



Erzählungen über



seltene  
Metalle

Venetzkij



---

*Aus dem Inhalt*

---

**Ga** Der Triumph eines großen Gesetzes – Gallium

---

**Rb** Der böse Gin – Rubidium

---

**Sr** Das Geheimnis der bengalischen Priester – Strontium

---

**Y** Der Fund in der verlassenen Sandgrube – Yttrium

---

**Tc** Der wiedererwachte Dinosaurier – Technetium

---

**Pd** Der Scherz des englischen Wissenschaftlers – Palladium

---

**Cd** Zu Ehren des Phöniziers Kadmos – Cadmium

---

**In** Der Namensvetter des Landes der Wunder – Indium

---

**Sb** Das Vorkommen im Stahlhausener Kloster – Antimon

---

**Cs** Die zwei blauen Unbekannten – Cäsium

---



---

**Ba** Das Glück des Schuhmachers aus Bologna – Barium

**Hf** Das verstreute Element – Hafnium

**Re** Das Geheimnis der alten Halden – Rhenium

**Os** Die »Beleidigung« eines Edelmetalls – Osmium

**Ir** Alle Farben des Regenbogens – Iridium

**Tl** Der junge grüne Zweig – Thallium

**Bi** Die »Dienstreise« in den Kosmos – Wismut

**Fr** Das Seltenste unter den Seltenen – Franzium

**Ra** Jahre der Arbeit – ein Erzeugnis in Gramm – Radium

---



## Venezkij · Erzählungen über seltene Metalle





Sergej Iosifovič Venetzkij

# Erzählungen über seltene Metalle

Mit 48 Bildern



VEB DEUTSCHER VERLAG  
FÜR GRUNDSTOFFINDUSTRIE · LEIPZIG

Lizenzausgabe von der 1. Auflage  
der Originalausgabe mit Genehmigung  
des Verlages »Metallurgia«, Moskau  
© Издательство »Металлургия«, 1980  
Венецкий, Сергей Иосифович  
»О редких и рассеянных – Рассказы о металлах«  
Первое издание  
Übersetzung aus dem Russischen:  
Dr.-Ing. Jürgen Bast  
Herausgeber und Bearbeiter  
der deutschsprachigen Ausgabe:  
Prof. Dr.-Ing. habil. Maja Krumnacker  
Gestaltung und Illustration  
der Originalausgabe:  
A. V. Kolli

1. Auflage  
Deutschsprachige Ausgabe: VEB Deutscher  
Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1983  
VLN 152-915/86/83  
LSV 3309  
Lektor: Renate Strohmann  
Gesamtgestaltung: Gottfried Leonhardt, Leipzig  
Printed in the German Democratic Republic  
Gesamtherstellung: INTERDRUCK  
Graphischer Großbetrieb Leipzig, Betrieb der  
ausgezeichneten Qualitätsarbeit, III/18/97  
Bestell-Nr.: 541 770 7  
EVP DDR 20,- M



## Über dieses Buch

**W**ir leben in einer erstaunlichen Zeit. Vor unseren Augen hat der Mensch die ersten Schritte in den Kosmos unternommen, er hat begonnen, die Atomenergie zu beherrschen, hat sich »denkende« Maschinen geschaffen und ist in das Geheimnis der lebenden Zelle eingedrungen.

Die neuen Gebiete der Wissenschaft und Technik sind äußerst interessant. Nicht weniger interessant als die Kosmonautik, Kernphysik, Kybernetik und Mikrobiologie ist das schon sehr alte Wissensgebiet der Metallurgie, das sich mit der Erzeugung und Verarbeitung der Metalle sowie der Herstellung der unterschiedlichsten Legierungen beschäftigt.

Zu Beginn der Zivilisation waren die Menschen nur mit wenigen Metallen vertraut. Im Lauf der Jahrhunderte wurden immer weitere neue Elemente bekannt. Allmählich verbreiterte sich auch der Kreis der vom Menschen genutzten Metalle. Einige erlangten relativ schnell das Interesse der Wissenschaftler und Techniker, während andere lange Zeit keinerlei Anwendung fanden. Diese »Tatenlosigkeit« läßt sich aus unterschiedlichen Ursachen erklären.

- Der Gehalt vieler Metalle in der Erdrinde ist sehr gering, und ihre Erzeugung ist äußerst kompliziert. Einige von ihnen haben kein eigenes Mineral und sind in der Natur nur als Beimengungen anzutreffen.
- Die Wissenschaft verfügte zunächst nur über spärliche Informationen über die meisten Metalle. Da sie industriell nur selten genutzt wurden, nannte man sie »seltene Metalle«.

Das XX. Jahrhundert ist von einer raschen Entwicklung der Technik gekennzeichnet. Der

Gerätebau und die chemische Industrie, die Flugzeugtechnik und der Raketenbau sowie die Elektrotechnik und die Kernenergie verlangen vollkommen neue Werkstoffe mit speziellen Eigenschaften. Der Blick der Wissenschaftler hat sich den seltenen Metallen zugewandt. Die sorgfältige Erforschung dieser »Einsiedler« hat gezeigt, daß viele von ihnen unerwartete Fähigkeiten besitzen.

Gegenwärtig gibt es kein Gebiet der neuen Technik, in dem nicht in einem bestimmten Umfange die seltenen Metalle eingesetzt werden, und wenn nicht sie selber, so doch ihre Legierungen oder unterschiedlichsten Verbindungen. Aus Rheniumlegierungen werden zum Beispiel sehr feine Metallfäden für supergenaue Navigationsgeräte hergestellt. Gallium verwendet man u. a. für die Herstellung sogenannter flüssiger Verschlüsse in der Vakuumtechnik sowie für die Produktion von Hochtemperaturthermometern und Manometern. Der »Hauptdarsteller« der Fotoelemente, Defektoskope und anderer Geräte ist das Element Cäsium. Hafnium ist als Werkstoff für Kontroll- und Regelstäbe im Kernreaktor bekannt. Außerdem wird es bei der Herstellung warmfester Legierungen für den Flugzeug- und Raketenbau genutzt. Indium, in dünner Schicht auf Kugellager aufgetragen, schützt diese vor Verschleiß und erhöht damit die Lebensdauer dieses Maschinenteils. Solche Beispiele lassen sich in großer Vielzahl aufführen.

Dieses Buch ist ausgewählten seltenen Metallen (darunter auch denen, die zu den verstreuten gehören) gewidmet. Man kann es als Fortsetzung des Buches von *S. I. Venetzkij* – »Erzählungen über Metalle« – betrachten. Ebenso wie in sei-

nem ersten Buch ist der Autor nicht bestrebt, dem Leser systematische Angaben über jedes der beschriebenen Elemente zu vermitteln, sondern die »Biographie« der seltenen Metalle will den Leser mit interessanten Fakten, Geschichten und kuriosen Begebenheiten vertraut machen und ihm die schwierigen Wege aufzeigen, die die Wissenschaftler gehen mußten, um zu wichtigen Erfindungen zu gelangen.

Dieses Buch ist mit realen und erdachten Personen belebt. Auf seinen Seiten findet man neben den Namen der wichtigsten Wissenschaftler der einzelnen Länder auch die Namen Napoleon, Agatha Christie, Kolumbus u. a.

Die interessanten Begebenheiten sind nur der Hintergrund, auf dem der Autor den Leser mit

den Errungenschaften der Metallurgie, Physik, Chemie und den neuen Erfolgen der Technik und Technologie der Metallproduktion, mit neuen Prozessen, Werkstoffen und Geräten vertraut macht.

Auch die vor nicht allzu langer Zeit an Bord der Orbitalstation Salut 6 durchgeführte Serie von Versuchen der kosmischen Metallkunde hat *S. I. Venetzkij* auf den Seiten dieses Buches wiedergegeben.

Akademienmitglied, Leninpreisträger  
und Held der sozialistischen Arbeit

*A. F. Below*

# Inhaltsverzeichnis

---

## Gallium

Der Triumph eines großen Gesetzes 9

---

## Rubidium

Der böse Gin 17

---

## Strontium

Das Geheimnis der bengalischen Priester 24

---

## Yttrium

Der Fund in der verlassenen Sandgrube 31

---

## Technetium

Der wiedererwachte Dinosaurier 38

---

## Palladium

Der Scherz des englischen  
Wissenschaftlers 45

---

## Kadmium

Zu Ehren des Phöniziers Kadmos 52

---

## Indium

Der Namensvetter des Landes der  
Wunder 61

---

## Antimon

Das Vorkommen im Stahlhausener  
Kloster 67

---

## Cäsium

Die zwei blauen Unbekannten 75

---

## Barium

Das Glück des Schuhmachers aus Bologna 83

---

## Hafnium

Das verstreute Element 91

---

## Rhenium

Das Geheimnis der alten Halden 98

---

## Osmium

Die »Beleidigung« eines Edelmetalls 105

---

## Iridium

Alle Farben des Regenbogens 111

---

## Thallium

Der  
junge grüne Zweig 118

---

## Wismut

Die »Dienstreise« in den Kosmos 124

---

## Franzium

Das Seltenste unter den  
Seltene 132

---

## Radium

Jahre der Arbeit – ein Erzeugnis in  
Gramm 139

---





# Ga

## Gallium

### Der Triumph eines großen Gesetzes

*Nichts überstürzen · Die erste Schwalbe · Die Ironie des Schicksals · Die violette Unbekannte · Frankreich oder Hahn? · Der Streit der Wissenschaftler · Unterschiedliche Schicksale · Die Ursachen der »Diskriminierung« · Der arme Verwandte · Die Anreicherung in den Nebenprodukten · Das Gallium auf der Handfläche · Der Brand findet nicht statt · Die Lampen werden verbessert · Hervorragende Fähigkeiten · Nach dem Gesetz der Schwerelosigkeit · Warum scheint die Sonne? · Das hundertjährige Jubiläum*

Als im März 1869 D. I. Mendelejew der Welt darüber berichtete, daß er ein periodisches Gesetz gefunden hätte, dem sich alle chemischen Elemente unterordneten, brachte diese Mitteilung andere Wissenschaftler in Harnisch. Auch der deutsche Chemiker Robert Bunsen, den man zu Recht als einen der Entdecker der Spektralanalyse bezeichnen kann, bemerkte höhnisch: »Eine solche Art der Verallgemeinerung kann man aus den Zahlenwerten, die in den Börsenblättern stehen, beliebig aufstellen.«

Seine vorzeitige Aussage hat Bunsen später nicht revidiert, jedoch hatte bis dahin Mendelejew die Richtigkeit seiner Theorie auch noch nicht bewiesen; später konnte er dies mit großem Triumph tun. Die Bedeutung dieser Entdeckung des periodischen Systems bestand darin, daß sie nicht nur ermöglichte, bereits bekannte Angaben über die chemischen Elemente zu verallgemeinern und für diese eine strenge Ordnung aufzustellen, sondern daß dieses System auch als Kompaß für die große Schar der Experimentatoren diene.

Darüber hinaus ermöglichte es, die Entdeckung von mehr als einem Dutzend Elementen vorauszusagen.

Die erste Schwalbe, die die Wahrheit über die Richtigkeit der Aussage des genialen Chemikers brachte, war das Gallium. 1870 erklärte D. I. Mendelejew auf der Konferenz der Russischen Physiko-Chemischen Gesellschaft, daß in der 5. Reihe der 3. Gruppe ein noch nicht entdecktes, aber ohne Zweifel in der Natur vorhandenes Element steht. Dabei beschrieb er sehr genau die Eigenschaften des »Eka-Aluminiums« (so nannte der Wissenschaftler dieses Element, da es sich im Periodensystem unter dem Aluminium befindet) und sagte voraus, daß es mit Hilfe der Spektralanalyse entdeckt werden wird.

Man brauchte nicht lange darauf zu warten. Im Jahre 1875 fand der französische Chemiker Lecoq de Boisbaudran bei der Untersuchung einer Zinkblende aus den Pyrenäen auf spektralanalytischem Wege eine violette unbekannte neue Spektrallinie, die darüber Auskunft gab,

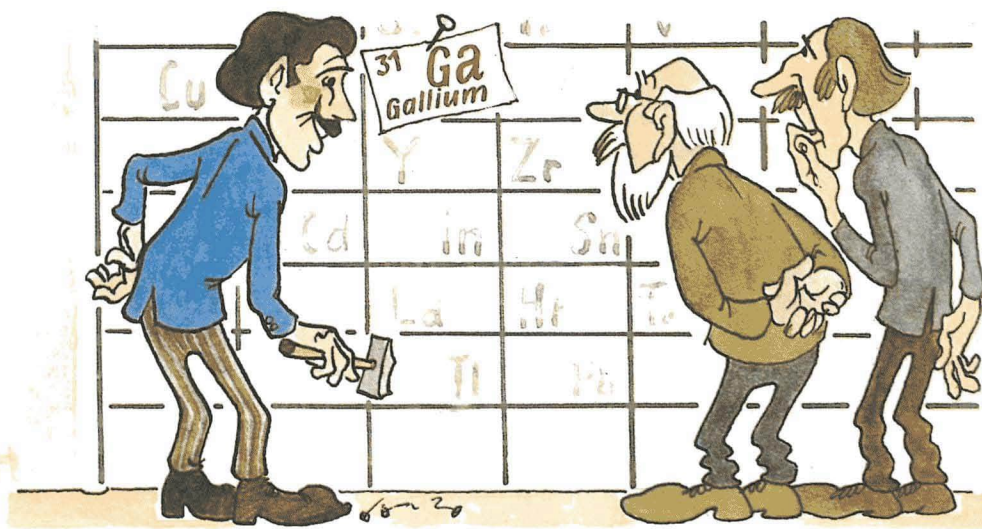
daß in dem Mineral ein unbekanntes chemisches Element vorhanden war.

Das Erkennen der neuen Linie war nur die eine Seite; nun kam es für ihn darauf an, aus dem Mineral den Verursacher der neuen Linie abzuscheiden. Die Aufgabe war nicht leicht, da sich der Gehalt des unbekanntes Elements in der Zinkblende als nur sehr unbedeutend erwies. Trotzdem hatte der Chemiker Erfolg. Nach einer Vielzahl von Versuchen gelang es ihm, ein Körnchen des neuen Metalls – insgesamt 0,1 g – zu gewinnen. So lagen denn diese Schwierigkeiten hinter ihm, aber auf der Tagesordnung stand schon wieder eine neue Frage. Das Recht des Erstentdeckers ist es, dem »Neugeborenen« einen Namen zu geben.

Zu Ehren seiner Heimat beschloß Lecoq de Boisbaudran, dieses Element Gallium zu nennen (Gallia ist die lateinische Bezeichnung für Frankreich). Böse Zungen brachten bald das Gerücht auf, daß der Chemiker in diesem Wort auch einen Hinweis auf seinen Familiennamen versteckt habe. »Gallus« stammt aus dem Lateinischen und bedeutet »Hahn«, und auf französisch heißt »Hahn« »Lecoq«, so daß es von Lecoq de Boisbaudran bis zur Bezeichnung »Gallium« nur ein kurzer Weg ist.

Bald darauf wurde die Mitteilung über die Entdeckung des Galliums in einem Vortrag der Französischen Akademie der Wissenschaften veröffentlicht. Mendelejew erkannte sofort, daß es sich um das »Eka-Aluminium« handelte, für das er in seiner Tabelle schon einen Platz reserviert hatte. In einem Brief an die Französische Akademie der Wissenschaften teilte Mendelejew mit: »... Das Entdeckungsverfahren und die Art der Darstellung sowie die vorhandene Beschreibung der Eigenschaften lassen sehr stark vermuten, daß das Metall mit dem »Eka-Aluminium« übereinstimmt.« Tatsächlich stimmten die Eigenschaften des theoretisch vorausgesagten Eka-Aluminiums und des realen Galliums auffallend überein. Ein Unterschied ergab sich nur in der Dichte. Nach Meinung von Mendelejew sollte sie etwa  $6 \text{ g/cm}^3$  betragen, während Lecoq





de Boisbaudran einen Wert von  $4,7 \text{ g/cm}^3$  angab. Wer hatte recht? Derjenige, der dieses Metall niemals sah, oder der, der es nicht nur in seinen Händen hielt, sondern auch einige Versuche mit ihm angestellt hatte? Es war nicht das erste Mal in der Geschichte der Wissenschaft, daß die Theorie nicht mit der Praxis zusammenfiel, daß der Geist mit dem Experiment stritt.

Um die Genauigkeit seiner ersten Angaben zu beweisen, schied Lecoq de Boisbaudran erneut ein Körnchen Gallium ab, reinigte es sehr sorgfältig und führte eine peinlich genaue Untersuchung durch. Was erbrachte diese? Die Dichte des Galliums lag tatsächlich in der Nähe von  $6 \text{ g/cm}^3$ . Der französische Chemiker erkannte öffentlich die Richtigkeit der Voraussagen seines russischen Kollegen an. »Ich glaube, es ist nicht notwendig, auf die außerordentliche Bedeutung hinzuweisen, die die Dichte des neuen Elements für die Bestätigung der theoretischen Schlußfolgerungen Mendelejews besitzt«, schrieb damals der Erstentdecker des Galliums.

Das Schicksal vieler Metalle ist ebenso verlaufen. Aber so, wie man unter seinen vielen Bekannten nicht zwei Menschen findet, deren Lebenswege vollständig übereinstimmen, gilt das

auch für die Metalle. Selbst bei solchen Zwillingen, wie z. B. Zirkonium und Hafnium oder Tantal und Niob (auch Niobium), sind die Biographien vollkommen unterschiedlich. Die Anfangsperiode im Leben der meisten Metalle verlief in der Regel ohne Höhepunkte. Sie warteten mit Geduld auf die Stunde, in der man für sie irgendeine Verwendung fand. Einige Elemente erfuhren bereits einige Jahre nach ihrer Entdeckung eine stürmische Entwicklung, während sich für andere Elemente die Periode des Wartens äußerst lange hinzog. Eines dieser letzteren war das Metall Gallium.

Es war bereits ein halbes Jahrhundert nach der Entdeckung des Metalls durch Lecoq de Boisbaudran verstrichen, aber noch immer schenkte die Industrie dem neuen Metall keinerlei Aufmerksamkeit. In dem im Jahre 1929 veröffentlichten Band der Großen Sowjetischen Enzyklopädie (1. Ausgabe) waren unter »Anwendung des Galliums« nur die Worte gedruckt: »In der Technik nicht eingesetzt.«

Wodurch erklärt sich eine solche Diskriminierung? Es konnte doch nicht sein, daß das Metall, das eine so glänzende Rolle bei der Bestätigung des periodischen Gesetzes gespielt hatte, für

nichts geeignet war. Seine Mission konnte doch nicht nur darin bestehen, vollkommen nutzlos das 31. Kästchen in der Elementetabelle auszufüllen. Hatte es denn nicht wenigstens eine Eigenschaft, für die die Konstrukteure, Erfinder und Wissenschaftler Interesse zeigten?

Nein, an den Eigenschaften lag es nicht, denn diese sind für das Element Gallium sehr interessant und originell. War es vielleicht das geringe Vorhandensein dieses Elements in der Natur? Nein, die Natur darf man dafür nicht verantwortlich machen. Gallium ist in der Erdkruste um das Zehnfache mehr vorhanden als z. B. Tantal oder Wolfram und um das Hundertfache mehr als Quecksilber oder Silber.

Die Ursache liegt vielmehr darin, daß, ähnlich wie bei anderen sogenannten verstreuten Elementen, Gallium sich nicht um die Schaffung eines eigenen Fundortes »kümmert«. Es schien außerdem noch nicht einmal ein eigenes Mineral zu haben. Erst vor kurzem wurde im südöstlichen Teil von Afrika das erste Galliummineral entdeckt, das die Bezeichnung »Gallit« erhielt. In ihm sind fast 37 % Gallium enthalten. Normalerweise ist dieses Element nur in sehr kleinen Mengen (hundertstel Prozent) vorhanden und ist in der Hauptsache an das Aluminium, seltener an Eisen, Zink, Kupfer und andere Elemente gekoppelt. Wie gezeigt werden konnte, ist die Asche der Steinkohle relativ reich an Gallium. Englische Wissenschaftler haben errechnet, daß jede Tonne Kohle, die auf der britischen Insel gefördert wird, durchschnittlich 5 g Gallium enthält. Eine solch geringe Menge dieses Elements gilt für eine industrielle Gewinnung dennoch als ausreichend. (Alles in der Welt ist relativ. Eisenerz, das je Tonne 300 bis 400 Kilogramm Eisen enthält, wird schon als arm bezeichnet.) Dafür ist auch der Produktionsumfang des Galliums nicht groß. Die ersten 50 Kilogramm dieses Metalls wurden im Jahre 1932 in Deutschland gewonnen. Nach einem Vierteljahrhundert hatte sich die Galliumproduktion insgesamt auf nur 350 kg erhöht. Heute rechnet man schon mit Tonnen, und trotzdem ließ ein solch seltenes Metall, wie

Rhenium, das in der Erdkruste um das Zehntausendfache geringer vorhanden ist, bezüglich des Produktionsvolumens das Gallium weit hinter sich.

Als Hauptquelle für die Gewinnung des Galliums dienen Nebenprodukte der Aluminiumerzeugung. Trotzdem darf man nicht den übereilten Schluß ziehen, daß Gallium ein billiges Metall sei. Obgleich man für die Ausgangsstoffe nichts aufbringen muß, ist der Gewinnungsprozeß des Galliums so kompliziert, daß es eines der teuersten Metalle auf dem Weltmarkt ist. In der Mitte der fünfziger Jahre kostete 1 kg Gallium 3000 Dollar, d. h. fast um das 3fache mehr als Gold. Ein kleiner Block dieses Metalls, der in die Handfläche hineinpaßt, ist eine solch große Summe wert.

Übrigens sollte man Gallium nicht auf die Handfläche legen, denn die Handfläche ist eine sehr ungeeignete Aufbewahrungsstelle für ein derart teures Metall. Außerdem ist die Körperwärme ausreichend, um dieses silbrige, weiche Metall (es läßt sich mit dem Messer schneiden) in eine Flüssigkeit zu verwandeln. Seine Schmelztemperatur ist ungewöhnlich niedrig und beträgt nur 29,8 °C. In dieser Beziehung wird es nur vom perlenden Quecksilber, das erst bei minus 38,9 °C erstarrt, und vom Cäsium (auch Zeesium), das bei 28,5 °C schmilzt, übertroffen.

Auf Grund seiner geringen Schmelztemperatur ist Gallium die Hauptkomponente vieler leichtschmelzender Legierungen. Zum Beispiel schmilzt eine Legierung mit 67 % Gallium, 20,5 % Indium und 12,5 % Zinn schon bei 10,6 °C. Solche Legierungen werden in der Technik in breitem Maße eingesetzt, u. a. bei Brandschutzvorrichtungen. Wenn sich die Raumtemperatur nur ein wenig erhöht, dann beginnt der aus der Galliumlegierung bestehende Einsatz in einem Relais zu schmelzen, und das flüssige Metall schließt einen Kontakt, so daß ein Ton- oder Lichtsignal über die auftretende Gefahr Auskunft gibt.

Die leichtschmelzenden Galliumlegierungen (und auch Gallium selbst) besitzen die Fähigkeit,



einen festen Werkstoff gut zu benetzen, wodurch man diese Legierungen anstelle von Quecksilber für flüssige Verschlüsse in der Vakuumtechnik verwenden kann. Die Galliumverschlüsse sichern das Vakuum sogar besser als die aus Quecksilber.

Galliumlegierungen mit Indium und Zinn dienen auch als Schmiermittel und Zwischenschicht bei der Verbindung von Teilen aus Quarz, Glas und Keramik und für das Kleben dieser Werkstoffe unter Druck. Eine Gallium-Indium-Legierung, die auf die Lauffläche eines Kugellagers aufgetragen wurde, verlängert wesentlich dessen Lebensdauer. Andere Ga-Legierungen nutzt man zur Herstellung von Zahnplomben. In der Medizin verwendet man sehr oft ultraviolette Strahlungsquellen, deren Katoden früher aus Quecksilber gefertigt wurden. Eine Aluminium-Gallium-Legierung ist für diesen Zweck wesentlich besser geeignet. Das von diesen Lampen verbreitete Licht ist an heilsamer Strahlung reicher.

Eine ungewöhnliche Eigenschaft des Galliums besteht darin, daß es die Fähigkeit besitzt, lange Zeit (mehrere Monate) im unterkühlten Zustand ohne Erstarrung zu existieren. Wenn man z. B. einen Tropfen Gallium auf Eis schüttet, dann wird dieser noch lange im flüssigen Zustand vorliegen. Wenn er aber dann doch erstarrt, beginnt das Metallvolumen erstaunlich zu wachsen. Deshalb darf man flüssiges Gallium nicht in metallischen oder keramischen Gefäßen transportieren, da sie bei der Erstarrung des Metalls zerstört würden.

Normalerweise wird es in kleinen Gelatine-kapseln oder in Gummiballons aufbewahrt. Dieser Charakterzug des Galliums (alle anderen Metalle, außer Antimon und Wismut [auch Bismut], nehmen beim Übergang aus dem flüssigen in den festen Zustand im Volumen ab) wird in Vorrichtungen zur Schaffung superhoher Drücke verwendet.

Ein wichtiger Vorteil des Galliums besteht darin, daß es in einem vergleichsweise sehr großen Temperaturintervall flüssig bleibt. Es be-



ginnt erst bei 1983 °C zu siedeln. Dieser Fähigkeit verdankt das Gallium auch eine sehr wichtige Rolle in der Technik auf dem Gebiet des Einsatzes für Hochtemperaturthermometer und -manometer. Die Galliumthermometer erlauben es, Temperaturen über 1000 °C zu messen, bei denen Quecksilber schon nicht mehr zu verwenden ist, da Quecksilber bereits bei 357 °C zu siedeln beginnt.

Das gute Schmelzvermögen und das breite Existenzintervall der Schmelze machen Gallium zum potentiellen Wärmeleiter in Kernreaktoren. Das flüssige Gallium verhält sich aber im Kontakt mit den anderen Konstruktionsmaterialien absolut »unkameradschaftlich«. Bei hohen Temperaturen löst das Gallium diese Stoffe und zerstört damit die meisten Legierungen und Metalle. Diese Aggressivität verhindert teilweise noch den Einsatz dieses Metalls als Wärmeleiter (dazu verwendet man z. Z. vorwiegend Natrium und Ka-

lium). Aber es ist möglich, daß künftig auch dieses Problem gelöst wird. Es wurde bereits festgestellt, daß Tantal und Wolfram dem Kontakt mit Gallium selbst bei Temperaturen über 1000 °C standhalten.

Erstaunlich ist auch, daß geringe Anteile (bis 5 %) des unbequemen Galliums in Magnesium dessen Antikorrosionseigenschaften und die Festigkeit erhöhen können.

Noch eine Besonderheit des Galliums ist interessant. Die Größe seines elektrischen Widerstandes im Kristall ist richtungsabhängig. Das Verhältnis von Maximal- zu Minimalwert beträgt 7 und ist damit größer als bei anderen Metallen. Ähnliches kann man beim Ausdehnungskoeffizient beobachten, der sich um fast das Doppelte ändert.

Die ausgeprägte Fähigkeit des Galliums, das Licht gut zu reflektieren, hat dazu geführt, seine Verwendung zur Spiegelherstellung zu erproben, wobei die Galliumspiegel selbst bei hohen Temperaturen nicht blind werden. Das Oxid dieses Metalls ist für die Erzeugung von Spezialglas erforderlich, welches einen hohen Brechungsindex besitzt und die Infrarotstrahlen sehr gut durchläßt. Auf dem Gebiet der Halbleitertechnik verwendet man hochreines Gallium (99,999 %) als Dotierungselement (Legierungszusatz) für Germanium und Silizium zur Modifizierung ihrer Halbleitereigenschaften. Ganz besondere Bedeutung haben einige seiner Verbindungen, speziell solche mit Arsen bzw. Phosphor, denn sie besitzen sehr interessante Halbleitereigenschaften.

Als vorteilhaft erwies sich Gallium auch auf dem Gebiet der Epitaxie, der Abscheidung dünner einkristalliner Schichten auf einer gleich orientierten Unterlage. Hierdurch kann eine höhere Leistungsfähigkeit von Halbleiter-Bauelementen erreicht werden; jedoch ist es recht kompliziert, geeignete Werkstoffpaarungen zu finden. Sowjetische Wissenschaftler überprüften u. a. als Partner Galliumarsenid und Aluminiumarsenid, deren Kristallgitter sehr ähnlich sind. Das wegen seiner spezifischen Eigenschaften für bestimmte Anwendungen erwünschte

Aluminiumarsenid ist jedoch sehr unbeständig (es wird in feuchter Atmosphäre rasch zersetzt); erst durch Einlagerung von Galliumatomen in das Aluminiumarsenid wird es ausreichend beständig.

Die Einsatzsphäre der chemischen Verbindungen des Galliums nimmt kontinuierlich zu. Heutzutage sind sie in Rechnern, Radargeräten, Sonnenbatterien und in den Halbleiter-Bauelementen der Raketentechnik anzutreffen. Sie werden als Laser- und Lumineszenzmaterialien eingesetzt und haben eine starke katalytische Wirkung bei vielen Prozessen der organischen Chemie.

Vor nicht allzu langer Zeit waren die »Hyperboloide des Ingenieurs Garin« (genauer gesagt, die des Schriftstellers Alexej Tolstoi) unerfüllbare Phantastereien, und heute sind die modernen »Hyperboloide«, d. h. die Laser, bereits im Einsatz. Einer der ersten Laserwerkstoffe war Galliumarsenid. Auf der Basis von Galliumarsenid aufgebaute Laser sind einfach, effektiv und besitzen eine kompakte Bauweise. Sie werden in der kosmischen Technik verwendet, und zwar sowohl für die Nachrichtenübermittlung zwischen in den offenen Weltraum ausgestiegenen Kosmonauten und dem Raumschiff als auch zwischen zwei Stationen, die sich auf einer erdnahen Umlaufbahn befinden. Auch für die Orientierung der Raumschiffe bei der Landung auf dem Mond wurden derartige Laser eingesetzt.

Die kosmische Schwerelosigkeit schafft einmalige Bedingungen für die Durchführung verschiedener technologischer Operationen. Interessante Versuche zur Züchtung von Halbleiterkristallen aus Galliumarsenid wurden in dem amerikanischen Raumschiff Skylab durchgeführt. Konnte man unter den Bedingungen der Erde nur Kristalle dieses Stoffes mit 2 bis 3 mm Länge züchten, so erhielt man unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit ausgezeichnete Kristalle von 25 mm Länge. Ähnliche Experimente konnten auch an Bord der sowjetischen wissenschaftlichen Forschungsstation Salut 6 im Kosmos durchgeführt werden. Außerdem führten

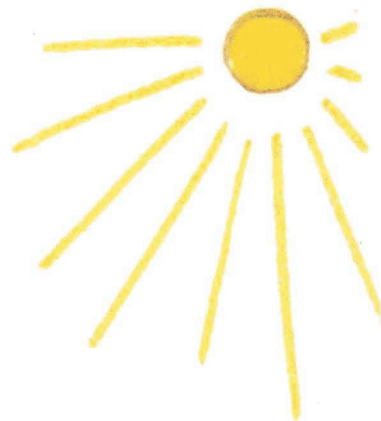


die sowjetischen Kosmonauten auf der Vorrichtung »Splav« Versuche zur Herstellung eines Blocks durch, der aus Molybdän und Gallium besteht.

Molybdän ist fast doppelt so schwer wie Gallium, und unter normalen Bedingungen sind diese Metalle »nicht damit einverstanden«, sich gleichmäßig zu mischen. Bei der Erstarrung des Blocks ist sein oberer Teil mit Gallium und der untere mit Molybdän angereichert. Im Kosmos regiert die Schwerelosigkeit, und vor ihrem Gesetz sind Molybdän und Gallium gleich, so daß der Block bezüglich der Zusammensetzung überall homogen ist.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß gerade das Element Gallium den Wissenschaftlern hilft, eine Antwort auf die Frage zu finden, warum die Sonne scheint. Darüber darf man sich nicht wundern, denn bis heute existieren in der Wissenschaft nur bestimmte Hypothesen über die Natur der kolossalen Energie, die nun schon einige Milliarden Jahre ständig von der Sonne geliefert wird. Eine dieser Hypothesen geht davon aus, daß auf der Sonne ständig die Prozesse der Kernsynthese ablaufen. Aber wie soll man dies beweisen?

Ein überzeugender, wenn auch nur indirekter Beweis könnten die Neutrinos sein, die sich bei der Kernreaktion bilden. Es ist aber äußerst schwierig, diesen Beweis anzutreten. Selbst der Schweizer Physiker Wolfgang Pauli, der 1931 das Vorhandensein der Neutrinos theoretisch voraussagte, war der Meinung, daß niemand das Vorhandensein dieser Teilchen experimentell bestätigen kann, da sie keine Masse und keine elektrische Ladung besitzen. Gleichzeitig besitzen aber die Neutrinos eine bestimmte Energie und ein großes Durchdringungsvermögen. Wenn sie im Sonneninneren freigesetzt werden, dann durchlaufen sie ungehindert die Sonnenmaterie und fliegen in einem kolossalen Strom zur Erde (und natürlich auch auf die anderen Himmelskörper) nieder. Die Wissenschaftler nehmen an, daß in jeder Sekunde auf jeden Quadratzentimeter unseres Planeten über 60 Milliarden Neutri-



nos niedergehen. Sie aber zu registrieren ist sehr kompliziert, da sie durch jeden Stoff wie durch ein Nichts hindurchgehen. Trotzdem fanden die Physiker bestimmte Werkstoffe, in denen die Neutrinos ihre Spuren hinterlassen. So setzt z. B. der Atomkern des Chlors mit der Atommasse 37 bei der Aufnahme eines Neutrinos ein Elektron frei und bildet ein Argonatom mit der gleichen Masse. Diese Reaktion verläuft effektiv nur unter Teilnahme von Neutrinos, die eine große Energie besitzen. Aber der Anteil dieser Teilchen ist im Neutrinostrom der Sonne nur sehr gering (weniger als ein Zehntausendstel).

Deshalb benötigt man für die Experimente, die mit der Suche der »Unauffindbaren« in Zusammenhang stehen, exakt definierte, sehr sterile Bedingungen.

Ein Versuch zur Schaffung derartiger Bedingungen wurde in den USA unternommen. Um die Möglichkeiten des Einflusses anderer kosmischer Teilchen auszuschließen, wurde eine große Zisterne mit Perchlorethylen in einer Tiefe von etwa 1500 m unter der Erde aufgestellt, wobei man für diese Zwecke eine alte Goldgrube im Staat Süddakota verwendete. In Übereinstimmung mit den theoretischen Berechnungen sollten sich in der Zisterne im Verlaufe von 48 Stunden drei Chlor-37-Atome in Argon-37-Atome umgewandelt haben, wobei angenommen wurde, daß zwei dieser Atome durch die Neutrinos entstanden sind, während sich das dritte unter der Wirkung einer anderen Strahlung, die durch die dicke Erdkruste in die Zisterne gelangt ist, gebildet hat. Man konnte aber nur eines der drei Argon-37-Atome feststellen, so daß man annehmen mußte, daß die von der Sonne ausgesandten Neutrinos hier keine Rolle spielen.

Heißt das, die Hypothese über die Kernener-

gieprozesse in der Sonne ist falsch? Die sowjetischen Wissenschaftler sind der Meinung, daß die genannten Experimente noch nicht ausreichen, um die Hypothese vom Vorhandensein eines riesigen Atomreaktors auf der Sonne zu verwerfen. Ähnliche Versuche erfordern eine noch größere Genauigkeit. Außerdem wird in der Theorie davon ausgegangen, daß die Sonne einen großen Strom von Neutrinos mit geringer Energie zur Erde sendet, für deren Fixierung die Chlor-Argon-Methode ungeeignet ist.

Hier eilt uns der Held unserer Erzählung, das Gallium, zu Hilfe. Es hat sich gezeigt, daß das Gallium eine ausgezeichnete Zielscheibe (oder Detektor, wie die Physiker sagen) für die Neutrinos mit geringer Energie darstellt. Der Kern des Gallium-71-Isotops nimmt diese Teilchen begierig auf und wandelt sich in einen Kern des Germanium-71 um. Durch die Bestimmung der Zahl der entstandenen Germanium-71-Atome könnten die Wissenschaftler den Strom der Sonnenneutrinos messen. Dies ist vorläufig noch Theorie, aber in der Sowjetunion sind schon Gallium-Germanium-Vorrichtungen geschaffen worden, und im Nordkaukasus treibt man einen tiefen Stollen für ein Neutrinoobservatorium in den Berg. Für die Arbeit dieser Vorrichtung benötigt man weniger als eine Tonne Gallium, und im Verlaufe des Versuches bleibt das teure Metall unversehrt. In einigen Jahren hat das Gallium vielleicht eines der wichtigsten Probleme der gegenwärtigen Astrophysik aufgeklärt. Gallium ist schon kein junges Element mehr, im Jahre 1979 hatte es seinen 100. Geburtstag. Trotzdem kann man behaupten, daß die Anwendungsgebiete, von denen wir Kenntnis haben, nur die ersten Schritte auf der Karriereleiter dieses außergewöhnlichen Metalls sind.

Rb

Rubidium  
Der böse Gin

*Wenn man der Bibel Glauben schenkt · Die alten Steine  
Grönlands · Die Verjüngung des Himalaja · Uhren, die  
nicht gehen · Der Fund im Spektrum · Das Porträt ·  
Bunsen verdampft das »Meer« · Nach einem Vierteljahr-  
hundert · Die Kammer der Voruntersuchung · Der Verband  
mit dem Eis · Weit vom eigenen Kern · Im Kampf  
um den Thron · Angenehme Sorgen · Auf dem Welt-  
markt · Die Glockenuhren läuten die Zeit · 20 Jahrhunderte  
und eine Sekunde · Die unterirdische Vorratskammer ·  
An den Ufern der Kama · Wer färbte das Salz? ·  
In der Odessaer Bucht · Schützt die Männer!*



Wie alt ist unser Planet? Leider haben sich keine direkten Zeugen über die Geburt der Erde erhalten, und sie selbst (wie alle nicht mehr ganz jungen Wesen) verbirgt uns sorgfältig ihr Alter. Wieviel Rätsel es auch geben mag, genau-soviele Rätselliebhaber wird es geben. Der Streit darüber, wann in den Weiten des Weltalls sich unsere Heimstätte gebildet hat, dauert schon sehr lange. Wenn man der Bibel Glauben schenken darf, dann erfolgte dies vor nicht allzu ferner Zeit; nach gegenwärtigen Vorstellungen existiert die Erde schon ungefähr 4,5 Milliarden Jahre (was natürlich schon ein sehr ehrenvolles Alter ist).

Als Zeugen, die die Richtigkeit dieser Vorstellungen bestätigen, sind die alten Gesteine anzuhören. Bis vor einiger Zeit galten als allerälteste Gesteine die in Afrika im Gebiet von Transvaal gefundenen mit einem Alter von 3,4 bis 3,5 Milliarden Jahren. 1966 hat der junge neuseeländische Wissenschaftler Vic McGregor am Westufer von Grönland am Ausgang des Ameralik-Fjords Gesteine gefunden, die noch älter als die transvaalischen sind, und zwar um mehr als eine Mil-



liarde Jahre älter. Das gelang ihm mit der Rubidium-Strontium-Uhr. Was stellt diese dar?

Bereits zu Beginn unseres Jahrhunderts schlug der große englische Physiker Ernest Rutherford vor, für die Bestimmung der Mineralien und Gesteine die kurz vorher entdeckte Erscheinung der Radioaktivität zu nutzen. Die Atome der chemisch radioaktiven Elemente, die in der Erdmaterie vorkommen, strahlen ständig bestimmte Kernteilchen ab und wandeln sich in die Atome eines anderen Elements um. Dabei ist sehr interessant, daß die Geschwindigkeit einer solchen Umwandlung weder von der Temperatur noch dem Druck, noch von anderen Faktoren abhängt. Andererseits ist jedes chemische »Individuum« durch die Halbwertszeit gekennzeichnet. Das ist die Zeit, in der genau die Hälfte der vorhandenen Menge des radioaktiven Elements zerfallen ist. Bei einigen Stoffen dauert diese Zeit nur millionstel Sekunden, bei anderen hundert Trillionen Jahre. Die Halbwertszeit eines der Langlebigen, nämlich die des Rubidiums-87 (aus dem etwa 28 % aller natürlichen Rubidiumvorräte bestehen), beträgt 50 Milliarden Jahre. Durch das freiwillige Abstoßen von Elektronen wandelt sich dieses Isotop langsam, aber sicher in ein stabiles (keinem weiteren Zerfall unterliegendes) Strontiumisotop mit der gleichen Massezahl 87 um. Da das normale Verhältnis zwischen diesem Isotop und seinen nächsten Angehörigen (den Isotopen mit den Massezahlen 88, 86 und 84) bekannt ist, ist es nicht schwierig zu berechnen, wieviel die Gesteine an übernormativem Strontium-87 enthalten, d. h., die Masse, die sich durch den radioaktiven Zerfall des Rubidiums-87 bildete. Wenn man dazu die Masse des Ausgangsrohmaterials bestimmt, dann kann man errechnen, wie lange der Umwandlungsprozeß bereits läuft, und damit ist es möglich, auch das Alter der Gesteine zu bestimmen.

So wie es gelang, den grönländischen Gesteinen mit Hilfe der Rubidium- und Strontium-Isotope ihr großes Alter zu beweisen, konnte andererseits mit Hilfe dieses Elementepaares die wissenschaftliche Welt davon überzeugt werden,



daß die höchsten Berge unseres Planeten, der Himalaja, bedeutend jünger sind, als angenommen wurde. Lange Zeit war man der Meinung, daß das Bergmassiv in Zentralasien vor etwa hundert Millionen Jahren gebildet wurde. Kürzlich untersuchten japanische Wissenschaftler mit Hilfe der Rubidium-Strontium-Uhr sehr sorgfältig Gesteinsproben aus dem Himalaja und stellten dabei die Fehlerhaftigkeit der genannten Ansicht fest. Die Wissenschaftler kamen zu der Schlußfolgerung, daß dieser Bereich des Erdballes zweimal starken Faltungen unterlegen war. Die erste Faltung, in deren Ergebnis sich die Basisstruktur (oder, anders gesagt, das Fundament dieses Gebirges) gebildet hat, erfolgte vor 450 bis 500 Millionen Jahren, und die zweite Faltung, durch die auf diesem Fundament die höchsten Berge der Erde aufgebaut wurden, verlief vor 15 Millionen Jahren.

Es gibt auch noch andere ähnliche Methoden, z. B. die Kohlenstoff-, die Uran-Helium-, die Kalium-Argon-Methode und weitere Methoden. Für große Zeiträume ist die Rubidium-Strontium-Uhr die am besten geeignete Methode.

Damit half das Rubidium, das ungefähre Alter der Erde festzustellen. Wie lange ist es selbst jedoch dem Menschen bekannt? Auf diese Frage kann man eine genaue Antwort geben. Entdeckt wurde das Rubidium im Jahre 1861. Dieses Ereignis ist den beiden bedeutenden deutschen

Wissenschaftlern, dem Chemiker Robert Bunsen und dem Physiker Gustav Kirchhoff, zu verdanken, die im Jahre 1859 die Spektralanalyse der Stoffe erarbeiteten, mit deren Hilfe sie ein Jahr später das Element Cäsium entdeckten. Bei der Untersuchung verschiedener Mineralien stellten sie im Spektrum des sächsischen Lepidoliths zwei vorher unbekannte dunkelrote Linien fest. Damit signalisierte das neue Element seine Existenz auf der Erde, und man nannte es Rubidium, was in der Übersetzung aus dem Lateinischen »Rot« bedeutet. Das gibt dem Rubidium das Recht, sich als ein Namensvetter des Rubins, des bekannten Edelsteins, zu bezeichnen. Wenn auch der Rubin rot ist, so kann man das vom Rubidium noch lange nicht sagen, denn es ist wie die meisten Metalle von silberweißer Farbe. Rubidium ist ein sehr leichtes (leichter als Magnesium) und sehr weiches (wachsartiges) Metall. Ihm ist der Aufenthalt in den warmen Gebieten unseres Planeten streng untersagt, denn die Schmelztemperatur des Rubidiums beträgt nur 38,9 °C, und unter den sengenden Strahlen der Sonne kann das Metall direkt vor unseren Augen schmelzen. Und schließlich verleihen einige seiner Verbindungen der Flamme des Bunsenbrenners einen kennzeichnenden purpurnen Ton.

Das erste metallische Rubidium konnte im Jahre 1863 von R. Bunsen dargestellt werden. Dazu mußte er einen ganzen See mit seinem Mi-



neralwasser verdampfen, in dem das neu entdeckte Metall enthalten war. Das war aber nur der Anfang. Aus der verdampften Lösung schied der Wissenschaftler ein Gemisch aus Kalium-, Cäsium- und Rubidiumchlorplatinat ab. Nun galt es, die einzelnen Bestandteile der unzertrennlichen Troika abzusondern. Indem er die größere Löslichkeit der Kaliumverbindungen ausnutzte, begann Bunsen durch eine mehrfache fraktionierte Kristallisation das Kalium zu entfernen. Cäsium und Rubidium zu trennen erwies sich als noch schwerer, aber auch diese Aufgabe konnte er lösen. Dazu benutzte er Ruß, der Rubidium aus dessen saurem Tartrat (einem Salz der Weinsäure) reduziert.

Ein Viertel Jahrhundert danach schlug der bekannte russische Chemiker N. N. Beketow ein anderes Herstellungsverfahren für das metallische Rubidium, die Reduktion aus Aluminiumhydroxidpulver, vor. Der Wissenschaftler führte diesen Prozeß in einem Eisenzylinder, der mit einem gläsernen Kühler zur Kondensation des Rubidiums verbunden war, durch. Beketow schrieb selbst: »Das Rubidium schlug sich allmählich nieder und tropfte wie Quecksilber herab, wobei es seinen metallischen Glanz beibehielt, da sich während der Prozeßdurchführung der Zylinder mit Wasserstoff füllte.« In unserer Zeit wird dieses Metall in der Hauptsache aus Chloriden gewonnen, auf die man mit metallischem Kalium bei 700 bis 800 °C unter Vakuum einwirkt.

Wie schwer es auch ist, das reine Rubidium aus seinen Verbindungen zu gewinnen, so ist dies doch erst die Hälfte der Angelegenheit, denn nicht weniger Sorgen bereitet die Aufbewahrung dieses Elements. Das »frische« Metall wird unverzüglich in Ampullen aus Spezialglas eingelötet, in denen Vakuum oder ein Inertgas vorhanden ist. Manchmal verwendet man dafür auch metallische Behälter, die mit trockenem (sorgfältig entwässertem) Benzin oder Paraffinöl gefüllt sind. Nur bei Einhaltung der genannten Bedingungen kann man sicher sein, daß das Produkt eine Langzeitlagerung übersteht. Wodurch wer-

den diese strengen Maßnahmen bestimmt?

Die gesamte Schuld trägt der »stürmische Charakter« des Eingeschlossenen. Ihn aus seinem »Gefängnis« zu entlassen ist das gleiche, wie den bösen Gin aus der Flasche zu gießen. Hinsichtlich der chemischen Aktivität wird Rubidium in der Familie der Metalle nur von seinem »älteren Bruder«, dem Cäsium, übertroffen. Wenn man ihm die Freiheit gibt, d. h., wenn es an der Luft ist, dann entflammt Rubidium augenblicklich und verbrennt mit einer klaren rosa-violetten Flamme, wobei sich ein gelbes Pulver – Rubidiumperoxid – bildet. Den auftretenden Brand darf man nicht mit Wasser löschen. Das Metall reagiert mit diesem explosionsartig, wobei der frei werdende Wasserstoff sehr schnell verbrennt, das hieße also Öl in das Feuer gießen. Dabei nimmt das Rubidium keinerlei Anstoß am jeweiligen physikalischen Zustand des Wassers; selbst wenn dies gefroren ist, stellt es immer noch ein Objekt der Aggressivität des Metalls dar. Ähnlich wie der Abbauhammer des Bergmanns sich in die Kohlenflöze einarbeitet, dringt das Rubidium in die Tiefe des Eiskristalls vor, und nur sehr strenge Kälte (unter  $-108^{\circ}\text{C}$ ) kann den »Tobenden« bändigen. Das dabei gebildete Rubidiumhydroxid »zeigt ebenfalls Charakter«, denn wenn man es in ein Glasgefäß gibt, bleibt von diesem bald nur noch die Erinnerung. Rubidium selbst zerstört Glas bei höheren Temperaturen (300 °C und mehr), wobei das Silizium kontinuierlich aus seinen Oxiden und Silikaten herausgelöst wird. Aus diesem Grunde müssen auch die Aufnahmeampullen für dieses Metall aus Spezialglas gefertigt sein.

Die hohe chemische Aktivität des Rubidiums ist durch den Aufbau seines Atoms bedingt. Wie bei den anderen Alkalimetallen existiert auf seiner äußeren Elektronenschale nur ein einziges Valenzelektron, das sich weiter weg vom Kern befindet als beim Lithium, Natrium und Kalium, und deshalb stört es bei der ersten Gelegenheit die Atomanordnung der anderen Stoffe (nur Cäsium gibt sein Elektron noch bereitwilliger ab).



Ebenso verfährt das Rubidium mit seinem Elektron bei Einfall von Lichtstrahlen. Diese Erscheinung, der sogenannte Fotoeffekt, ist für viele Metalle charakteristisch, wobei Rubidium und Cäsium in dieser Beziehung ohne Konkurrenten sind. Und obwohl heute in den Fotoelementen und anderen fotoelektrischen Vorrichtungen überwiegend Cäsium eingesetzt wird, hat das Rubidium eine echte Chance, diesen König vom Thron zu stoßen, da dieses Element in der Natur um das 50fache häufiger anzutreffen ist als Cäsium, dessen Mangel früher oder später dem Rubidium zum Vorteil gereichen wird. Außerdem besitzen einige seiner Legierungen (z. B. mit Tellur) eine maximale Lichtempfindlichkeit bis weit in das ultraviolette Spektralgebiet. In einigen Fällen hat dieser Umstand erst-rangige Bedeutung bei der Auswahl des Materials für eine Fotokatode.

Eine andere wichtige Schaffenssphäre des Rubidiums ist die organische Chemie, wo ein Teil seiner Salze angenehme Wirkungen zeigen, wenn sie als Katalysatoren auftreten. Diese Rolle spielte das Rubidiumkarbonat zum ersten Male bereits vor einem halben Jahrhundert bei der Erzeugung von synthetischem Erdöl. Heute verläuft die Synthese des Methanols und höherwertiger Alkohole nicht ohne dieses Metall, sogar bei der Gewinnung von Styren und Butadien als Ausgangsprodukte für die Herstellung von künstlichem Kautschuk wird es eingesetzt. Vor kurzem wurden Rubidiumkatalysatoren für die Hydrierung, die Dehydrierung, die Polymerisation und einige andere organische Reaktionen erarbeitet. Wichtig ist dabei, daß derartige Katalysatoren erlauben, den Prozeß bei niedrigeren Parametern (Druck und Temperatur) zu führen als bei Verwendung von Verbindungen des Natriums und Kaliums. Außerdem gehört zu seinen Vorteilen seine Beständigkeit gegenüber Schwefel, der für die anderen Katalysatoren eine unangenehme Rolle spielt. Amerikanische Chemiker stellten fest, daß Rubidiumtartrat eine katalytische Wirkung bei der Oxydation des Rußes besitzt, wobei die Reaktionstemperatur wesentlich



verringert werden kann. »Was soll's – Ruß«, könnte jemand denken. Die Wissenschaftler aber, die auf der Suche nach neuen Arten von Raketentreibstoffen sind, haben zu diesem Problem eine ganz andere Meinung.

Bestimmte Rubidiumverbindungen besitzen Halbleitereigenschaften und andere wiederum pseudoelektrische Eigenschaften. Gegenwärtig beginnen diese Eigenschaften des Elementes Nr. 37 erst die Aufmerksamkeit der Wissenschaftler und Ingenieure auf sich zu ziehen.

Wie man bereits bemerkt haben wird, beziehen sich die Ausführungen oftmals auf die potentiellen Möglichkeiten des Rubidiums und nicht so sehr auf den konkreten Einsatz in der modernen Technik. Vorläufig spielt das Rubidium gegenüber solchen Elementen wie Eisen, Aluminium, Kupfer oder Titan (auch Titanium) eine nur unbedeutende Rolle. Dies kommt auch in seinem Produktionsumfang zum Ausdruck. Wenn man die Rubidium-Produktionsmengen aller Länder addiert, dann ergeben sich in einem Jahr einige ...zig Kilogramm. Daraus resultiert auch der hohe Preis auf dem Weltmarkt.

Außer den genannten Anwendungsgebieten wird Rubidium in seinen Verbindungen in kleinen Mengen auch in der analytischen Chemie als Nachweisreagens für Mangan, Zirkonium und Edelmetalle verwendet. In der Medizin nutzt man es als Schlaf- und Schmerzmittel sowie zur Heilung der Epilepsie. Bestimmte Rubidiumsalze verwendet man bei der Herstellung spezieller optischer Materialien, die für infrarote Strahlen durchlässig sind, sowie bei der Erzeugung von Lumineszenzlampen und bestimmter Fernseh- und anderer Elektronenstrahlröhren. In bestimmten Vakuumgeräten erfüllt Rubidium die Funktion eines Getters (Gasabsorber) und in Magnetometern und Etalons der Frequenz und der Zeit die Funktion der sogenannten aktiven Stoffe.

Vor kurzem konstruierte eine der elektrotechnischen Firmen der BRD einen rubidiumhaltigen Kontroll-Regler-Einsatz für die Glockenspiele, die die alten Türme vieler europäischer

Städte und Rathäuser zieren. Man hat nämlich die Sorge, daß fast alle Glockenspiele einer chronischen Krankheit unterliegen. Diese großen mittelalterlichen Mechanismen gehen nicht mehr genau. Der neue Einsatz ist ein atomarer Frequenzetalon, der den alten Glockenspielen eine große Genauigkeit des Ganges garantiert (bis zu einer hundertstel Sekunde im Verlaufe einer Tag-und-Nacht-Periode).

Noch größere Genauigkeit ist in der Kernphysik, der Lasertechnik und der kosmischen Navigation erforderlich, wo der Meßfehler bei der Zeitmessung nicht über Millionstel Bruchteile einer Sekunde im Zeitraum von 24 Stunden betragen darf. Diesen Anforderungen werden die in der Sowjetunion geschaffenen Atomuhren gerecht, deren Herzstück das Rubidiumisotop ist. Ihr Prinzip beruht darauf, daß die Atome der chemischen Elemente Energie nur bestimmter Wellenlängen (Frequenzen) aufnehmen oder aussenden. Für jedes Element sind diese Wellenlängen genau fixiert, da sie nur vom Atomaufbau abhängen. Deshalb sind die Atomuhren (Quantenuhren) um einige Größenordnungen genauer als andere Uhren, einschließlich der Quarzuhren, in denen die elastischen Schwingungen des Quarzes die Rolle des Pendels übernehmen. Die Genauigkeit der Rubidiumuhren zeigt folgender Vergleich. Wenn man sie zu Beginn der Zeitrechnung aufgezogen hätte, dann würden sie heute entweder 1 Sekunde vor- oder nachgehen.

Man kann davon überzeugt sein, daß in nächster Zukunft die Zahl der Anwendungsgebiete des Rubidiums wesentlich größer sein und auch der Produktionsumfang zunehmen wird. Die Natur zeigt keinen Mangel an diesem Metall, und in den unterirdischen Lagern kommt das Rubidium häufiger als zum Beispiel Chrom (auch Chromium), Zink, Nickel, Kupfer und Blei vor.

Bestimmte Schwierigkeiten ergeben sich aus der großen Verstreutheit des Rubidiums, das, obgleich es in vielen Gesteinen nachgewiesen wurde, kein eigenes Mineral und erst recht keine



große Lagerstätte besitzt. Normalerweise trifft man Rubidium in Gemeinschaft mit den verbreiteten Alkalimetallen, wobei es von Kalium fast nicht zu unterscheiden ist. Außer im schon erwähnten Lepidolith kommt Rubidium in sehr kleinen Mengen (von hundertstel bis zu zehntel Prozentanteilen) im Carnallit vor, aus dem man das Rubidium gleichzeitig mit anderen Elementen herauslöst. Da die Gesamtvorräte an Carnallit praktisch unerschöpflich sind, kann dieses Mineral als ein sehr zukunftssträchtiger Rubidiumrohstoff angesehen werden.

Schon im 15. Jahrhundert wurde an den Ufern der Kama inmitten der Uraler Wälder das Städtchen Sol Kamskaja gegründet. Das moderne Solikamsk ist heute ein großes Zentrum der chemischen Industrie. Hier befinden sich die reichsten Lagerstätten an Carnallit, Sylvin und anderen Kaliumsalzen.

Ähnlich wie Marmor ist Sylvin in unterschiedlichen Farben bekannt, von Weiß wie Schnee bis zu allen Farben des Regenbogens. Dabei ist das Mineral, das Kaliumchlorid darstellt, von farblosen, durchsichtigen Natriumchloridkristallen (Kochsalz) durchdrungen; unter diesen trifft

man vollkommen schwarze große Würfel. Wodurch wurde das Kochsalz geschwärzt? Man nimmt an, daß dies ein »Autogramm« des Rubidiums-87 ist, des uns schon bekannten radioaktiven Isotops, das das Natriumchlorid irgendwann bestrahlt hat.

Die Rubidiumsalze sind in den Wassern der Ozeane, Meere und Seen löslich. Sehr reich an diesem Element ist das bekannte Odessaer Haff, und noch mehr findet man im Wasser des Kaspischen Meeres. Rubidium ist auch in vielen Vertretern der Pflanzenwelt anzutreffen. Spuren findet man in den Wasserpflanzen und im Tabak, in den Teeblättern und den Kaffeebohnen, im Zuckerrohr und den Zuckerrüben, in den Weintrauben und in einigen Zitrusfrüchten.

Zum Abschluß führen wir noch ein lustiges Argument zur Ursache des vor einigen Jahren herausgegebenen Aufrufs »Schützt die Männer!« an. Ihr Blut ist entsprechend den Angaben der Großen Sowjetischen Enzyklopädie reicher an Rubidium als das der Frauen, wobei die Werte 0,00032 bzw. 0,00028 % betragen. Schon aus diesem Grunde muß man die Männer schützen.

# Sr

## Strontium

### Das Geheimnis der bengalischen Priester

*Woran erkrankten die Kasachen? · Ein Dorf geht in die Geschichte ein · Man muß mit den Schlußfolgerungen schnell sein! · Das Rezept der bengalischen Priester · Bukette blühen am Himmel auf · Ein süßes Plätzchen · Unterschiedliche Anwendungen · Die Explosion auf dem Atoll Bikini · Ein gefährlicher »Virus« · Große Perspektiven · Strontium gelangt in die Uhren · Auf einer fernen nördlichen Insel · »Tristan« erregt Interesse · Ein erstaunlicher Generator · Ohne Funken · Blaue Kristalle · Am Boden des Ufergürtels · Eine Sache längst vergangener Tage · Die Natur hat keine Eile*



**Z**u Beginn des vorigen Jahrhunderts beschloßen die im Gebiet des Baikalsees lebenden Kasachen, sich an den Ufern der Urow (ein Nebenfluß des Argun) anzusiedeln, da ihnen der hier anzutreffende gute Ackerboden und das angenehme Klima zusagten. Bald aber brach ein Unglück herein. Nach einigen Jahren erkrankten viele der Umsiedler an einer unbekanntem Krankheit, die die Leute arg zurichtete, indem der Schmerz den gesamten Körper durchdrang. Es kamen mehr als einmal die Ärzte hierher, aber trotzdem konnte keiner die Ursache für die Massenerkrankung aufdecken. Erst in unseren Tagen vermochte eine biogeochemische Komplexinspektion der Akademie der Wissenschaften der UdSSR festzustellen, daß der Verursacher dieses schweren Leidens das Strontium war, das in den Gewässern dieser Gebiete sehr reich vorhanden ist. Was verbirgt sich hinter diesem ungewöhnlichen chemischen Element, das die Kasachen so unliebsam in Empfang genommen hatte?

Strontium wurde gegen Ende des 18. Jahrhunderts entdeckt. Seinen Namen verdankt dieses Element einem kleinen schottischen Dorf (Strontian), wobei man genauer sagen müßte, das bescheidene Dorf verdankt diesem Element, daß es in die Geschichte der Chemie eingegangen ist. Im Jahre 1787 fand man in seiner Umgebung ein seltenes Mineral und gab ihm die Bezeichnung Strontianit. Die Untersuchungen der englischen Chemiker A. Crawford und T. Hope, des deutschen Chemikers M. Klaproth und anderer Wissenschaftler, die sich für dieses Mineral interessierten, bewiesen, daß in ihm eine »Erde« (Oxid) eines zu damaliger Zeit unbekanntem Metalls vorhanden war. Am Anfang ist schwer, doch im Jahre 1792 gelang es Hope, einen überzeugenden Beweis für das Vorhandensein eines neuen Elements anzutreten, das die Bezeichnung Strontium erhielt (in der russischen Literatur des beginnenden 19. Jahrhunderts findet man auch andere Bezeichnungen wie Strontia, Strontizian, Strontian).

Zur Zahl der Erstentdecker muß man auch den russischen Chemiker T. E. Lowitz zählen. Im

gleichen Jahre 1792 stellte er eine Strontiumerde im Mineral Baryt fest. Da der Wissenschaftler sehr vorsichtig war, war er mit seinen Schlußfolgerungen zurückhaltend, und nach dem Prinzip »lieber sieben Mal gemessen« führte er nochmals sorgfältige Versuche durch. Als diese beendet waren und Lowitz einen Artikel »Über die Strontiumerde im Schwerspat« zur Veröffentlichung vorbereitete, zeigte es sich, daß es dazu schon zu spät war: Nach Rußland gelangten die ausländischen chemischen Zeitschriften mit den Versuchsergebnissen von Hope, Klaproth und anderen Wissenschaftlern. Ja, manchmal ist es nicht gut, sich viel Zeit zu nehmen.

Die Bekanntschaft der Wissenschaftler mit dem reinen Strontium erfolgte bereits nach einigen Jahren, und zwar im Jahre 1808, als der Engländer G. Davy das erste Mal dieses leichte Metall (leichter als Aluminium) mit silbrigweißem Glanz in reiner Form abscheiden konnte.

Mit den chemischen Verbindungen des Strontiums war der Mensch schon lange vor dem beschriebenen Ereignis vertraut. Im alten Indien



brannten bei der Durchführung der heiligen Bräuche im Halbdunkel der Tempel plötzlich geheimnisvolle rote Feuer auf, die eine abergläubische Furcht bei den Betenden hervorriefen. Es versteht sich von selbst, daß hierbei der allmächtige Buddha seine Hände nicht im Spiel hatte, dafür aber seine treuen Diener, die Priester. Um einen solchen Effekt zu erreichen, vermengten sie Strontiumsalz mit Kohle, Schwefel oder Bertholletsalz, preßten dieses Gemisch zu Kugeln oder Pyramiden und entzündeten diese im erforderlichen Moment. Das »Patent« einer solchen Mischung gehörte den Priestern Bengaliens (eine der indischen Provinzen), so daß man diesen Feuern einfach die Bezeichnung »bengalische« gab.

Über viele Jahrhunderte nutzte man die Eigenschaften der flüchtigen Strontiumverbindungen, der Flamme eine grelle rote Farbe zu verleihen, in der Pyrotechnik. In Rußland lief z. B. während der Regierungszeit von Peter I. und Katharina II. kein noch so unbedeutendes Fest ohne das lustige Feuer ab. Und selbst in unseren Tagen erfreuen die Festtagsfeuerwerke mit ihren Buketten roter, grüner, gelber und bunter Raketen, die am schwarzen Samt des nächtlichen Himmels aufsteigen, unsere Blicke.

Die pyrotechnische Fähigkeit des »Metalls der roten Feuer«, wie das Strontium auch genannt wird, dient nicht nur der Belustigung. Man kann die Menschenleben schon nicht mehr zählen, die durch Signalraketen gerettet wurden, wenn bei Schiffsunglücken solche Raketen den zu Hilfe eilenden Schiffen die Stellen wiesen, an denen sich Schiffbrüchige befanden.

Lange Zeit blieb das Färben der Flammen die einzige Beschäftigung des Strontiums. Beim Übergang vom 19. zum 20. Jahrhundert stellten die Chemiker fest, daß es auch für ein anderes Arbeitsgebiet nützlich war, und zwar in der Zuckerausbringung. Mit seiner Hilfe gelang es, das Zuckerausbringen aus der Rübenmasse, der Melasse, zu erhöhen. Nach einigen Jahren fand sich aber ein billigerer Vollstrecker dieser Rolle, das Kalzium, so daß das Strontium diesem das »süße

Plätzchen« überlassen mußte. Es ist interessant, daß in der letzten Zeit die Frage über den Wiedereinsatz der Strontiummethode zur Entzuckerung der Melasse erneut gestellt wird, da das Zuckerausbringen in diesem Falle um etwa 20% höher ist.

Man kann noch viele Gebiete nennen, in denen das Strontium mit mehr oder weniger Erfolg seine Kräfte erprobt hat. Den Metallurgen half es z. B., Stahl von Gasen und schädlichen Beimengungen zu befreien. Beim Auftragen von Glasuren ermöglicht es dieses Element, ohne die giftigen Bleiverbindungen auszukommen. In der Glasindustrie wurden dem Strontium (oder genauer seinen Oxiden) Einsatzgebiete erschlossen, und synthetische Strontium-Titan-Kristalle können bezüglich des Farbspieles und des Glanzes mit Brillanten konkurrieren. Die Anwesenheit von Strontium im Portlandzement erhöht dessen Feuchtigkeitsbeständigkeit, was für Wasserbauten besonders wichtig ist. Man verwendet dieses Element in der Rundfunktechnik und der Elektronik, als Getterstoff in der Vakuumtechnik, insbesondere bei der Herstellung von Dielektrika und Ferroelektrika. Strontiumverbindungen findet man in den Luminophoren, in Farben und in Schmiermitteln, die sich durch hohe Beständigkeit auszeichnen. Das »Duett« Rubidium-Strontium ermöglichte den Wissenschaftlern, mit großer Genauigkeit das Alter der Berggesteine zu bestimmen.

Wie man sieht, hat das Element Nr. 38 ausreichend Arbeit. Trotzdem entspricht das, was aufgezählt wurde, nur einigen Episoden aus dem Leben des Strontiums. Bevor wir zu seiner wichtigsten Tätigkeit kommen, erinnern wir uns eines Vorfalles, über den die Titelseiten der Zeitungen der ganzen Welt berichtet haben.

Im März 1954 erhob sich über dem Atoll Bikini, das im südlichen Teil des Stillen Ozeans gelegen ist, eine große pilzähnliche Wolke, die das Ergebnis der Erprobung der amerikanischen Wasserstoffbombe war. Nach einigen Stunden fielen auf das Deck des japanischen Fischereifahrzeuges »Fukurju-Maru«, das sich über



150 km von dem Explosionsherd im offenen Meer befand, schmutzigweiße Flocken radioaktiven Materials herab. Die Fischer beendeten ihre Arbeit und nahmen Kurs auf Japan, aber es war schon zu spät: Bald nach der Rückkehr starb eines der Besatzungsmitglieder, und die anderen waren an einer schweren Form der Strahlenkrankheit erkrankt. Es ist erwiesen, daß der Hauptverursacher dieser Krankheit das Strontium-90 war, eines der vielen radioaktiven Isotope, die sich beim Kernzerfall bilden. Durch eine solche Explosion werden mehrere Millionen Tonnen Erde und Gestein in die Atmosphäre geschleudert, die mit Spaltprodukten der Atomkerne angefüllt sind, unter ihnen auch dem besonders gefährlichen Strontium-90. Früher oder später kehren sie zur Erdoberfläche zurück und setzen sich auf die Meere und Kontinente ab. Von da ist es für das radioaktive Strontium in den Organismus des Menschen nur ein kleiner Schritt. Zusammen mit dem Obst und dem Gemüse, die es aus dem Boden aufnehmen, mit dem Trinkwasser, mit dem Fleisch und der Milch der Haustiere, die das mit Strontium-90 verunreinigte Gras fressen, gelangt es in den Organismus der Menschen, häuft sich dort an und nimmt verhängnisvoll auf das Knochengewebe, das Gehirn und das Blut Einfluß.

Die progressive Menschheit kämpfte und kämpft für das vollständige Verbot der Atom- und Wasserstoffexplosionen. Millionen Menschen in der ganzen Welt begrüßen von ganzem Herzen die Unterzeichnung des internationalen Vertrages über das Verbot zur Erprobung von Kernwaffen in der Atmosphäre, im Kosmos und unter Wasser, der im Jahre 1963 in Moskau unterschrieben worden ist. Das bedeutet noch lange nicht, daß das radioaktive Strontium von der Bildfläche verschwunden ist: Die Entwicklung der Kernenergietechnik schafft unbegrenzte Möglichkeiten für die friedliche Nutzung in der Wissenschaft und Technik. Hier gibt es für das seltene Metall Strontium noch unendlich viel Arbeit.

Große Perspektiven eröffnen sich für das Ra-

dioisotop des Strontiums bei der Erzeugung von atomaren Batterien für kosmische Raketen und künstliche Sputniks. Das Wirkprinzip solcher Batterien beruht auf der Fähigkeit des Strontium-90, Elektronen auszusenden, die eine hohe Energie besitzen, die sich anschließend in elektrische Energie umwandelt. Radiostrontiumelemente, die in Miniaturbatterien eingeschlossen sind (mit den Abmessungen einer Streichholzschachtel), arbeiten ohne Aufladen 15 bis 25 Jahre. Die Atombatterien finden auch in der Rundfunk- und Telefentechnik Anwendung. Schweizer Uhrmacher verwenden mit großem Erfolg winzig kleine Strontiumbatterien für die Speisung von Elektrohröhren. Die anspruchslosen und praktisch ewigen Stromquellen sind von den automatischen Wetterstationen, die in den Wüsten, am Polarkreis und den Gebirgen unseres Planeten arbeiten, nicht mehr wegzudenken. In Kanada z. B., auf einer nördlichen Insel, arbeitet eine atomare Wetterstation, deren Wirkungsweise ohne Bedienung auf 2 bis 3 Jahre berechnet ist. Als Energiequelle für die Apparaturen dieser Station dient das Strontiumisotop (insgesamt 400 g), das in einer Speziallegierung eingelagert ist und von einem Bleischild geschützt wird. Die Wärme, die sich beim radioaktiven Zerfall des Strontiums bildet, wandelt sich in elektrischen Strom um, der die Geräte zur Messung der Temperaturen, des Luftdruckes sowie der Windrichtung und Windgeschwindigkeit speist. Die Meßwerte werden auf einem Schreiber aufgezeichnet und über Radio mit Hilfe zweier Transistorsender über eine Entfernung von 1 500 km übertragen. Die gesamte Apparatur befindet sich in einem Stahlzylinder von 2,5 m Höhe, 0,65 m Durchmesser und einer Masse von etwa 1 Tonne. Das Herz dieses komplizierten technischen Komplexes ist ohne Übertreibung die kleine Strontiumbatterie.

Großes Interesse ruft auch die thermoelektrische Strontiumbatterie »Tristan« hervor, die von Wissenschaftlern der Firma Siemens (BRD) entwickelt worden ist und für Unterwasseruntersuchungen eingesetzt wird. Die Abmessun-

gen der Batterie sind nicht groß, aber ihre Masse liegt bei 1,4 t, da sie mit einem dicken Bleimantel versehen ist, der die Bewohner des Meeresbodens und vor allem die Menschen vor der Strahlung schützt, die in der Nähe von »Tristan« unter dem 5fachen des zulässigen Wertes liegt.

Von den sowjetischen Wissenschaftlern wurde ein Isotopengenerator für elektrische Energie zur Versorgung der automatischen Wetterstationen geschaffen. Der »Hauptdarsteller« in ihm ist ebenfalls das Strontiumisotop. Die garantierte Arbeitszeit des »BETA-S« (so heißt der Generator) beträgt 10 Jahre, in deren Verlauf er fähig ist, die erforderlichen Geräte mit elektrischem Strom zu versorgen. Die gesamte Wartung besteht in einer prophylaktischen Durchsicht aller 2 Jahre. Auf der Leipziger Messe wurde dieser Generator mit einer Goldmedaille ausgezeichnet. Die ersten Geräte wurden in der Nähe des Baikalsees und am Oberlauf des Taigaflüßchens Kruschina aufgestellt.

Die Zahl der unterschiedlichen Geräte, in denen man das radioaktive Strontium verwendet, wächst sozusagen nicht nach Tagen, sondern nach Stunden. Erfolgreich arbeiten schon Dickenmesser für die Kontrolle und Steuerung der Prozesse bei der Herstellung von Papier, Stoffen, Metallblechen, Plastfolien und Lacküberzügen. Das Strontiumisotop wirkt in den Geräten zur Dichtemessung sowie zur Bestimmung der Viskosität und anderer Stoffkenngrößen, aber auch in Defektoskopien, Dosiereinrichtungen und Signalisatoren.

Von Bord eines in den Tallinner Hafen einlaufenden Schiffes sieht man sehr gut den förmlich aus dem Wasser wachsenden Atomleuchtturm »Tallinn«. Seine Besonderheit besteht darin, daß er einen thermoelektrischen Radioisotopengenerator besitzt, in dem beim Zerfall von Strontium-90 Wärmeenergie entsteht, die anschließend in Licht umgewandelt wird. Aus diesem Grunde kann man die Strontiumatome völlig begründet als »Geburtsort« intensiver Lichtstrahlung ansehen, die sehr leicht das Dunkel durchbricht. Die traditionelle Stelle eines Leuchtturm-

wärters ist bei diesem Atomleuchtturm nicht vorgesehen. Nur einige Male im Jahr besuchen ihn Fachleute zur Durchsicht und Wartung der Apparaturen.

In Maschinenbaubetrieben kann man häufig die sogenannten Beta-Relais antreffen. Zu ihren »Pflichten« gehören die Kontrolle der Werkstückzufuhr zur Bearbeitung, die Prüfung des Werkzeugs, der richtigen Lage des Werkstücks und weitere ähnliche Aufgaben. Das Wirkprinzip des Relais ist einfach. Eine Mikroladung des radioaktiven Strontiums, deren Strahlung um das 10fache unter der Norm liegt, befindet sich in einer Bleiampulle mit winzig kleinem Fenster, das für Beta-Strahlen (Elektronenstrom) durchlässig ist. Solange wie im »Gesichtsfeld« der Beta-Strahlen das Werkstück oder das Werkzeug vorhanden ist, d. h., solange alles in Ordnung ist, bleibt das automatische System in Ruhe. Wenn man aber annimmt, daß der Bohrer plötzlich kaputt geht, treffen die Beta-Strahlen auf ihrem Wege kein Hindernis und gelangen zu einem Gasentladungsempfänger für Strahlen. Sofort beginnt das Relais zu arbeiten, indem es den Mechanismus anhält, und im Dispatcherpult leuchtet eine Signallampe auf, die darauf hinweist, daß eine Havarie vorliegt.

Bei der Erzeugung von Isolator-Werkstoffen (Papier, Stoff, Kunstfasern, Plastmasse usw.) treten infolge der Reibung elektrische Ladungen auf, die Spannungen bis zu 1000 V aufbauen. Dadurch können Funkenüberschläge und Brände auftreten. Um dieses zu verhindern, wurden bis vor kurzem komplizierte, große und teure Apparaturen eingesetzt, die mit Hilfe von ultravioletten oder Röntgenstrahlen die umgebende Luft ionisieren und damit die elektrostatischen Spannungen abbauen. Heute verwendet man für diese Zwecke ionisierende Strontiumquellen, die billig sind, keinen Aufwand zum Aufstellen der Hochspannungsapparaturen erfordern und einfach in der Wartung, kompakt und langlebig sind. Die neuen Geräte ermöglichen eine große Steigerung der Arbeitsproduktivität der Web- und Nähaggregate sowie eine





Verringerung des Ausschusses und der Stillstandszeiten wegen abgerissener Fäden.

Damit ebnet sich das friedliche Strontium immer sicherer den Weg in die Industrie, und die Nachfrage nach ihm nimmt zu.

Kann die Natur den steigenden Bedarf an diesem Element befriedigen? Die meisten Minerale des Strontiums findet man relativ selten. Nur der schon bekannte Strontianit und der Cölestin (lateinisch: himmlisch) bilden manchmal solide Vorkommen. So beschreibt der sowjetische Geochemiker und Mineraloge, das Akademiestandmitglied A. E. Fersman, seine Begegnung mit dem Cölestin: »... plötzlich sah ich in einer geborstenen Vertiefung einen blauen Kristall, ja, das war wirklich Cölestin! Eine wunderbare, durchsichtige, blaue Nadel wie heller Saphir von der Insel Ceylon, wie eine helle, in der Sonne aufblühende Kornblume.« Cölestin kommt nicht nur blau vor, sondern ist auch zartviolett, rosa und rauchschwarz in den Gesteinen anzutreffen. Der Bildungsweg des Cölestins in der Natur ist unterschiedlich (er ist ein schwefelsaures Salz des Strontiums, und um über einen von ihnen zu erzählen, geben wir erneut dem Akademiestandmitglied A. E. Fersman das Wort, denn es kann keiner so interessant und poetisch erzählen, wie er:

»... Vor langer Zeit, vor mehreren Millionen Jahren, rollte das Jurameer seine Wellen zu dem mächtigen, damals schon vorhandenen Kauka-

sus... Am Boden des Ufergürtels, an den Steinen, lebten in unzähliger Menge kleine Radiolarien; einige von ihnen waren durchsichtig wie Glas, andere waren kleine weiße Kugeln, nicht größer als ein Millimeter, mit kleinen Stengeln, die um das 3fache größer als der Rumpf waren. Sie saßen an den Steinen, an dem herrlichen Gestrüch der Moose, und manchmal bedeckten sie auch Nadeln von Seeigeln, die mit ihnen auf dem Meeresboden zusammen waren.

Das waren die wunderbaren Radiolarien-Akanthus, deren Skelette aus etwa 18 bis 32 Nadeln bestanden. Lange Zeit wußte niemand, woraus sie gebildet wurden, und nur zufällig wurde festgestellt, daß sie nicht aus Kieselerde und nicht aus Opal, sondern aus schwefelsaurem Strontium bestehen. Diese zahllosen Radiolarien häuften in einem komplizierten Lebensprozeß das Salz des schwefelsauren Strontiums an, indem sie es dem Meerwasser entzogen und allmählich ihre Kristallnadeln aufbauten.

Die abgestorbenen Radiolarien sanken auf den Meeresboden. Damit war der Beginn der Anhäufungen eines der seltenen Metalle gegeben...«. Man kann hinzufügen, daß nicht nur die Radiolarien, sondern auch andere Meeresorganismen dem Strontium nicht gleichgültig gegenüber stehen. Die Wissenschaftler fanden Spiralkrebse der längst ausgestorbenen Mollusken, die aus Cölestin bestehen. Einige von ihnen er-

reichten imposante Abmessungen bis zu 40 cm.

In der Natur existieren relativ große, sogenannte Vulkanlagerstätten des Strontiums, z. B. in den Wüsten von Kalifornien und Arizona in den USA. Im Tertiär waren diese Gebiete durch hohe vulkanische Aktivität gekennzeichnet. Die Thermalgewässer, die zusammen mit der Lava aus dem Inneren der Erde kamen, sind mit Strontium angereichert. Die zwischen den Vulkanen gelegenen Seen reicherten sich mit diesem Element an und bildeten in den Jahrtausenden große Vorräte. Strontium ist auch in den Wassern von Kara-Bogas-Gol vorhanden. Das ständige Verdunsten des Wassers in der Bucht führt dazu, daß die Salzkonzentration kontinuierlich steigt und das Salz bei Erreichen des Sättigungspunktes kristallisiert. Der Strontiumgehalt beträgt in diesen Abscheidungen etwa 1 bis 2%.

Vor einigen Jahren haben die Geologen bedeutende Cölestinlagerstätten in den Bergen von Turkmenien gefunden. Die blauen Lagen dieses wertvollen Cölestins befinden sich an den Hängen der Bergschluchten und tiefen Cañons der Berggrate im südwestlichen Teil des Pamir-Altai. Es besteht kein Zweifel, daß die turkmenischen »Himmelssteine« sehr erfolgreich der Volkswirtschaft der UdSSR dienen werden.

Die Natur hat keine Eile. Jetzt nutzt der Mensch die Strontiumvorräte, die sie vor vielen Millionen Jahren erzeugt hat. Und auch heute erfolgen in den Tiefen der Erde und am Boden der Meere und Ozeane die komplizierten chemischen Prozesse, geht die Anhäufung der wertvollen Elemente vor sich, bilden sich neue Lager. Diese neuen Lager werden aber schon nicht mehr von uns genutzt, sondern erst von unseren Nachfahren.



# Y

## Yttrium

### Der Fund in der verlassenen Sandgrube

*Die Sternstunde Arrhenius' · Die rätselhafte Beimengung · Erntejahre · Warum wurde die Erde gelb? · Eintragung in den Lebenslauf · Das »verschlossene« Element wird entdeckt · Das »Trio« Mosanders · Das Fieber nach den Seltenen Erdmetallen · 15 000 Kristallisationen · Fast Namensvettern · Das »Wohnungsproblem« · Was wurde im Verlaufe von 2 Jahrhunderten geklärt? · Die Lampe mit dem Streichholz anzünden · Das »Fenster« der Raketen · Fortschritt im Farbfernsehen · »Vitamine« für Gußeisen · Sind die Seltenen Erdmetalle selten? · Zu Ehren Juri Gagarins*

Im Jahre 1787 beschloß der Leutnant der schwedischen Armee Karl Arrhenius, seinen Sommerurlaub in der Ortschaft Ytterby zu verbringen, die sich auf einer der unzähligen Inseln in der Nähe der schwedischen Hauptstadt Stockholm befindet. Die Auswahl war nicht zufällig getroffen. Als Liebhaber der Mineralogie wußte Arrhenius, daß in der Umgebung von Ytterby ein verlassener Steinbruch existierte, und dieser zog den jungen Offizier an, der in der Hoffnung hierher kam, seine Mineraliensammlung zu vervollständigen. Jeden Tag untersuchte Arrhenius immer neue Bereiche des Steinbruchs, aber lange Zeit war sein Suchen erfolglos. Letztendlich hatte er doch noch Glück, als er einen schwarzen schweren Stein fand, der der Steinkohle sehr ähnlich war. Ein solcher Fund ist schon etwas wert. Die Freude Arrhenius' kannte keine Grenzen. Er konnte aber damals noch nicht ahnen, daß dieses unansehnliche Mineral eine große Rolle in der Geschichte der anorganischen Chemie spielen würde. Der Urlaub näherte sich seinem Ende. Als Arrhenius nach Hause zurückgekehrt war, verfaßte er eine Beschreibung des Minerals und gab ihm, ohne etwas Böses zu denken, den Namen Ytterit (zu Ehren des Fundortes), und erneut begann er seinen Armeedienst. Von Zeit zu Zeit beschäftigte er sich noch mit den mineralischen Studien, aber seine Sternstunde hatte er schon hinter sich.

Im Jahre 1794 interessierte sich der finnische Chemiker Johann Gadolin, Professor an der Universität in Abo (heute Turku), für das Mineral Ytterit. Für ihn erwies sich der schwarze Stein aus Ytterby als sehr vorteilhaft, da er in starkem Maße die Richtung der weiteren wissenschaftlichen Arbeit dieses großen Wissenschaftlers bestimmte. Gadolin führte von diesem Mineral die chemische Analyse durch und stellte fest, daß in ihm neben den Oxiden von Eisen, Kalzium, Magnesium und Silizium eine große Menge (38 %) einer unbekanntem Beimengung vorhanden war, die teilweise an Aluminiumoxid erinnerte und teilweise auch an Kalziumoxid. Der Wissenschaftler zog die Schlußfolgerung, daß er das

Oxid eines neuen chemischen Elements entdeckt hatte bzw., wie man es damals ausdrückte, eine neue »Erde« (so wurden früher die hochschmelzenden und in Wasser unlöslichen Oxide einiger Elemente genannt). Nach drei Jahren beschäftigte sich der schwedische Chemiker Andres Ekeberg, Professor der Upsalaer Universität, mit dem Mineral Ytterit. Er unterstrich die Schlußfolgerung seines finnischen Kollegen, allerdings mit einem kleinen Unterschied, der sich auf die Mengenangabe bezog. Nach seiner Meinung waren nicht nur 38 %, sondern 55,5 % dem neuen Element zuzurechnen. Ekeberg schlug vor, die neue Erde »Yttriumerde« zu nennen und Ytterit in Gadolinit umzubenennen zu Ehren der großen wissenschaftlichen Verdienste von Gadolin, der als erster dieses Mineral untersuchte.

Das Interesse der Wissenschaftler an dieser Yttriumerde war beachtlich. Vielfältige Untersuchungen, die in den unterschiedlichsten Ländern durchgeführt wurden, bestätigten das Vorhandensein eines neuen Elements im Gadolinit; man muß jedoch hinzufügen, daß die quantitativen Angaben in der Regel sehr unterschiedlich waren. Aber keinem der vielen Chemiker, die sich ausführlich mit der Yttriumerde auseinandersetzten, kam der Gedanke, daß sich in diesem Mineral nicht nur ein, sondern mehrere unbekannte Oxide verbargen. Bezüglich der Zusammensetzung erwies sich die Cererde, die im Jahre 1803 entdeckt worden war, als ebenso kompliziert. Wie sich später herausstellte, waren in diesen beiden Stoffen fast alle Elemente, die man heute im Periodensystem unter den Nummern 57 bis 71 antrifft und die als Lanthanide (auch Lanthanoide) bezeichnet werden, enthalten. Zusammen mit ihren engen »Verwandten« Skandium (Nr. 21) und Yttrium (Nr. 39) bilden sie die Familie der Seltenen Erdmetalle. Um aber diese Erden in ihre Bestandteile zu zerlegen und alle in ihnen vorkommenden Elemente zu entdecken, brauchten die Wissenschaftler fast ein ganzes Jahrhundert.

Der Beginn des 19. Jahrhunderts ist mit dem Auftreten einer großen Zahl neuer Elemente ver-



bunden. In diesen Jahren wurden entdeckt: Palladium und Rhodium, Osmium und Iridium, Kalium und Natrium, Barium und Strontium, Kalzium und Magnesium, Lithium und Kadmium. Diese und die anderen »Neugeborenen« zogen die Aufmerksamkeit der Chemiker auf sich, während das Interesse für die Yttrium- und Cererden sank.

Nur der bekannte schwedische Chemiker Jens Jakob Berzelius und seine Schüler verloren die Seltenen Erden nicht aus den Augen. Im Jahre 1818 stellte Scherer, einer der Helfer von Berzelius, fest, daß bei der Erwärmung von Yttriumerde in einer geschlossenen Glasampulle das farblose Pulver plötzlich eine unerwartete Gelbfärbung annahm, die nach einer Wiederholung des Prozesses in einer reduzierenden Atmosphäre verschwand. Das brachte Scherer auf den Gedanken, daß im Ausgangspräparat neben dem Yttriumoxid auch ein unbekanntes Oxid enthalten ist, das die Gelbfärbung der Yttriumerde verursacht hat. Einen ähnlichen Gedanken hatte auch schon früher jemand geäußert, aber weiter war die Sache nicht gekommen. Auch Scherer konnte seinen Gedanken experimentell nicht erhärten.

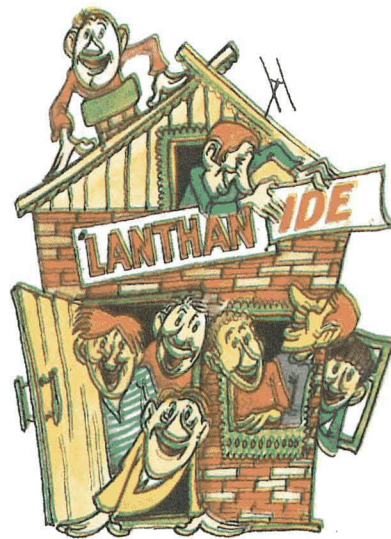
Es vergingen einige Jahre, und in die Biographie des Yttriums wurde eine neue Eintragung vorgenommen: Im Jahre 1828 konnte der deutsche Wissenschaftler Friedrich Weller (auch ein Schüler von Berzelius) zum ersten Mal metallisches Yttrium darstellen. Obgleich das Metall noch stark mit Verunreinigungen vermischt war, hob dieses Ereignis Weller in den Stand eines großen Wissenschaftlers, da die Abscheidung eines beliebigen Seltenen Erdmetalls aus den chemischen Verbindungen zur damaligen Zeit eine arbeitsaufwendige und komplizierte Aufgabe war.

Die folgende Seite in der Geschichte des Yttriums (oder genauer gesagt, in der Geschichte aller Seltenen Erdmetalle, denn ihr Schicksal ist auf das engste miteinander verflochten) schrieb noch ein Schüler von Berzelius – der talentierte schwedische Chemiker Karl Mosander. Bereits

im Jahre 1826 verschrieb sich dieser Wissenschaftler den Untersuchungen der Cererde, und bald danach kam er zu dem Schluß, daß in ihr ebenso wie in der Yttriumerde auch noch andere, unbekannte Oxide enthalten sein können. Mosander war jedoch kein Freund von übereilten kategorischen Aussagen, und die neue Erde konnte er damals noch nicht abscheiden. Für eine bestimmte Zeit wurde seine Aufmerksamkeit von der Erforschung der Ceroxide abgelenkt, und erst gegen Ende der 30er Jahre wandten sich seine wissenschaftlichen Interessen wieder dem »Pol« der Seltenen Erdmetalle zu.

Zunächst wiederholte er seine Versuche mit der Cererde und konnte nachweisen, daß in ihr noch das Oxid eines anderen Elements vorhanden war. Auf Vorschlag von Berzelius nannte es Mosander Lanthan, was griechisch »versteckt« heißt. Lanthan konnte sich lange unter der Hülle des Cers (auch Zerium) verstecken, nahm aber in der Folge sehr »gastfreundlich« alle Angehörigen der Seltenen Erdmetalle auf und gab ihnen letztendlich auch noch den Namen Lanthanide.

Außer dem Lanthanoxid wies Mosander in der Cererde noch eine Erde nach; im weiteren stellte sich heraus, daß auch diese eine kompli-





zierte Zusammensetzung aufwies, und aus ihr wurden letztendlich mehrere Seltene Erdmetalle abgeschieden. Nun wurde auch die Yttriumerde wieder interessant. Mosander erinnerte sich der »gelben Tage« in den Versuchen von Scherer. Er hatte auch nicht vergessen, daß es in den Angaben über den Gehalt des Yttriumoxids im Gadolin bei den Untersuchungen von Gadolin, Ekeberg und vielen anderen Wissenschaftlern erhebliche Unterschiede gab, obwohl sie ähnliche Analysemethoden verwendeten. Hier gab es etwas, worüber man sich den Kopf zerbrechen konnte, da selbst Berzelius keine ausreichende Erklärung für diese Unterschiede parat hatte. Womit beginnen?

Mosander versuchte zunächst, sehr reines Yttriumoxid herzustellen. Dabei nutzte der Wissenschaftler nicht nur die bis zu dieser Zeit bekannten Methoden, sondern entwickelte für seine Versuche neue Methoden, die in der Folge oft in der Chemie der Seltenen Erdmetalle verwendet wurden. Für die Aufspaltung der Yttriumerde verwendete Mosander die sogenannte fraktionierte Abscheidung, die den unbedeutenden Unterschied der Salze der Seltenen Erdmetalle bei ihrer Lösung in Säuren ausnutzt. Falls die Yttriumerde ein Gemisch aus Oxiden darstellte, dann würden die Bestandteile nicht alle gleichzeitig abgeschieden werden können, sondern müßten in Übereinstimmung mit ihrem unterschiedlichen Basizitätsgrad und folglich der verschiedenartigen Löslichkeit unterschiedlich ausfallen.

Es vergingen Tage, Wochen und Jahre. Der Wissenschaftler setzte Kaliumoxalat, Ammoniak und andere Reagenzien dem Hydroxid des Yttriums zu. Ein gewissenhafter Versuch folgte dem anderen. Im Oktober 1843 veröffentlichte Mosander im »Philosophischen Journal« die Ergebnisse seiner Arbeit. Es gelang ihm, aus der Yttriumerde drei Oxide abzuscheiden. Zuerst fiel ein gelber Niederschlag aus, danach ein rosafarbener und zuletzt ein farbloser. Die Bezeichnungen, die Mosander diesen Oxiden und den entsprechenden Elementen gab, symbolisieren die

Trennung der Ausgangserde, die im Mineral von Ytterby festgestellt worden war. Vom Wortanfang des schwedischen Dorfes »Ytt« erhielt der farblose Niederschlag seinen Namen Yttrium, von der Bezeichnung »ter« (gelb) stammt das Wort Terbium und von »erb« (rosa) kommt das Wort Erbium.

Den Schlußpunkt zu setzen war es aber noch zu früh, denn um das Mosandersche »Trio« spann sich eine lebhafteste Polemik, an der viele bekannte Chemiker teilnahmen. Einige zweifelten an der Existenz der neuentdeckten Elemente, andere dagegen wollten diese Erden in ein selbständiges »Territorium« aufteilen, das zunächst den unbekanntesten Elementen gehören sollte. Die Wahrheit lag zwischen diesen beiden Grenzpunkten. Die Erbiumerde erwies sich tatsächlich als ein Gemisch von Oxiden. Im Jahre 1878 teilte der Schweizer Chemiker Jean Marignac diese Erde in zwei Teile – Erbium und Ytterbium (zu Ehren des kleinen schwedischen Dorfes). Wie sich aber bald herausstellen sollte, war jede dieser Erden wiederum ein Gemisch aus Oxiden.

Die Trennung der Erden ging weiter, und die Familie der Seltenen Erdmetalle vergrößerte sich um neue Mitglieder. In diesen Jahren nahm das Interesse an den Seltenen Erden unwahrscheinlich zu. Eine nicht unbedeutende Rolle spielte dabei die im Jahre 1860 von den deutschen Wissenschaftlern Robert Bunsen und Gustav Kirchhoff erarbeitete Spektralanalyse, die die Möglichkeiten zum Eindringen in das Geheimnis der Stoffe wesentlich erweiterte.

Ähnlich wie zur Zeit des Goldrausches tausende Gewinnsüchtige nach Kalifornien und Klondike strebten, machten im letzten Viertel des vorigen Jahrhunderts unzählige Wissenschaftler an den Ufern des Archipels der Seltenen Erdmetalle fest, um den chemischen Schatz zu suchen. Die Entdeckungen neuer Seltener Erdmetalle kamen wie aus einem Füllhorn, aber für die meisten von ihnen (insgesamt über 100) waren die erforderlichen »Papiere« für eine stabile Einreihung in das Periodensystem unzureichend.

Es versteht sich von selbst, daß es auch Erfolge



gab. In der Erbiumerde wurden neben dem Element Erbium auch noch Thulium, Holmium und Dysprosium gefunden, während aus der Ytterbiumerde außer Ytterbium noch Skandium und Lutetium abgeschieden wurden. Ein kennzeichnendes Merkmal für die Abscheidung des Lutetiums besteht darin, daß der französische Chemiker Georges Urbain mehr als 15000 Kristallisationen hat durchführen müssen. Derart widerpenstig gab die Natur ihre Geheimnisse preis. Es ist interessant, daß Lutetium sowohl hinsichtlich der Entdeckung (1907) als auch in der Reihe der Lanthanide das letzte Element war.

So waren denn alle Seltenen Erdmetalle entdeckt. Fassen wir zusammen. Die kleine schwedische Ansiedlung Ytterby, wo einst Arrhenius ein schwarzes Gestein fand, gab vier chemischen Elementen ihren Namen: Yttrium, Terbium, Erbium und Ytterbium. Keiner der Kontinente, keiner der Staaten und nicht eine Hauptstadt ist zu solcher Ehre gekommen. Ein eigentümlicher Rekordhalter wurde auch das schwarze Mineral Gadolinit (Ytterit), es war sozusagen die Aufbewahrungskammer für fast zehn neue Elemente, die aus der Yttriumerde gewonnen wurden und zuerst im Ytterit gefunden wurden.

Yttrium und die anderen Seltenen Erdmetalle brachten auch Mendelejew einige Sorgen, als dieser die Ordnung für das Periodensystem schrieb. Bei der Entdeckung des für die Chemie so wichtigen Gesetzes waren sechs Seltene Erdmetalle bekannt. Für jedes dieser Elemente einen ihm passenden Platz im System auszuwählen erwies sich infolge der großen chemischen Ähnlichkeit als äußerst kompliziert. Und da die Zahl der neu entdeckten Elemente noch zunahm, wurden zwangsläufig auch die Sorgen größer.

Es verging nicht einmal ein Jahrzehnt, und das »Wohnungsproblem« für die Mitglieder der Seltenen Erdmetallfamilie konnte endgültig geklärt werden. Es zeigte sich, daß Yttrium, mit dem die Geschichte der Seltenen Erden begann, ein einzelnes Quartier bekommen mußte. Ein solches Vorrecht erhielt auch noch das Skandium, während alle anderen Seltenen Erdmetalle, wie be-

reits gesagt wurde, eine Unterbringung in einer »Mehrzimmerwohnung« bekamen. Lanthan wurde als Hauptmieter festgelegt. Obgleich ein Teil der Lanthanide zur Yttriumgruppe zählt (Ordnungszahl 63 bis 71), steht Yttrium im Periodensystem getrennt von ihnen. Der andere Teil der Lanthanide gehört zur Cergruppe (Ordnungszahl 57 bis 62).

Seit Ende des 18. Jahrhunderts, als das Yttrium entdeckt wurde, bis heute sind noch nicht einmal 2 Jahrhunderte vergangen. Man sollte meinen, daß in dieser Zeit das Element gründlich erforscht worden ist und alle physikalischen Kennwerte aufgezeichnet sind. Und trotzdem sind bis zur heutigen Zeit die Angaben über die Dichte, die Schmelz- und Siedetemperaturen sowie andere Parameter des Yttriums, die in den Handbüchern angegeben sind, nicht übereinstimmend. Die Ursache besteht darin, daß der Reinheitsgrad des Metalls, den unterschiedliche Forscher erreicht haben, verschieden ist. Heute erhält man durch Umschmelzen im Vakuum mit anschließender zwei- und dreifacher Destillation Yttrium mit einer Reinheit von 99,8 bis 99,9%. Ein solches Metall schmilzt bei etwa 1500 °C, und die Dichte beträgt 4,47 g/cm<sup>3</sup>. Die Kombination der relativ hohen Schmelztemperatur mit der geringen Dichte, den guten Festigkeitskennwerten und den anderen Eigenschaften lassen Yttrium als ein Element mit großer Zukunft erscheinen. Aus ihm werden schon Rohrleitungen für den Transport von flüssigem Kernbrennstoff – geschmolzenem Uran (auch Uranium) oder Plutonium – erzeugt.

Bereits am Ende des vorigen Jahrhunderts schuf der deutsche Physiker Walter Nernst eine ungewöhnliche Glühlampe. Anstelle des Kohle- oder Metallfadens, der sich im Vakuum oder in einer Schutzgasatmosphäre befindet, hatte sie einen offenen Kern aus einem Gemisch von Zirkonium- und Yttriumoxiden. Die Idee des Wissenschaftlers beruhte darauf, daß einige kristalline Verbindungen, die sogenannten festen Elektrolyte, den Strom durch die Bewegung der Ionen und nicht der Elektronen leiten. Die Lampe von

Nernst mußte man mit dem Streichholz anzünden, da der keramische Kern erst bei 800 °C den Strom zu leiten begann. Aus diesem Grunde fand die Lampe keine große Nachfrage, obgleich ähnliche Heizelemente in der Technik für die Schaffung hoher Temperaturen genutzt werden (Yttriumoxid ist in ihnen durch das Kalziumoxid ersetzt). Im Unterschied zu den metallischen oxidieren solche Heizelemente nicht an der Luft.

Heute werden aus Yttriumoxid hoher Reinheit Yttriumferrite erzeugt, die in der Rundfunktechnik und Elektronik sowie in Hörgeräten und in den Gedächtniszellen der Rechner verwendet werden. Yttriumboride, -sulfide und -oxide dienen z. B. als Werkstoff für Tiegel zum Schmelzen hochschmelzender Metalle. Vor einigen Jahren hat man das neue warmfeste Material Zyttrit geschaffen, das eine Zirkonkeramik mit Yttriumzusätzen darstellt. Zyttrit besitzt eine geringe Wärmeleitfähigkeit und behält seine Eigenschaften bis 2200 °C. Es wurden auch noch andere keramische Materialien entwickelt, wie z. B. Yttriumlux, das bei 2204 °C schmilzt. Dieser Werkstoff (eine feste Lösung des Thoriumdioxides mit Yt-



triumoxid) ist für den sichtbaren Teil des Spektrums durchlässig wie Glas und läßt außerdem die Infrarotstrahlen gut durch. Aus ihm kann man »Infrarotfenster« von Spezialapparaturen und Raketen sowie Schaugläser von Hochtemperaturöfen herstellen.

Yttrium trug sein Scherflein auch bei der Entwicklung des Farbfernsehens bei. Die Bildröhren mit den roten Luminophoren sind durch eine hohe Kontrastschärfe gekennzeichnet. In Japan nimmt man für diese Zwecke Yttriumoxid, das mit Europium aktiviert ist, während die Fachleute anderer Länder dem Orthovanadat des Yttriums den Vorzug geben. Entsprechend den japanischen Angaben werden für eine Million Röhren etwa 5 Tonnen reines Yttriumoxid benötigt.

In unserer Zeit ist die Metallurgie das wichtigste Anwendungsgebiet des Yttriums. In steigendem Maße wird dieses Element als Zusatz bei der Produktion von legierten Stählen und des modifizierten Gußeisens verwendet. Die Zugabe einer unbedeutenden Yttriummenge zum Stahl macht sein Gefüge feinkörnig und verbessert die mechanischen, elektrischen und magnetischen Eigenschaften. Wenn man ein wenig Yttrium zum Gußeisen gibt, dann nimmt die Härte um das 2fache und die Verschleißfestigkeit um das 4fache zu. Außerdem ist ein solches Gußeisen weniger spröde, und bezüglich der Festigkeitseigenschaften nähert es sich dem Stahl, wobei es hohen Temperaturen leicht widersteht. Noch ein wichtiger Fakt kommt hinzu. Das mit Yttrium behandelte Gußeisen kann man mehrfach umschmelzen, ohne daß der günstige Einfluß des »Y-Vitamins« dabei verlorenght. Yttrium steigert die Warmfestigkeit der Legierungen auf der Basis von Nickel, Chrom, Eisen und Molybdän; es erhöht die Plastizität der schwerschmelzenden Metalle – Vanadium, Tantal, Wolfram und der Legierungen auf ihrer Basis – und kann Titan-, Kupfer-, Magnesium- und Aluminiumlegierungen verfestigen. Aus der leichten Magnesium-Yttrium-Legierung (9% Yttrium), die eine hohe Korrosionsbeständigkeit besitzt, werden ver-



schiedene Teile und Baugruppen von Flugapparaten hergestellt. Die Industrie liefert Yttrium sowohl in reiner Form (Einkristalle bzw. Blöcke) als auch in Form von Legierungen mit Magnesium und Aluminium. Der Produktionsumfang nimmt von Jahr zu Jahr zu. Wenn vor kurzem die Weltförderung dieses Metalls bei einigen Kilogramm lag, dann benötigt heute die Welt über 100 Tonnen des seltenen Metalls. Wie selten ist es eigentlich?

Es zeigt sich, es ist gar nicht so selten. Nicht nur Yttrium, sondern auch die meisten der anderen Seltenen Erdmetalle werden in der Natur nicht selten angetroffen. Yttrium kommt in der Erdkruste mit 0,0029% vor und zählt damit zu den 30 verbreitetsten Elementen unseres Plane-

ten. Die Erdvorräte sind um das 10fache größer als z. B. die des Molybdäns oder des Wolframs und um das 100fache größer als die des Silbers und des Quecksilbers und um das 1000fache größer als die des Goldes und des Platins. Der Begriff »Seltene Erdmetalle« wurde ihnen vor der Beurteilung über die Anwesenheit in der Natur gegeben.

Über 100 Minerale enthalten Yttrium. Unter diesen existieren bestimmte Yttriumminerale: Gadolinit, Xenotim, Fergusonit, Thalenit und andere. Vor einiger Zeit (1961) stellten die sowjetischen Wissenschaftler das Vorkommen eines früher unbekanntes yttriumhaltigen Minerals in Kasachstan fest. Zu Ehren des ersten Kosmonauten wurde es Gagarinit genannt.

Tc

Technetium

Der wiedererwachte  
Dinosaurier

*Kehrt der gestrige Tag zurück? · Ein zweifelhafter  
Leumund · Fortuna kehrt den Rücken · Wofür eine  
Lanze brechen? · Die Sperregel · Unverschämte Nachbarn ·  
Ohne Nachricht verschollen · Die Reise über den Ozean ·  
Lieber wenig, als gar nichts · Die Namenwahl ·  
»Wunderscherben« · Geht es nicht billiger? · Der »Appetit«  
der Korrosion · Die uneinnehmbare Festung · In der  
Nähe des Nullpunktes · Im Sternbild Andromeda ·  
Eine unwahrscheinliche Version*

**S**tellen Sie sich vor, Sie finden beim Öffnen der Zeitung am Morgen folgende Sensationsnachricht:

Ein Dinosaurier ist geboren

Gestern kamen im Zoo X die mehrjährigen Experimente der Kreuzung zwischen Krokodil und Känguruh zum Erfolg, wonach auf der Erde wieder ein Dinosaurier lebt – ein Lebewesen, das im Mesozoikum lebte und vor vielen Millionen Jahren ausgestorben ist.

Es versteht sich wohl von selbst, daß eine solche »Information« nur am 1. April in der Zeitung erscheinen könnte. Ist das denn möglich, daß sich das Rad der Geschichte um viele Umdrehungen zurückdreht und uns den gestrigen Tag zurückbringt? Nicht umsonst sagt man: »Was war, kehrt nicht zurück«.

Wenn auch die Wissenschaft heute tatsächlich nicht in der Lage ist, den Dinosaurier wieder er stehen zu lassen, so können die Wissenschaftler auf anderen Gebieten manchmal unglaubliche Sachen vollbringen. Dabei handelt es sich um die »Auferstehung« der chemischen Elemente, die irgendwann unseren Planeten »bewohnten«, aber durch den radioaktiven Zerfall vollständig von ihm verschwanden. Als erstes Element wurde im Jahre 1937 das Technetium mit dieser Eigenschaft entdeckt. Zunächst aber ein kleiner Ausflug in die Geschichte der Chemie.

Bereits im Jahre 1846 fand der in Rußland arbeitende Chemiker und Mineraloge R. Hermann im Illmenser Gebirge am Ural ein früher noch unbekanntes Mineral, das er Ittroillmenit nannte. Der Wissenschaftler ruhte sich nicht auf dem Erreichten aus, sondern versuchte, aus diesem Mineral ein neues Element darzustellen, das, wie er meinte, im Mineral enthalten sein müßte. Es gelang ihm jedoch nicht, sein Illmenium zu entdecken. Der deutsche Chemiker G. Rose überprüfte die Ergebnisse und wies die Fehler in der Arbeit Hermanns nach.

Nach einem Vierteljahrhundert erinnerte man sich erneut des Illmeniums als Vertreter für die Rolle des »Eka-Mangans«, das den noch freien

Platz im periodischen System unter der Nummer 43 einnehmen sollte. Der »Leumund« für dieses Element war durch die Arbeiten von Rose sehr zweifelhaft. Obwohl viele seiner Eigenschaften, darunter auch das Atomgewicht, für das Element Nr. 43 passend waren, nahm es Mendelejew nicht in seine Tabelle der Elemente auf. Die weiteren Untersuchungen belegten, daß dem Illmenium in der Geschichte der Chemie nur ein unrühmlicher Platz bescheinigt werden konnte, d. h., es war eines der vielen Pseudoelemente. Da ein erhabener Platz nicht leer bleibt, erschien einer nach dem anderen, um diese Stelle anzutreten, Devium, Luzium, Nipponium – doch alle zerplatzten wie die Seifenblasen, kaum daß sie das Licht der Welt erblickt hatten.

Im Jahre 1925 veröffentlichten die Forscher Ida und Walter Noddack, daß sie zwei neue Elemente – Masurium (Nr. 43) und Rhenium (Nr. 75) – entdeckt hätten. Bezüglich des Rheniums zeigte sich das Schicksal wohlgenügt. Es wurde den Gesetzen nach sofort anerkannt und konnte in die freigehaltene Residenz einziehen. Dem Masurium drehte Fortuna aber den Rücken zu. Weder seine Erstentdecker noch andere Wissenschaftler konnten die Entdeckung wissenschaftlich bestätigen, so daß die Liste der Pseudoelemente um einen Unglücklichen erweitert wurde.

In dieser Zeit haben einige Wissenschaftler begonnen, sich zu der Meinung durchzuringen, daß nicht alle Elemente, die von Mendelejew vorausgesagt worden sind, insbesondere das Element Nr. 43, in der Natur vorhanden sind. Vielleicht gibt es sie einfach gar nicht, und man darf mit ihnen nicht die Zeit vergeuden, um für sie eine Lanze zu brechen? Zu einem solchen Schluß kam sogar der bekannte deutsche Chemiker Wilhelm Prandtl, der damit ein Veto bei der Entdeckung des Masuriums einlegte.

Klarheit in diese Fragen brachte die jüngere Schwester der Chemie, und zwar die Kernphysik, die zu dieser Zeit schon eine bestimmte Autorität erlangt hatte. Eine der Gesetzmäßigkeiten dieser Wissenschaft (die in den 20er Jahren von



dem sowjetischen Chemiker S. A. Tschukareew vorgemerkt und im Jahre 1934 von dem deutschen Physiker J. Mattauich endgültig formuliert wurde) ist die Mattauich-Tschukareew-Regel oder Sperregel. Bevor wir das Wesen dieser Regel darlegen, erinnern wir uns an die Begriffe »Isotop« und »Isobar«. Isotope sind Atome eines chemischen Elements, die die gleiche Ladung des Atomkernes haben, aber unterschiedliche Massezahlen besitzen. Bei den Isobaren, oder anders gesagt bei den »Gleichschweren«, sind die Ladungen des Kernes verschieden, und die Massezahl ist gleich.

Kehren wir jetzt zur Sperregel zurück. Ihr Wesen besteht darin, daß in der Natur die Existenz zweier stabiler Isobare nicht möglich ist, deren Kernladungen sich um eine Einheit unterscheiden. Oder mit anderen Worten gesagt: Wenn irgendein chemisches Element ein beständiges Isotop besitzt, dann ist es seinen nächsten Nachbarn in der Tabelle »streng verboten«, ein beständiges Isotop mit der gleichen Massezahl zu besitzen. In diesem Sinne hat das Element Nr. 43 nichts zu lachen. Seine Nachbarn links und rechts – Molybdän und Ruthenium – sorgen dafür, daß alle stabilen Vakanzen des naheliegenden Territoriums ihren Isotopen gehören. Das wiederum bedeutet, daß das Element Nr. 43 ein schweres Los auf sich geladen hat. Soviel Isotope es auch hätte, sie sind alle zur Unbeständigkeit verurteilt und zerfallen pausenlos.

Es ist sinnvoll anzunehmen, daß das Element Nr. 43 irgendwann auf dem Erdball in ausreichender Menge vorhanden war, aber es ist allmählich verschwunden. Warum sind dann aber die Elemente Uran und Thorium bis in unsere Tage erhalten geblieben? Sie sind doch ebenfalls radioaktiv, und folglich zerfallen sie seit dem ersten Tag ihrer Existenz, wie man sagt, langsam, aber sicher. Darin versteckt sich die Antwort auf unsere Frage: Uran und Thorium sind deshalb noch erhalten, weil sie sehr langsam zerfallen, und zwar bedeutend langsamer als die anderen Elemente mit natürlicher Radioaktivität (in der gesamten Zeit des Bestehens des Erdballs sind

die Vorräte an Uran in den natürlichen Lagerstätten um etwa das 100fache geringer geworden). Die Berechnungen amerikanischer Radiochemiker zeigten, daß das unbeständige Isotop eines beliebigen Elements nur dann eine Überlebenschance hat, wenn seine Halbwertszeit über 150 Millionen Jahren liegt. Als die ersten Isotope des Elements mit der Nr. 43 erzeugt wurden, zeigte sich, daß die Halbwertszeit des langlebigsten unter ihnen etwa zweieinhalb Millionen Jahre beträgt, und dies bedeutet, daß das letzte Atom lange vor Erscheinen des ersten Dinosauriers auf der Erde zerfallen war.

Unser Planet existiert im Weltall schon etwa 4,5 Milliarden Jahre. Wenn die Wissenschaftler das Element Nr. 43 in den Händen halten wollen, dann müssen sie mit diesen Händen das Element erst schaffen, da die Natur es schon lange in die Liste der Verschollenen eingetragen hat. Sollte sich die Wissenschaft mit einer solchen Aufgabe belasten? Ja, so etwas ist notwendig. Zum ersten Male beschäftigte sich damit der bedeutende englische Physiker Ernest Rutherford im Jahre 1919. Er bombardierte die Atomkerne des Stickstoffs, wobei ihm als Geschütz zerfallende Radiumatome dienten, und als Geschöß verwendete er die dabei entstehenden Alpha-Teilchen. Durch den langen Beschuß füllte sich der Atomkern des Stickstoffs mit Protonen auf und wandelte sich in Sauerstoff um.

Die Experimente Rutherfords bereicherten die Wissenschaftler um eine ungewöhnliche Erfahrung. Man kann einen Stoff in einen andern umwandeln und neue Elemente erschaffen.

Hat man versucht, auf diesem Wege das Element Nr. 43 zu schaffen? Die Lösung dieses Problems suchte der junge italienische Physiker Emilio Segrè. Zu Beginn der 30er Jahre arbeitete er an der Römischen Universität unter der Leitung des damals schon bekannten Enrico Fermi. Zusammen mit anderen »Jüngern« (so nannte Fermi spaßig seine talentierten Schüler) nahm Segrè an den Versuchen zur Neutronenbestrahlung des Urans teil und löste viele andere Probleme der Kernphysik. Der junge Wissenschaft-

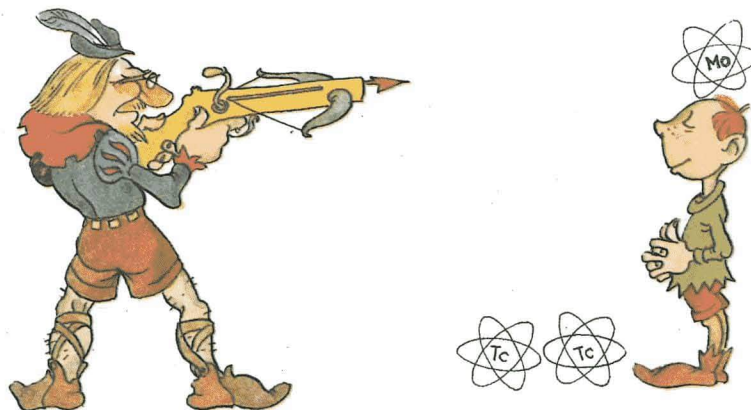
ler erhielt ein verlockendes Angebot zur Leitung des Physiklehrstuhls an der Palermoer Universität. Als er in der alten Hauptstadt Siziliens ankam, erwartete ihn eine unangenehme Überraschung, denn das Laboratorium, das er leiten sollte, war mehr als bescheiden, und sein Aussehen wies nicht auf die Durchführung wissenschaftlicher Höchstleistungen hin.

Groß aber war der Wunsch Segrè's, immer tiefer in das Geheimnis der Atome einzudringen. Im Sommer 1936 überquert er den Ozean, um in die amerikanische Stadt Berkley zu kommen. In dieser Stadt, im Labor der Kalifornischen Universität, arbeitete schon einige Jahre das von Ernest Lawrence entwickelte Zyklotron – ein Beschleuniger für Atomteilchen. Heute würde diese kleine Vorrichtung den Wissenschaftlern wie ein Kinderspielzeug vorkommen. In der damaligen Zeit rief das einzige Zyklotron der Erde große Bewunderung hervor und wurde von den Wissenschaftlern aus anderen Laboratorien mit gewissem Neid betrachtet (im Jahre 1939 wurde Lawrence für die Schaffung dieses Zyklotrons mit dem Nobelpreis ausgezeichnet). Die Zeit seines Aufenthaltes näherte sich dem Ende, und nur schwer konnte sich Segrè vom Zyklotron trennen, denn von einer ähnlichen Vorrichtung konnte er nur träumen. Kurz vor der Abreise kam ihm folgender Gedanke. Bei seiner Ausreise wollte er ein Stückchen Molybdän mitnehmen, das einige

Monate lang mit einem mächtigen Strom beschleunigter Deuteronen – den Kernen des schweren Wasserstoffs – behandelt worden war. Lawrence ging auf das Ansinnen seines Kollegen ein, und dieser kehrte mit einigen Proben unansehnlichen, aber teureren Molybdäns nach Palermo zurück.

Wozu waren diese Proben für Segrè von Interesse? »Wir hatten triftige Gründe anzunehmen«, schrieb er in seinen Erinnerungen, »daß sich das Molybdän nach der Bestrahlung mit Deuteronen in das Element Nr. 43 umwandeln würde...«. Und so kam es tatsächlich. Das Molybdän hat in seinem Kern 42 Protonen. Wenn das Deutron, das aus dem Proton und dem Neutron besteht, in den Atomkern des Molybdäns eindringen kann, dann sind schon 43 Protonen vorhanden, d. h. genau soviel wie im Kern des Elements Nr. 43 sein müssen. Es schien alles sehr einfach zu sein. Wie sollte man es aber experimentell beweisen? Trotz allem begannen im Jahre 1937 Segrè und sein Helfer, der Mineraloge Carlo Perrier, sich dieser Sache anzunehmen.

Zunächst klärten sie die Tatsache auf, daß das Molybdän Beta-Teilchen aussendet, d. h. schnelle Kernelektronen. Daraus kann man den Schluß ziehen, daß in ihm ein Isotop »verborgen« ist, aber welches? Es konnte ein Isotop des Molybdäns oder auch eines anderen Elements sein, z. B. von Zirkonium, Niob, Ruthenium oder







auch von dem gesuchten »Dreiundvierzigsten«. Durch eine sorgfältige Untersuchung bei der chemischen Zerlegung in alle Elemente, außer dem Letztgenannten, ließ sich die Unschuld aller Elemente bezüglich der Beta-Strahlung nachweisen. Nach dem Abscheiden der Elemente erhielten die Wissenschaftler das langersehnte »Eka-Mangan«. Wenn man sagt erhielten, dann ist dies etwas übertrieben, denn wie sich später herausstellte, hatten sie insgesamt nur 0,000000001 Gramm des neuen Elements gefunden. Für die Physiker ist ein zehnmilliardenstel Gramm nicht so sehr wenig, denn die Entdeckung des Mendeleeviums (Nr.101) wurde registriert, als insgesamt nur 17 Atome dieses Elements vorhanden waren. Für die Anschaulichkeit führen wir folgendes Beispiel an. Wenn alle Eisenatome, die in einem winzigen Stecknadelkopf enthalten sind, gleichmäßig über dem Erdball verteilt würden, dann befänden sich auf jedem Quadratmeter etwa zehn Millionen Atome.

Wir haben uns etwas von der Nachricht entfernt, mit der unsere Geschichte begann. Im Juni 1937 gelang es also den Wissenschaftlern, auf künstlichem Wege das erste von den auf der Erde »ausgestorbenen« chemischen Elementen darzustellen. Ohne Umschweife nannten Segrè und Perrier das Element Nr. 43 Technetium, was vom Griechischen abgeleitet künstlich bedeutet.

Obleich die Menge des neuen Elements in den Händen der Wissenschaftler äußerst klein war, konnten sie doch einige Eigenschaften bestimmen und sich davon überzeugen, daß es mit dem Rhenium verwandt ist, wobei die Verwandtschaft sehr nahe ist.

Es ist verständlich, daß der Wunsch der Chemiker und Physiker der ganzen Welt darin bestanden hat, größere Einzelheiten über den künstlichen Bewohner des Periodensystems zu erfahren. Bevor man aber das Element untersuchen konnte, mußte man es erst haben. Alle waren sich darüber einig, daß man auf das bestrahlte Molybdän nicht zählen konnte, denn dafür war es zu arm an diesem Element. Deshalb mußte man einen neuen Lieferanten für das Element Nr. 43 suchen.

Die Suche dauerte nicht lange. Bereits im Jahre 1940 haben Segrè und seine Assistentin Fu-Zyan-Sun festgestellt, daß eines der langlebigsten Technetiumisotope in ausreichender Menge in den sogenannten »Scherben« vorhanden ist, die sich bei der Uranspaltung durch die Bestrahlung mit seinen Neutronen bilden. Dieser Prozeß stellt die Grundlage für die Arbeit der Kernreaktoren dar. In einem Kilogramm dieser »Scherben« sind einige Gramm Technetium vorhanden, so daß man darüber schon sprechen kann. Deshalb ist es auch nicht verwunderlich, daß die Kernreaktoren so nebenbei als »Fabri-



ken« für die Erzeugung von Technetium anzusehen sind.

Anfangs kosteten die Produkte dieser »Fabriken«, d. h. das schwere, höchstschmelzende silberweiße Metall, sehr viel, etwa das Tausendfache des Goldes. Die Atomenergie entwickelte sich sehr energisch, und die »Uranscherben« waren schon nicht mehr eine so große Mangelware. Die Preise für das Technetium sanken sehr stark. Der Abscheideprozeß aus den radioaktiven »Scherben« ist jedoch sehr kompliziert, und deshalb kostete im Jahre 1965 jedes Gramm des synthetischen Metalls auf dem Weltmarkt immerhin noch 90 Dollar. Die Produktion betrug nun nicht mehr nur milliardstel Gramm, sondern etwa hundert Kilogramm, so daß die Wissenschaftler jetzt die Eigenschaften allseitig erforschen konnten, wobei sie die Einsatzsphären für dieses Element schon absteckten.

Die wichtigste Tätigkeit des Technetiums wurde schnell gefunden: Kampf gegen die Korrosion. Dieser habgierige »Räuber« bringt der Menschheit einen großen Schaden, indem jedes Jahr durch ihn unerbittlich Millionen Tonnen Stahl vernichtet werden. Die Metallurgen können freilich schon rostfreie Stähle erzeugen, die der Korrosion standhalten. Aber erstens sind solche Stähle teurer als die normalen, und zweitens sind unterschiedlichste Stähle erforderlich, wobei z. B. die Eigenschaften rostfrei und verschleißfest nicht immer gleichzeitig anzutreffen sind. Drittens gibt es einfach nicht so viel Chrom und Nickel, ohne die ein rostfreier Stahl nicht hergestellt werden kann. Die Metallkundler, Chemiker und Physiker suchen ständig Verfahren, um den »Appetit« der Korrosion zu dämpfen.

Das Antikorrosionsproblem ist nicht so einfach zu lösen, obgleich es auf diesem Gebiet schon einige Erfolge gibt. Die Wissenschaftler haben festgestellt, daß einige Stoffe eine unschätzbare Eigenschaft besitzen, indem sie die Oberfläche der Metalle chemisch passiv machen und so die Teile vor der Korrosion schützen. Diese Stoffe erhielten die Bezeichnung Inhibito-



ren (vom lateinischen Wort »inhibire« = bremsen, aufhalten, abgeleitet). Als am besten geeignet erwies sich Technetium. Es besitzt den größten Inhibitoreffekt. Wenn das Stahlbauteil mit einer Lösung behandelt wird, in der auch nur einige hunderttausendstel Prozent Pertechnat (Salz der Technetiumsäure) enthalten sind, dann erweist es sich als uneinnehmbare Festung für den Rost, selbst bei Erwärmung auf 250 °C.

Eine weitere Eigenschaft des Technetiums ist noch von Interesse. Es ist bekannt, daß in der Nähe des absoluten Nullpunktes (-273,16 °C) viele Metalle supraleitfähig werden, d. h., sie besitzen praktisch keinen elektrischen Widerstand mehr. Je höher der Übergangspunkt in den Supraleitfähigkeitszustand (die sogenannte kritische Temperatur) ist, desto verheißungsvoller sind die Perspektiven dieser Eigenschaft für die Technik. In dieser Beziehung hat Technetium keinen Konkurrenten. Es leitet den elektrischen Strom bereits bei 8,24 K (-264,92 °C) vollkommen widerstandslos, während die anderen Metalle dazu noch etwas mehr »abgekühlt« werden müssen.

Im Laufe der Zeit wird dieses Metall uns noch mehr von seinen Fähigkeiten eröffnen. Es ist verständlich, daß das Interesse der Wissenschaftler an ihm nicht nachläßt. Die einen vervollkommen die Verfahren zu seiner Gewinnung, während andere versuchen, es doch noch in der Erdrinde zu finden. Denn theoretisch kann man annehmen, daß sich die »Uranscherben« auch in den natürlichen Lagerstätten bilden. Außerdem ist das Auftreten des Technetiums in den unterschiedlichen Gesteinen möglich, die Molybdän, Ruthenium oder Niob enthalten. Ihre Isotope können sich unter der Einwirkung der zur Erde gelangenden kosmischen Neutronen in Isotope des Elements Nr. 43 umwandeln.

Trotzdem sollte man nicht allzu große Erwartungen an unseren Planeten stellen. Aus diesem Grunde richteten viele Wissenschaftler ihren Blick auf andere Himmelskörper. Schon im

Jahre 1951 veröffentlichte die amerikanische Astronomin Charlotte Moor eine sensationelle Mitteilung. Mit Hilfe der Spektralanalyse wurde Technetium in der Sonne beobachtet. Ein Jahr später fand der englische Astrophysiker R. Merrill die Linie dieses Elements in den Spektren einiger Sterne der Sternbilder Andromeda und Wal. Bei weiteren Untersuchungen konnten die Funde von Moor nicht bestätigt werden. Dafür konnte das Vorhandensein des Technetiums in den fernen Sternen durch hunderte Spektrogramme bewiesen werden.

Das Erstaunlichste dabei ist gewesen, daß die Sternvorräte dieses Elements in etwa vergleichbar mit den Gehalten des Zirkoniums, Niobs und des Molybdäns sind. Vielleicht ist das Technetium aus dem Sternbild Andromeda im Unterschied zu dem der Erde stabiler und zerfällt deshalb nicht? Diese Möglichkeit ist ausgeschlossen. Wäre es möglich, daß die Sterne ein wenig jünger als die Erde sind und das Technetium noch nicht die Zeit gehabt hat, sich in andere Elemente umzuwandeln? Auch diese Version muß man verwerfen, da diese Sterne und unsere Erde der gleichen Generation angehören.

Unter solchen Umständen liegt der Gedanke nahe, daß innerhalb bestimmter Himmelskörper das Technetium auch in der Gegenwart gebildet wird. Wie dies vor sich geht, kann man sich noch nicht erklären. Es sind nur einige Hypothesen dazu aufgestellt worden. Es ist wahrscheinlich, daß bei den Evolutionsprozessen der Sterne in ihrem Inneren ständig eine Kernreaktion auftritt, wodurch unterschiedliche chemische Elemente neu gebildet werden.

Es ist ohne weiteres vorstellbar, daß irgendwo in den Räumen des Weltalls ein von den Wissenschaftlern noch nicht entdeckter Planet zu finden sein wird. Irgendwo auf seiner Oberfläche existiert erstarrte Lava, und die Vulkane schleudern aus dem Inneren eine neue Portion Technetium. Und vielleicht gehen auf diesem Planeten auch gerade die Dinosaurier spazieren?



Pd

Palladium

Der Scherz des englischen  
Wissenschaftlers

*Eine seltsame Mitteilung · Der anonyme Brief ·  
Ein Gauner wird entlarvt · Einen Batzen Geld gewinnen? ·  
Das Geheimnisvolle wird klar · Das Fiasko Chenevix' ·  
Die Gottheit hieß Pallas Athene · Der Auftrag der spa-  
nischen Regierung · Eine bescheidene Rolle · Die Son-  
nenflecken · Alles in der Welt ist relativ · Weißes Gold ·  
Eine nützliche Bindung · Die Schutzschicht · Auf der  
äußeren Bahn · Eine große Fähigkeit · Man braucht  
»Informationen zum Nachdenken«*



An einem nebligen Morgen erwachte Richard Chenevix, ein erfolgreicher englischer Chemiker, eher als normal. Hinter dem Fenster hing schwere graue Regenwolken. Beim Einnehmen des Morgenkaffees und dem Durchblättern der Zeitung stieß Chenevix auf eine seltsame Mitteilung, die darauf verwies, daß im Geschäft des Mister Forster (Sammler und Händler von Mineralien) für einen erschwinglichen Preis das neue Metall Palladium käuflich zu erwerben sei. Von diesem Metall hatte zuvor noch kein Chemiker etwas gehört. Was sollte das sein: ein Scherz, wissenschaftliche Mystifikation oder ein Reklametrick? Obgleich Chenevix sich klar darüber war, daß diese Angelegenheit nichts mit einem neuen Metall zu tun hatte, wurde in ihm die Neugier geweckt. Trotz des schlechten Wetters machte er sich auf den Weg zur angegebenen Adresse.

Zur großen Verwunderung zeigte ihm Forster tatsächlich einen kleinen Barren des neuen Metalls, das in seinem Aussehen stark an das Platin erinnerte. Es war aber wesentlich leichter. Forster erzählte, daß er vor einigen Tagen einen Brief, der mit schöner Handschrift auf teurem Papier verfaßt war, erhalten hatte. Der anonyme Korrespondent schlug dem Besitzer des Geschäftes vor, eine kleine Menge des früher unbekanntes Metalls zu verkaufen, das er dem Brief beilegte. Mehr konnte Forster nicht sagen. Chenevix beschloß, diesen Barren zu kaufen, um nach der Analyse öffentlich über den Pseudochemiker zu lachen, der angeblich ein neues Element entdeckt hatte.

Über sein Vorhaben unterrichtete der Wissenschaftler seine Kollegen, und diese warteten mit Ungeduld auf die Ergebnisse der Analyse. Bald darauf trat Chenevix mit der Mitteilung an die Öffentlichkeit, daß das sogenannte Palladium kein neues Element, wie erklärt worden war, sondern eine Legierung aus Platin und Quecksilber sei. Es hatte den Anschein, als ob dieses Gaunerstück aufgedeckt worden war. Wie sehr sich aber auch andere Chemiker nach der Analyse um die Bestimmung von Platin und Quecksilber bemühten,

es gelang ihnen nicht, dieses im Palladium festzustellen. Wie ist das zu erklären? Der gekränkte Chenevix beeilte sich, auch diesen Umstand zu erklären: Seiner Meinung nach lag das Geheimnis darin, daß das Quecksilber in der Legierung sehr fest mit dem Platin verbunden ist, so daß die Trennung fast unmöglich ist. Außerdem nannte er noch das Rezept zur Erzeugung dieser Legierung.

Die Aufregung, die um das neue Element entstanden war, begann schnell abzuflauen. Plötzlich erschien in einem der wissenschaftlichen Journale eine Mitteilung, in der eine nicht geringe Prämie (20 Pfund Sterling) demjenigen versprochen wurde, der im Verlaufe eines Jahres nach der Rezeptur des Wissenschaftlers Chenevix Palladium aus Quecksilber und Platin erzeugen kann. Nicht wenige wollten diesen Batzen Geld verdienen. Nach einem Jahr waren weder Chenevix noch ein anderer Chemiker berechtigt, den versprochenen Preis in Empfang zu nehmen. Einige Zeit nach dem abgelaufenen Jahr hielt der Sekretär der Londoner Königlichen Gesellschaft (die die Rolle der Akademie der Wissenschaften spielt) im Jahre 1804 auf einer Sitzung einen Vortrag. Er teilte mit, daß er bei der Analyse des Platins in ihm ein Metall entdeckt hatte, welches die gleichen Eigenschaften wie das Palladium besitzt, was vor einem Jahr von Chenevix gekauft worden war, und außerdem noch ein neues Element mit dem Namen Rhodium.

Zu Beginn des Jahres 1805 veröffentlichte dieser Sekretär mit dem Namen Wollaston in dem gleichen Journal, in dem auch die Mitteilung über die Prämie stand, einen offenen Brief. Er gab zu, daß er die Spekulation um das von ihm entdeckte Palladium angeregt, d. h. Forster vorgeschlagen hatte, einen Barren von dem neuen Element zu verkaufen, und auch die Prämie versprochen hatte.

Es ist schwierig zu sagen, was Wollaston bewegte, einen solchen ungewöhnlichen Weg nach der Entdeckung des Palladiums zu gehen. Für Chenevix war dies aber ein vollkommenes Fiasko. Von diesem Unglück erschüttert, hörte er

bald nach dem beschriebenen Ereignis auf, sich mit der Chemie zu beschäftigen.

Bei der Namensgebung des neuen Metalls bezugte Wollaston große Hochachtung vor der Leistung des deutschen Wissenschaftlers G. Olbers, der im Jahre 1802 im Sonnensystem einen bis dahin unbekannt kleinen Planeten (Asteroid) entdeckt hatte, dem er zu Ehren der altgriechischen Gottheit Pallas Athene den Namen Pallada gab.

Ein Vierteljahrhundert später erschien in dem in Rußland herausgegebenen »Bergbaujournal« folgende Mitteilung: »Im Jahre 1822 erhielt G. Bréant von der spanischen Regierung den Auftrag, alles Platin zu reinigen und in Barren zu verwandeln, das im Verlaufe vieler Jahre in Amerika gesammelt worden war. Auf diese Weise konnte er durch die Verarbeitung von 61 Pud Rohplatin zwei und ein viertel Pfund Palladium gewinnen, d. h. das Metall, das von Wollaston entdeckt worden war und aufgrund seiner Seltenheit um das 5,5fache teurer als Gold war.«

Heute, wo mit relativ großer Genauigkeit der Gehalt aller in der Erdkruste vorkommenden Elemente berechnet ist, weiß man, daß Palladium um etwa das 10fache mehr vorhanden ist als Gold. In der Erde sind die Vorräte an Palladium, wie auch der anderen Metalle der Platingruppe, äußerst bescheiden und betragen nur  $5 \cdot 10^{-6}\%$ . Trotzdem kennen die Geochemiker etwa 30 Minerale, in denen Palladium vorkommt. Im Unterschied zu den anderen Platinoiden kommt Palladium, wie auch Platin selbst, in gediegenem Zustand auf der Erde vor. In der Regel enthält es dabei Beimengungen an Platin, Iridium, Gold und Silber.

Nicht selten trifft man Palladium auch als Beimengung in gediegenem Platin oder Gold an. In Brasilien wurde z. B. als eine große Seltenheit gediegenes Gold (Porpezit) gefunden, das 8 bis 11 % Palladium enthält.

Da ausgesprochene Palladiumlagerstätten äußerst selten sind, verwendet man zur Herstellung dieses Metalls die Sulfaterze des Nickels und des Kupfers. Palladium spielt dabei eine

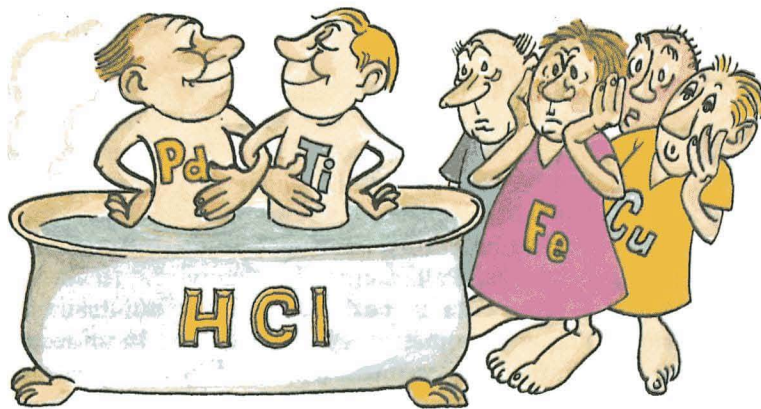
sehr bescheidene Rolle als Nebenprodukt der Erzverarbeitung, und trotzdem ist es deshalb nicht weniger wertvoll. Große Lagerstätten dieser Erze findet man in Transvaal und in Kanada. Vor kurzem haben sowjetische Geologen im Gebiet Norilsk eine große Lagerstätte von Kupfer-Nickel-Erzen gefunden, für die ein hoher Gehalt an Platinmetallen kennzeichnend ist, wobei insbesondere Palladium gefunden wird.

Dieses Element existiert nicht nur auf unserem Planeten, sondern es kommt ebenso in anderen Himmelskörpern vor, wie dies die Zusammensetzung von Meteoriten zeigt. In den Eisenmeteoriten findet man auf eine Tonne Material bis zu 7,7 g Palladium, während in den Gesteinsmeteoriten etwa bis zu 3,5 g enthalten sind. Daß es auf der Sonne Flecken gibt, ist heute allgemein bekannt. Daß es aber auf der Sonne auch Palladium gibt, ist bei weitem nicht allen vertraut. Die Wissenschaftler stellten bereits im Jahre 1836 Palladium gemeinsam mit Helium fest.

Obwohl Palladium etwa um das 1,5fache schwerer ist als Eisen, ist es unter den Elementen der Platingruppe das Leichtgewicht. Bezüglich der Dichte von  $12 \text{ g/cm}^3$  steht es weit unter der des Iridiums ( $22,4 \text{ g/cm}^3$ ), der des Osmiums ( $22,5 \text{ g/cm}^3$ ) und der des Platins ( $21,45 \text{ g/cm}^3$ ). Es schmilzt bei niedrigerer Temperatur ( $1552^\circ\text{C}$ ) als die anderen Metalle der Platingruppe. Palladium läßt sich auch bei Raumtemperatur sehr leicht bearbeiten. Da Palladium gut aussieht, sich ausgezeichnet polieren läßt sowie nicht anläuft und nicht korrodiert, verwenden es die Juweliere, um aus ihm Einfassungen für Edelsteine herzustellen.

Wir sind schon an solche Schlagzeilen, wie »schwarzes Gold« – Erdöl, »weiches Gold« – Pelz und »grünes Gold« – Wald, gewöhnt; wenn man über »weißes Gold« spricht, dann meint man die Baumwolle. Es zeigt sich aber, daß Gold tatsächlich weiß sein kann. Kleine Palladiumzusätze nehmen dem Gold die Gelbfarbe und verleihen ihm einen schönen weißen Glanz; so sind z. B. Einfassungen für Edelsteine und Uhren aus weißem Gold sehr attraktiv.





Sehr vorteilhaft verlief das Treffen des Palladiums mit Titan. Es ist bekannt, daß dieses Metall sich durch eine hohe Korrosionsbeständigkeit auszeichnet, so daß selbst solche »Allesfresser« wie Königswasser und Salpetersäure ihm nichts anhaben können. Unter der Einwirkung von konzentrierter Salz- und Schwefelsäure beginnt aber auch dieses Metall zu korrodieren. Wenn man Titan mit ein wenig Palladium »vitaminisiert« (weniger als 1%), dann nimmt die Beständigkeit gegen die letztgenannten Säuren sehr stark zu. Eine solche Legierung ist in den Betrieben bereits im Einsatz: Aus ihr werden Apparaturen für die chemische, Atom- und Erdölindustrie gefertigt. Bei einem Jahr Aufenthalt in Salzsäure verliert ein Plättchen aus dieser neuen Legierung nur 0,1 mm seiner Dicke, während reines Titan in dieser Zeit bereits 19 mm verloren hat. Eine Kalziumchlorid-Lösung kann dieser Legierung nichts anhaben, während Titan ohne Palladiumzusatz jährlich mehr als 2 mm abgeben müßte.

Warum kann Palladium so positiv auf das Titan einwirken? Die Ursache ist die vor nicht allzu langer Zeit gefundene Erscheinung der Selbstpassivierung der Metalle. Wenn man zu Legierungen auf der Basis von Titan, Eisen, Chrom oder Blei nur Mikrodosen an Edelmetallen (Palladium, Ruthenium und Platin) zugibt, dann

nimmt die Korrosionsbeständigkeit um das 100-, 1000- und manchmal sogar um das 10000fache zu.

Im Korrosionslabor des Forschungsinstituts für Physikalische Chemie der Akademie der Wissenschaften der UdSSR wurde der Einfluß des Palladiums auf Chromstähle untersucht. Teile aus diesem Stahl werden von verschiedenen Säuren in einigen Tagen zerstört. Die positiven Metallionen gehen dabei in Lösung, während sich die Wasserstoffionen mit den freien Elektronen zu Wasserstoff verbinden. Wenn man in die Säure Stahl mit einem geringen Zusatz von Palladium taucht, dann dauert die Korrosion nur kurze Zeit und ist anschließend machtlos. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß die Säure in erster Linie mit dem Palladium in Wechselwirkung tritt, und dabei bildet sich auf der Oberfläche des Stahls eine dünne Schutzschicht, die den Stahl wie ein Schutzpanzer umgibt. Die Korrosionsgeschwindigkeit in rauchender Schwefelsäure liegt im Verlaufe eines Jahres unter einem Zehntel Millimeter (vorher betrug sie mehrere Zentimeter).

Aber auch Palladium unterliegt dem Einfluß anderer Elemente, so daß man nur geringe Zusätze ähnlicher Metalle (4% Ruthenium oder 1% Rhodium) zuzugeben braucht, um die Festigkeit auf etwa das 2fache zu steigern.



Palladiumlegierungen (insbesondere mit Silber) verwendet man in der Zahntechnik, z. B. für ausgezeichnete Prothesen. Mit Palladium werden entsprechende Kontakte der Elektrotechnik, der Telefonapparate und anderer elektrotechnischer Geräte überzogen. Aus Palladium werden Spinddüsen erzeugt, das sind Teile mit einer Vielzahl kleinster Öffnungen, durch die bei der Produktion dünnster Fasern die Ausgangsmaterialien gepreßt werden.

Palladium dient als Werkstoff für Thermoelemente und für bestimmte medizinische Geräte.

Im Unterschied zu allen anderen Elementen besitzt Palladium auf der äußeren Bahn seines Atoms 18 Elektronen. Damit ist seine äußere Elektronenschale restlos gefüllt. Ein solcher Atomaufbau bedingt eine ausgesprochen gute chemische Beständigkeit, so daß selbst das aggressive Fluor für Palladium unter normalen Bedingungen nicht gefährlich ist. Nur bei höheren Temperaturen (500 °C und mehr) können Fluor und andere starke Oxydationsmittel mit dem Palladium in Wechselwirkung treten.

Palladium ist fähig, eine große Menge bestimmter Gase, insbesondere Wasserstoff, aufzunehmen (zu okkludieren). Bei Raumtemperatur kann ein Kubikzentimeter Palladium etwa 800 Kubikzentimeter Wasserstoff aufnehmen. Es ist verständlich, daß derartige Experimente für das Metall nicht unschädlich sind, es quillt, bläht sich auf, und es entstehen Risse.

Ebenso interessant ist auch eine andere Eigenschaft des Palladiums, die auch mit dem Wasserstoff zusammenhängt. Wenn man ein Gefäß aus Palladium herstellt und es mit Wasserstoff füllt, anschließend verkorkt und erhitzt, dann beginnt das Gas kontinuierlich durch die Palladiumwände auszufließen wie Wasser durch ein Sieb. Bei 240 °C strömen in einer Minute durch jeden Quadratzentimeter einer 1 mm dicken Platte 40 cm<sup>3</sup> Wasserstoff, wobei mit steigender Temperatur die Durchlässigkeit noch zunimmt.

Wie auch die anderen Platinmetalle ist Palladium ein hervorragender Katalysator.

Diese Eigenschaft in Kombination mit seiner Fähigkeit, den Wasserstoff durchzulassen, stellt die Grundlage für eine Erscheinung dar, die vor kurzem von einer Gruppe Moskauer Chemiker entdeckt wurde. Es geht um die sogenannte Kopplung (gegenseitige Beschleunigung) zweier Reaktionen durch einen Katalysator, dessen Rolle das Palladium spielt.

Stellen Sie sich einen Apparat vor, der hermetisch durch eine dünne Palladiummembran in zwei Kammern geteilt ist. In einer befindet sich Butylen und in der anderen Benzol. Das auf Wasserstoff begierige Palladium entzieht dieses Gas den Butylenmolekülen, das Gas dringt durch die Membran in die andere Kammer, und dort verbindet es sich mit den Benzolmolekülen.



Das Butylen, das den Wasserstoff abgeben hat, wandelt sich in Butadien (Ausgangsmaterial für synthetischen Kautschuk) um, während das Benzol mit dem Wasserstoff zu Zyklohexan (Ausgangsstoff der Nylonproduktion) reagiert. Die Verbindung des Wasserstoffs mit dem Benzol läuft unter Abgabe von Wärme ab, d. h., man muß die ganze Zeit Wärme abführen, das Butylen ist aber nur unter Aufnahme von Wärme bereit, seinen Wasserstoff abzugeben. Da beide Reaktionen »unter einem Dach« ablaufen, wird alle Wärme, die sich in der einen Kammer bildet, sofort in der anderen wieder ausgenutzt. Die Effektivität dieses Verfahrens wird erst durch die dünne Palladiummembran möglich.

Mit Hilfe einer Palladiummembran als Katalysator kann man auch aus Roherdöl und Begleitgasen hochreinen Wasserstoff gewinnen, wie er für die Halbleiterproduktion und die Erzeugung hochreiner Metalle benötigt wird.

Heute ist Palladium relativ billig, denn sein Preis liegt um das 5fache unter dem des Platins. Dies ist ein wichtiger Umstand. Er läßt die Hoffnung zu, daß die Anwendung dieses Metalls von Jahr zu Jahr größer und umfangreicher wird. Die



elektronischen Rechenmaschinen finden für dieses Metall neue Schaffenssphären. Die Lösung derartiger Aufgaben kann man der EDV nur übertragen, wenn die Wissenschaftler sie mit den entsprechenden »Informationen zum Nachdenken« ausrüsten.

Heute wundert sich schon niemand mehr darüber, daß die Rechenmaschinen Schach spielen, technologische Prozesse steuern, Texte übersetzen und die Bahn der Raumschiffe berechnen. Warum sollte man die Rechner nicht auch für die Entwicklung neuer Legierungen mit hervorragenden Eigenschaften einsetzen? Wissenschaftler des Forschungsinstitutes »A. A. Baikow« der Akademie der Wissenschaften der UdSSR entwickelten eine Sprache (Algorithmus), in welcher man der Maschine entsprechende Kommandos mitteilen konnte.

In den Speicher des Rechners »Minsk-22« wurden die Untersuchungsergebnisse von etwa 1 500 unterschiedlichen Legierungen und außerdem die für jedes der Metalle kennzeichnenden Angaben wie Elektronenbau ihrer Atome, Schmelztemperatur, Gittertyp und viele andere Werte eingegeben. Unter Kenntnis dieser Angaben sollte die Maschine voraussagen, welche früher unbekannte Legierung erhalten werden kann, sowie deren Eigenschaften bestimmen und ihr Anwendungsgebiet auswählen.

Stellen Sie sich vor, daß diese Aufgabe wie früher durch normale Experimente gelöst werden sollte. Eine solche Arbeit würde über 100 Jahre dauern. Außerdem wären für die Durchführung der Versuche eine große Menge teurerer und nichtverfügbarer Metalle notwendig. Für jedes von ihnen müßte ein Paar ausgewählt, die neue Legierung erzeugt und danach die Eigenschaften bestimmt werden. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Weltvorräte eines solch seltenen Elements, wie z. B. Rhenium, für diese Versuche nicht ausgereicht hätten. Der Rechner braucht dafür nur Zahlen, Symbole und Formeln. Seine »Arbeitsproduktivität« ist so groß, daß er in sehr kurzer Zeit erhebliche wissenschaftliche Informationen ausgeben kann.



Durch diese Kleinarbeit, die unter der Leitung des Akademiemitglieds E. M. Sawitzkij durchgeführt wurde, gelang es, zunächst mit Hilfe der EDV interessante Materialien vorherzusagen und anschließend diese auch herzustellen.

Einige der ersten Legierungen, die der Rechner ausdrückte, waren die des Palladiums, insbesondere eine Legierung des Palladiums mit Indium, welche ein fliederfarbenes Aussehen hat. Das Wichtigste ist selbstverständlich nicht die Farbe. Viel wichtiger ist die technische Qualität des neuen »Arbeiters«. Sie ist auf einem hohen Niveau. Die vom Institut geschaffene Legierung des Palladiums mit Wolfram ermöglichte es, die Si-

cherheit und die Lebensdauer vieler elektronischer Steuergeräte um mehr als das 20fache zu erhöhen, wobei sich die Aufwendungen für ihre Wartung wesentlich verringerten.

Nach Ansicht von E. M. Sawitzkij sind die Möglichkeiten zur Synthese von anorganischen Verbindungen unbegrenzt. Auf ihrer Grundlage wird es möglich sein, schon in der nächsten Zukunft die Zahl der erzeugten Verbindungen um das 10fache zu erhöhen. Unter ihnen werden sich Stoffe befinden, die vollkommen neue physikalische und chemische Eigenschaften besitzen und die für die Volkswirtschaft und die neue Technik notwendig sind.

# Cd

## Kadmium

### Zu Ehren des Phöniziers Kadmos

*Ein strenger Revisor · Der rätselhafte Gelbton · Was die Sagen erzählen · Der Kampf um die Priorität · Der charakteristische »Schrei« · Ein sicheres Alibi · Kadmiumüberzüge · Der unerwünschte Gast · »Bärte« kommen in Mode · Ein festes Spinnnetz · Ein negativer Held · Der Rasierapparat der Kosmonauten · Das Herz schlägt wieder richtig · Wessen Fingerabdruck? · Die Arbeit des Trios · Aber wenn plötzlich...? · Der Dienst an der Peripherie · Die Leuchtfeuer · Horrende Preise · »Made in cosmos« · Die negative Seite · Das Abfallprodukt*



Alles begann mit einer Revision. Der Liebhaber des Kriminalromans erlebt aber eine arge Enttäuschung: In der beschriebenen Geschichte geht es nicht um die Aufdeckung des Verbrechens einer Räuberbande, sondern um die Entdeckung eines neuen chemischen Elementes.

Alles trug sich zu Beginn des vorigen Jahrhunderts in Deutschland zu. Der Kreisarzt Roloff, der es zu seinen Pflichten zählte, die Apotheken seines Kreises zu kontrollieren, fand in vielen von ihnen Präparate mit Zinkoxid, die ihm verdächtig erschienen: Ihr äußeres Aussehen ließ die Anwesenheit von Arsen vermuten. Da der Ruf dieses Elementes auch heute noch stark mit Makel behaftet ist (viele sind bis heute der Meinung, daß Arsen die Schuld an Napoleons Tod trägt), verbot Roloff den Verkauf dieses Präparates und ordnete eine Überprüfung des aus dem Verkehr genommenen Zinkoxids an. Die ersten Versuche bewiesen auch, daß der wachsame Arzt recht getan hatte, denn bei der Wechselwirkung einer Lösung dieses Zinkoxides mit Schwefelwasserstoff fiel ein gelber Niederschlag aus, der sehr stark an Arsensulfid erinnerte. Der Fabrikbesitzer und Hersteller dieses beargwöhnten Präparates, ein gewisser Herman, wollte sich nicht ohne Kampf geschlagen geben. Als Chemiker prüfte er seine Produkte auf die Anwesenheit von Arsen mit allen damals bekannten Methoden.

Die Analysenergebnisse widersprachen der Meinung Roloffs, und Herman wandte sich an die örtlichen Machtorgane mit der Bitte, das völlig unschuldige Präparat zu rehabilitieren.

Um den aufgetretenen Streit endgültig entscheiden zu können, wollten die Machtorgane Hannovers die Meinung des Professors Stromeyer einholen, der den Lehrstuhl für Chemie an der Göttinger Universität leitete und außerdem den Posten eines Generalinspektors aller Hannoveraner Apotheken einnahm.

Aus Schönebeck, wo sich die Fabrik befand, wurden Proben der Zinkverbindungen nach Göttingen geschickt, und der Generalinspektor nahm die Rolle eines Schiedsrichters im Streit zwischen dem Kreisarzt und dem Fabrikanten an. Um das Zinkoxid zu erhalten, wurde in Schönebeck kohlen-saures Zink geglüht. Stromeyer wiederholte die gleiche Operation und mußte mit Erstaunen feststellen, daß die sich bildende Verbindung eine gelbe Farbe hat, während Zinkoxid in Übereinstimmung mit allen Regeln weiß sein mußte.

Worin lag die Ursache für diesen nicht geplanten Gelbton? Herman erklärte ihm mit dem Vorhandensein von Eisen. Roloff war überzeugt, daß die Schuld allein beim Arsen liegt. Nachdem Stromeyer eine vollständige Analyse des Zinkkarbonats durchgeführt hatte, konnte er jedoch ein neues Element entdecken, das dem Zink sehr





ähnlich ist, sich aber von ihm durch Schwefelwasserstoff sehr leicht abtrennen läßt. Der Wissenschaftler nannte es Kadmium, wodurch er die enge Verwandtschaft zum Zink unterstreichen wollte, denn das griechische Wort »Kadmea« bedeutete in der alten Zeit »Zinkerz«. Das Wort selbst kommt vom Namen des Phöniziers Kadmos, der als erster Zinkgestein fand und dabei feststellte, daß es dem Kupfer beim Schmelzen aus seinen Erzen eine goldene Farbe verleihen konnte. Diesen Namen trug auch ein Held der altgriechischen Sage: Nach einer der Legenden besiegte Kadmos in einem schweren Zweikampf Drakon. Auf dieser Erde baute Kadmos eine Festung, um die sich in späterer Zeit die siebentorige Stadt Theben anordnete.

Im Jahre 1818 veröffentlichte Friedrich Stromeyer eine ausführliche Beschreibung des neuen Metalls, und bereits nach einiger Zeit gab es mehrere Anschläge auf seine Priorität bei der Entdeckung des Kadmiums. Den ersten verübte der uns schon bekannte Roloff, obgleich sein Ansinnen abgelehnt wurde. Ein wenig später als Stromeyer, aber unabhängig von ihm, entdeckte der deutsche Chemiker Karsten dieses Element in Zinkerzen aus Schlesien und schlug vor, es in Übereinstimmung mit der Farbe seines Sulfides Melinum zu nennen (was soviel wie »gelb« bedeutet). Auf die Kadmiumspur kamen noch zwei Wissenschaftler, und zwar Gilbert und John. Einer von ihnen schlug vor, dieses Element Junonium zu nennen (zu Ehren des im Jahre 1804 entdeckten Asteroiden Juno), während der andere es als Klaprothium bezeichnen wollte (zu Ehren des im Jahre 1817 verstorbenen deutschen Chemikers Martin Heinrich Klaproth, der Uran, Zirkonium und Titan entdeckt hatte). Wie groß auch die Dienste Klaproths für die Wissenschaft waren, sein Name konnte nicht in die Liste der chemischen Elemente eingehen, denn Kadmium blieb Kadmium.

In reiner Form ist dies ein schweres (schwerer als Eisen), weiches Metall. Wenn man ein Stück Kadmium an das Ohr hält und es dabei verbiegt, dann vernimmt man einen charakteristischen

Ton, der durch die Deformation der Metallkristalle hervorgerufen wird. Einen solchen Geräuscheffekt kann man auch bei Zinn beobachten (das sogenannte Zinngeschrei).

Die relativ niedrige Schmelztemperatur (321 °C) bedingt seine breite Anwendung als Bestandteil leichtschmelzender Legierungen. Dazu gehört z. B. die Wood-Legierung (12,5 % Kadmium), die im Jahre 1860 von dem englischen Ingenieur Wood entwickelt worden ist. Oft wird diese Erfindung auch seinem bekannteren Namensvetter, dem amerikanischen Physiker Wood, fälschlicherweise zugeschrieben. Aber dieser hat ein sehr sicheres Alibi, da er zum Zeitpunkt der Entwicklung dieser Legierung noch gar nicht auf unserem Planeten existierte, denn er wurde erst 8 Jahre später geboren. Die leichtschmelzenden Legierungen verwendet man als Lötmetall sowie als Material für die Erzeugung kleiner und komplizierter Gußstücke, in automatischen Feuerschutzanlagen und als Klebewerkstoff für die Verbindung von Glas und Metall.

Die Kadmiumlegierungen besitzen gute Gleiteigenschaften. So verwendet man eine Legierung, bestehend aus 99 % Kadmium und 1 % Nickel, für die Herstellung von Lagern, die in Auto-, Flugzeug- und Schiffsmotoren arbeiten. Um den schädlichen Einfluß der organischen Säuren auszuschalten, die in den Schmiermitteln enthalten sind, werden die Lagerlegierungen auf der Basis von Kadmium oftmals mit einer dünnen Indiumschiicht bedeckt. Kadmiumüberzüge schützen ihrerseits wieder Eisen- und Stahlteile vor der atmosphärischen Korrosion. Früher tauchte man die Teile zum Verkadmen in eine Kadmiumschmelze. Heute wird dieser Prozeß nur noch über das elektrolytische Verfahren bewältigt. Bestimmte beanspruchte Teile von Flugzeugen, Schiffen und anderen Vorrichtungen sowie solche für einen Einsatz in den Tropen werden einer Kadmiumbehandlung unterzogen. Es ist interessant, daß die Kadmiumüberzüge in der freien Natur ihren Dienst wesentlich besser versehen als in Industriegebieten, die Korrosionsbeständigkeit ist bei landwirtschaftlichen Geräten



wesentlich größer. Einen positiven Ruf genießt Kadmium in einer Reihe von Gebieten der Technik, obwohl es aufgrund seiner Toxizität für die Nahrungsgüterwirtschaft nicht zugelassen ist. In einigen Ländern ist dieses Verbot durch Gesetz geregelt.

Bis vor kurzem wiesen die Kadmiumüberzüge bestimmte Nachteile auf, da beim elektrolytischen Auftragen auf ein Stahlteil der in der Lösung vorhandene Wasserstoff in die Oberfläche eindrang. Dieser sehr ungebetene Gast ruft bei den hochfesten Stählen eine gefährliche »Krankheit« hervor, die sogenannte Wasserstoffsprödigkeit, die zur unerwarteten Zerstörung der Stahlteile bei Belastung führt. Daraus ergibt sich, daß der Kadmiumüberzug einerseits das Teil sicher vor der Korrosion schützt, aber andererseits zur vorzeitigen Zerstörung des Teils führt. Aus diesem Grunde verwendeten die Konstrukteure das Kadmium nicht sehr gern.

Sowjetischen Wissenschaftlern gelang es, die »Krankheit« der Kadmiumüberzüge auszumerzen. Als »Arznei« verwendeten sie Titan. Es zeigte sich folgendes: Wenn in der Kadmiumschicht auf tausend seiner Atome nur ein Atom Titan vorhanden ist, dann ist das Stahlteil vor dem Auftreten der Wasserstoffsprödigkeit geschützt, da Titan während des Auftragens des Kadmiumüberzuges den gesamten Wasserstoff dem Stahl entzieht.

Mit dem Verkadmen wurde eine wichtige Markierung in der »Biographie« der sogenannten Fadenkristalle gesetzt. Bereits während des 2. Weltkrieges wurden einige Fälle bekannt, bei denen aus unerklärlichen Gründen verschiedene elektronische Vorrichtungen versagten. Wie man feststellen konnte, waren die Schuldigen kleinste, 1 bis 2  $\mu\text{m}$  große Zinn- oder Kadmiumkristalle, die manchmal auf der Oberfläche des Stahlteiles wuchsen, das mit der Schicht eines dieser Metalle überzogen war.

Um erfolgreich gegen die Ausfallursachen zu kämpfen, mußte man diese Fadenkristalle oder »Bärte«, wie man zunächst diese schädlichen metallischen Auswüchse nannte, einer genauen

Untersuchung unterziehen. Bald hat sich gezeigt, daß sie eine kolossale Festigkeit, welche in der Nähe der theoretisch möglichen liegt, besitzen. Eine solche überraschende Eigenschaft veränderte sofort das Verhältnis zu ihnen. Kurz darauf wurden effektive Methoden zur Züchtung feinsten Kristalle für den Einsatz in vielen Gebieten der Technik entwickelt. Zur Zeit werden in den Labors verschiedener Länder Fadenkristalle (»Whiskers«) von etwa 100 Elementen und Verbindungen gezüchtet. Den Ehrenplatz unter diesen nehmen aber immer noch die Zinn- und Kadmiumkristalle ein, die als erste das Interesse der wissenschaftlichen Welt hervorgerufen haben.

Millionen Kilometer Kupferdraht sind in den Städten der Sowjetunion in der Erde verlegt worden. Mit Hilfe eines »Spinnwebes« fahren Straßenbahn und O-Bus durch die städtischen Straßen. Dabei zerstören die Stromabnehmer den Kupferdraht. Das Kadmium bringt auch hierbei Abhilfe, denn ein kleiner Zusatz dieses Elementes (etwa 1%) erhöht bedeutend die Festigkeit und Härte des Kupfers, wobei die elektrischen Eigenschaften fast nicht verschlechtert werden. Selbst auf den belebtesten Routen der Verkehrsmittel halten solche Drähte lange Jahre ohne Auswechseln.

Die moderne Technik ist ohne elektrische Bat-





terien unvorstellbar. Raumschiffe und U-Boote, Autos und Kofferradios, Telefon und Telegraf, Grubenlampen und Hörapparate, Blitzlicht und Vorrichtungen der Notbeleuchtung verwenden sie. Die Batterien, diese unkomplizierten Geräte, die aus zwei Elektroden bestehen, die in eine Elektrolytlösung tauchen, speichern elektrische Energie und wandeln sie in chemische Energie um, um bei Bedarf diese wiederum in Elektroenergie umzuwandeln. Breite Anwendung erreichten die Kadmium-Nickel-Batterien. Die Rolle der negativen Elektrode spielt in ihnen ein Eisengitter mit Kadmiumschwamm, während die positive Platte mit Nickeloxid überzogen ist. Als Elektrolyt dient eine Lösung von Ätzkali. Solche Stromquellen zeichnen sich durch hohe elektrische Kennwerte, Sicherheit, Lebensdauer und Einfachheit aus. Die Ladezeit liegt bei etwa 15 Minuten.

Vor einigen Jahren entwickelte eine amerikanische Firma einen speziellen Rasierapparat, dessen Energie drei kompakte Kadmium-Nickel-Batterien lieferten. Aus Angaben der amerikanischen Presse ging hervor, daß sich für diese Neuheit die Nationale Leitung für die Untersuchung des Kosmos (NASA) interessierte, wobei vorgeschlagen wurde, daß diesen Rasierapparat die Kosmonauten bei ihrem Flug zum Mond verwenden sollten.

Eine noch interessantere und ohne Zweifel auch nützliche Anwendung für die Kadmium-Nickel-Batterien fanden die Ärzte. Die in den Brustkorb eingesetzten Miniaturkraftwerke liefern die Energie für den mechanischen Herzschrittmacher bei Patienten, die an Herzleiden erkrankt sind. Eine Batterie kann aber nicht ewig arbeiten, so daß sie von Zeit zu Zeit aufgeladen werden muß. Nun kann man einem Kranken nicht zumuten, sich jedes Mal auf den Operationstisch zu legen. Man fand daher eine andere Lösung. Für den reibungslosen Dienst der Batterien ist es lediglich erforderlich, einmal in der Woche für eine halbe Stunde eine magnetisierte Spezialkleidung zu tragen.

In der englischen Kriminalgeschichte wurde

Kadmium ebenfalls eingesetzt. Mit Hilfe einer dünnen Schicht dieses Metalls, das auf die zu untersuchende Stelle aufgestreut wird, kann man sehr schnell einen scharfen Finger- oder Fußabdruck erreichen.

Eine Kadmiumverbindung ist auch der Grundbestandteil des sogenannten Normalelements nach Weston. In ihm »arbeiten« Kadmiumamalgam, Kadmiumsulfatkristalle und eine wäßrige Lösung dieses Salzes. Der Wert der elektromotorischen Kraft einer solchen Vorrichtung schwankt bei Zimmertemperatur in sehr engen Grenzen, und zwar von 1,01850 bis 1,01870 V.

Die Mitte des 20. Jahrhunderts wird oft als die Zeit der überzeugenden Entdeckungen und des ständigen technischen Fortschritts bezeichnet. Eine der bedeutendsten Errungenschaften des menschlichen Hirns ist die Eroberung der Atomenergie. Für die Besitzergreifung dieser phantastischen Kräfte, die im Atomkern verborgen sind, bedarf es nicht nur genialer Gedanken, sondern auch entsprechender Werkstoffe mit einzigartigen Eigenschaften. Unter den vielen Metallen, denen sich die Konstrukteure der Kernreaktoren zuwandten, war auch Kadmium.

Welche Funktion übernimmt dieses Element in der Kernenergetik? Ähnlich wie das Auto nicht ohne Bremse sein kann, kann ein Reaktor nicht ohne regulierenden Absorber arbeiten, der den Neutronenstrom vergrößert oder verringert. Um die Reaktion zu beginnen, wird der Absorber schnell angehoben und gibt den Neutronen den Weg frei, sich in der aktiven Zone zu bewegen. Wenn sie aber dabei das »Gefühl für das Maß« verlieren, d. h., der Prozeß zu intensiv abläuft, wird der Absorber wieder in die aktive Zone getaucht. Die Neutronen sind wie eingeschlossen, und die Reaktion wird gebremst.

In jedem Reaktor gibt es einen massiven Havarieabsorber, der dann eingesetzt wird, wenn die Regulierungsabsorber nicht aus ihrer Stellung bewegt werden können. Was passiert aber, wenn auch dieser versagt? Ein solcher Fall ist aus einem der amerikanischen Kernkraftwerke be-



kannt geworden. Aus irgendwelchen Gründen konnte der Havarieabsorber nicht rechtzeitig in die aktive Zone eintauchen, so daß die Kettenreaktion unkontrollierbar wurde und eine große Gefahr heraufbeschwor. Der Reaktor mit den unkontrollierbaren Neutronen stellte eine große Gefahrenquelle für die anliegende Bevölkerung dar, und man mußte diese sehr schnell aus der gefährlichen Zone evakuieren. Der Antriebsmechanismus für den Havarieabsorber konnte gerade noch rechtzeitig repariert werden, so daß es gelang, den Reaktor im entscheidenden Augenblick zur Ruhe zu bringen. Zum Glück ging alles ohne menschliche Opfer ab, die materiellen Verluste waren aber groß, und der Reaktor mußte einige Zeit außer Betrieb gesetzt werden.

Die Hauptanforderung an den Werkstoff für Kontroll- und Havarieabsorber ist seine Fähigkeit, Neutronen zu bremsen. Kadmium ist einer der »größten Spezialisten« auf diesem Gebiet. In den ersten Jahren der »Atomepoche« arbeiteten die Kernreaktoren in der Regel mit heißen Neutronen, und Kadmium spielte die »erste Geige« unter den Absorbermaterialien. Später mußte es diese Rolle an Bor und seine Verbindungen abtreten. Für Kadmium finden aber die Atomphysiker immer neue Betätigungsfelder. Mit Hilfe von Kadmiumpfättchen, die in den Weg des Neutronenstroms gestellt werden, untersucht

man ihr energetisches Spektrum und bestimmt, wie homogen das Material ist und wie viele heiße Elektronen in ihm vorhanden sind.

Wenn man die Atomenergetik als das Epizentrum der modernen Technik ansieht, dann ist die Lack- und Farbenindustrie nur die Peripherie. Aber auch hier wirkt Kadmium mit der gleichen Gewissenhaftigkeit wie auf dem »verantwortungsvollen Posten« in den Kernreaktoren. Bereits im vorigen Jahrhundert verwendete man das Sulfid dieses Elements als Mineralfärbemittel. In der Technischen Enzyklopädie, die zu Beginn des Jahrhunderts veröffentlicht wurde, findet man folgende Notiz: »... hellgelbe Töne, beginnend von Zitronenfarbe, erhält man aus reinen schwachsauerem und neutralen Lösungen von schwefelsauerem Kadmium, während man bei der Zugabe von Natriumsulfidlösungen stärkere dunkelgelbe Töne erhält. Durch diese und andere Verfahren kann man ein Kadmiungelb in sechs Tönungen, beginnend von Zitronenfarbe bis Orange gelb, erreichen... In fertiger Form hat diese Farbe einen sehr schönen glänzenden Ton. Sie ist gegenüber schwachen Säuren und Laugen ausreichend beständig und gegenüber Schwefelwasserstoff vollkommen haltbar. Deshalb wird sie in trockener Form mit Ultramarin gemischt und ergibt dabei eine sehr schöne grüne Farbe, die im Handel als Kadmiungrün bezeichnet



net wird ... Beim Mischen mit Firnis ist sie als Ölfarbe für die Malerei zu verwenden, die sehr gut abdeckt; infolge ihres hohen Preises (das Pfund kostet 5 bis 6,50 Rubel) setzt man sie nur für die Kunstmalerei als Öl- oder Aquarellfarbe sowie in der Buchdruckerei ein. Dank ihrer Feuerfestigkeit wird sie auch für das Bemalen von Porzellan benutzt.«

Das Kadmiumsulfid hat auch in den vergangenen Jahren die Rolle als Färbemittel beibehalten.

Mit Ehrfurcht verneigen sich die Waggonbauer vor der Kadmiumfarbe, da sie viele Jahre im Waggonbau die Eisenbahnwaggons für Passagiere mit dieser Farbe anstrichen. Dies resultiert nicht nur daraus, daß sie sehr gut abdeckt, sondern auch daraus, daß sie eine hohe Beständigkeit gegenüber den Lokomotivabgasen hat. In letzter Zeit werden die relativ teuren reinen Kadmiumsulfide durch billigere Farbmittel, z. B. Kadmoxon und Zink-Kadmium-Lithopon, ersetzt. Letzteres besitzt eine schöne Cremefarbe (Elfenbein).

Bei den Feuerwerkstechnikern fand das Kadmiumsulfid infolge seiner Fähigkeit, der Flamme eine blaue Farbe zu verleihen, große Popularität. Mit entsprechenden Zusätzen kann man auch hellblaue und violette Töne erhalten. Damit sind aber die »Schaffenssphären« der Kadmiumverbindung noch nicht erschöpft. Das Selenid dieses Elements verwendet man für rote Farben. Die Rubinfarbe der Kremlsterne ist auf diese Verbindung zurückzuführen. Damit hat Kadmium »freundschaftliche Beziehungen« zu allen Farben des Regenbogens. Kadmumpigmente verwendet man zur Färbung von Gummi, Kunstfasern und synthetischen Stoffen.

Die Kadmiumsalze Kadmiumsulfid und Kadmiumselenid sind auch für ihre Halbleitereigenschaften bekannt.

Die Wissenschaftler nehmen an, daß die Kadmiumsulfidkristalle eine wichtige Rolle bei der Entwicklung der Elektronik, Kernphysik und Akustik (insbesondere für die Verstärkung des Ultraschalls) spielen werden.

Ebenso ist es möglich, daß Kadmiumsulfid eine große Bedeutung bei der Umwandlung der Sonnenenergie in Elektroenergie besitzen wird. An diesem interessanten Problem arbeiten viele Wissenschaftler der verschiedensten Länder. Von der riesigen Energiemenge, die die Sonne zur Erde schickt, verwendet der Mensch heute nur 0,001 %. Nicht zufällig war der bedeutende französische Wissenschaftler Frédéric Joliot Curie, der sein Leben der Energieerzeugung aus dem Atomkern widmete, der festen Überzeugung, daß »die Lösung des Problems des Einsatzes der Sonnenenergie für die Menschheit wichtiger ist als die Eroberung des Atomkerns«. Es gibt schon Sonnenelemente (Solarzellen), die die Strahlung der Sonne in elektrische Energie umwandeln. Solche Elemente werden z. B. in Raumschiffen eingesetzt. Die Leuchttürme von Kamtschatka und der Kurilen arbeiten mit Sonnenenergie. Dafür sind zwei bis drei Monate wolkenloses Wetter notwendig, und die Leuchttürme, die mit Sonnenenergie aufgeladen werden, leuchten das ganze Jahr. Am verbreitetsten sind die Siliziumelemente, die aber sehr teuer sind, so daß die kostenlose Sonnenenergie mit ihrer Hilfe doch relativ teuer wird. Die Physiker haben auch schon andere Elemente erwogen, die wesentlich billiger als Silizium sind. In den USA wurden Solarzellen in Form von dünnen Plättchen auf der Basis von Kadmium- und Kupfersulfid vorgeschlagen. Der Wirkungsgrad ist zwar nicht sehr groß, aber die Fachleute sind der Meinung, daß das geändert werden kann.

In den letzten Jahren wurden viele technische Versuche nicht nur in Erdlabors, sondern auch unter den Bedingungen des kosmischen Raumes durchgeführt. »Hier (im Kosmos) kann man alle möglichen metallurgischen Arbeiten sehr günstig durchführen«, sagte einer der Helden von Ziolkowskis Erzählungen »Außerhalb der Erde«. Es sind nur wenige Jahrzehnte vergangen, und die kühnen Träume des großen Wissenschaftlers wurden Wirklichkeit. Die Schwerelosigkeit bietet tatsächlich hervorragende Bedingungen, um die verschiedenartigsten Versuche



durchzuführen. Da die Arbeitsfähigkeit der kosmischen Laboratorien noch nicht sehr groß ist, muß man die zu untersuchenden Materialien sehr sorgfältig und genau auswählen. Kadmium ist in dieser Beziehung sehr nützlich. Im Programm der kosmischen Metallkundler war die Herstellung von Halbleiterverbindungen an Bord der Orbitalstation Salut 6 mit Hilfe der Vorrichtungen »Splaw« und »Kristall« eingeschlossen. Dabei sollten insbesondere Kadmiumtellurid und Kadmiumsulfid sowie eine ternäre Verbindung aus Kadmium, Quecksilber und Tellur erzeugt werden. Dieses Halbleitermaterial ist unersetzlich für die Herstellung von Wärmepeilgeräten, kleinsten Infrarotvorrichtungen, die in der Medizin, Geologie, Astronomie, Elektronik, Radiotechnik und vielen anderen Gebieten von Wissenschaft und Technik genutzt werden. Diese Verbindung unter den Bedingungen der Erde herzustellen ist sehr kompliziert. Die Komponenten verhalten sich infolge des großen Dichteunterschiedes wie die Helden aus der Krylow-Fabel, Schwan, Krebs und Hecht. Anstelle einer einheitlichen Legierung erhält man einen schichtenförmigen »Kuchen«.

Die Reinheit und Homogenität der Kadmium-Tellur-Quecksilber-Kristalle werden nach hundertmillionstel Prozentanteilen bewertet. Deshalb ist es nicht erstaunlich, daß ein Gramm dieses Kristalls auf dem Weltmarkt 8000 Dollar kostet. Aus diesem Grund haben die Wissenschaftler so große Hoffnungen auf die Schwerelosigkeit gesetzt, denn beim Fehlen der Schwerkraft gibt es kein leichter oder schwerer. Um die absolute Ruhe an Bord der Station Salut zu erhalten, waren in den Stunden, in denen sich der Kristall bildete, keine unnützen Bewegungen der Station erlaubt. Auch die Kosmonauten mußten in dieser Zeit ihre Bewegungen einstellen, damit die Übungen auf dem Velodrom oder der Lauftrainerstrecke das Wachsen des Kristalls nicht störten.

Die Arbeit war nicht umsonst. Wie eine vorläufige Analyse der zur Erde gebrachten Proben zeigte, konnten im Kosmos ausreichend homo-

gene, große Kristalle mit der geforderten Struktur erzeugt werden. Für die industrielle Nutzung kamen sie natürlich noch nicht in Frage, da sie erst zur allseitigen Erforschung in die unterschiedlichsten Laboratorien geschickt wurden. Man kann aber schon jetzt mit Bestimmtheit sagen, daß die Zeit nicht mehr fern liegt, in der in vielen Geräten diese Wunderkristalle arbeiten werden, die im Kosmos erzeugt wurden.

In der vielfältigen Schaffenssphäre des Kadmioms gibt es auch eine negative Seite. Vor einigen Jahren stellte ein Wissenschaftler der Gesundheitsschutzabteilung der USA fest, daß ein direkter Zusammenhang zwischen der Sterblichkeit der Herz-Kreislauf-Kranken und dem Kadmiumgehalt in der Atmosphäre besteht. Diese Schlußfolgerung wurde nach einer sorgfältigen Überprüfung der Einwohner von 28 amerikanischen Städten vorgenommen. In vier von ihnen, nämlich Chicago, New York, Philadelphia und Indianapolis, ist der Kadmiumgehalt in der Luft bedeutend höher als in den anderen Städten. Hier war aber auch die Sterberate der Herzkranken am höchsten.

Wenn der Feind bekannt ist, kann man mit ihm kämpfen. Eine solche Aufgabe stellten sich die amerikanischen Wissenschaftler. In einer der Buchten des Mississippi pflanzten sie Wasserhyazinthen in der Annahme, daß sie mit ihrer Hilfe das Wasser von den schädlichen Metallen, wie Kadmium und Quecksilber, befreien könnten. Die Auswahl fiel auf diese Pflanzen, da sie sehr schnell wachsen. Wie effektiv diese »Blumenmethode« ist, wird sich später zeigen.

Vorläufig bestimmen die Mediziner und Biologen noch, ob Kadmium schädlich ist, und suchen nach Wegen zur Verringerung seines Gehalts in der Umwelt, während die Vertreter der Technik nach immer größeren Maßstäben seiner Erzeugung suchen. In der 2. Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurden 160 t Kadmium erzeugt, während gegen Ende der 20er Jahre unseres Jahrhunderts die jährliche Produktion in den kapitalistischen Ländern schon etwa 700 t betrug. In den 50er Jahren erreichte sie bereits 7000 t (gerade in

dieser Zeit erlangte Kadmium den Status eines strategischen Werkstoffes, der für die Herstellung von Absorbern in den Kernreaktoren benötigt wurde).

Kadmium ist ein seltenes und verstreutes Element. In der Erdkrinde ist es um etwa das 10fache weniger enthalten als z. B. Beryllium, Skandium, Germanium und Cäsium. Auch Indium ist ein sehr seltenes Element, und trotzdem ist es in der

Natur häufiger als Kadmium. Um die Mineralien dieses Elements aufzuzählen, genügen die Finger einer Hand. Häufig kann man es in Zink-, Blei-Zink- und Kupfer-Zink-Erzen antreffen. Bei ihrer Aufbereitung erhält man Kadmium als Abfallprodukt.

Wie wir uns aber überzeugen konnten, spielt dieses Abfallprodukt in der Technik eine bedeutende Rolle.



# In

## Indium

### Der Namensvetter des Landes der Wunder

*Napoleon verspricht eine hohe Belohnung · Fortuna wendet sich nicht weiterhin ab · Wieviel kostet dieser Bleistift? · Angenehme Sorgen · Das bisher Unverständliche wird klar · Ein sehr seltenes Metall · Der Fund in Arizona · Der Spiegel betrügt die Damen · Im nebligen Albion · Die Feuerwehrleute können schlafen · Die Physiker sind im Zweifel · Im Unterwasserbereich · Lager müssen geschützt werden · Einiges über Zahnplomben · Eine Schicht aus Indium · Grünes Gold · Neutronen werden gezählt · Eine Beimengung ohne Beimengungen · Der Wunderkristall · Die kräftige Umarmung · Ein originelles Verfahren · Die Form des Fußballs · Der erwünschte Gast*

Seit alter Zeit wird das aus dem Land der Wunder nach Europa gebrachte klarblaue Färbemittel Indigo sehr hoch geschätzt. Hinsichtlich der Farbreinheit konnte es mit den blauen Linien des Sonnenspektrums wetteifern. Die Besitzer von Textilbetrieben scheuten keine Kosten, um diesen König der Farben zu erlangen, mit dem sie Tuche und Stoffe färbten. Als gegen Ende des 18. Jahrhunderts Frankreich durch die englische Flotte von Indien und den anderen südlichen Ländern abgeschnitten wurde, war das Indigo Mangelware. Napoleon, der für seine Armee die traditionelle dunkelblaue Uniform bewahren wollte, hatte demjenigen eine hohe Belohnung versprochen (1 Million Franken), der aus europäischen Rohstoffen ein Verfahren zur Herstellung dieser Farbe fand.

Wir haben nicht zufällig unsere Erzählung über eines der seltenen Elemente mit der Erinnerung an das Färbemittel Indigo begonnen, denn von ihm hat das Element Nr. 49 seinen Namen.

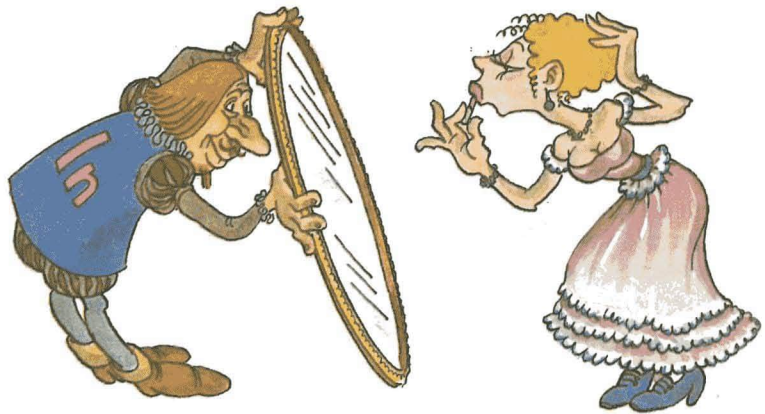
Im Jahre 1863 beschäftigten sich im chemischen Labor der kleinen deutschen Stadt Freiberg der Professor Ferdinand Reich und sein Assistent Theodor Richter mit der spektralanalytischen Untersuchung der Zinkminerale des Erzgebirges, wobei sie hofften, in ihnen das vor zwei Jahren entdeckte Element Thallium zu finden. Die Wissenschaftler untersuchten Probe um Probe, aber wie viele Male sie auch auf das vor ihnen auftauchende Spektrum schauten, ebenso wenig fanden sie die kräftigen grünen Linien, die die Anwesenheit von Thallium bestätigten. An einem heiteren Tag wollte Fortuna den Freiburger Chemikern nicht weiter den Rücken zuwenden. Warum sollte man sie für die langwierige und sorgfältige Arbeit nicht belohnen? Deshalb fanden die Wissenschaftler in einem der aufgenommenen Spektren eine außergewöhnlich klare blaue Linie, die keinem der bis dahin bekannten Elemente gehörte. Reich und Richter waren sich darüber im klaren, daß sie ein neues Element entdeckt hatten. Infolge der Ähnlichkeit seiner Spektrallinie mit dem König der Farben ent-

schlossen sie sich, das neugeborene Element Indium zu nennen.

Jetzt stand vor den Wissenschaftlern ein neues Problem, nämlich das Metall in reiner Form abzuscheiden. Sie wandten viel Zeit und Arbeit auf, bis sie zwei Proben metallischen Indiums vor sich liegen hatten, die so groß waren wie ein Bleistift. Die Ähnlichkeit mit einem Bleistift war aber nicht nur äußerlich gegeben, denn Indium erwies sich als ein unwahrscheinlich weiches Metall, das um das 5fache weicher als Blei und um das 20fache weicher als Gold war. Von den zehn Mineralien, die die Mohssche Härteskala umfaßt, waren neun härter als Indium, und nur das nachgiebigste unter ihnen, das Talkum, war weicher. Auf dem Papier hinterläßt Indium sichtbare Spuren. Mit den Indiumstiften zu schreiben wäre jedoch eine genauso unsinnige Vergeudung gewesen, wie den Ofen mit Geldanweisungen anzuheizen, denn die Französische Akademie der Wissenschaften bewertete die Probe des neuen Metalls mit 80000 Dollar, d. h. 700 Dollar je Gramm.

Mit dem Erscheinen des Indiums war es fast sicher, daß dieses Element dem großen russischen Chemiker D. T. Mendelejew nicht wenige Sorgen bereiten würde. Daran waren aber nicht das Element Indium, sondern vielmehr seine Erstentdecker schuld, die das Element Indium als nahen Verwandten von Zink einordneten und deshalb fehlerhafterweise seine Zweiwertigkeit analog Zink voraussagten. Außerdem bestimmten die Wissenschaftler das Atomgewicht nicht richtig und gaben einen Wert von 75,6 an. In diesem Falle gibt es für das Element Indium keinen Platz im Periodensystem, so daß Mendelejew vermutet hat, daß das Indium dreiwertig und bezüglich seiner Eigenschaften dem Aluminium ähnlicher ist als dem Zink und daß sein Atomgewicht etwa 114 beträgt. Das war nicht der einzige Fall, wo der große Chemiker auf der Grundlage des von ihm aufgestellten Gesetzes eine entscheidende Korrektur in die Nennwerte der schon bekannten Elemente einbrachte. Auch dieses Mal hat die Praxis seine Richtigkeit bestätigt,





denn das Atomgewicht des Indiums, mit den neuesten Methoden der damaligen Zeit genau bestimmt, beträgt 114,82. Damit wurde dem Element der Platz mit der Nr. 49 in der 3. Spalte des Periodensystems zugewiesen.

Das natürliche Indium besteht aus zwei Isotopen mit den Massenzahlen 113 und 115, wobei der Anteil des schwereren bedeutend größer, und zwar 95,7% ist. Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts hatten beide Isotope den Ruf von stabilen Stoffen.

1951 haben Wissenschaftler festgestellt, daß Indium-115 einem Beta-Zerfall unterliegt und sich allmählich in Zinn-115 umwandelt. Dieser Prozeß verläuft sehr langsam, denn die Halbwertszeit des Indiumkernes beträgt  $6 \cdot 10^{14}$  Jahre. Damit wird auch verständlich, daß bei solchem Tempo die Radioaktivität des Indiums nicht früher entdeckt wurde. In den vergangenen 10 Jahren erhielten die Physiker auf künstlichem Wege etwa 20 Indiumisotope. Die Halbwertszeit des langlebigsten unter ihnen (Indium-114) beträgt 49 Tage.

Ähnlich wie für viele andere Metalle hatte man für Indium lange Zeit keine praktische Verwendung. Dafür gab es ganz natürliche Ursachen. Indium ist nicht nur ein sehr seltenes Element (bezüglich seines Gehalts in der Erdrinde ist es unter den Bewohnern des Periodensystems auf dem 70sten Platz zu finden), sondern auch ein

sehr verstreut vorkommendes Metall. In der Natur hat es keine Minerale. Bestenfalls kann man es in Form einer Beimengung in den Erzen anderer Metalle antreffen, wo sein Gehalt 0,05% nicht übersteigt. Man kann sich vorstellen, welche Schwierigkeiten es bereitet, aus diesen Erzen das sich versteckende Indium abzuscheiden.

Die Eigenschaften dieses Elements konnten aber die Vertreter der technischen Welt nicht gleichgültig lassen. Im Jahre 1924 begann sich der amerikanische Ingenieur Murray sehr ernsthaft mit dem Indium zu beschäftigen. Bei der Suche nach Indiumlagerstätten durchquerte er von Nord nach Süd und West nach Ost die Vereinigten Staaten. In den sandigen Hügeln von Arizona fand er letztlich wenn auch nicht sehr große Anhäufungen dieses sehr verstreuten Elements. Bald darauf entstand hier ein Werk zur Erzeugung von Indium.

Eines der ersten Anwendungsgebiete ist die Erzeugung von hochqualitativen Spiegeln gewesen, die für astronomische Geräte, Projektoren, Reflektoren und ähnliche Vorrichtungen benötigt werden. Normale Spiegel reflektieren die Lichtstrahlen unterschiedlicher Farben nicht gleichmäßig. Das bedeutet, daß die bunte Kleidung, wenn man sie im Spiegel betrachtet, nicht die Farbe aufweist, wie sie wirklich ist. Die Augen der Dame, die vor dem Ankleidespiegel sitzt, sind nicht in der Lage, eine solche Änderung

ihrer Toilette zu registrieren, aber für viele Geräte ist die Farbfälschung einfach nicht zulässig. Selbst Silber-, Zinn- und Quecksilber-Wismut-Spiegel weisen diesen Nachteil auf.

Indium besitzt nun nicht nur eine hohe Reflexionsfähigkeit, sondern ist dabei auch vollkommen neutral zu allen Farben des Regenbogens, von der roten bis zur violetten. Damit das von den fernen Sternen ausgestrahlte Licht nicht verzerrt bei den Astronomen ankommt, werden deshalb in den Teleskopen Indiumspiegel eingesetzt.

Im Gegensatz zu Silber läuft Indium an der Luft nicht an und behält seinen hohen Reflexionskoeffizienten. Außerdem spielte Indium eine nicht unbedeutende Rolle bei der Verteidigung Londons gegen die Luftangriffe der deutschen Luftwaffe im 2. Weltkrieg. Auf den ersten Blick scheint eine solche Behauptung etwas sonderbar, wird aber durch folgende Erläuterung verständlich. Die Indiumspiegel in den Projektoren halfen der Luftverteidigung, die Flieger im dichten Nebel, der nicht selten über der britischen Insel anzutreffen ist, auszumachen. Infolge der niedrigen Schmelztemperatur ( $156\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) mußten die Spiegel ständig gekühlt werden. Die englische Luftverteidigung nahm diese zusätzlichen Kosten in Kauf, da die Zahl der Angreifer,

die durch diese Maßnahme vernichtet wurden, stieg.

In der Technik kann die niedrige Schmelztemperatur nicht nur nachteilig, sondern auch in bestimmten Fällen von Vorteil sein. Eine Legierung aus Indium, Wismut, Blei, Zinn und Kadmium schmilzt bereits bei  $46,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  und kann damit als automatische Kontrolleinrichtung verwendet werden, die entsprechende Baugruppen oder Teile von Mechanismen vor Überhitzung schützt. Weiterhin ist eine Legierung aus Indium, Gallium und Zinn bekannt, die schon bei Raumtemperatur im flüssigen Zustand vorliegt, denn sie schmilzt bei  $10,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Schmelzende Schutzvorrichtungen aus Indiumlegierungen werden in breitem Umfange in Feueralarmanlagen eingesetzt. Interessante Versuche, die mit der Schmelztemperatur des Indiums in Zusammenhang stehen, sind in Kanada durchgeführt worden. Bei der Untersuchung kleinster Teilchen dieses Metalls stellten kanadische Physiker fest, daß beim Erreichen bestimmter Abmessungen unter einer vorgegebenen Größe die Schmelztemperatur des Metalls sehr stark sinkt. Indiumteilchen mit Abmessungen von nicht mehr als  $3 \cdot 10^{-9}\text{ m}$  schmelzen schon bei etwas mehr als  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ein derart großer Sprung von  $156$  auf  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ruft bei den Wissenschaftlern großes Inter-





esse hervor. Die Natur dieses Effektes bleibt selbst beim heutigen Stand der Physik ein Rätsel. Die Theorie der Schmelzprozesse wurde in der Hauptsache für größere Stoffmengen entwickelt. Bei den Versuchen der kanadischen Wissenschaftler dagegen wurde nur eine »homöopathische« Menge von Indium, d. h. nur einige Tausend Atome, geschmolzen.

Eine wertvolle Eigenschaft des Indiums ist seine Beständigkeit gegenüber Laugen und Meerwasser. Diese Fähigkeit erhalten auch Kupferlegierungen, wenn in ihnen eine bestimmte Indiummenge vorhanden ist. Eine Verkleidung des unteren Schiffsteils mit einer solchen Legierung widersteht dem Angriff des Meerwassers über eine lange Zeit.

Bestimmte Lager, die in der modernen Technik, z. B. in den Flugzeugmotoren, verwendet werden, müssen unter sehr schweren Bedingungen ihren Dienst tun. Die Drehgeschwindigkeit der Welle erreicht einige Tausend Umdrehungen je Minute. Dabei erwärmt sich das Metall, und sein Widerstand gegen den Angriff des Schmieröls sinkt. Damit das Lager nicht der Korrosion unterliegt, haben die Wissenschaftler vorgeschlagen, eine dünne Indiumschicht aufzutragen. Die Indiumatome decken die Arbeitsoberfläche nicht nur dicht ab, sondern dringen auch in die Tiefe ein und bilden mit dem Metall eine feste Legierung. Ein solches Metall ist gegen die Öle widerstandsfähig, und die Haltbarkeit der Lager wächst um das 5fache.

Aus Indiumlegierungen (z. B. mit Silber, Zinn, Kupfer und Zink), die sich durch hohe Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Haltbarkeit und Reinheit auszeichnen, werden Zahnplomben hergestellt. In diesen Legierungen spielt Indium eine Hauptrolle, denn es bewirkt eine minimale Schwindung bei der Erstarrung der Plombe.

Die Flugzeugbauer bevorzugen eine Zink-Indium-Legierung, die als Antikorrosionsüberzug für Stahlpropeller verwendet wird. Eine dünnste Schicht aus Zinn und Indiumoxid bedeckt auch die Sichtfenster der Flugzeuge. Ein solches Glas bildet keinen Eisbeschlag, der den Piloten sehr



zu schaffen machen würde. Indiumlegierungen werden auch zum Verbinden von Glas oder Glas und Metall (z. B. in der Vakuumtechnik) verwendet.

Einige Indiumlegierungen sehen sehr schön aus, so daß sich die Juweliere ihrer bemächtigen. Als Dekorationsmetall nutzt man eine Legierung aus 75 % Gold, 20 % Silber und 5 % Indium, das sogenannte grüne Gold. Die bekannte amerikanische Firma »Studebaker« setzte sehr erfolgreich anstelle des Verchromens der äußeren Autoteile ihr Überziehen mit Indium ein. Die Indiumüberzüge sind bedeutend haltbarer als die verchromten Teile.

In den Kernreaktoren dienen Indiumfolien als Kontrolleure, die die Intensität der heißen Neutronen und ihre Energie messen. Beim Zusammenstoß mit den Kernen der stabilen Indiumisotope wandeln die Neutronen diese in radioaktive um. Dabei entsteht eine Elektronenstrahlung, aus deren Intensität und Energie man Schlußfolgerungen über den Neutronenstrom ziehen kann.

Das wichtigste Einsatzgebiet des Indiums in

der modernen Technik sind die industriellen Halbleiter. Indium hoher Reinheit ist für die Herstellung von Germaniumgleichrichtern und -verstärkern notwendig. Dabei spielt es die Rolle einer Beimengung, die Löcherleitung im Germanium bewirkt. Das verwendete Indium enthält praktisch keine Beimengungen, oder mit der Sprache der Chemiker ausgedrückt, ist seine Reinheit eine 6-Neuner-Reinheit, d. h. 99,9999%. Bestimmte Indiumverbindungen (Sulfid, Selenid, Antimonid und Phosphid) sind selbst Halbleiter. Man verwendet sie als Thermoelemente und für andere Vorrichtungen. Indiumantimonid dient z. B. als Basis der Infrarotdetektoren, die befähigt sind, in der Dunkelheit selbst nur wenig erwärmte Stoffe zu erkennen.

Indium gehört zu den noch wenigen chemischen Elementen, die eine Reise in den Kosmos angetreten haben, um eine neue Seite in der Technologie der anorganischen Stoffe aufzuschlagen. 1975, kurz vor Beginn des gemeinsamen Sojus-Apollo-Unternehmens, brachten die Kommandanten A. Leonow und T. Stafford dem Korrespondenten von TASS ihre Meinung über die Bedeutung der bevorstehenden Versuche im Kosmos zum Ausdruck. Insbesondere berührten sie die Frage über die technologischen Versuche zum Schmelzen von Metallen und zur Züchtung von Kristallen unterschiedlicher Stoffe. »Man muß die Möglichkeiten zum Einsatz der Schwerelosigkeit und des Vakuums für die Herstellung neuer Werkstoffe prüfen, wobei insbesondere die Metalle und Halbleiter überprüft werden sollen«, sagte Leonow. Nach Meinung der sowjetischen und amerikanischen Wissenschaftler kann man im Kosmos Stoffe schmelzen, die auf der Erde nicht mischbar sind, sowie feuerfeste Materialien schaffen. »Unsere Astronauten«, sagte Stafford, »werden an Bord der Raumstation Skylab Versuche zur Züchtung von Kristallen aus Indiumantimonid durchführen.« Es gelang,

einen Kristall zu züchten, der reiner und fester als alle auf der Erde künstlich hergestellten Kristalle ist. Im Jahre 1978 führte man an Bord der Station Salut 6 eine Serie technologischer Experimente durch, bei denen Indium und seine Verbindungen beteiligt waren.

Versuche mit Indiumverbindungen werden auch auf der Erde durchgeführt. Vor kurzem wurde Indiumantimonid einem Druck von 30000 Atmosphären ausgesetzt. Es zeigte sich, daß durch eine solch »kräftige Umarmung« das Kristallgitter des Stoffes verändert wurde und die Leitfähigkeit um das einmillionenfache zunahm.

Die Weltproduktion des Indiums ist vorläufig noch sehr niedrig. Sie beträgt nur einige Tonnen. Normalerweise wird dieses wertvolle Metall als Nebenprodukt bei der Verarbeitung von Zink-, Blei-, Kupfer- oder Zinnerzen erhalten. Ein originelles Verfahren zur Gewinnung von Indium haben Wissenschaftler aus der DDR erarbeitet. Sie haben vorgeschlagen, es aus dem Staub zu gewinnen, dessen Wolken den Himmel über einem der Betriebe der Verarbeitung von Kupferschiefer verdunkeln. Der Staub, in dem unter anderen Komponenten auch das Indium enthalten ist, wird zunächst in heißer Schwefelsäure gewaschen; anschließend geht er einen langen Weg komplizierter Umwandlungen, durch den man dann das reine Indium erhält.

Das Interesse an Indium nimmt ständig zu. Die Wissenschaftler streben nach immer neuen Erkenntnissen über dieses Metall. Vor einigen Jahren konnten die Wissenschaftler der USA einen weißen Fleck in der Kennwertliste ausfüllen. Sie bestimmten die Gestalt des Indiumatomkernes, der an die Form eines Fußballs mit einer Ebene am Äquator erinnert.

In der Natur ist Indium sehr selten anzutreffen, man kann aber mit Überzeugung sagen, daß es in der Industrie mit jedem Jahr ein angesehenerer Gast wird.



Sb

## Antimon

### Das Vorkommnis im Stahlhausener Kloster

*Der Traum vom Wunderstein · Der Streich des  
überschlauen Mönchs · Verschiedene Versionen ·  
Verantimonierte Augenbrauen · Im alten Babylon · Der  
»Triumphwagen des Antimons« · Der Mangel an  
Himmelskörpern · Das Äußere trägt · Der Wolf öffnet den  
Rachen · Gibt es auf der Sonne kein Antimon? · Der  
Fund in Kirgisien · Keine schwierige, aber eine  
langwierige Sache · Ein Etalon der Reinheit · Die besondere  
Eigenschaft · Die Weißmetalle sind nicht vergessen ·  
Auf den Spuren der Kugel · Der Kampf mit dem Feuer ·  
Wein oder Gift? · Die Bakterien schlafen nicht*

Die Suche nach dem »Stein der Weisen« erfaßte das mittelalterliche Europa wie eine Epidemie. Der Gedanke, einen Wunderstoff zu finden, mit dessen Hilfe man ohne große Anstrengung ein beliebiges Metall in Gold umwandeln könnte, war auch sehr verlockend. Dabei wurde insbesondere die Geistlichkeit von einer ungeahnten Leidenschaft erfaßt, obwohl ihr die Beschäftigung mit dieser trügerischen Sache überhaupt nicht zu Gesicht stehen sollte. In dieser Zeit war es schwierig, auch nur ein Kloster zu finden, in dem nicht in den Zellen oder Kellern eine angestrenzte alchemistische Arbeit betrieben wurde. Tag und Nacht kochten in den Retorten feurige Flüssigkeiten, zerrieb und mischte man in den Mörsern verdächtige Pulver. Trotzdem blieb der Wunderstein ein Traum aller Glückssucher.

Für Vater Leonardus, den Abt des Stahlhausener Klosters in Bayern, rückten die Gedanken zur Rettung der Seelen für eine Zeitlang in den Hintergrund. Für ihn war es wichtiger, bis zum genauen Rezept des »Steines der Weisen« vorzudringen. Der demütige Vater erprobte schon ein Dutzend von unterschiedlichen Varianten, und nicht eine brachte ihm das gewünschte Ergebnis. Eines Tages ging ihm ein Licht auf: »Wenn man aber nun die Asche eines am Vortage hingerichte-

ten Ketzers mit der Asche seines Katers (der zusammen mit seinem Herrn zur Belehrung der anderen Geschöpfe hingerichtet worden war) einfach mischte, und noch etwas Erde in doppelter Menge vom Scheiterhaufen dazu tun würde . . .« Ein derartig wissenschaftlicher Zugang zu diesem Problem bei der Auswahl der Komponenten mußte zweifelsohne Erfolg versprechen. Leonardus mischte sehr sorgfältig die Asche mit der Erde und machte noch sonst allerlei Manipulationen mit diesem Gemisch. Anschließend erhitze er es und wartete ungeduldig darauf, daß es erstarrte und sich in einen leichten durchsichtigen Stoff verwandele, denn gerade so sollte nach Meinung vieler Spezialisten der »Stein der Weisen« aussehen. Der Teufel schloß aber offensichtlich nicht, denn das Gemisch erwies sich als schwerer schwarzer Stoff mit metallischem Glanz. Dem verärgerten Experimentator blieb nichts anderes übrig, als die Frucht dieses nicht erfolgreichen Versuches in die Ecke des Klosterhofes zu schleudern.

Die Tage vergingen. Eines Tages schaute Vater Leonardus in den Pausen zwischen seinen alchemistischen Versuchen und seinen Gottesdiensten in den Hof und beobachtete die Schweine, die mit Vergnügen an dem von ihm weggeworfenen Stein leckten. Außerdem stellte er fest, daß die





Schweine in der letzten Zeit erheblich zugenommen hatten.

»Wenn der Stein nun Eigenschaften zur Ernährung besitzt«, dachte der überschlaue Abt, »und mit ihm die Verpflegung der Mönche möglich ist, dann kann man auch ohne den Stein der Weisen auskommen.« Gedacht – getan. Sehr schnell bereitete er eine größere Portion seines »Spezialgerichtes« zu, und schon am nächsten Morgen bekamen die mageren Mönche zum Frühstück einen Brei mit dem Wundergewürz. Aber der Teufel schlief erneut nicht: Am darauffolgenden Tag starben alle 40 Mönche des Stahlhausener Klosters unter schrecklichen Qualen. Erst jetzt wurde dem Abt klar, was für eine schreckliche Sünde er begangen hatte. Von diesem Tage an gelobte er, mit seinen Experimenten aufzuhören, und den gewonnenen Stein nannte er »Antimonium«, was soviel wie »Mittel gegen die Mönche« bedeutet.

Das ist eine der Versionen über die Entstehung der Bezeichnung des Elements, das auch unter dem Namen »Surma« bekannt ist. Für die Richtigkeit des beschriebenen Ereignisses kann man nur schwer garantieren. Die Verantwortung dafür muß man dem bekannten tschechoslowakischen Schriftsteller Jaroslav Hašek antragen, der in seiner Erzählung »Stein des Lebens« über diese Geschichte berichtet.

Nach einer anderen Version kommt die Bezeichnung des Elements, die sich in vielen Sprachen erhalten hat, vom griechischen Wort »Antos Ammonus«, d. h. »Blume des Gottes Ammon« (Jupiter), denn die Nadelkristalle der Antimonblende erinnern bei etwas Phantasie tatsächlich an Blumen.

Einige Historiker der Chemie sind der Meinung, daß das Wort »Antimon« vom griechischen Wort »Antimonos« abstammt, was soviel wie »Gegner der Trennung« bedeutet. Dieser Fakt wird darauf zurückgeführt, daß das Antimon in der Natur nicht selbständig und allein anzutreffen ist, sondern immer in Kombination mit anderen Elementen vorkommt.

Es gibt auch noch andere Versionen, doch wie

dem auch sei, unter dieser Bezeichnung hat der bekannte Antoine Lavoisier das Antimon in die von ihm aufgestellte Tabelle der im Jahre 1789 bekannten chemischen Elemente aufgenommen. Die russische Bezeichnung »Surma« kommt vom Türkischen »Sjurma«, was man als »Abreiben oder Schwärzen der Augenbrauen« übersetzen kann. Im alten Rußland existierte der Ausdruck »Augenbrauen verantimonieren«, obgleich für das Färben der Augenbrauen nicht nur Antimonverbindungen verwendet wurden. Diese Bezeichnung wurde zunächst dem violett-schwarzen dreiwertigen Antimonsulfid zugeschrieben, und anschließend ging sie auf das Element Nr. 51 über. Die lateinische Bezeichnung »Stibium« kommt entweder vom griechischen Wort »Stibi«, so hat man das Mineral der Antimonblende bezeichnet, oder vom Wort »Stimmi«, das eine Antimonfarbe bezeichnet, die die Griechen für kosmetische Zwecke eingesetzt haben.

Die Bekanntschaft des Menschen mit Antimon erstreckt sich über mehr als ein Jahrtausend. In den Ländern des Alten Ostens (z. B. im Babylonischen Kaiserreich) wurden aus ihm Vasen, verschiedene Gefäße und andere Dinge angefertigt.

Das erste uns bekannte Buch, in dem sehr genau die Eigenschaften des Antimons und seiner Verbindungen beschrieben werden, heißt »Der Triumphwagen des Antimons« und ist im Jahre 1604 veröffentlicht worden. Sein Autor ging in die Geschichte der Chemie unter dem Namen des deutschen Benediktiner-Mönchs Vasilias Valentin ein. Wer sich hinter diesem Pseudonym verbarg, konnte nicht festgestellt werden. Bereits im vorigen Jahrhundert wurde bewiesen, daß in den Listen der Mönche des Benediktinerordens der Bruder Vasilias Valentin nicht aufgeführt ist. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Bücher, die unter dem Namen Vasilias Valentin veröffentlicht wurden, von mehreren Personen geschrieben wurden, wobei eine kritische Analyse dieser Bücher zeigte, daß sie nicht früher als in der 2. Hälfte des 16. Jahrhunderts verfaßt worden waren.

Bereits die mittelalterlichen Metallurgen und Chemiker stellten fest, daß Antimon schlechter als die klassischen Metalle geschmiedet werden konnte, so daß sie es zusammen mit Zink, Wismut und Arsen in eine Sondergruppe, die sogenannten Halbmetalle, einordneten. Dafür gab es aber auch noch andere schwergewichtige Gründe, denn nach den alchemistischen Vorstellungen war jedes Metall mit irgendeinem Himmelskörper verbunden. »Sieben Metalle wurden entsprechend den sieben Planeten in der Welt geschaffen«, so lautete eines der wichtigsten Postulate der Alchimie. Zu einem bestimmten Zeitpunkt waren der Menschheit sieben Metalle und ebenso viele Himmelskörper (Sonne, Mond und 5 Planeten, ausschließlich der Erde) bekannt. Darin keine entscheidende philosophische Gesetzmäßigkeit zu erblicken war eine Sache für die Laien und Unwissenden. Die Theorie der Alchimie hat festgestellt, daß Gold im Weltall durch die Sonne verkörpert wird, Silber dem Mond entspricht, Kupfer ohne Zweifel der Venus zuzuordnen ist, Eisen zum Mars gehört, Quecksilber dem Merkur entspricht, Zinn den Jupiter widerspiegelt und Blei den Saturn. Für die anderen Ele-



mente in der Reihe der Metalle gab es keinen Platz.

Wenn für die Elemente Zink und Wismut eine solche Diskriminierung, hervorgerufen durch den Mangel an Himmelskörpern, eindeutig zu Unrecht bestand, dann konnte sich Antimon mit seinen eigenartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften tatsächlich nicht darüber beklagen, daß es in die Reihe der »Halbmetalle« aufgenommen wurde.

Urteilen Sie selbst! Nach dem äußeren Aussehen ist das kristalline oder graue Antimon (als Hauptmodifikation) ein typisches Metall mit weiß-grauer Farbe in leichtem Fließerton, der um so stärker ist, je stärker die Beimengungen sind. Es sind drei weitere amorphe Modifikationen des Antimons bekannt: die gelbe, die schwarze und die sogenannte explosive. Im Unterschied zu den meisten Metallen ist es erstens sehr spröde und läßt sich leicht zu Pulver verreiben, und zweitens leitet es bedeutend schlechter die Wärme und den Strom. Bei chemischen Reaktionen zeigt Antimon eine solche Doppeldeutigkeit, daß man nur sehr schwer eindeutig auf die Frage »Metall oder Nichtmetall?« antworten kann.

Aus Rache dafür, daß die Metalle das Antimon nicht gern in ihren Reihen sehen, löst das geschmolzene Antimon fast alle Metalle. Dies war schon im Altertum bekannt, und nicht zufällig werden in vielen der bis heute erhalten gebliebenen Alchimiebücher das Antimon und seine Verbindungen in Form eines Wolfes mit geöffnetem Rachen dargestellt. In der Abhandlung des deutschen Alchimisten Michael Mayer »Der rotierende Atlas«, die man im Jahre 1618 veröffentlicht hat, ist z. B. folgende Zeichnung angegeben: Im Vordergrund frißt der Wolf den auf der Erde liegenden Kaiser, und im Hintergrund geht derselbe Kaiser unverletzt zu dem Ufer des Sees, an dem ein Boot steht, das den Kaiser zu seinem Palast am gegenüberliegenden Ufer bringen soll. Symbolisch stellt diese Zeichnung ein Reinigungsverfahren des Goldes (Kaiser) von den Beimengungen Silber und Kupfer mit Hilfe des An-



timons (Wolf) dar. Beim Schmelzen von Gold mit Antimonblende wandeln sich Silber und Kupfer in Sulfide um, während das Gold eine Verbindung mit dem Antimon eingeht. Anschließend wird diese mit Luft behandelt. Dabei verflüchtigt sich das Antimon in Form von Antimonoxid, und zurück bleibt das reine Gold. Dieses Verfahren wurde bis zum 18. Jahrhundert verwendet.

In der Erdkruste ist Antimon nur wenig enthalten, insgesamt nur  $5 \cdot 10^{-5} \%$ . Trotzdem findet man es in etwa 100 Mineralien, von denen Antimonglanz (Antimonit oder Stibnit) am verbreitetsten ist und mehr als 70% Antimon enthält, so daß er die Grundlage für die industrielle Gewinnung des Antimons bildet. Andere wichtige Minerale dieses Elements sind Kermesit, Cervantit (Antimonocker) und Valentinit.

Es ist bekannt, daß Antimon in Meteoriten vorkommt, während auf der Sonne, wo durch die Spektralanalyse schon viele Elemente festgestellt wurden, Antimon noch nicht nachgewiesen werden konnte.

Bedeutende Lagerstätten der Antimonminerale befinden sich in China, der Tschechoslowakei, in Bolivien, Mexiko, Japan, den USA und in einer Reihe afrikanischer Länder. Im vorrevolutionären Rußland wurde Antimon überhaupt nicht gefördert, ja es waren nicht einmal Lagerstätten bekannt. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts führte Rußland jährlich fast 1000 t Antimon aus dem Ausland ein. Wie der führende sowjetische Geologe, Akademienmitglied D. I. Tscherbakow, in seinen Lebensaufzeichnungen schrieb, hatte er bereits im Jahre 1914 Merkmale für Antimonerze auf dem Kadamshaisker Rücken (Kirgisien) festgestellt. Aber damals war es noch lange nicht möglich, nach Antimon zu suchen. Die geologischen Erkundungen, die Wissenschaftler fast zwei Jahrzehnte später durchführten, waren von Erfolg gekrönt; 1934 gewann man aus den Kadamshaisker Erzen das Antimontrisulfid. Ein Jahr später wurde in einem Versuchswerk das erste metallische Antimon in der UdSSR geschmolzen. Bereits im Jahre 1936 brauchte kein Anti-

mon mehr aus dem Ausland eingeführt zu werden.

Das Antimon aus den Erzen oder Konzentraten zu gewinnen ist nicht sehr kompliziert, denn mit Hilfe von Eisen kann es aus den Sulfiden verdrängt werden, und Kohlenstoff hilft ihm bei der Trennung vom Sauerstoff. Man kann auch hydrometallurgische Methoden verwenden. Dazu muß man das Antimon zuerst in Lösung bringen und anschließend mit Hilfe der Elektrolyse wieder abscheiden. Ein Nachteil aller dieser Methoden besteht darin, daß das so gewonnene Antimon erst ein Rohprodukt ist mit noch 10 bis 15% Beimengungen (Eisen, Kupfer, Arsen, Schwefel und andere).

Für eine solche Ware wird man nur wenige Abnehmer finden, so daß man das Rohantimon noch reinigen muß. Dazu wird es erneut geschmolzen, und im Ofen werden solche Stoffe zugegeben, die aktiv mit den Beimengungen reagieren. Schwefel bindet Eisen, Arsen wird mit Soda ausgetrieben, während Eisen und Kupfer nach dem Mischen mit Antimonsulfid abgetrennt werden. Diese Methode bezeichnet man als Feuerrefination.

Es gibt außerdem das elektrolytische Verfahren. Der Strom, der durch den in einer großen Wanne befindlichen Elektrolyten geschickt wird, erweist den Antimonatomen besondere Aufmerksamkeit und führt sie an eine der Elektroden (Kathode), wo sie sich fest aneinanderfügen. Den Beimengungen wird diese Ehre nicht zuteil, und sie verbleiben in der Lösung.

Das gereinigte Antimon enthält nicht mehr als 0,5 bis 0,8% Fremdatome, und trotzdem befriedigt ein solches Metall noch nicht alle Wünsche. Für die Halbleiterindustrie benötigt man Antimon mit 99,999%iger Reinheit. Um dies zu erreichen, wird eine physikalische Reinigungsmethode, das sogenannte Zonenschmelzen, angewendet. Ein langer zylindrischer Antimonblock wird in einen Graphitbehälter gelegt und dieser in einem Quarzrohr angeordnet, das lokal von einer elektrischen Heizspule umgeben ist. Während des Schmelzprozesses bewegt man die Heiz-

spule relativ zum Block, wodurch nacheinander immer neue Metallportionen aufgeschmolzen werden. Wenn die von der Heizspule verlassene Schicht des Antimons erstarrt, bewegen sich alle in ihr vorhandenen Beimengungen in die nächste Zone, wo sich das Metall noch im flüssigen Zustand befindet. Dies erfolgt in Übereinstimmung mit einem physikalischen Gesetz, nach dem bei der Kristallisation eines Werkstoffes die Beimengungen nicht das »Recht« haben, mit dem Metall gemeinsam zu erstarren, sondern zunächst im flüssigen Zustand verbleiben müssen. Als Beispiel sei der Eispanzer angeführt, der im Winter das nördliche Eismeer bedeckt und in dem kein Salz enthalten ist, obwohl im Meerwasser ausreichend Salz existiert. Indem sich die Beimengungen allmählich mit der Zone des geschmolzenen Metalls bewegen, liegen sie schließlich am Rande des Blocks vor. Dieser Teil wird abgeschnitten, und das übriggebliebene Antimon, jetzt hochrein, wird in das Fertiglager gebracht. In bestimmten Fällen wird das Zonenschmelzen mehrfach durchgeführt. Zur Einhaltung der chemischen »Sterilität« führt man den Prozeß in der Atmosphäre eines Inertgases (Argon) durch, welches nicht reagiert.

Das einer mehrfachen Reinigung unterzogene Metall befriedigt auch die Forderungen der anspruchsvollsten Anwender. Nicht zufällig wurde auf der Brüsseler Weltausstellung im Jahre 1958 das Antimon des Kadamshaisker Kombinats als das beste in der Welt ausgezeichnet und erhielt die Bestätigung, als Etalon in der Welt zu dienen.

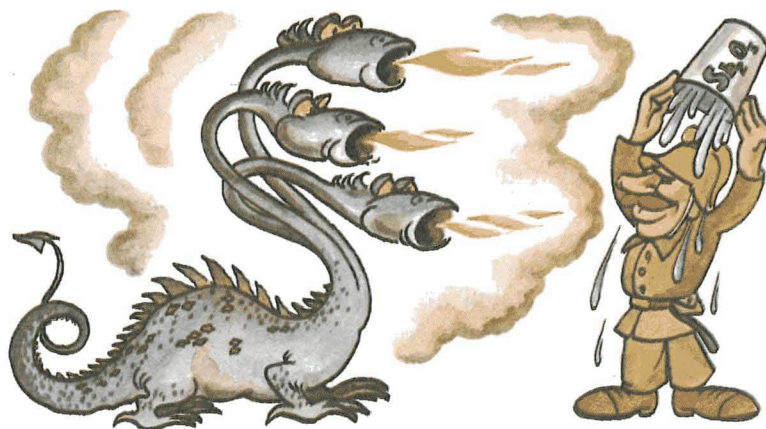
Ein solches Antimon verwendet man als Zusatz (nicht mehr als 0,000001 %) zu einem der wichtigen Halbleitermaterialien, dem Germanium, wodurch dessen Leitfähigkeit wesentlich verändert wird. Wenn aber auf tausend Atome auch nur 1 Atom Kupfer kommt, dann bringt ein solcher Zusatz nicht Nutzen, sondern Schaden. Deshalb durchläuft das Antimon, das für den Einsatz in Halbleitermaterialien vorgesehen ist, einen solch langen Weg, wie er oben beschrieben worden ist. Bestimmte Verbindungen des Anti-

mons mit den Elementen Gallium und Indium sind selbst ausgezeichnete Halbleiter. Eine Reihe antimonhaltiger Halbleiterwerkstoffe sind auch unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit an Bord der sowjetischen wissenschaftlichen Orbitalstation Salut 6 und der amerikanischen Station Skylab hergestellt worden.

Für die Erzeugung von Halbleiterwerkstoffen wird nur ein geringer Teil des Antimons benötigt, der wesentlich größere Teil hingegen zur Erzeugung von Legierungen. Ihre Aufzählung würde über 200 ergeben. Bereits in den Arbeiten des bedeutenden Metallurgen des Mittelalters Georgius Agricola, der im 16. Jahrhundert gelebt hat, finden wir folgende Zeilen: »Wenn man beim Schmelzen eine bestimmte Menge Antimon dem Zinn zusetzt, dann erhält man eine typographische Legierung, aus der man Lettern herstellen kann, die von denen verwendet werden, die Bücher drucken.« Und heute ist ein Legierungstyp aus Blei mit Antimon und Zinn ein unerläßliches Attribut einer jeden Typographie. Das geschmolzene Antimon vergrößert im Gegensatz zu den anderen Elementen (außer Wismut und Gallium) bei der Erstarrung sein Volumen. Deshalb vergrößert auch eine typographische Legierung beim Erstarren gegossener Lettern in der Form ihr Volumen, wodurch die Form vollständig ausgefüllt und damit die Buchstaben, Ziffern und anderen Zeichen sehr genau wiedergegeben werden. Außerdem verleiht Antimon den typographischen Legierungen die erforderliche Härte und Verschleißfestigkeit. Das sind wichtige Eigenschaften dieser Legierungen, da jede Letter ihre Funktion mehrere tausend Male ausüben muß. Auf der Fähigkeit des Antimons, sich bei der Erstarrung auszudehnen, beruht auch seine Verwendung als Legierung für den Kunstguß, wo die feinsten Details des Originals erhalten bleiben sollen.

Ausreichend feste und sehr korrosionsbeständige Legierungen auf der Basis von Blei mit Antimonzusatz (von 0,5 bis 4 %) verwendet man im Chemieanlagenbau (z. B. für das Auskleiden von Gefäßsystemen) sowie für die Herstellung von





Rohren, in denen aggressive Medien transportiert werden. Aus diesen Legierungen werden auch Hüllen gefertigt, die dem Schutz von Kabeln dienen. Ein besonders wichtiges Einsatzgebiet für Blei-Antimon-Legierungen sind die Gitterplatten der Bleibatterien (80 bis 90 % der Weltproduktion an Antimon werden dazu verwendet). Außerdem benutzt man solche Legierungen für Geschossmittelstücke, Schrot und Schrapnell.

In größerem Umfang werden auch Legierungen aus Blei, Zinn, Kupfer und Antimon als Lagerwerkstoffe (sogenannte Weißmetalle) verwendet. Die erste dieser Legierungen wurde bereits im Jahre 1839 von dem amerikanischen Ingenieur I. Babbit hergestellt. Trotz dieses soliden Alters stehen bis heute diese Werkstoffe bei den Konstrukteuren sehr hoch im Kurs. Der besondere Gefügebau, gekennzeichnet durch die Einlagerung harter Teilchen in einer weichen plastischen Matrix, gewährleistet eine ausreichende Verschleißbeständigkeit der Weißmetalle. Auch der geringe Reibungskoeffizient in den Lagern, welche mit diesen Werkstoffen ausgegossen sind, und die daraus resultierenden guten Gleiteigenschaften beruhen darauf.

In den letzten Jahren bot Antimon seine Dienste auch in der Kriminalistik an. Eine fliegende

Kugel zieht einen Wirbel nach sich, in dem geringste Spuren bestimmter Elemente, wie Blei, Antimon, Barium und Kupfer, vorhanden sind. Beim Absetzen auf die Erde oder eine andere Oberfläche hinterläßt dieser Wirbel eine unsichtbare Spur. Es hat sich gezeigt, daß die moderne Wissenschaft in der Lage ist, diese Spur sichtbar zu machen, so daß die Bestimmung der Flugrichtung der Kugel möglich wurde. Auf die zu untersuchende Oberfläche werden Bögen aus feuchtem Filterpapier gelegt, die anschließend in einen Kernreaktor eingebracht werden. Durch den Beschuß wandeln sich einige Atome, die vom Filterpapier aufgenommen worden sind, in radioaktive Isotope um. Der Aktivierungsgrad läßt Schlußfolgerungen über den Gehalt der Elemente in den Proben zu, so daß auch die Flugbahn und die Länge des Fluges der Kugel bestimmt werden können. Daneben ist eine Kennzeichnung der Kugel selbst und der verwendeten Waffe möglich.

Sehr unterschiedlich ist das Wirken der Antimonverbindungen. Diese werden z. B. beim Vulkanisieren von Kautschuk in der Reifenindustrie genutzt. Antimontrioxid dient als feuerfester Zusatz zu Stoffen, die zur Erzeugung von Theatervorhängen, Planen und Dekorationsgegenständen verwendet werden. Auf der Grund-

lage von Antimon erzeugte Überzüge nutzt man auch zum Schutz der Unterwasserteile von Schiffen. Als Pigment findet man die Verbindungen des Antimons in vielen Farben, die für die Kunstmalerei (Neapolitanisches Gelb) bei der Herstellung von Keramik und Porzellan, Milchglas und Email für Küchengeschirr genutzt werden.

Eine Antimonverbindung hält ein jeder von uns fast täglich in den Händen. Die Reibflächen der Streichholzschachteln sind mit einer Schicht überzogen, die außer rotem Phosphor Antimon-sulfid enthält, welches den Flächen die dunkelbraune Farbe gibt. Bestimmte Salze sind für pyrotechnische Erzeugnisse geeignet. Das reine Antimon kann ebenfalls ein Feuerwerk erzeugen. Wenn man in ein mit Chlor gefülltes Gefäß sehr vorsichtig kleine Portionen davon schüttet, dann steigen die Körnchen als helle Sterne auf, und das Gefäß füllt sich allmählich mit dem weißen Dampf des sich bildenden Pentachlorids. Das explosive Antimon ist so unbeständig, daß es bei der geringsten Erschütterung oder Erwärmung sofort in graues Antimon umgewandelt wird.

Es ist bekannt, daß bestimmte Antimonpräparate bereits im 15. Jahrhundert als Medizin (Brech- und schleimlösende Mittel) verabreicht worden sind. Darüber kann man auch im Buch »Der Triumphwagen des Antimons« nachlesen. Eines dieser Präparate heißt auch Brechstein. Manchmal wurde einem Kranken, bei dem ein Brechreiz hervorgerufen werden sollte, ein Schluck Wein in einem Antimongefäß gegeben. Heute wird dieses Mittel aufgrund der Nebenwirkungen nicht mehr verabreicht. Für die Hei-

lung bestimmter Infektionskrankheiten bei Menschen und Tieren (z. B. Schlafkrankheit, die von der Tse-Tse-Fliege übertragen wird) nutzt man Antimonverbindungen auch noch in unseren Tagen.

1974 ist in der UdSSR eine Erfindung patentiert worden, die auf komplizierten biochemischen Prozessen basiert, welche von Bakterien vollzogen werden. Langjährige Untersuchungen der Antimonlagerstätten haben gezeigt, daß Antimon in ihnen langsam oxydiert wird, obgleich bei normalen Bedingungen ein solcher Prozeß nicht stattfindet. Für diese Prozesse sind Temperaturen von über 300 °C notwendig. Welche Ursache veranlaßte das Antimon, chemische Gesetzmäßigkeiten nicht einzuhalten? Die mikroskopischen Untersuchungen von oxydierten Erproben bestätigten, daß sie mit vorher unbekanntem Mikroorganismen durchsetzt waren. Diese verursachten auch die Oxydationsprozesse. Nach dem Oxydieren blieben die Bakterien nicht auf dem Erreichten stehen, sondern setzten die Oxydationsenergie für eine Chemosynthese ein, d. h. für die Umwandlung von Kohlensäure in organische Stoffe.

Die Erscheinung der Chemosynthese wurde zuerst im Jahre 1887 von dem russischen Wissenschaftler S. N. Winogradow entdeckt und beschrieben. Bis vor kurzem waren der Wissenschaft aber nur vier Elemente bekannt, bei deren bakteriologischer Oxydation Energie für die Chemosynthese frei wird: Stickstoff, Schwefel, Eisen und Wasserstoff. Jetzt gehört auch Antimon dazu.



# Cs

## Cäsium

### Die zwei blauen Unbekannten

*Die »wählerische Braut« · Die Flamme ändert ihre Farbe ·  
Der vielstimmige Chor · Ein Prinz kommt zu Hilfe ·  
Die Visitenkarten · Das Paket aus dem Schwarzwald ·  
Die beiden blauen Linien · Wohin verschwinden die  
Bestandteile? · Rauchen Sie? · Die Jury verleiht einen  
Preis · Was explodiert alles? · Die paradoxe Antwort ·  
Unterschiedliche Meinungen · Das Gerät erhält Bestechungs-  
geld · Die unkomplizierte Vorrichtung · Nachtfernrohre ·  
Kolossale Geschwindigkeiten · Aufquellende Atome ·  
Was ist eine Sekunde? · Weitere Anwendungsgebiete*

**D**ie Geschichte ist eine »wählerische Braut«, und ihr Wohlwollen zu erlangen gelingt nicht jedem. In der Welt der chemischen Elemente erlangten nur die Glücklichen eine solche Ehre, die ihre Konkurrenten in irgend etwas überflügeln konnten. Auch darin gibt es eine Logik. Es ist schon berechtigt, z. B. dem Technetium, das als erstes Element künstlich geschaffen worden ist, einen besonderen Platz in der Geschichte einzuräumen, oder dem Helium, dem einzigen Bewohner des Periodensystems, der zuerst auf der Sonne nachgewiesen und anschließend auf der Erde gefunden worden ist.

Zu denen mit einem ausgewählten Schicksal kann man auch das Cäsium zählen, welches mit blauen Buchstaben seinen Namen in die Geschichte der Spektralanalyse eingetragen hat, d. h., dies haben die deutschen Wissenschaftler Robert Bunsen und Gustav Kirchhoff getan. Was die Farbe der Buchstaben anbelangt, so darf man sie eigentlich nicht nur blau nennen, wie wir uns bald überzeugen werden.

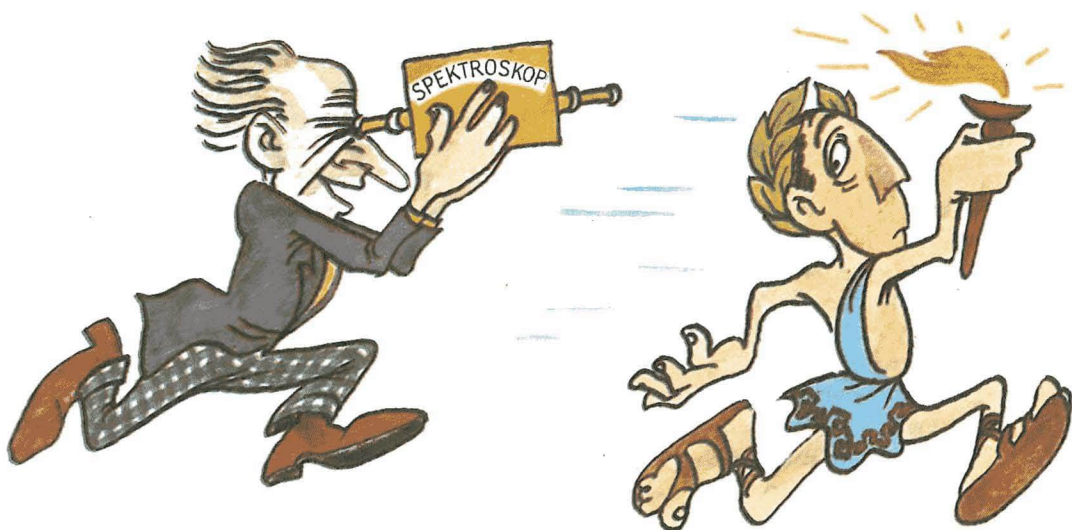
Zu Beginn der 50er Jahre des vorigen Jahrhunderts wandte der Professor für Chemie der Heidelberger Universität R. Bunsen einer fast unbedeutenden Erscheinung seine Aufmerksamkeit zu. Wenn man in die Flamme eines Gasbrenners Metallsalze einführt, ändert sich ihre Farbe. Es ist durchaus möglich, daß dieser Umstand bereits früher festgestellt worden ist. Aber erst Bunsen begann sich damit näher zu beschäftigen. Der Wissenschaftler brachte kleine Teilchen der unterschiedlichsten Stoffe in die Brennerflamme, und jedes Mal änderte sich gleich einem Chamäleon ihre Farbe. Sie wurde gelb, dann violett und schließlich rosa. Bei diesen Experimenten gab es zwei Gesetzmäßigkeiten. Erstens gab jedes der untersuchten Metalle der Flamme eine charakteristische Färbung. Zweitens hängt diese Farbe nicht davon ab, in welcher Form das Metall der Überprüfung zugeführt wird. Alle Bariumverbindungen färben die Flamme grünlich, während Kalzium die Flamme rot färbt.

Es drängt sich der Gedanke auf, die genannten Gesetzmäßigkeiten dazu zu verwenden, einfach

und schnell festzustellen, welche Elemente in den zu untersuchenden Stoffen anwesend sind. Eine solche Erfindung würde wohl einen revolutionären Umschwung in der chemischen Analyse bringen. Leider war die auf den ersten Blick einfache Idee nur schwer umzusetzen. Die Schwierigkeiten ergaben sich daraus, daß jeder Stoff in der Regel mehrere Komponenten enthielt, wobei über die Beimengungen noch gar nicht gesprochen wurde. Und wenn sich eine Vielzahl von Verbindungen im Feuer befindet, dann kann man ja einmal versuchen, im Chor der Farben eine einzelne Stimme herauszuhören. Der hellgelbe »Baß« des Natriums z. B. übertönt ohne weiteres den schwachen rosa-lila »Tenor« des Kalziums. Eine Farbe vermischt sich mit der anderen, und die Färbungen und Halbtöne verlieren sich im Untergrund der mehr als hundert Farben. Unter diesen Bedingungen hat man natürlich nicht auf eine rasche Analyse hoffen können.

Sollte die gerade erst geborene Idee so ruhmlos wieder in Vergessenheit geraten? In den Märchen erscheint in den ausweglosen Situationen immer ein lieber Prinz, und das Ereignis nimmt die richtige Wendung und kommt zum guten Ende. So etwas Ähnliches erfolgte auch in den Mauern der Heidelberger Universität. Die Rolle des Prinzen übernahm dabei der Freund und Kollege Bunsens, der Professor für Physik G. Kirchhoff, der zu dieser Zeit auf dem Gebiet der Optik bereits einen Namen hatte. In dieser Periode interessierte sich Kirchhoff für die Spektren der glühenden festen und flüssigen Körper. Er konnte der Idee Bunsens Auftrieb geben, indem er vorschlug, nicht die Brennerflamme selbst zu beobachten, sondern ihr Spektrum, da in ihm alle Farben und Töne wesentlich deutlicher zu erkennen sind. Aus zwei Fernrohren, Glasprismen und einer der Kirchhoffschen Zigarrenkisten bauten sie ein Spektroskop, eine Vorrichtung, die es erlaubte, die Flamme in ihre Einzelteile zu zerlegen. Wenn man früher die Information über die Flamme mit bloßem Auge aufnahm, so beobachteten nun die Wissenschaftler





die Lichtstrahlen vom Brenner durch einige Linsen und Prismen, die die Flamme in ein Farbband mit vielen vertikalen Linien zerlegten.

Als Bunsen Kristalle des Kochsalzes in die Flamme brachte, beobachtete Kirchhoff auf dem Untergrund eines schwarzen Bandes zwei helle gelbe Linien. Es wurden auch andere Natriumverbindungen (Soda, schwefelsauerer Natrium) in die Flamme gebracht, und immer erschienen auf dem gleichen Fleck die untrennbaren hellgelben Linien. Es gab keinen Zweifel. Das waren die »Visitenkarten« des Natriums. Ein anderes Metall zeichnete Linien anderer Färbung an einem anderen Ort des Spektrums.

Die Tage häuften sich zu Wochen, die Wochen zu Monaten. Allmählich durchliefen hunderte unterschiedliche Stoffe die Prismen, die Fernrohre und die Flamme. Die Wissenschaftler waren schon überzeugt davon, daß jedes Element durch seine Spektrallinien gekennzeichnet ist wie ein Verbrecher durch seinen Fingerabdruck. Vor dem Blick des Wissenschaftlers, der mit dem Spektroskop arbeitet, können selbst die unscheinbarsten Beimengungen eines beliebigen Elements nicht verborgen bleiben. Das Wunderauge der Vorrichtung kann in den Stoffen jede

beliebige Komponente entdecken, selbst dann, wenn ihr Anteil nur millionstel Milligramm beträgt.

Bunsen und Kirchhoff untersuchten sehr sorgfältig die Spektren aller der Wissenschaft bekannten Elemente und gaben jedem von ihnen eine spektralanalytische Kennzeichnung. Das war die Geburt einer neuen Analysenmethode, der Spektralanalyse. Mit ihrer Hilfe kann man nicht nur das Element finden, sondern entsprechend der Intensität der Linien auch seine Menge bestimmen. Die Möglichkeiten der Spektralanalyse sind damit noch nicht ausgeschöpft.

Eines Tages im Jahre 1860 kam in das Labor von Bunsen ein Paket mit Mineralwasser aus den bekannten Schwarzwälder Quellen. Die Ärzte, die dieses Wasser schickten, baten Bunsen, die Zusammensetzung zu klären. Sie wollten wissen, worin die Heilwirkung dieses Wassers besteht. Warum sollte man nicht die Neugier dieser Ärzte befriedigen?

Bunsen verkochte das Wasser und erhielt eine gelförmige Lösung, die er in den Brenner brachte. Beim Hineinsehen in das Okular seines Spektroskops stellte er die Linien von

Natrium, Kalzium, Strontium und Lithium fest.

Was waren aber das noch für zwei Unbekannte? Strontium? Nein, Strontium gibt nur eine Linie. Immer wieder und wieder schaute sich der Wissenschaftler das Spektrum an und verglich es mit den bekannten Vergleichsnormen. Aber unter diesen war kein ähnliches. Davon überzeugte sich auch Kirchhoff. Man konnte also verkünden, daß ein neues Element entdeckt worden war, und man gab ihm den Namen Cäsium, was in der Übersetzung (aus dem Lateinischen) »Himmelblau« bedeutet.

Damit war Cäsium das erste Element, das nicht auf chemischem Weg, wie die älteren »Brüder« und »Schwestern«, gefunden, sondern mittels Spektralanalyse entdeckt worden war. Die Jahre vergingen, und die Regenbogenkarten des Spektrums machten die Wissenschaft mit den Elementen Rubidium, Thallium, Indium, Gallium und Samarium bekannt. Aber der Palmwedel des Sieges unter den »Spektrumgeborenen« gehört Cäsium.

Vier Jahre später brachte das Cäsium Licht in eine sehr dunkle Geschichte. Bereits im Jahre 1846 beschäftigte sich der deutsche Wissenschaftler K. Plattner mit den Untersuchungen des Pollucit, eines auf der Insel Elba gefundenen Minerals. Eine vollständige Analyse des Minerals vorzunehmen war keine sehr schwere Angelegenheit und trotzdem irgendwie rätselhaft. Wie Plattner auch die von ihm erzielten Ergebnisse auswertete, ergab die Summe aller Bestandteile stets den Wert 93 %. Wohin waren die übrigen 7 % verschwunden? Fast zwei Jahrzehnte konnte niemand diese Frage beantworten. Erst im Jahre 1864 lieferte der Italiener Pisani den unwiderruflichen Beweis dessen, daß der »Schuldige« an der vollständigen Summe das Cäsium war, welches von Plattner irrtümlicherweise als Kalium angesehen worden war. Das häufig vorkommende Element Kalium hat große chemische Ähnlichkeit mit dem Cäsium, ist aber um das Zweifache leichter.

Cäsium ist eines der seltensten Metalle, ob-

gleich man seine Spuren in vielen Gesteinen und im Meerwasser finden kann. Schon hingewiesen wurde auf sein Vorkommen in Mineralwässern. Um allerdings auch nur einige Gramm der Cäsiumsalze zu erhalten, mußte Bunsen über 40 t Heilwasser verkochen. Es ist interessant, daß kleine Anteile an Cäsium auch in der Zuckerrübe, in Kaffeebohnen und Teeblättern gefunden wurden. Ebenso sind die Raucher mit dem Cäsium vertraut, wie die beiden blauen Linien im Spektrum der Tabakasche beweisen.

Wenn man den Metallen, ähnlich wie den Sportlern, einen Preis für die »Aktivität« verleihen würde, dann müßte eine Jury aus den bekanntesten Chemikern diesen Preis ohne zu zögern dem Cäsium geben. Dies wäre nicht nur daraus abzuleiten, daß dieses Element den »metallischsten« Platz im Periodensystem einnimmt (wenn man Franzium unberücksichtigt läßt, welches praktisch nicht in der Natur vorkommt). Reines Cäsium ist ein außerordentlich aktives Metall. An Luft beginnt es sofort zu brennen. Wenn es mit Schwefel oder Phosphor (oder gar mit dem potentiellen Feind aller Metalle, den Halogenen) in Kontakt kommt, dann wird es augenblicklich angeregt, und es kommt meistens zur Explosion. Das Zusammentreffen des Cäsiums mit Wasser ruft ebenfalls eine Explosion bzw. einen Brand hervor, wobei sich Wasserstoff abscheidet. Selbst das bescheidene und in chemischer Hinsicht friedliche Eis, das indifferent bezüglich einer Wechselwirkung mit der Umgebung ist, hält den Angriff des Cäsiums nicht aus und reagiert mit ihm durch lautes Aufschmelzen. Diese Reaktion kann auch grimmiger Frost (bis  $-116^{\circ}\text{C}$ ) nicht aufhalten, obwohl dieser ein guter Bremsen chemischer Reaktionen ist. Es ist kein Wunder, daß bei einem solch wilden Verhalten das Cäsium nur sehr schwer in reiner Form darzustellen ist. Als erster konnte der Schweizer Chemiker C. Setterberg diese Aufgabe im Jahre 1882 auf elektrolytischem Wege erfolgreich lösen.

Heute verwendet man für diesen Zweck normalerweise ein Verfahren, das im Jahre 1911 vom



französischen Chemiker L. Hackspill vorge schlagen wurde. Das Cäsium wird mit metallischem Kalzium aus Cäsiumchloriden bei etwa 700 °C unter Vakuum verdrängt.

Damit wurde reines Cäsium hergestellt. Wie soll man es aber aufbewahren? Diese Frage ist nicht bedeutungslos, und die Antwort klingt paradox, denn das reine Cäsium muß man verunreinigen, d. h. es mit anderen Metallen legieren. Die Cäsiumlegierungen sind lange nicht so angriffsfreudig wie Cäsium selbst, und man kann sie beliebig lange aufbewahren. Zum Abscheiden des Cäsiums aus den Legierungen bedient man sich des Vakuums.

Frisch aufbereitetes Cäsium ist ein glänzendes, helles Metall mit hellgoldenem Ton. Es ist weich wie Wachs und leicht wie Magnesium und Beryllium. Das am leichtesten schmelzende Metall ist das Quecksilber, und in dieser Beziehung hat es keine Gegner. Von den übrigen Metallen ist Cäsium am fügsamsten, denn es geht sehr leicht in den flüssigen Zustand über, da seine Schmelztemperatur nur 28,5 °C beträgt. Um es zum Schmelzen zu bringen, reicht die Wärme der menschlichen Handfläche aus. (Wir hoffen, daß Sie sich der Gefährlichkeit dieses Elements erinnern und ein solches Experiment nicht durchführen, da es unangenehme Spuren auf der Handfläche hinterläßt!)

Es versteht sich von selbst, daß die Erzeugung von Teilen aus Cäsium eine undankbare Beschäftigung ist. Vielleicht ist es für nichts zu verwenden und besitzt nur vom wissenschaftlichen Gesichtspunkt einiges Interesse? Für Eisen, Titan und Aluminium ist es direkt kein Konkurrent, aber dafür hat Cäsium Eigenschaften, die außer ihm kein anderes Metall besitzt. Um dies zu verstehen, machen wir erneut einen Ausflug in das vergangene Jahrhundert.

1888 entdeckte der deutsche Physiker W. L. F. Hallwachs die Erscheinung des äußeren Fotoeffekts, d. h. die Herauslösung der Elektronen aus der Metalloberfläche unter Einwirkung des Lichtes. Bald darauf führte der Professor der Moskauer Universität A. G. Stoletow, der sich für diese Erscheinung interessierte, weitere Versuche durch und formulierte auf deren Grundlage das Gesetz des Fotoeffektes. Es sagt aus, daß die Energie der auftreffenden elektromagnetischen Wellen bei bestimmten Stoffen ausreicht, um eine Ablösung der weit vom Kern befindlichen Elektronen zu bewirken und auf diese Weise einen Stromfluß zu ermöglichen.

Man sagt, viele Leute – viele Meinungen. So hat auch jedes Metall seine eigene »Meinung« zu dem Fotoeffekt. Manche Metalle sind der Meinung, daß es nicht notwendig ist, auf das Licht einzugehen. Man kann sie mit einer



Bildwerferlampe bestrahlen, aber ihre Elektronen geben sie trotzdem nicht ab. Andere Metalle trennen sich von ihren Elektronen ohne Bedenken, wenn auch nur der geringste Lichtstrahl auf sie fällt. Am freigebigsten mit seinen Elektronen ist das Cäsium, und diese Freigebigkeit ist auch nicht zufällig. Bei allen Alkalimetallen, und Cäsium ist ein typischer Vertreter, ist auf der äußeren Schale nur ein einziges Elektron vorhanden. Beim Cäsium ist dieses Elektron weiter vom Kern entfernt als bei den Verwandten der Alkalilinie. Deshalb ist die Elektronenaustrittsarbeit (so wird die Arbeit genannt, die das Licht aufwenden muß, um das Elektron aus dem Atom zu entfernen) beim Cäsium minimal. Das bedeutet, daß es für den Einsatz in Fotoelementen (Vorrichtungen, die die Lichtstrahlen in elektrischen Strom umwandeln) am günstigsten ist.

Den Dienst in den Fotoelementen verrichtet Cäsium nicht allein. In einer Legierung mit Antimon kann man die lichtempfindliche Schicht so dünn machen, daß mit einem Gramm dieser Legierung eine Oberfläche von 10 Quadratmetern bedeckt werden kann.

Fotoelemente sind in die automatischen Sperren der Moskauer Metro einmontiert. Auf der einen Seite befindet sich ein Fotoelement und auf der anderen eine Lichtquelle, die ihre Strahlen dem Gegenüber zusendet. Wenn jemand versucht, ohne vorher ein Fünfkopekenstück in den Schlitz geworfen zu haben, den Strahl zu durchqueren, dann schließt das Fotoelement einen Hebelmechanismus. Dieser versperrt mit lautem Geräusch den Weg. Wenn man aber vorher in den Schlitz das entsprechende Geldstück eingeworfen hat, ist der Mechanismus automatisch abgeschaltet, und die Hebelarme arbeiten nicht.

Das Fotoelement ist eine unkomplizierte Vorrichtung und trotzdem so einsatzfähig, daß man ihm jede Arbeit beibringen kann. Sobald es in der Stadt dunkel wird, schaltet das Fotoelement die Straßenbeleuchtung ein. Wenn sich der Arm eines Arbeiters in eine gefährliche Zone hinein-

bewegt, dann kann dieser Kontrolleur die Werkzeugmaschine abschalten. Ein Fotoelement kann Zigaretten sortieren oder eine bestimmte Zahl von Werkstücken zählen, die auf einem Conveyer an ihm vorbeilaufen. Es kann auch prüfen, ob die Oberfläche einer Kugellagerkugel ausreichend poliert worden ist. Sicherer als alle Wächter beschützen diese Vorrichtungen nachts die Banken, Geschäfte und Lager.

Ohne Fotoelement hätte die Idee von der Übertragung von Aufzeichnungen über hunderte und tausende Kilometer keinen Sinn. Wenn man abends mit Interesse die Übertragung eines Hockeyspiels verfolgen oder sich ein Konzert anhören oder eine Folge mehrteiliger Filme ansehen kann, dann ist dies dem Cäsium zu verdanken, denn ohne Cäsium könnte der Fernseher keine Bilder übertragen.

Mit Hilfe des Fotoelements gelang es, die Rückseite des Mondes aufzunehmen. Ebenso könnte man über Kabel keine Zeichnungen, Schemata, Porträts und Briefe übertragen, wenn der Fototelegraph sich nicht dieser vom Licht ausgelösten Elektronen bediente.

Die fotoelektrischen Eigenschaften des Cäsiums erlaubten die Schaffung eines Introskops, einer Vorrichtung, mit der man in das Innere undurchlässiger Körper sehen und in ihnen mögliche Fehler finden kann. Die Empfindlichkeit des Cäsiums für Infrarotstrahlen liefert die Grundlage für den Bau der Nachtfernrohre. Heute können die optischen »Augen« in der Dunkelheit sehen und dem Menschen helfen, nachts Autos zu führen, genau zu schießen und unterschiedliche Objekte festzustellen.

Bis jetzt sprachen wir nur über den fotoelektrischen Effekt, aber Cäsium kann seine Elektronen nicht nur bei Lichteinwirkung abgeben, sondern auch bei Wärme. Dank dieser Eigenschaft geht es schneller als viele andere Metalle in den Zustand eines ionisierten Gases, in Plasma, über. Das Cäsiumplasma ist von großem wissenschaftlichem und praktischem Interesse. Im Kosmos z. B., wo ein großer Unterdruck herrscht, ist der von den Atomen des Cäsiums ausgesandte Elek-



tronenstrom fähig, eine mächtige Reaktionskraft zu schaffen, die den Raketen kolossale Geschwindigkeiten (nach Berechnungen einiger Wissenschaftler bis zu 44 km/s) verleiht. Es ist durchaus möglich, daß in nicht allzu ferner Zukunft die Stunde schlägt, in der die interplanetaren Raumschiffe mit Cäsiumtreibstoff zu den fernsten Teilen des Weltalls auslaufen werden.

Das Cäsiumplasma beginnt schon jetzt zu wirken. Mit seiner Hilfe wandeln die magnetohydrodynamischen Generatoren (MHD-Generatoren) Wärmeenergie in Elektroenergie um. Einer der vielen Vorteile dieser Generatoren ist ihre einfache Bauart, denn das einzige bewegliche Teil in ihnen ist der Strom der ionisierten Gase, der die Funktion des drehenden Rotors ausübt. Ohne Cäsium funktionieren auch nicht die Wärmeemissionsumwandler, in denen die Wärmeenergie der Kernreaktoren ohne Unterbrechung in elektrischen Strom umgewandelt wird. Die erste bedeutende Vorrichtung dieser Art wurde in der Sowjetunion gebaut.

Auch die Wissenschaft schenkt dem Cäsium große Aufmerksamkeit.

Vor einigen Jahren führten die Wissenschaftler der Bielefelder Universität ein interessantes Experiment durch. Es dauerte insgesamt nur einige Zehntel Sekunden, während die Vorbereitung über 2 Jahre in Anspruch nahm. Worin bestand es? In einer speziellen Vorrichtung wurden Cäsiumatome einem Beschuß aus einem großen Impulslaser ausgesetzt. Durch diesen Beschuß wurden die Cäsiumatome so heftig angeregt, daß sich die Elektronenbahnen ausweiteten und die Atomabmessungen sich um das 10000fache vergrößerten.

Eine Gruppe amerikanischer Physiker aus Oak Ridge (einem der wichtigsten Zentren der Atomindustrie der USA) hat eine Methode erarbeitet, die es erlaubt, die Atome einiger Elemente einzeln zu zählen. Die Grundlage dieser Methode bildet ebenfalls die Erregung der Atome mit Hilfe großer Impulslaser. Beim ersten Vorführen dieser Vorrichtung wurden Cäsiumatome gezählt.

Wissenschaftler des Indischen Forschungsinstituts für geophysikalische Untersuchungen zogen bei der Erforschung von 60 heißen Quellen im Himalaja die Schlußfolgerung, daß die hohe Cäsiumkonzentration in diesem Wasser ein Zeichen für die magmatische Aktivität des Erdkernes ist.

Weiterhin ist interessant, daß eine erhöhte Konzentration des radioaktiven  $^{137}\text{Cäsium}$ isotops in den Bäumen festgestellt worden ist, die sich im Gebiet der Tungusker Explosion erhalten haben, wobei die chemische Anomalie gerade in den Stammschichten anzutreffen ist, die in das Jahr 1908 fallen, wo dieses Ereignis vor sich ging. Vielleicht wird es Cäsium sein, das im Laufe der Zeit Licht in das Tungusker Rätsel bringt, das bis heute noch mit einem Schein des Geheimnisses umgeben ist und heftige Debatten unter den Wissenschaftlern und Zukunftsromanschriftstellern hervorruft.

Man darf einen wichtigen Zug dieses Elements nicht vergessen. Im Jahre 1967 legte die Internationale Generalkonferenz für Maße und Gewichte fest, daß 1 Sekunde die Dauer von  $9192631770$  Perioden der Strahlung ist, die dem Übergang zwischen zwei Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes des Cäsium-133-Atoms entspricht. Wenn man also eine Sekunde zählen will, dann braucht man nur zu warten, bis ein Cäsiumelektron von einer Bahn auf die andere springt, und dies muß man so viele Male tun, wie die obige Zahl es angibt. Dem Menschen wird ein solches Zählen ein wenig schwierig werden. Die Atomuhren arbeiten aber schon nach diesem Prinzip. In drei Jahrtausenden gehen diese Uhren nur eine Sekunde vor oder nach. Das ist nur aufgrund der ungewöhnlichen Stabilität der Haupteigenschaft des Cäsiumatoms möglich.

Über Cäsium könnte man lange erzählen, über seine katalytischen Eigenschaften und über das Können, Vakuum in den Radoröhren zu erhalten, über seine Isotope, die in der Medizin genutzt werden, über die Defektoskopie, die Meßtechnik oder über die Erzeugung von Szintilla-

tionseinkristallen mit Hilfe dieses Elements, die befähigt sind, unter der Wirkung einer beliebigen Strahlung ein kaltes bläuliches oder grünliches Licht zu verbreiten, wobei die Strahlung eine

Röntgen-, Ultraschall- oder Radioaktivstrahlung sein kann. Das Anwendungsgebiet des Cäsiums ist unendlich, und seine Perspektiven sind unbegrenzt.



# Ba

## Barium

### Das Glück des Schuhmachers aus Bologna

*Der Bologneser Edelstein · »Schwer«, aber leicht ·  
Versuche im Kohletiegel · Ein »aufbrausender Charakter« ·  
Illegale Tätigkeit · Das Übel aufdecken · Banknoten  
und Obligationen · Das leichte Frühstück · Rätselhafte  
Strahlen · Der grüne Anteil · Eine Spritze für die Sphinx ·  
Ohne seinesgleichen · Wer hat recht? · Salz ins Feuer  
werfen · Gibt es Vakanzen? · Die Kristalle ändern ihre Farbe ·  
Aus Fehlern lernen · Mit der Genauigkeit eines Juweliers ·  
Keramische Magnete · Die Entdeckung des Apothekers ·  
Außergewöhnliche Fähigkeiten · Wer stört die Karriere? ·  
Der künstliche Komet*

**D**ie Geschichte dieses Elements kommt aus den Quellen des Mittelalters, als in Europa überall eine Leidenschaft zur Alchimie bestanden hat und Ideen zur Erzeugung von Gold aus einfachen Stoffen sich breit gemacht haben.

Im Jahre 1602 sammelte der Bologneser Schuhmacher und Alchimist Kasziarolo in den umgebenden Bergen Gestein, das sich als so schwer erwies, daß nur ein blutiger Laie nicht Gold in ihm vermutete. Aber Kasziarolo war kein Laie. Vor ihm öffneten sich freudvolle Perspektiven, und nachdem er seinen Fund in die Schusterwerkstatt geschleppt hatte, begann er sofort mit der Arbeit.

Zuerst beschloß er, den Stein mit Kohle und Ölfirnis zu glühen. Obgleich sich dabei aus irgendwelchen Gründen nicht sofort Gold abschied, trugen die Versuche doch bestimmte Hoffnungen in sich, denn das abgekühlte Produkt des Glühprozesses leuchtete in der Dunkelheit mit rötlicher Farbe.

Der Charakter des Menschen ist mitteilhaftig, und so hat auch Kasziarolo sein Geheimnis über den ungewöhnlichen Stein vor seinen Alchimiekollegen nicht zurückhalten können. Diese Sensationsnachricht versetzte die goldsuchende Brüderschaft in den Zustand eines Suchfiebers. Das gefundene Mineral, das eine Reihe von Bezeichnungen – Sonnenstein, Bologneser Stein und Bologneser Edelstein – erhielt, wurde der Hauptbeteiligte aller möglichen und unmöglichen Reaktionen und Experimente. Die Zeit verging, und das Gold dachte nicht daran, sich zu zeigen, so daß auch das Interesse für den Stein wieder abnahm.

Fast anderthalb Jahrhunderte später, im Jahre 1774, unterzogen die bekannten Schweizer Chemiker Karl Scheele und Johann Hahn den Bologneser Stein einer sorgfältigen Untersuchung und stellten fest, daß in ihm eine besonders schwere Erde enthalten war, die sie zuerst mit »Barot« und später mit »Baryt« vom griechischen Wort »baros«, d. h. »schwer«, bezeichneten. Das Metall selbst, das diese Erde bildete, nannten sie Barium.

Im Jahre 1808 schied der englische Chemiker Humphrey Davy auf elektrolytischem Wege aus Baryt das metallische Barium ab. Da es sich als relativ leichtes Metall erwies (Dichte  $3,7 \text{ g/cm}^3$ ), schlug der englische Chemiker Clark eine Bezeichnungsänderung vor, da die Übereinstimmung mit der wahren Lage unter den anderen Metallen nicht mehr gegeben war. Zu Ehren des unterirdischen Königs Pluton wollte er ihm den Namen »Plutonium« geben. Der Vorschlag Clarks fand nicht die Unterstützung der anderen Wissenschaftler, und das leichte Metall hieß weiterhin »schwer«. In der russischen chemischen Literatur zu Beginn des 19. Jahrhunderts fand man dieses Element unter der Bezeichnung »Der Schwere«. Halten wir fest, daß nach der modernen technischen Klassifikation Barium tatsächlich, abgesehen von Titan, der schwerste Vertreter der Leichtmetallgruppe ist.

In der Gegenwart wird metallisches Barium – ein weiches weißes Metall – durch die aluminothermische Reduktion aus dem Oxid gewonnen. Als erster führte diesen Prozeß der russische Physiko-Chemiker N. N. Beketow durch. Er legte damit die Grundlage für den Beginn der Aluminothermie. So beschreibt der Wissenschaftler seine Versuche: »Ich nahm wasserfreies Bariumoxid und versetzte es mit einer geringen Menge Bariumchlorid. Dieses Gemisch vermengte ich mit Aluminiumstücken in einem Kohletiegel und glühte es mehrere Stunden. Nach der Abkühlung des Tiegels fand ich in ihm eine metallische Legierung mit schon völlig anderen Eigenschaften und Aussehen als die des Aluminiums. Diese Legierung hat eine grobkristalline Struktur, ist sehr spröde und besitzt auf dem frischen Bruch einen schwach gelblichen Ton. Die Analyse bestätigte, daß sie zu 33,3 % aus Barium und 66,7 % aus Aluminium besteht.«

Heute wird dieses Verfahren unter Vakuum bei 1100 bis 1200 °C durchgeführt. Gleichzeitig mit der Reduktion des Bariumoxides erfolgt die Destillation des reduzierten Bariums, das danach in reiner Form kondensiert.

Barium ist chemisch sehr aktiv. Bei der Erwär-



mung oder Beanspruchung entflammt es sehr leicht und reagiert gut mit Stickstoff, Wasserstoff, Wasser und Sauerstoff (die glänzende Oberfläche des frisch erzeugten Bariums bedeckt sich an der Luft mit einer dünnen Oxidschicht). So muß man es wie auch einige andere Metalle mit »aufbrausendem Charakter« unter einer Petroleumschicht aufbewahren. Damit läßt sich auch die begrenzte Anwendung des metallischen Bariums erklären. Sein Haupteinsatzgebiet hat es als Aufnehmer von Gasresten (Getter) in der Hochvakuumtechnik.

Ein wesentlich größeres Einsatzfeld besitzen die Bariumverbindungen. Mit dem schwefelsauerem Barium bzw. dem Schwerspat (derjenige Stein, der vor langer Zeit von Kasziarolo gefunden wurde) ist seit langem die Erzeugung von Farben verbunden. Am Anfang war die Beteiligung des schwefelsauerem Bariums illegal.

Bereits im Jahre 1859 gelangten Berichte an die Vereinigung der Manufakturen und des Binnenhandels über die Gaunereien der Jaroslawler Fabrikherren. Diese setzten dem Bleiweiß Schwerspat zu, wodurch die Anwender, bedingt durch die verminderte Qualität, betrogen wurden. Dabei wurde auch die Bitte vorgetragen, den genannten Fabrikherren den Einsatz von Spat bei der Herstellung von Bleiweiß zu verbieten. Darüber wurde etwas später auch dem Finanzminister berichtet, der der Jaroslawler Behörde eine Untersuchung befahl. Da diese Untersuchung durch den Gönner der Fabrikherren, den Polizeimeister Krasoski, durchgeführt worden war, kam lediglich heraus, daß sie nur in seinem Kabinett beichteten und sich dann erneut mit großer Kühnheit an ihr qualitätsverschlechterndes Werk begaben. Weiterhin enthielt der Bericht die Bitte, »dieses Übel auch auf dem Nishnegorodskoer Markt aufzudecken, von wo das Bleiweiß bis in die äußersten Grenzen des Zarenreiches verschickt wird. Die Aufdeckung ist sehr leicht, denn man braucht nur alle Bleiweißproduzenten zu überprüfen, inwieweit sie in großen Mengen Spat anfordern, und was aus diesem Spat gemacht wird«.

Aber alle diese Petitionen haben zu nichts geführt. Es ist aussagekräftig, daß im Jahre 1882 in Jaroslawl ein Spatwerk gegründet worden war, das 1885 50000 Pud feingemahlene Schwerspat, der für diese Zwecke vorgesehen war, produzierte. Zu Beginn der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts schrieb D. I. Mendelejew: »... Bei der Herstellung von Bleiweiß wird in vielen Betrieben auch Baryt untergemischt, da auch die aus dem Ausland eingeführten Bleiweiße zur Verringerung des Preises diese Beimengungen enthalten«.

Mit der Zeit erlangte das schwefelsauere Barium in der Lackindustrie seine Daseinsberechtigung. Es wurde in das Lithopon (eine gelbe Farbe mit hoher Deckkraft) eingebracht und erhielt gute Zeugnisse bei den Anwendern. Bei der Erzeugung teurerer Papiersorten (insbesondere für Banknoten, Obligationen und Dokumente) spielt das Bariumsulfat die Rolle des Füll- und Schweremittels, wodurch das Papier weißer und fester wird. Eine Aufschlammung dieses Salzes in Wasser verwendet man als Arbeitsflüssigkeit beim Bohren von Erdöl- und Erdgaslöchern. Schwefelsauerem Barium hält die Röntgenstrahlen besser als die weiche Gewebehaut des menschlichen Organismus zurück. Diese Eigenschaft nutzen die Mediziner für die Diagnose von Magenerkrankungen. Dem Kranken wird zum Frühstück ein Bariumbrei – eine Mischung von Bariumsulfat mit Grieß und Wasser – verabreicht, und anschließend wird die Röntgendurchstrahlung vorgenommen. Der für Röntgenstrahlen undurchlässige Bariumbrei erlaubt es dem Arzt, eine genaue Vorstellung über den Zustand des Magen-Darm-Systems zu erhalten und den Ort der Erkrankung zu bestimmen. Durch die Fähigkeit, Röntgen- und Gammastrahlen zu absorbieren, dient Baryt als Schutzmaterial in Röntgenvorrichtungen und Kernreaktoren.

Da wir gerade von den Röntgenstrahlen sprechen, ist es berechtigt, sich auch daran zu erinnern, daß ihre Entdeckung mit dem Platinbariumcyanid verbunden ist. Im Jahre 1895 brachte das grüne Leuchten den deutschen Phy-





siker Wilhelm Konrad Röntgen auf den Gedanken, daß eine unbekannte Strahlung existierte, unter deren Einwirkung das Bariumsulfat zu leuchten begann. Von dem Wunsch beseelt, die rätselhafte Natur dieser Strahlen zu unterstreichen, nannte sie der Wissenschaftler X-Strahlen. Doch bald nannte man sie in den meisten Ländern zu Ehren des Entdeckers Röntgenstrahlen.

Alle haben wir uns schon an dem regenbogenfarbenen Schillern von Perlen oder Perlmutter erfreut. Es ist natürlich, daß seit langer Zeit nach einem Färbemittel gesucht wird, das es erlaubt, auf künstlichem Wege ein Material mit einem Perlmutton zu erzeugen. Früher verwendete man dazu einen Sud von Fischschuppen. Und auch heute noch wird im Prinzip nach diesem Verfahren gelegentlich Perlenfarbstoff hergestellt. Im Jahrhundert der Chemie auf die Fischschuppen zurückzugreifen ist jedoch einfach überholt, so daß man mit Erfolg das Thiobariumsulfat einsetzt. Die Kristalle dieser Substanz geben bei Mi-

schung mit einem farblosen Lack eine Perlmutterfarbe. Wenn man dieses Material in Tischlerleim einrührt und eine Schicht davon auf Holz aufträgt, dann kann man eine vollständige Imitation von Perlmutter erhalten.

Die Beschäftigten der Glasindustrie kennen sehr gut auch andere Bariumverbindungen, und zwar die Karbonate, die sie in die Glasmasse einbringen, um den Brechungskoeffizienten des Glases zu erhöhen. Manchmal verwendet man für dieses Ziel anstelle von Karbonat auch Bariumnitrat. Das Hauptanwendungsgebiet des Nitrats ist die Pyrotechnik. Dieses Bariumsulfat, wie auch das Bariumchlorat, ist an allen Feuerwerksraketen beteiligt und verleiht den roten Rosetten einen hellgrünen Schein. Das Bariumnitrat ist nicht nur auf eine Beleuchterrolle abgeschoben, sondern genießt in der Landwirtschaft auch den Ruf eines guten Unkrautbekämpfungsmittels.

Schon seit etwa 5 Jahrtausenden hält die Große Sphinx an den ägyptischen Pyramiden ihre Wacht. Auf Befehl des Pharaos Chephren aus dem Felsen gehauen, hat sie einen Löwenkörper und einen Kopf, dem die Züge des Pharaos Chephren eingemeißelt worden sind. Möglicherweise zeichnete sich der Pharao durch große Schönheit aus, aber durch die langen Jahre verlor die gigantische Kopie ihre Schönheit. Infolge der Sandstürme, des Regens und der schroffen Temperaturwechsel verlor die Sphinx ihre Nase, das linke Auge begann zu schielen, und das Gesicht wurde durch viele Runzeln verunstaltet. Besondere Aufregung ruft das ständige Kleinerwerden des Halses der Statue hervor. »Die Sphinx ist krank«, schrieb eine der Kairoer Zeitungen, »und wenn nicht bald besondere Maßnahmen eingeleitet werden, dann wird der Hals wohl abfallen.« Vor einigen Jahren versuchte man, die Sphinx zu heilen. Um die am meisten gefährdeten Stellen zu verfestigen, führte man eine »Injektion« mit Bariumsulfat durch. Sie halfen aber nicht sehr lange. Vor vier Jahren mußte man beginnen, das Standbild vollständig zu restaurieren.



Sehr groß ist auch das Arbeitsgebiet des Bariumoxides. Im vorigen Jahrhundert wurde diese Verbindung für die Erzeugung von Sauerstoff genutzt. Zunächst wurde sie bei 500 bis 600 °C geglüht, wodurch sie sich durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft in Peroxid umwandelte. Bei der weiteren Erwärmung (bis 700 °C) geht das Peroxid wieder in das Oxid über und gibt dabei den überschüssigen Sauerstoff ab. Auf diese Weise wurde Sauerstoff bis fast zum Ende des 19. Jahrhunderts gewonnen, so lange, wie das Verfahren zur Sauerstoffgewinnung aus flüssiger Luft unbekannt war.

Eine weitere interessante Seite in der Biographie des Bariumoxids schrieb im Jahre 1903 der junge deutsche Wissenschaftler Wehnelt. Wie man sagt, erfolgte dies vollkommen überraschend. Eines Tages beauftragte man ihn, an einem Platindraht das Gesetz der Elektronenausendung eines erwärmten Körpers zu überprüfen, das kurz vorher von dem englischen Physiker Richardson gefunden worden war. Die ersten Versuche bestätigten das Gesetz vollständig. Wehnelt beschloß, die Versuche einige Zeit später mit einem anderen Draht durchzuführen. Man kann sich seine Verwunderung vorstellen, als der Platindraht einen Elektronenstrom abgab, der das Vielfache des vorhergehenden Versuches ausmachte. Vielleicht, so dachte er, ist das Meßinstrument kaputt gegangen? Diese Vermutung verwarf er jedoch wieder. Da sich die Eigenschaften des Werkstoffes so schnell nicht geändert haben konnten, mußte er annehmen, daß der Verursacher einer solchen »Elektronenböe« ein zufällig auf die Drahtoberfläche gelangter Stoff war, der eine höhere Elektronenemissionsneigung aufwies als Platin. Aber was war es?

Der Wissenschaftler begann, die unterschiedlichsten Stoffe auf die Platinoberfläche aufzutragen, die ihm verdächtig schienen, den Elektronenstrom hervorgerufen zu haben, aber alle zeigten ihre Schuldlosigkeit in dieser Angelegenheit. Und als Wehnelt sich schon damit abgefunden hatte, daß er bis zur Ursache nicht mehr vordringen würde, erinnerte er sich plötzlich, daß im

Schmiermittel für die Pumpanlage, die für den Versuch verwendet wurde, Bariumoxid enthalten ist, das zufälligerweise an den Platindraht gelangt sein könnte. Der Wissenschaftler schaltete erneut seine Vorrichtung ein. Schon nach einigen Minuten konnte seine Freude keine Grenzen. Damit war ein Werkstoff entdeckt, der bezüglich der Fähigkeit, bei Erwärmung Elektronen auszusenden, seinesgleichen nicht findet.

Zu solch einer Schlußfolgerung kamen die Wissenschaftler der Welt nicht sofort. Nach der Veröffentlichung seiner Ergebnisse beschäftigten sich viele Physiker mit der Überprüfung dieser Aussagen. In der Presse erschienen nacheinander Veröffentlichungen, daß Wehnelt bezüglich der Elektronenemission des Bariumoxides sehr stark übertrieben hätte. Sogar Wehnelt selbst konnte seine Entdeckung nicht wiederholen. Der unzufriedene Wissenschaftler hörte daraufhin auf, sich mit diesen Versuchen zu beschäftigen.

Erst nach einem Vierteljahrhundert zeigte der Engländer Coller erneut Interesse für das Bariumoxid. Er hat eine Reihe vervollkommener Experimente durchgeführt und dabei festgestellt, daß, wenn man Bariumoxid unter Vakuum und





sehr niedrigen Sauerstoffdrücken erwärmt, eine sehr große Elektronenemission dieses Stoffes auftritt. Wenn sich aber der Sauerstoffdruck während des Versuches erhöht, dann sinkt die Emission. Diese Schlußfolgerung stellte das wissenschaftliche Renommee Wehnelts wieder her, gab aber auch seinen Opponenten recht. Da bei der Erwärmung das Bariumoxid seine chemische Zusammensetzung nicht ändert und seine Kristallstruktur konstant bleibt, ergab sich ein neues Rätsel. Warum führt sich ein und derselbe Stoff so unterschiedlich auf, obwohl nach allen gültigen Gesetzen seine Eigenschaften unverändert bleiben müßten? Ungefähr zu der gleichen Zeit stellte der deutsche Wissenschaftler Pohl Abweichungen von den allgemein gültigen Normen im Verhalten einer Reihe anderer Stoffe fest und goß somit Öl ins Feuer. Genauer gesagt, warf er Salz in das Feuer, und zwar die Kristalle von normalem Kochsalz bzw. Natriumchlorid. Bei der Erwärmung dieser Kristalle in Natriumdämpfen stellte Pohl fest, daß sie sich violett färbten. Etwas Ähnliches erfolgte mit den Kristallen des Kaliumchlorids. Bei der Erwärmung in Kaliumdämpfen wurden sie blau. Ebenso wie in den Bariumsalzen sollten in diesen Verbindungen keinerlei Veränderungen vor sich gegangen sein.

Überhaupt nichts? Es zeigte sich, daß irgend etwas doch ablief. Das Wesen dieser Erscheinung konnte 1935 der Wissenschaftler Pohl selbst klären. Nach seiner Hypothese sind für jeden kristallinen Stoff nicht die konstanten Verhältnisse der Atome im Kristall wesentlich, sondern die Besetzung der Gitterplätze. Für Kochsalz z. B. gehört zu einem Natriumkation ein Chloridanion. Jedes Paar Gitterplätze bildet eine »Zweizimmerwohnung«, wobei sich die Bewohner aber auch nicht dort befinden müssen. Wenn sich das Verhältnis der unterschiedlichen Ionen im Kristall nicht in Übereinstimmung mit dem stöchiometrischen Wert befindet, der für den Stoff kennzeichnend ist (solche Kristalle erhielten später die Bezeichnung »nichtstöchiometrische Kristalle«), dann können sich die Eigenschaften ändern.

Pohl schlug nun vor, daß bei der Erwärmung des Salzes in Natriumdämpfen in den Kristall auch Atome dieses Elements eindringen können. Dabei gibt jedes ein Elektron ab und wandelt sich dabei in ein Kation um, baut für sich sein »Zimmerchen«, und sofort siedelt sich bei ihm ein Chloridanion an, das seine »Wohnung« im Kristall aufgibt und der Nachbar im neuen »Zweizimmerquartier« wird. Die vom Chloridanion verlassene Räumlichkeit (Leerstelle) wird in der ersten Zeit der Aufenthaltsort für das Elektron, das vom Natriumatom abgegeben worden ist. Die Elektronen sind ein »freiheitsliebendes Völkchen«, und lange an einer Stelle zu sein schmeckt ihnen gar nicht. Um sich nach außen hin abzusetzen, braucht das Elektron Energie, die den Quanten des gelben Lichtes entspricht. Deshalb absorbieren die nichtstöchiometrischen Kristalle von Kochsalz, die einen Überschuß an Natrium enthalten, das gelbe Licht und erscheinen in Übereinstimmung mit dem Spektralgesetz violett. Sorgfältige Messungen ermöglichten auch eine Antwort auf die Frage, wieviel überschüssige Atome des Natriums für eine solche Farbänderung notwendig sind. Dieser Betrag liegt bei Anteilen von nur tausendstel Prozent.

Aber kehren wir zum Bariumoxid zurück. Im Jahre 1953 erwärmte der amerikanische Wissenschaftler Sprewl farblose Teilchen dieses Stoffes in flüssigem Barium, wodurch die Kristalle rot wurden. Deshalb zog Sprewl die Schlußfolgerung, daß in ihnen ebensolche Veränderungen vor sich gegangen waren wie im Kochsalz, nur mit dem Unterschied, daß dort die Vakanzen des einwertigen Chlors nur ein Elektron festhalten, während beim Bariumoxid die Vakanzen des zweiwertigen Sauerstoffs zwei Elektronen binden können. Damit läßt sich nach Meinung des Wissenschaftlers auch die hohe Elektronenemission erklären, da die Vakanzen des Sauerstoffs als Quelle dienen. Die Hypothese bot sich durch ihre Einfachheit an. Man brauchte nur noch einige Messungen durchzuführen, um sich davon zu überzeugen, daß sich der Elektronenstrom in direkter Abhängigkeit von der Menge



an überschüssigem Barium in den Kristallen befindet. Aber dabei erlebte man erneut einen Reinfall. Die Versuche, die in den Laboratorien der amerikanischen Firma »Bell Telephone« durchgeführt wurden, ließen keinen Stein der Hypothese von Sprewl auf dem anderen. Was war geschehen?

Für die Klärung dieses Problems war eine aufwendige Arbeit von 15 Jahren erforderlich. Ende der 50er Jahre kamen sowjetische Wissenschaftler, die mit den Ergebnissen der Experimente der Firma »Bell Telephone« bekannt geworden waren, zu dem Schluß, daß bei diesen ein Fehler in der Methodik der Versuchsdurchführung vorgelegen hatte. Man trug nämlich auf der metallischen Unterlage einen dünnen Film von Bariumoxid auf und bestimmte in ihr den Überschuß an Barium. Die geringe Menge erwies sich jedoch als zu klein für eine genaue Analyse der chemischen Zusammensetzung. Außerdem konnten bei den hohen Temperaturen in die dünne Schicht Verunreinigungen von der Unterlage eindringen, wodurch das richtige Bild verzerrt wurde. Wie bekannt, lernt man aus Fehlern.

Um nicht die Fahrlässigkeit der amerikanischen Kollegen zu wiederholen, verwendeten A. Bundel und P. Kowtun in ihrem Versuch hochreines Bariumoxid in ausreichender Menge, und der Zutritt von Verunreinigungen wurde unterbunden, da die Erwärmung in einem sorgfältig ausgewählten, chemisch beständigen Material erfolgte. Jahr um Jahr vervollständigten sie die Methodik und Technik der Versuchsdurchführung, aber die Aufgabe war so schwer, daß erst vor kurzem der Punkt auf das I gesetzt werden konnte. Genau die winzige Menge an überschüssigem Barium, die mit Juweliergenauigkeit bestimmt wurde, bedingt die Emission der Elektronen. So konnte das Wesen einer Erscheinung aufgedeckt werden, die bereits zu Beginn unseres Jahrhunderts bekannt gewesen war. Hinzugefügt sei noch, daß das Bild auf dem Schirm Ihres Fernsehapparates von einem Elektronenstrahl »gezeichnet« wird, der aus den nichtstöchiometrischen Kristallen des Bariumoxides stammt.

In den letzten Jahren verwendete man Bariumoxid (stöchiometrisch normal zusammengesetzt) für die Herstellung von sogenannten keramischen Magneten. Dazu wird eine Mischung aus Eisenpulver und Bariumoxid unter einer Presse in einem starken Magnetfeld gesintert. Das sich bildende Bariumferrat besitzt interessante Eigenschaften und wird immer häufiger in der Technik verwendet.

Die wichtigste Bariumverbindung ist heutzutage mit vollem Recht das Bariumtitanat, welches eine weltweite Anerkennung als ausgezeichnetes Seignette-Elektrikum (Ferroelektrikum) gefunden hat.

Seine Bezeichnung ist mit dem französischen Apotheker E. Seignette verbunden, der bereits in der Mitte des 17. Jahrhunderts ein Kalium-Natrium-Doppelsalz der Weinsäure entdeckt hatte, das sich bald den Ruf eines guten Abführmittels erwarb. Auf dieser niedrigen Stufe arbeitete das Salz fast zweieinhalb Jahrhunderte. Erst im Jahre 1918 hat der amerikanische Wissenschaftler Anderson entdeckt, daß im Intervall von  $-15$  bis  $+22$  °C dieses Salz eine hohe Dielektrizitätskonstante besitzt, wobei es polarisiert bleibt, auch wenn das äußere elektrische Feld fehlt.

Im Jahre 1944 stellte der sowjetische Physiker B. M. Bul außergewöhnliche ferroelektrische Eigenschaften beim Bariumtitanat fest, die sich über ein großes Temperaturintervall erstrecken, fast vom absoluten Nullpunkt bis zu  $+125$  °C. Da Bariumtitanat durch große mechanische Festigkeit und Feuchtebeständigkeit gekennzeichnet ist und ohne Schwierigkeiten erzeugt werden kann, nimmt es unter den ferroelektrischen Materialien einen Ehrenplatz ein und ist ein ausgezeichnetes Material für elektrische Kondensatoren. Durch seinen stark ausgeprägten Piezoeffekt (Veränderung der elektrischen Kennwerte unter Einwirkung von Druck) findet das Bariumsalz auch Verwendung in sogenannten Piezoelementen (z. B. im Kristallmikrofon).

Im Jahrhundert des ungewöhnlichen technischen Fortschritts nimmt der Kreis der chemischen Elemente zu, die auf eine »verantwortliche

Tätigkeit« in der Wissenschaft, Industrie, Landwirtschaft und auf anderen Gebieten des menschlichen Schöpfungstums einen Anspruch erheben. Viele Elemente machen nur mit Schwierigkeiten Karriere, weil sie nur sehr wenig in der Erdkruste vorkommen. In dieser Beziehung hat es Barium gut. Die Hülle unseres Planeten enthält 0,05 % Barium, was das Mehrfache gegenüber den Elementen Nickel, Kobalt, Zink und Blei darstellt. Das bedeutet, daß die Beschäftigung mit dem Barium eine große Rolle spielt, z. B. auch hinsichtlich der Schaffung eines künstlichen Kometen. Von Bord eines kosmischen Flugkörpers wurde weit von der Erde entfernt Bariumdampf abgelassen, der sich in eine helle Feuerwolke verwandelte, mit deren Hilfe die Wissenschaftler unterschiedliche Untersuchungen anstellten, optische Beobachtungen durchführten und die Bahn der kosmischen Flugkörper bestimmen konnten. Der erste künstliche Komet wurde im Jahre 1959 von Bord der automatischen interplanetaren Station Luna-1 geschaffen. Zu Beginn der 70er Jahre ließen westdeutsche und amerikanische Physiker, die gemeinsame Untersuchungen des elektrischen und magnetischen Feldes der Erde durchführten, über dem Territorium Kolumbiens (in einer Höhe von 32000 km) 14,5 Kilogramm kleinster Bariumteil-

chen austreten, die eine Feuerwolke bildeten und von unterschiedlichsten Stellen Amerikas beobachtet werden konnten. Auf Grund ihrer Ausrichtung längs der Magnetfeldlinien der Erde konnte man so mit Hilfe des Bariums die Lage des Feldes präzisieren.

Im Jahre 1979 wurde von Bord einer in Kiruna gestarteten Rakete ebenfalls ein Bariumstrahl in den Weltraum geschleudert. Unter der Wirkung der Sonnenstrahlen konnte das Barium leicht ionisiert werden und eine Lichtquelle schaffen, die man über große Entfernungen mit Hilfe von supergenauen Fernseheinrichtungen registrieren konnte. Die Bariumwolke sollte etwas Licht in die Prozesse bringen, die mit dem Polarlicht im Zusammenhang stehen. Die Erforschung des Bewegungscharakters der Wolke erlaubte es, etwas über die elektrischen Felder auszusagen, die die Bariumionen auf ihrem Weg durch den Weltraum antrafen. Sie wurde beobachtet von Bord des Flugobservatoriums Jak-40 im Gebiet des Flusses Petschora (ASSR der Komi), von Bord des amerikanischen Flugobservatoriums über dem Territorium Griechenlands und von den Erdstationen im Norden Schwedens und in der Nähe von Achschabad.

Welche Rolle wird Barium morgen wohl spielen?



# Hf

## Hafnium

### Das verstreute Element

*Geographische Bezeichnungen · Die Teilchen von Svjataja Nos · Ein Leben wie eine Seifenblase · Der Streit nimmt zu · Zu Ehren der alten Stämme · Die Entdeckung von Moseley · Auf der Waagschale · Zur Unterstützung ihrer Landsleute · Das Paradoxon · Wo wohnen die Verstreuten? · Die eigenartigen Zwillinge · Sperren und Hindernisse · Schwierigkeiten für die Karriere · Die Frage Hamlets · Die Ansichten muß man überprüfen · Reaktor oder Atombombe? · Produktion ohne Beimengungen · Der Einfluß des Preises · Das Harzwunder · Der Nachteil gegenüber den Konkurrenten · Saphir oder Fianit? · Die Haupteinsatzsphäre*

**B**eim schnellen Überfliegen des Periodensystems kann man einen ausgeprägten Hang zu geographischen Bezeichnungen feststellen. Viele seiner Bewohner erhielten die Bezeichnungen zu Ehren unterschiedlicher Städte, Länder und Kontinente. Es ist jedoch verständlich, daß nicht alle einen geographischen Namen erhalten haben. Von den Erdteilen haben nur Europa und Amerika einen chemischen Namensvetter. Asien war schlechter dabei weggekommen als seine Globusnachbarn, obgleich es dem Erfolg sehr nahe war. Sie werden sich davon überzeugen, wenn Sie sich mit den Ereignissen vertraut machen, die zu Beginn unseres Jahrhunderts in Petersburg vorgekommen sind.

Kurz vor dem 1. Weltkrieg brachte einer der Mitarbeiter des Mineralogischen Labors von der Halbinsel Svjataja Nos das Mineral Ortit nach Petersburg. In diesen Jahren galt die Aufmerksamkeit der Wissenschaftler der Radioaktivität. Da es Gründe für die Annahme gab, daß im Ortit eines der interessantesten radioaktiven Elemente (Thorium) vorhanden war, sollte dieses Mineral einer sorgfältigen Analyse unterzogen werden. Der Leiter des Labors, der Geochemiker Akademiemitglied W. I. Wernadski, übertrug diese Untersuchung seinem Schüler K. A. Nenadkewitsch. Bald danach gelang es ihm, aus dem Ortit Teilchen des angenommenen Thoriums abzuscheiden, obgleich er selbst nicht davon überzeugt war, daß er auch Thorium gefunden hätte.

Auf Anraten von Wernadski bestimmte Nenadkewitsch das Atomgewicht dieses Elements. Es zeigte sich, daß dies bei etwa 178 lag, während das Atomgewicht des Thoriums 232 betrug. Dies bedeutete, daß in Übereinstimmung mit dem Gesetz der Periodizität das aus dem Ortit abgeschiedene Element in der Mendelejewischen Tabelle zwischen Lutetium und Tantal auf dem Gitterplatz Nr. 72 liegen sollte, der zu dieser Zeit noch leer war. Nenadkewitsch berichtete voller Freude seinem Leiter: »Wir haben ein neues Element entdeckt, Vladimir Ivanowitsch!«

Wie groß auch der Wunsch war, über dieses

Ereignis der wissenschaftlichen Welt Mitteilung zu machen, schlug Wernadski seinem Schüler dennoch vor: »Es ist noch zu früh, sich zu freuen, man muß vorher erst 100mal prüfen, ehe man eine Veröffentlichung macht...« Gleichzeitig fragte er: »Woher stammt Ortit?« – »Aus Asien.« – »Dann nennen wir das Element Asium.«

Das Schicksal war dem großen Kontinent nicht hold. Bald darauf begannen der 1. Weltkrieg, die Revolution und der Bürgerkrieg, so daß die Fragen über die Untersuchungen des neuen Elements weit hinaus geschoben werden mußten, und zwar bis zu dem Tage, wo... Aber gehen wir nicht der Zeit voraus, sondern wenden uns anderen Ereignissen zu, die eine direkte Beziehung zu dem beschriebenen Element haben.

Als Mendelejew alle bekannten Elemente im Periodensystem »ansiedelte«, da blieb der Platz Nr. 72 unbesetzt. Man hat nur annehmen können, daß das Atomgewicht des künftigen Besitzers etwa bei 180 liegen wird und er selbst unter dem Zirkonium anzutreffen ist, wobei die Eigenschaften in etwa übereinstimmen, und er in der Natur mit Zirkonium vergesellschaftet vorkommen müsse.

Daß in den Zirkoniumerzen eine unbekannte Beimengung enthalten sein könnte, nahmen viele Wissenschaftler auch schon früher an. Im 19. Jahrhundert wurden einige Veröffentlichungen über das angeblich in den Zirkoniummineralien entdeckte Element bekannt. Die Bezeichnungen dieses Elements änderten sich laufend: Oceanium, Norium, Jargonium, Nigrium, Ekazirkonium. Aber alle lebten sie nur wie Seifenblasen, da eine sorgfältige Überprüfung jedesmal den Schlußfolgerungen der Autoren widersprach.

Die Aufdeckung des Elementes »72« wurde dadurch erschwert, daß sich links an seinen Platz im Periodensystem ein »übervölkertes Wohnheim« anschloß, in dem die Seltenen Erden mit Lanthan an der Spitze wohnten. Damals wußte noch niemand, wieviel Seltene Erden auf der Welt existieren. Rund um das Element Nr. 72 erhoben sich Widersprüche und Streit. Einige Wis-



senschaftler waren nach wie vor der Meinung, daß es ein chemischer Nachbar des Zirkoniums sein sollte, während andere nicht damit einverstanden waren und unterstrichen, daß ein Anwärter für diese Leerstelle seine Herkunft von den Seltenen Erden ableiten müßte.

Im Jahre 1895 trat der Däne Julius Thomsen mit der theoretischen Begründung des erstgenannten Standpunktes auf, aber die Gegner gaben sich nicht geschlagen. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde der Name des französischen Chemikers G. Urbain allgemein bekannt. Er leistete einen nicht unerheblichen Beitrag bei der Erforschung der Seltenen Erdmetalle, so daß das Element Nr. 72 auch für ihn zur aktiven Beschäftigung wurde.

Im Jahre 1907 hat Urbain das Lutetium entdeckt, das in der Tabelle den Platz Nr. 71 einnimmt und die rechte Flanke der Lanthanide schließt. Urbain war der Meinung, daß nach Lutetium noch ein Seltenes Erdmetallelement folgen müßte. 1911 verkündete der Chemiker, daß er in den Erzen der Seltenen Erden das letzte der Familie der Lanthaniden entdeckt hätte, das auch angeblich den leeren Platz Nr. 72 einnehmen sollte. Zu Ehren der alten Stämme der Kelten, die irgendwann das Territorium Frankreichs besiedelt hatten, nannte Urbain dieses Element Keltium.

Zwei Jahre später gelang dem jungen englischen Physiker Henry Moseley eine äußerst wichtige Entdeckung: Er stellte fest, daß die Ladung des Atomkerns – oder mit anderen Worten die Ordnungszahl des Elements – auch auf experimentellem Wege zu bestimmen ist, und zwar auf der Grundlage von Röntgenspektraluntersuchungen. Als Moseley das Keltiumprobestück einer Röntgenspektralanalyse unterzog, konnte er keine Linien beobachten, die im Spektrum auf ein Element Nr. 72 hingewiesen hätten. Moseley kam zu der Schlußfolgerung: »Es gibt kein Keltium! Das Element Urbains ist nur ein Gemisch der bekannten Seltenen Erden.«

Urbain wollte sich nicht mit dem Verlust des Keltiums zufrieden geben und beeilte sich, die

für ihn unangenehmen Resultate der Versuche von Moseley auf dessen unvollkommene Vorrichtung zu schieben. Da im Herbst 1915 bei der Dardanellenschlacht Henry Moseley, der in den Reihen eines britischen Expeditionskorps kämpfte, umkam, konnte er es Urbain nicht widerlegen.

Außerdem stellte der Physiker A. Dauvillier (ein Landsmann Urbains), der auf Bitten Urbains eine sorgfältige Untersuchung durchgeführt hatte, fest, daß im Spektrum einer Mischung aus Lanthaniden zwei unterschiedliche Linien vorkamen, die für das Element Nr. 72 charakteristisch waren, so daß Keltium wieder seine »Staatsbürgerschaft« erhielt.

Die Freude von Urbain dauerte nicht lange, und dazu trug der bedeutende dänische Wissenschaftler Niels Bohr bei. Zu dieser Zeit ließ die Theorie des Atomaufbaus, wie sie von Bohr entwickelt worden war, zu, ein Modell für jedes beliebige Element zu entwerfen. In Übereinstimmung mit dieser Theorie konnte das Element Nr. 72 nicht mit den Seltenen Erden zusammenfallen, sondern es sollte im Gegenteil den Elementen der 4. Gruppe Titan und Zirkonium ähneln.

Damit lagen auf der einen Waagschale die Versuche und Ausführungen Urbains, die durch die Experimente von Dauvillier gestützt wurden, und auf der anderen die Meinung Mendelejews, die Ausführungen Thomsens und Berechnungen Bohrs, die vorläufig noch nicht durch praktische Beweise gestützt worden waren. Wer hatte recht?

Bald konnte die Antwort gefunden werden. Der ungarische Physiker von Hevesy und der holländische Physiker Dirk Coster gaben sie. Angeregt durch die Angaben von Niels Bohr, unternahmen sie den Versuch, das Element Nr. 72 in den Zirkoniummineralen zu finden. Im Jahre 1923 ist es ihnen gelungen, das neue Element im norwegischen Zirkoniumerz festzustellen, und die Röntgenspektralanalyse hat bestätigt, daß die Ladung seines Atomkernes 72 beträgt. Hinsichtlich der chemischen Eigenschaften erwies es



sich, wie Mendelejew, Thomsen und Bohr vorausgesagt hatten, als sehr analog zum Zirkonium. Da die wissenschaftliche Argumentation der Entdeckung makellos war, erschien im Periodensystem die neue Bezeichnung »Hafnium«. Von Hevesy und Coster gaben diese Bezeichnung zu Ehren der altlateinischen Bezeichnung Kopenhagens (Hafnia), wo das Element entdeckt worden war.

Die Fehlerhaftigkeit der Ansichten von Urbain und Dauvillier war nun nicht mehr anzuzweifeln; Keltium wurde aus der Tabelle der Elemente ausgeschlossen und verblieb nur noch in den Annalen der Chemiegeschichte. Obwohl eine Berufung dagegen nicht erfolgte, nannten die französischen Wissenschaftler in dem Bestreben, die Priorität ihrer Landsleute zu wahren, dieses Element Nr. 72 noch nach einem Vierteljahrhundert »Keltium«. Erst im Jahre 1949 erhielt es auf der 15. Konferenz der Internationalen Vereinigung der reinen und angewandten Chemie für immer die neue Bezeichnung.

Somit neigte sich die Waagschale in Richtung der Theorie. Das Periodengesetz Mendelejews und das Elektronenmodell des Atomaufbaus von Niels Bohr feierten einen Sieg. Was aber sah Dauvillier im Spektrum des Gemisches der Lanthaniden? Der Wissenschaftler wollte doch nicht etwa unter der Annahme des voreingenommenen Standpunktes von Urbain ein Geschäft mit dem Gewissen machen? Nichts dergleichen. Dauvillier hat tatsächlich die Linien gesehen, die dem Element Nr. 72 gehören. Manchmal trifft man in der Natur das Hafnium gemeinsam mit den Seltenen Erden. Dies führte zum Irrtum des französischen Physikers.

Nun wird es Zeit, zu dem Anfang unserer Erzählung zurückzukommen. Sie werden sich erinnern, daß im Petersburger Mineralogischen Labor Wernadski und Nenadkewitsch auf die Spur des Hafniums gestoßen waren. Da sie aber die Entdeckung nicht nach allen Regeln des Gesetzes durchgeführt hatten, erhielt das Element seinen Namen nicht zu Ehren Asiens, wie dies Wernadski und Nenadkewitsch vorgeschlagen hat-

ten, sondern zu Ehren der dänischen Hauptstadt, wie dies von Hevesy und Coster wünschten und auch das volle Recht dazu hatten.

Was ist Hafnium? Nur sehr wenige Leser werden dieses silberweiße glänzende Metall schon einmal in den Händen gehalten haben, obgleich seine Vorräte in der Natur nicht als bescheiden zu bezeichnen sind. Es genügt zu sagen, daß Hafnium um das 25fache mehr als Silber und um das 1000fache mehr als Gold vorhanden ist. Gold und Silber hat jeder schon gesehen. Womit läßt sich dieses Paradoxon erklären?

An allem ist die große Verstreutheit des Hafniums schuld. Es ist so in der Erde verstreut, daß man auf der ganzen Welt keine Lagerstätte dieses Elements, jedoch in jedem Zirkonmineral ein bißchen Hafnium findet. Damit könnte Zirkonium, in dem auf 100 Zirkoniumatome durchschnittlich 1 Hafniumatom kommt, in der Industrie als Hafniumrohstoff genutzt werden. Aber zwischen dieser Möglichkeit und dem metallischen Hafnium als Endprodukt liegt ein langer und komplizierter technologischer Weg, und das Zirkonium gestaltet ihn noch komplizierter. Zirkonium und Hafnium sind chemische Zwillinge.

Zirkonium ist im Jahre 1789 entdeckt worden und ist deshalb anderthalb Jahrhunderte älter als Hafnium. Damit gereicht es ihm als Ur-Ur-Ur-Großvater zur Ehre. Und trotzdem kann kein weiteres Paar von Elementen so viel Ähnlichkeit in den chemischen Eigenschaften aufweisen wie Zirkonium und Hafnium. Bis heute ist noch keine Reaktion bekannt, in der nur eines von ihnen reagieren und das andere unbeteiligt bleiben würde.

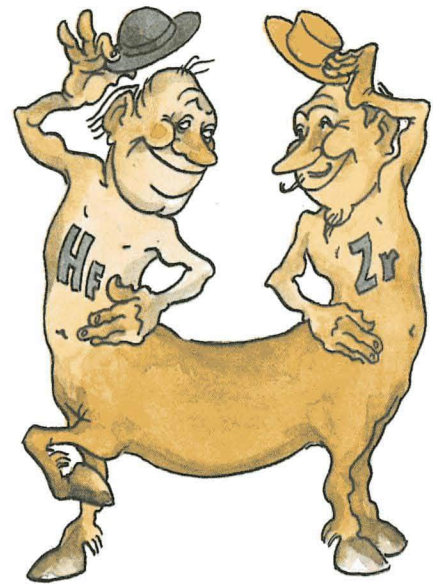
Infolge dieser Ähnlichkeit konnten die Chemiker das Hafnium lange Zeit nicht finden. Deshalb ist es wesentlich jünger als Zirkonium. Es stellt dem Technologen, der bestrebt ist, diese Zwillinge zu trennen, eine Vielzahl von Sperren und Hindernissen in den Weg. Noch vor kurzem waren für die Trennung des Hafniums vom Zirkonium 500 Operationen des Lösens und Kristallisierens notwendig, bedingt durch die



äußerst geringe Differenz der Löslichkeit der Salze dieser Elemente. Deshalb hat sich bis vor etwa 15 Jahren niemand mit der Hafniumerzeugung im industriellen Maßstab beschäftigt. Hafnium war nur für die Wissenschaftler für Forschungszwecke notwendig. Ihnen genügte einige Kilogramm im Jahr. Was das Zirkonium anbelangt, das immer Hafnium enthält, stellt dies keinen großen Schaden dar.

Lange Zeit hat das Hafnium seinen Bruder tatsächlich nicht gestört. Zirkonium verwendet man als korrosionsfesten Werkstoff, und die Hafniumbeimengungen, die ebenfalls den Kampf mit der Korrosion aufnehmen, haben keinen Störfaktor dargestellt. Als aber Zirkonium eine verantwortungsvollere Tätigkeit übernommen hatte und als Verkleidung für die Urankerne in den Kernreaktoren genutzt wurde, konnte die Ähnlichkeit mit dem Hafnium einen Einfluß auf die Karriere ausüben. Trotz der ungewöhnlichen Ähnlichkeit dieser Elemente gehen nämlich die Meinungen in dem Punkt der Neutronendurchlässigkeit auseinander. Wenn Zirkonium praktisch durchlässig für Neutronen ist, dann nimmt im Gegensatz dazu das Hafnium die Neutronen auf. Der Werkstoff, in den das Uran eingekleidet wird, soll kein Hindernis für die Initiatoren der Kernreaktion darstellen. Reines Zirkonium ist dazu wie kein anderes Element geeignet. Die Anwesenheit von nur 2% Hafnium verschlechtert aber die Durchlässigkeit schon um das 20fache.

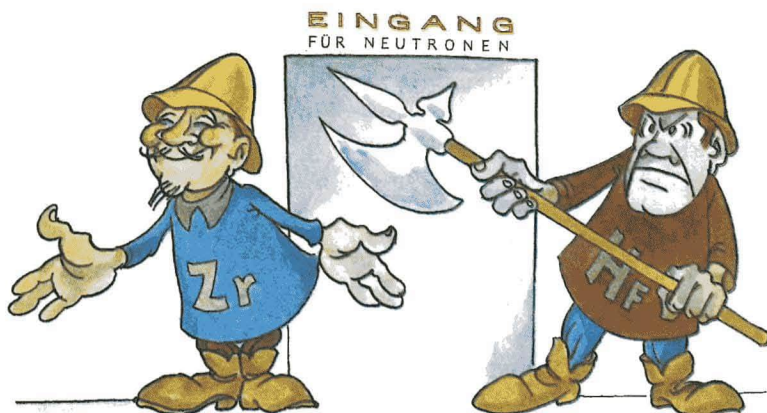
Damit waren die Wissenschaftler gezwungen, sich sehr sorgfältig mit dem Problem der Erzeugung von sogenanntem reaktorreinem Zirkonium zu beschäftigen (Hafniumgehalt  $\leq 0,01\%$ ). 500 technologische Operationen sind für die Industrie nicht geeignet, die Wissenschaft hat einen Ausweg gefunden. Es wurde ein ausreichend effektives und ökonomisches Verfahren zur Reinigung des Zirkoniums von Hafniumbestandteilen gefunden. Hafnium, das bei der Trennung als Hydroxid angefallen war, wurde zunächst als Nebenprodukt angesehen. Bald jedoch mußte man diese Ansicht ändern. Die Technik erforderte auch Hafnium, und wofür? Für den Ein-



satz in der Kerntechnik, wo es erst als »Persona non grata« angesehen wurde.

Kein Reaktor könnte ohne die Regulierungskerne arbeiten, die, indem sie nur begrenzt neutronendurchlässig sind, eine Steuerung des Kernreaktionsverlaufes ermöglichen. Wenn die Regulierungskerne aus der aktiven Reaktorzone entfernt werden, erlangen die Neutronen die Freiheit. Sie beginnen sich sehr schnell zu vervielfachen, und die Reaktion verläuft immer energischer. Die Neutronen muß man aber im Auge behalten. Wenn man ihren Ausbruch nicht zügelt, dann verwandelt sich der Reaktor in eine Atombombe mit allen daraus entstehenden Folgen. Damit dies nicht erfolgt, nehmen die Regulierungskerne die überschüssigen Neutronen auf. Versuchen Sie, ein besseres Mittel für die Neutronenaufnahme als Hafnium zu finden und dann noch mit einer solchen mechanischen Festigkeit und solchem Können der Korrosion und hohen Temperaturen zu widerstehen!

Die Hafniumproduktion nahm also ständig zu. Zu Beginn der 50er Jahre wurden in den USA nicht mehr als 50 kg dieses Metalls gewonnen.



Nach etwa 10 Jahren betrug die jährliche Produktion schon 60 t, wobei nun die Frage nach der Erzeugung von hochreinem Hafnium bereits auf die Tagesordnung gesetzt werden mußte, d. h. von Hafnium ohne schädliche Beimengungen, die seinen Einsatz in der Kerntechnik verhindern.

Wie die meisten neuen Materialien ist Hafnium zur Zeit noch sehr teuer. Nach amerikanischen Angaben liegt der Preis bei dem des Silbers. Dies verhindert einerseits seine breite Anwendung und verlangt andererseits von den Chemikern und Metallurgen, Verfahren zu erarbeiten, die seine Selbstkosten verringern.

Eine sehr zukunftssträchtige Richtung ist dabei die Anwendung von sogenannten Austauschharzen. Wenn man durch eine Säule, die diese Harze enthält, eine Lösung mit Hafnium und Zirkonium durchschickt, dann kann man am Ende in der Lösung kein Hafnium erwarten, denn es ist von den Harzen zurückgehalten worden.

Für Hafnium beginnen sich unterschiedliche Industriezweige zu interessieren. Die Metallurgen sind der Meinung, daß es die mechanischen Eigenschaften anderer Metalle günstig beeinflussen und bei der Schaffung spezieller warmfester Stähle verwendet werden kann. Die Hitzebeständigkeit des Hafniums (Schmelztemperatur über 2200 °C) in Verbindung mit seiner Fähigkeit, Wärme schnell aufzunehmen und abzuge-

ben, schafft die Voraussetzung für seinen Einsatz als Konstruktionswerkstoff für Teile von Düsenantrieben (Turbinenschaufeln, Ventilen, Düsen usw.). Es hat aber auch einen Nachteil. Hafnium ist ein wenig zu schwer, doppelt so schwer wie Zirkonium und dreimal schwerer als Titan, und mit solchen Leichtgewichten wie Beryllium kann man es gar nicht vergleichen. Im chemischen Apparatebau kommt dieser Nachteil nicht so stark zum Tragen, sondern hier wirkt die hohe Korrosionsbeständigkeit des Hafniums sehr vorteilhaft.

Man darf auch nicht den Einsatz des Hafniums in der Elektro- und Radiotechnik vergessen. Man verwendet es für die Erzeugung von Röhren für Radios, Fernseh- und Röntgengeräte. Ein Zusatz von Hafniumoxid zu Wolfram erhöht die Lebensdauer der Glühfäden. Andere Hafniumverbindungen, insbesondere Nitrid und Karbid, das erst bei etwa 4000 °C schmilzt, nehmen zweifelsohne einen Ehrenplatz in der Liste der besonders verdienstvollen Feuerfestmaterialien ein.

Vor einigen Jahren erschienen in den Zeitungen und Zeitschriften neue Begriffe – Fianite. So nannten die Wissenschaftler des Physikalischen Instituts »P. N. Lebedew« der Akademie der Wissenschaften der UdSSR die von ihnen entdeckten Edelsteine, synthetische Einkristalle des Zirkonium- und Hafniumdioxides. Die mit allen



Farben des Regenbogens spielenden Fianite (Zusätze unterschiedlicher Elemente erlauben es, Kristalle mit praktisch allen Farben zu erhalten) sind hinsichtlich der Schönheit nicht schlechter als Saphir, Topas, Aquamarin, Granat und andere wundervolle Edelsteine der Natur. Das schöne Äußere ist nicht der einzige Vorteil dieser Fianite. Sie besitzen eine Reihe universeller Eigenschaften: einen hohen Brechungsindex (fast wie Diamant), Härte, Warmfestigkeit und chemische Beständigkeit. Wenn man dabei berücksichtigt, daß die Fianite nicht sehr teuer sind, dann wird auch ihre Popularität verständlich, die sie sehr schnell in der Wissenschaft und Technik erlangt haben. Aus ihnen werden optische Linsen, Prismen und Fenster hergestellt, die

bei hohen Temperaturen und chemisch aggressiven Bedingungen einsetzbar sind.

Eine besonders »ehrenvolle« Aufgabe ist es für die Fianite, als Lasermaterial angewendet zu werden.

Sie erkennen, daß das Hafnium und seine Verbindungen eine nicht geringe Einsatzsphäre besitzen. Und trotzdem wird die Kerntechnik, die heute über 90 % des produzierten Hafniums verbraucht, auch in der Zukunft das Monopol für den Verbrauch dieses Metalls innehaben. Eines der wichtigsten Materialien in einer der bedeutendsten Anwendungssphären der Technik zu sein, darum kann es von den anderen Metallen beneidet werden.

# Re

## Rhenium

### Das Geheimnis der alten Halden

*Ein günstiger Vorschlag? · Die Anwärter auf die Leerstellen · Chemische Imitationen · Die Suche nach den Nichtgreifbaren · Die Zweifel des Wissenschaftlers · Das Appartement ist besetzt · Das letzte natürliche Element · Ein einzigartiger Fluß · Das Anbohren des Erdkernes · Was kostet ein Pfund Rhenium? · Das ungewöhnliche Oktett · Das Wunder des Zauberers · Die Vorgänge an den Korngrenzen · Wunderfäden · Belegte Kontakte · Die Hilfe der EDV · Das Schutzhemd · Steigerung durch Katalyse*



**A**m Ende der 20er Jahre unseres Jahrhunderts wandte sich eine große ausländische Firma an den Direktor eines der Werke für Buntmetalle in Sibirien mit einem wie es schien sehr günstigen Vorschlag. Sie bat um den Verkauf der alten Halden tauben Gesteins für eine ansprechende Summe.

»Nicht umsonst interessieren sich die Ausländer für die Produktionsabfälle«, dachten die Mitarbeiter des Buntmetallbetriebes. Man mußte herausfinden, warum. Die Betriebschemiker nahmen eine sorgfältige Untersuchung der alten Halden vor. Bald wurde klar, daß das »taube« Gestein das seltene Metall Rhenium enthielt, das kurz vor dem beschriebenen Ereignis gefunden worden war. Da die Weltproduktion an Rhenium in dieser Zeit nur in Gramm gezählt wurde, war der Preis für seine Erzeugung unwahrscheinlich hoch. Es ist verständlich, daß die Vertreter der ausländischen Firma bereit gewesen sind, etwas zu spendieren, wenn sie nur die wertvollen Halden bekämen. Zu ihrem großen Bedauern hat das Geschäft aufgrund verständlicher Ursachen nicht stattfinden können.

Was stellt Rhenium dar, und worauf war das gestiegene Interesse zurückzuführen?

Die Priorität der Entdeckung dieses Metalls gehört dem Wissenschaftlerehepaar Ida und Walter Noddack. Bereits im Jahre 1871 hat D. I. Mendelejew vorausgesagt, daß in der Natur unbedingt zwei chemische Analoga des Mangans existieren, die im Periodensystem unter dem Mangan angeordnet werden müssen und die noch freien Stellen Nr. 43 und 75 einnehmen sollten. Mendelejew nannte diese Elemente bedingt Eka-Mangan und Dwi-Mangan.

Anwärter auf die freien Stellen gab es mehr als genug. Die Geschichte der Chemie bewahrt eine Vielzahl von Mitteilungen über die Entdeckung neuer Elemente, die nach einer sorgfältigen Prüfung wieder abgelegt werden mußten. So war es auch mit den Analoga des Mangans. In der Rolle von Erstentdeckern dieser rätselhaften Unbekannten traten viele Chemiker der unterschiedlichsten Länder auf, aber die von ihnen »ent-

deckten« Elemente (Ilmenium, Davium, Luzium, Nipponium) konnten nur in die Geschichte der Wissenschaft eingehen, nicht aber die Leerstellen im Periodensystem einnehmen. Eines von ihnen (Davium), entdeckt von dem russischen Wissenschaftler S. Kern im Jahre 1877 und benannt zu Ehren des bekannten englischen Chemikers Davy, hat eine Reaktion gezeigt, die man in unserer Zeit in der analytischen Chemie für den Nachweis des Rheniums benutzt. Vielleicht hatte Kern tatsächlich einige Stückchen dieses silberdunklen Metalls in den Händen, das nach einem halben Jahrhundert offiziell unter der Bezeichnung Rhenium das Licht der Welt erblickte? Wie dem auch gewesen sein mag, für die Plätze Nr. 43 und 75 blieben die Fragezeichen erhalten.

Die Periode des Unbekanntseins dauerte so lange, bis sich in die Suche nach den nichtgreifbaren Elementen der deutsche Chemiker Walter Noddack sowie Ida Tacke einschalteten, die offensichtlich bald darauf beschlossen, die Arbeit dadurch erfolgreicher zu gestalten, daß sie die wissenschaftliche Vereinigung durch den Eheband besiegelten.

Das erste Untersuchungsobjekt, mit dem sie im Jahre 1922 begannen, waren Platinerze. Mit diesen zu experimentieren erwies sich als sehr kostspielig, und die Wissenschaftler mußten auf ein einfacheres Material übergehen. Außerdem ließen die theoretischen Arbeiten, die die Ehegatten parallel zu den Versuchen durchgeführt hatten, den Schluß zu, daß sich die gesuchten Elemente Nr. 43 und 75 in der Natur in den Mineralien des Typs Kolumbit versteckt hielten. Die Theorie erlaubte es den Wissenschaftlern, den ungefähren Gehalt in der Erdkruste zu berechnen. Es zeigte sich, daß auf jedes solches Atom eine Milliarde Atome anderer Vertreter der chemischen Welt kamen.

Damit ist es auch nicht verwunderlich, daß die Plätze Nr. 43 und 75 so lange leer blieben, wobei die zukünftigen Bewohner eine ganze Generation von Chemikern jener Zeit an der Nase herumführten.

Die Versuche des Ehepaars Noddack beeindruckten durch ihre ungeheuren Ausmaße. Im Verlaufe eines Jahres durchsuchten sie mit Hilfe der erst ausgearbeiteten Röntgenspektralanalyse etwa 1700 Erdminerale und 60 Ankömmlinge aus dem Kosmos (Meteoriten). Diese riesige Arbeit war von Erfolg gekrönt: 1925 berichteten die Wissenschaftler, daß sie im Kolumbit zwei neue Elemente, Masurium (Nr. 43) und Rhenium (Nr. 75), gefunden hatten.

Die Erklärung über eine Entdeckung ist aber noch nicht alles. Man muß ihre Richtigkeit auch jenen beweisen, die die Entdeckung der neuen Elemente in Abrede stellen. Einer der Wissenschaftler, der daran zweifelte, daß anstelle der Fragezeichen im Periodensystem von Mendelejew nun die Symbole Ma und Re einzusetzen waren, war der bekannte deutsche Chemiker Wilhelm Prandtl. Als bedeutender Theoretiker und ausgezeichneter Experimentator nahm er eine erbitterte Diskussion mit dem Ehepaar Noddack auf. Dieses war seinerseits bereit, um jeden Preis sein Prestige zu verteidigen. Am Ende ging dieser Kampf, den die wissenschaftliche Welt mit Interesse verfolgte, unentschieden aus. Überzeugende Beweise bezüglich des Masuriums konnte das Ehepaar Noddack nicht bringen. Dafür existierte aber Rhenium nicht nur auf den Rönt-

genogrammen. Im Jahre 1926 waren 2 mg des neuen Elements abgeschieden worden, und nach einem Jahr waren es 120 Milligramm.

Auch die Arbeiten anderer Wissenschaftler, des Engländers F. Loring, der Tschechen Druce, Heyrovský und Dolejšek (sie stellten unabhängig und nur etwas später als das Ehepaar Noddack das Element Nr. 75 in Manganerzen fest) bezeugten unwiderruflich, daß tatsächlich der Bewohner des entsprechenden Appartements im Periodensystem gefunden worden war.

Rhenium erwies sich als das letzte Element, das in natürlichen Materialien festgestellt worden war. Im weiteren gelang es zwar, noch einige weitere leere Plätze im Periodensystem der Elemente von Mendelejew aufzufüllen, aber diese Bewohner waren zunächst auf künstlichem Wege erzeugt worden, d. h. mit Hilfe der Kernreaktion. Als erstes von diesen wurde das ehemalige Masurium, das Element Nr. 43, im Jahre 1937 von den italienischen Wissenschaftlern E. Segré und K. Perier unter der Bezeichnung »Technetium« (was auch griechisch »künstlich« bedeutet) eingeführt.

Aber kehren wir zum Rhenium zurück. Seinen Namen verdankt das Element dem Rhein. Das Rheinland ist die Heimat der Wissenschaftler Noddack. Hier erblickte auch das Rhenium das



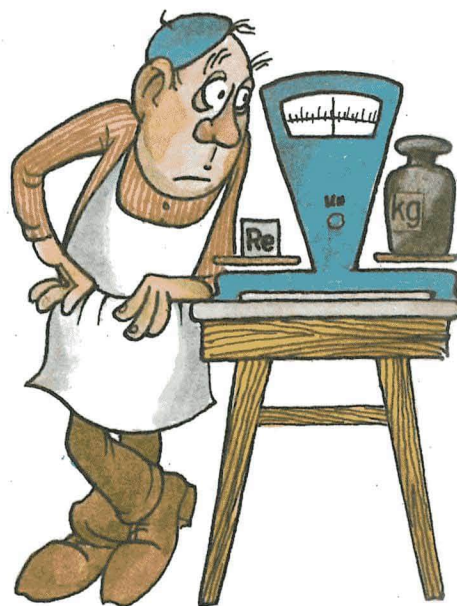


Licht der Welt. Man kann feststellen, daß kein anderer Fluß unseres Planeten von den Chemikern und Physikern mit solch einer Ehre bedacht worden ist. Die industrielle Erzeugung des neuen Metalls entfaltete sich in den 30er Jahren in Deutschland auf der Basis von Nebenprodukten der Kupferverhüttung, die einen Rheniumgehalt von etwa 50 g/t aufwiesen. Das ist zwar nur eine Prise auf einen Haufen Erz, aber für Rhenium kann man eine solche Konzentration als ungewöhnlich hoch ansehen. Sein durchschnittlicher Gehalt in der Erdrinde ist um das 50000fache niedriger. Es gibt nur wenige Elemente, die in der Natur noch weniger vorhanden sind als Rhenium.

Die Häufigkeit der chemischen Elemente wird oftmals zur besseren Verdeutlichung in Form einer Pyramide dargestellt. Die breite Basis liefern dabei die Stoffe Sauerstoff, Silizium, Aluminium, Eisen und Kalzium, an denen die Erde reich ist, während Rhenium in der äußersten Spitze angesiedelt werden muß.

Nach Akademiemitglied Fersman ist für Rhenium ein Hang zu jenen Zonen der Erde charakteristisch, die näher an ihrem Kern liegen. Es ist möglich, daß die Geologen eines Tages bis in den Kern unseres Planeten vordringen und die Zeitungen der ganzen Welt dann die Sensationsnachricht veröffentlichen, daß dort der mächtigste Fundort für Rhenium entdeckt worden ist und nun abgebaut werden kann.

Das Interesse für Rhenium wächst kontinuierlich. Es erwies sich als eines der schwersten Metalle. Es ist um das 3fache schwerer als Eisen. Nur Osmium, Iridium und Platin übersteigen bezüglich der Dichte das Rhenium. Sein charakteristischstes Merkmal ist die hohe Temperaturbeständigkeit. Der Schmelzpunkt liegt bei 3 180 °C und ist damit nur wenig geringer als der des Wolframs. Seine Verdampfungstemperatur ist so hoch, daß bis heute noch kein eindeutiger Wert gefunden worden ist. Man kann nur sagen, daß die Verdampfungstemperatur etwa bei 6000 °C liegt (lediglich Wolfram verdampft etwa bei der gleichen Temperatur).



Eine weitere Eigenschaft dieses Metalls ist sein hoher elektrischer Widerstand.

Nicht weniger interessant sind die chemischen Eigenschaften des Rheniums. Kein anderes Element des Periodensystems kann sich rühmen, ähnlich wie Rhenium 8 unterschiedliche Oxide, ein »Oktett« der Oxide zu besitzen, wobei sich die Wertigkeit des Rheniums von -1 bis +7 ändert. Damit ist es das einzige Metall, das die Fähigkeit besitzt, Ionen zu bilden (sogenannte »Rhenium-Ionen«), in denen das Metall einwertig negativ auftritt.

Rhenium ist sehr beständig an der Luft. Bei Raumtemperatur bleibt seine Oberfläche über 10 Jahre glänzend. In dieser Beziehung können nur Gold, Platin und die anderen Vertreter der Edelmetallfamilie konkurrieren.

Wenn man alle Metalle hinsichtlich ihrer Korrosionsbeständigkeit bewerten würde, dann müßte Rhenium in dieser Rangtabelle einen Ehrenplatz erhalten. Selbst die aggressivsten Säuren – Flußsäure, Salzsäure und Schwefelsäure – sind nicht in der Lage, es anzugreifen. Gegen-

über Salpetersäure muß aber auch Rhenium passen.

Wie Sie sehen, ist das Verhalten des Rheniums sehr unterschiedlich. Vielseitig ist auch sein Schaffen in der modernen Technik. Eine wichtige Rolle spielt Rhenium bei der Erzeugung verschiedener säure- und warmfester Legierungen. Die Technik des 20. Jahrhunderts stellt immer höhere Anforderungen an die Eigenschaften der Konstruktionsmaterialien. Es ist möglich, daß ein Zauberer für die Erzeugung einer Legierung mit beliebig vorgegebenen Eigenschaften nur zwei oder drei Haare aus seinem Bart ziehen müßte. Die Wissenschaftler, die des Zauberns nicht kundig sind, müssen viele Jahre daran arbeiten. Auf alle Fälle haben sich die warmfesten Legierungen dieses Metalls mit Wolfram und Tantal die Anerkennung der Konstrukteure erworben. Nur wenige Metalle behalten bei Temperaturen bis 3000 °C ihre wichtigen mechanischen Eigenschaften. Dies stellt für Rhenium kein Problem dar.

Besonderes Interesse ruft der sogenannte »Rheniumeffekt« hervor, der die positive Beeinflussung der Eigenschaften von Wolfram und Molybdän umfaßt. Diese beiden schwerschmelzenden Metalle, die hohe Temperaturen nicht fürchten und dabei eine bedeutende Belastung ertragen, führen sich unter normalen Bedingungen (und erst recht bei Frost) sehr eigenartig auf. Sie sind spröde und zerspringen bei einer Schlagbeanspruchung wie Glas. Es zeigt sich, daß in Verbindung mit Rhenium Wolfram und Molybdän Legierungen bilden können, die ausgezeichnete mechanische Kennwerte besitzen und deren Plastizität bei normalen und tiefen Temperaturen hervorragend ist.

Das Wesen des »Rheniumeffektes« ist noch nicht ausreichend erforscht. Die Wissenschaftler sind der Meinung, daß seine Ursache in folgendem zu suchen ist. Während der Herstellung von Wolfram und Molybdän erfolgt oftmals eine »Kohlenstoff-Infektion«. Da im festen Zustand diese Metalle den Kohlenstoff absolut nicht aufnehmen, bleibt diesem nichts anderes übrig, als

sich in Form eines dünnen Karbidfilmes an den Kristallgrenzen abzulagern. Diese Filme machen das Metall spröde. Zu Rhenium hat der Kohlenstoff ein völlig anderes Verhalten. Wenn man es zu Wolfram oder Molybdän zugibt, dann gelingt es ihm, den Kohlenstoff von den Korngrenzen zu entfernen und in den Mischkristall einzulagern, wo er praktisch unschädlich ist. Damit gibt es für die Sprödigkeit des Metalls keine Basis mehr, und es wird plastisch. Deshalb kann man aus Legierungen des Wolframs oder Molybdäns mit Rhenium Folien oder Drähte herstellen, die um das Mehrfache dünner sind als Menschenhaare.

Für supergenaue Navigationsvorrichtungen, die die Kosmonauten, Flieger, Seeleute und andere verwenden, sind dünnste (mit Durchmessern von nur Zehntel Mikrometer) und unwahrscheinlich feste metallische Drähte notwendig, die am günstigsten aus einer Molybdän-Rhenium-Legierung (50 % Re) gefertigt werden.

Heute findet man auf der Erde nur noch wenige Eckchen, in die die Elektrizität noch nicht Eingang gefunden hat. In der Industrie und in der Landwirtschaft, im Transport und im Haushalt arbeitet eine unzählige Menge von Elektrogeräten. Die Vielzahl der Geräte bedeutet aber auch eine Vielzahl von Schaltern und Kontakten. Bei der Arbeit des Schalters tritt in ihm ein winziger Lichtbogen auf, den man nicht als harmlos ansehen darf. Langsam, aber sicher zerstört er den elektrischen Kontakt.

Besonders wichtig ist es, die Haltbarkeit der Kontakte dort zu steigern, wo hohe Temperaturen und Feuchtigkeit herrschen und die Wahrscheinlichkeit ihrer Zerstörung zunimmt. Deshalb suchen die Wissenschaftler ständig neue haltbare, warmfeste Materialien für die Herstellung von Kontakten. Lange Zeit wurde nicht ohne Erfolg Wolfram für diese Zwecke genutzt. Als die Kennwerte des Rheniums bekannt wurden, stellte sich heraus, daß die Rheniumkontakte besser sind als die aus Wolfram. Die Wolframkontakte hielten z. B. bei gemeinsamem Angriff von Vibration und tropischen Temperatu-



ren nur einige Tage. Rheniumkontakte dagegen arbeiteten unter den gleichen Bedingungen Monate und manchmal Jahre.

Aber woher soll man soviel Rhenium auftreiben, um den Bedarf der elektrotechnischen Industrie zu befriedigen? Die Versuche haben gezeigt, daß man die Kontakte nicht unbedingt aus reinem Rhenium herstellen muß. Es genügt, wenn man Wolfram nur ein wenig dieses Metalls zugebt, um den gleichen Effekt zu erzielen. Dadurch kann der Rheniumverbrauch um das Vielfache gesenkt werden; ein Kilogramm reicht für 10000 Kontakte.

Eine der Wolfram-Rhenium-Legierungen, die in der sowjetischen Industrie erzeugt wird, fand Eingang in mehr als 50 Elektrovakuumgeräte. Der Einsatz dieses Materials als Katode in einer Elektronenröhre erhöht ihre Lebensdauer bis auf 16000 h. Das bedeutet, daß bei einer durchschnittlichen täglichen Laufdauer eines Fernsehers von 4 h die Katode eine Haltbarkeit von 12 Jahren aufweist.

Sehr gute Eigenschaften weisen auch die anderen Rheniumlegierungen mit Niob, Nickel, Chrom und Palladium auf. Geringe Rheniumzusätze erhöhen z. B. die Schmelztemperatur einer Chrom-Nickel-Legierung um 200 bis 250 °C.

Der breite Bereich der Eigenschaften erklärt auch die unterschiedlichsten Anwendungssphären dieses Metalls: vom hochempfindlichen Thermoelement, das die Temperaturen des geschmolzenen Stahls nicht fürchtet, bis zum endlos haltbaren Federhalter, den Lagern der Kompaßnadel und vielen anderen Teilen, die lange Zeit eine hohe Härte, Festigkeit und Verschleißfestigkeit bewahren sollen.

Die Zahl der Legierungen des Rheniums mit anderen Metallen nimmt ständig zu, wobei heute bei der Auswahl von Legierungspartnern die Rechentechnik den Metallkundlern eine große Hilfe erweist. Mit Hilfe der Rechentechnik sind schon viele Eigenschaften der binären Rheniumlegierungen vorausgesagt worden.

Für den Kampf gegen die Korrosion, den ewigen Feind der Metalle, wurden von den Wissen-

schaftlern schon viele Verfahren erarbeitet. Verchromen, Vernickeln und Verzinken sind schon lange Zeit im Einsatz, während das Verrhenium ein relativ neuer Prozeß ist. Ein dünner Rheniumüberzug findet bezüglich der Haltbarkeit keine Konkurrenten. Er schützt sicher die Teile vor dem Angriff von Säuren, Laugen, Meerwasser, Schwefelverbindungen und vielen anderen gefährlichen Stoffen. Diese Möglichkeit nutzt man z. B. für Behälter und Tanks zum Transport von Salzsäure.

Das Verrhenium verlängert auch die Haltbarkeit der Wolframfäden in den Glühbirnen um das Vielfache. Nach der Erzeugung des Vakuums verbleiben in den Glühbirnen unvermeidlich Spuren von Sauerstoff und Wasserdampf. Sie sind auch immer in gasgefüllten Lampen vorhanden. Auf Wolfram üben diese »ungebetenen Gäste« eine zerstörende Wirkung aus. Wenn man aber die Glühfäden mit einer dünnen Schicht aus Rhenium überzieht, dann sind Wasserstoff und Wasserdampf nicht mehr in der Lage, Wolfram anzugreifen. Dabei ist der Rheniumverbrauch ganz gering. Aus einem Gramm kann man hundert Meter mit Rhenium überzogene Wolframfäden herstellen.

Ein neues und sehr wichtiges Anwendungsgebiet für Rhenium stellt die Katalyse dar. Das metallische Rhenium und viele seiner Verbindungen (Oxide, Sulfide und Perrhenate) und Legierungen erweisen sich als ausgezeichnete Katalysatoren für die unterschiedlichsten Prozesse: Oxydation von Ammoniak und Methan, Umwandlung von Äthylen in Äthan, Herstellung von Aldehyden und Ketonen aus Alkohol und das Cracken von Erdöl. Der vielversprechendste Katalysator ist pulverförmiges Rhenium, das eine große Wasserstoffmenge und andere Gase aufnehmen kann. Nach Ansicht der Fachleute wird in den nächsten Jahren für die Katalyse die Hälfte des Rheniums verbraucht werden, das in der ganzen Welt gefördert wird.

Wie Sie sich überzeugt haben, droht dem Rhenium keine »Arbeitslosigkeit«. Aber als Hindernisse auf dem Wege eines breiten Einsatzes in der

Technik erweisen sich die Seltenheit und Verstreutheit dieses Elementes in der Natur und die hohen Kosten. Rhenium ist doppelt so teuer wie Gold. Trotzdem nimmt die Nachfrage nach diesem Metall ständig zu, wobei besonders in den letzten Jahren eine Steigerung zu verzeichnen war, seit sich die Schöpfer der Raketentechnik für dieses Metall zu interessieren begannen.

Im Jahre 1960 kamen in das Forschungsinstitut für Metallurgie »A. A. Baikow« der Akademie der Wissenschaften der UdSSR ausländische Gäste. Man könnte meinen, daß dieses für die Mitarbeiter eines Institutes mit Weltbedeutung nichts Besonderes darstellt, denn hier ist man an den Besuch von ausländischen Kollegen aus vielen Ländern gewöhnt. Als Gäste aber, von denen hier die Rede ist, war ein schon etwas

weißhaariges Ehepaar erschienen, das besondere Aufmerksamkeit verdient. Es waren die Eheleute Noddack, die nach Moskau gekommen waren. Sie gingen sehr lange durch die Zimmer und Korridore des Laboratoriums für seltene und höchstschmelzende Metalle und Legierungen.

Ihr Interesse war verständlich, denn die Wissenschaftler dieses Labors beschäftigten sich schon viele Jahre unter der Leitung des korrespondierenden Mitglieds der Akademie der Wissenschaften der UdSSR E. M. Sawitzkij mit dem Rhenium.

Sie haben bereits viele interessante Ergebnisse und neue Möglichkeiten seiner Nutzung gefunden, so daß sich das Ehepaar Noddack um das weitere Schicksal ihres »Kindes« keine Sorgen zu machen braucht.



# Os

## Osmium

### Die »Beleidigung« eines Edelmetalls

*Welcher Name paßt? · Die große Beleidigung · Die Suche veranstalten Kenner · Der Geruch von Chlor und Rettich · Eine edle Herkunft · Alles wird an seinen Platz gestellt · Ein zweifelhafter Ruhm · Wie teuer ist Osmium? · Die Härte wird ausgenutzt · Verschiedene Verwendungen · Das untrennbare Duett · Erfolgreiche Versuche · Der große Bedarf · Achtung! Gift! · Die Löslichkeit in Wasser · Welches Fluorid entsteht? · Das Problem der Arbeitsvermittlung · Osmium geht in die Falle*

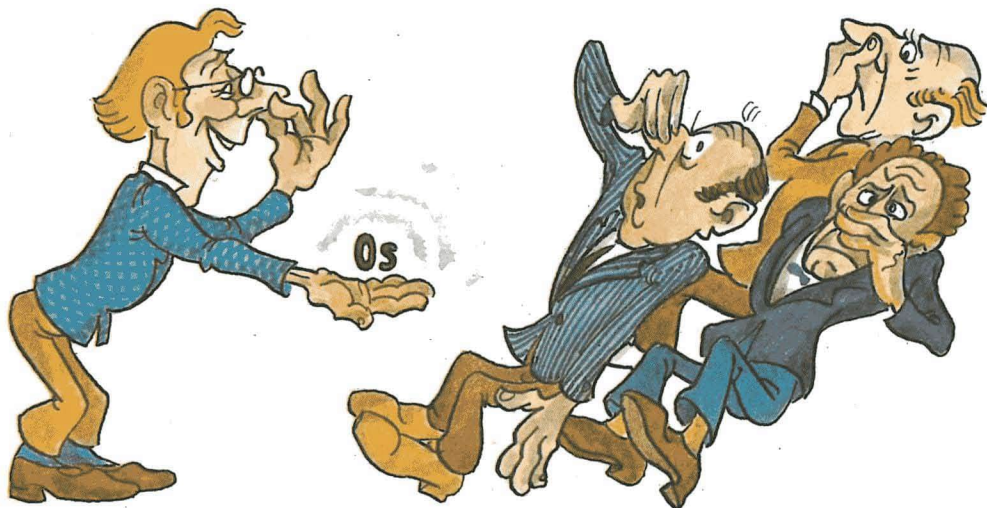
Wir wissen nicht, ob der englische Chemiker Smithson Tennant lange über die Namensgebung der beiden von ihm im Jahre 1804 entdeckten Elemente nachgedacht hat. In der Übersetzung aus dem Griechischen heißt Osmium Gestank. Man kann sich vorstellen, daß eine solche Bezeichnung für ein Edelmetall (Osmium trägt als Vertreter der Platingruppe zu vollem Recht diesen Titel) nicht gerade eine Zier ist. Wenn man berücksichtigt, daß seine unmittelbaren Nachbarn mit Palladium (zu Ehren des Gottes Afina Pallada), Iridium (griechisch »Regenbogen«), Rhodium (»Rose«) und Ruthenium (von der lateinischen Bezeichnung Rußlands abgeleitet) bezeichnet werden, dann wird die Beleidigung noch gravierender.

Warum war Tennant so unfreundlich zu seinem »Patentkind«? Bevor wir auf diese Frage eine Antwort geben, wenden wir uns einem Ereignis zu, das vor der Entdeckung des Osmiums stattgefunden hat.

Im Jahre 1804 berichtete der bekannte englische Wissenschaftler William Wollaston, der schon vorher die wissenschaftliche Welt hatte aufhorchen lassen (Einzelheiten dazu wurden im Kapitel über das Palladium dargestellt), auf

einer Sitzung der Königlichen Gesellschaft, daß er bei der Analyse von Rohplatin in ihm zwei vorher nicht bekannte Metalle, die er mit Palladium und Rhodium bezeichnete, festgestellt hatte. Beide wurden in dem Teil des Platins gefunden, der sich in Königswasser auflösen ließ, und bei dieser Wechselwirkung blieb noch ein unlöslicher Rückstand übrig. Dieser zog wie ein Magnet viele Chemiker an, die zu Recht vermuteten, daß sich in ihm irgendein unbekanntes Element verbarg.

Die Franzosen Collet-Descotils, Fourcroy und Vauquelin waren dem Erfolg schon sehr nahe. Sie bemerkten nicht nur einmal, daß bei der Lösung von Rohplatin in Königswasser ein schwarzer Rauch aufstieg und beim Schmelzen des unlöslichen Rückstandes in Ätzkali sich Verbindungen bildeten, die sich auflösen ließen. Fourcroy und Vauquelin nahmen an, daß das versteckte Element teilweise in Form von Rauch entweicht und ein anderer Teil, der sich nicht durch ein solches Verfahren entfernen läßt, dem Angreifer erheblichen Widerstand entgegensetzt und nicht in ihm gelöst werden kann. Die Wissenschaftler beeilten sich, dem neuen Element den Namen »Pten« zu geben.





Dieser Name flatterte wie ein Schmetterling umher und verschwand nach einem Sommer, da bald darauf Tennant »Pten« abscheiden konnte und es sich als eine natürliche Legierung aus zwei unterschiedlichen Metallen erwies. Eines von ihnen nannte der Wissenschaftler Iridium (nach der Vielzahl der Farben des Salzes) und das andere Osmium, da dessen vierwertiges Oxid, wenn es sich in wäßriger oder saurer Lösung befand, bei der Reaktion mit Lauge einen unangenehmen, aufreizenden Geruch freisetzte, der an den Geruch von Chlor und Rettich erinnerte. Das gleiche galt auch für das Osmiridium, wie man das ehemalige »Pten« in Zukunft nannte. Später ist klar geworden, daß auch das Metall in der Lage ist, ein ähnliches »Aroma« freizusetzen, allerdings etwas schwächer. Feingemahlenes Osmium oxydiert langsam an Luft und wandelt sich in sein Anhydrid um. Offensichtlich konnte sich auch Tennant nicht mit diesem Geruch befreunden, und so beschloß er aus vollem Herzen, in der Bezeichnung des von ihm entdeckten Elements seinen ersten starken Eindruck zu verewigen. Wodurch zeichnet sich unser Titelheld aus? Zu allererst durch seine edle Herkunft, wie dies bereits gesagt worden ist. Schauen Sie auf das Periodensystem! In seinem rechten Teil halten sich abgesondert die Elemente der Platinfamilie auf, die aus zwei Dreiergruppen besteht. In die obere Gruppe gehen die leichten Platinmetalle Ruthenium, Rhodium, Palladium ein (alles in der Welt ist relativ: Jeder Vertreter dieser Troika ist um das Anderthalbfache schwerer als Eisen). In der zweiten Triade versammeln sich die Schwergewichtigen – Osmium, Iridium und Platin. Es ist interessant, daß die Wissenschaftler lange Zeit in Richtung zunehmenden Atomgewichts als Reihenfolge Platin / Iridium / Osmium annahmen. Als aber Mendelejew sein Periodensystem schuf, mußte er sehr sorgfältig prüfen, präzisieren und zeitweise auch korrigieren sowie das Atomgewicht richtigstellen. Für einen allein war eine solche Aufgabe nicht leicht, so daß Mendelejew für diese Arbeiten noch andere Chemiker gewinnen mußte. Als man ihm die



Mitarbeit Lermontows empfahl, der nicht nur ein ausgezeichneter Poet, sondern auch ein hochqualifizierter Chemiker war, bat ihn der Wissenschaftler, das Atomgewicht der Elemente Platin, Iridium und Osmium zu präzisieren. Nach seiner Meinung sollte Osmium das geringste Atomgewicht und Platin das schwerste haben. Eine Serie genauer Untersuchungen bestätigte die Richtigkeit des Vorschlages von Mendelejew. Damit war die noch heute gültige Reihenfolge in der Triade festgelegt.

Osmium hat die Rekorddichte unter allen Bewohnern des Periodensystems von  $22,5 \text{ g/cm}^3$ . Um ein Gewicht aus diesem Metall auszugleichen, benötigt man 40 Gewichte gleichen Volumens von seinem Antipoden, dem Lithium. Eine normale Flasche, gefüllt mit Osmiumpulver, wäre schwerer als ein Eimer Wasser.

Wie einzigartig auch diese Qualität des Osmiums ist, so wird sie doch noch nicht in der Technik ausgenutzt. Im Gegensatz zur Schwermelzbarkeit, Härte, Festigkeit und zu anderen wertvollen Eigenschaften des Metalls bringt die große Dichte seinem Besitzer keine Lorbeeren ein. Analogien lassen sich auch im Leben finden. Die Leute bewundern Kraft und Schnelligkeit, aber ein gigantisches Gewicht oder Größe eines

Menschen ruft nur Verwunderung oder Interesse hervor.

Osmium hat aber auch noch andere Qualitäten, die einfach eine Verehrung erfordern. Nicht zufällig ist Osmium das teuerste unter den Edelmetallen, obgleich es am »unedelsten« von ihnen ist (es ist uns schon bekannt, daß feingemahlenes Osmium nicht imstande ist, dem Sauerstoff der Luft selbst bei Raumtemperatur zu widerstehen, während seine »Angehörigen« sich vor allem durch ihre hohe chemische Beständigkeit auszeichnen). Wenn 1966 Platin auf dem Weltmarkt um das 4,3fache teurer als Gold war und Iridium sogar um das 5,3fache, dann betrug der entsprechende Koeffizient für Osmium 7,5. Die Hauptschuld daran trägt die Natur, die nicht nur keine Osmiumlagerstätten angehäuft hat, sondern auch noch in der Lage ist, das Osmium so zu verstecken, daß seine Förderung nicht lohnt ( $5 \cdot 10^{-6}$  % der Masse der Erdkrinde). Wenn die Weltproduktion der meisten Metalle nach tausend und sogar Millionen Tonnen abgerechnet



wird, dann ist dies bei Osmium nach Kilogramm der Fall.

Einer der größten Vorteile des Osmiums ist seine große Härte. In dieser Beziehung können nur wenige Metalle mit ihm konkurrieren. Deshalb werden bei der Schaffung von Legierungen mit hoher Verschleißfestigkeit bestimmte Osmiumanteile zugesetzt. Ein Füllfederhalter mit Goldfeder ist keine Seltenheit. Gold ist aber ein weiches Metall, wohingegen die Feder nach Ansicht seines Besitzers viele Kilometer auf dem Papier zurücklegen soll. Papier ist natürlich keine Feile oder Schmirgel, aber eine solch lange Prüfung würden nicht sehr viele Metalle aushalten. Trotzdem kommen die Endstücke der Federn mit solch einer schwierigen Rolle zurecht. Jedoch wie? Das Geheimnis ist leicht zu lüften: Diese Endstücke werden in der Regel aus einer Legierung des Osmiums mit anderen Platinmetallen hergestellt, am häufigsten aus der uns schon bekannten Legierung Osmiridium. Man kann ohne Übertreibung feststellen, daß eine solche Feder keinem Verschleiß unterliegt.

Die hohe Härte, die gute Korrosionsbeständigkeit, der hohe Verschleißwiderstand und das Fehlen von magnetischen Eigenschaften lassen das Osmium als ein Material erscheinen, das für die Herstellung von Spitzen für Kompaßnadeln, für Achsen und Wellen genauer Meßvorrichtungen und Uhrmechanismen, für Schneidspitzen von chirurgischen Instrumenten und für Schneidmesser zur Bearbeitung von Elfenbein geeignet ist.

Osmium und Iridium treten sehr häufig als Duett in der Naturlegierung Osmiridium auf. In Form eines Edelmetalls ist weder das eine noch das andere Metall gefunden worden, aber Osmiumiridium oder Iridiumosmium sind gut bekannte Minerale. Im ersten überwiegt Osmium und im zweiten Iridium.

Manchmal werden diese Minerale selbständig angetroffen, aber noch häufiger liegen sie in Platinen vor. Sie als Einzelkomponenten abzuscheiden ist ein Prozeß, der viele Etappen umfaßt, auf deren einer schließlich das Osmiridium



als Niederschlag anfällt. Die komplizierteste und teuerste Etappe in dieser ganzen »Geschichte« ist die Trennung des Osmiums vom Iridium. Zum Glück besteht dazu keine Notwendigkeit, denn wie Sie bereits wissen, wird die Legierung in der Technik viel häufiger eingesetzt als das reine Osmium. Sie kostet deshalb auch weniger als reines Osmium. Um dieses Metall aus der Legierung abzuscheiden, muß man so viel chemische Operationen durchführen, daß allein deren Aufzählung viel Platz einnehmen würde. Das Endprodukt der langen technologischen Kette ist das metallische Osmium mit 99,9% Reinheit.

Neben der Härte besitzt das Osmium noch einen erheblichen Vorteil, seine Schwerschmelzbarkeit. Bezüglich der Schmelztemperatur (etwa 3000 °C) übertrifft es nicht nur die Platinoide, sondern auch die überwiegende Mehrzahl der übrigen Metalle. Dank seiner Schwerschmelzbarkeit gelangte Osmium in die Biographie der Glühbirne. Der deutsche Wissenschaftler K. Auer von Wesselbach schlug vor, in den Glühlampen den Kohlefaden gegen einen solchen aus Osmium auszutauschen. Die Birnen verbrauchten um das 3fache weniger Energie und gaben ein angenehmes und gleichmäßiges Licht. An dieser Stelle konnte sich Osmium aber nicht lange halten. Zuerst wurde es von dem billigeren Tantal verdrängt, das aber auch bald darauf seinen Platz an das Schwerschmelzbarste aller Schwerschmelzbaren, an das Wolfram, abgeben mußte, das auch heute noch seinen Posten bewahrt.

Ähnlich erging es Osmium auch in einer anderen Sphäre seiner Tätigkeit, und zwar bei der Ammoniakproduktion. Das moderne Verfahren zur Synthese dieser Verbindung, das von dem deutschen Chemiker Fritz Haber vorgeschlagen worden ist, ist ohne den Einsatz von Katalysatoren nicht denkbar. Die ersten Katalysatoren, die man für dieses Ziel einsetzte, zeigten ihre Fähigkeit nur bei hohen Temperaturen (über 700 °C), und außerdem waren sie nicht sehr effektiv. Der Versuch, sie zu ersetzen, führte lange Zeit zu nichts. Ein neues Wort bei der Vervollkommnung dieses Prozesses sprachen die Wissen-

schaftler der Technischen Hochschule in Karlsruhe, denn sie schlugen vor, als Katalysator zerkleinertes Osmium zu verwenden.

Da Osmium sehr hart ist, ist es auch sehr spröde, so daß man es ohne besondere Schwierigkeiten zu Pulver verarbeiten kann. Die Betriebsversuche waren von Erfolg gekrönt. Die Prozeßtemperatur konnte um über 100 °C gesenkt werden, und das Ausbringen des Finalprodukts nahm zu.

Trotzdem hat Osmium auch an dieser Stelle bald die Bühne verlassen müssen (jetzt z. B. verwendet man für die Ammoniaksynthese die billigen und effektiven Eisenkatalysatoren), jedoch dauert die katalytische Tätigkeit des Osmiums auch in unseren Tagen noch an. Sein Einsatz bei den Reaktionen der Hydrierung organischer Stoffe gibt ausgezeichnete Resultate. Damit läßt sich auch der große Bedarf der Chemiker an Osmium erklären. Für chemische Zwecke wird fast die Hälfte der Weltproduktion des Osmiums verbraucht.

Das Element Nr. 76 besitzt auch als Forschungsobjekt ein bestimmtes Interesse. Das Naturosmium besteht aus sieben stabilen Isotopen mit den Massezahlen 184, 186 bis 190 und 192. Je niedriger die Zahl des Isotops ist, um so weniger ist es verbreitet. Auf das schwerste Isotop (Osmium-192) entfallen 41 %, für das leichteste bleiben nur 0,018 % aller Vorräte. Da sich die Isotope nur in der Atommasse unterscheiden und bezüglich der physikalisch-chemischen Eigenschaften sehr ähnlich sind, kann man sie nur sehr schwer trennen. Gerade deshalb sind auch kleinste Mengen an Isotopen für bestimmte Elemente so enorm teuer. Ein Kilogramm Osmium-187 wird auf dem Weltmarkt mit 14 Millionen Dollar gehandelt. In letzter Zeit haben die Wissenschaftler begonnen, die Isotope mit Hilfe von Laserstrahlen zu trennen. Es gibt die berechtigte Hoffnung, daß die Preise für diese »Waren des nichtalltäglichen Bedarfs« bald sinken werden.

Ähnlich anderen Metallen besitzt Osmium mehrere Wertigkeiten. Am häufigsten findet man Verbindungen, bei denen das Osmium 4- oder

6wertig ist. Bei der Reaktion mit Sauerstoff gibt es aber alle acht seiner Valenzen ab.

Von den Osmiumverbindungen besitzt das vierwertige Oxid die größte praktische Bedeutung (eben das, dem das Osmium seine Bezeichnung verdankt). Osmiumoxid verwendet man als schwarze Farbe beim Bemalen von Porzellan. Als Katalysator trifft man es in der Arzneimittelproduktion an. In der Medizin und Biologie verwendet man es als Färbemittel bei mikroskopischen Untersuchungen von Tier- und Pflanzengewebe. Es sei daran erinnert, daß die schwachgelben Kristalle des vierwertigen Oxides des Osmiums ein starkes Gift sind, welches die Haut und die Schleimhäute angreift und schädlich für die Augen ist.

Eine Besonderheit des vierwertigen Osmiumoxides besteht darin, daß es sich in organischen Flüssigkeiten besser löst als in Wasser. Unter normalen Bedingungen lösen sich in einem Glas Wasser nur 14 g dieses Stoffes, in einem Glas Tetrachlorkohlenstoff dagegen mehr als 700 g.

In einer Atmosphäre von Schwefeldämpfen entzündet sich Osmiumpulver wie ein Streichholz und bildet dabei Sulfid.

Das »alles verschlingende« Fluor bringt bei Raumtemperatur dem Osmium keinerlei Schaden, während sich beim Erwärmen auf 250 bis 300 °C eine Reihe von Fluoriden bildet.

Die Salze von Osmium verwendet man in der Mineralogie als starkes Ätzmittel. Die meisten Osmiumverbindungen, darunter auch solche komplexer Natur, sowie die Legierungen (außer dem uns schon bekannten Osmiridium und einigen anderen Legierungen mit Platinoiden und Wolfram oder Kobalt) träumen zur Zeit noch von einer für sie geeigneten Anwendung. Ohne Zweifel wird diese Frage in den nächsten Jahrzehnten als gelöst angesehen werden können, und selbst Osmium hat noch nicht das letzte Wort gesprochen.

Vorläufig sucht man noch nach ökonomischen Wegen zur Produktionssteigerung dieses wert-

vollen Elements und versucht, neue Gewinnungsquellen zu entdecken. Wichtige Arbeiten in dieser Richtung sind im Norilsker Bergbau-Metallurgie-Kombinat »A. P. Sawenjatgin« durchgeführt worden. Die Metallurgen wußten, daß in den Kupfer-Nickel-Erzen, die in das Kombinat geliefert werden, Metalle der Platingruppe anwesend sind, unter ihnen auch Osmium. Da ihre Konzentration aber sehr gering ist, hat man dieser Tatsache keine Aufmerksamkeit geschenkt. Man strebte nur danach, soviel wie möglich Kupfer, Nickel und die anderen Hauptkomponenten, die im Rohmaterial vorhanden waren, zu gewinnen.

»Warum sollte man nicht im Laufe der Verarbeitung auch dieses Edelmetall mit abscheiden?«, dachten vor einigen Jahren die Wissenschaftler im Forschungszentrum des Kombinat. Die Aufgabe, die sie sich stellten, war sehr kompliziert. Man mußte wissen, wie sich Osmium auf den unterschiedlichen Etappen der Aufbereitung des Erzes verhielt, man mußte die Stelle seiner größten Anreicherung kennenlernen und klären, an welchem Punkt des Produktionsprozesses es wieder verloren ging und dann in den Abfall gelangte. Das erforderte eine Vielzahl von komplizierten Analysen in jedem Bereich der technologischen Kette.

Nach Lösung dieses Teils der Aufgabe standen neue Probleme auf der Tagesordnung. Man mußte nun eine Technologie zum Abscheiden des in gasförmiger Phase anfallenden Osmiums entwickeln und eine entsprechende Anlage projektieren und aufbauen. Auch mit diesen Problemen wurden die Werktätigen des Kombinat fertig, und im Sortiment des über dem Polarkreis liegenden Betriebes tauchte Osmiumkonzentrat auf.

Aus dem in Norilsk gewonnenen Konzentrat wird in einem anderen Werk das reine Osmium gewonnen, das eines der seltensten Metalle unserer Tage ist.



Ir

Iridium

Alle Farben des Regenbogens

*Nach der Erstürmung der Bastille · Die Reproduzierbarkeit fehlt · Die Prüfung durch die Zeit · Der »Dienstplan« · Das Herz schlägt schneller · Eine angesehene Herkunft · Der hohe Preis · Der Iridiumüberzug · Der Regenbogen der Salze · Der Rückstand aus der Petersburger Münze · Die gefährliche »Degustation« · Die Berichterstattung beim Minister · Zu Ehren Rußlands · Freudlose Nachrichten · Einer der schädlichsten Stoffe · Die aufrichtige Gratulation · Die Abtrennung der Reihe nach · Das Prüfen des inneren Zustands · Die Kontrolle der Hochöfen · Das dreizehnte Thema · Die Verwunderung des Experimentators · Das Iridium geht in die Geschichte ein*

Am 14. Juli 1789 nahm das sich erhebende französische Volk im Sturm die Bastille und begann damit die Französische Revolution. Neben vielen anderen Dekreten und Verordnungen, die politischen, sozialen und ökonomischen Charakter trugen, nahm die revolutionäre Regierung eine Entscheidung über die Einführung eines definierten metrischen Systems der Maße an. Auf Vorschlag einer Kommission, der große wissenschaftliche Autoritäten angehörten, wurde als Einheit der Länge das Meter angenommen, definiert als der zehnmillionste Teil der Viertellänge des Pariser geographischen Meridians. Im Zeitraum von fünf Jahren führten J. d'Alembert und P. Méchain, zwei führende Fachleute auf dem Gebiet der Astronomie und Geodäsie, genaueste Messungen des Meridianbogens zwischen Dünkirchen und Barcelona durch.

Im Jahre 1797 waren die Berechnungen beendet, und zwei Jahre danach wurde das erste Meteretalon – ein Platinmaßstab – erzeugt, das die Bezeichnung »Urmeter« erhielt.

Als Einheit der Masse – das Kilogramm – wurde die Masse eines Kubikdezimeters Wasser (bei 4 °C) aus der Seine ausgewählt.

Das Etalon eines Kilogramms besteht aus einem zylindrischen Platingewicht.

Mit den Jahren zeigte sich bald, daß die natürlichen Prototypen dieser Eichmaße – der Pariser Meridian und das Wasser aus der Seine – für die Reproduzierbarkeit äußerst ungünstig waren; außerdem zeichneten sie sich nicht durch absolute Konstanz aus. Im Jahre 1872 nahm die Internationale Kommission für Maße und Gewichte einen Beschluß an, sich von dem natürlichen Prototyp der Länge loszusagen. Diese ehrenvolle Aufgabe übertrugen sie einem »Urmeter«, nach dessen Form und Abmessungen 31 Etalons in Form von Balken gefertigt wurden, die aber nicht mehr aus reinem Platin, sondern aus einer Legierung mit 10 % Iridium bestanden. Nach 17 Jahren ereilte das Wasser aus der Seine das gleiche Schicksal, und als Prototyp des Kilogramms wurde das Gewicht bestätigt, das auch aus dieser Platin-Iridium-Legierung bestand. Als interna-

tionale Etalons wurden 40 genaue Kopien gefertigt.

Iridium wurde nicht zufällig der Partner des Platins in der Etalonlegierung. Die Anforderungen an diese Werkstoffe sind sehr hoch. Sie sollen eine außergewöhnliche Festigkeit und Härte besitzen, sollen schwerschmelzbar, verschleißfest und korrosionsbeständig sein sowie keine Wirkung bei Temperaturänderung zeigen.

Platin allein kann diese Aufgabe nicht bewältigen, während die Legierung mit Iridium diese schwierige Prüfung schon über ein Jahrhundert blendend bestanden hat. In dieser Zeit mußte zwar das »Urmeter« schon in Pension gehen (im Jahre 1960 wurde als Etalon für das Meter die Länge ausgewählt, die gleich dem 1 650 763,73fachen der Wellenlänge einer definierten Strahlung des Krypton-Isotops-86 ist), der Prototyp des Kilogramms ist aber noch im Einsatz.

Die Verwendung für Maße und Gewichte ist nicht die einzige »Beschäftigung« der Platin-Iridium-Legierung. Aus ihr werden auch hochwärmefeste Tiegel hergestellt, die ohne Schaden die stärksten Erhitzungen in aggressiven Medien aushalten. In solchen Tiegeln werden z. B. Kristalle für die Lasertechnik gezüchtet. Die Juweliere achten diese Legierung ebenso und fertigen aus ihr herrliche Schmuckstücke an. Teile für chemische Apparaturen und Feinmeßgeräte, Elektrokontakte, chirurgische Instrumente, Federn und Laborgefäße sind Details, die in der »Dienstliste« der Platin-Iridium-Legierung zu finden sind.

Vor einigen Jahren bekam diese Legierung eine neue Hauptrolle. Man begann, sie zur Herstellung der Elektrodenklammern der Herzschrittmacher zu verwenden. Die Elektroden werden in das Herz des erkrankten Menschen eingebaut. Im Körper des Kranken befindet sich ein winziger Empfänger, der mit den Elektroden verbunden und an einen Generator angeschlossen wird (der Generator kann sich in der Anzugtasche befinden).

Sowie der Kranke eine Veränderung seiner Herztätigkeit spürt, kann er den Generator ein-

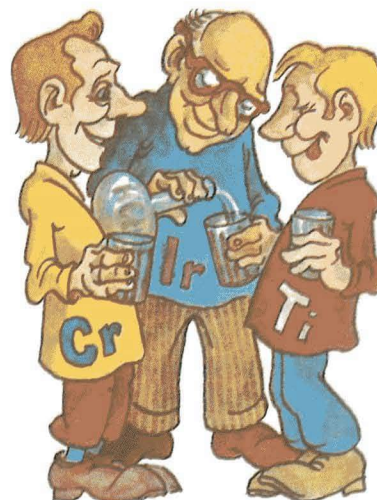


schalten. Die dabei auftretenden Impulse werden über eine Ringantenne dem Empfänger zugesendet und aus ihm den Elektroden. Anschließend gelangen sie zu den Platin-Iridium-Klammern und den Nerven, die dem Herz eine aktivere Arbeit aufzwingen.

Wertvolle Eigenschaften besitzen die Legierungen des Iridiums mit anderen Metallen. Allgemein bekannt ist die Legierung des Iridiums mit dem Osmium – Osmiridium. Ein geringer Iridiumzusatz zu Wolfram und Molybdän verleiht diesen Elementen hohe Warmfestigkeit. Titan und Chrom erwarben sich bereits ohne fremde Hilfe den Ruf von ausgezeichneten »Kämpfern« gegen Säuren, aber durch Iridium konnten die persönlichen Rekorde dieser beiden Elemente noch erhöht werden.

Der Leser bekommt vielleicht den Eindruck, daß Iridium nur als »Mitläufer« zu hohen Ehren gelangt ist. Dies ist aber nicht so. Es besitzt auch eine ausgezeichnete »Solonummer«. Dieses silberweiße Metall hat nicht nur ein angenehmes Äußeres, sondern auch hervorragende physikalische Werte. Es besitzt bedeutende Härte und Festigkeit, widersteht hohen Temperaturen, Verschleißbeanspruchungen und anderen Einwirkungen. Sein kennzeichnender Zug ist seine hohe Dichte ( $22,4 \text{ g/cm}^3$ ). In dieser Beziehung wird es nur von seinem unmittelbaren Nachbarn, dem Osmium, übertroffen. Zusammen mit den anderen Platinmetallen gehört Iridium auch zur Gruppe der Edelmetalle. Die angesehene Herkunft gewährleistet ihm Widerstandsfähigkeit in der Gesellschaft mit beliebigen Säuren, die weder bei Raumtemperatur noch bei erhöhten Temperaturen in der Lage sind, mit ihm in Wechselwirkung zu treten. Selbst ein Treffen mit dem aggressiven Königswasser geht an Iridium spurlos vorüber. Leider trifft dies nicht für Laugen und Natriumperoxid zu, denn diesen zu widerstehen ist Iridium nicht in der Lage.

Der zweifelsohne wichtigste Vorteil des Iridiums ist seine Fähigkeit, seine wertvollen Eigenschaften unabhängig von den es umgebenden Bedingungen beizubehalten.



Wenn der hohe Preis nicht wäre (Iridium ist teurer als Platin), öffneten sich diesem Element die Türen für viele Sphären der wissenschaftlichen und technischen Tätigkeit des Menschen. Vorläufig ist ein solcher Luxus den Wissenschaftlern und Konstrukteuren noch zu teuer, und deshalb arbeitet Iridium z. Z. nur dort, wo es unersetzbar ist.

Aus diesem Metall werden z. B. Labortiegel für Versuche mit dem gefährlichen Fluor und seinen Verbindungen hergestellt, ebenso auch die Mundstücke für das Blasen von schwerschmelzenden Gläsern. Für die Messung hoher Temperaturen (2000 bis 2300 °C) bewährt sich ein Thermoelement, dessen Drähte aus einer Legierung des Iridiums mit Ruthenium bzw. Rhodium bestehen. Vorläufig wird ein solches Thermoelement nur für wissenschaftliche Zwecke genutzt, denn der Weg in die Produktion ist noch durch die hohen Kosten versperrt.

Sehr zukunftssträftig sind die festen und verschleißbeständigen Überzüge aus Iridium. Daß sie heute noch seltener als solche aus Platin, Palladium oder Rhodium verwendet werden, läßt sich in erster Linie durch die technologischen



Schwierigkeiten erklären, die sich beim Auftragen des Iridiums auf andere Werkstoffe ergeben. Einen Iridiumüberzug kann man auf elektrolytischem Wege aus geschmolzenen Kalium- und Natriumzyaniden bei 600 °C erhalten. Ein etwas einfacheres Verfahren ist das Plattieren. In diesem Falle wird auf ein beliebiges Metall eine dünne Iridiumschicht aufgebracht und anschließend das so vorbereitete Werkstück unter eine Heißpresse gegeben, wodurch sich der Überzug fest mit der Metallgrundmasse verbindet. Nach einem ähnlichen Verfahren werden auch Iridiumdrähte erzeugt. Auf ein Halbzeug aus Wolfram oder Molybdän wird eine dünne Schicht Iridium aufgebracht. Das Iridium und das heiße Halbzeug ergeben beim anschließenden Ziehen einen bimetalischen Draht mit der erforderlichen Stärke. Ein solcher Draht dient zur Herstellung von Steuergittern in Elektronenröhren.

Es wurde auch ein chemisches Verfahren zum Auftragen von Iridiumüberzügen auf Metalle und Keramikwerkstoffe entwickelt. Dabei wird auf die Werkstückoberfläche eine Lösung eines komplexen Iridiumsalzes aufgetragen, z. B. mit Phenol oder einem anderen organischen Mittel. Danach wird das Werkstück in einer kontrollierten Atmosphäre auf 350 bis 400 °C erhitzt, wodurch sich der organische Stoff verflüchtigt und das Iridiumsalz zurückbleibt.

Entweder in reiner Form oder in Verbindung mit anderen Metallen findet dieses Metall auch Anwendung in der chemischen Industrie. Iridium-Nickel-Katalysatoren helfen bei der Herstellung von Propylen aus Azetylen und Methan. Platinkatalysatoren, die bestimmte Anteile an Iridium enthalten, beschleunigen die Bildungsreaktion der Stickstoffoxide bei der Herstellung von Salpetersäure.

Sehr schön und vielfarbig sind die Iridiumsalze. Einen praktischen Nutzen findet dieses Aussehen zwar noch nicht, aber gerade dieser Schönheit verdankt das Element seinen Namen. Im Jahre 1804 entdeckte der englische Chemiker Smithson-T Tennant bei der Untersuchung eines schwarzen Pulvers, das nach der Lösung von ge-

diegenem Platin im Königswasser zurückblieb, in ihm zwei neue Elemente. Die Salze eines dieser Elemente erschienen in allen Farben des Regenbogens. Tennant brauchte sich nicht lange den Kopf beim Auffinden eines Namens für dieses Element zu zerbrechen. Er nannte es Iridium, was soviel wie regenbogenfarben bedeutet.

Das Schicksal der Platinmetalle ist so eng verbunden, daß bei der Erzählung über eines von ihnen man unbedingt an die anderen erinnert wird. Im Jahre 1840 interessierte sich der Professor der Kasaner Universität K. K. Claus für die Probleme der Verarbeitung der Uraler Platinerze. Auf seine Bitte hin schickte ihm die Petersburger Münze eine Probe eines Platinrückstandes, eines unlöslichen Niederschlages, der sich nach der Behandlung von Rohplatin mit Königswasser gebildet hatte. »Zu Beginn meiner Arbeit«, so schrieb später der Wissenschaftler, »war ich vom Reichtum des Rückstandes überrascht, den ich aus ihm gewann, denn außer 10 % Platin waren noch vorhanden Iridium, Rhodium, Osmium, etwas Palladium und ein Gemenge unterschiedlicher Metalle ...«

Zunächst hatte Claus nur praktische Ziele, denn er wollte ein Verfahren zur Aufarbeitung der Rückstände der Platinerze zu Platin finden. Kurz darauf nahmen seine Untersuchungen aber mehr wissenschaftlichen Charakter an und beschäftigten den Wissenschaftler vollständig. »Zwei volle Jahre«, erinnerte sich Claus, »arbeitete ich Tag und Nacht daran, wohnte nur im Labor, dort aß ich, trank Tee und wurde dabei zum reinen Empiriker.« Letzteres hatte einen ganz konkreten Sinn. Nach den Worten von A. M. Butlerow, einem Schüler von Claus, »hatte jener die Angewohnheit, bei der Lösung der Platinerze in Königswasser diese Flüssigkeit direkt mit den fünf Fingern umzurühren und die Stärke der nicht miteinander reagierenden Säuren nach dem Geschmack zu beurteilen.« Diese Eigenschaft besaß nicht nur Claus, sie war auch für andere Chemiker der alten Schule kennzeichnend. Wenn sie irgendeinen Stoff erhielten, dann wurde dieser stets »degustiert« (bis zur Mitte des



19. Jahrhunderts mußte man bei der Beschreibung eines Stoffes seinen Geschmack angeben). Dadurch setzten sich die Chemiker einer großen Gefahr aus. Auf diese Art und Weise starb der bekannte schwedische Wissenschaftler Karl Scheele, als er den Geschmack der wasserfreien Blausäure bestimmte.

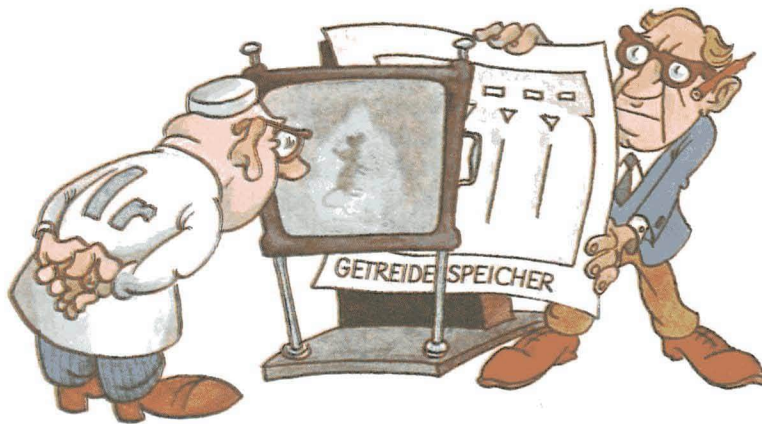
Die Arbeiten von Claus waren von Erfolg gekrönt. Es konnte ein Verfahren zur Aufarbeitung der Platinrückstände gefunden werden, so daß der Wissenschaftler nach Petersburg fuhr und dem Minister für Finanzen Bericht erstattete, der an einer erfolgreichen Lösung des Problems interessiert war. Für die Fahrt nach Petersburg mußte sich Claus bei einem seiner Freunde 90 Rubel borgen (die Schuld konnte er aber erst nach vielen Jahren abtragen, nachdem er Weltberühmtheit erlangt hatte). Bereits nach zwei Tagen wurde er zum Minister vorgelassen und erreichte von ihm die Bestätigung zur Fortführung seiner Arbeiten. Er erhielt ein halbes Pfund Platinrückstände und ein viertel Pfund Rohplatin.

Nach der Rückkehr nach Kasan stürzte sich der Wissenschaftler erneut in die Arbeit, die mehrere Jahre dauerte und hervorragende Ergebnisse brachte. Das wichtigste dabei war die Entdeckung des bis 1844 unbekanntes Elements, des letzten Mitglieds der Platinfamilie. »Schon bei der ersten Arbeit«, schrieb Claus, »bemerkte ich die Anwesenheit eines neuen Stoffes, aber zuerst fand ich kein Verfahren zur Abtrennung von seinen Beimengungen. Ein ganzes Jahr arbeitete ich an diesem Problem, doch am Ende fand ich ein leichtes und einfaches Verfahren zur Gewinnung dieses Elements in reiner Form. Das neue Metall, das ich mit Ruthenium bezeichnet habe (zu Ehren meines Vaterlandes), gehört zu den interessantesten Stoffen.«

Die Entdeckung Claus' fand nicht sofort Anerkennung. Die erste Probe einer Verbindung des neuen Elements schickte der Wissenschaftler nach Stockholm zu Berzelius, der als große Autorität unter den Chemikern galt. Man kann sich die Betrübnis von Claus vorstellen, als er erfuhr, daß nach Meinung dieses Wissenschaftlers der

ihm zugesandte Stoff kein neues Element enthielt, sondern nur eine schlecht gereinigte Iridiumverbindung darstellte. Von der Richtigkeit seiner Aussage überzeugt, setzte Claus erneut seine Versuche fort und vergaß dabei die elementarsten Regeln der Sicherheit. Nach einigen Jahren konnte der Wissenschaftler seine Kollegen überzeugen. »Bei der Arbeit mit Osmiumiridium muß man sich vor den Dämpfen der Osmiumsäure in acht nehmen. Dieser leicht flüchtige Stoff gehört zu den schädlichsten Stoffen, er wirkt sich auf Lungen und Augen aus und ruft starke Entzündungen hervor. Ich hatte viel darunter zu leiden.« Zu groß war der Wunsch von Claus, die wissenschaftliche Welt davon zu überzeugen, daß er tatsächlich ein neues Element entdeckt hatte, und letztendlich gelang ihm dies auch. Die Präparate der Rutheniumverbindungen schickte er erneut an Berzelius, und dieser sah, nachdem er sorgfältig geprüft hatte, seinen früheren Fehler ein. »Empfangen Sie von mir meine aufrichtige Gratulation zur hervorragenden Entdeckung und Erarbeitung des neuen Elements«, schrieb er Claus, »dank dessen wird Ihr Name unauslöschlich in die Geschichte eingehen.«

Die Ergebnisse der angespannten Arbeit begann Claus im Jahre 1845 in dem Zeitschriftenartikel »Chemische Untersuchungen der Rückstände der Uraler Platinerze und des Metalls Ruthenium« zu veröffentlichen, in dem zum ersten Male die Eigenschaften des Iridiums allseitig beschrieben wurden, wobei selbst Claus feststellte, daß er sich mit dem Iridium mehr beschäftigt hatte als mit den anderen Metallen der Platingruppe. Die Empfehlungen des Wissenschaftlers wurden die wissenschaftliche Grundlage zur Schaffung einer Technologie zur Herstellung von Iridium und der anderen Platinoiden. Gegenwärtig wird das reine Iridium aus gediegenem Osmiridium oder aus den Rückständen der Platinerze gewonnen. Zuvor aber werden unter Einwirkung der unterschiedlichsten Reagenzien Platin, Osmium, Palladium und Ruthenium abgetrennt, und erst zum Schluß kommt Iridium an



die Reihe. Das dabei gewonnene Pulver wird zu Halbfabrikaten gepreßt und gesintert oder unter Argonatmosphäre in Elektroöfen umgeschmolzen. Bei normaler Temperatur ist Iridium sehr spröde und läßt sich nicht bearbeiten, aber bei höheren Temperaturen läßt es sich sogar schmieden.

Die Natur ist arm an Iridium. Die Erdvorräte übersteigen nicht den Wert von einem Millionstel Prozent. In allen Ländern der Erde wird im Jahr nicht mehr als eine Tonne dieses Elements produziert. Die Neugier der Wissenschaftler bezüglich dieses Elements wird aber nicht schwächer. Man findet immer neue Anwendungsgebiete, insbesondere der radioaktiven Iridiumisotope. Vor kurzem haben Wissenschaftler eines Zentrums für Atomforschung in Frankreich ein Gammatron entwickelt, mit dem man den Zustand von Brücken, Staumauern und anderen Bauten aus Eisenbeton sehr wachsam überprüfen kann, denn die Gammastrahlung des radioaktiven Iridium-Isotop-192 entwirft auf einer Glasplatte, die mit einer strahlenempfindlichen Schicht überzogen ist, eine scharfe Abbildung des »Innenlebens« des zu kontrollierenden Bauwerks. Mit ähnlichen Defektoskopien kontrolliert man die Qualität von metallischen Werkstücken und Schweißnähten. Bei Hochöfen werden Be-

hälter mit Iridiumisotopen für die Kontrolle des Füllstandes eingesetzt. Da ein Teil der ausgesandten Gammastrahlen von den Einsatzstoffen absorbiert wird, kann man anhand der Strahlenschwächung genau bestimmen, welcher Weg von der Strahlung zurückgelegt worden ist. Daraus läßt sich die Höhe der Einsatzstoffe ermitteln.

Mit den radioaktiven Iridiumisotopen ist auch die Entdeckung des sogenannten »Mössbauer-Effektes« verbunden, auf dem eine Methode zur präzisen Messung kleiner Größen und schwacher Erscheinungen beruht, die in der Chemie, Biologie und Geologie angewendet wird. Dieser Effekt wurde von dem jungen Physiker der BRD, Rudolf Mössbauer, 1958 entdeckt. Einige Zeit, bevor sein Studium an der Technischen Hochschule in München zu Ende ging, begann er sich ein Thema für seine Diplomarbeit zu suchen. Einer der Professoren legte dem Studenten eine ganze Aufzählung von Themen vor. Wie sich Mössbauer selbst erinnerte, war nicht eines von ihnen nach seinem Geschmack, außer dem letzten (dem dreizehnten). Dessen Thematik betraf die Resonanzabsorption von Gammaquanten durch Atomkerne. Einen Vorteil hatte es immerhin nach Meinung des zukünftigen Wissenschaftlers, es gab darüber noch keinerlei Vorstel-



lungen, und das wichtigste schien ihm, daß man ihn mit der Nase in die Sache hineintunkte.

Diese »Sache« verlief erfolgreich. Zuerst wurde das Diplom verteidigt, nach zwei Jahren die Dissertation, und nach einem weiteren Jahr (bei seiner Arbeit im Max-Planck-Institut für medizinische Forschungen in Heidelberg hatte sich der Wissenschaftler weiterhin mit diesem Thema beschäftigt) kam die Entdeckung. Mit einem speziellen Szintillationszähler bestimmte er die Zahl der Gammaquanten, die durch metallisches Iridium hindurchgehen. Die Quelle der Gammaquanten waren angeregte Atomkerne des Iridium-Isotops-191.

Will man Kerne, die sich im Grundzustand befinden, anregen, müssen sie Gammaquanten der Energie aufnehmen, die dem Unterschied zwischen den Energien des Kernes im angeregten und im normalen Grundzustand entspricht. Normalerweise ist jedoch die Energie der von angeregten Kernen emittierten Gammaquanten niedriger als erforderlich, da beim Austritt aus dem Kern ein gewisser Energieverlust (Rückstoßenergie) eintritt.

Um Nebenprozesse auszuschalten, die die Versuchsergebnisse verzerren, kühlte Mössbauer das Iridium bis zur Temperatur des flüssigen

Stickstoffs ab. Er nahm dabei an, daß sich infolge der Verringerung der Geschwindigkeit der Kernbewegung die Resonanzabsorption verringert und die Zahl der durch das Iridium gehenden Gammaquanten entsprechend wächst. Diese Meinung vertraten auch andere Wissenschaftler. Zur Verwunderung des Experimentators erwies sich alles als umgekehrt. Worin lag die Ursache?

Der Wissenschaftler zog folgende Schlußfolgerung: Bei ausreichend niedriger Temperatur wird im festen Körper die Rückstoßenergie nicht vom einzelnen Kern, sondern vom Material im ganzen aufgenommen; sie wird daher praktisch gleich Null, d. h. die Energie der Gammaquanten ist gleich dem Unterschied der Energien des Kernes im angeregten und im normalen Zustand. Diese Entdeckung wurde als eine der wichtigsten Erscheinungen in der wissenschaftlichen Welt der Gegenwart bewertet (1961 erhielt Mössbauer den Nobelpreis).

Heute ist der Mössbauer-Effekt schon bei mehreren Elementen festgestellt worden, aber die Geschichte der Wissenschaft hat die Entdeckung dieser wichtigen physikalischen Erscheinung mit dem »Helden« unserer Erzählung, dem Iridium, verbunden.

TI

## Thallium

### Der junge grüne Zweig

*Wer sucht, der findet · Heureka! · Der Fund im Staub ·  
Als die Zweige erblühten · Die Verspätung · Zu Ehren  
Avizennas · Das einzigartige Schnabeltier · Der  
Schrecken der Nagetiere · In dunkler Nacht · Edelsteine? ·  
Das Leuchten der Kristalle · Ein guter Ruf · Das »Aber« ·  
Die Diagnose stellt Agatha Christie · Die Trennung  
der unzertrennlichen Minerale · Die Lichter der großen  
Stadt · Die Wahl der Teilhaber · Der wertvolle Obolus ·  
Ein grimmiger Frost · Die Einstellung des optimalen  
Regimes · Das leichtere Isotop*



**W**er sucht, der findet, heißt es in einem Sprichwort. Ob das stimmt oder nicht, ist schwer zu sagen, aber seit Jahrtausenden befinden sich die Menschen auf einer ständigen Suche. Die einen suchen Schätze, andere Abenteuer und die dritten den Weg ins Unbekannte.

Denken wir nur an den großen Archimedes. Nach Aussagen seiner Zeitgenossen soll ihm die geniale und einfache Idee zur Lösung der Aufgabe hinsichtlich des Verhältnisses von Gold und Silber in der Kaiserkrone in dem Moment gekommen sein, als er gerade ins Bad stieg. Dabei alles um sich vergessend, sprang Archimedes aus dem Wasser und rief: »Heureka« (griechisch »Gefunden«)!

Obwohl Kolumbus nicht den kürzesten Weg über das Meer von Europa nach Indien fand, so konnte er doch den unbekanntem amerikanischen Kontinent entdecken.

Ähnlich erging es dem englischen Wissenschaftler William Crookes. In den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts, als Crookes noch ein junger Chemiker war, beschäftigte er sich bei seinen Untersuchungen mit den Staubrückständen der Schwefelsäureproduktion, wobei er annahm, daß in ihnen Tellur vorhanden wäre. Doch selbst eine große Anzahl chemischer Operationen brachte nicht das gewünschte Resultat, und der Wissenschaftler verlor bald das Interesse an seiner Arbeit. Die Rückstände lagen lange Zeit in seinem Laboratorium, und erst mit der Entdeckung der Spektralanalyse erinnerte sich Crookes ihrer. Die neue Methode verlangte keinen so großen Arbeitsaufwand wie die chemischen Methoden; sie nicht einzusetzen wäre eine Sünde gewesen.

Wie groß war aber das Erstaunen des Wissenschaftlers, als er anstelle der erwarteten Tellurlinien im Spektrum eine herrliche hellgrüne Linie sah, die keinem der bekannten Metalle gehören konnte. Crookes verstand sofort, daß er ein Geheimnis der Natur gefunden hatte. Da die Angelegenheit gerade im Frühling stattfand und die ersten Knospen schon zu sehen waren, wurde das Element »Thallium« getauft. In der Übersetzung

aus dem Griechischen bedeutet »tallos« junger grüner Zweig. Es ist interessant, daß ein anderes griechisches Wort, das mit »Gernegroß« zu übersetzen ist, ebenso klingt. Obwohl dieses Zusammenfallen vollkommen zufällig ist, hat es doch einen gewissen Sinn. Thallium könnte man tatsächlich als Gernegroß bezeichnen, denn es wurde nicht gesucht, sondern gab selbst Kunde von seiner Existenz.

Fast gleichzeitig mit Crookes, nur einige Monate später, fand dieses Element auch der französische Chemiker A. Lamy. Auch er fand es in den Rückständen der Schwefelsäureproduktion und ebenfalls mit Hilfe der Spektralanalyse. Obwohl Lamy auch 14 Gramm dieses Metalls herstellen konnte und einige der Eigenschaften bestimmte, blieb die Priorität der Erstentdeckung beim englischen Wissenschaftler. In der Folge trug der englische Wissenschaftler noch zur Entwicklung von Physik und Chemie einiges bei (obwohl er ein überzeugter Anhänger des Spiritismus war und viel Zeit dafür aufbrachte). Einige Jahre war er auch der Leiter der Londoner Königlichen Gesellschaft. Sein erster wissenschaftlicher Erfolg war aber die Entdeckung des Thalliums im Jahre 1861.

Daß dieses Element zuerst mit Hilfe der Spektralanalyse entdeckt worden ist, ist deren hoher Empfindlichkeit zu danken, denn in einer Vielzahl von Mineralen ist dieses seltene Metall nur in so geringen Mengen vorhanden, daß man mit Hilfe der chemischen Analyse nicht auf seine Spur kommen kann. Der gesamte Thalliumgehalt in der Erdkruste dagegen ist gar nicht so klein und beträgt etwa 0,0003 % (die Naturvorräte von Gold und Platin sind wesentlich geringer). Als eigene Minerale dieses Elements kann man folgende aufzählen: Lorandit, Hutchinsinit, Urbanit, Crookesit, Avizennit. Das letzte von ihnen stellt ein fast reines Thalliumoxid dar. Es wurde im Jahre 1956 auf dem Territorium der Usbekischen SSR entdeckt und zu Ehren des großen Arztes und Philosophen des Altertums Avizenna (genauer Abu Ali Ibn Sina) benannt. In der Natur findet man dieses Mineral so selten,



daß von einem Einsatz als Industrierohstoff keine Rede sein kann. Praktisch wird das Element als Nebenprodukt bei der Erzeugung von Blei, Zink und anderer Elemente gewonnen.

Über ein halbes Jahrhundert nach seiner Entdeckung war Thallium nur als Objekt für wissenschaftliche Untersuchungen von Interesse. Die Wissenschaftler, die die Eigenschaften dieses Metalls erforschten, fanden in seinem Verhalten einige Ungereimtheiten. Bezüglich der äußeren Werte, der Dichte, Härte, Schmelztemperatur und anderer physikalischer Eigenschaften ist es dem Blei, seinem nächsten Nachbarn, sehr ähnlich. Was aber die chemischen Neigungen des Metalls betrifft, ist Thallium mehr zu den Alkalimetallen, wie Natrium und Kalium, und etwas zum Silber geneigt.

Als Angehöriger der dritten Gruppe sollte Thallium eine Hauptwertigkeit von drei besitzen, was aber durch das Auftreten als einwertiges Metall negiert wird. In bestimmten Komplexverbindungen kommt es gleichzeitig als einwertiges und dreiwertiges Thallium vor, in der ersten Form als ein Kation und in der zweiten als Komponente eines komplexen Anions. Die Äußerung

des bekannten französischen Chemikers des vorigen Jahrhunderts G. B. A. Dumas ist nicht zufällig, wenn er über das Element Nr. 81 folgendes sagt: »Es ist nicht übertrieben, wenn wir vom Standpunkt der allgemeinen Klassifikation der Metalle sagen, daß Thallium in sich gegensätzliche Eigenschaften vereint, die es erlauben, dieses Metall als paradox zu bezeichnen.« Um seinen Gedanken sichtbar zu machen, hat Dumas gemeint, daß Thallium unter den Metallen einen solchen Platz einnimmt wie das Schnabeltier unter den Tieren. Dieses eigenartige Lebewesen ist ein Säugetier, doch mehr den Lurchen und Vögeln ähnlich, und legt Eier. Sein Äußeres ist noch eigenartiger, es ist mit Fell überzogen und hat doch einen Entenschnabel und Schwimmhäute an den Füßen.

In dem Maße, wie die Angaben über die Eigenschaften des Thalliums und seiner Verbindungen zunahmen, wurden auch Wege zur praktischen Verwendung gefunden. Die erste Eintragung in das »Arbeitsbuch« dieses Elements wurde im Jahre 1920 vorgenommen, als in Deutschland ein Gift gegen Nagetiere und bestimmte Insekten patentiert wurde, das Thalliumsulfat enthielt. Aller Anfang ist schwer. Im gleichen Jahr hat man festgestellt, daß das Thalliumoxysulfid, das sogenannte Thalofid, unter der Wirkung des Lichtes seine elektrische Leitfähigkeit ändert, wobei diese Reaktion insbesondere bei Infrarotstrahlung zu beobachten ist. Bald darauf wurden auch die ersten thallofidischen Fotoelemente entwickelt, für die sehr schnell eine Anwendung gefunden werden konnte, und zwar beispielsweise in Signaleinrichtungen für Dunkelheit und dichten Nebel, in Infrarotprojektoren, die den Fliegern den Landeplatz auf einem in der Dunkelheit liegenden Flughafen zeigen, in Suchsystemen für Objekte in der Dunkelheit, die Wärme aussenden, in Belichtungsmessern für Aufnahmen mit Infrarotstrahlung. Auf dem hohen Vermögen, diese Strahlen durchzulassen, beruht auch der Einsatz in der Technik für die anderen Thalliumverbindungen, wie Bromide und Jodide. Aus den Polykristallen dieser Salze stellt man Linsen,





Fenster, Prismen und Küvetten für optische Geräte her, die im Infrarotbereich des Spektrums arbeiten. Thalliumsalze findet man aber auch in Spezialgläsern, in gelben, grünen und orangefarbenen, die einen großen Brechungsindex besitzen (mit ihnen kann man Edelsteine imitieren), und in schwarzen undurchlässigen Gläsern.

In der modernen Technik werden in starkem Maße Zähler zur Registrierung und Messung radioaktiver Strahlung eingesetzt. Das »Herz« einer solchen Vorrichtung ist ein lumineszierender Kristall (»Kristallphosphor«). Treffen auf ihn Beta-Teilchen oder Gamma-Quanten, wird er zur Emission von Licht angeregt und dieses mit Hilfe eines Fotoelements in elektrischen Strom umgewandelt. Je intensiver die radioaktive Strahlung ist, desto stärker ist die Lichtemission und demzufolge auch der auftretende Strom.

Als Kristallphosphore verwendet man erfolgreich die Halogenide der Alkalimetalle. Um den »Wirkungsgrad« dieser Verbindungen zu erhöhen, werden Aktivatoren zugesetzt; zu diesem Zweck wird auch Thallium genutzt.

In der chemischen Industrie haben Thallium, seine Oxide und Sulfide einen guten Ruf als effektive Katalysatoren für organische Reaktionen erworben (Reduktion des Nitrobenzols durch Wasserstoff, Oxydation des gasförmigen Anilins). Bestimmte Verbindungen dieses Elements rufen eine Antiklopfwirkung bei Treibstoffen hervor.

Wenn es nicht das eine »Aber« gäbe, hätten Thallium und seine Salze offensichtlich sehr breit in der Medizin Eingang gefunden, wo es nicht ohne Erfolg bestimmte Funktionen ausüben könnte. Mit diesem »Aber« steht die hohe Giftigkeit dieses Metalls und vieler seiner Verbindungen im Zusammenhang. Da in einer Reihe von Fällen die erforderliche Heildosis sehr nahe an der gefährlichen Schwelle liegt, ist das Betätigungsfeld dieses Elements eingeeengt; so dient es z. B. zur Entfernung der Haare bei der Glatzflechte (die Thalliumsalze führen zu vorübergehendem Haarausfall).

Vor einigen Jahren landete auf dem Londoner Flughafen ein Flugzeug, das ein anderthalbjähriges schwer erkranktes Mädchen aus Katara, einem kleinen arabischen Staat am Persischen Golf, nach London brachte. Mit jedem Tag nahm bei diesem Mädchen der Blutdruck zu, und das Atmen fiel ihm immer schwerer. Da die Ärzte aus Katara keine Diagnose stellen konnten, war der Flug nach London die einzige Hoffnung der unglücklichen Eltern. Als man das Mädchen in eines der Londoner Krankenhäuser brachte, zeigte sich, daß sogar die hochqualifizierten Ärzte der Hauptstadt die Symptome dieser schrecklichen Krankheit nicht kannten. Mehrere Stunden dauerte das Konzil der besten Fachleute, und dennoch konnte man keine Schlußfolgerung ziehen. In dieser Zeit wurde der Zustand des Mädchens immer hoffnungsloser, und das Bewußtsein kehrte kaum noch zu ihr zurück. Als sich schon zeigte, daß das Leben des Mädchens nicht mehr zu retten war, mischte sich in den Streit der Ärzte am Bett der Kranken die Schwester ein, die das Mädchen zu versorgen hatte. Die Schwester erklärte bestimmt, daß der Organismus des Mädchens mit Thallium vergiftet ist. Worauf beruhte eine solche kühne Diagnose? Die Schwester erzählte, daß sie vor kurzem einen Kriminalroman von Agatha Christie »Das isabellenfarbene Pferd« gelesen hatte, in dem eine Thalliumvergiftung beschrieben wurde. Die Symptome des kleinen Patienten im Krankenhaus fielen mit denen zusammen, die auf den Seiten des Buches beschrieben worden waren. Die Ärzte beschlossen, diese Version zu prüfen. In der Klinik waren aber die erforderlichen Geräte und Reagenzien nicht vorhanden. Den Medizinern zu Hilfe kam Scotland Yard, der zum Glück vor kurzem einen Mord unter Anwendung von Thallium zu klären hatte. In den Laboratorien der Gerichtsmediziner fanden sich die erforderlichen Chemikalien und Apparaturen. Die Diagnose bestätigte sich. Die Eltern erklärten, daß sie zu Hause im Kampf gegen Ratten und Schaben ein chemisches Mittel eingesetzt hatten, das Thalliumsalz enthielt. Die Ärzte begannen mit





der entsprechenden Behandlung, und bald war das Mädchen außer Gefahr.

Sie sehen, daß die Einnahme des Thalliums mit den Nahrungsmitteln unangenehme Folgen hat. Die Anwendung dieses Metalls und seiner Verbindungen nach Anordnung bringt aber auch Nutzen.

In der Natur vertragen sich viele Minerale so gut miteinander, daß sie unzertrennlich sind. Mit Wasser sind sie tatsächlich nur schwer zu trennen, aber bestimmte organische Thalliumverbindungen können dies ohne große Schwierigkeiten. Eine Lösung aus Ameisensäure und Zitronensäure Thallium ist durch eine hohe Dichte von mehr als  $4 \text{ g/cm}^3$  gekennzeichnet. Wenn man mit dieser schweren Lösung ein Mineralgemisch behandelt, dann schwimmt ein Teil auf der Lösung, und der andere sinkt auf den Boden. Auf diese Weise kann man Minerale nicht nur trennen, sondern auch ihre Dichte bestimmen. Es sind viele Stoffe mit Halbleitereigenschaften bekannt. Einen besonderen Platz unter ihnen nehmen die sog. glasartigen Halbleiter ein, die neben Arsen, Antimon, Schwefel, Selen und Tellur (in unterschiedlichen Mengen) auch etwas Thallium enthalten.

Wenn in der Abenddämmerung die Lichter der Leuchtreklamen aufleuchten, dann kommt neben anderen Elementen auch das Element 81 zum Einsatz. Die Glasröhren, die mit Argon und

Thalliumdämpfen gefüllt sind, verbreiten ein angenehmes grünes Licht. Thalliumgaslampen verwendet man für die Skalenbeleuchtung von Spektralvorrichtungen, zur Kontrolle von Filmen und Negativen und zur Bewertung von Röntgenbildern.

In der Industrie, in der Landwirtschaft und im Haushalt sind in unseren Tagen mehr als 10000 metallische Legierungen im Einsatz. Bei der Aufzählung der einzelnen Metalle darf man das Thallium nicht vergessen. Es ist in vielen Kombinationen mit anderen Metallen anzutreffen, die wertvolle Eigenschaften besitzen.

Es existieren auch mehrere Dutzend leichtschmelzender Legierungen, die Thallium enthalten. Eine der erstaunlichsten unter ihnen ist ohne Zweifel die Legierung des Thalliums mit Quecksilber. Sie wird erst bei  $-60^\circ\text{C}$  fest. So können die speziellen Niedertemperaturthermometer, die mit dieser flüssigen Legierung gefüllt sind, unter den Bedingungen der Arktis, an den Kältepolen oder in der Stratosphäre bei den grimmigsten Frösten erfolgreich arbeiten, bei denen die normalen Quecksilberthermometer schon ausfallen.

In der Industrie findet auch ein künstliches radioaktives Isotop des Elements Nr. 81, Thallium-204, Verwendung, und zwar u. a. als Betastrahlenquelle in Vorrichtungen zur Kontrolle von Produktionsprozessen. Auf diese Weise mißt



man z. B. automatisch die Dicke von sich bewegenden Stoffen oder Papier. Werden die Betastrahlen geschwächt oder verstärkt (d. h., vergrößert oder verringert sich die Dicke des Materials), gibt die Vorrichtung automatisch einen Steuerimpuls und stellt wieder das optimale technologische Regime ein. Andere Vorrichtungen mit radioaktivem Thallium beseitigen elektrostatische Aufladungen, die in Produktionsräumen der Textil-, Papier- und der Filmindustrie auftreten.

Bis vor kurzem waren der Wissenschaft zwei stabile und 18 radioaktive Thalliumisotope bekannt, wobei das leichteste unter ihnen das Iso-

top mit der Massezahl 191 war. 1972 wurde in den Laboratorien für Kernprobleme des Vereinigten Instituts für Kernforschung in Dubna ein noch leichteres Isotop dieses Elements, das Thallium-189, gefunden.

Vor über 100 Jahren sagte der schon zitierte Chemiker Dumas, daß das Thallium in der Geschichte der Chemie Epoche machen wird. Es ist wahrscheinlich, daß der Wissenschaftler die Möglichkeiten des Elements überbewertete, für dessen Erforschung er viele Jahre aufgewandt hatte. Es gibt aber auch noch eine andere Variante: Seine beste Rolle spielt Thallium noch nicht. \

# Bi

## Wismut

### Die »Dienstreise« in den Kosmos

*Das Experiment »Sphäre« · Begriffsverwirrungen im Mittelalter · Viele verschiedenen Versionen · Die bleichen Gesichter der Schönen · Die Feuerwehrleute können schlafen · Das Demonstrationsexperiment · Ein Medikament gegen die Pest · Die Ausnutzung eines Effekts · Vom Porzellan bis zur Pomade · Das aufnahmebereite Polymer · Die Supraleitfähigkeitsschwelle · Die Ausnahme von der Regel · Zwischen den Polen · Die blaue Flamme · Reinigung durch Elektrolyse · Ohne überflüssige Hast · Der zweimonatige Beschuß · Ein bescheidener Platz · Der Fund am Baikal*



An einem der Sommertage des Jahres 1976, als die wissenschaftliche Raumstation »Salut« die Erde umkreiste, berichteten die Mitglieder der Besatzung dem Flugleitzentrum, daß sie in Übereinstimmung mit dem vorgesehenen Programm mit dem genannten Experiment unter der Bezeichnung »Sphäre« beginnen.

Was mußten die Kosmonauten während des Fluges alles ausführen? Sie waren Geologen, Biologen, Mediziner, Physiker, Chemiker, man kann gar nicht alle Berufe aufzählen. Für dieses Mal mußten aber die Kosmonauten bei der Durchführung des Experiments »Sphäre« als Metallurgen arbeiten, und ihr metallurgischer Betrieb war eine Vorrichtung, mit deren Hilfe sie den Prozeß der Erstarrung eines flüssigen Metalls unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit testen sollten. Genauer muß man sagen, daß sie das Experiment unter fehlender Erdanziehung durchführen und bei diesem Versuch eine ideale Kugelgestalt der metallischen Körner erzielen sollten.

Was war das für eine Vorrichtung und was für ein Metall, das als eines der ersten in die Annalen der kosmischen Metallurgie eingehen sollte? Die Vorrichtung bestand aus einem speziellen »Magazin« mit metallischen Halbzeugen, einem elektrischen Heizgerät und einem durchsichtigen Beutelchen. Das Metall, auf das die Wahl der Wissenschaftler fiel, die dieses Experiment planten, war die schon über hundert Jahre bekannte sogenannte Woodsche Legierung, die aus Wismut, Blei, Zinn und Kadmium besteht (Verhältnis von etwa 4 : 2 : 1 : 1). Die wichtigste Kennzahl dieser Legierung ist ihre niedrige Schmelztemperatur (etwa 70 °C). Eben deshalb wurde der Woodschen Legierung die »Dienstreise« in die kosmische Ferne auferlegt. Je leichter das Metall schmilzt, desto einfacher und auch kompakter kann die Vorrichtung sein, und dieser Umstand hat unter den Bedingungen der Kosmonautik eine erstrangige Bedeutung.

Nach dem Einschalten der Vorrichtung wurde das einem Bleistift ähnliche Halbzeug aus dem Magazin in die Röhre des Heizgerätes gescho-

ben, hier in einen Tropfen verwandelt und durch eine spezielle Einrichtung in den durchsichtigen Beutel befördert. Bei Durchführung dieses Experiments auf der Erde wäre der Tropfen sofort zu Boden gefallen und damit der Versuch schon zu Ende gewesen, noch bevor er begonnen hatte. Im Kosmos dagegen begann die Kugel aus dem geschmolzenen Metall in der Schwerelosigkeit zu »schweben«. Die Ausstoßgeschwindigkeit des Tropfens und die Beutelabmessungen wurden so ausgewählt, daß bei der Berührung des Tropfens mit den Beutelwänden dieser schon erstarrt war.

»Die Kugeln sehen ganz sympathisch aus«, kommentierte der Bordingenieur den Vorgang, »und es ist angenehm zuzusehen, wie die geschmolzenen Tropfen in der Schwerelosigkeit schweben, erstarren und mit nichts anstoßen.«

Damit war das Experiment »Sphäre« beendet. Was für einen praktischen Nutzen hatte es? Lohnte sich der Aufwand, nur, um eine Ernte von metallischen Erbsen einzubringen, die eine ideale kugelige Gestalt aufwiesen? Und war die Form überhaupt ideal?

Den Beutel brachten die Kosmonauten zur Erde, und die Wissenschaftler vieler Laboratorien begannen mit der allumfassenden Untersuchung seines Inhalts. Es zeigte sich, daß die erstarrten metallischen Tropfen eine ellipsoide Gestalt hatten und winzig kleine »Birnen« bildeten. Außerdem verlor die Woodsche Legierung aus irgendwelchen Ursachen in der Schwerelosigkeit ihre Homogenität. Obwohl, wie man sagt, die erste Plinse Schliiff gebacken war, werden ähnliche Experimente fortgesetzt werden. Wenn sie sich als erfolgreich erweisen sollten, dann eröffnen sich vor den Technologen reizvolle Perspektiven. Um unter Erdbedingungen Kugeln für Kugellager zu erhalten, sind mehr als 11 unterschiedliche Operationen erforderlich, wobei noch eine erhebliche Menge an Metall zusätzlich verbraucht wird. Ebenso ist die Oberflächenqualität der Kugeln noch verbesserungswürdig. Deshalb kann man annehmen, daß sich die Kosten für den Weg der Woodschen Legierung als Modellwerkstoff





in den Kosmos bald amortisieren werden, wenn auf der erdnahen Umlaufbahn das erste kosmische Kugellagerwerk in Betrieb geht. Und diese Zeit liegt nicht mehr fern.

Vorläufig kehren wir aus dem All auf die Erde zurück und machen uns mit der wichtigsten Komponente der Woodschen Legierung, dem Wismut, bekannt. Dies ist ein silbrig-weißes Metall mit einem leicht rosa Ton. Die erste Andeutung über dieses Metall in der Literatur findet man bereits im 15. Jahrhundert. In dieser Zeit verwechselten viele Chemiker das Wismut mit dem Blei, dem Zinn und dem Antimon. In einem der alchemistischen Wörterbücher wird Wismut wie folgt beschrieben: »ein leichteres, bleicheres und billigeres Blei«. Dafür schrieb der bekannte Metallurge und Mineraloge des Mittelalters Georgius Agricola in seinem Buch »Über die Lagerstätten und Erzgänge in der alten und neuen Zeit« im Jahre 1546: »Wismut gehört in den Rang eines der Grundmetalle«, und verband es mit dem seit dem Altertum bekannten »Siebengestirn« – Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Blei, Zinn und Quecksilber. Das »Recht auf Staatsbürgerschaft« erlangte Wismut erst im 18. Jahrhundert. Diesem Metall sind wie keinem anderen chemischen Element die unterschiedlichsten Bezeich-

nungen gegeben worden; man findet in der Literatur des 15. bis 18. Jahrhunderts mehr als 20 Pseudonyme.

Über die Herkunft des Wortes »Wismut« existieren viele Versionen. Einige Wissenschaftler sind der Meinung, daß in dem Wort die Wurzeln der deutschen Wörter »wis« und »mat« (weiße Masse oder weiße Materie) verborgen sind. Nach Ansicht anderer Wissenschaftler kommt die Bezeichnung von den deutschen Wörtern »Wiese« und »muten« (Erzgänge abarbeiten), da man dieses Metall bereits in alter Zeit auf den Wiesen Sachsens in der Nähe von Meißen gefunden hat. Die dritte Gruppe vertritt die Meinung, daß der Kreis Wiesen in Deutschland reich an Wismuterzen gewesen ist und daher auch die Bezeichnung stammt. Der Standpunkt der vierten Gruppe nimmt das Wort »Wismut« als nichts anderes als das arabische »Bi ismid«, was soviel wie »dem Antimon ähnlich« bedeutet. Es ist schwierig zu entscheiden, welche der Versionen die richtige ist. Auch die Große Sowjetische Enzyklopädie entscheidet diese Frage nicht und stellt nur fest: »Die Herkunft der Bezeichnung Wismut ist nicht festzustellen. Das Symbol Bi wurde zuerst von dem bekannten schwedischen Chemiker Berzelius in die chemische Nomenklatur eingeführt.«

Bereits im Altertum wurden die Wismutverbindungen als Farben, Schminken und kosmetische Mittel eingesetzt. So verwendeten die Vertreter des schwachen Geschlechts im alten Rußland sehr gern die unterschiedlichsten Bleichmittel, darunter solche auf der Basis von Wismut, die man oft auch als spanische bezeichnete. Ein Engländer, der den russischen Staat in der Mitte des 16. Jahrhunderts besucht hatte, schrieb, »daß sich die Frauen ihr Gesicht so schminken, daß man fast auf Schußentfernung die auf das Gesicht aufgetragenen Farben erkennen kann. Sie sind dabei mit den Frauen der Müller zu vergleichen, da sie so aussehen, als wenn neben ihrem Gesicht ein Mehlsack ausgeklopft worden wäre.«

Ein anderes Anwendungsgebiet des Wismuts



oder genauer seiner Verbindungen ist die Medizin. Auf diesem edlen Wirkungsfeld arbeitet es auch bis in die heutigen Tage. Viele Arzneimittel, Puder und Salben, die als antiseptische und Heilmittel bei der Behandlung von Haut- und Magen-Darm-Krankheiten, von Brand- und Platzwunden eingesetzt werden, enthalten in einer bestimmten Form Wismut. Die Pharmazie ist ein Hauptverbraucher von Wismut.

In der Technik ist Wismut schon lange für seine leichtschmelzenden Legierungen bekannt. Folgendes wurde in einem vor 100 Jahren veröffentlichten Buch geschrieben: »In den Legierungen wird Wismut nur dazu verwendet, ihnen die leichte Schmelzbarkeit zu verleihen. Deshalb nutzen dieses Metall die Zinngießer und die Orgelbauer, wenn sie ein leichtschmelzendes Präparat benötigen. Die Schriftsetzer geben ebenfalls ein wenig Wismut zu, um das Schmelzen zu erleichtern, wobei aber ihre Produkte nicht besser werden, da Wismut alle Legierungen spröde macht.«

Heute wird Wismut nicht mehr als Komponente für das Lettermaterial verwendet. Dafür hat es auf anderen Gebieten in den unterschiedlichsten Legierungen noch seine Aufgabe. Die Feuerwehrleute können z. B. ruhiger schlafen, wenn die feuergefährlichen Objekte automatische Feuerlöscher mit Schmelzsicherungen aus Legierungen des Wismuts mit anderen Metallen besitzen. Wenn sich die Temperatur in den Räumen bis zu einem bestimmten Niveau erhöht, dann schmilzt der Draht aus dieser Legierung, gibt ein Relais frei, und die schrille Klingel meldet die Gefahrensituation. Darüber hinaus gibt es solche Vorrichtungen, die nicht nur den Brand signalisieren, sondern sofort selbständig einen Schwall Wasser auf die Flammen gießen; den ankommenden Feuerwehrleuten bleibt dann nur noch zu konstatieren, daß das Feuer gelöscht ist und die Vorrichtung wieder in Alarmbereitschaft versetzt werden muß.

Eine Legierung des Wismuts mit Blei und Quecksilber schmilzt schon bei bloßer Reibung, deshalb wird sie für die Herstellung »metalli-

scher Bleistifte« genutzt. Die leichtschmelzenden Legierungen des Wismuts erlauben es, sehr sicher Glas mit Metall zu verbinden. Aus der Woodschen Legierung könnte man Teelöffel gießen, die beim ersten Umrühren des heißen Tees schmelzen würden. Es versteht sich, daß man in den Haushaltsläden solche Teelöffel nicht antreffen kann, aber in einer Physikstunde kann man deutlich die leichte Schmelzbarkeit der Woodschen Legierung demonstrieren. Diese Legierung besitzt auch sehr gute Gieß Eigenschaften, wodurch sie engste Räume einer Form ausfüllt. Deshalb werden aus ihr Modelle für Gußstücke mit komplizierter Gestalt hergestellt.

Für einige Wismutlegierungen sind die eigenartigen magnetischen Eigenschaften kennzeichnend. Aus einer Wismut-Mangan-Legierung fertigt man starke Dauermagneten. Eine Wismut-Antimon-Legierung, die im Magnetfeld einen Anomalieeffekt des magnetischen Widerstands zeigt, verwendet man für die Produktion von schnellwirkenden Verstärkern und Schaltern. Dem Zinn hilft es, sich von seiner chronischen Krankheit, der sogenannten »Zinnpest«, zu befreien. Reines Zinn wandelt sich bei niedrigen Temperaturen in Pulver um, die Ursache ist der





Übergang einer Modifikation des Zinns in eine andere (das weiße Zinn wandelt sich in das graue um), wobei die Änderung der Kristallstruktur mit einer erheblichen Verringerung der Dichte verbunden ist. Wismutzusätze verschieben die Umwandlungstemperatur zu so niedrigen Werten, daß die Zinnpest nicht mehr auftritt.

Gute Perspektiven besitzen die Verbindungen des Wismuts mit Tellur als Werkstoff für thermoelektrische Generatoren, da sie einen hohen Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie aufweisen.

In der Kosmonautik, der Medizin und in vielen anderen Gebieten verwendet man heute die thermoelektrische Kühlung. Bereits im Jahre 1834 hat der französische Physiker Jean Peltier bemerkt, daß beim Fließen eines Gleichstromes durch einen Stromkreis, der aus Drähten unterschiedlichen Typs besteht, z. B. Antimon und Wismut, an einer der beiden Verbindungsstellen eine bestimmte Wärmemenge aufgenommen wird. Diese Erscheinung, der sogenannte Peltier-Effekt, fand lange Zeit keine praktische Verwendung, da die an der Metallverbindungsstelle auftretende Abkühlung nur unbedeutend war. Vor etwa fünfzig Jahren schlug der russische Akademiker A. F. Joffé vor, zur Verbesserung des Wirkungsgrades die Metalle in den thermoelektrischen Vorrichtungen durch Halbleitermaterialien zu ersetzen, wobei insbesondere Verbindungen mit Wismut, Antimon, Tellur bzw. Selen zum Einsatz kommen sollten. Damit fand der Peltier-Effekt Eingang in die Technik. Es wurde möglich, auf seiner Grundlage Kühlschränke neuen Typs zu bauen, in denen als Wärmeträger nicht wie in den normalen Kühlschränken eine Flüssigkeit oder ein Gas, sondern Elektronen dienen. Winzig kleine Kühlaggregate von der Größe eines Fingerhutes können die Temperatur auf  $-50^{\circ}\text{C}$  absenken. Die Besonderheit solcher Kühlschränke besteht darin, daß man sie sehr leicht in Heizaggregate umwandeln kann. Dafür ist der Strom nur in die andere Richtung zu schicken.

Wismutverbindungen kann man in vielen

Sphären der modernen Technik antreffen. Das dreiwertige Oxid dieses Metalls dient als Katalysator bei der Erzeugung von Akrylpolymeren. Als Flußmittel, das die Schmelztemperatur einiger anorganischer Stoffe verringert, verwendet man es bei der Produktion von Glas, Email und Porzellan. Wismutverbindungen werden dem Glas zugesetzt, wenn man den Brechungsindex erhöhen will. Wismutsalze verwendet man bei der Herstellung von Farben für Verkehrszeichen, die dann aufleuchten, wenn die Scheinwerfer der Autos auf sie fallen. Die aus alter Zeit bekannte Neigung des Wismuts für die Kosmetik nutzt man heute bei der Schaffung von Lippenstiften mit Perlmutton.

In den letzten Jahren schenken viele Wissenschaftler den Erscheinungen der Supraleitfähigkeit ihre Aufmerksamkeit. Die bereits 1911 vom holländischen Physiker Kamerlingh-Onnes gefundene Eigenschaft mancher Metalle und Verbindungen, in der Nähe des absoluten Nullpunkts den elektrischen Strom ohne Widerstand durchzulassen, besaß lange Zeit nur wissenschaftliches Interesse. Die stürmische Entwicklung von Wissenschaft und Technik in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts verbindet die Supraleitfähigkeit mit grandiosen Perspektiven vor allem auf dem Gebiet der Energetik. Damit aber die Perspektiven real werden, muß man die Supraleitfähigkeitsschwelle soweit wie möglich vom absoluten Nullpunkt entfernen, d. h. die kritische Temperatur, bei der die Stoffe sprunghaft die Fähigkeit verlieren, dem elektrischen Strom einen Widerstand entgegenzusetzen. Die Suche der Wissenschaftler ist auf die Schaffung der sogenannten Hochtemperatursupraleiter gerichtet, d. h. auf Werkstoffe, die diese Eigenschaft bei relativ leicht einzustellenden Temperaturen entwickeln. Nach Ansicht der Fachleute können solche Materialien Polymere sein, die mit kleinen metallischen Teilchen durchsetzt sind.

Vor nicht allzu langer Zeit machten die sowjetischen Chemiker einen Schritt in diese Richtung. Bei der Elektrolyse einer wäßrigen Lösung von Blei-Wismut-Salzen in Anwesenheit von



Toluollösung des Polydiphenylbutadiens konnten sie ein Metallpolymer gewinnen, das etwa zu 80% disperse Teilchen der Blei-Wismut-Legierung enthielt. Da das Metall während der Abscheidung von Polymeren umhüllt wurde, konnte es nicht oxidiert werden, und die Oberfläche der Teilchen war ideal sauber. Wie die Prüfung des neuen Werkstoffes gezeigt hat, ist die Übergangstemperatur der Supraleitfähigkeit zwar noch weit vom gewünschten Wert entfernt, sie ist aber doch schon erheblich höher als bei der auf übliche Weise hergestellten Legierung der gleichen Zusammensetzung. Das bedeutet, daß man sich durch die nächsten Schritte in diese Richtung den erträumten Zielen immer besser annähern wird.

Amerikanische Wissenschaftler der Universität Michigan haben festgestellt, daß Wismut, das mit einer kleinen Anzahl von Zinn- oder Telluratomen verunreinigt ist, bei Temperaturen von 0,03 bis 0,06 K die Supraleitfähigkeit erlangt, während das reine Metall diese Eigenschaft nicht besitzt. Durch Veränderung der Beimengungskonzentrationen kann man die Leitfähigkeitsschwelle des Wismuts in eine beliebige Richtung verschieben.

Bisher war nur die Rede von Legierungen oder aber Verbindungen des Wismuts. Seine wichtigste und verantwortungsvollste Rolle als Wärmeträger in Kernreaktoren spielt es aber bravourös allein. Diese Rolle hat das Metall nicht zufällig erhalten. Es schmilzt bei relativ niedrigen Temperaturen (217 °C) und siedet bei sehr hohen Werten (1560 °C). Das breite Temperaturintervall, bei dem Wismut im flüssigen Zustand verbleibt, in Verbindung mit seiner chemischen Beständigkeit, Nichtbrennbarkeit und der Fähigkeit, heiße Neutronen abzulenken und sie dabei fast nicht zu absorbieren (d. h. die Kettenreaktion nicht zu bremsen), hebt Wismut in die Zahl der besten Kernwärmeträger. Sein Einsatz in Reaktoren mit Flüssigmetallbrennstoff (Uran, das in geschmolzenem Wismut gelöst ist) hat ebenfalls Perspektive.

Wismut besitzt aber noch eine Reihe von inter-

essanten Eigenschaften. Im Unterschied zu den meisten Metallen ist es sehr spröde und läßt sich leicht in Pulver verwandeln, aber durch Heißpressen kann man aus ihm dünne Drähte und Folien herstellen. Fast alle Metalle verringern bei der Erstarrung ihr Volumen, während Wismut es vergrößert (das gleiche erfolgt bei der Umwandlung von Wasser in Eis). Dies stellt auch die Grundlage für eine andere Besonderheit des Wismuts dar. Mit zunehmendem Druck erhöht sich die Schmelztemperatur normalerweise. Diesem Gesetz unterliegen alle Metalle, während es für Wismut keine Gültigkeit hat. Je höher der Druck ist, desto leichter geht es in den flüssigen Zustand über.

Wismut ist das diamagnetischste Metall. Wenn man es zwischen die Pole eines normalen Magneten bringt, dann wird es mit der gleichen Kraft von beiden Polen abgestoßen und nimmt eine Lage ein, die von den Polen gleichweit entfernt ist. Unter der Wirkung eines Magnetfeldes steigt der elektrische Widerstand des Wismuts in einem Maße, wie dies bei keinem anderen Metall beobachtet wird. Diese Eigenschaft nutzt man zur Messung der Induktion in starken Magnetfeldern (das Gerät wird auch als Wismutspirale bezeichnet). Der elektrische Widerstand des Wismuts ist stark temperaturabhängig; so vergrößert er sich z. B. bei einer Temperaturverringering von Null auf -180 °C noch um das 60fache.

Bezüglich der chemischen Eigenschaften führt Wismut ein bescheidenes Leben und strebt danach, es seinen nächsten Nachbarn der 5. Gruppe gleichzutun, insbesondere dem Antimon und dem Arsen. Die metallischen Eigenschaften sind bei ihm stärker ausgeprägt, was sich durch seine Stellung im Periodensystem erklären läßt, da es näher am metallischen Bereich liegt als die anderen Elemente seiner Gruppe. In trockener Luft ist Wismut beständig, während es sich unter Feuchtigkeitseinfluß mit einem dünnen Oxidüberzug bedeckt. Wenn man das Metall über 1000 °C erhitzt, dann verbrennt es mit einer schönen blauen Flamme.

Wie bekannt ist, bewegen sich die Metall-



ionen bei der Elektrolyse von der Anode zur Katode. Dieser Meinung war man fast anderthalb Jahrhunderte, seit der englische Wissenschaftler Michael Faraday die wichtigen Gesetze der Elektrolyse formuliert hatte. 1975 haben die Mitarbeiter des Instituts für allgemeine und anorganische Chemie der Akademie der Wissenschaften der Ukrainischen SSR festgestellt, daß einige Metalle bei Elektrolyseprozessen zur Anode streben. Bei den Versuchen der Ukrainischen Wissenschaftler wurde die Katode aus Wismut hergestellt, die Anode aus Nickel, und als Elektrolyt verwendete man geschmolzenes Ätznatron. Als der Strom eingeschaltet wurde, begann sich die Wismutkatode aufzulösen, und bald darauf bildeten sich auf der Anodenoberfläche glänzende Kugeln aus reinem Wismut.

Diese Entdeckung widerspricht nicht den Gesetzen von Faraday, sondern unterstreicht ihre Gültigkeit. Die meisten Metalle scheiden sich tatsächlich an der Katode ab, und nur einige, wie Wismut, Blei, Zinn und Antimon, wandern zur Anode, allerdings nur unter der Bedingung, daß als Elektrolyt eine Schmelze der Salze von Alkali- und Erdalkalimetallen dient.

Diese ungewöhnliche Eigenschaft kann man zum Reinigen vieler Metalle und Legierungen von Verunreinigungen an Wismut, Blei und anderen störenden Elementen benutzen. Dafür schaltet man das metallische Halbzeug, das einer Raffination unterzogen werden soll, als Katode. Bei der Elektrolyse scheiden sich dann diese unerwünschten Beimengungen an der Anode ab. Dieses ökonomische Verfahren bezeichnet man als Katodenraffination.

Wismut ist praktisch das letzte nichtradioaktive Element im Periodensystem. Man muß sagen praktisch, denn sehr genaue Experimente haben gezeigt, daß der Atomkern seines wichtigsten natürlichen Isotops Wismut-209 ebenfalls der radioaktiven Umwandlung unterliegt, aber die Halbwertszeit dieses Isotops übersteigt um das 100millionenfache das Alter der Erde. Deshalb kann man es mit vollem Recht als stabil bezeichnen, was aber nicht für die anderen 19 Iso-

tope des Wismuts gilt, denn deren Halbwertszeit ist nicht größer als einige Tage.

Vor kurzem half Wismut den sowjetischen Physikern, den Kern des 107. Elements des Periodensystems zu synthetisieren. Nach dem Einsetzen in einen Beschleuniger wurde die Wismut-scheibe einer sehr starken Bombardierung mit Chromionen unterzogen. Nach 2 Monaten ununterbrochener Arbeit des Beschleunigers analysierte man die Ergebnisse und konnte mit Sicherheit feststellen, daß bei der Fusion der Chromionen mit den Wismutkernen auch das Element mit der Nr. 107 gebildet wurde, dessen Halbwertszeit nur zwei Tausendstel Sekunden beträgt.

Die Nachfrage nach Wismut nimmt jedes Jahr zu. In den letzten 40 Jahren ist der Preis auf dem Weltmarkt um das 6fache gestiegen. Bezüglich der Vorräte in der Erdkruste nimmt Wismut nur einen bescheidenen Platz ein und liegt hinter den meisten seltenen Elementen. Minerale dieses Metalls gibt es schon ein paar mehr – etwa 70. Große Anhäufungen bilden sie allerdings nicht; so muß man Wismut als Nebenprodukt bei der Erzeugung von Blei, Kupfer, Silber und anderen Metallen gewinnen, deren Erze nur 0,0001% Wismut enthalten. Die bekanntesten Wismutlagerstätten befinden sich in Bolivien, auf der Insel Tasmanien und in Peru.

In der Sowjetunion begann die Suche nach Lagerstätten für dieses Metall schon während des 1. Weltkrieges, als sich der Bedarf an Heilmitteln und Antiseptika sehr stark erhöhte. Wismutpräparate, die für die Medizin gebraucht wurden, bezog das zaristische Rußland aus Deutschland. Mit Beginn der Kriegshandlungen konnte man nicht mehr auf den alten Partner rechnen, und die Leitung der Lazarette wandte sich an die Akademie der Wissenschaften mit der Bitte, in Rußland Wismutlagerstätten zu erkunden und zu erschließen.

Diese Bitte wurde an den wichtigsten Geologen der Akademie W. I. Vernadski herangetragen, der in jenen Jahren die Kommission zur Erforschung der natürlichen Produktivkräfte Ruß-



lands leitete. Bei der Untersuchung von Proben aus dem Mineralogischen Museum der Akademie kam der Wissenschaftler zu dem Schluß, daß die Sucharbeiten in der Nähe des Baikals durchgeführt werden müßten. Bald darauf entsandte er auch einen seiner Schüler, K. A. Nenadkevitsch, in dieses Gebiet. Nach einiger Zeit fand er in den Scherlower Bergen ein neues Mineral, das

er mit Basobismutit bezeichnete. Das Mineral enthielt ausreichend Wismut und konnte als ausgezeichnete Rohstoff für seine Produktion dienen.

Im weiteren fanden die Geologen noch eine Reihe von Wismutlagerstätten, und bereits im Jahre 1918 wurden die ersten Kilogramm des sowjetischen Wismuts erschmolzen.

Fr

## Franzium

### Das Seltenste unter den Seltenen

*Keine Regel ohne Ausnahme · Das lange Warten ·  
Wo ist der Hausherr? · Bestimmte Prognosen · Zwei  
verschiedene Pfade · Die ungebetenen Gäste · Die Reise  
zum Toten Meer · Viele potentielle Vertreter · Die Ent-  
deckungen werden zu den Akten gelegt · Die Suche wird  
fortgesetzt · Die »radioaktive Gabel« · Die Leerstelle  
wird gefüllt · Ein kurzes Leben · Den Chemikern hilft die  
Physik · Starker Beschuß · Was würden die Alchimisten  
dazu sagen? · Das überflüssige Gold · Die »Chemie  
auf der Flucht« · Die Prognose wird durch Versuche  
bestätigt · Das Eis ist gebrochen*



Man sagt, es gibt keine Regel ohne Ausnahme. Wenn sich diese Regel der genannten Tatsache unterordnet, dann ist die Geschichte der Entdeckung der chemischen Elemente vor allem von Männern geschrieben worden.

Eine angenehme Ausnahme dieser Regel steht mit drei Frauennamen in Verbindung, die der Stolz des schwachen Geschlechts sind: Marie Curie – Entdeckerin des Poloniums und Radiums, Ida Noddack, die das Rhenium entdeckte, und Margrit Perey, die das Franzium entdeckte. Ohne die großen Verdienste von Marie Curie und Ida Noddack zu schmälern, muß man hinzufügen, daß sie ihre wissenschaftlichen Erfolge mit ihren Männern Pierre Curie und Walter Noddack vollbracht haben, während Margrit Perey bei der Entdeckung des Franziums ohne fremde Hilfe ausgekommen ist.

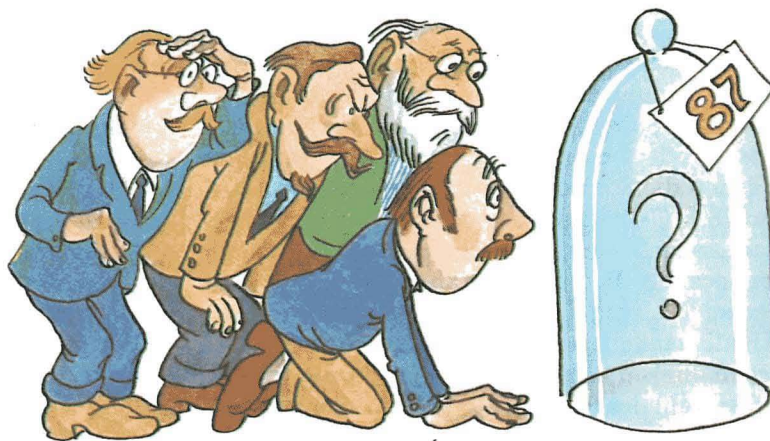
Auf den Auftritt des Elements Nr. 87 (unter dieser Nummer findet man Franzium im Periodensystem) haben die Chemiker der ganzen Welt sehr lange, fast 7 Jahrzehnte gewartet. Als Mendelejew an dem Gebäude seines Periodensystems baute, blieben noch viele Zimmer in seinem Haus leer. Der geniale Wissenschaftler wußte aber, daß diese Leerstellen nur vorübergehend existierten, denn die entsprechenden »Bausteine« mußten in der Natur vorhanden sein,

und nur gegenwärtig konnten sie sich noch versteckt halten. Mendelejew sagte nicht nur den »Wohnort« einer Reihe von Elementen voraus, sondern bestimmte auch mit großer Genauigkeit die chemischen und physikalischen Eigenschaften dieser noch Unbekannten.

Das Leben bestätigte bald darauf die glänzende Prognose des Wissenschaftlers. Im Jahre 1875 wurde Gallium entdeckt (Mendelejew nannte es Eka-Aluminium, indem er richtig annahm, daß es bezüglich seiner Eigenschaften seinem oberen Nachbarn in der Periodentabelle ähnlich ist), 1879 entdeckte man das Skandium (Eka-Bor) und 1886 das Germanium (Eka-Silizium).

Im Artikel »Das natürliche System der Elemente und seine Anwendung zur Vorhersage der Eigenschaften bestimmter Elemente«, der 1871 veröffentlicht wurde, schrieb Mendelejew: »In der 10. Reihe kann man noch basische Elemente erwarten, die zu der I., II. und III. Gruppe gehören. Das erste von ihnen wird ein Oxid des Typs  $R_2O$ , das zweite  $RO$  und das dritte  $R_2O_3$  bilden, wobei das erste dem Cäsium und das zweite dem Barium ähnlich sein wird. Alle diese Oxide besitzen einen starken basischen Charakter.«

Die Jahre vergingen, die Wissenschaft wurde mit immer neuen Elementen bekannt, aber der Platz mit der Nr. 87, der für das Eka-Cäsium re-





serviert worden war, blieb nach wie vor leer, obwohl es nicht an unzähligen Versuchen der Wissenschaftler vieler Länder mangelte, den zugehörigen Hausherrn zu ermitteln. Und obwohl es ihm immer wieder gelang, sich dem Zugriff der Wissenschaftler zu entziehen, waren viele seiner Eigenschaften, die durch die »geographische Lage« im Periodensystem bestimmt worden waren, der Wissenschaft schon bekannt.

So war es unzweifelhaft, daß das Element Nr. 87 ein sicherer Bewahrer der »Alkali-Tradition« sein würde, die vom Lithium zum Cäsium zunimmt. Dies erklärt sich vor allem aus seiner hohen Reaktionsfreudigkeit (höher als bei Cäsium), aufgrund dessen es in der Natur nur in Form von Salzen vorkommen kann, die eine hohe Löslichkeit besitzen. Da von Lithium zum Cäsium die Schmelztemperatur sinkt (von 180,5 auf 28,5 °C), hat man den berechtigten Grund gehabt anzunehmen, daß sich das Eka-Cäsium unter normalen Bedingungen ähnlich wie Quecksilber im flüssigen Zustand befinden muß. Für die Alkalimetalle, bis auf Lithium, ist noch eine Gesetzmäßigkeit charakteristisch: Je höher die Massezahl des Elements ist (d. h., je tiefer es sich im Periodensystem befindet), desto weniger ist es

in der Erdkrinde anzutreffen. Wenn man berücksichtigt, daß in der Natur für Cäsium nur ein sehr geringer Anteil bereitsteht, dann ist das unter ihm liegende Element Nr. 87 das Seltenste unter den Seltenen. Die radioaktiven Neigungen seiner Nachbarn lassen den Schluß zu, daß auch das Eka-Cäsium radioaktiv ist.

Die Eigenschaften des Elements Nr. 87 legten zwei Wege bei der Suche fest: Die einen meinten es in den Mineralen der Alkalimetalle oder in den mit diesen Elementen angereicherten Gewässern der Mineralquellen oder des Meeres zu finden. Die anderen führten die Suche auf den »radioaktiven« Pfaden und hofften, das Eka-Cäsium unter den Zerfallsprodukten der mit ihm benachbarten Elemente zu finden.

1913 berichtete der englische Radiochemiker J. Cranston, daß er bei einem der Aktiniumisotope eine schwache Alpha-Strahlung bemerkt hätte. Der Wissenschaftler hat angenommen, daß sich dabei das Isotop des Elements Nr. 87 bilden kann. Nach einem Jahr kamen die österreichischen Radiochemiker Mayer, Hesse und Paneth zu ähnlichen Ergebnissen, indem sie bei Versuchen mit dem Aktiniumisotop »ungebetene« Alpha-Teilchen fanden. »Diese Teilchen bilden sich beim Alpha-Zerfall des normalerweise beta-aktiven  $^{227}\text{Ac}$ «, schrieben sie, »... und die Zerfallsprodukte müßten ein Isotop des Elements Nr. 87 sein.« Die Annahme ist noch keine wissenschaftliche Tatsache, und dies um so mehr, als es für Zweifel berechnete Grundlagen gab. Erstens war die beobachtete Alphastrahlung so schwach, daß sie die Fehlergrenze des Versuches nicht überstieg. Zweitens konnte das zu untersuchende Präparat bestimmte Beimengungen der Proaktinide enthalten, die zum Aussenden von Alpha-Teilchen befähigt sind, und somit konnten die Wissenschaftler leicht getäuscht werden. Wie sich später herausstellen sollte, befanden sich diese Wissenschaftler auf dem richtigen Weg, obgleich es bis zur Entdeckung des Elements Nr. 87 noch weit war. Dieses Ereignis hat sich fast ein Viertel Jahrhundert später vollzogen.



1925 reiste der Engländer I. Friend nach Palästina, um das Wasser des Toten Meeres zu untersuchen, das mit Alkalimetallen angereichert ist. »Schon vor einigen Jahren«, schrieb er, »kam mir der Gedanke, daß man das Eka-Cäsium im Toten Meer finden müßte, falls es zu einer stabilen Existenz befähigt ist.« Der Gedankengang war nicht schlecht, aber wie sich der Wissenschaftler auch mühte, mit Hilfe der Spektralanalyse wenigstens Spuren des Elements Nr. 87 zu finden, er konnte die gewünschten Ergebnisse nicht erzielen.

Nicht nur Meerwasserkonzentrate, sondern auch die seltensten Minerale, Aschen von Pilzen und Zigarren, gebrannter Zucker und die Knochen von ausgegrabenen Lebewesen, d. h. fast alle potentiellen Vertreter des Eka-Cäsiums kamen vor das Spektroskop, aber jedesmal widersprach das Gerät dem Experimentator.

Die das Eka-Cäsium suchenden Wissenschaftler hatten nicht nur Widerwärtigkeiten, sondern auch Freude, die oftmals aber nur zeitweilig war. Bestimmte Entdeckungen, die zu Beginn gegläntzt hatten, erwiesen sich bei der Überprüfung als fehlerhaft und wurden deshalb sehr schnell zu den Akten gelegt. 1926 erschien in der Presse die Mitteilung der englischen Chemiker J. Druce und F. Loring darüber, daß sie aller Wahrscheinlichkeit nach die Linien des 87. Elements auf den Röntgenogrammen des Mangansulfats beobachtet hatten. Sie gaben ihm den Namen Alkalinium. Nach 3 Jahren veröffentlichte der amerikanische Physiker F. Allison Angaben über seine magnetooptischen Untersuchungen, die es ihm erlaubten, bestimmte Spuren des gesuchten Elements in den seltenen Mineralen der Alkalimetalle Samarskit, Pollucit und Lepidolit festzustellen. Zu Ehren seiner Heimat schlug der Wissenschaftler vor, das 87. Element Virginium zu nennen. 1931 gelang es scheinbar seinen Landsleuten J. Papish und E. Wainer, mit der spektrooptischen Methode das Vorhandensein der Virginiumlinien im Samarskit zu bestätigen. Später klärte sich auf, daß die Ursache für das Auftreten der unbekanntenen Linien ein Fehler des

im Spektroskop eingebauten Kristalls gewesen war.

1937 war der rumänische Chemiker H. Hulubei der Meinung, daß er das Eka-Cäsium im Pollucit gefunden habe, und schlug vor, es Moldavium zu nennen. Weder Alkalinium noch Virginium, noch Moldavium waren berechtigt, die Leerstelle in der linken unteren Ecke des Periodensystems einzunehmen.

Auch die Anhänger der radioaktiven Richtung setzten die Suche fort. Schon im Jahre 1925 veröffentlichte der Odessaer Chemiker D. Dobroserdow in der Zeitschrift »Ukrainisches Chemiejournal« einen Artikel über die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Eka-Cäsiums, wobei er unterstrich, daß dieses Element äußerst radioaktiv sein müsse. Dabei ging der Wissenschaftler von der irrigen Annahme aus, daß die Radioaktivität des Kaliums und des Rubidiums durch die Beimengungen des 87. Elements bedingt sei, das er Russium nennen wollte.

Einige Jahre später gelang es den bekannten Radiochemikern O. Hahn (Deutschland) und D. Hevesi (Ungarn), interessante Ergebnisse zu erhalten. Die sorgfältige Untersuchung der radioaktiven Reihe einiger Aktiniumisotope hat gezeigt, daß sich beim Alpha-Zerfall ein Isotop des Eka-Cäsiums bildete. Genauer muß gesagt werden, daß aus jeder Million der Atome des Ausgangsstoffes nur einige Atome des 87. Elements entstehen.

So war die Situation am Vorabend des Jahres 1938, als sich in die Suche nach dem Eka-Cäsium Margrit Perey einschaltete. Sie war eine Mitarbeiterin des Pariser Radiuminstituts und eine Schülerin von Marie Curie. Zunächst beschloß Perey, die zu dieser Zeit längst bekannten Experimente von Mayer, Hesse und Paneth zu wiederholen. Nicht umsonst sagt man, daß in der Wissenschaft das Neue das schon vergessene Alte ist.

Als Bestätigung dieser Tatsache kann man das Auffinden des Elements Nr. 87 im Periodensystem heranziehen.



Bei der Durchführung der Versuche ihrer Vorgänger stellte Perey ebenfalls die Anwesenheit von Alpha-Teilchen fest. Es war notwendig zu beweisen, daß ihre Quelle bestimmt nicht die Beimengungen der Proaktinide, sondern das Aktinium war. Sie führte eine sehr sorgfältige Reinigung des Aktiniums von allen möglichen Beimengungen und »schwarzen Produkten« (d. h. den Produkten seines radioaktiven Zerfalls) durch und überprüfte danach das reinste Aktiniumpräparat. Perey hat festgestellt, daß das Isotop dieses Elements mit der Massezahl 227 eine sogenannte »radioaktive Gabel« besitzt, oder anders gesagt, daß es in zwei Richtungen zerfällt, und zwar mit der Strahlung von Alpha- und Beta-Teilchen. Die »Zinken« dieser Gabel sind bei weitem nicht gleich, denn nur in 12 von 1000 Fällen senden die Aktiniumatome Alpha-Teilchen aus, während in allen übrigen Fällen Beta-Teilchen abgestrahlt werden (d. h. Elektronen). Das Aktinium geht dadurch in ein Thoriumisotop über. Was aber erfolgt bei der Alpha-Strahlung?

Die Berechnungen haben gezeigt, daß beim Abstrahlen eines Alpha-Teilchens (d. h. eines Heliumkernes) der Kern des Aktiniumisotops um so viel »abmagert«, daß aus ihm nichts anderes als ein Kern des 87. Elements entstehen kann. Bei den Untersuchungen ergab sich ein Zerfallsprodukt des Aktiniums mit den Eigenschaften

eines schweren radioaktiven Alkalimetalls. Das war das vordem nicht in der Natur gefundene und lang ersehnte Eka-Cäsium, genauer sein Isotop mit der Massezahl 223. Damit war im Jahre 1939 eines der letzten vor dem Uran liegenden Elemente gefunden worden. Zu Ehren ihrer Heimat nannte es Perey Franzium.

Warum konnte Franzium so lange nicht von den Wissenschaftlern der ganzen Welt entdeckt werden? Vor allem deshalb, weil es von allen chemischen Elementen (ausgenommen die Transurane) das unbeständigste ist. Die Halbwertszeit seines langlebigsten Isotops (das in den Versuchen von Perey entdeckt worden ist) beträgt nur 22 Minuten. Bei einer solchen »Lebensdauer« können nicht nur keine merkbaren Vorräte dieses Elements vorhanden sein, sondern auch nicht einmal die geringsten Spuren. Ist es tatsächlich so? Unter Ausnutzung des Gesetzes des radioaktiven Zerfalls rechneten die Fachleute aus, daß von den  $5976 \cdot 10^{18}$  Tonnen der Erdstoffe auf das Franzium ein Anteil von 500 Gramm fällt. Deshalb ist es in der Natur so außerordentlich kompliziert, auch nur ein winziges Körnchen dieses Elements zu finden. Und trotzdem sind den Wissenschaftlern heute schon viele physikalische und chemische Eigenschaften des Franziums bekannt. Wie sind sie bestimmt worden?

Damit man dies vornehmen kann, muß man auf künstlichem Weg eine bestimmte Menge die-



ses Elements erzeugen, es von allen Beimengungen befreien und danach in kürzester Zeit alle erforderlichen Messungen und Versuche durchführen.

In der ersten Zeit wurden für die Abscheidung des Franziums verschiedene chemische Methoden genutzt, die aber sehr kompliziert und unvollkommen waren. Merkbare Erfolge erreichte man, als den Chemikern die Physik zu Hilfe kam. Die Schaffung der Zyklotrone und die Entwicklung der Ionenbeschleunigungstechnik haben es ermöglicht, physikalische Herstellungsverfahren für Franzium zu erarbeiten. Sie beruhen auf dem Beschuß von Thorium- und Uran-targets mit Protonen hoher Energien. Auf diese Weise wurden im Vereinigten Kernforschungsinstitut in Dubna durch einen 15minütigen »Beschuß« eines Grammes Uran auf dem Zyklotron  $5 \cdot 10^{-13}$  Gramm Franzium erhalten.

Was sind  $5 \cdot 10^{-13}$  Gramm? Würde es sich um Gold handeln, wäre eine solche Menge keinen roten Heller wert. Aber der trillionste Teil eines Gramms Franzium stellt für die Wissenschaftler einen unschätzbaren Wert dar, der es erlaubt, viele Lücken bei der Kennzeichnung dieses Elements auszufüllen. Es ist verständlich, daß es dabei nicht möglich ist, auf experimentellem Wege die Dichte des Metalls zu bestimmen oder festzustellen, bei welcher Temperatur es schmilzt und siedet. Die gesammelten Werte erlauben es aber, dies auf rechnerischem Wege zu tun.

Es wurden auch andere Verfahren zur Erzeugung von Franzium erarbeitet. Dabei wurden Targets aus Blei, Thallium oder Gold mit mehrfach geladenen Ionen von Bor, Kohlenstoff oder Neon beschossen, die auf dem Zyklotron oder einem Linearbeschleuniger beschleunigt wurden. Die mittelalterlichen Alchimisten würden sich an den Kopf greifen, wenn sie erführen, daß ihre Nachfolger, anstatt sich seriösen Aufgaben zu widmen, d. h. der Erzeugung von Gold aus anderen Stoffen, unvernünftigerweise dieses Metall mit irgendwelchen Teilchen beschießen und dabei bestrebt sind, dieses wertvolle Metall in ein Element mit »zweifelhaften« Eigenschaften um-

zuwandeln. Gerade diese »zweifelhaften« Eigenschaften nötigen die Wissenschaftler, immer neue Versuche durchzuführen, um so viel wie möglich von den Geheimnissen des Franziums zu erfahren.

Wie werden die »alchimistischen« Prozesse des 20. Jahrhunderts durchgeführt? Eine dünne Goldfolie (von einigen Mikrometern Dicke) wird in eine Kassette gelegt und mit beschleunigten Neonionen beschossen. Es findet eine Kernreaktion statt, in deren Resultat sich das Franziumisotop mit der Massezahl 212 bildet. Nach einer halbstündigen »Behandlung« wird die Kassette mit der Folie in ein Labor gebracht, wo mit Hilfe eines Manipulators in einem Schutzschrank das bestrahlte Gold aus der Kassette genommen wird. Das Äußere der Folie erscheint wie vor dem Versuch, aber in Wirklichkeit enthält sie zehntausend Franziumatome. Wenn man aufrichtig ist, ist dies nicht sehr viel, aber der moderne Wissenschaftler hat oftmals nur mit einigen Atomen eines Stoffes zu tun. Das Element Nr. 101 (das man später Mendelevium nannte) wurde von amerikanischen Wissenschaftlern entdeckt, als sie insgesamt nur 17 Atome zur Verfügung hatten. Damit sind 10000 Atome ein wertvolles Lager.

So kann Franzium hergestellt werden, aber die Arbeit mit ihm beginnt erst. Man muß es vom Gold abscheiden und von allen unerwünschten Beimengungen befreien und anschließend sofort die erforderlichen Untersuchungen beginnen. Dies alles muß mit »kosmischer« Geschwindigkeit durchgeführt werden, da die Halbwertszeit des Franziumisotops, das beim Beschuß von Gold entsteht, nur 19 Minuten beträgt.

Zunächst wird die Folie in Königswasser gelöst, und mit Hilfe von speziellen Goldfängern entfernt man das gesamte wertvolle Metall (in dieser Situation ist es vollkommen überflüssig). Jetzt muß man sich davon überzeugen, daß diese Operation erfolgreich war. Elektronische Geräte zeigen an, daß in der Lösung kein Goldatom mehr vorhanden ist. Es sind aber noch nicht alle anderen Beimengungen entfernt. Bleiben sie wei-

terhin erhalten, ist die Untersuchung sinnlos, da sich das Bild verschieben könnte und die Wissenschaftler betrogen würden. Unterdessen läuft die Zeit.

Die »entgoldete« Lösung wird mehrmals durch Säulen geschickt, die mit Stoffen gefüllt sind, die sehr begierig alle überflüssigen Produkte der Kernreaktion aufnehmen und nur das Franzium durchlassen. Die Reinigung ist beendet. Ein Tropfen der Lösung wird auf eine Vertiefung in einer Teflonplatte getropft und mit Infrarotstrahlen bestrahlt. Nach einigen Sekunden ist von dem Tropfen nichts mehr zu sehen. Es ist nur die Lösung verdampft, und die Franziumatome sollten auf der Platte zurückbleiben. Um sich davon zu überzeugen, wird die Platte in eine Vakuumkammer gebracht; eine kleine Neonlampe signalisiert nun das Vorhandensein von Franzium. Warum brennt aber nur eine der vielen Lampen? Das bedeutet, daß das Franzium rein ist. Wenn es noch Fremdatome gäbe, würden auch die anderen Lampen brennen. Man kann mit der chemischen Untersuchung des Franziums beginnen. Für diese Untersuchungsetappe sind nur noch wenige Minuten gegeben, da bald vom Franzium nur noch die Erinnerung bleibt. Nicht zufällig nennen die Wissenschaftler im Scherz eine solche Untersuchung die »Chemie auf der Flucht«.

In den Jahren, die seit der Entdeckung des Franziums vergangen sind, wurden viele Ver-

suche durchgeführt und hunderte Berechnungen angestellt. Heute sind den Wissenschaftlern die wichtigsten physikalischen und chemischen Eigenschaften dieses Elements bekannt. Seine Dichte beträgt  $2,5 \text{ g/cm}^3$ . Es schmilzt bei etwa  $8^\circ\text{C}$  und siedet bei etwa  $620^\circ\text{C}$ . Vom chemischen Standpunkt ist das Franzium das aktivste Alkali-metall. Wenn man Fluor, das sich in der rechten oberen Ecke des Mendelejewischen Periodensystems befindet, als deutlichsten Vertreter der Nichtmetalle bezeichnet, dann ist sein Antipode Franzium das »metallischste« Metall.

Welchen praktischen Nutzen kann dieses nicht faßbare Element bringen? Über seinen breiten Einsatz zu sprechen ist noch zu früh, obgleich das Eis schon gebrochen ist. Die das Franzium kennzeichnende Strahlung ermöglicht es z. B., sehr schnell festzustellen, ob es in einem Stoff Anteile seines »Vorfahren« Aktinium gibt. Für die Mediziner ist die Eigenschaft des Franziums von Interesse, sich in bestimmten Geschwulstgeweben anzureichern, wobei dies auch, was besonders wichtig ist, in frühen Krankheitsstadien erfolgen muß. Dann kann man dieses Element für die Frühdiagnose von Krebserkrankungen nutzen. Solche Versuche sind bereits erfolgreich bei Ratten angewandt worden. Die Zukunft eröffnet ohne Zweifel noch neue Anwendungsgebiete des Franziums.

Die Versuche dauern an, das Franzium erzählt über sich, die Wissenschaftler hören zu.



# Ra

## Radium

Jahre der Arbeit – ein Erzeugnis  
in Gramm

*Die Legenden erzählen · Der Schritt zur Unsterblichkeit ·  
Drei Franken am Tag · Die Aufgaben sind festgelegt ·  
Nicht sehr warm · Die zwei Unbekannten · Der Fund  
in einem Pariser Hof · Das Geschenk aus Böhmen ·  
Außergewöhnliche Bedingungen · Der Erfolg nach vier  
Jahren · »Ich brauche keine Orden...« · Der Triumph  
der alchimistischen Ideen · Die Liebe und Kränkung  
Becquerels · Ein wundervoller Heilkünstler · Die Freude  
des alten Lords · Halsschmuck und Laboratorien ·  
Der Nobelpreis · Der Tod Pierre Curies · Erstmals reines  
Radium · Ewige Farben · Der Traum der Tänzerin ·  
Das erzählende Tagebuch*

Die Geschichte der Wissenschaft enthält viele Beispiele, wie geniale Ideen plötzlich einen Wissenschaftler befallen und wie in wenigen Sekunden große Entdeckungen geboren werden. Wenn man den alten Legenden Glauben schenken darf, dann nahm der alte Archimedes eines Tages ein Bad, und während sein vergänglicher Körper mit der Verdrängung des Wassers beschäftigt war, entstand in seinem Kopf eines der wichtigsten Gesetze der Hydromechanik. Und Newton genügte es, im Garten einen Apfel vom Baum fallen zu sehen, um eines seiner wichtigsten Postulate, das Gesetz der Erdanziehung, zu fixieren.

Diese Legenden sind geschaffen worden, um zu zeigen, wie leicht große Gesetze entdeckt werden können. Aber bereits Hodscha Nasreddin sagte: »Das Wild sieht man nur, weil man jagt.« Viele sahen einen Apfel vom Baum fallen, aber nur für Newton erwies er sich als golden. Alle Gedanken des Wissenschaftlers waren mit diesem Gesetz beschäftigt. Zuerst gab es jedoch nur Beobachtungen und Vorschläge. Deshalb war der kleine Apfel dem ersten Stein in den Bergen ähnlich, der die Lawine auslöst. Für die Lawine selbst muß aber schon etwas mehr Material vorhanden sein.

Um ein Ziel zu erreichen, müssen die Wissenschaftler häufig Monate und sogar Jahre arbeiten, Versuch um Versuch durchführen und dabei wirkliche wissenschaftliche Heldentaten vollbringen. Als Beispiel einer solchen Heldentat kann auch die Entdeckung und Herstellung eines der erstaunlichsten Metalle, des Radiums, durch das Forscherehepaar Marie und Pierre Curie dienen. Deshalb ist die Erzählung über das Radium auch eine Erzählung über die beiden bedeutenden Wissenschaftler, über ihre gigantische Arbeit zum Wohle der Wissenschaft.

Der Zug fuhr schon drei Tage. Irgendwo weit hinter ihm lag Polen und vor ihm Paris. Was erwartete dort das kleine, bescheidene polnische Mädchen, das in die bedeutende Sorbonne eintreten wollte? Sie träumte davon, daß sie nach Beendigung der Universität in ihre Heimat zu-

rückkehren und als Physiklehrerin arbeiten würde. Sie konnte nicht ahnen, daß sich dieser Traum nicht erfüllen sollte. Mit dem Beginn dieser Fahrt nach Frankreich machte Marie Sklodowskaja den ersten Schritt auf einem langen und steinigen Weg, der ihren Namen unsterblich machte und sie in die Reihe der großen Namen der Menschheit einreichte.

Allgemeine Anerkennung, Ruhm, Ehre – das wird alles noch kommen. Aber vorläufig konnte sie nur drei Franken am Tag ausgeben, und zwar für Nahrung, Kleidung, Unterkunft, Hefte und Bücher. Insgesamt nur drei Franken! Die Kosten für den O-Bus waren ein unzulässiger Luxus. Deshalb ging Marie auch im Regen und in der Kälte zu Fuß in die Universität. Um das Petroleum für die Beleuchtung zu sparen, besuchte sie, sobald es dunkelte, die Bibliothek, wo sie bis 10 Uhr abends sitzen konnte. Aber anschließend beschäftigte sie sich beim Schein der Petroleumlampe bis zwei Uhr nachts zu Hause in einem kleinen Zimmer unterm Dach. Für viele Wochen bestand ihre tägliche Ration aus Tee und Brot mit Butter, und manchmal kam ein Bund Radieschen oder ein wenig Obst dazu.

Nach Beendigung der Studienjahre in der Sorbonne erhielt sie gleich zwei Diplome: eins für Physik und eins für Mathematik.

In dieser Zeit schrieb Marie Sklodowskaja in einem Brief an ihren Bruder: »Das Leben ist für alle von uns nicht leicht. Das Wichtigste ist aber Beständigkeit und das Hauptsächlichste Selbstvertrauen. Man muß glauben, daß man für irgend etwas nützlich ist, und dieses Irgendetwas muß man beharrlich anstreben.«

Im Jahre 1895 geschah ein Ereignis, das eine wichtige Rolle im Leben von Marie spielen sollte. Sie heiratete den damals schon bekannten Physiker Pierre Curie. Von diesem Moment an wurde die gemeinsame Arbeit der Sinn ihres Lebens. Bis zur Entdeckung des Radiums blieben noch drei Jahre.

Selbst die Geburt einer Tochter konnte Marie nicht hindern, sich mit ihrer Lieblingsarbeit zu beschäftigen. Die junge Frau ermöglichte es, den



Haushalt zu führen, die kleine Irène zu versorgen, in den Labors von Pierre Curie zu arbeiten und an der Vorschule der Sorbonne zu lehren. In diesem Jahr begann Marie Curie-Sklodowskaja mit ihrer Dissertation. Sie mußte noch ein Thema auswählen. Am meisten setzte die junge Wissenschaftlerin die vor kurzem von Henry Becquerel entdeckte rätselhafte Strahlung des Urans und seiner Verbindungen in Erstaunen. Auf diesem Gebiet sollte nach familiärem Rat weitergearbeitet werden.

Mit Hilfe einer von ihrem Mann geschaffenen Vorrichtung, die es ermöglichte, den Strom der geheimnisvollen Strahlen quantitativ zu erfassen, untersuchte Marie Curie über tausend Proben. Die Arbeit wurde unter unglaublichen Bedingungen durchgeführt, in einem für die Versuche ungeeigneten feuchten Raum und mit primitiven Ausrüstungen. An einem Wintertag liest man im wissenschaftlichen Tagebuch die Eintragung, die ihre pedantische Genauigkeit zeigt: »Temperatur 6,25 °C!!!«.

Marie Curie arbeitete mit ungewöhnlicher Hartnäckigkeit. Die sorgfältigen Untersuchungen der verschiedenartigsten Stoffe bestätigten die Richtigkeit der Meinung von Becquerel, daß das reine Uran die größte Radioaktivität im Verhältnis zu seinen Verbindungen besitzt. Und obgleich die Ergebnisse von über einhundert Versuchen dafür sprachen, wurden immer neue Untersuchungen angestellt. Plötzlich geschah eine Überraschung! Zwei Uranminerale – Chalcolith und Pecherz aus Böhmen – wirkten wesentlich aktiver auf die Vorrichtung als Uran. Die Schlußfolgerung drängte sich von selbst auf; in ihnen sind noch irgendwelche unbekannte Elemente mit noch größerer Aktivität als Uran enthalten. Bei der sorgfältigen Untersuchung der beiden Minerale kam das Ehepaar Curie zu der Schlußfolgerung, daß in ihnen zwei Unbekannte versteckt waren. Endlich konnte eines von ihnen entdeckt werden. Zu Ehren Polens, der Heimat Maries, nannten sie es Polonium.

Erneut ging sie an die Arbeit und konnte noch einen Sieg erringen, denn sie entdeckte ein Ele-



ment, das die Radioaktivität des Urans um das Millionenfache überstieg. Wegen dieser Fähigkeit nannten es die Wissenschaftler Radium (Radium – auf lateinisch – Strahl). Dies geschah im Jahre 1898.

Damit waren Polonium und Radium entdeckt, aber niemand hatte sie gesehen. Um der Welt diese Elemente zu zeigen, standen vor dem Ehepaar Curie nochmals vier Jahre angespannter Arbeit.

In den radioaktivsten Produkten konnten nur Spuren der neuen Elemente nachgewiesen werden. Das bedeutete, daß man für ihre Abscheidung Tonnen von Rohstoffen verarbeiten mußte. Dafür waren große finanzielle Mittel nötig. Woher nehmen?

Die Wissenschaftler wandten sich an einen österreichischen Physiker mit der Bitte, ihnen bei der Beschaffung von Abfällen der Uranerze zu einem vertretbaren Preis behilflich zu sein (in Böhmen wurde aus diesen Abfällen Uran gewonnen, das man in Form von Salzen für das Färben von Glas und Porzellan nutzte).

In dieser Zeit mußte man sich auch nach einem neuen Raum umsehen, denn die kleine Werkstatt, in der die Suche nach den noch nicht gesehenen Elementen begonnen hatte, war für die bevorstehende Arbeit viel zu eng. Die Leitung der Sorbonne sah sich außerstande, den Wissenschaftlern zu helfen. Im Nachbarhof fanden sie einen alten verlassenen Schuppen, der eine wichtige Eigenschaft besaß, er war so schlecht, daß niemand anderes Verlangen nach ihm hatte. Diese Räumlichkeit wurde von Marie und Pierre Curie übernommen.

Bretterwände, Asphalt anstelle eines Fußbodens, ein gläsernes Dach, durch das der Regen drang, einige grob zusammengezimmerte Tische, ein Ofen mit einem verrosteten Rohr und eine Schultafel, das sind die »Striche des Porträts« jenes Laboratoriums, in dem die Wissenschaftler nicht nur ein Jahr verbrachten, sondern solange, bis sie ihr Ziel, die Herstellung eines kleinen Anteils an Radium, erreicht hatten. »Wenn auch der alte Schuppen zu nichts zu ge-

brauchen war, so vergingen doch die besten und glücklichsten Jahre unseres Lebens, die insgesamt der Arbeit gewidmet waren, in ihm«, sagte in der Folge einmal Marie Curie.

Als die Eheleute von dem Schuppen Besitz ergriffen hatten, kam frohe Kunde aus Österreich. Auf Fürsprache der Wiener Akademie der Wissenschaften gab die österreichische Regierung dem Direktor des Bergwerks die Anweisung, mehrere Tonnen der Abfälle der Uranerze nach Paris zu senden.

Bald darauf fuhr an einem herrlichen Morgen (selbst wenn an diesem Tage Regen gefallen wäre und der Wind mit den Dachziegeln gespielt hätte, wäre dieser Morgen für das Ehepaar Curie ein herrlicher gewesen) ein Pferdefuhrwerk zu dem Gebäude, wo die Physikschule untergebracht war, und die Arbeiter begannen Säcke abzuladen. Marie konnte ihre Freude nicht verbergen. Sie wurde Besitzerin eines ungewöhnlichen Schatzes. In diesen Säcken war nicht nur taubes Gestein enthalten, das dem Straßenstaub ähnelte, sondern darin schlummerte auch ihr Radium. Es ist einfacher, eine Nadel im Heuhaufen zu finden, als auch nur ein winziges Körnchen dieses Metalls aufzuspüren. Und trotzdem gingen sie an die Arbeit, und zwar sofort.

Die erste Zeit arbeiteten beide Ehepartner an der chemischen Abscheidung von Radium und Polonium. Allmählich kamen sie aber zu dem Schluß, daß es zweckmäßiger wäre, die Pflichten zu teilen. Marie setzte die Bearbeitung der Erze fort, um reines Radiumsalz zu erhalten, während Pierre genaue Versuche zur Präzisierung der Eigenschaften des neuen Elements anstellte.

Im Schuppen gab es keine Abzüge, aber bei der Arbeit entstanden schädliche Gase, so daß man Marie sehr häufig im Hof von einer Rauchwolke umhüllt sah. Selbst im Winter und bei schlechtem Wetter arbeitete sie bei geöffnetem Fenster. »Ich mußte am Tag bis zu 20 Kilogramm Ausgangsmaterial verarbeiten«, erinnerte sich Marie Curie, »wodurch unser Schuppen mit großen Gefäßen mit Niederschlägen und Lösungen gefüllt war. Das war eine kräftezeh-



rende Arbeit, Säcke transportieren, Flüssigkeiten umgießen und stündlich mit einer Eisenstange die kochende Masse im gußeisernen Kessel umrühren.«

Manchmal wandten sich die Wissenschaftler für einige Minuten von den Vorrichtungen und Geräten ab und begannen von dem Tag zu träumen, an dem sie endlich ihr Radium sehen würden. »Pierre, wie stellst du es dir vor?« »Siehst du, Marie, ich möchte, daß es eine schöne Farbe hat.« Zum großen Vergnügen beider stellten sie nach einigen Monaten fest, daß Radium noch etwas Besseres besitzt als die schöne Farbe. Es strahlt ständig Licht ab. Abends wurden sie vom Radium förmlich angezogen.

Wenn es dunkel wurde, kehrten Marie und Pierre in den Schuppen zurück, wo überall auf den Tischen und Regalen die Gläser und Proben mit den Stoffen standen, die mit Radium angereichert waren. Und der alte Bretterschuppen wandelte sich in ein märchenhaftes Radiumreich um. In der Dämmerung, wohin man auch schaute, glommen die herrlichen grünlich-blauen Feuer, die in der Dunkelheit hingen. Das bleiche Leuchten spiegelte sich auf den Gesichtern der Wissenschaftler wider.

Die Tage, Wochen, Monate und Jahre vergingen, aber das Radium lehnte es nach wie vor ab, sich mit den Menschen bekannt zu machen. Muß man sich darüber wundern? Die Bedingungen, unter denen die Physiker arbeiteten, waren für die Lösung der vor ihnen stehenden Aufgaben nicht geeignet. Pierre schlug sogar vor, die Arbeit zu beenden und sich mit theoretischen Untersuchungen zu beschäftigen und auf die Zeit zu warten, wo man den Erfolg mit weniger Kraftaufwand bewältigen konnte. Aber selbst die Autorität ihres Mannes konnte die Beharrlichkeit Maries nicht erschüttern.

Die selbstlose Arbeit trug am Ende doch Früchte. Im Jahre 1902, genau vier Jahre, nachdem die Eheleute Curie über das Vorhandensein des Radiums berichtet hatten, gelang es Marie, ein kleines Teilchen reines Radiumchlorid abzuscheiden, das ein klares Spektrum des neuen Ele-

ments gab. Insgesamt waren es nur Zehntel eines Grammes, aber sie brachten dem Radium schon die offizielle Anerkennung.

Erneut begann die Arbeit, denn jetzt konnte man sich schon etwas näher mit diesem ungewöhnlichen Element vertraut machen. Man konnte aufklären, wozu es für die Menschen genutzt werden könnte. Dafür waren jedoch Mittel erforderlich, und die Familie Curie hatte trotz der glänzenden wissenschaftlichen Erfolge nur wenig Geld zum Leben.

Die Wissenschaftler träumten von einem neuen Laboratorium, wo sie entsprechend umfangreiche Versuche mit dem Radium anstellen konnten, aber das Schicksal beeilte sich nicht, ihren Traum Wirklichkeit werden zu lassen. Etwa in dieser Zeit entschloß sich die Leitung der Universität, P. Curie mit dem Orden der Ehrenlegion auszuzeichnen. In seinem Antwortbrief an den Dekan der Fakultät schrieb Pierre: »Ich bitte Sie, überbringen Sie dem Herrn Minister meinen großen Dank und unterrichten Sie ihn davon, daß ich keinerlei Orden benötige, sondern daß mir ein Laboratorium viel wichtiger ist.«

Erst unter diesen Bedingungen gelang es den Wissenschaftlern, immer mehr Einzelheiten über das Radium zu erfahren. Es zeigte sich z. B., daß es nicht nur Licht aussendet, sondern daß jedes Gramm dieses Metalls in der Stunde soviel Wärme abgibt, wie notwendig ist, um die gleiche Menge Eis zu schmelzen.

In der gesamten Zeit seiner Existenz (allmählich zerfällt Radium und wandelt sich in andere Elemente um) gibt ein Gramm Radium so viel Wärme ab, wie sich z. B. beim Verbrennen einer halben Tonne Steinkohle bildet, aber dafür braucht es etwa 20000 Jahre.

Wenn man in ein Glasrohr eine kleine Menge Radiumsalz gibt, es dann zulötet und nach einigen Tagen die Luft aus dieser Röhre in eine andere hermetisch abgeschlossene pumpt, dann beginnt die letztere in der Dunkelheit mit grünlich-blauer Farbe zu leuchten, genauso wie das Radiumsalz. Großes Interesse an dieser Erscheinung zeigten die englischen Wissenschaftler Er-



nest Rutherford, Frederick Soddy und William Ramsay. Zunächst stellte man fest, daß sich das Leuchten durch die Bildung eines neuen gasförmigen radioaktiven Stoffes erklären ließ, der aus dem Radium entstand. Im Jahre 1903 ist es gelungen festzustellen, daß die Umwandlung des Radiums in Emanation (so nannte man in der ersten Zeit das neue Gas, das später Radon genannt wurde) von dem Auftreten des damals schon bekannten Gases Helium begleitet wird. Die Arbeiten der englischen Wissenschaftler schufen den Beginn für die Theorie der radioaktiven Umwandlung der Elemente (auch Radium bildet sich durch den Zerfall des Urans, und deshalb konnte man auch die erste Kunde von ihm bei der Untersuchung der Uranminerale finden).

Ein Element wandelt sich selbständig in ein anderes um. Wie sollte man sich hierbei nicht der mittelalterlichen Alchimisten erinnern, die danach strebten, Gold aus einem anderen Metall zu gewinnen. Das bedeutet, daß die Idee gar nicht so schlecht gewesen ist. Wieviel Geist mußte aber noch geboren werden, um der Welt zu zeigen, daß dieses Wunder möglich ist, warum diese Erscheinung abläuft, und wie man diese Prozesse vervollkommen kann.

In Frankreich ging die Erforschung des Radiums in eine etwas andere Richtung. Hier zeigten sich die Ärzte sehr daran interessiert. Es

wurde nachträglich noch eine Eigenschaft dieses Elements entdeckt. Seine Strahlung rief Verbrennungen des menschlichen Körpergewebes hervor. Pierre Curie unterzog freiwillig seine Hand einer mehrstündigen Bestrahlung. Die Haut begann sich zu röten, danach bildete sich eine Wunde, für deren Heilung mehr als 2 Monate nötig waren. Henry Becquerel wurde ebenfalls vom Radium »verbrannt«, obgleich er es nicht wollte. Er trug längere Zeit in der Tasche seines Morgenmantels eine Probenhülse mit Radiumsalz, und bald darauf fühlte er ein starkes Brennen. Beim Erzählen dieser Geschichte vor den Eheleuten Curie sagte Becquerel: »Ich liebe das Radium, bin aber auch sehr gekränkt.«

P. Curie führte gemeinsam mit den Ärzten eine Reihe von Versuchen zur Bestrahlung von Lebewesen durch. Die Ergebnisse waren erstaunlich. Indem Radium die kranken Zellen zerstörte, half es, Hautkrebs zu heilen, eine Krankheit, gegen die die Ärzte bis dahin machtlos waren. Bald darauf wußten viele Pariser Krankenhäuser von der Wunderwirkung der Radiumtherapie.

In der ersten Zeit stellten die Eheleute Curie den Ärzten eine Radiumprobe zur Verfügung, aber die neue Art der Heilung fand bald so viel neue Anhänger, daß das kleine Laboratorium der Physiker die Nachfrage nicht mehr befriedigen konnte.

Die heilenden Eigenschaften des Radiums zo-



gen auch die Aufmerksamkeit der Industriellen an. Aus Amerika erhielt das Ehepaar Curie einen Brief. »In Buffalo ist der Bau eines Radiumwerkes vorgesehen, und die amerikanischen Technologen bitten die Wissenschaftler, ihnen die Auskünfte zu erteilen, die für die Erarbeitung des Projektes notwendig sind.« Die Eheleute hätten aus einer Patentanmeldung ihrer Ideen und dem damit verbundenen Recht zur industriellen Erzeugung des Radiums einen großen materiellen Nutzen ziehen können. Geld benötigten sie dringend, aber die ehrlichen Wissenschaftler betrachteten sich nicht als Alleinbesitzer des Radiums, sondern übergaben ihre »Schützlinge« allen Menschen. Nach Buffalo wurde ein Brief geschickt, der die wichtigsten Angaben zur Gewinnung von Radium enthielt. Je schneller das Werk zu produzieren begann, desto eher konnten Kranke mit Radium geheilt werden. Das war für die Curies wichtiger als Geld.

Ein Werk zur Produktion von Radium für medizinische Zwecke entstand auch in Europa. Es wurde von dem französischen Industriellen Arme de Lille gebaut. Dies war ein gebildeter und aufgeschlossener Mensch, der auf seine Kosten eine Zeitschrift »Radium« herausgab, die sich mit den Fragen der Radioaktivität beschäftigte.

Vorher fand aber noch ein Ereignis statt, das eine große Rolle im Leben der Eheleute Curie spielte. Das Jahr 1903 war für sie ein Jahr des Aufbruchs. Im Juni verteidigte Marie mit Erfolg ihre Habilitationsschrift. Im Sommer des gleichen Jahres lud die Londoner Königliche Gesellschaft Pierre zu einem Vortrag über Radium ein. Bei der Ankunft in England erwartete die Eheleute ein stürmischer Empfang. Sie wurden sehr herzlich von Lord Kelvin empfangen. Der Wissenschaftler, dessen Name schon in der ganzen Welt bekannt war, war stolz auf die Freundschaft mit den bekannten französischen Physikern. Curies schenkten ihm eine Ampulle mit Radium, und der große Alte zeigte mit jugendlichem Entzücken dieses glänzende Geschenk seinen Kollegen.

Am Vortrag von P. Curie nahm die gesamte wissenschaftliche Welt Englands teil. Pierre demonstrierte die verdächtigen »Fähigkeiten« des Radiums, die Wunderkräfte, die diesem Element innewohnen. Diese bringen einen Bildschirm zum Leuchten, der mit einer schwefelsauren Zinklösung getränkt worden ist, sie wirken auf ein in schwarzes Papier eingewickeltes Fotomaterial, sie entladen in einer bestimmten Entfernung ein Elektroskop und erwärmen die umgebende Luft.

Die Erfolge übertrafen alle Erwartungen. Der Professor und Madame Curie standen im Zentrum der Aufmerksamkeit des aristokratischen London. Ihnen zu Ehren wurde ein großes Bankett veranstaltet, wo sich die ganze Hauptstadt versammelte. Die bescheiden gekleideten Eheleute Curie, die einen solchen Empfang nicht gewöhnt waren, fühlten sich nicht recht wohl. Marie, die nicht einmal einen Ehering besaß, betrachtete mit aufrichtigem Interesse die teuren Schmuckstücke, mit denen die Damen geschmückt waren. Sie warf einen Blick zu ihrem Mann und sah, daß auch er mit Neugier die Brillanten, Perlen und das Gold betrachtete, was aber gar nicht seinem Wesen entsprach. Nach dem Bankett, als die Eheleute allein waren, klärte sich alles auf. »Ich wußte nicht, womit ich mich beschäftigen sollte«, erklärte Pierre, »und begann zu zählen, wieviel Laboratorien man aus den Steinen, die die Hälse der anwesenden Damen schmückten, bauen könnte. Am Ende des Essens bekam ich eine astronomische Zahl von Labors heraus.«

Bald verlieh den Eheleuten die Londoner Königliche Gesellschaft die goldene Davy-Medaille, und im Jahre 1903 bekamen sie gemeinsam mit Henry Becquerel die höchste Auszeichnung, die für die Arbeit von Wissenschaftlern verliehen wird, den Nobelpreis. Marie war damit die erste Frau, die diesen Preis errang. Nach acht Jahren wurde ihr diese Ehre noch einmal zuteil. Dieses Mal auf dem Gebiet der Chemie. Für mehr als ein halbes Jahrhundert blieb sie die Einzige in der Welt, die diesen Preis zweimal erhielt.

Ruhm, Anerkennung und die Möglichkeit, in einem ausgezeichneten Labor zu arbeiten, dies alles wurde nun den Eheleuten eingeräumt. Ihre Freude währte nicht lange. Im Jahre 1906 stürzte Pierre Curie unter die Räder eines Lastfuhrwerkes und starb daran. Marie überkam ein unbeschreiblicher Schmerz. Sie versuchte, in der Arbeit Vergessenheit zu finden.

Im Jahre 1910 gelang es Marie Curie, gemeinsam mit dem aufrichtigen Freund der Familie, dem bekannten Chemiker André Debierne, ihren größten wissenschaftlichen Erfolg zu vollenden. Ihnen gelang es, zum ersten Male in der Welt reines Radium darzustellen (das vorher in den Laboratorien und Werken hergestellte »Radium« war in Wirklichkeit ein Chlor- oder Bromsalz dieses Elements).

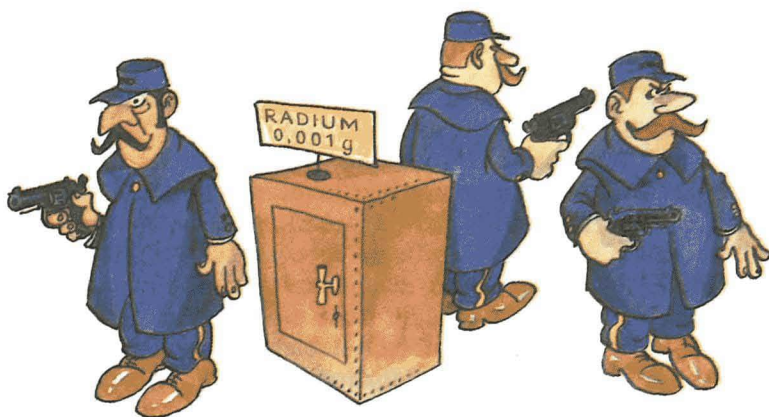
Die Abscheidung des Radiums ist eine der schwierigsten Operationen, die die Chemie kennt. Um ein Gramm Radium zu erzeugen, muß man 10 Tonnen Uranerz verarbeiten (jede Tonne enthält nur den Bruchteil eines Grammes dieses Elements). Deshalb kostete ein Gramm Radium im Jahre 1912 eine halbe Million Goldrubel. So teuer war ein Stoff nicht wieder. 1914 wurde in Paris ein Institut für Radium eröffnet (später wurden solche Institute auch in Warschau, Petrograd und in anderen Städten ge-

schaffen – eine solche Ehre wurde nur wenigen Metallen zuteil). Die breite wissenschaftliche Durchdringung und eine industrielle Produktion des Radiums wurden durch den 1. Weltkrieg unterbrochen.

1916 stellte man in der ganzen Welt insgesamt nur 48 Gramm Radium her, 1917 waren es etwa 340 Gramm. Heute liegt die Gesamtmenge dieses Metalls in der ganzen Welt bei etwas über 3 Kilogramm. Das läßt sich relativ einfach erklären. In den wissenschaftlichen Labors, in den medizinischen Einrichtungen und in der Industrie verwendet man kein reines Radium, sondern seine Verbindungen. Ihre Produktion ist um vieles einfacher, und sie kosten deshalb auch weniger als das reine Metall.

Die Kräfte des Radiums sind so groß, daß sogar eine verschwindende Menge seiner Salze, die zu Spezialfarben zugegeben wird, diesen zum ewigen Leuchten verhilft. Solche Farben wurden lange Zeit auf die Zeiger von Navigationsgeräten, Kompassen und Uhren aufgetragen, damit man sie auch in der Dunkelheit benutzen konnte.

Es ist interessant, daß der Gedanke, Radium zu Leuchtzwecken zu verwenden, der bekannten amerikanischen Tänzerin Loy Fuller kam. Dies geschah zu Beginn unseres Jahrhunderts. Beim





Lesen der Nachricht, daß Radium Licht ausstrahlt, beschloß sie, sich ein Tanzkostüm zu schneiden, das den Flügeln eines Schmetterlings ähnlich war, um beim Tanzen in der Dunkelheit die Zuschauer zu ergötzen. Loy wandte sich mit einer entsprechenden Bitte an das Ehepaar Curie. Die Wissenschaftler mußten aber der Tänzerin widersprechen, denn ihr Projekt war nicht real. In den Mengen, in denen das Radium zum Bedecken der Flügel notwendig gewesen wäre, stellte es eine große Gefahr für die Tänzerin dar. Das gleiche Radium, das eine Rolle als wunderbares Heilmittel spielt, kann sich auf den Menschen auch tödlich auswirken, wenn seine Konzentration eine bestimmte zulässige Größe übersteigt.

Wie groß ist aber die zulässige Konzentration? Sie beträgt nur 10 Milligramm pro Kubikkilometer Luft. Deshalb muß man bei der Arbeit mit diesem Element eine außergewöhnliche Vorsicht walten lassen. Aus diesem Grunde wird in der letzten Zeit auf allen Gebieten der Wissenschaft und der Technik das Radium durch die weniger gefährlichen und billigeren künstlichen radioaktiven Elemente verdrängt.

Im Jahre 1958 fanden die Besucher der Brüs-

seler Weltausstellung ein dem Äußeren nach wenig beachtenswertes Exponat. Unter Glas lag ein auf einer zufälligen Seite geöffnetes kleines Tagebuch mit schwarzem Kalikoeinband. Es war dies das Diensttagebuch von Marie und Pierre Curie. Gemeinsam mit dem Buch hatte man einen Radioaktivitätszähler aufgestellt, der mit einem Lautsprecher verbunden war. Dieser gab rhythmische Töne von sich und bewies, daß die Seiten des Tagebuchs nicht für eine Sekunde aufgehört hatten, radioaktive Strahlen abzugeben. Vor einem halben Jahrhundert war zufällig ein Tropfen einer Lösung mit Radiumsalz auf das Tagebuch gefallen.

Diejenigen, die dieses Tagebuch einst geführt haben, weilen schon lange nicht mehr unter den Lebenden, aber wir hören noch die Signale des Radiums, das im alten Schuppen eines Pariser Hofes geboren worden ist. Es werden noch viele Jahrhunderte vergehen, bis die Spuren dieses Radiums aufhören zu existieren, aber die Zeit wird nicht die Kraft haben, die Namen der bedeutenden Wissenschaftler aus dem Gedächtnis der friedliebenden Menschheit auszulöschen, die eine der größten wissenschaftlichen Entdeckungen gemacht haben.

Erläuterung  
zum Periodensystem

Ordnungszahl

1	H	Symbol
Wasserstoff		Element
1,0079		relative Atommasse

Periodensystem der Elemente ( Kurzperiodendarstellung )							
	I. Gruppe		II. Gruppe		III. Gruppe		IV
	Hauptgruppe	Nebengruppe	Hauptgruppe	Nebengruppe	Hauptgruppe	Nebengruppe	Ha grup
1. Periode	1 H Wasserstoff 1,0079						
2. Periode	3 Li Lithium 6,941		4 Be Beryllium 9,01218		5 B Bor 10,81		6 Ko sta 12,
3. Periode	11 Na Natrium 22,98977		12 Mg Magnesium 24,305		13 Al Aluminium 26,98154		14- Sili 28,
4. Periode	19 K Kalium 39,0983		20 Ca Kalzium 40,08			21 Sc Skandium 44,9559	
		29 Cu Kupfer 63,546		30 Zn Zink 65,38	31 Ga Gallium 69,72		32 Ger ni 72,
5. Periode	37 Rb Rubidium 85,4678		38 Sr Strontium 87,62			39 Y Yttrium 88,9059	
		47 Ag Silber 107,868		48 Cd Kadmium 112,41	49 In Indium 114,82		50 Zin 118
6. Periode	55 Cs Zaesium 132,9054		56 Ba Barium 137,33			57 La <sup>x</sup> Lanthan 138,9055	
		79 Au Gold 196,9665		80 Hg Quecksilber 200,59	81 Tl Thallium 204,383		82 Bl 201
7. Periode	87 Fr Francium (223)		88 Ra Radium 226,0254			89 Ac <sup>xx</sup> Aktinium 227,0278	

<sup>x</sup>Lanthanoide

58 Ce Zerium 140,12	59 Pr Praseodymium 140,9077	60 Nd Neodymium 144,24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150,36	63 Eu Europium 151,96	64 Ga Gallium 157,
---------------------------	-----------------------------------	------------------------------	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	--------------------------

<sup>xx</sup>Aktinoide

90 Th Thorium 232,0381	91 Pa Protaktinium 231,0359	92 U Uranium 238,0289	93 Np Neptunium 237,0482	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cur Curium (24
------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------



Gruppe		V. Gruppe		VI. Gruppe		VII. Gruppe		VIII. Gruppe			
Haupt- gruppe	Neben- gruppe	Haupt- gruppe	Neben- gruppe	Haupt- gruppe	Neben- gruppe	Haupt- gruppe	Neben- gruppe	Haupt- gruppe	Nebengruppe		
								2 He Helium 4,00260			
6 C len- ff 11		7 N Stick- stoff 14,0067		8 O Sauer- stoff 15,9994		9 F Fluor 18,998403		10 Ne Neon 20,179			
14 Si ium 355		15 P Phosphor 30,97376		16 S Schwefel 32,06		17 Cl Chlor 35,453		18 Ar Argon 39,948			
	22 Ti Titanium 47,88		23 V Vana- dium 50,9415		24 Cr Chro- mium 51,996		25 Mn Mangan 54,9380		26 Fe Eisen 55,847	27 Co Kobalt 58,9332	28 Ni Nickel 58,69
32 Ge ma- rn 9		33 As Arsen 74,9216		34 Se Selen 78,96		35 Br Brom 79,904		36 Kr Krypton 83,80			
	40 Zr Zirko- nium 91,22		41 Nb Niobium 92,9064		42 Mo Molyb- dän 95,94		43 Tc Techne- tium (98)		44 Ru Ruthe- nium 101,07	45 Rh Rhodium 102,9055	46 Pd Palla- dium 106,42
50 Sn n 69		51 Sb Antimon 121,75		52 Te Tellur 127,60		53 I Iod 126,9045		54 Xe Xenon 131,29			
	72 Hf Hafnium 178,49		73 Ta Tantal 180,9479		74 W Wolfram 183,85		75 Re Rhenium 186,207		76 Os Osmium 190,2	77 Ir Iridium 192,22	78 Pt Platin 195,08
82 Pb		83 Bi Bismut 208,9804		84 Po Polo- nium (209)		85 At Astatin (210)		86 Rn Radon (222)			
	104 Unq Unnil- quadium (261)	105 Unp Unnil- pentium (262)	106 Unh Unnil- hexium (263)								

64 Gd oli- n 85	65 Tb Terbium 158,9254	66 Dy Dyspro- sium 162,50	67 Ho Holmium 164,9304	68 Er Erbium 167,26	69 Tm Thulium 168,9342	70 Yb Ytter- bium 173,04	71 Lu Lutetium 174,967
-----------------------------	------------------------------	------------------------------------	------------------------------	---------------------------	------------------------------	-----------------------------------	------------------------------

96 Cm um )	97 Bk Berke- lium (247)	98 Cf Kalifor- nium (251)	99 Es Einstei- nium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mende- levium (258)	102 No Nobe- lium (259)	103 Lr Lawren- zium (260)
---------------------	----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	----------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------



Metalle sind aus unserem Leben nicht wegzudenken. Weder die Technik noch unser eigener Körper kommen ohne Metalle, und seien es nur Spuren, aus. Mit dem Begriff »Metall« verbindet sich in erster Linie die Vorstellung von solch geläufigen Elementen wie z. B. Eisen, Aluminium und Kupfer, oder wir denken auch an Edelmetalle wie Gold und Silber. Die ausgedehnte Palette der Metalle umfaßt hingegen auch eine Reihe von Elementen, die bisher nur in sehr geringem Umfang erzeugt und technisch genutzt werden konnten. Sie werden daher unter dem Begriff »Seltene Metalle« zusammengefaßt. Die Entwicklung der letzten Jahrzehnte hat gezeigt, daß immer mehr von ihnen aufgrund spezifischer Eigenschaften in der modernen Technik verwendet werden.

Der Autor beschränkt sich in seinen Erzählungen, die durch humorvolle Illustrationen ergänzt werden, nicht nur auf Vertreter der eigentlichen »Seltene Metalle« (z. B. Thallium, Yttrium, Indium), sondern bezieht auch noch andere Metalle (Strontium, Antimon, Wismut u. a.) ein. Wir erfahren von den oft verschlungenen, mitunter auch dramatischen Wegen der Entdeckung dieser Elemente, von ihrem Vorkommen in der Natur und den Problemen ihrer Gewinnung, von dem erstaunlichen Spektrum ihrer Eigenschaften, und nicht zuletzt werden anschaulich-eindrucksvoll sowohl ihre schon jetzt genutzten als auch für die Zukunft erwarteten Anwendungsmöglichkeiten vorgestellt.