

Begehrter Neutronenfänger

Brigitte Osterath

Helium ist selten und wertvoll – das gilt ganz besonders für das Isotop Helium-3. In der Wissenschaft ist es zunehmend gefragt, und die Preise schießen in die Höhe. Ein Grund für seinen Mangel:

Es gibt weniger Atomwaffen als noch vor ein paar Jahrzehnten.

◆ Unähnlicher können sich zwei Isotope des gleichen Elements nicht sein. Der Atomkern von Helium-3 hat neben seinen zwei Protonen nur ein Neutron und ist damit um ein Viertel leichter als sein zweineutroniger Bruder Helium-4 (Abbildung 1). Außerdem weisen Helium-3-Kerne den Spin 1/2 auf, sind daher Fermionen und haben ein magnetisches Moment; Helium-4-Kerne mit Spin 0 sind Bosonen. Zwar sind beide Isotope Edelgase und damit chemisch inert – kernphysikalisch aber ist Helium-3 sehr reaktiv: Seine Kerne fangen Neutronen ein. Dabei bilden sich unter Energieabgabe Tritium- und ^1H -Kerne, die ein Geiger-Müller-Zählrohr nachweisen kann. Das prädestiniert Helium-3 als Neutronendetektor. Aufgrund seines Kernspins ist es auch begehrt für magnetresonanztomografische Untersuchungen der Lunge und bei Neutronenpolarisationsanalysen.

Außerdem ist die Mischungskühlung mit He-3 und He-4 bisher die einzige Methode, um im Labor Temperaturen unter 0,5 Kelvin einzustellen (Abbildung 2). Das Problem ist nur: Der Nachschub an Helium-3 ist extrem begrenzt.

Zerfallsprodukt des Tritiums

◆ Nur 1,37 ppm des natürlich vorkommenden Heliums auf der Erde sind Helium-3. Es entsteht beim radioaktiven Zerfall: Tritium zerfällt

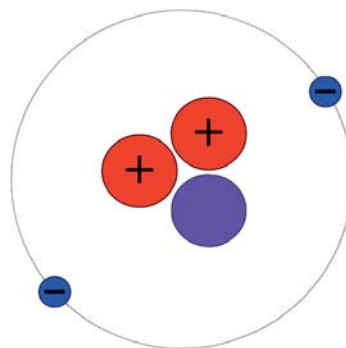


Abb. 1. Helium-3-Atom.

mit einer Halbwertszeit von 12,3 Jahren zu Helium-3. Damit bildet sich das begehrte Isotop auch in Neutronenbomben und in den Sprengköpfen von Kernwaffen, die mit Tritium geboostert sind, um die Sprengkraft zu erhöhen. Helium-3 ist daraus regelmäßig zu entfernen.

Da das Entstehen von Helium-3 somit eng an die Existenz, die Produktion und den Abbau von Kernwaffen gekoppelt ist, sind die einzigen weltweiten Anbieter die USA und Russland. Da beide Länder ihr Atomwaffenprogramm seit Ende des Kalten Krieges zurückgefahren haben, ist der Nachschub an Helium-3 rapide gesunken – bei steigendem Bedarf.

Einige wenige Unternehmen bieten Helium-3 zum Kauf an, etwa Chemgas in Frankreich, Isoflex in den USA und Linde nach der Übernahme von Spectra Gases. Diese Unternehmen kaufen das Gas in Russland oder den USA. Vorher werden Tritiumverunreinigungen

bei tiefen Temperaturen über Pd-Netze entfernt. Das passiert in den Einrichtungen der Savannah River National Laboratory in Jackson, South Carolina, für sämtliches aus den USA stammendes He-3. Mehr geben die Anbieter nicht preis. „Das Geschäft mit He-3 ist ziemlich strategisch“, sagt Jean Defler von Chemgas. Thomas Hagn, Pressesprecher von Linde, bedauert, dass sie keine genauen Informationen herausgeben dürfen: „Es gibt von Seiten der USA restriktive Auflagen, wie wir mit den Informationen über He-3 umzugehen haben.“ Patrick Hardy von Isoflex ergänzt, wieso: Die Menge an entstehendem He-3 gebe „genaue Hinweise“ darauf, wie das Atomwaffenarsenal eines Landes beschaffen sei.

Regelmäßig bietet das US-Energieministerium ein paar tausend Liter des Edelgases in Internetauktionen an. Das letzte Mal standen insgesamt 4000 Barliter – also 4000 Liter bei einem Druck von einem Bar – zum Verkauf, das war im August 2014.¹⁾ Forschungsinstitute können dafür bieten, müssen aber exakt angeben, was sie mit dem Gas vorhaben.

Engpass nach 09/11

◆ In einem Papier an den US-Kongress über die Helium-3-Situation des Landes im Jahr 2010 schrieben die Autoren, dass im US-Atomwaffenprogramm 8000 Barli-



Setzt neue Maßstäbe

Das neue LCMS-8060 Triple Quadrupole-MS vereint innovative Technologien – für unerreichte Sensitivität, unübertroffene Geschwindigkeit und herausragende Beständigkeit bei hoher LC/MS/MS-Datenqualität. Das sorgt für einen deutlich schnelleren und effektiveren Arbeitsablauf.

- **Weltweit höchste Empfindlichkeit**
durch die neue UF-Qarray-Technologie, die die Grenzen der MRM-Empfindlichkeit erweitert und die Full-Scan-Empfindlichkeit optimiert
- **Unübertroffene Geschwindigkeit**
basierend auf der Datenerfassung mit einer Scan-Geschwindigkeit von 30.000 u/sec und einer Polaritätswechselzeit von 5 msec
- **Herausragende Beständigkeit**
mit besonders geringen Standardabweichungen der Signalfächen, welche die hohe Stabilität des LCMS-8060 belegen.*

www.shimadzu.de

*Beispiel: RSD-Wert von 3,5 % bei 2.400 Alprazolam-Proben in Femtogramm-Bereichen über einen Zeitraum von 6 Tagen, eingebracht in protein-präzipitierte menschliche Plasmaextrakte (über 400 Proben wurden jeden Tag injiziert).



Abb. 2.
*³He-⁴He-Verdünnungs-
kryostaten kühlen bis
fast zum Nullpunkt.*

Foto: Wikipedia/
strangerranger

ter Helium-3 pro Jahr entstanden.²⁾ Der zuvor über viele Jahrzehnte angehäuften Vorrat an Helium-3 sei bereits auf 50 000 Liter gesunken.

Ein Barliter Helium-3 kostet inzwischen mindestens 3000 Euro. Das war Anfang der 2000er Jahre noch anders, erinnert sich Ralf Hertenberger von der Ludwig-Maximilians-Universität München: „Zu D-Mark-Zeiten haben wir 180 D-Mark pro Barliter bezahlt.“ Der Physiker untersucht in Kosmologiestudien im Tandembeschleuniger die Zustände von Atomkernen. Nutzt er Helium-3 als Ionenquelle, benötigt er davon im Durchschnitt 10 Barliter pro Woche. „Wir mussten ein Experiment mal um ein halbes Jahr verschieben, weil gerade kein bezahlbares Helium-3 zu bekommen war“, sagt Hertenberger.

Besonders kritisch wurde die Helium-3-Versorgung für Wissenschaftler im Jahr 2009. Karl Zeitelhack, Physiker an der Forschungs-Neutronenquelle

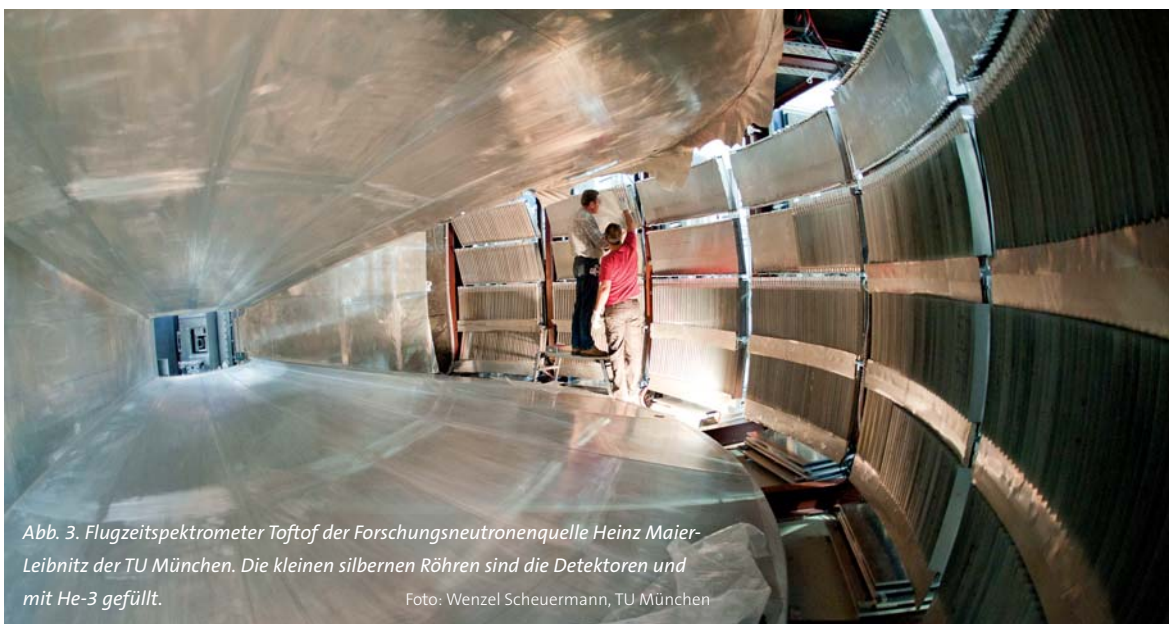


Abb. 3. Flugzeitspektrometer Toftof der Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz der TU München. Die kleinen silbernen Röhren sind die Detektoren und mit He-3 gefüllt.

Foto: Wenzel Scheuermann, TU München

Heinz Maier-Leibnitz der TU München, nennt es „den großen Schock“: Die USA verhängten einen vollständigen He-3-Lieferstopp. Das Isotop war als Bestandteil von Neutronendetektoren nach dem Anschlag vom 11. September 2001 unter anderem an US-amerikanischen Grenzen gefragt: Die US Homeland Security wollte damit geschmuggeltes radioaktives Material, etwa Plutonium, aufgrund seiner Neutronenemissionen aufspüren. Erst im Jahr 2011 startete der

He-3-Verkauf wieder. „Die Situation hat sich inzwischen entspannt“, sagt Zeitelhack. „Kleine Mengen Helium-3 kann man wieder ganz regulär kaufen.“ Mit kleinen Mengen meint er einige Liter.

Die US Homeland Security hat inzwischen auf Feststoffneutronendetektoren umgesattelt. Auch Bor-10 und Lithium-6 fangen Neutronen ab, außerdem erforschen die USA halogenhaltige Elpasolith-Kristalle, etwa Rb_2LiYl_6 , und Stilben (1,2-Diphenylethen) zu diesem Zweck.³⁾

Helium-3-Fresser

◆ Problematisch ist es laut Zeitelhack nach wie vor, gleichzeitig mehrere hundert Barliter Helium-3 oder sogar mehr zu bekommen. Solche großen Mengen sind für Flugzeitspektrometer in der Neutronenforschung erforderlich (Abbildung 3). „Unser größter Neutronendetektor hier fasst 1300 Barliter He-3“, erklärt Zeitelhack. Einige Forschungseinrichtungen hätten sogar noch größere Modelle.

Die Neutronenforschung beschießt Proben mit Neutronen, die anschließend auf den Neutronendetektor aufprallen. Im Detektor reagieren He-3-Kerne damit zu Tritium- und ^1H -Kernen.

Flugzeitspektrometer bestehen aus He-3-gefüllten Röhren und umfassen mit ihrer Auffangfläche

einen großen Raumwinkel, um die Zeit, die ein Neutron von der Probe zum Detektor braucht, genau zu erfassen. So messen unter anderem Feststoffphysiker und Biologen die Energieänderung, die eine Probe bei Beschuss erfährt und ziehen Rückschlüsse auf dynamische Prozesse in der Probe, etwa Molekülbewegungen.

Helium-3 eignet sich für solche Untersuchungen besonders gut, erklärt Zeitelhack: „Die He-3-Gasdetektoren unterscheiden zwischen Neutronen und Gammastrahlung. Da sich He-3 unter Druck setzen lässt, sind sie zudem hocheffizient.“ Außerdem ist He-3 als Edelgas nicht giftig und leicht zu handhaben – ein unbezahlbarer Vorteil gegenüber dem vor vielen Jahrzehnten benutzten giftigen Gas $^{10}\text{BF}_3$, das ebenfalls Neutronen einfängt, inzwischen aber aus Sicherheitsgründen nicht mehr erlaubt ist.

Aber die Neutronenforscher müssen sich für die Zukunft ein neues Detektormaterial überlegen: Die USA geben keine große Mengen He-3 für den Bau neuer Neutronendetektoren mehr raus, sagt Zeitelhack: „Ein interministeriales US-amerikanisches Helium-3-Komitee hat beschlossen, dass solche Projekte keine Priorität haben und die Wissenschaftler Alternativen entwickeln müssen.“ Wie schon bei der Homeland Security sind jetzt Fest-

GDCh-Kurs
 Synthesemethoden der Anorganischen Chemie
 Theorie und Anwendung (038/16)
 4. - 7. Oktober 2016, Kiel
 Leitung: Prof. Dr. Norbert Stock

Highlights:
 - Auffrischung der MS- und GC/MS-Grundlagen
 - Arbeiten mit der Pyrolyse-GC/MS und der 2D-Pyrolyse-GC/MS
 - Auswertung von Pyrogrammen
 - Identifizierung von Kunststoffen
 - Tipps zum Troubleshooting

Anmeldung/Information:
 Tel.: 069/7917-291
 E-Mail: fb@gdch.de
 www.gdch.de/fortbildung

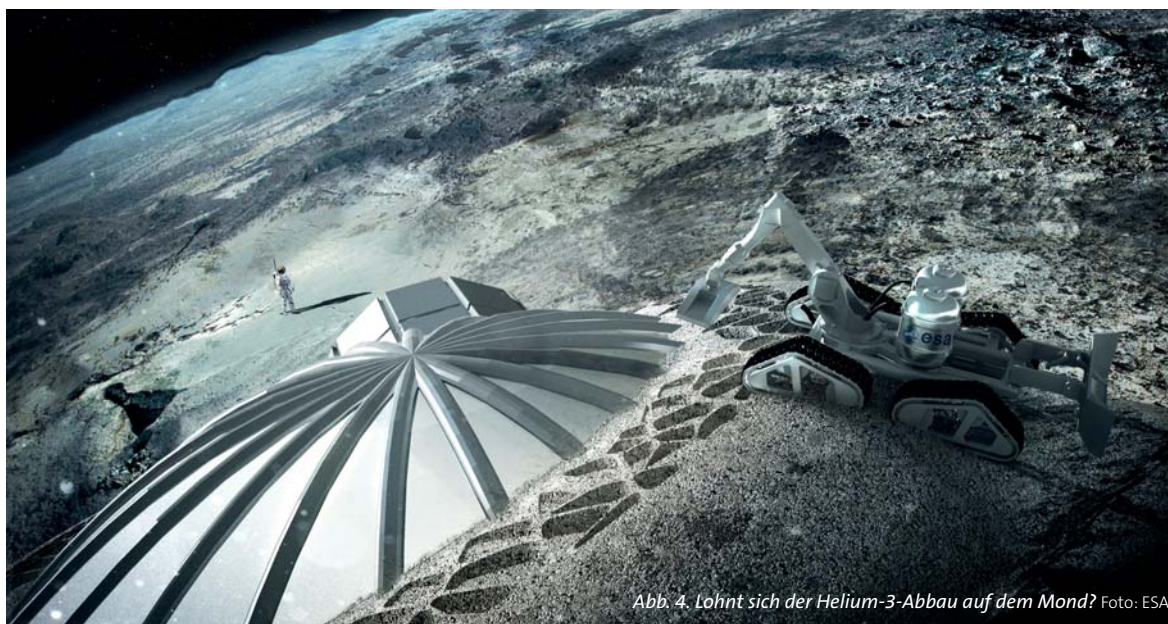


Abb. 4. Lohnt sich der Helium-3-Abbau auf dem Mond? Foto: ESA

stoffdetektoren, beispielsweise mit Bor-10, als Ersatz im Gespräch.

Polarisieren und beschießen

◆ In einem äußeren Magnetfeld stellt sich das He-3-Atom mehr parallel als antiparallel zum Magnetfeld, das Gas wird so selbst magnetisch. Es absorbiert besonders gut Neutronen, wenn die Spins der eintreffenden Neutronen antiparallel zum eigenen Kernspin sind. So lassen sich Neutronenstrahlen polarisieren oder der Spinzustand einer Probe in Neutronenpolarisationsanalysen bestimmen.

Mit Helium-3 untersuchen Forscher in Teilchenbeschleunigern auch Oberflächen. Das Forschungszentrum Jülich beispielsweise analysiert damit die Wandmaterialien von Kernfusionsreaktoren. Bei der Kernfusion kann sich der Brennstoff Deuterium in die Wand einlagern. Um zu erfahren, ob das passiert ist, beschießen die Forscher später im Tandembeschleuniger Stücke der Wand mit ionisiertem Helium-3. Ist Deuterium vorhanden, reagiert Helium-3 mit dem Wasserstoffisotop zu Helium-4 und einem energiereichen Proton. Dieses Proton lässt sich detektieren und so Rückschlüsse darauf zu, wie viel des Fusionsbrennstoffs sich in die Wand eingelagert hat.

Alternative Quellen

◆ Wer mit Helium-3 forscht, versucht schon allein aufgrund des gigantisch hohen Preises so sparsam wie möglich damit umzugehen. Für neue Neutronendetektoren recyceln Forschungsinstitute wie das von Karl Zeitelhack Helium-3 aus ihren alten Detektoren wieder. Viele Forscher fangen nichtionisiertes Helium-3 in ihrem Teilchenbeschleuniger auf. Physiker Ralf Hertenberger etwa saugt alle Gase ab, friert die unerwünschten mit flüssigem Stickstoff aus und verwendet das ungenutzte Helium-3 dann wieder.

Auf lange Sicht werden Sparmaßnahmen alleine aber nicht reichen, um den Durst der Wissenschaft nach Helium-3 zu stillen. Nicht nur die Suche nach Alternativen, auch die Suche nach neuen Quellen hat begonnen.

Tritium entsteht aus Deuterium in Schwerwasserkernreaktoren. Kanada und Südkorea beispielsweise betreiben solche Reaktoren. Nach Angaben des US-Papiers²⁾ hat die Ontario Power Generation in Kanada bereits angefangen, dieses Tritium zu isolieren und kontrolliert zu Helium-3 zerfallen zu lassen. In einigen Jahren, so munkelt man, könnte erstmals derart produzier-

tes Helium-3 auf den Markt kommen. Patrick Hardy von Isoflex allerdings bedauert, niemals konkrete Bekanntmachungen dazu gesehen zu haben. Bisher scheint das nichts weiter als ein Gerücht zu sein.

Eine ungewöhnlicher Plan wäre es, Helium-3 auf dem Mond abzubauen (Abbildung 4). Dort hat der Sonnenwind das begehrte Isotop in der Gesteinsdecke abgelagert.⁴⁾ Bisher erfolgt der Abbau allerdings rein fiktiv, etwa in Frank Schätzing's Thriller „Limit“. Falls die Preise für Helium-3 aber weiter steigen, könnte diese Idee vielleicht doch Zukunftspotenzial haben.

Die promovierte Chemikerin **Brigitte Osterath** arbeitet als Wissenschaftsjournalistin in Bonn. www.writingscience.de

Literatur

- 1) <https://isotopes.gov/he-3auction/index.html>
- 2) D. A. Sgea, D. Morgan, „The Helium-3 Shortage: Supply, Demand, and Options for Congress“, CRS Report for Congress, 2010. www.fas.org/sgp/crs/misc/R41419.pdf
- 3) www.dhs.gov/breakthrough-detection-technologies
- 4) E. N. Slyuta: The Estimation of Helium-3 Probable Reserves in Lunar Regolith. In: 38th Lunar and Planetary Science Conference 2007, www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2007/pdf/2175.pdf.