

Radioaktivität – Wikipedia

-Radioaktivität

aus Wikipedia, der freien Enzyklopädie

[ADR Gefahrgutklasse 7 Radioaktive Stoffe](#)

Radioaktivität (von [lat.](#) *radius*, ‚Strahl‘; *Strahlungsaktivität*), **radioaktiver Zerfall** oder **Kernzerfall** ist die Eigenschaft instabiler [Atomkerne](#), sich spontan unter Energieabgabe umzuwandeln. Die freiwerdende Energie wird in fast allen Fällen als [ionisierende Strahlung](#), nämlich energiereiche Teilchen und/oder [Gammastrahlung](#), abgegeben.

Der Begriff selbst ([frz.](#) *radioactivité*) wurde 1898 von [Marie Curie](#) geprägt.

Inhaltsverzeichnis

- [1 Definitionen und Begriffe: Radioaktive Substanz, Zerfall, Strahlung](#)
- [2 Grundlagen](#)
 - [2.1 Exponentielle Abnahme](#)
 - [2.2 Statistische Schwankungen](#)
- [3 Geschichte](#)
- [4 Zerfallsarten](#)
 - [4.1 Alphazerfall](#)
 - [4.2 Beta-Zerfall](#)
 - [4.2.1 \$\beta^-\$ -Zerfall](#)
 - [4.2.2 \$\beta^+\$ -Zerfall](#)
 - [4.2.3 Elektroneneinfang](#)
 - [4.2.4 Doppelter Betazerfall](#)
 - [4.3 Gammazerfall](#)
 - [4.3.1 Innere Konversion](#)
 - [4.4 Weitere Zerfallsarten](#)
 - [4.4.1 Spontane Spaltung](#)
 - [4.4.2 Spontane Nukleonemission](#)
 - [4.4.3 Clusterzerfall](#)
 - [4.4.4](#)

Definitionen und Begriffe: Radioaktive Substanz, Zerfall, Strahlung

Radioaktive Substanz

Umgangssprachlich, gelegentlich auch fachsprachlich, wird das Wort ‚Radioaktivität‘ auch für *radioaktive Substanz* gebraucht.

Radioaktiver Zerfall

Der historisch geprägte Begriff *Zerfall* beschreibt treffend die Mengenabnahme des Ausgangsstoffes nach dem [Zerfallsgesetz](#). Diese vereinfachte Sichtweise charakterisiert den Vorgang jedoch unvollständig. Auf der Ebene der Atome findet vielmehr eine gesetzmäßig definierte *Umwandlung* des jeweiligen [Nuklids](#) (Atomsorte) in ein bestimmtes anderes Nuklid statt; auch dieser Vorgang wird fachsprachlich Zerfall genannt.

Radioaktive Strahlung

Insbesondere in der öffentlichen Diskussion werden die Begriffe *Radioaktivität* und *Strahlung* oft miteinander verwechselt oder synonym verwendet: Mit Radioaktivität ist häufig nicht das Material, sondern die abgegebene [Strahlung](#) (Emission von Teilchen oder Energie) – oder sogar ionisierende Strahlung aus nicht radioaktiven Quellen – gemeint. Umgekehrt wird z. B. bei Berichten über Zwischenfälle oft von „ausgetretener Strahlung“ gesprochen, wenn unbeabsichtigt freigesetzte, radioaktive Stoffe (Strahler) gemeint sind. Die häufig verwendete Formulierung „radioaktive Strahlung“ ist [pleonastisch](#), da *radioaktiv* bereits *strahlend* bedeutet; gemeint ist hierbei die *Strahlung radioaktiver Stoffe*.

Grundlagen

Exponentielle Abnahme

Radioaktiver Zerfall ist kein [deterministischer Prozess](#). Der Zerfallszeitpunkt des einzelnen Atomkerns ist völlig [zufällig](#). Allerdings folgt der Vorgang einem [Exponentialgesetz](#), so dass es für jedes Nuklid einen festen Wert der *Zerfallswahrscheinlichkeit* pro Zeiteinheit gibt. Die Zerfallswahrscheinlichkeit kann auch durch die [Halbwertszeit](#) ausgedrückt werden, also den Zeitraum, nach dem durchschnittlich die Hälfte der instabilen Atomkerne einer Anfangsmenge zerfallen sind. Es gibt radioaktive Halbwertszeiten im gesamten Bereich von Sekundenbruchteilen bis zu Milliarden von Jahren. Sehr langlebige Nuklide sind beispielsweise [Uran-238](#), [Uran-235](#), [Thorium-232](#) und [Kalium-40](#). Je kürzer die Halbwertszeit, desto größer ist bei gegebener Substanzmenge die [Aktivität](#).

Statistische Schwankungen [[Bearbeiten](#)]

Die Aktivität ist der [Erwartungswert](#) der Zahl der Zerfälle pro Zeiteinheit. Die tatsächliche Zahl der Zerfälle, die man in einem festen Zeitintervall beobachtet, schwankt zufallsweise um den Erwartungswert; die Häufigkeit, mit der dabei die einzelnen möglichen Anzahlen auftreten, folgt der [Poisson-Verteilung](#). (Falls man die Schwankung durch wiederholte Messung beobachten will, muss die Halbwertszeit lang im Vergleich zur gewählten Dauer des Beobachtungsintervalls sein, damit gleichbleibende Bedingungen herrschen.)

Die Poisson-Verteilung lässt sich bei genügend großer mittlerer Anzahl durch die für Berechnungen bequemere [Gauss-Verteilung](#) annähern.

Geschichte

Metallblech von einigen mm Dicke vollständig absorbiert; zur hinreichenden Schwächung von Gammastrahlung braucht man eine dickere Schicht aus einem Material möglichst hoher Dichte (siehe [Abschirmung \(Strahlung\)](#)).

1896 entdeckte [Antoine Henri Becquerel](#) bei dem Versuch, die gerade gefundene [Röntgenstrahlung](#) durch [Fluoreszenz](#) erklären zu wollen, dass [Uransalz fotografische Platten](#) zu schwärzen vermochte. Allerdings war die Uranprobe dazu auch ohne Vorbelichtung in der Lage, was Fluoreszenz als Ursache ausschloss. Wie er später zeigte, konnte diese neue Strahlung lichtundurchlässige Stoffe durchdringen und Luft ionisieren, ohne dabei von Temperaturänderungen oder chemischen Behandlungen der Probe beeinflusst zu werden. Weitere radioaktive Elemente fanden [Marie](#) und [Pierre Curie](#) 1898 mit [Thorium](#) sowie zwei neuen um ein Vielfaches stärker strahlenden Elementen, die sie [Radium](#) und [Polonium](#) taufte.

Durch Untersuchung des Durchdringungsvermögens gelang es [Ernest Rutherford](#) 1899, zwei Strahlungskomponenten zu unterscheiden. [Stefan Meyer](#) und [Egon Schweidler](#) sowie [Friedrich Giesel](#) konnten noch im gleichen Jahr zeigen, dass diese in [magnetischen Feldern](#) in unterschiedliche Richtungen abgelenkt werden. Eine dritte Komponente, die sich nicht durch Magnetfelder ablenken ließ und ein sehr hohes Durchdringungsvermögen aufwies, wurde 1900 von [Paul Ulrich Villard](#) entdeckt. Für die drei Strahlungsarten prägte Rutherford die Bezeichnungen [Alpha-](#), [Beta-](#) und [Gammastrahlung](#). Bis 1909 hatte sich erwiesen, dass Alphastrahlung aus [Heliumkernen](#) und Betastrahlung aus [Elektronen](#) besteht. Die Vermutung, dass es sich bei Gammastrahlung um eine [elektromagnetische Welle](#) handelt, konnte erst 1914 von Rutherford und [Edward Andrade](#) bestätigt werden.

Bereits 1903 – sechs Jahre vor dem Nachweis von [Atomkernen](#) – entwickelten Rutherford und [Frederick Soddy](#) eine Hypothese, nach der die Radioaktivität mit der Umwandlung von Elementen verknüpft sei. Davon ausgehend formulierten 1913 [Kasimir Fajans](#) und [Frederick Soddy](#) die so genannten *radioaktiven Verschiebungssätze*. Diese beschreiben die Änderung von [Massen-](#) und [Ordnungszahl](#) beim [Alpha-](#) und [Betazerfall](#), womit die natürlichen [Zerfallsreihen](#) als eine schrittweise Abfolge von diesen Zerfallsprozessen erklärt werden konnten.

[Irène](#) und [Frédéric Joliot-Curie](#) gelang es 1933 erstmals, radioaktive Elemente künstlich zu erzeugen. Durch den Beschuss von Proben mit α -Teilchen konnten sie neue [Isotope](#) herstellen, die aufgrund ihrer kurzen [Halbwertszeiten](#) in der Natur nicht vorkommen. Bei ihren Versuchen entdeckten sie 1934 eine neue Art des Betazerfalls, bei dem [Positronen](#) anstelle von Elektronen abgestrahlt werden. Seither unterscheidet man zwischen β^+ - und β^- -Strahlung.

Zerfallsarten

Verschiedene Zerfallsarten eines Radionuklids in der Darstellung der [Nuklidkarte](#). Senkrecht: Ordnungszahl Z , waagrecht: Neutronenzahl N

Es werden drei hauptsächliche Zerfallsarten unterschieden: Der Alpha-, Beta- und Gamma-Zerfall. (Da man zum Zeitpunkt ihrer Entdeckung noch nicht wusste, um welches Phänomen es sich handelte, beschrieb man die 3 Strahlenarten der Einfachheit halber mit den ersten 3 Buchstaben des griechischen Alphabets.) Beim Alpha-Zerfall verringert sich durch die Emission eines Alpha-Teilchens, bestehend aus zwei Protonen und zwei Neutronen, die Ordnungszahl des radioaktiven Elements um die Zahl 2 und die Massenzahl um die Zahl 4. Beim Beta^- -Zerfall wird aus dem Atomkern ein Elektron emittiert (ein im Atomkern vorhandenes Neutron wandelt sich zuvor in ein Proton und besagtes Elektron um), hierdurch erhöht sich die Ordnungszahl des Isotops um 1, die Massenzahl bleibt gleich. Ein Gammazerfall kann nur als unmittelbare Folge eines Alpha- bzw. Beta-Zerfalls auftreten. Hier ändern sich Masse und Ordnungszahl nicht, jedoch ändert sich der Anregungszustand des Kerns. Der Zeitpunkt eines radioaktiven Zerfalls ist im Voraus nicht

bestimmbar. Ebenso lässt sich die Art des Zerfalls nicht vorhersagen, sofern mehr als ein Prozess möglich ist.

Bei manchen Isotopen kann ein radioaktiver Zerfall auf zwei verschiedene Arten erfolgen. [Bismut-212](#) beispielsweise hat die Eigenschaft mit jeweils unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit auf [zwei verschiedene Arten](#) zu zerfallen. Alle Nuklide einschließlich Art und Wahrscheinlichkeit der möglichen Zerfallsarten und der Halbwertszeiten werden auf einer sogenannten [Nuklidkarte](#) zusammengefasst.

Die Stärke der Radioaktivität wird durch die physikalische Größe *Aktivität* beschrieben und in der Einheit [Becquerel](#), abgekürzt Bq, angegeben. Ein Becquerel steht für durchschnittlich einen Zerfall pro Sekunde und repräsentiert somit, verglichen mit der früher üblichen Einheit [Curie](#), eine sehr kleine Aktivität.

Ein Atomkern ist dann stabil und kann nicht weiter ohne Fremdeinwirkung zerfallen, wenn es keine Zerfallsart gibt, die zu einem energetisch niedrigeren Zustand führen würde. Beim Wasserstoff ist dieser Zustand ein Proton als Atomkern, bzw. das [Deuteron](#), das aus Proton und Neutron besteht. Beim [Helium](#) enthält das stabile Isotop Helium-3 zwei Protonen und ein Neutron, das stabile Helium-4 zwei Protonen und zwei Neutronen. Beim [Lithium](#) und allen schwereren Elementen müssen mindestens gleich viele Neutronen wie Protonen den Kern bilden, damit der Kern stabil ist, und bei schwereren Kernen überwiegen immer mehr die Neutronen. Ab einer gewissen Massenzahl werden alle Atomkerne instabil. Durch Einwirkung von [Teilchenstrahlung](#), insbesondere [Neutronenstrahlung](#) (*Neutronenaktivierung*), können in [Kernreaktoren](#) stabile Atomkerne in andere instabile Atomkerne umgewandelt werden.

Radioaktive Kerne können auf verschiedene Weise zerfallen, je nach ihrer Zusammensetzung aus Protonen und Neutronen. Historisch besonders bedeutsam sind die Zerfallsarten Alpha-, Beta- und Gammazerfall. Sie wurden als erste entdeckt und sind die bei weitem am häufigsten auftretenden Umwandlungsarten. Später fand man noch weitere Zerfallsarten, die nicht mehr zu diesen drei klassischen Arten gezählt werden konnten.

Die Vielzahl existierender Zerfälle lässt sich in drei Kategorien einteilen:

Zerfälle unter Aussendung von [Nukleonen](#)

viele radioaktive Kerne wandeln sich unter Aussendung von Nukleonen, also von Protonen, Neutronen oder sogar leichten Kernen, um. Prominentestes Beispiel ist der *Alpha-Zerfall*. Hierbei spaltet der Mutterkern einen Heliumkern ab. Seltener tritt die Aussendung einzelner Neutronen oder Protonen oder ganzer Kohlenstoffkerne auf.

Beta-Zerfälle

wenn bei einem Zerfall Elektronen (oder deren Antiteilchen) beteiligt sind, spricht man von einem Beta-Zerfall. Es gibt eine ganze Reihe solcher Prozesse. Nicht immer muss auch ein Elektron als Produkt entstehen, wie beispielsweise beim *Elektroneneinfang*.

Übergang zwischen Zuständen ein- und desselben Kerns

in diesem Fall werden keinerlei Materieteilchen abgestrahlt. Entsprechend wandelt sich auch der Kern nicht in einen anderen um; er gibt seine überschüssige Energie direkt in Form hochenergetischer elektromagnetischer Strahlung ab. Diese kann als *Gammastrahlung* frei werden, oder an ein Elektron der Atomhülle abgegeben werden (*innere Konversion*).

Alphazerfall [[Bearbeiten](#)]

→ *Hauptartikel:* [Alphastrahlung](#)

Ist der Atomkern sehr schwer oder enthält er deutlich weniger Neutronen als Protonen, kann die Anziehung der [starken Wechselwirkung](#) überwunden werden und es kommt zum [Alphazerfall](#). Dabei verlässt ein [Helium-4-Kern](#), in diesem Fall Alphateilchen genannt, mit einer Geschwindigkeit von einigen Prozent der [Lichtgeschwindigkeit](#) den Mutterkern. Dies ist trotz der hohen

Potentialbarriere aufgrund des [Tunneleffekts](#) möglich. Der Restkern, auch Rückstoßkern oder Tochterkern genannt, verringert bei diesem Vorgang seine [Nukleonenzahl](#) um vier und die [Kernladungszahl](#) um zwei.

Die allgemeine Reaktionsgleichung des Alphazerfalls lautet



Der Mutterkern X mit Nukleonenzahl A und Protonenzahl Z zerfällt unter Aussendung eines Alphateilchens in den Tochterkern Y mit einer um 4 verminderten Nukleonenzahl und um 2 verminderten Protonenzahl.

Ein Beispiel für den Alphazerfall ist der Zerfall von Uran-238 in Thorium-234:



Beta-Zerfall [[Bearbeiten](#)]

→ *Hauptartikel*: [Betastrahlung](#)

Wenn ein ungünstiges Verhältnis von Neutronen zu Protonen besteht, tritt normalerweise Betazerfall ein.

β^- -Zerfall [[Bearbeiten](#)]

Beim β^- -Zerfall (Beta-Minus-Zerfall) wird im Kern ein [Neutron](#) in ein [Proton](#) umgewandelt und ein hochenergetisches [Elektron](#) sowie ein Elektron-[Antineutrino](#) emittiert. Die [Nukleonenzahl](#) des Kerns ändert sich dabei nicht, seine [Ordnungszahl](#) erhöht sich um eins.

Die allgemeine Reaktionsgleichung des Beta-Minus-Zerfalls lautet



Der Mutterkern X mit Nukleonenzahl A und Protonenzahl Z zerfällt unter Aussendung eines Elektrons und eines Anti-Elektronneutrinos in den Tochterkern Y mit gleicher Nukleonenzahl und um 1 erhöhten Protonenzahl.

Ein Beispiel für den β^- -Zerfall ist der Zerfall von Kohlenstoff-14 in das stabile Isotop Stickstoff-14:



Durch einige Meter Luft oder z. B. eine Plexiglasschicht lässt sich die [Beta-Strahlung](#) vollständig abschirmen. Die Reichweite der Strahlung hängt dabei von ihrer Energie und dem zur Abschirmung verwendeten Material ab.

Die Neutrinostrahlung ist sehr schwer nachzuweisen (und völlig unschädlich), da Neutrinos nur der [schwachen Wechselwirkung](#) unterliegen. Ein Strom von Neutrinos durchquert z. B. die gesamte Erde fast ungeschwächt.

β^+ -Zerfall [[Bearbeiten](#)]

Beim β^+ -Zerfall wird im Kern ein [Proton](#) in ein [Neutron](#) und ein hochenergetisches [Positron](#) umgewandelt und ein Elektron-[Neutrino](#) emittiert. Die Nukleonenzahl des Kerns ändert sich dabei nicht, seine Ordnungszahl verringert sich um eins.

Die allgemeine Reaktionsgleichung des Beta-Plus-Zerfalls lautet



Der Mutterkern X mit Nukleonenzahl A und Protonenzahl Z zerfällt unter Aussendung eines Positrons und eines Elektronenneutrinos in den Tochterkern Y mit gleicher Nukleonenzahl und um 1 verminderter Protonenzahl.

Ein Beispiel für den β^+ -Zerfall ist der Zerfall von Stickstoff-13 in Kohlenstoff-13:



Elektroneneinfang [Bearbeiten]

→ Hauptartikel: [Elektroneneinfang](#)

Eine andere Möglichkeit zur Umwandlung eines Protons in ein Neutron besteht darin, ein Elektron aus der [Atomhülle](#) in den Kern zu „ziehen“, dem so genannten [Elektroneneinfang](#) (engl. *electron capture*, kurz EC), auch ϵ -Zerfall genannt. Nach der Bezeichnung der typisch betroffenen Elektronenschale, der K-Schale, wird der Elektroneneinfang auch als *K-Einfang* bezeichnet. Das Proton des Kerns wird in ein Neutron umgewandelt, und ein Elektronenneutrino emittiert.

Bei diesem Umwandlungsmechanismus ist der Kern denselben Änderungen unterworfen wie beim β^+ -Zerfall, die Nukleonenzahl bleibt unverändert, die Ordnungszahl verringert sich um eins. Der Elektroneneinfang konkurriert daher mit dem β^+ -Zerfall und wird auch als eine Variante des Betazerfalls angesehen. Da der β^+ -Zerfall die Energie für das emittierte Positron aufbringen muss, kommt energetisch nicht für jedes Nuklid, das mit Elektroneneinfang zerfällt, der β^+ -Zerfall in Frage. Da das eingefangene Elektron meist aus der innersten Elektronenschale stammt, wird in dieser ein Platz frei und Elektronen aus den äußeren Schalen rücken nach, wobei [charakteristische Röntgenstrahlung](#) emittiert wird.

Allgemein lautet die Gleichung für den Elektroneneinfang



Der Mutterkern X fängt ein Elektron aus der Atomhülle ein und wandelt sich unter Emission eines Elektronenneutrinos in den Tochterkern mit gleicher Nukleonenzahl und um 1 verminderter Protonenzahl um.

Ein Beispiel für den Elektroneneinfang ist der Zerfall von Nickel-59 zu Kobalt-59:



Doppelter Elektroneneinfang: Bei einigen Kernen ist ein einfacher Elektroneneinfang energetisch nicht möglich, sie können sich aber durch gleichzeitigen Einfang zweier Elektronen umwandeln. Die Halbwertszeiten derartiger Umwandlungen sind typischerweise sehr lang und konnten erst in jüngster Zeit nachgewiesen werden.

Ein Beispiel ist der Zerfall von Xenon-124 zu Tellur-124:



Doppelter Betazerfall [[Bearbeiten](#)]

→ Hauptartikel: [Doppelter Betazerfall](#)

Bei einigen Kernen ist ein einfacher Betazerfall energetisch nicht möglich, sie können aber unter Abstrahlung zweier Elektronen zerfallen. Derartige Zerfälle haben typischerweise sehr lange Halbwertszeiten und sind erst in jüngster Zeit nachgewiesen worden.

Beispiel:



Bisher ist die Frage, ob beim doppelten Betazerfall stets zwei Neutrinos emittiert werden oder ob auch ein neutrinoloser doppelter Betazerfall vorkommt, nicht beantwortet. Könnte der neutrinolose Fall nachgewiesen werden, so hätten sich die Neutrinos gegenseitig [annihiliert](#), was bedeuten würde, dass Neutrinos ihre eigenen Antiteilchen sind. Damit wären sie sogenannte [Majorana-Teilchen](#).

Gammazerfall [[Bearbeiten](#)]

→ Hauptartikel: [Gammastrahlung](#)

Ein γ -Zerfall (γ ist der kleine griechische Buchstabe gamma) ist möglich, wenn der [Atomkern](#) nach einem Zerfall in einem energetisch angeregten Zustand vorliegt. Beim Übergang in einen energetisch niedrigeren Zustand gibt der Atomkern durch Emission hochfrequenter [elektromagnetischer Strahlung](#), sogenannter γ -Strahlung, Energie ab.

Die Emission von Gammastrahlung verändert nicht die [Neutronen-](#) und [Protonenzahl](#) des emittierenden Kerns, es erfolgt lediglich ein Übergang zwischen zwei angeregten Kernzuständen oder einem angeregten Kernzustand und dem Grundzustand. Dies geschieht meist unmittelbar nach einem Beta- oder Alphazerfall. Die Bezeichnung Gamma-,zerfall“ ist insofern etwas irreführend, aber trotzdem übliche Nomenklatur.

Die allgemeine Gleichung für den Gammazerfall ist



Der angeregte Kern X regt sich unter Aussendung eines Gammaquants ab. Mutter- und Tochterkern stimmen dabei überein

Zerfallsschema von ^{60}Co

Ein bekanntes Beispiel ist die Aussendung von Gammastrahlung durch einen Nickel-60-Kern, der (meist) durch Betazerfall eines Cobalt-60-Kerns entstanden ist:



Das [Zerfallsschema](#) dieses Prozesses ist in der Grafik am rechten Rand dargestellt. ^{60}Co , ein Isotop mit vielen praktischen Anwendungen, ist ein Betastrahler mit einer Halbwertszeit von 5,26 Jahren. Es zerfällt zu einem angeregten Zustand von Nickel-60, der praktisch sofort (< 1 ps) durch Emission von zwei Gammaquanten zum Grundzustand zerfällt.

Bei den praktischen Anwendungen von Co-60 und vielen anderen Radionukliden geht es sehr oft nur um diese Gammastrahlung; die Alpha- oder Betastrahlung wird in diesen Fällen durch das Gehäuse des radioaktiven Präparates [abgeschirmt](#) und nur die Gammastrahlung dringt nach außen.

Obwohl die Gammastrahlung aus dem Tochternuklid des Alpha- oder Betazerfalls kommt, ordnet man sie sprachlich immer dem Mutternuklid zu, spricht also vom „Gammastrahler Cobalt-60“ usw.,

denn die einzige praktisch brauchbare Quelle dieser Gammastrahlung ist ein Co-60-Präparat.



Zerfallsschema von ^{99m}Tc

Es kann allerdings sein, dass der angeregte Zustand ein Isomer ist, d. h., dass er eine ausreichend lange Halbwertszeit hat, die eine praktische Nutzung dieser Gammastrahlungsquelle getrennt von ihrer Erzeugung ermöglicht, wie im Falle von Technetium-99:



Dieses Technetium-Isotop mit einer Halbwertszeit von sechs Stunden wird in der medizinischen Diagnostik verwendet.

Zur Abschirmung von γ -Strahlung sind unter Umständen meterdicke Beton- oder Bleiplatten nötig, denn sie hat in Materie keine bestimmte Reichweite, sondern wird nur exponentiell abgeschwächt. Es gibt daher für jedes Abschirmmaterial eine von der Gammaenergie abhängige Halbwertsdicke. γ -Strahlung ist wie Licht elektromagnetische Strahlung, ihr Quant ist aber sehr viel energiereicher und liegt damit weit außerhalb des für das menschliche Auge sichtbaren Spektrums.

Innere Konversion [Bearbeiten]

Die freiwerdende Energie beim Übergang eines Atomkerns in einen energetisch niedrigeren Zustand kann auch an ein Elektron der Atomhülle abgegeben werden. Diesen Vorgang nennt man Innere Konversion. Konversionselektronen sind im Gegensatz zu β -Teilchen monoenergetisch.



Der angeregte Kern X regt sich ab. Die dabei freiwerdende Energie geht auf ein Elektron der Atomhülle über.

Radioaktive Zerfälle sind Prozesse, die nur im Atomkern stattfinden. Im Falle der inneren Konversion überträgt sich die bei der Umwandlung freiwerdende Energie auf ein Elektron in der Atomhülle. Nach dem Zerfall fehlt also eine negative Ladung und es bleibt ein positives Ion zurück.

Weitere Zerfallsarten [Bearbeiten]

Spontane Spaltung [Bearbeiten]

Die spontane Spaltung ist ein weiterer radioaktiver Umwandlungsprozess, der bei besonders schweren Kernen auftritt. Der Atomkern zerfällt in zwei oder mehr Bruchstücke. In der Regel entstehen zwei mittelschwere Tochterkerne, und zwei oder drei Neutronen werden frei. Es ist eine Vielzahl verschiedener Tochterkernpaare möglich, jedoch sind die Summe der Kernladungszahlen und die Summe der Massenzahlen stets gleich denen des Ursprungskerns. Beispiele:

-
-

Auch die natürlich vorkommenden Uranisotope zerfallen zu einem kleinen Teil durch spontane Spaltung.

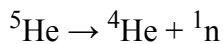
-
-
-
-

Spontane Nukleonenemission [[Bearbeiten](#)]

Bei Kernen mit besonders hoher oder besonders geringer Neutronenzahl kann es zu *spontaner Nukleonenemission*, also [Protonen-](#) oder [Neutronenemission](#) kommen. Atomkerne mit sehr hohem Protonenüberschuss können ein Proton abgeben, Atomkerne mit hohem [Neutronenüberschuss](#) können Neutronen abgeben.

-
-

Helium-5 sendet zum Beispiel spontan ein Neutron aus:



Bor-9 spaltet dagegen ein Proton ab, um den Überschuss auszugleichen: ${}^9\text{B} \rightarrow {}^8\text{Be} + {}^1_1\text{p}$

Clusterzerfall [[Bearbeiten](#)]

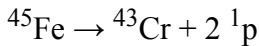
→ *Hauptartikel:* [Clusterzerfall](#)

Statt einzelner Nukleonen oder Helium-4-Kerne werden in sehr seltenen Fällen auch größere Atomkerne emittiert. Beispiele:

-
-
-

Zwei-Protonen-Zerfall [[Bearbeiten](#)]

Bei extremem Protonenüberschuss (wie zum Beispiel bei [Eisen-45](#)) kann der Zwei-Protonen-Zerfall auftreten, bei dem sogar zwei Protonen gleichzeitig abgestrahlt werden.



Übersicht [[Bearbeiten](#)]

| Zerfallsmodus | teilnehmende Teilchen | Tochterkern |
|--|--|-------------------------------|
| Zerfälle unter Aussendung von Nukleonen | | |
| Alphazerfall | Ein Alphateilchen ($A=4, Z=2$) wird ausgesandt. | $(A-4, Z-2)$ |
| Protonenemission | Ein Proton wird ausgesandt. | $(A-1, Z-1)$ |
| Neutronenemission | Ein Neutron wird ausgesandt. | $(A-1, Z)$ |
| Doppelte Protonenemission | Zwei Protonen werden gleichzeitig ausgesandt. | $(A-2, Z-2)$ |
| Spontane Spaltung | Der Kern zerfällt in zwei oder mehr kleinere Kerne und meist 2 oder 3 Neutronen. | – |
| Clusterzerfall | Der Kern sendet einen kleineren Kern (typ. 6% bis 20% der ursprünglichen Größe) mit A_c, Z_c aus. Bei $A_c=4, Z_c=2$ handelt es sich um einen Alphazerfall. | $(A-A_c, Z-Z_c) + (A_c, Z_c)$ |
| Verschiedene Betazerfälle | | |
| Beta-Minus-Zerfall | Ein Kern sendet ein Elektron und ein Antineutrino aus. | $(A, Z+1)$ |
| Beta-Plus-Zerfall | Positronenemission ; Ein Kern sendet ein Positron und ein Neutrino aus. | $(A, Z-1)$ |
| Elektroneneinfang | Ein Kern absorbiert ein Elektron aus der Atomhülle und emittiert ein Neutrino. Der Tochterkern verbleibt in einem angeregten, instabilen Zustand. | $(A, Z-1)$ |
| Doppelter Betazerfall | Ein Kern sendet zwei Elektronen und zwei Antineutrinos aus. | $(A, Z+2)$ |
| Doppelter Elektroneneinfang | Ein Kern absorbiert zwei Elektronen aus der Atomhülle und emittiert zwei Neutrinos. Der Tochterkern verbleibt in einem angeregten, instabilen Zustand. | $(A, Z-2)$ |
| Elektroneneinfang mit Positronenemission | Ein Kern absorbiert ein Elektron aus der Atomhülle und emittiert ein Positron und zwei Neutrinos. | $(A, Z-2)$ |
| Doppelte Positronenemission | Doppelte Positronenemission; Ein Kern sendet zwei Positronen und zwei Neutrinos aus. | $(A, Z-2)$ |
| Übergänge zwischen Zuständen desselben Kerns | | |
| Gammazerfall | Ein angeregter Kern emittiert ein hochenergetisches Photon (Gammaquant). | (A, Z) |
| Innere Konversion | Ein angeregter Kern überträgt Energie auf ein Hüllenelektron, welches das Atom verlässt. | (A, Z) |

Zerfallsreihen [[Bearbeiten](#)]

→ *Hauptartikel:* [Zerfallsreihe](#)

Im Allgemeinen sind die Zerfallsprodukte nicht stabil. In den meisten Fällen sind die Tochterkerne ihrerseits wieder radioaktiv und zerfallen gemäß ihrer eigenen Halbwertszeiten. Auf diese Weise

entsteht eine Abfolge von radioaktiven Zerfällen, bis schließlich ein stabiler Kern als Endprodukt übrig bleibt. Diese Aufeinanderfolge radioaktiver Zerfälle heißt *Zerfallsreihe* (oder *Zerfallskette*).

Eine Zerfallsreihe kann viele verschiedene Isotope durchlaufen, welche über verschiedene Zerfallsarten desintegrieren. Das Isotop [Uran-238](#) beispielsweise zerfällt unter Aussendung eines [Alpha-Teilchens](#) in [Thorium-234](#), dieses wandelt sich dann durch einen [Betazerfall](#) in [Protactinium-234](#) um, welches wieder instabil ist und so fort. Nach insgesamt 14 Zerfällen erreicht diese Zerfallsreihe ein Ende beim stabilen Kern [Blei-206](#). Da manche Kerne auf verschiedene Weisen zerfallen können, können von einem Mutterkern auch mehrere Zerfallsreihen ausgehen. So geht zum Beispiel [Bismut-212](#) zu etwa 64 % durch einen Betazerfall in [Polonium-212](#), und zu etwa 36 % durch einen Alphazerfall in [Thallium-208](#) über.

Die mittleren Lebensdauern der einzelnen Isotope einer Kette kann sehr stark variieren; von Sekundenbruchteilen bis hin zu mehreren Milliarden Jahren und darüber hinaus. So geschieht es auch, dass eine ursprünglich reine Probe eines radioaktiven Materials mit der Zeit in ein Gemisch verschiedener radioaktiver Isotope übergeht. Dabei werden sich langlebige Isotope stärker ansammeln, solche mit kurzer Lebensdauer dagegen in geringerem Ausmaß. Deswegen gibt man, insbesondere wenn die Halbwertszeit des Tochterkerns größer ist als die des Mutterkerns, auf der Probe oft auch das entstehende Tochterisotop mit an. Für physikalische Untersuchungen können diese natürlich entstehenden Verunreinigungen einer Probe eventuell störend sein. Daher verwendet man in entsprechenden Experimenten häufig radioaktive Isotope, deren Tochterkerne entweder stabil sind oder eine sehr kurze Lebensdauer besitzen und praktisch sofort selbst zerfallen.

Größen und Maßeinheiten [[Bearbeiten](#)]

Aktivität [[Bearbeiten](#)]

Als [Aktivität](#) bezeichnet man die Anzahl der Zerfallsereignisse pro Zeiteinheit, die in einer Probe eines radioaktiven oder radioaktiv kontaminierten Stoffes auftritt. Angegeben wird die Aktivität üblicherweise in der SI-Einheit [Becquerel](#) (Bq), ein Becquerel entspricht einem Zerfall pro Sekunde.

auf Wirkung ionisierender Strahlung bezogen [[Bearbeiten](#)]

Hauptartikel: [Ionisierende Strahlung#Größen und Maßeinheiten](#)

Zu den Größen und Maßeinheiten, die sich auf Wirkung ionisierender Strahlung (aus radioaktiven oder anderen Quellen) beziehen, gehören:

- [Energiedosis](#) mit der Maßeinheit [Gray](#)
- [Ionendosis](#) mit der Maßeinheit [Coulomb/Kilogramm](#) (C/kg)
- [Äquivalentdosis](#) mit der Maßeinheit [Sievert](#)

Messgeräte für Radioaktivität [[Bearbeiten](#)]

→ *Hauptartikel:* [Teilchendetektor](#) und [Strahlungsdetektor](#)

In der Kernphysik gibt es für den Nachweis und die Messung der verschiedensten Teilchenstrahlen eine Vielzahl von Detektoren, die jeweils für die Untersuchung bestimmter Strahlenarten geeignet sind. Ein bekanntes Beispiel ist der [Geigerzähler](#). [Ionisationskammern](#) und [Nebelkammern](#) sind zum Nachweis von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung verwendbar, [Szintillationszähler](#) (gekoppelt mit [Photomultipliern](#)) und [Halbleiterdetektoren](#) dienen der Detektion von Beta- und Gammastrahlen. Für den [Strahlenschutz](#) werden zur Messung der Strahlenbelastung verschiedene [Dosimeter](#)

verwendet.

Die allererste Messung, die eine quantitative Aussage über die Strahlung ergab, wurde von [Pierre Curie](#) und [Marie Curie](#) mit Hilfe eines [Elektroskops](#) durchgeführt. Allerdings maß dieses nicht direkt die Strahlung, sondern die Abnahme einer elektrischen Ladung aufgrund der durch die Ionisation hervorgerufenen Leitfähigkeit der Luft.

Anwendungen [[Bearbeiten](#)]



[Periodensystem der Elemente](#) gefärbt nach der Halbwertszeit ihres stabilsten Isotops.

Technische Anwendung [[Bearbeiten](#)]

[Radionuklidbatterien](#) werden in der Raumfahrt zur Stromversorgung und zur Heizung verwendet. Jenseits der Mars-Umlaufbahn reicht die Strahlung der weit entfernten Sonne nicht mehr aus, um mit Solarzellen in praktikabler Größe den Energiebedarf der Sonden zu decken. In der UdSSR wurden sehr leistungsstarke Radionuklidbatterien mit ⁹⁰Strontium-Füllung verwendet, um [Leuchttürme](#) und Funkfeuer am Polarkreis zu betreiben.

Wichtige Anwendungen, welche die Radioaktivität von Stoffen ausnutzen, sind die Altersbestimmung von Objekten und die Materialprüfung.

In der [Archäologie](#), [Kunstwissenschaft](#), [Geologie](#) und [Paläoklimatologie](#) werden Messungen der Konzentration radioaktiver [Isotope](#) zur Altersbestimmung verwendet, z. B. die [Radiokohlenstoffdatierung](#) (Radiokarbonmethode).

Eine technische Anwendung ist die Dickenmessung und Materialprüfung mittels Durchstrahlung. Hierbei wird ein Material mit Gamma-Strahlen bestrahlt und ein Zähler ermittelt aufgrund der durchdringenden Strahlen und des [Absorptionsgesetzes](#) die mittlere Dichte bei bekannter Schichtdicke oder umgekehrt die Schichtdicke bei bekannter Dichte. Die Strahlung kann auch auf einem Röntgenfilm hinter der Materialschicht ein Bild erzeugen. In dieser Form wird die [Durchstrahlungsprüfung](#) bei Werkstoffen angewandt.

Auch [radiometrische Füllstandmessungen](#) in Großbehältern mit Schüttgut oder Granulaten werden mit Gamma-Durchstrahlung von einer zur anderen Behälterwand ausgeführt.

Weitere Anwendungen sind die Elementanalyse (siehe [Gammaspektroskopie](#)) und Präzisionsmessungen in der chemischen Analytik (siehe [Mößbauer-Effekt](#)). Des Weiteren wurden vereinzelt [Blitzableiter](#) mit Spitzen aus radioaktivem Material installiert, obgleich deren Wirksamkeit nie bewiesen werden konnte.

Medizinische Anwendung [[Bearbeiten](#)]

Die Anwendung offener radioaktiver Stoffe am Menschen ist Gegenstand der [Nuklearmedizin](#).

In der nuklearmedizinischen Diagnostik wird meist die [Szintigrafie](#) angewendet. Dabei werden

geringe Mengen einer γ -strahlenden Substanz ([Tracer](#)) am Patienten angewendet („appliziert“), zum Beispiel in eine Vene gespritzt oder eingeatmet. Die vom Tracer ausgehende Strahlung wird außerhalb des Körpers von einer auf [Szintillationsdetektoren](#) beruhenden Gammakamera registriert und ergibt eine zweidimensionale bildliche Darstellung. Moderne Weiterentwicklungen der Methode erlauben mittels Computertomographie dreidimensionale Darstellungen ([Single Photon Emission Computed Tomography](#), SPECT); ein weiteres bildgebendes Verfahren in der Nuklearmedizin, das auch dreidimensionale Bilder liefert, ist die [Positronen-Emissions-Tomografie](#) (PET). Mit radioaktiven Stoffen können auch bestimmte Laboruntersuchungen durchgeführt werden, zum Beispiel der [Radioimmunassay](#).

In der nuklearmedizinischen Therapie werden reine oder überwiegende β -Strahler verwendet. Die häufigsten Anwendungsgebiete sind die [Radioiodtherapie](#) bei gutartigen und bösartigen Erkrankungen der [Schilddrüse](#), die [Radiosynoviorthese](#) bei bestimmten Gelenkerkrankungen und die Radionuklidbehandlung zur Schmerzlinderung bei [Knochenmetastasen](#).

Gefährlichkeit [[Bearbeiten](#)]

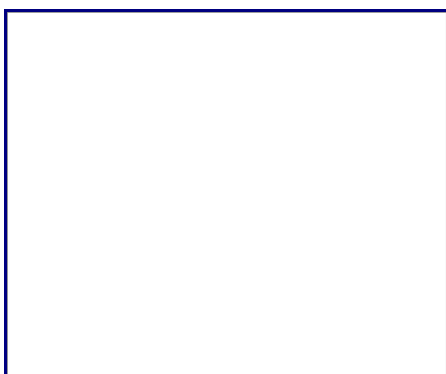
Hinsichtlich der Gefährlichkeit von Radioaktivität müssen verschiedene Risiken unterschieden werden:

- Strahlenbelastung als Fernwirkung (*siehe auch* [Dosiskonversionsfaktor](#))
- [Kontamination](#) (Verunreinigung) mit radioaktivem Material, die unter Umständen zu lange andauernder Bestrahlung führen kann, z. B. bei Kontamination der Haut
- [Inkorporation](#) (Aufnahme) radioaktiver Substanz in den Körper durch Einatmen (*Inhalation*) oder Essen/Trinken (*Ingestion*).


Diese Begriffe werden in Berichterstattung und Öffentlichkeit oft verwechselt. Entsprechend wird beispielsweise der Begriff „verstrahlt“ falsch anstatt *kontaminiert* benutzt; *Verstrahlung* bedeutet – analog der *Verbrennung* – eine durch Bestrahlung hervorgerufene erhebliche Schädigung oder Verletzung.

Für die zum Teil gefährliche [biologische Wirkung](#) ist nicht die Radioaktivität an sich, sondern die davon ausgehende ionisierende Strahlung verantwortlich.

Warnsymbole [[Bearbeiten](#)]



⁽¹⁾ Neues Warnzeichen direkt an gefährlichen radioaktiven Strahlern

Weil das bisher verwendete Warnzeichen (, *Trefoil* genannt, im Unicode an Code-Position U+2622) oft nicht als Warnung vor starken radioaktiven Strahlern erkannt wurde, kam es vor allem in Entwicklungsländern schon zu tödlichen Unfällen, weil Menschen ein stark strahlendes [Nuklid](#) aus seiner Abschirmung entnahmen (zum Beispiel der [Goiania-Unfall](#) in Brasilien im Jahr 1987). Am 15. Februar 2007 gab deshalb die [IAEO](#) bekannt, dass direkt an Nukliden der

Strahlungskategorie 1, 2 und 3 [\[1\]](#) ein neues, auffälligeres Warnschild angebracht werden soll. Dieses warnt mit Hilfe von aussagekräftigen Symbolen vor der tödlichen Gefahr durch radioaktive Strahlung und fordert zur Flucht auf. Am Behälter selbst soll weiterhin nur das alte Symbol angebracht werden, da er die Strahlung soweit abschirmt, dass sie keine unmittelbare Gefahr darstellt. Durch die Normung als [ISO Norm 21482](#) soll das neue Warnschild für gefährliche Strahlenquellen möglichst schnell und international verbindlich eingeführt werden. Bei schwachen Strahlenquellen soll keine Änderung der Kennzeichnung erfolgen.[\[2\]](#) Die Entwicklung von Symbolen zur Warnung der Nachwelt vor radioaktiven Gefahren ist Gegenstand der [Atomsemiotik](#).

Siehe auch [\[Bearbeiten\]](#)

- [Strahlenrisiko](#), [Strahlenkrankheit](#), [Strahlendosis](#)
- [Terrestrische Strahlung \(Radionuklide\)](#)
- [Radioaktiver Rückstoß](#)

Literatur [\[Bearbeiten\]](#)

- Werner Stolz: *Radioaktivität. Grundlagen, Messung, Anwendungen*. 5. Auflage. Teubner, Wiesbaden 2005, [ISBN 3-519-53022-8](#).
- [Bogdan Povh](#), K. Rith, C. Scholz, Zetsche: *Teilchen und Kerne. Eine Einführung in die physikalischen Konzepte*. 7. Auflage. Springer, Berlin/Heidelberg 2006, [ISBN 978-3540366850](#).
- Klaus Bethge, Gertrud Walter, Bernhard Wiedemann: *Kernphysik*. 2. Auflage. Springer, Berlin/Heidelberg 2001, [ISBN 3-540-41444-4](#).
- Hanno Krieger: *Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes*. 2. Auflage. Teubner, Wiesbaden 2007, [ISBN 978-3835101999](#)
- *IAEA Safety Glossary. Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection*. IAEA Publications, Wien 2007, [ISBN 92-0-100707-8](#).
- Michael G. Stabin: *Radiation Protection and Dosimetry. An Introduction to Health Physics*. Springer, 2007, [ISBN 978-0387499826](#).
- Glenn Knoll: *Radiation Detection and Measurement*. 3. Auflage. Wiley & Sons, New York 2007, [ISBN 978-0471073383](#).

Weblinks [\[Bearbeiten\]](#)

Wikibooks: Anorganische Chemie für Schüler/ Radioaktivität – Lern- und Lehrmaterialien

Wiktionary: Radioaktivität – Bedeutungserklärungen, Wortherkunft, Synonyme, Übersetzungen

- *Was ist Radioaktivität?* aus der Fernseh-Sendereihe *alpha-Centauri*
- [Audiofeature über die Radioaktivität auf Bayern2Radio – radioWissen](#)
- Das „[Glossar Strahlenschutz](#)“ des [Forschungszentrums Jülich](#) erläutert viele Begriffe rund um die Radioaktivität (Einheiten, Dosimeter, Dosisbegriffe, Alpha-, Beta-, Gammastrahlung, Strahlenschutz etc.)
- [Mineralienatlas Radioaktivität](#)
- [CIPR – Commission internationale de protection radiologique](#)
- [IRSN – Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire](#)
- [SFRP – Société française de radioprotection](#)
- [Remote Lab zur Radioaktivität](#) (siehe dort unter „Labs“)
- [Radiation Warning Symbol \(Trefoil\)](#)

- [Radioaktivitätsmessnetz des Bundesamts für Strahlenschutz](#)

Einzelnachweise [[Bearbeiten](#)]

1. [↑ New Symbol Launched to Warn Public About Radiation Dangers](#)
2. [↑ Flash Video der IAEO](#)

Von „<http://de.wikipedia.org/wiki/Radioaktivit%C3%A4t>“

Kategorien: [Radioaktivität](#) | [Kernphysik](#) | [Mineralogie](#) | [Strahlenschutz](#) | [1896](#)

Meine Werkzeuge

- [Anmelden / Benutzerkonto erstellen](#)

Namensräume

- [Artikel](#)
- [Diskussion](#)

Varianten

Ansichten

- [Lesen](#)
- [Quelltext anzeigen](#)
- [Versionsgeschichte](#)