/Ar elemental ratios in Fayetteville metal are independent of the isotopic pattern and are the same as those in the present-day solar wind. This indicates that the observed Ne isotopic pattern is not the result of the migration of SW noble gases into the grain interior, as postulated by Frick et al. (1988). Thus, our results strongly support the existence of a surface sited SW component and a more deeply sited SEP component.

8.) The average ratio of SW proton flux and the flux of protons with energies between 20 KeV/amu and 0.1 MeV/amu is four to five orders of magnitude higher than the concentration ratio of retained SW-Ne and SEP-Ne.

The existence of the SW and SEP components is proved. The observed isotopic patterns are not the result of the migration of SW noble gases into the grain interior and the portion of SW gases of the SEP component are unobservably small. The He/Ne/Ar element ratios of the SW and SEP component from metal and the ratios in the present-day solar wind are identical.

These facts are very remarkable and lead to the following question: How does the sun fractionate isotopes, while the element abundances are not affected?