

Namensgeber unserer Schule erhält Platz im Periodensystem^{*)}

Element Nr. 111 heißt Roentgenium

Eine der herausragendsten Persönlichkeiten, die in unserer Heimatstadt Würzburg gewirkt haben, ist der Physiker Wilhelm Conrad Röntgen. Die bahnbrechende Entdeckung der nach ihm benannten Strahlen machte er im Jahr 1895 am physikalischen Institut der Universität Würzburg, das damals noch am Pleicherwall untergebracht war. Für seine Leistung erhielt er 1901 den ersten Nobelpreis für Physik. Ihm zu Ehren wurde nicht nur 1964 unsere naturwissenschaftlich ausgerichtete Schule benannt, sondern jüngst auch eines der neu erforschten chemischen Elemente.

Radioaktive Elemente

Manch einer wird sich vielleicht noch an seinen Chemieunterricht erinnern, in dem die radioaktiven Elemente, ihre Zerfallsprozesse und -reihen durchgenommen wurden. Das natürliche Vorkommen der chemischen Elemente ist unter anderem begrenzt durch die mit zunehmender Ordnungszahl steigende Instabilität der Atomkerne. Das letzte stabile Element ist das Bismut (alte Bezeichnung: Wismut) mit der Ordnungszahl 83. Beginnend mit dem Polonium (OZ 84) folgen ausschließlich Elemente, die durch radioaktiven Zerfall, d.h. Emission von Teilchen bzw. γ -Strahlung und Abgabe von Energie, in andere Kerne umgewandelt werden. Auch innerhalb der Elemente von 1 bis 83 sind zwei enthalten, die radioaktiv sind: Technetium (OZ 43) und Promethium (OZ 61). So bleiben tatsächlich nur 81 stabile Elemente übrig, die in der Natur vorkommen - alle anderen sind radioaktive Stoffe. Nur der großen Halbwertszeit von Thorium (OZ 90; stabilstes Isotop: ^{232}Th mit $t_{1/2} = 14$ Mrd. Jahre) und Uran (OZ 92; stabilste Isotope: ^{235}U / 0,7 Mrd. Jahre und ^{238}U / 4,5 Mrd. Jahre) ist es zu verdanken, dass in der Natur überhaupt radioaktive Elemente vorkommen. Alle anderen natürlichen radioaktiven Elemente sind intermediäre Zerfallsprodukte dieser beiden Metalle. Von den Elementen mit Ordnungszahlen über 94 (= Plutonium) wurden bis heute noch keine Spuren in der Natur gefunden, obwohl sie bei der Elementsynthese in einem Stern oder einer Supernova entstehen können. Da diese superschweren Elemente allesamt Halbwertszeiten besitzen, die weit unter dem Alter unserer Erde liegen, sind sie längst durch ihren Zerfall abgebaut worden und können bei uns nicht mehr nachgewiesen werden.

Die Transurane

Mit der Erforschung der bei uns nur experimentell zugänglichen Elemente wurde erst in den 1930er Jahren begonnen. Seit den Rutherford'schen Streuversuchen (1919) ist bekannt, dass Atomkerne durch den Beschuss mit Teilchen verändert werden können. Bis 1939 glaubten die Wissenschaftler, dass die Transurane, also Elemente mit Ordnungszahlen größer als 92, entstehen, wenn man Uranatome mit Neutronen bombardiert. Die dabei erzeugten Uran-Isotope sollten dabei durch β^- -Zerfall (Umwandlung eines Neutrons in ein Proton unter Abspaltung eines Elektrons) zu Elementen mit höherer Ordnungszahl führen. Nach Enrico Fermi 1934 (Nobelpreis 1938) versuchten vier Jahre später auch Otto Hahn (Nobelpreis 1944) und Fritz Strassmann – basierend auf Vorarbeiten von Lise Meitner – mit dieser Methode Transurane herzustellen. Dabei fanden sie aber heraus, dass die Urankerne beim Beschuss mit langsamen Neutronen zerbarsten und entdeckten damit die bis dahin nicht für möglich gehaltene Spaltung von Atomkernen. Erst im Jahr 1940 gelang mit dem Neptunium (OZ 93) die künstliche Herstellung des ersten Transurans. Später stellte sich heraus, dass das Fermi zu Ehren benannte Element 100 das schwerste ist, das durch Neutroneneinfang aufgebaut werden kann.

^{*)} Für die Festschrift des Röntgen-Gymnasiums Würzburg (RGW) im Jahr 2010 eingereichter Beitrag, der bereits im Mitteilungsblatt der Schülerverbindung Abituria Wirceburgia (Nr. 51, September 2005, S. 12ff) veröffentlicht worden war. In der RGW-Festschrift erschien dieser Artikel ab Seite 102.

Während die Kernspaltung mehr und mehr im militärischen Bereich zur Herstellung der unheilvollen Kernwaffen Anwendung fand und in der zivilen Nutzung als Energiequelle große Bedeutung erlangte, war die Synthese immer schwererer Elemente eher von rein wissenschaftlichem Interesse. Ähnlich dem Wettrennen oder dem Kampf um die Eroberung des Weltraums gab es ein Wettrennen zwischen West und Ost um die Erzeugung der superschweren Elemente, bei dem die USA jahrzehntelang die Nase vorn hatten. In der Arbeitsgruppe um Seaborg und Ghiorso wurden von 1940 bis 1974 nicht weniger als zwölf neue Elemente entdeckt. Das Prinzip war dabei immer gleich: Man beschoss Atomkerne mit Teilchen wie Neutronen, Heliumkernen (α -Teilchen) oder höheren, ionisierten Atomen und hoffte, dass in einer genügenden Anzahl die Teilchen miteinander verschmolzen. Die Elemente Einsteinium und Fermium wurden jedoch zunächst nicht im Labor synthetisiert, sondern als Produkte der Zündung der ersten Wasserstoffbombe im Jahr 1952 entdeckt, also einer Reaktion ähnlich wie sie in Sternen stattfindet.

Die „Elementnamensgebungskontroverse“

Erst Mitte der 1960er Jahre gelangen der Gruppe um Fljorov in Dubna auch den konkurrierenden russischen Forschern einige Erfolge. Im Wettbewerb zwischen West und Ost machte man sich die Ergebnisse jedoch gegenseitig streitig, zumal einige der neuen Elemente beinahe gleichzeitig entdeckt worden waren. Es blieb aber nur den Erstentdeckern vorbehalten, einem neuen Element seinen Namen zu geben. Da eine Einigung während des Kalten Krieges wohl selbst in Forscherkreisen schwer fiel, gab es lange Zeit für mehrere höhere Elemente doppelte Bezeichnungen. Der Verfasser kann sich in diesem Zusammenhang noch gut an das im Chemie-Lehrsaal unserer Schule aufgehängte Periodensystem erinnern, in dem bei den Elementen 104 und 105 gleichzeitig zwei Namen angegeben waren (siehe Tabelle 1). Da die russischen Ergebnisse nur zum Teil reproduziert werden konnten, wurde später die Erstentdeckung der Elemente 105 – 107 anderen Forschern zugesprochen. Die verfahrenere Lage wurde Anfang der 1980er Jahre noch komplizierter, da es parallel zu den beiden Gruppen aus den USA und der UdSSR einem jungen deutschen Team gelungen war, in die Spitzenforschung aufzurücken, das damit ebenfalls das Recht der Namensgebung in Anspruch nahm.

Tabelle 1: Transurane, die Gegenstand der Elementnamensgebungskontroverse waren

| OZ | USA | UdSSR | Deutschld. 1992 | IUPAC 1994 | IUPAC 1997 |
|-----|---------------|----------------|-----------------|---------------|----------------------|
| 104 | Rutherfordium | Kurtschatowium | | Dubnium | Rutherfordium |
| 105 | Hahnium | Nielsbohrium | | Joliotium | Dubnium |
| 106 | Seaborgium | | | Rutherfordium | Seaborgium |
| 107 | | | Nielsbohrium | Bohrium | Bohrium |
| 108 | | | Hassium | Hahnium | Hassium |

Der Vorschlag für die Benennung von Element 104 nach Igor Kurtschatow, dem „Vater“ der russischen Atombombe, war für die Amerikaner nicht akzeptabel. Der amerikanische Wunsch für Element 106 war wiederum für andere nicht annehmbar, weil der Namensgeber Glenn T. Seaborg noch lebte. Im Jahr 1994 unterbreitete die IUPAC (Internationale Union für Reine und Angewandte Chemie) daher einen ersten Vorschlag, um den Konflikt zu lösen: das Element 104 sollte nach dem russischen Dubna benannt werden und Element 106 bekam den freigewordenen Namen Rutherford. Dies wurde jedoch wiederum von der American Chemical Society (ACS) zurückgewiesen, da die Bezeichnung Rutherfordium für Element 104 bereits Eingang in die Lehrbücher gefunden hatte, so dass sie nicht für ein anderes Element verwendet werden sollte. Außerdem wurde die Entdeckung von Element 106 durch eine amerikanische Gruppe nicht in Frage gestellt, weswegen diese uneingeschränkt den Namen bestimmen wollte. Erst drei Jahre später einigte man sich auf die heute noch gültige Nomenklatur, wobei Seaborg der einzige Wissenschaftler war, nach dem zu seinen Lebzeiten ein chemi-

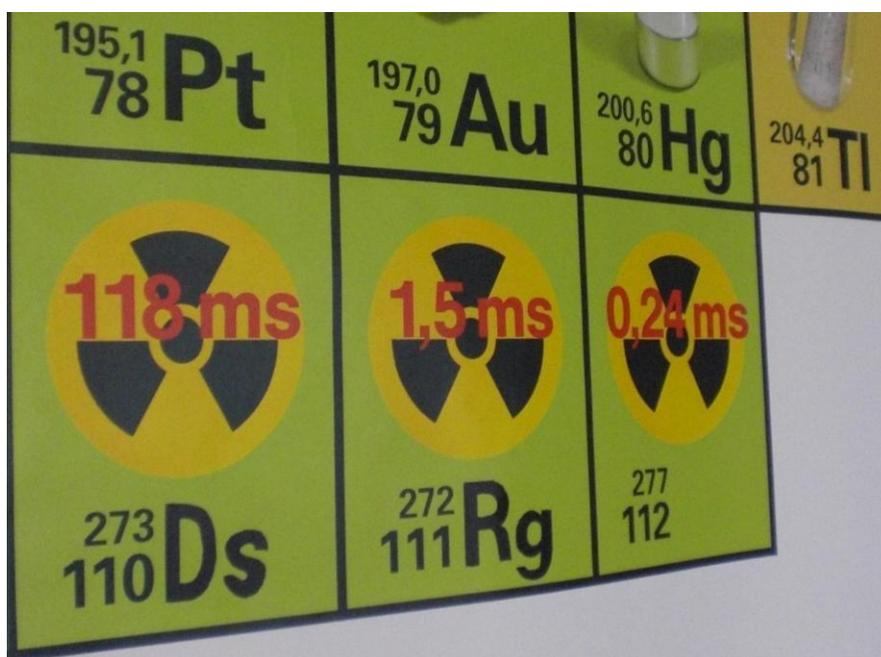
ches Element benannt wurde. Dagegen musste jedoch hingenommen werden, dass die ehemaligen Vorschläge zur Benennung der Elemente 105 bzw. 108 nach Otto Hahn keine Berücksichtigung mehr fanden, obwohl der Name bereits einige Jahrzehnte lang in Gebrauch war.

Erfolgreiche Arbeit in Deutschland

Dafür war es dem deutschen Arbeitskreis um Peter Armbruster und Gottfried Münzenberg, dem sich später Sigurd Hofmann dazugesellte, beschieden, sechs neue Elemente zu entdecken und benennen zu dürfen. Ihre Arbeitsstätte, die Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI), wurde am 17. Dezember 1969 in Darmstadt gegründet und bot einzigartige Möglichkeiten für kernphysikalische Grundlagenforschung. Das Team erregte 1981 in der Fachwelt Aufmerksamkeit mit der erstmaligen Herstellung von Element 107, dem in den folgenden 15 Jahren fünf weitere Elemente folgen sollten. Zu den weltweit beachteten Erfolgen zählten außerdem der Nachweis einer neuen Strahlungsart, der Protonenradioaktivität (Emission von Protonen aus extrem protonenreichen Kernen), sowie die erste experimentelle Herstellung von Antimaterie für die leichtesten Systeme Antiwasserstoff und Kerne des Antiheliums.

Das Roentgenium

Bei ihren Forschungsarbeiten gelang der Gruppe aus Darmstadt, wonach sich die Alchimisten im Mittelalter vergeblich bemüht hatten: aus unedlen Metallen edle herzustellen – allerdings in nicht gerade üppigen Mengen. Die Kernreaktion zur Bildung des Elements mit der Ordnungszahl 111, das im Periodensystem unter dem Gold angesiedelt ist (siehe Foto) und damit zu den Edelmetallen gehört, gelang zum ersten Mal im Dezember 1994. Damals beschloss man eine Bismutfolie mit stark beschleunigten Nickel-Ionen und erhielt Unununium, wie das neue Element entsprechend den drei Einsen seiner Ordnungszahl provisorisch benannt wurde. Nachdem die IUPAC endlich im Jahr 2003 die Entdeckung des Elements bestätigte, schlug die GSI am 18. Mai 2004 vor, es nach Wilhelm Conrad Röntgen zu bezeichnen und ihm das Elementsymbol Rg zuzuordnen. Die offizielle Benennung durch die IUPAC erfolgte am 01.11.2004, wurde aber – um an Röntgens Entdeckung der „X-Strahlen“ am 8. November 1895 zu erinnern – erst am 08.11.2004 der Öffentlichkeit bekanntgegeben.



Ausschnitt aus dem Periodensystem im Chemie-Übungsraum des RGW mit den handschriftlich ergänzten Elementen Darmstadtium und Roentgenium (Aufnahme vom September 2008)

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fusionsereignis wie bei der Herstellung von Roentgenium stattfindet, ist äußerst gering. Die Elektronenhülle eines Atoms hat mit einem Radius von etwa 10^{-10} m einen ungefähr zehntausendfach größeren Radius als der Atomkern ($r = 10^{-14}$ m). Zur Veranschaulichung: würde man ein Atom auf die Größe einer Kathedrale ausdehnen, so entspräche der Kern der Größe einer Fliege (allerdings wäre eine solche Fliege vieltausendfach schwerer als die Kathedrale selbst). Und diese Fliege gälte es, aus einer Entfernung von Millionen von Kilometern mit einer Schrotkugel genau in der Mitte zu treffen. Anders als bei solch einer unrealistischen Schießübung kommt auf atomarer Ebene noch hinzu, dass beim Fusionsprozess von „Geschoss“ und „Ziel“ eine Energiebarriere überwunden werden muss, da sich die Atomkerne aufgrund ihrer gleichen Ladungen zunächst elektrisch abstoßen, bevor die Anziehungskräfte der Kernbindung wirken können. Aus diesen Gründen ist für den Erfolg ein immenser apparativer Aufwand notwendig. Bei der Versuchsanordnung in Darmstadt wird im Linearbeschleuniger UNILAC ein Ionenstrahl erzeugt, der mit hoher Geschwindigkeit (ca. 10% der Lichtgeschwindigkeit) auf die Metallfolie des Targetrads trifft. Dieses dreht sich synchron zu den Strahlpulsen, um die Wärme auf eine größere Fläche zu verteilen. Bei den Experimenten war die präzise Wahl der Einschussenergie besonders wichtig: Soll die kalte Fusion gelingen, so muss es diese Energie erlauben, gerade eben die elektrische Abstoßung zwischen den Kernen zu überwinden, jedoch möglichst keine Überschussenergie ins System einzubringen.

Um die Wahrscheinlichkeit eines Volltreffers zu erhöhen, wird ein entsprechend intensiver Strahl von „Geschossen“, also ionisierten Atomen, erzeugt. Dennoch verschmelzen in der Realität nur äußerst selten ein Projektil und ein Zielkern, während nahezu der gesamte Ionenstrahl die Metallfolie ohne Kollision und wesentlichen Geschwindigkeitsverlust durchquert. Die Forscher der GSI freuten sich bereits, wenn einmal am Tag eine Fusion nachgewiesen werden konnte. Der neu gebildete, schwere Atomkern fliegt wegen der Impulserhaltung zwar wesentlich langsamer, jedoch in die gleiche Richtung wie der bis zu 1000-mal intensitätsreichere Ionenstrahl. Letzterer trifft durch Ablenkung im elf Meter langen Geschwindigkeitsfilter SHIP auf einen Strahlstopper. Die neu gebildeten, langsameren Kerne werden dagegen durch magnetische Felder in einen Detektor gelenkt. Dieser identifiziert die auftreffenden Kerne durch Messung der jeweiligen Kette von α -Zerfällen. Es wird so die Zerfallsgeschichte aller Kerne einzeln aufgezeichnet. Jeder Atomkern hinterlässt so einen unverwechselbaren „Fingerabdruck“, der die Forscher über dessen Entstehen, die Bindungsfestigkeit und Zerfall informiert.

Die eigentliche Hochleistung der Wissenschaftler war es, mit dieser Apparatur tatsächlich **einzelne Atome** mit zudem sehr kurzer Lebensdauer nachzuweisen. Bei der Entdeckung des Roentgeniums wurden insgesamt drei Atome mit Halbwertszeiten im Bereich von Millisekunden erzeugt und die beim radioaktiven Zerfall ausgesandten α -Teilchen vermessen. Aufgrund der ermittelten Daten konnten die Forscher das neue Element eindeutig identifizieren.

Neue stabile Elemente in Sicht?

Ansporn und Motivation für die Bemühungen zur Synthese immer schwererer Transurane war und ist insbesondere die Vorhersage der Theoretiker über eine „Insel der Stabilität“ im Periodensystem: dass nämlich Elemente existieren, die relativ stabil sind gegen Spaltung. Der Grund hierfür ist die von deutschen Forschern entdeckte quantenmechanische Schalenstruktur der Kerne, der zufolge bei bestimmten „magischen Zahlen“ für Protonen und Neutronen besonders haltbare Kerne vorhergesagt werden (z.B. mit Ordnungszahl 114, 120, 122, 164). Tatsächlich besitzt das stabilste der bisher bekannten Isotope des Elements 114, dasjenige mit der Massenzahl 289, mit 2,7 Sekunden eine im Vergleich zu den benachbarten Elementen lange Halbwertszeit. Beim bisher noch nicht synthetisierten Isotop ^{298}Uuq würde es sich um einen „doppelt magischen“ Kern handeln, d.h. auch die Neutronenzahl wäre eine magische Zahl.

Man erwartet, dass die Halbwertszeit dieses Isotops noch deutlich höher liegt. Es gibt im Bereich der schweren Elemente also noch viel zu entdecken, wobei die Forscher aus Darmstadt sicher auch weiterhin einen wesentlichen Beitrag dazu leisten werden.

Wolfgang Nüdling

Quellen:

Gesellschaft für Schwerionenforschung: www.gsi.de

Römpf-Chemielexikon (Online-Ausgabe): www.roempp.com

de.wikipedia.org/wiki/Elementnamensgebungskontroverse

www.iupac.org/news/archives/2004/naming111.html

www.weltderphysik.de/de/4863.php

Tabelle 2: Die derzeit bekannten Transurane

| OZ | Symb. | Name | Benannt nach | Jahr | Entd. ¹⁾ | t _{1/2} ²⁾ |
|------------|-----------|---------------------------|-------------------------------------|-------------|---------------------|--------------------------------|
| 93 | Np | Neptunium | Planet Neptun | 1940 | A | 2,1 Mio a |
| 94 | Pt | Plutonium | Planet Pluto | 1940 | B | 83 Mio a |
| 95 | Am | Americium | Amerika | 1944 | B | 7.400 a |
| 96 | Cm | Curium | Marie Curie | 1944 | B | 16 Mio a |
| 97 | Bk | Berkelium | Berkely, California University | 1949 | B | 1.400 a |
| 98 | Cf | Californium | Kalifornien, USA | 1950 | B | 900 a |
| 99 | Es | Einsteinium | Albert Einstein | 1952 | B | 400 d |
| 100 | Fm | Fermium | Enrico Fermi | 1952 | B | 100 d |
| 101 | Md | Mendelevium | Dimitri Mendelejew | 1955 | B | 56 d |
| 102 | No | Nobelium | Alfred Nobel | 1958 | B | 58 min |
| 103 | Lr | Lawrencium | Ernest Lawrence | 1961 | B | 3 min |
| 104 | Rf | Rutherfordium | Ernest Rutherford | 1964 | C | 10 min |
| 105 | Db | Dubnium | Dubna, Ort in Russland | 1970 | B | 34 s |
| 106 | Sg | Seaborgium | Glenn Seaborg | 1974 | B | 21 s |
| 107 | Bh | Bohrium | Niels Bohr | 1981 | D | 17 s |
| 108 | Hs | Hassium | Bundesland Hessen | 1984 | D | 25 s |
| 109 | Mt | Meitnerium | Lise Meitner | 1982 | D | 42 ms |
| 110 | Ds | Darmstadtium | Darmstadt | 1994 | D | 56 ms |
| 111 | Rg | Roentgenium | Wilhelm Conrad Röntgen | 1994 | D | 6,4 ms |
| 112 | Cp | Copernicium | Nikolaus Kopernikus | 1996 | D | 0,6 ms |
| 113 | Uut | Ununtrium ³⁾ | | 2003 | E | 0,48 s |
| 114 | Uuq | Ununquadium ³⁾ | | 1999 | E | 2,7 s |
| 115 | Uup | Ununpentium ³⁾ | | 2004 | E | 87 ms |
| 116 | Uuh | Ununhexium ³⁾ | | 2000 | E | 53 ms |
| 117 | Uus | Ununseptium ³⁾ | <i>bislang noch nicht erzeugt</i> | – | – | – |
| 118 | Uuo | Ununoctium ³⁾ | <i>bislang noch nicht bestätigt</i> | 2006 | E | 1,8 ms |

¹⁾ Entdecker: A – McMillan, Abelson, USA; B – Seaborg, Ghiorso, et al., Berkely, USA; C – Fljerov et al., Dubna, Russland; D – Armbruster, Hofmann, Münzenberg et al., Gesellschaft für Schwerionenforschung, Darmstadt; E – internationale Arbeitsteams u.a. aus Russland, USA und Deutschland in Dubna, Russland.

²⁾ Halbwertszeit des stabilsten bekannten Isotops (siehe auch www.gsi.de/portrait/heavyelements.html, www.nndc.bnl.gov, www.roempp.com).

³⁾ Vorläufiger Name.