

## Radionuklide in der Umwelt

### Infoblatt

Radioaktivität ist eine Naturerscheinung. Sie entsteht, wenn instabile Atome (Isotope) Stabilität suchen, indem sie Energie in Form von Strahlung aussenden (radioaktiver Zerfall). Die Energiemenge und die Art der ausgesendeten Strahlung unterscheiden sich stark zwischen den radioaktiven Elementen. Hochradioaktive Substanzen wie Cäsium-137 zersetzen sich sehr schnell, mit vielen Zerfällen pro Sekunde, und haben eine kurze Halbwertszeit. Isotope wie Uran-235 und Uran-238 dagegen zersetzen sich mit wenigen Zerfällen pro Sekunde, und ihre Halbwertszeiten liegen im Bereich von mehreren hundert Millionen Jahren. Wegen dieser unterschiedlichen Eigenschaften haben Radionuklide viele verschiedene Anwendungen. Diese reichen von ihrem Einsatz als Tracer von biologischen, physiologischen und geologischen Prozessen in der Medizin den ganzen Weg bis zu ihrer Verwendung in Massenvernichtungswaffen.

### Strahlungsquellen in der Umwelt

Kleine Mengen an Radioaktivität sind in fast jedem belebten und unbelebten Umweltmedium vorhanden. Diese Hintergrundradioaktivität stammt von langlebigen Radionukliden aus der Erdentstehung, ihren Tochterrädonukliden und der kosmischen Strahlung. Unsere Körper enthält auch natürliche Radionuklide wie zum Beispiel Kalium-40. Ausserdem werden kleine Strahlenmengen von Konsumprodukten abgegeben, so wie Fernsehern, manchen Rauchmeldern oder radioaktiver Leuchtfarbe. Die Hauptquelle der Strahlung für die Allgemeinbevölkerung ist das Radongas, das durch den natürlichen radioaktiven Zerfall von Uran in Gesteinen und Böden gebildet wird. Nach den Angaben der Weltgesundheitsorganisation ist die Belastung durch Radon zuhause und am Arbeitsplatz eines der grössten Risiken der ionisierenden Strahlung und jedes Jahr weltweit für den Tod von Zehntausenden von Menschen durch Lungenkrebs verantwortlich. In den Industrieländern kann die Strahlenbelastung aus medizinischen Behandlungen höher sein als die Strahlenbelastung aus Radon. Bevölkerung und Medien sorgen sich jedoch hauptsächlich über die unbeabsichtigte Freisetzung von menschengemachten Radionukliden.

### Schicksal in Ökosystemen

Die Eigenschaften der radioaktiven Teilchen hängen von der Quelle und den Freisetzungsbedingungen ab. Während Reaktorunfällen wie zum Beispiel denen von Tschernobyl und Fukushima Daiichi werden radioaktive Teilchen mit unterschiedlicher Zusammensetzung, Grösse, Form und Struktur freigesetzt. Fragmente und große Partikel setzen sich nahe des Unfallortes ab, während kleine Partikel weit in die Atmosphäre transportiert werden. Mobile Kolloide und Nanopartikel können auch im Wasser über grosse Entfernungen transportiert werden. Mit der Zeit setzen sich diese Teilchen schliesslich ab und reichern sich in Böden und Sedimenten an, wo sie als diffuse, langfristige Strahlungsquelle verbleiben.

### Belastung durch Radionuklide

Radionuklide unterscheiden sich chemisch nicht von den entsprechenden stabilen Isotopen. Dieselben Eigenschaften und Prozesse, die Schicksal und Ansammlung eines jeden Elements in der Umwelt bestimmen, gelten für die stabilen Isotope und die entsprechenden Radioisotope. Während die Belastung durch chemische Schadstoffe allerdings nur am Kontaktort geschieht (also den Zielorganen), erfolgt die radioaktive Belastung sowohl intern als auch extern. Die interne Belastung ist analog zu derjenigen durch Chemikalien und geschieht durch die Ansammlung in Geweben und den Transport durch den Verdauungstrakt. Die externe Belastung geschieht durch den engen Kontakt mit Radionukliden in belastetem Boden, Sediment oder Wasser. Die Dosis hängt dabei von vielen Faktoren ab, so wie der Art und Menge der Radionuklide, der räumlichen Anordnung der Lebewesen und der Quelle, der Eigenschaften der Medien und der Position und Grösse der Organismen. Die Belastung durch mehrere Radioisotope ist additiv, und die totale Strahlendosis ist die Summe der internen und externen Dosen für alle betrachteten Radionuklide.

### Was ist die Wirkung auf Lebewesen und Populationen?

Auf eine Strahlenbelastung reagieren alle Lebewesen sehr ähnlich: Die radioaktive Energie breitet sich im Gewebe aus und führt zum Temperaturanstieg, zur Anregung und Ionisierung von Atomen, zum Brechen chemischer Bindungen und schliesslich zu biologischen Schäden. Meist sind dafür freie Radikale verantwortlich, die verschiedene DNA-Schäden erzeugen können. Der Körper bildet freie Radikale nicht nur als Antwort auf radioaktive Strahlung, sondern auch auf andere Stressoren wie UV-Strahlen oder Chemikalien. Schädigungen durch freie Radikale sind so weitverbreitet, dass alle Lebewesen – vom Mensch bis zur Hefe – wirksame Reparaturmechanismen entwickelt haben. Allerdings können diese Fehler machen oder überwältigt werden und so zum Zelltod und zu Mutationen führen.

Trotz der ähnlichen biologischen Antwort auf Strahlenbelastungen, sind Lebewesen unterschiedlich empfindlich: Die tödliche Wirkung einer akuten Strahlenbelastung kann um drei bis vier Grössenordnungen schwanken. Säugetiere, Vögel und Nadelbäume sind dabei am empfindlichsten, Viren und Weichtiere recht resistent. Welchen Einfluss eine Mutation auf eine Population hat, hängt auch davon ab, welche Zelle sie trifft: Mutiert eine normale Körperzelle, so

kann das zum Zelltod oder zu Krebs führen – dies, wenn die Zelle überlebt aber ihre DNA nicht richtig repariert. Mutieren Zellen der Keimbahn, so können die Keimzellen abnehmen, die Embryosterblichkeit ansteigen oder die Mutationen an die Nachkommen weitervererbt werden. Dabei werden schädliche Mutationen wieder aus der Population entfernt, da solche Individuen schlechter überlebensfähig sind. Schädigen Mutationen die Individuen jedoch nicht direkt, so können sie sich über mehrere Generationen hinweg weitervererben. Wissenschaftler haben für Menschen das Risiko für nicht tödlichen Krebs und erbliche Effekte in Nachkommen belasteter Individuen abgeschätzt. Für andere strahlenbelastete Lebewesen ist allerdings nur wenig darüber bekannt, wie sich die molekularen Effekte auswirken und welche Bedeutung die vererbaren, generationenübergreifenden Effekte auf Populationen haben.

Beim Reaktorunfall von 2011 in Fukushima wurden vor allem Iod-131, Cäsium-134 und Cäsium-137 freigesetzt. Dabei gelangte ein Teil der Radioaktivität direkt in die Atmosphäre, der andere Teil über verschmutzte Kühlwässer und atmosphärische Ablagerung ins Meer. Forschende fanden bereits die ersten Auswirkungen auf Umweltorganismen: So waren genetische Schäden an Schmetterlingen sechs Monate nach dem Unfall stärker ausgeprägt waren als zwei Monate danach. Ausserdem nahm die Anzahl an Vögeln, Schmetterlingen und Zikaden an Orten mit höherer Hintergrundstrahlung deutlich ab. Aus den Unfall von 1986 in Tschernobyl wissen wir, dass die Anzahl und Artenzahl von Vögeln, Hummeln und anderen Tiere an Orten mit erhöhter Hintergrundstrahlung 25 Jahre nach dem Unfall immer noch reduziert sind. Während in Fukushima bis jetzt hauptsächlich die Radiotoxizität für die Abnahme der Tierzahlen verantwortlich war, spielen in Tschernobyl daneben Langzeiteffekte von Mutationen eine wichtige Rolle, die sich im Lauf mehrerer Generationen anhäufen können: So findet man dort höhere Mutationsraten und Entwicklungsauffälligkeiten bei Vögeln, Säugetieren, Fischen und Pflanzen, zusätzlich sind Überlebensrate und Fruchtbarkeit reduziert.

Eine der Besonderheiten des Reaktorunfalls von Fukushima Daiichi war die enorme Strahlungsfreisetzung ins Meer. Wir wissen nur wenig darüber, wie radioaktive Strahlung auf Meerestiere wirkt. Dies teilweise, weil Meerestiere strahlenresistenter sind als Menschen – das macht es für Forschende schwierig, Laborexperimente durchzuführen. Allerdings können Meeresorganismen Radioisotope ansammeln, ohne offensichtlichen Schaden zu erleiden, und diese angesammelten Radionuklide entlang der Nahrungskette weitergeben und so das Risiko für höhere Organismen erhöhen. Aus Fukushima wurden bis jetzt nur wenige Daten veröffentlicht. Es bleibt zu zeigen, wie und für wie lange die Organismen nahe Fukushima beeinträchtigt bleiben werden.

## Nützliche Links

Faktenblatt des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) über Radon in der Schweiz

<http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=de&msg-id=8366>

Wiki Seite über Strahlenschutz in der Umwelt, enthält externe Links zu nationalen und internationalen Behörden und Datenbanken und fast alle notwendigen Werkzeuge, um eine Risikobewertung radioaktiver Strahlung im Rahmen der Projekte durchzuführen, die unter Schirmherrschaft der Europäischen Kommission durchgeführt werden

<https://wiki.ceh.ac.uk/display/rpemain/Radiological+protection+of+the+environment+-+sharing+knowledge>

Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP)

<http://www.icrp.org/>

Wissenschaftliches Komitees der Vereinten Nationen über Effekte von Atomstrahlung <http://www.unscear.org/>

Letztes Kompendium über die Wirkung ionisierender Strahlung auf nicht-menschliche Lebewesen

[http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076\\_Report\\_2008\\_Annex\\_E.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076_Report_2008_Annex_E.pdf)

Internationale Atomenergie-Kommission (IAEA)

<http://www.iaea.org/>

## Kontaktperson

Carmen Casado-Martinez, Telefon +41 21 693 0896, [carmen.casado@centreecotox.ch](mailto:carmen.casado@centreecotox.ch)

cc und as; Mai 2013

Oekotoxzentrum | Eawag | Überlandstrasse 133 | Postfach 611 | CH-8600 Dübendorf  
T +41 (0)58 765 55 62 | F +41 (0)58 765 58 63 | [info@oekotoxzentrum.ch](mailto:info@oekotoxzentrum.ch) | [www.oekotoxzentrum.ch](http://www.oekotoxzentrum.ch)

Centre Ecotox | EPFL-ENAC-IIE-GE | Station 2 | CH-1015 Lausanne  
T +41 (0)21 693 62 58 | F +41 (0)21 693 80 35 | [info@centreecotox.ch](mailto:info@centreecotox.ch) | [www.centreecotox.ch](http://www.centreecotox.ch)