



OKTOBER 2026

einblicke

ATOMSPHÄRE

Ein Magazin über Radioaktivität

Momentaufnahme



Anfang des 20. Jahrhunderts bemalten junge Frauen bei Unternehmen wie der US Radium Corporation Zifferblätter von Uhren mit radiumhaltiger Leuchtfarbe. Auf Anweisung ihrer Vorgesetzten spitzten sie die Pinsel mit den Lippen an, um präzise Linien ziehen zu können. Die Folgen zeigten sich bald: Ihre Körper verwechselten Radium mit Calcium und bauten dieses in ihre Skelette ein. Sie bekamen Tumore, ihre Zähne fielen aus, Knochen brachen unter geringster Belastung. Fünf mutige Frauen gingen vor Gericht, erkämpften sich 1928 Schadensersatz und schufen damit eine Grundlage heutiger Sicherheitsstandards beim Umgang mit radioaktiven Stoffen. Für viele „Radium Girls“ kam das zu spät: Mehr als hundert von ihnen starben an den Folgen ihrer Arbeit mit der radioaktiven Farbe.

04 **Kernfragen**

Was ist eigentlich Radioaktivität, wo kommt sie vor, was macht sie gefährlich und wie schützen wir uns vor ihr? Ein Crashkurs in Kernphysik.

10 **Ausgetrickst**

Bei der Risikoeinschätzung spielt uns unser Gehirn manchmal einen Streich. Plädoyer für einen kühlen Kopf!

12 **Alarm im Rosenbeet**

Seit Tschernobyl messen in Deutschland 1.700 Sonden rund um die Uhr Radioaktivität. Ein Interview mit Frank Weiler vom Bundesamt für Strahlenschutz.

14 **Helden, Monster & Mutanten**

Wie die Popkultur unser Bild von Radioaktivität beeinflusst.

Wir über uns

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) sucht den Standort für das Endlager für hochradioaktive Abfälle, der die bestmögliche **Sicherheit für eine Million Jahre** gewährleistet. Außerdem baut die BGE das Endlager **Konrad** und betreibt das Endlager **Morsleben** sowie die Schachanlage **Asse II** und das Bergwerk **Gorleben**. Weitere Informationen: www.bge.de

Auf der Homepage des Magazins bieten wir vertiefende Informationen und Berichte sowie barrierefreie PDFs. www.bge.de/einblicke/

Haben Sie Fragen? Dann schreiben Sie uns: dialog@einblicke.de

Editorial



Liebe Leserinnen und Leser,

denken Sie bei dem Begriff „radioaktive Abfälle“ an eine grellgrüne Flüssigkeit, die aus einem gelben Fass quillt? Kein Wunder, denn genau so hat die Popkultur unsere Vorstellung von Radioaktivität geprägt. Dabei ist sie in Wirklichkeit für die menschlichen Sinne nicht wahrnehmbar. Und das macht sie für uns häufig unheimlich. Dabei kann man Radioaktivität oft sehr einfach messen, im Gegensatz zu anderen Giften, denen wir Menschen ausgesetzt sind.

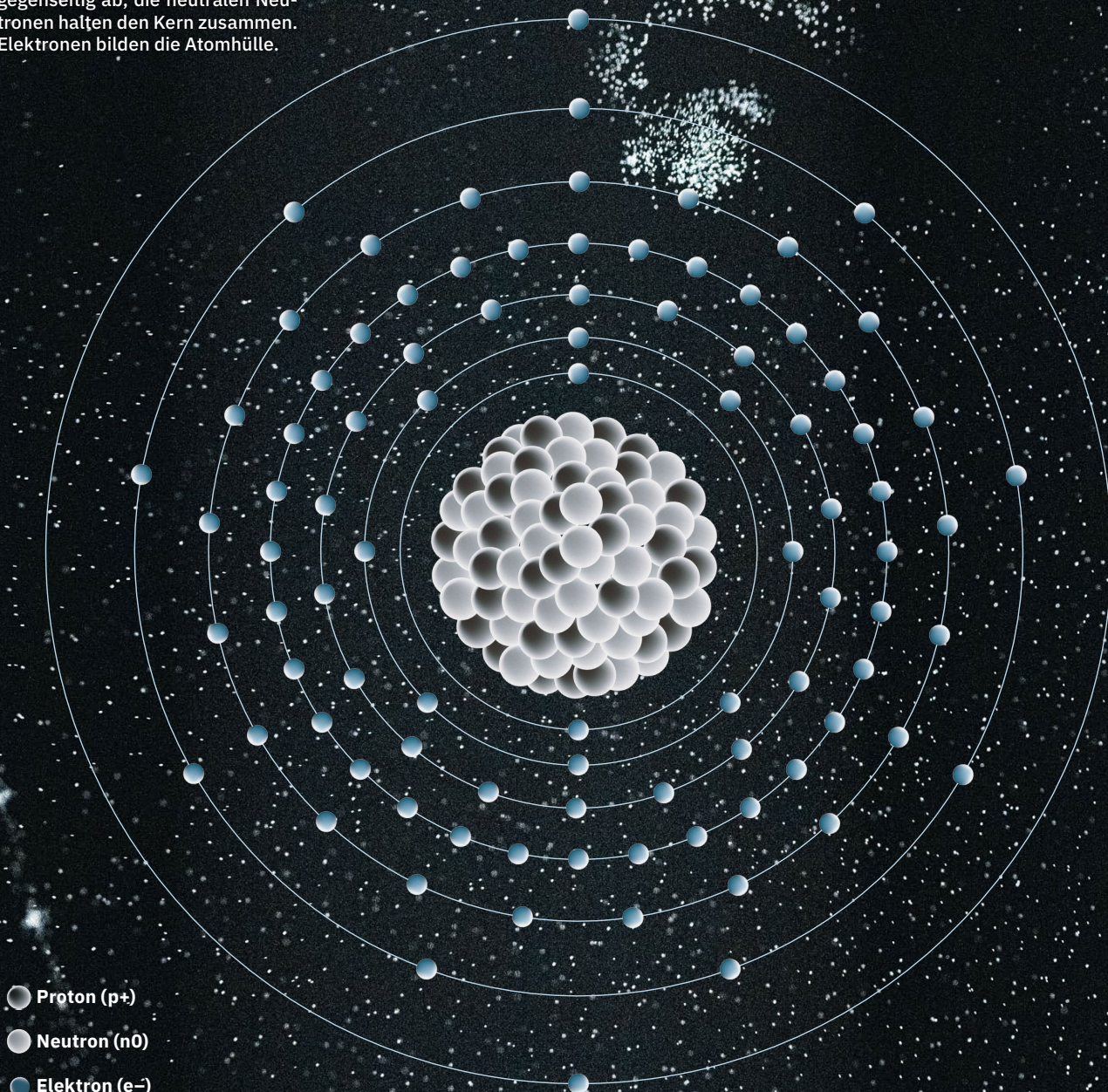
Viele Menschen haben Angst vor gelben Fässern, egal was drin ist. Allein die Farbe Gelb mit Flügelrad darauf ist zum Inbegriff von Angst und Schrecken geworden, obwohl die Gefahren, die von radioaktiven Abfällen ausgehen, ungleich niedriger sind als zum Beispiel bei laufenden Kernkraftwerken. Ein Grund dafür ist auch das Defizit in der Wissensvermittlung. Dabei verstehen wir heute die Entstehung und Auswirkung von Radioaktivität, messen sie zuverlässig und können diese in der Regel auch gut kontrollieren. Denn auch für Radioaktivität gilt: Die Dosis macht das Gift!

Um Ihnen das Thema Radioaktivität ein wenig näher zu bringen, befasst sich diese Ausgabe der Einblicke damit. Wir nehmen Sie mit auf eine Reise, die den Bogen spannt von den Grundlagen der Kernphysik bis hin zu den tiefen Mustern unserer eigenen Risikowahrnehmung. Denn Wissen nimmt dem Unsichtbaren den Schrecken.

Ich wünsche Ihnen eine spannende und erkenntnisreiche Lektüre!

Iris Graffunder
Vorsitzende der Geschäftsführung

In einem Atomkern drängen sich Protonen und Neutronen. Die positiv geladenen Protonen stoßen sich gegenseitig ab, die neutralen Neutronen halten den Kern zusammen. Elektronen bilden die Atomhülle.



KERNFRAGEN

Radioaktivität ist ein Urphänomen der Natur, ein präzises Werkzeug der Medizin und eine gigantische Energiequelle, die uns vor große Aufgaben stellt. Wir erklären Radioaktivität von A wie Atom bis Z wie Zerfall und zeigen, warum sie kein unberechenbares Schicksal ist, sondern eine Realität, der wir mit Wissen und Respekt begegnen können.

TEXT: CHARLOTTE FISCHER

Radioaktivität ist ein Phänomen, das oft missverstanden wird. Wir können sie nicht sehen, nicht riechen und nicht schmecken, das macht es für viele Menschen abstrakt. Meistens verbinden wir sie mit gelben Warnschildern, Kernkraftwerken oder Superhelden-Comics. Doch eigentlich ist Radioaktivität etwas ganz Natürliches.

Um das nachvollziehen zu können, bräuchten wir eine Lupe, die so stark ist, dass sie das Unsichtbare sichtbar macht. Dann würden wir sehen: Die ganze Welt – die Kaffeetasche, die Luft und sogar unsere Haut, – alles besteht aus Atomen. Sie sind winzige Bausteine des Universums.

Crashkurs Kernphysik:

Was ist ein Atom und wann ist es radioaktiv?

Im Zentrum jedes Atoms sitzt der Atomkern. Dieser besteht aus zwei Arten von Kernteilchen: den Protonen und den Neutronen. Die Protonen sind die Bestimmer: Ihre Anzahl legt fest, welches chemische Element wir vor uns haben. Helium beispielsweise besteht aus zwei Protonen, Kohlenstoff aus sechs. Alle Protonen sind positiv geladen. Und wie bei Magneten gilt: Gleich und gleich gesellt sich gar nicht gern. Sie stoßen sich stark ab.

Hier kommen die Neutronen ins Spiel. Sie sind elektrisch neutral und fungieren als Friedensstifter. Sie halten die Protonen auf Distanz und liefern gleichzeitig den nötigen Kleber, um den Kern zusammenzuhalten. Um den Kern herum kreisen die negativ geladenen Elektronen. Sie bilden die Atomhülle.

Was Atomkerne aus der Bahn wirft

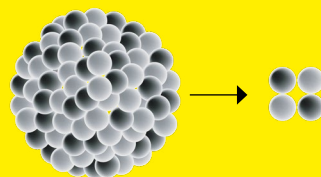
Damit ein Kern stabil bleibt, muss das Verhältnis von Protonen zu Neutronen austariert sein. Kippt diese sensible Waage, bekommt das Atom Stress. Der Kern wird instabil. Da die Natur jedoch immer den stabilsten Zustand anstrebt, beginnt der Kern im wahrsten Sinne des Wortes aufzuräumen.

Das ist es, was wir als radioaktiven Zerfall bezeichnen. Radioaktivität ist also nichts anderes als die eingebaute Eigenschaft eines instabilen Atomkerns, sich selbst wieder zu beruhigen. In der Fachsprache heißt so ein instabiler Kern Radionuklid – ein strahlender Kern.

Lastabwurf mit Regeln

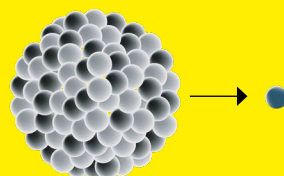
Der Zerfall eines Radionuklids folgt festen Regeln: Es kann Ballast abwerfen, Bausteine verwandeln oder Energie in Form von elektromagnetischen Wellen aussenden (siehe Grafik rechts). Am Ende steht jedoch immer das gleiche Ziel: die perfekte Balance.

Für uns Menschen mag das unheimlich klingen, doch dieser Prozess ist völlig natürlich. Radioaktivität ist mitnichten eine Erfindung des Menschen. Wir leben in einer Welt, die von Natur aus „strahlt“, um ihr Innerstes zusammenzuhalten.

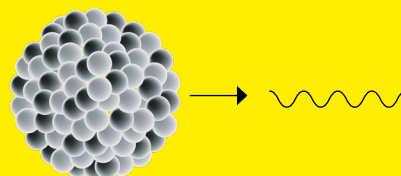


- ① Wenn der Kern zu schwer wird oder das Mischverhältnis aus Protonen und Neutronen nicht stimmt, wird der Kern instabil. Dann kommt es zu einem radioaktiven Zerfall.

Wird ein Kern zu schwer, muss er Ballast abwerfen. Dann schnürt er ein Paket aus zwei Protonen und zwei Neutronen – einen Heliumkern – und feuert es weg. Wissenschaftler*innen nennen das Alpha-Zerfall.



- ② Stimmt zwar die Größe, aber nicht das interne Mischverhältnis, greift der Kern zur Beta-Zerfall-Strategie, einer Art internen Metamorphose. Dabei verwandelt sich ein Baustein in einen anderen: Entweder wird ein Neutron zu einem Proton, wobei ein negatives Elektron als Ladungsausgleich aus dem Kern geschossen wird. Oder ein Proton wandelt sich in ein Neutron und feuert ein Positron ab. In beiden Fällen verliert das Atom seine chemische Identität und wird zum nächstgelegenen Element im Periodensystem. Das neue Mischverhältnis zwischen Protonen und Neutronen im Kern ist jedoch deutlich entspannter.



- ③ Es kommt vor, dass der Kern nach dem Abwerfen oder dem Umbauen von Teilchen energetisch angeregt ist. In diesem Zustand sendet er eine energiereiche elektromagnetische Welle aus, um Energie loszuwerden, ohne weitere Bausteine zu verlieren. Das ist die sogenannte Gammastrahlung.

Manchmal muss ein Kern mehrere radioaktive Zerfälle durchmachen, bis er seine innere Balance findet. Man spricht dann von Zerfallsreihen. Doch wenn schließlich Gewicht, Mischverhältnis und Energielevel stimmen, kehrt endlich Ruhe ein und der Kern ist stabil.

Vom natürlichen Urphänomen zur technischen Kraft

Da Radioaktivität natürlicherweise in der Umwelt vorkommt, bekommt jeder Mensch davon etwas ab – aus dem Boden, aus dem Weltraum und sogar aus unserem Essen. Pro Jahr summieren sich in Deutschland im Durchschnitt 2,1 Millisievert (mSv) aus natürlicher Radioaktivität auf unser Strahlenkonto. Diese Dosis kann jedoch variieren, je nachdem, wo man wohnt und wie oft man verreist.

Hinzu kommt noch ein Beitrag von 1,5 mSv pro Jahr – gemittelt über alle Menschen in Deutschland – aus medizinischen und technischen Anwendungen, beispielsweise durch medizinische Diagnostik.

Während die natürliche Radioaktivität meist weit verteilt und schwach auftritt, macht der Mensch Radioaktivität künstlich auf verschiedenste Arten und Weisen zur technischen Kraft.



Was aussieht wie die Milchstraße, ist in Wahrheit die Sichtbarmachung radioaktiver Strahlung in einer sogenannten Nebelkammer. Sie wurde 1911 von Charles Wilson erfunden und ermöglichte es Physiker*innen, die Bausteine der Materie und der kosmischen Strahlung zu fotografieren. Im Inneren der Kammer befindet sich ein Gas-Dampf-Gemisch, das stark abgekühlt wird. Fliegt nun ein unsichtbares geladenes Teilchen, zum Beispiel aus radioaktivem Zerfall, durch die Kammer, reißt es Elektronen aus den Gasmolekülen und es entsteht eine Spur aus elektrisch geladenen Atomen. Diese wirken wie winzige Magnete für die Dampfmoleküle. Der Alkohol lagert sich augenblicklich an ihnen an und kondensiert zu kleinen Tröpfchen. Entlang des Flugwegs bildet sich eine feine Nebelspur und die Flugbahn der radioaktiven Alpha- und Betaeilchen sowie kosmischer Strahlung, die uns ständig lautlos umgibt, wird als weiße Pünktchen und Striche sichtbar.

Das wohl bekannteste Anwendungsgebiet ist die Energieerzeugung in Kernkraftwerken. Hierbei werden schwere Atomkerne wie Uran in einem Kernreaktor mit Neutronen beschossen. Wenn ein Neutron den Kern trifft, wird es unter bestimmten Voraussetzungen vom Kern eingefangen. Der Kern hat nun ein Neutron zu viel. Er ist zu schwer und damit instabil. Er zerfällt und sendet Strahlung aus, genau wie seine natürlichen Verwandten. Durch die Zerfälle entsteht Wärme, die wie in anderen Energiekraftwerken über mehrere Schritte zu elektrischer Energie umgewandelt wird.

Die Einsatzmöglichkeiten von Radioaktivität bzw. ionisierender Strahlung sind vielfältig: Die Medizin nutzt im Rahmen der Diagnostik und Strahlentherapie ionisierende Strahlung, um beispielsweise Tumore zu behandeln oder um Stoffwechselprozesse im Körper sichtbar zu machen. In der Industrie kann sie eingesetzt werden, um beispielsweise Schweißnähte zu prüfen oder Geräte zu sterilisieren.

Wenn Energie auf Leben trifft

Doch wenn Radioaktivität in der Natur vorkommt und der Mensch sie künstlich produziert, warum haben wir dann eigentlich so großen Respekt vor ihr?

Das liegt an ihrer ionisierenden Wirkung: Wenn energiereiche Strahlung auf Materie trifft, verhält sie sich wie ein Geschoss. Kollidiert dieses Geschoss mit einem Atom, kann es ein Elektron aus dessen Hülle schlagen. Das Atom ist dann nicht mehr elektrisch neutral, sondern geladen – es ist „ionisiert“. In einem Stein ist das egal. In einem lebenden Organismus kann es ein Problem werden. Denn unsere Zellen sind hochkomplexe Fabriken, die nach den präzisen Bauplänen unserer DNA funktionieren. Die ionisierende Strahlung kann biologische Prozesse stören, indem sie beispielsweise DNA-Stränge zerschlägt oder Zellstrukturen angreift.

Für diese Fälle hat unser Körper einen Reparatur-Trupp, der den Fehler sofort flickt. Doch wenn zu viele Fehler gleichzeitig passieren und der Trupp nicht hinterherkommt, kann die Zelle absterben

oder mutieren. Fachleute unterscheiden grundsätzlich zwischen deterministischer Strahlenwirkung, wo ab einer bestimmten Schwellendosis spür- und messbare Folgeschäden auftreten, und stochastischer Strahlenwirkung, wo der Zufall entscheidet, ob ein Teilchen die DNA trifft, wie die Zelle reagiert und ob eine Erkrankung wie beispielsweise Krebs entsteht.

Deterministische Schäden, wie Veränderungen im Blutbild, treten ab einer Schwellendosis von 250 mSv auf. Dabei hängt die Schwere des Schadens von der Dosis ab. Erste spürbare Symptome sind Hautrötungen, Übelkeit und Erbrechen und treten bei etwa 1.000 mSv auf. Dosen über 5.000 mSv führen bei fehlenden Therapiemaßnahmen bei etwa der Hälfte der Betroffenen zum Tod. Voraussetzung für solche deterministischen Schäden ist jedoch, dass die entsprechende Dosis innerhalb kürzester Zeit erhalten wurde und der DNA-Reparatur-Trupp nicht mehr hinterherkommt.



Charlotte Fischer, wissenschaftliche Mitarbeiterin für Physikdidaktik und Strahlenschutz an der Leibniz Universität Hannover, weiß, wie man physikalisches Wissen spannend transportiert. Auch beim Thema Radioaktivität trifft sie garantiert immer den Kern der Sache.

Hätten Sie's gewusst?

Durch ein Endlager für radioaktive Abfälle darf zu der natürlichen Strahlendosis nur maximal 0,1 Millisievert pro Jahr hinzukommen. So schreibt es der Gesetzgeber als jährliche Höchstdosis vor. Doch für die persönliche Risikowahrnehmung macht es einen gewaltigen Unterschied, ob wir uns einer potenziellen Gefahr freiwillig aussetzen oder nicht. Und auch, wie wir sie aufgrund unserer Erfahrungswerte und unseres Wissensstands einschätzen. Viele von uns verbinden Radioaktivität und Kernenergie lediglich mit den Ereignissen in Tschernobyl

und Fukushima. Neben einem Endlager zu wohnen, kann in der persönlichen Wahrnehmung folglich bedrohlich sein. Doch weniger präsent ist, dass wir jeden Tag mit Radioaktivität konfrontiert sind und uns, ob wissentlich oder nicht, ihr auch freiwillig vermehrt aussetzen. Rauchen, Flüge, medizinische Untersuchungen, eine bestimmte Ernährungsweise oder die Wahl des Wohnorts verursachen eine durchschnittlich höhere Jahresdosis als neben einer kerntechnischen Anlage oder einem Endlager zu wohnen.

Wann wird es gefährlich?

Reichweite und Durchdringung

Alpha (α)

PunktueLLer Zerstörer von innen

Die schweren Heliumkerne geben schnell all ihre Energie ab und kommen in der Luft nur wenige Zentimeter weit. Den menschlichen Körper können sie von außen nicht durchdringen, da sie durch die Haut abgeschirmt werden.

Beta (β)

Tiefenwirksamer Zellschädiger

Die Elektronen oder Positronen haben eine mittlere Reichweite in Luft und können von außen wenige Millimeter tief in die Haut eindringen.

Gamma (γ)

Die Ganzkörpergefahr

Die masselosen, energiereichen elektromagnetischen Wellen können weite Strecken durch die Luft zurücklegen und den menschlichen Körper vollständig durchdringen.

Biologische Wirkung

α -Strahlung stellt von außen keine große Gefahr dar, dafür aber bei Aufnahme in den menschlichen Körper, zum Beispiel durch Verschlucken oder Einatmen. Sie gibt hier ihre Energie sehr konzentriert auf kleine Gewebeflächen ab und zerstört Zellen.

Bei hoher Dosis kann β -Strahlung von außen oberflächennahes Gewebe schädigen. Aufgenommen in den Körper, verteilen β -Strahler ihre Energie über etwas größere Strecken als α -Strahler.

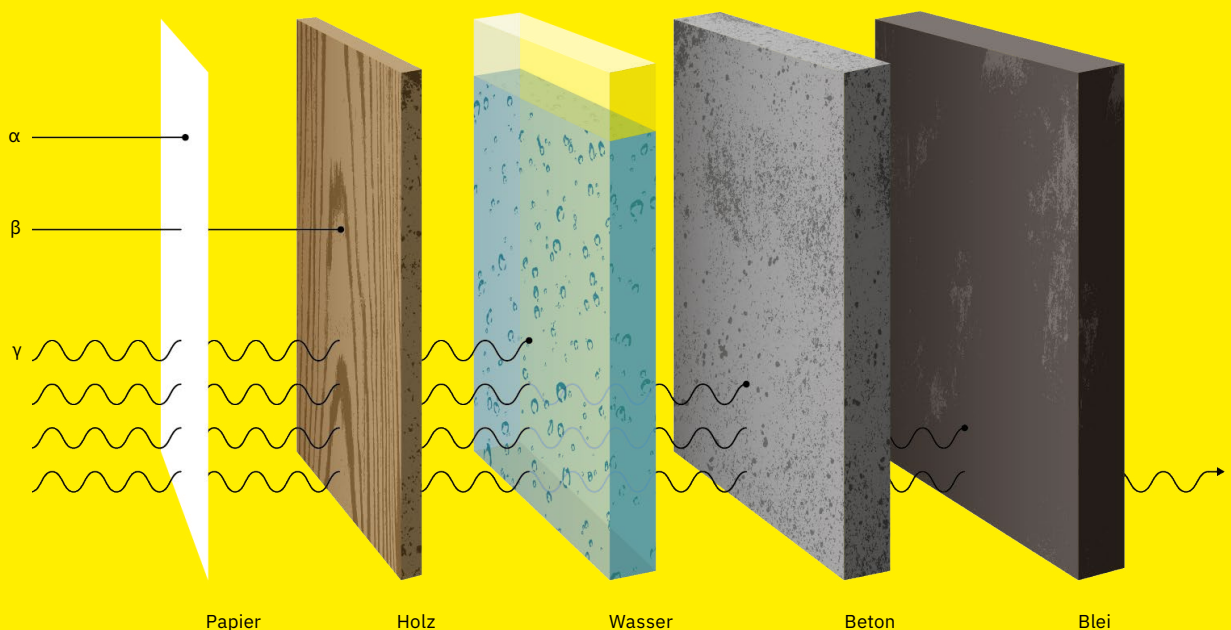
γ -Strahlung hat von außen als Direktstrahlung das höchste Gefährdungspotenzial, da sie das Gewebe durchdringen und alle Organe erreichen kann. Da sie ihre Energie oft über eine große Strecke verteilt abgibt, ist der Schaden pro Gewebefläche aber in der Regel kleiner als bei Alphastrahlung. Aufgenommen im Körper, ist die Schädigung meist geringer, da die γ -Strahlung das Gewebe ohne viel Interaktion wieder verlässt.

Abschirmung

α -Strahlung kann bereits durch ein Blatt Papier, einfache Kleidung oder die oberste Hautschicht vollständig abgeschirmt werden.

Abgeschirmt wird β -Strahlung durch leichte Materialien wie zum Beispiel ein Aluminiumblech.

γ -Strahler erfordern zum Schutz Materialien aus Beton, Stahl oder Blei. Je höher die Dichte eines Materials ist, desto besser schirmt es ab.



Vier Faktoren bestimmen die Gefahr

Um zu bewerten, wie gefährlich uns ein radioaktiver Stoff werden kann, müssen wir das Zusammenspiel mehrerer Faktoren betrachten: die Art der Strahlung, die Aktivität, die Dosis und die Halbwertszeit.

1 Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung – die Munition der Kerne

Nicht jede Strahlung wirkt gleich. Während die schweren Teilchen der Alphastrahlung von außen durch die Haut gestoppt werden, sind sie nach der Aufnahme in den Körper durch Nahrung oder Atmung wegen ihrer lokalen Zellerstörung gefährlich. Alphastrahlung gibt all ihre Energie auf kleinster Strecke ab und schädigt das Gewebe maximal.

Betastrahlung dringt etwas tiefer ins Gewebe ein und kann Hautschäden sowie langfristige DNA-Schäden verursachen, lässt sich aber durch dünne Schichten (z. B. Aluminium) abschirmen.

Gammastrahlung (elektromagnetische Wellen) ist hingegen die durchdringendste Strahlung, da sie den gesamten Körper durchqueren und auf ihrem Weg mehrere Organe erreichen kann. Die Schädigung ist zwar großflächig, aber die Energie der Strahlung wird meist nicht komplett im Körper abgegeben, sondern tritt auf der Rückseite wieder aus. Um sich vor Gammastrahlung zu schützen, braucht man Abschirmungen aus Wasser, Beton, Stahl oder Blei. Je dichter oder schwerer ein Material ist, umso besser schirmt es gegen Gammastrahlung ab.

2 Aktivität – das Trommelfeuer der Kerne

Neben der Munition ist für die Gefährlichkeit der Kerne auch entscheidend, wie schnell sie damit schießen. In der Physik nennt man das „Aktivität“. Sie gibt an, wie viele Atomkerne in einem radioaktiven Stoff pro Sekunde zerfallen. Gemessen wird das in der Einheit Becquerel (Bq). 1 Bq ist ein Kernzerfall pro Sekunde. Die Aktivität allein ist jedoch kein Maß für die Gefährlichkeit. Denn wenn man mit 1.000 Tischtennisbällen pro Sekunde beschossen wird, ist die Verletzungsgefahr geringer, als wenn jemand einmal pro Sekunde mit einer Bowlingkugel auf einen zielt.

3 Dosis – die Trefferzahl der Kerne

Die für den Menschen entscheidende Messgröße ist die Dosis, genauer die Äquivalentdosis. Sie schlägt die Brücke zwischen der physikalischen Strahlung und der biologischen Wirkung im Körper. Berücksichtigt werden hierbei die Strahlungsart sowie die betroffenen Organe. Gemessen wird sie in der Einheit Sievert (Sv). Um das Gefährdungspotenzial im jeweiligen Anwendungsbereich noch besser einschätzen zu können, wird häufig noch die Zeitkomponente miteinbezogen. In diesem Fall spricht man von der Dosisleistung, in der Regel mit der Einheit Milli- oder Mikrosievert pro Stunde oder pro Jahr.

4 Die Halbwertszeit – wie viel Schuss sind im Magazin?

Die Halbwertszeit schließlich ist die Zeitspanne, nach der die Hälfte aller ursprünglich vorhandenen instabilen Kerne zerfallen ist. Nach einer Halbwertszeit ist noch die Hälfte der Aktivität da. Nach zwei Halbwertszeiten ein Viertel, nach zehn nur noch ein Tausendstel.

Dabei gilt: Ein Radionuklid, das viel und heftig schießt, ist auch schneller zerfallen. Isotope mit einer kurzen Halbwertszeit feuern ihre gesamte Energie innerhalb von Minuten oder Stunden ab. Das Gegenteil erleben wir bei Stoffen mit langen Halbwertszeiten von Tausenden oder Millionen von Jahren. Sie geben pro Sekunde nur wenig Strahlung ab, hören aber einfach für sehr lange Zeit nicht mehr damit auf. Das ist die Herausforderung bei der Endlagerung von Atommüll.

Abstand, Abschirmung, Aufenthaltsdauer:

Die 3 A schützen vor einer gefährlichen Strahlendosis

Damit eine nennenswerte Dosis entstehen kann, müssen insgesamt drei Faktoren ungünstig zusammenwirken: die Nähe zur Quelle, die Dauer, der man ihr ausgesetzt ist, und eine mangelhafte Abschirmung. Schützen kann man sich mit der sogenannten 3-A-Regel: Abstand, Abschirmung und Aufenthaltsdauer.

Am effektivsten ist der Abstand. Strahlung breitet sich wie das Licht einer Glühbirne nach allen Seiten aus; je weiter man sich entfernt, desto mehr verteilt sich die Energie auf eine riesige Fläche. Nach dem Abstandsquadratgesetz gilt: Verdoppelt man die Entfernung zur Quelle, landet nur noch ein Viertel der Dosis im Körper. Bei zehnfachem Abstand ist es sogar nur noch ein Hundertstel. Distanz ist somit der einfachste Weg, die unsichtbaren Geschosse ins Leere laufen zu lassen.

Der zweite Faktor ist die Aufenthaltsdauer. Je länger wir im Bereich einer Quelle verweilen, desto mehr Energieeinheiten sammeln unsere Zellen an. Man kann sich das wie einen Sonnenbrand vorstellen, der erst durch langes Liegen in der prallen Mittagssonne entsteht, während ein kurzes Durchqueren des Sonnenlichts meist folgenlos bleibt.

Wenn Abstand und Aufenthaltsdauer nicht ausreichen, hilft die Abschirmung. Hier schieben wir eine zur Strahlungsart passende Barriere zwischen uns und die Quelle.

Die Anwendung aller drei Schutzmaßnahmen in Kombination sorgt dafür, dass der Umgang mit Radioaktivität ein kalkulierbares Risiko bleibt.

Am Ende bleibt die Erkenntnis, dass Radioaktivität eine physikalische Realität ist, die wir mit Präzision und Respekt behandeln müssen. Wir können die Radioaktivität nicht wegzaubern, aber wir können durch Wissen und Technik dafür sorgen, dass die radioaktiven Stoffe sicher gehandhabt werden können.



1 Marathonlauf: 7 Micromorts (1 Micromort entspricht der Wahrscheinlichkeit von 1:1.000.000, dass diese Tätigkeit zum Tod führt)



1.000 Kilometer Autofahren: 1,9 Micromorts

Ausgetrickst

Wenn es um Risikoeinschätzung geht, spielt uns unser Gehirn oft einen Streich – und kaum ein Thema zeigt das so deutlich wie der Umgang mit Radioaktivität. Ein Plädoyer für einen kühlen Kopf.

TEXT: PHILIPP HAUNER

Viele Menschen steigen bedenkenlos ins eigene Auto, beim Betreten eines Flugzeugs beschleicht sie jedoch ein ungutes Gefühl. Die Unfallzahlen unterstützen diese Wahrnehmung nicht. Denn das Risiko eines tödlichen Auto-Unfalls in Deutschland ist um ein Vielfaches höher als das eines Flugzeugabsturzes. Das Statistische Bundesamt beziffert es pro gereistem Kilometer fast auf ein Tausendfaches. Ein bekanntes Beispiel, das dennoch unserem Empfinden entgegenläuft. Aber warum eigentlich?

Die Antwort liegt in unserem Kopf. Unser Gehirn arbeitet nach zwei grundlegend verschiedenen Strategien. Der Nobelpreisträger Daniel Kahneman hat sie in seinem Werk „Schnelles Denken, langsames Denken“ beschrieben. System 1 ist schnell, intuitiv, emotional – ein neurobiologischer Reflex, der in Bruchteilen von Sekunden urteilt, ohne dass wir es merken oder steuern können. System 2 ist langsam, rational, analytisch. Es kann komplexe Zusammenhänge durchdringen, kostet aber weit mehr Energie. Und weil unser Gehirn Energiesparer ist, überlassen wir dem schnellen Reflex oft das Feld.

Sprich: Bei Risikofragen liefert System 1 blitzschnell eine Antwort, bevor System 2 überhaupt aufgewacht ist. Das fühlt sich dann intuitiv richtig an, ist aber oft falsch.

Ein Rechenexempel verdeutlicht diese Falle: Ein Schläger und ein Ball kosten zusammengerechnet 1,10 Euro. Der Schläger kostet einen Euro mehr als der Ball. Wie viel kostet der Ball? Die meisten würden ohne zu zögern antworten: zehn Cent. Doch die Intuition irrt. Die richtige Antwort lautet fünf Cent. System 1 hat blitzschnell eine plausible Zahl geliefert und System 2 kam nicht dazu, sie zu hinterfragen. Was uns bei einer harmlosen Denkaufgabe nur amüsiert, kann bei relevanten Entscheidungen gravierende Folgen haben.

Risiken falsch eingeschätzt

Die kognitive Abkürzung verzerrt unsere Wahrnehmung und ist eine unzuverlässige Entscheidungshilfe. Kommt jemand durch einen Blitzschlag zu Tode, macht das Schlagzeilen. Radioaktives Radon hingegen, das sich in ganz normalen Kellern ansammeln kann und das Lungenkrebsrisiko erheblich

erhöht, ist im öffentlichen Bewusstsein kaum als Gefahr verankert. So schwer beide Beispiele auch vergleichbar sind, sie zeigen, wie uns unser Denken in die Irre führt: Wir neigen dazu, manche Risiken kleiner zu denken, als sie sind – wie etwa beim Radon, gerade auch im Vergleich mit anderen Risiken.

Der US-amerikanische Forscher Ronald A. Howard hat dafür Ende der 1970er-Jahre eine sehr anschauliche Maßeinheit entwickelt: das Micromort, also den „kleinen Tod“. Ein Micromort entspricht dabei einer Wahrscheinlichkeit von eins zu einer Million, dass eine bestimmte, genau definierte Aktivität zum Tod führt. Das Spannende: Er schuf damit eine Vergleichbarkeit zwischen Handlungen, die sonst sehr schwer in Relation zu setzen sind. So schlägt etwa einmal Fallschirmspringen mit 10 Micromorts zu Buche, ebenso wie 14 Zigaretten. Intuitiv würden viele dieses Verhältnis wohl ganz anders einschätzen.

Aber warum gehen wir der Intuition bzw. dem System 1 so gern auf den Leim, wenn wir es eigentlich besser wissen können? Bei unserer Risikowahrnehmung spielt Kontrollierbarkeit eine entscheidende Rolle: Im Auto sitzt man selbst am Lenkrad, im Flugzeug überlassen wir die Steuerung anderen. Und das subjektive Gefühl, die Kontrolle abzugeben, wiegt schwerer als jede Statistik.

Intuition und Radioaktivität

Ebenso entscheidend ist die räumliche Ausbreitung einer Gefahr: Was grenzüberschreitend ist, löst instinktiv eine viel tiefere Angst aus als das räumlich Einhegbare. Und dann ist da noch die Freiwilligkeit: Risiken, die wir selbst wählen wie Rauchen oder Skifahren, schätzen wir als geringer ein als solche, die uns aufgezwungen werden. Wie zum Beispiel Schadstoffe im Trinkwasser oder das Endlager in der Nähe des eigenen Wohnorts.



1,4 Zigaretten: 1 Micromort

Das alles macht Radioaktivität in der Wahrnehmung der meisten Menschen zu einer maximalen Bedrohung: Sie ist unsichtbar und untrennbar verknüpft mit Bildern von Hiroshima, Tschernobyl und Fukushima, auch wenn es „nur“ um Endlagerung geht. Die Intuition reagiert mit Ablehnung, bevor der Verstand auch nur ein einziges Argument gehört hat. System 2 würde vermutlich feststellen, dass wir Radioaktivität heute präzise messen, sehr gut verstehen und technisch überwachen können.

In Deutschland gelten mehrere gesetzlich festgelegte Strahlengrundsätze: Rechtfertigung, Optimierung und Dosisbegrenzung. Rechtfertigung bedeutet, dass eine Anwendung von Strahlung nur dann zulässig ist, wenn ihr Nutzen größer ist als der mögliche Schaden. Optimierung heißt, dass jede Strahlenexposition so weit verringert werden soll, wie es vernünftigerweise möglich ist. Dieses Prinzip wird auch als ALARA bezeichnet (aus dem Englischen „As Low As Reasonably Achievable“, heißt: „so niedrig wie vernünftigerweise möglich“). Dosisbegrenzung bedeutet schließlich, dass für Menschen festgelegte Grenzwerte gelten, die nicht überschritten werden dürfen.

Dieser Dreiklang aus den gesetzlich festgelegten Grundsätzen entspricht dem System 2 in Reinform: Er ist ein rationales Prinzip, das messbare, überprüfbare Ergebnisse liefert. Und er kann helfen, auch unsere instinktive Angst vor Radioaktivität einzuordnen und dem Phänomen auf der bestmöglichen Ebene zu begegnen: einer wissenschaftlichen.

Hätten Sie's gewusst?

Eine Raucherlunge bekommt im Jahr eine nicht unerhebliche Dosis an ionisierender Strahlung ab. Die im Tabak enthaltenen radioaktiven Isotope von Blei und Polonium werden durch das Inhalieren des Rauchs direkt in die Lunge aufgenommen und verursachen dort einen direkten Gewebeschaden. Die Schwere ist abhängig von der Rauchfrequenz sowie der Art und Herkunft der Tabakpflanze.



1 Gipfelbesteigung des Mount Everest: 35.000 Micromorts



Alarm im Rosenbeet

Seit Tschernobyl gibt es in Deutschland ein bundesweites Messnetz mit rund 1.700 Sonden, das rund um die Uhr Radioaktivität misst. Frank Weiler vom Bundesamt für Strahlenschutz erklärt, warum die Sensoren so sensibel sind, dass selbst gedüngte Rosenbeete Alarm auslösen können.

INTERVIEW: HILDA ARNOLD

Herr Weiler, Sie leiten den Messnetzknotten Berlin und betreuen 280 Messstellen in Berlin und Ostdeutschland. Was genau messen Sie dort?

Radioaktivität kommt ganz natürlich in der Umwelt vor. Radioaktive Stoffe wie Uran oder Kalium-40 befinden sich schon immer im Boden und im Kosmos. Sie erzeugen Gammastrahlung: energiereiche elektromagnetische Strahlung, die Gewebe schädigen kann. Pflanzen, Tiere und Menschen nehmen sie mit der Luft und Nahrung auf. Unser Messnetz erfasst die sogenannte Ortsdosisleistung (ODL) dieser Umwelt-

strahlung – also wie viel Gammastrahlenenergie pro Zeiteinheit an einem Ort auftritt – in Mikrosievert pro Stunde. In Deutschland liegen diese Werte je nach geologischem Untergrund zwischen 0,05 und 0,2 Mikrosievert pro Stunde.

Wie oft schlagen Ihre Sonden an – und woher kommen erhöhte Strahlenwerte?

Wir haben den Schwellenwert bewusst niedrig eingestellt, um bei Gefahren sofort reagieren zu können. Wir erhalten rund 50 Frühwarnungen im Jahr. Die

häufigste Ursache ist Regen: Das natürliche Edelgas Radon steigt aus dem Boden auf und zerfällt in der Luft zu radioaktiven Folgeprodukten. Niederschläge spülen diese Stoffe aus der Luft zurück auf den Boden direkt neben die Sonden. Das erhöht den Messwert kurzfristig für etwa zwei Stunden. Oder harmlose alltägliche Störfaktoren führen zu technischen Fehlern und Voralarmen: Ein Hausmeister legt ein Rosenbeet direkt um eine Sonde an und düngt es – die Radioaktivität im Dünger lässt das Gerät ausschlagen. Oder ein Panzer auf einem Truppenübungsplatz fährt die Sonde um.

Was würde bei einem dauerhaften Ausschlag passieren?

Ein Teammitglied hat immer Rufbereitschaft. Zuerst prüfen wir, ob Regen die Ursache ist – ein Blick auf das Regenradar oder eine Rückfrage vor Ort klärt den Fall meist schnell. In der Regel lassen sich alle Voralarme schnell innerhalb des Messnetzes auflösen. Finden wir aber keinen Grund und fallen die Werte nicht ab, informieren wir den Abteilungsleiter Notfallschutz. Kann er eine Gefährdung nicht ausschließen, schaltet er das Bundesumweltministerium ein. Dann kann eine Besondere Aufbauorganisation in Kraft gesetzt werden, an der beispielsweise auch die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit beteiligt ist. Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe ist mit dem Gemeinsamen Melde- und Lagezentrum ebenfalls einbezogen. Bei einem Kraftwerksunfall könnten wir durch den frühzeitigen Alarm des Messnetzes rund zwei Tage Vorlauf haben – für Maßnahmen von der ersten Warnung der Bevölkerung bis zur möglichen Evakuierung.

Über das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

Das BfS ist Deutschlands zentrale Strahlenschutzbehörde. Im IMIS, dem Integrierten Mess- und Informationssystem des Bundes und der Länder, erfasst das Amt stetig die Messdaten für die künstliche Umweltradioaktivität in Luft, Boden, Wasser und Nahrungsmitteln. Gemessen wird unter anderem mit 1.700 Sonden in ganz Deutschland – etwa alle 20 Kilometer eine. Deren Echtzeitdaten finden sich unter <http://odlinfo.bfs.de>. Die natürliche Strahlenbelastung in Deutschland liegt bei durchschnittlich 2,1 Millisievert pro Jahr.



Frank Weiler ist Leiter des Messnetz-knotens Berlin. Mit seinem achtköpfigen Team behält er 280 Messstellen für Umwelt-radioaktivität in Berlin, Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt im Blick.

Gab es jemals einen echten unfallbedingten Anstieg im Messnetz?

So einen Anstieg im gesamten Netz gab es seit Tschernobyl nicht. Die Auswirkungen kleinerer Unfälle – etwa in Betrieben, die radioaktives Material für die Medizintechnik herstellen – verbleiben meist lokal vor Ort und treffen keine Messstelle. Einen bemerkenswerten Fall gab es aber, als vor einigen Jahren Ruthenium in der Luft nachgewiesen wurde, das den Berechnungen zufolge im südlichen Ural freigesetzt worden sein muss. Die Konzentration, die bei uns ankam, war gesundheitlich völlig unbedeutend und wurde nicht von den Messstellen des ODL-Messnetzes, sondern nur von besonders sensiblen Messgeräten erfasst. Das Beispiel zeigt aber, wie feingranular das System arbeitet.

Sind die Spuren von Tschernobyl in Ihrem Messnetz noch sichtbar?

Im Messnetz ist das Cäsium-137 von damals nicht mehr nachweisbar. Bei den mobilen spektrometrischen Messungen, die wir regelmäßig zusätzlich durchführen, hingegen schon. Nur hier können wir die einzelnen radioaktiven Stoffe bestimmen. Cäsium-137 hat eine Halbwertszeit von 30 Jahren, nach ungefähr 40 Jahren sind noch rund 40 Prozent vorhanden. Es findet sich heute noch etwa in Maronenhölzern und in Wildschweinen. In stark betroffenen Regionen – besonders im Bayerischen Wald – gilt noch immer eine Überwachungspflicht für erlegtes Wild. Man kann aber ruhig hin und wieder Maronen oder Wild essen – nur eben nicht jeden Tag.

Helden, MONSTER & MUTANTE

Das Meiste, was wir über Radioaktivität zu wissen glauben, stammt nicht aus dem Physikunterricht. Unsere Vorstellungen sind geprägt von Romanen, Comics und Filmen. Eine Zeitreise durch die Popkultur der Strahlung.

TEXT: KATRIN LANGE

Radioaktivität beschäftigt die Fantasie von Künstlern seit mehr als hundert Jahren. Auf die Entdeckung des Radiums durch Marie und Pierre Curie 1898 folgt zunächst eine Zeit der nuklearen Euphorie. Das neue Element gilt als Wundermittel: Männer stärken mit Radium-Wasser ihre Manneskraft, Radium-Zahnpasta sorgt für strahlende Zähne und Radium-Heilbäder versprechen neue Vitalität. Die Literatur hingegen erkennt früh die drohende Gefahr. Schon 1914 beschreibt H. G. Wells in „Die befreite Welt“ Bomben aus zerfallenden Atomen, lange bevor gut 30 Jahre später eine riesige Pilzwolke am Himmel über der Wüste von New Mexico erscheint.

Hilfe, die Mutanten kommen!

Der August 1945 ändert alles. In Hiroshima und Nagasaki muss die Welt mit ansehen, wozu Kernspaltung als Waffe fähig ist. Das Kino verarbeitet das Trauma auf seine Weise: mit Monstern. 1954 stampft erstmals Godzilla durch Tokio – eine ins Gigantische mutierte Echse als Sinnbild japanischer Atomangst. In den USA bedrohen im selben Jahr in „Them!“ riesige Ameisen Los Angeles. Entstanden sind diese Sinnbilder für die Unbeherrschbarkeit des Atoms genau in jener Wüste, in der die erste Atombombe getestet wurde.

Radioaktivität wird zum Superhelden

In den technikbegeisterten 1960er-Jahren verbinden sich die fiktionalen radioaktiven Unfälle mit der Hoffnung auf atomare Wunder. Forscher, die die Radioaktivität nicht immer gänzlich im Griff haben, mutieren zu Helden und entwickeln Superkräfte. 1962 gerät der Wissenschaftler Bruce Banner in eine Gamma-Explosion und verwandelt sich bei Wut – angelehnt an „Dr. Jekyll und Mr. Hyde“ – in den grünen „Hulk“: superstark, aber nicht besonders schlau. Im selben Jahr wird Peter Parker im Labor von einer radioaktiven Spinne gebissen und rettet fortan als „Spider-Man“ seine Mitmenschen.



Kultureller Fallout des Kalten Kriegs

Als Reaktion auf die atomare Aufrüstung versetzen in den 1980er-Jahren Endzeitvisionen die Menschen in Angst und Schrecken. Der Fernsehfilm „The Day After“ zeigt 1983, wie Überlebende eines Nuklearkriegs an den Folgen der Strahlenkrankheit leiden. Ronald Reagan verspricht daraufhin in seinem Tagebuch alles zu tun, um einen Atomkrieg zu verhindern. Und kurz nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl räumt der Animationsfilm „When the Wind Blows“ 1986 mit der Illusion auf, dass ein paar Schutzmaßnahmen reichen, um einen Atomkrieg unbeschadet zu überleben. Den Soundtrack zur Atomangst liefern Songs wie „99 Luftballons“ oder das zynische „Vamos a la Playa“, in dem die italienische Band Righeira auf Spanisch von der atomaren Apokalypse erzählt.

Ironie statt Atomangst

Mit den „Simpsons“ wird die nukleare Ironie Ende der 1980er-Jahre zum festen Bestandteil der Popkultur. Im Atomkraftwerk von Monty Burns herrschen Schlamperei und Profitgier, Angst vor Verstrahlung haben die Menschen in Springfield aber nicht. Der glühende Brennstab in Homers Hemd oder der drei-

äugige Fisch Blinky reduzieren die atomare Gefahr zum Slapstick. Die „Teenage Mutant Ninja Turtles“ hingegen – durch radioaktive Abfälle zu Pizza liebenden Kämpfern mutiert – parodieren die Comic-Helden der 1960er. Running Gag ist strahlend grüner Schleim, der ständig neue und kuriose Mutationen schafft.

Schrecken der Todeszone

In jüngerer Zeit geht der Trend wieder in eine düstere Richtung: Fast schon dokumentarisch macht die Serie „Chernobyl“ 2019 die Reaktorkatastrophe für Generationen greifbar, die 1986 noch gar nicht geboren waren. In Videospielen wie „Fallout“ oder „S.T.A.L.K.E.R.“ ist Radioaktivität eine Herausforderung, die man meistern muss. Die Todeszone wird zum Spielplatz, auf dem Gamer mit Millisievert-Werten hantieren wie mit ihrem Punktzustand.

Ein Spiegel der Zeit

Was bleibt von mehr als hundert Jahren nuklearer Fantasie? Die Erkenntnis, dass jede Epoche Radioaktivität so darstellt, wie es zu ihr passt. Die 1950er-Jahre sahen sie als Bestie, die 60er als Chance und Risiko zugleich, die 80er als Weltende und die Gegenwart als Risiko, das es zu beherrschen gilt. Die Realität ist weniger spektakulär. Strahlung verleiht keine Superkräfte, ist aber Bestandteil von uns und unserer Umwelt, ohne dass wir sie wahrnehmen können. Und genau das macht sie für uns Menschen so unheimlich. Obwohl uns mehr Wissen denn je zur Verfügung steht und Radioaktivität, anders als manch andere giftige Stoffe, zuverlässig messbar ist.

Warum leuchtend grün?

In vielen Filmen und Comics leuchtet Radioaktivität grün. Wissenschaftlich gesehen ist das Unsinn: Radioaktivität hat keine Farbe und leuchtet in der Regel nicht. Der Ursprung des Klischees liegt vermutlich in alten Uhren: Bis in die 1960er-Jahre wurden Zifferblätter mit radiumhaltiger Leuchtfarbe bemalt. Verantwortlich für das grünliche Schimmern war beigemischtes Zinksulfid, das durch die Strahlung angeregt wurde. Als Symbol für „nuklear, giftig und gefährlich“ hat sich das Grün trotzdem in der Popkultur festgesetzt – und ist bis heute nicht mehr wegzudenken.



Endlager — Unser Auftrag für die Gesellschaft.

Verantwortung — Für Mensch und Natur.

Sicherheit — Hat höchste Priorität.

Gesellschaft — Weil es nur gemeinsam geht.

Forschung — Immer auf dem neuesten Stand.

Geologie — Eine Million Jahre im Blick.

Kommunikation — Austausch auf Augenhöhe.

Strahlenschutz — Basis unseres Handelns.

Infoangebot

Barrierefreie PDF-Dokumente dieser und weiterer Ausgaben der Einblicke finden Sie hier:
www.einblicke.de/magazine



Aktuelle Informationen

zu geplanten Veranstaltungen zum Thema Endlagersuche finden Sie auf der Homepage der BGE:
www.bge.de/veranstaltungen



Impressum

Herausgeberin: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine, www.bge.de; V. i. S. d. P.: Manuel Wilmanns; Einblicke-Team: Prisca Biermann, Dagmar Dehmer, Johannes Hunger; Verlag: SZ Scala GmbH, Hultschiner Straße 8, 81677 München; Redaktion: Philipp Hauner, Katrin Lange, Daniela Zimmer; Projektmanagement: Iryna Baumbach, Elina Rohweder; Gestaltung: Ellen Verick; Druck: Bonifatius GmbH, Karl-Schurz-Straße 26, 33100 Paderborn.
Diese Ausgabe erscheint als Beilage in folgenden Medien: Der Tagesspiegel/ Potsdamer Neueste Nachrichten, DIE ZEIT, Frankfurter Allgemeine Zeitung, Süddeutsche Zeitung, taz, der Freitag, atw – International Journal for Nuclear Power, StrahlenschutzPRAXIS



RG4

www.blauer-engel.de/uz195

Dieses Druckerzeugnis ist mit dem Blauen Engel ausgezeichnet

Im Rahmen der Herstellung dieses Druckproduktes wurde ein finanzieller Beitrag an das Klimaschutzprojekt „Solar, Indien“ zertifiziert nach GoldStandard geleistet. Mehr Informationen finden Sie hier:

www.klima-druck.de/bilanz/?id=26231944