

Spektrum  
der Wissenschaft

KOMPAKT

# DAS PERIODEN- SYSTEM

Auf der Spur der Elemente

**Nukleosynthese**

Von Wasserstoff bis Eisen

**Neue Elemente**

Insel der Schwergewichte

**Prüfverfahren**

Streit um die Neuen



Antje Findeklee  
E-Mail: [findeklee@spektrum.de](mailto:findeklee@spektrum.de)

Liebe Leserin, lieber Leser,  
es ist vielleicht das, was Ihnen aus dem Chemieunterricht  
am nachhaltigsten in Erinnerung geblieben ist:  
das Periodensystem. Es feiert im Jahr 2019 seinen  
150. Geburtstag.

Aber – wie sind sie überhaupt entstanden, die darin  
aufgelisteten Elemente? Und warum weist die Tafel an  
manchen Stellen Lücken auf, die offenbar schwer zu  
schließen sind? Dieses Kompakt geht auf Spurensuche.

Eine spannende Lektüre wünscht Ihnen

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 29.04.2019

Folgen Sie uns:



**CHEFREDAKTEURE:** Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.)  
**REDAKTIONSLEITER:** Dr. Daniel Lingenhöhl  
**ART DIRECTOR DIGITAL:** Marc Grove  
**LAYOUT:** Oliver Gabriel, Marina Männle  
**SCHLUSSREDAKTION:** Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies,  
Katharina Werle  
**BILDREDAKTION:** Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe  
**PRODUKTMANAGEMENT DIGITAL:** Antje Findeklee,  
Dr. Michaela Maya-Mrschtik  
**VERLAG:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH,  
Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600,  
Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114,  
UStd-Id-Nr. DE229038528  
**GESCHÄFTSLEITUNG:** Markus Bossle  
**MARKETING UND VERTRIEB:** Annette Baumbusch (Ltg.),  
Michaela Knappe (Digital)  
**LESER- UND BESTELLSERVICE:** Helga Emmerich, Sabine Häusser,  
Ilona Keith, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)

**BEZUGSPREIS:** Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer  
**ANZEIGEN:** Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen  
interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an  
[service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de).

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei  
der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche  
Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung,  
öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist  
ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig.  
Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag  
zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder  
autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist  
die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzu-  
nehmen: © 2019 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesell-  
schaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe  
in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft  
Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die  
jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht,  
sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte  
dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt  
werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt.  
Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher  
übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor,  
Leserbriefe zu kürzen.

SEITE

06

DER URSPRUNG DER ELEMENTE  
Vom Wasserstoff bis zum Eisen

ROST-90 / GETTY IMAGES / ISTOCK

SEITE

25

DER URSPRUNG DER ELEMENTE  
Durch Neutroneneinfang  
zu den schwersten  
Atomkernen

KTSIMAGE / GETTY IMAGES / ISTOCK

NEUE ELEMENTE

Insel der Schwergewichte

SEITE

45

DRHITCH / STOCK ADOBE.COM

UMSTRITTENES PRÜFVERFAHREN  
Der Streit um die Neuen im  
Periodensystem

SEITE

57

WELCOMIA / GETTY IMAGES / ISTOCK

- 04 IM GIFTSCHRANK  
Älteste Kopie des Periodensystems  
gefunden
- 06 DER URSPRUNG DER ELEMENTE  
Vom Wasserstoff bis zum Eisen
- 25 DER URSPRUNG DER ELEMENTE  
Durch Neutroneneinfang zu den schwersten  
Atomkernen
- 45 NEUE ELEMENTE  
Insel der Schwergewichte
- 57 UMSTRITTENES PRÜFVERFAHREN  
Der Streit um die Neuen im Periodensystem
- 65 CHEMIE  
Ist das Periodensystem falsch herum?

# Periodische Gesetzmässigkeit der Elemente nach Meyer

Reihen	Gruppe I $R^2 O$	Gruppe II $RO$	Gruppe III $R^2 O^3$	Gruppe IV $RH^4$ $RO^2$	Gruppe V $RH^3$ $R^2 O^5$	Gruppe VI $RH^2$ $RO^3$	Gruppe VII $RH$ $R^2 O^7$	Gruppe VIII
1	H=1							
2	Li=7	Be=9.4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24				S=32	Cl=35.5	
4	K=39	Ca=40				Fe=52	Mn=55	Fe=56
5	(Cu=63)	Zn=65				Se=79	Br=80	Ni=59
6	Rb=85	Sr=87	Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	--=100	Ru=101
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	Ce=137	La=139		Di=145?		
9	(-)							
10	165	169	Er=170	-173	Ta=182	W=184		Pt=195
11	(Au=196)	Hg=200	Tl=204	Pb=208	Bi=210			Ir=192

IM GIFTSCHRANK  
Älteste Kopie des  
**Periodensystems gefunden**  
von Daniel Lingenhöhl

Das Periodensystem feiert 2019 sein 150-jähriges Jubiläum.  
Passend dazu ist die bislang älteste bekannte Posterausgabe der  
Elementetafel aufgetaucht.

**I**m Jahr 1869 entwickelten der russische Chemiker Dmitri Mendelejew und sein deutscher Kollege Lothar Meyer unabhängig voneinander das Periodensystem: die erste systematische Einteilung anhand der Ordnungszahlen und chemischen Eigenschaften der Elemente. Wenig später wurde diese Tafel bereits reproduziert und unter anderem an Universitäten ausgegeben (oder verkauft). Eines dieser Exemplare stöberte vor wenigen Jahren der Chemiker Alan Aitken von der schottischen Universität St. Andrews zufällig auf, und eine Datierung ergab nun, dass es sich um die älteste bekannte Kopie handeln dürfte. Das teilte die Universität in einer Erklärung mit.

Aitken stieß demnach 2014 auf das Poster, als er einen alten Lagerraum der Fakultät für Chemie durchstöberte. Dort hatten sich seit der Eröffnung alte Chemikalien, Laborgeräte und anderes Material ange-

sammelt. Dazwischen steckte aber auch noch eine Rolle mit aufgerolltem Unterrichtsmaterial. Und darunter befand sich schließlich das etwas vergilbte und sehr fragile Periodensystem.

Einen ersten Hinweis auf das Alter gab die Zahl und Anordnung der Elemente auf dem Poster. Es ähnelte stark Mendelejews zweiter Ausführung von 1871, war aber nicht damit identisch. Die Ausgabe war auf Deutsch und trug als Herstellerangabe »Verlag v. Lenoir & Forster, Wien«, der von 1875 bis 1890 produzierte. Der Wissenschaftshistoriker Eric Scerri von der University of California in Los Angeles grenzte den Zeitraum auf die Jahre zwischen 1879 und 1886 ein: Die beiden Elemente Gallium und Skandium waren bereits eingetragen, da sie zwischen 1875 und 1879 entdeckt wurden. Dagegen fehlt Germanium, das erst 1886 beschrieben wurde.

Eine weitere Nachforschung in den Universitätsarchiven brachte schließlich zu Tage, dass ein 1885 erstelltes Periodensystem im Jahr 1888 durch den damaligen Chemieprofessor Thomas Purdie erstanden und im Unterricht eingesetzt wurde. Um das Poster zu erhalten, hat die Universität erste Maßnahmen ergriffen: Unter anderem wurde Schmutz entfernt und das Papier entsäuert. Zudem hat man lückenhafte Stellen mit einem dem damaligen Papier nachgemachten Gemisch ausgebessert. Ein Faksimile wird nun ausgestellt, während das Original inzwischen bessere Verwahrung gefunden hat. ↪

(Spektrum – Die Woche, 04/2019)

# Vom Wasserstoff **bis zum Eisen**

von Karlheinz Langanke und Michael Wiescher

Sie sind die Bausteine von allen Stoffen um uns herum und auch von unseren eigenen Körpern: die chemischen Elemente. Doch woher stammen sie, und wie haben sie sich gebildet? Die Suche nach Antworten führt uns auf eine spannende Reise durch das gesamte Universum bis zurück zum Urknall. Es zeigt sich, dass die Vorgänge im Mikrokosmos auf faszinierende Weise mit denen im Makrokosmos verknüpft sind. Und wir erkennen: Wir alle bestehen aus Sternenstaub.



**W**enn wir unsere Umgebung näher mit wissenschaftlichen Augen betrachten, finden wir darin eine wahre Fülle an chemischen Elementen: Zwischen dem leichten Wasserstoff und dem schweren, radioaktiven Uran gibt es im Periodensystem der Elemente Platz für so Unterschiedliches wie Alkalimetalle, Seltene Erden oder Edelgase. Trotz ihrer Vielfalt ist ihr innerer Aufbau frappierend ähnlich: Ihre kleinsten Einheiten, die Atome, bestehen alle aus nur drei grundlegenden Bausteinen, nämlich Protonen und Neutronen im Kern (gemeinsam auch Nukleonen genannt) und Elektronen in der Atomhülle. Es ist letztlich nur die unterschiedliche Anzahl dieser Bausteine, welche die vielfältigen Erscheinungsformen und Eigenschaften der Elemente bedingt.

---

**Karlheinz Langanke** ist Professor für theoretische Physik an der Technischen Universität Darmstadt und Forschungsdirektor am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung und von FAIR. **Michael Wiescher** ist Freimann Professor für Physik an der University of Notre Dame, USA, und Direktor des dortigen Joint Institute for Nuclear Astrophysics und des Nuclear Science Laboratory.

Wasserstoff ist das einfachste Element, denn sein Atomkern ist ein einzelnes Proton. Das Helium hat einen Atomkern, der aus zwei Protonen und normalerweise zwei Neutronen besteht, und hat völlig andere Eigenschaften. Uran, das schwerste in der Natur vorkommende Element, enthält 92 Protonen und – in seiner langlebigsten Form – 146 Neutronen im Kern.

Wenn wir wissen wollen, wie diese Elemente entstanden sind und was ihre unterschiedliche Häufigkeit verursacht hat – wo müssen wir nach Antworten suchen? Hinweise liefern uns die gewaltigen Kräfte, die in Form von Bindungsenergie in den Atomkernen steckt. Wir nutzen sie zum Beispiel zur Stromerzeugung durch Spaltung schwerer Atomkerne. Auch die Verschmelzung leichter Atomkerne setzt enorme Energiemengen frei. Um diese Fusion in Gang zu setzen, bedarf es extremer Bedingungen von unvorstellbar hoher Dichte und Temperatur. Unsere Spurensuche führt uns also an sehr spezielle Orte in der Natur: Nur zu Beginn des Universums, kurz nach dem Urknall, und innerhalb von Sternen und ihren spektakulären Explosionen lagen beziehungsweise liegen die erforderlichen Bedingungen vor.

AUF EINEN BLICK

## Sterne als Elementfabriken

- 1 Alle chemischen Elemente, die in der Natur vorkommen, sind durch Kernreaktionen in gewaltigen Prozessen im Kosmos entstanden.
- 2 Unmittelbar nach dem Urknall bildeten sich nur die leichtesten Elemente: der gesamte Wasserstoff, ein Teil des heute vorhandenen Heliums und etwas Lithium.
- 3 Alle anderen Elemente bis hin zum Eisen entstanden tief im Innern von Sternen oder bei der heftigen Explosion am Ende ihres Daseins durch schrittweises Verschmelzen von Atomkernen.