Isotope: Was sie sind und wofür man sie braucht

ATOMKERNE UND STRAHLUNG

Schlagen Sie im Periodensystem das Chlor nach. Als Atommasse steht dort 35,45. Das ist merkwürdig, denn ein Atom besteht aus Protonen und Neutronen, die jeweils ungefähr eine Masseneinheit wiegen. Halbe Teilchen gibt es nicht. Wie kommt also die krumme Zahl zustande?

Die Antwort: Es gibt nicht das eine Chloratom. In der Natur kommen zwei Sorten vor, die sich in ihrer Masse unterscheiden, rund drei Viertel mit der Masse 35 und ein Viertel mit der Masse 37 [1]. Die 35,45 sind ihr Durchschnitt. Solche Sorten eines Elements heißen Isotope, und sie stecken hinter der Altersbestimmung von Mumien ebenso wie hinter Krebsdiagnosen und Kernkraftwerken.

Was ist ein Isotop?

Jeder Atomkern besteht aus Protonen und Neutronen. Die Zahl der Protonen, die Ordnungszahl Z, legt fest, um welches Element es sich handelt: Ein Kern mit einem Proton ist immer Wasserstoff, einer mit sechs immer Kohlenstoff, einer mit 92 immer Uran. Die Zahl der Neutronen N dagegen kann schwanken. Atome mit gleicher Protonenzahl, aber unterschiedlicher Neutronenzahl sind Isotope desselben Elements. Zählt man Protonen und Neutronen zusammen, erhält man die Massenzahl:

$$A = Z + N \tag{1}$$

Die Massenzahl hängt man an den Namen an, etwa Kohlenstoff-12 und Kohlenstoff-14, oder man schreibt sie oben links an das Elementsymbol: ^{12}C und ^{14}C. Beide haben sechs Protonen, der eine Kern hat sechs Neutronen, der andere acht.

Chemisch verhalten sich Isotope fast gleich, denn die Chemie spielt sich in der Elektronenhülle ab, und die ist bei allen Isotopen eines Elements gleich aufgebaut. So hat auch der britische Chemiker Frederick Soddy den Begriff 1913 eingeführt: Manche Elemente gibt es in zwei oder mehr Formen mit verschiedener Atommasse, die sich chemisch nicht unterscheiden lassen [2]. Weil sie im Periodensystem denselben Platz einnehmen, nannte man sie nach dem Griechischen *isos topos*, gleicher Ort.

Wasserstoff: drei Isotope mit eigenen Namen

Beim Wasserstoff sind die Unterschiede so groß, dass die Isotope eigene Namen bekommen haben. Normaler Wasserstoff, das Protium, hat nur ein Proton im Kern und macht 99,985 Prozent allen Wasserstoffs aus. Deuterium hat zusätzlich ein Neutron und ist damit doppelt so schwer[3],[4]. Entdeckt hat es der amerikanische Chemiker Harold Urey, der dafür 1934 den Nobelpreis bekam[5]. Mit zwei Neutronen wird der Kern instabil: Tritium zerfällt mit einer Halbwertszeit von 12,32 Jahren[3].

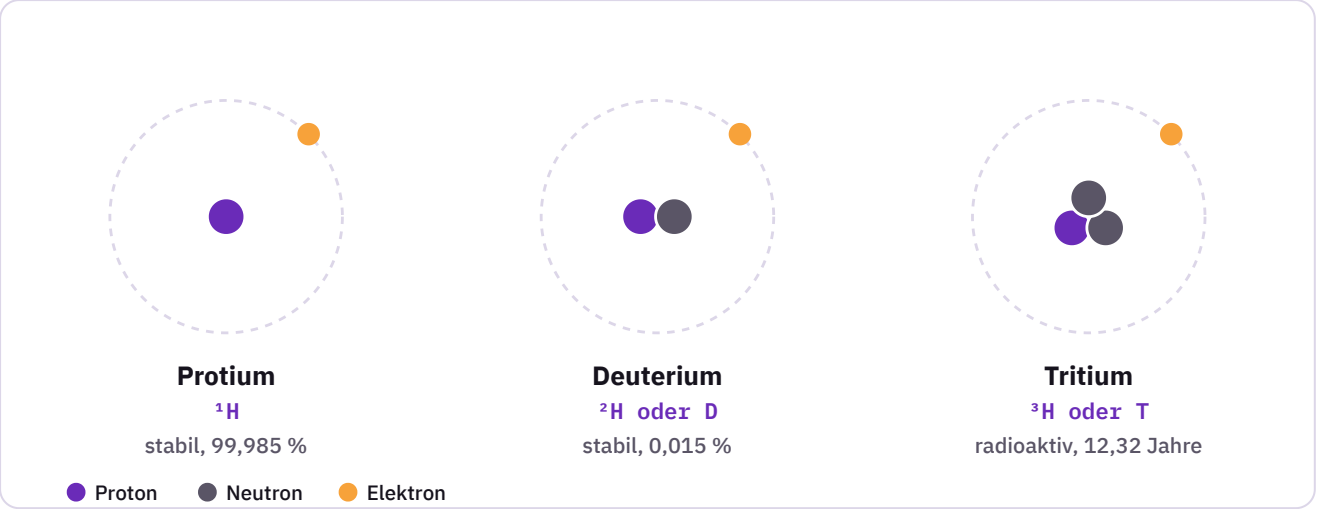

Abb. 1: Die drei Isotope des Wasserstoffs, schematisch und nicht maßstäblich. Häufigkeiten und Halbwertszeit nach NUBASE2020[3]. Eigene Darstellung.

Deuterium und Tritium sind die beiden Sorten Wasserstoff, die in Fusionsreaktoren miteinander verschmelzen sollen. Mehr dazu im Artikel über die Kernfusion.

Stabil oder radioaktiv

Nicht jede Kombination aus Protonen und Neutronen hält zusammen. Die Neutronen wirken wie ein Kitt, der die sich abstoßenden Protonen bindet. Sind es zu wenige oder zu viele, ist der Kern instabil und wandelt sich früher oder später in einen anderen um, man spricht von Radioaktivität. Wie lange das im Schnitt dauert, beschreibt die Halbwertszeit, und die reicht von Sekundenbruchteilen bis zu Milliarden Jahren.

Die internationale Datensammlung NUBASE2020 listet mehr als 3000 Nuklide, also verschiedene Kombinationen aus Protonen und Neutronen. Nur rund 250 davon gelten als stabil. Stabile Isotope gibt es bei 80 Elementen, das schwerste ist Blei. Den Rekord hält das Zinn mit zehn stabilen Isotopen[3].

Isotop	Protonen	Neutronen	Häufigkeit in der Natur	Halbwertszeit	bekannt durch
Kohlenstoff-12	6	6	98,94 %	stabil	Grundlage der atomaren Masseneinheit
Kohlenstoff-14	6	8	Spuren	5700 Jahre	Altersbestimmung
Fluor-18	9	9	künstlich	109,7 Minuten	PET-Untersuchungen
Technetium-99m	43	56	künstlich	6,0 Stunden	Szintigrafie
Iod-131	53	78	künstlich	8,0 Tage	Schilddrüsentherapie
Uran-235	92	143	0,72 %	704 Millionen Jahre	Kernspaltung
Uran-238	92	146	99,27 %	4,46 Milliarden Jahre	Altersbestimmung von Gestein

Häufigkeiten und Halbwertszeiten nach NUBASE2020 [3], die Rolle von Kohlenstoff-12 nach CIAAW [6]. „Künstlich“ heißt: Das Isotop kommt in der Natur praktisch nicht vor und wird in Reaktoren oder Teilchenbeschleunigern hergestellt. Das m bei Technetium-99m steht für einen langlebigen angeregten Kernzustand.

Wie schnell eine Probe zerfällt, können Sie für jedes dieser Isotope mit unserem Halbwertszeit-Rechner ausprobieren.

Woher die krumme Atommasse kommt

Zurück zum Chlor. Chlor-35 hat eine Masse von 34,969 atomaren Masseneinheiten, Chlor-37 von 36,966 [1]. In der Natur kommen sie im Verhältnis von etwa 75,8 zu 24,2 Prozent vor [3]. Den Mittelwert, den man im Periodensystem findet, erhält man, indem man jede Masse mit ihrem Anteil gewichtet:

$$0{,}758 \cdot 34{,}969 + 0{,}242 \cdot 36{,}966 \approx 35{,}45 \tag{2}$$

Heraus kommt der Wert aus dem Periodensystem. Bei anderen Elementen funktioniert die Rechnung genauso, nur mit anderen Isotopen und Anteilen.

Wie man Isotope entdeckt hat

Die ersten Hinweise kamen aus der Erforschung der Radioaktivität, die Marie Curie und andere um 1900 vorantrieben. Beim Zerfall entstanden immer neue Substanzen, viel mehr, als im Periodensystem Platz hatten. Soddy erkannte, dass manche davon chemisch identisch waren und

sich nur in der Masse unterschieden. Er bekam dafür den Chemie-Nobelpreis für 1921, der ihm wegen einer Verschiebung erst 1922 überreicht wurde [7].

Dass auch ganz gewöhnliche, nicht radioaktive Elemente Isotope haben, zeigte der Brite Francis William Aston. Mit seinem Massenspektrografen, der Atome nach ihrer Masse sortiert, fand er Isotope bei einer großen Zahl von Elementen und erhielt dafür den Chemie-Nobelpreis 1922 [8].

Wofür man Isotope braucht

Altersbestimmung

Lebewesen nehmen ständig Kohlenstoff auf, darunter einen winzigen Anteil des radioaktiven Kohlenstoff-14. Sterben sie, hört die Aufnahme auf, und der Kohlenstoff-14 zerfällt mit einer Halbwertszeit von 5700 Jahren [3]. Misst man, wie viel davon noch übrig ist, kennt man das Alter, etwa von Holz, Knochen oder Stoffresten. Willard Libby erhielt für diese Methode 1960 den Nobelpreis für Chemie [9].

Medizin

Kurzlebige Isotope verraten Ärzten, was im Körper vor sich geht. Fluor-18 wird an Zucker gekoppelt und zeigt in der Positronen-Emissions-Tomografie, wo besonders viel Zucker verbraucht wird, etwa in Tumoren. Weil es eine Halbwertszeit von nur 110 Minuten hat [3], klingt die Strahlung im Körper schnell ab. Wie die Untersuchung abläuft, erklärt der Artikel über die PET-CT.

Kernenergie

Natürliches Uran besteht zu 99,27 Prozent aus Uran-238 und nur zu 0,72 Prozent aus Uran-235 [10]. Für die Kettenreaktion in einem Kernkraftwerk kommt es aber gerade auf das seltene Uran-235 an, deshalb wird es für die meisten Reaktoren angereichert. Die Physik dahinter beschreibt der Artikel über die Kernspaltung.

Fragen zu Isotopen

Was ist ein Isotop einfach erklärt?

Isotope sind Atome desselben Elements, die sich nur in der Zahl ihrer Neutronen unterscheiden. Sie haben gleich viele Protonen und Elektronen und verhalten sich chemisch fast gleich, sind aber unterschiedlich schwer. Manche sind stabil, andere radioaktiv.

Was ist der Unterschied zwischen Atom und Isotop?

Ein Isotop ist eine bestimmte Sorte von Atom. Mit dem Wort Atom ist jedes Atom eines Elements gemeint, mit Isotop eine bestimmte Variante mit einer festen Neutronenzahl, etwa Kohlenstoff-12 oder Kohlenstoff-14.

Was ist der Unterschied zwischen Ionen und Isotopen?

Bei Isotopen unterscheidet sich die Zahl der Neutronen im Kern, bei Ionen die Zahl der Elektronen in der Hülle. Ein Ion ist deshalb elektrisch geladen, ein Isotop nicht unbedingt.

Welche Arten von Isotopen gibt es?

Man unterscheidet stabile Isotope, die nicht zerfallen, und radioaktive Isotope, die sich mit einer bestimmten Halbwertszeit in andere Kerne umwandeln. Von mehr als 3000 bekannten Nukliden gelten nur rund 250 als stabil.

Wie viele Isotope hat Wasserstoff?

In der Natur kommen drei vor: Protium mit einem Proton, Deuterium mit einem Proton und einem Neutron und das radioaktive Tritium mit einem Proton und zwei Neutronen. Im Labor wurden noch schwerere, extrem kurzlebige Varianten erzeugt.

Quellen

1. IUPAC Commission on Isotopic Abundances and Atomic Weights (CIAAW): *Chlorine.* ciaaw.org.
2. Nobel Prize Outreach: *Frederick Soddy – Biographical.* Aus: Nobel Lectures, Chemistry 1901–1921, Elsevier, Amsterdam 1966, nobelprize.org.
3. F. G. Kondev, M. Wang, W. J. Huang, S. Naimi, G. Audi: *The NUBASE2020 evaluation of nuclear physics properties.* In: Chinese Physics C 45 (2021), 030001, doi:10.1088/1674-1137/abddae; Datentabelle bei der IAEA.
4. CIAAW: *Hydrogen.* ciaaw.org.
5. Nobel Prize Outreach: *The Nobel Prize in Chemistry 1934.* nobelprize.org.
6. CIAAW: *Carbon.* ciaaw.org.
7. Nobel Prize Outreach: *The Nobel Prize in Chemistry 1921.* nobelprize.org.
8. Nobel Prize Outreach: *The Nobel Prize in Chemistry 1922.* nobelprize.org.
9. Nobel Prize Outreach: *The Nobel Prize in Chemistry 1960.* nobelprize.org.
10. CIAAW: *Uranium.* ciaaw.org.

Zitiervorschlag

quanten.de: *Isotope: Was sie sind und wofür man sie braucht.* Stand: November 2026. URL: https://quanten.de/isotope.html

Texte und Abbildungen © 2026 quanten.de. Nutzung mit Quellenangabe und Link gern, kommerzielle Nutzung nach Absprache: info@quanten.de

Weiterlesen: Radioaktivität · Halbwertszeit-Rechner · Kernspaltung · Periodensystem