

## Strahlenarten

- Es gibt verschiedene Zerfallsarten, die unterschiedliche Strahlungen produzieren ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ).
- Die Strahlung ist pro Ereignis sehr energiereich und kann „ionisieren“, d.h. aus Atomen und Molekülen Elektronen herauslagern (und so Zellen schädigen).
- Die Strahlung ist messtechnisch sehr gut nachweisbar.

**Alpha-Zerfall:**  
Der Kern sendet 2 Protonen und 2 Neutronen aus

**Beta-Zerfall:**  
Der Kern sendet ein Elektron oder ein Positron aus

**Gamma-Emission**  
Der Kern sendet ein Photon aus (elektromagnetische Welle)

**Kernspaltung:**  
Der Kern zerbricht in zwei etwa gleich große Teile und mehrere freie Neutronen

## Die Einheit der Aktivität

Die physikalische Einheit der (Radio-) Aktivität ist das Becquerel (**Bq**). Die Aktivität in Becquerel gibt an, wie viele Atomkerne pro Sekunde zerfallen. Einen direkten Zusammenhang zwischen Aktivität (**Bq**) und Dosis in Sievert (**Sv**) bzw. Gesundheitsgefährdung gibt es nicht!

$$1 \text{ Bq} = \frac{1}{\text{s}}$$

## Physikalische Grundlagen der Dosimetrie

Physikalische Basis für die Größe **Effektive Dosis** in Sievert (**Sv**) ist die Energiedosis gemessen in Gray (**Gy**). Eine Energiedosis von einem **Gray** bedeutet, dass der bestrahlte Körper pro Kilogramm (**kg**) die Energiemenge von einem Joule (**J**) aufgenommen hat.

$$1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

**Vergleich:** Eine Tafel Schokolade (100 g) gegessen, führt dem Körper ungefähr 2 300 000 Joule zu. Die Energiemenge einer tödlichen Dosis radioaktiver Strahlung (6 **Gy**) ist also sehr klein und entspricht der Aufnahme von 20 **mg** Schokolade (siehe rechts). Ist der Mensch einer homogenen, Gammastrahlung ausgesetzt, entspricht die Energiedosis auch der Effektiven Dosis

**Schokoladenkugel 20 mg**  
450 Joule (6 **Gy**\*75 kg)

$$1 \text{ Gy}_{\text{Gammaextern}} = 1 \text{ Sv}$$

## Die Effektive Dosis

Die **Effektive Dosis** in Sievert (**Sv**) ist keine physikalische Größe mehr, sondern eine **Zahl**, die über das Auftreten von **drei Strahleneffekten** eine Aussage machen soll:

### 1.) Akute Strahlenkrankheit.

Die Effekte der Bestrahlung treten nach kurzer Zeit auf. Die Dosis muss etwa 200 **mSv** (Millsievert = 1/1000 **Sv**) übersteigen. Zur akuten Strahlenkrankheit kommt das in Punkt 2.) angesprochene Risiko natürlich noch hinzu.

Dabei gilt: je höher die Dosis, desto

- schwerer ist der Schaden,
- langwieriger ist die Erkrankung,
- geringer sind die Überlebenschancen
- schneller treten die Symptome auf,
- länger ist die Erholungsphase

## Auswirkungen kurzzeitiger radioaktiver Bestrahlung des gesamten Körpers

[nach Wikipedia <https://de.wikipedia.org/wiki/Strahlenkrankheit>]

Effektive Dosis	Bewertung	Symptome (die aufgeführten Todesfälle treten in der Höhe nur ohne Behandlung auf)
0,2–0,5 Sv		Erste Symptome, Schäden der Augenlinse, Herz-Kreislaufkrankung
0,5–1 Sv		Leichter Strahlenkater (Kopfschmerzen, Schwindel, Erbrechen)
1–2 Sv	leichte Strahlenkrankheit	10 % Todesfälle nach 30 Tagen (Letale Dosis(LD) 10/30) Übelkeit, Appetitlosigkeit, Ermüdung, erhöhtes Infektionsrisiko, temporäre Unfruchtbarkeit beim Mann ist die Regel.
2–3 Sv	schwere Strahlenkrankheit	35 % Todesfälle nach 30 Tagen (LD 35/30). zusätzlich <b>Haarausfall</b> am ganzen Körper, Unwohlsein und Ermüdung, massiver Verlust von weißen Blutkörperchen, Infektionsrisiko steigt rapide an. Bei Frauen beginnt das Auftreten permanenter Sterilität.
3–4 Sv	schwere Strahlenkr.	50 % Todesfälle nach 30 Tagen (LD 50/30). zusätzlich <b>Durchfall</b> , Blutungen im <b>Mund</b> , unter der <b>Haut</b> , in den <b>Nieren</b> .
4–6 Sv	schwerste Strahlenkrankheit	60 % Todesfälle nach 30 Tagen (LD 60/30). <b>Sterblichkeit</b> erhöht sich von ca. 50 % bei 4,5 Sv bis zu 90 % bei 6 Sv. Der Tod tritt in der Regel 2–12 Wochen nach der Bestrahlung durch Infektionen und Blutungen ein.
6–10 Sv	schwerste Strahlenkrankheit	100 % <b>Todesfälle nach 14 Tagen (LD 100/14)</b> . <b>Knochenmark</b> nahezu oder vollständig zerstört Magen- und Darmgewebe ist schwer geschädigt. Tod durch Infektionen und innere Blutungen.

## 2.) Erhöhung des somatischen Strahlenrisikos, Risiko so genannter Stochastischer Strahlenschäden

(stochastisch = mit bestimmter Wahrscheinlichkeit auftretend)

Schon bei einer Dosis die niedriger als ungefähr 200 **mSv** ist, erhöht sich das Risiko an Krebs zu erkranken und zu sterben. Zusätzlich gibt es ein Genetisches Risiko, das Auswirkungen in Folgegenerationen hat.  
Man geht von einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellenwert aus, d. h. es gibt keine Dosis ohne Wirkung und eine Verdopplung der Dosis verdoppelt auch das Risiko.  
Bestrahlt man 1 000 000 Menschen mit einer Dosis von 1 **mSv** (Millsievert) = 1/1000 **Sv**, so erwartet man nach gängiger Dosis-Wirkungs-Beziehung in diesem Kollektiv eine Zunahme der tödlichen Krebserkrankung um 120 Fälle während der gesamten Lebenszeit.

**1 mSv bei 1 000 000 Menschen führt statistisch zu ca. 120 tödlichen Krebserkrankungen während der gesamten Lebenszeit** (Quelle USCEAR 2000)

**Allerdings:** Das Spontanrisiko an Krebs zu sterben betrug im Jahr 2012 in Deutschland ca. 2800 Fälle pro Jahr auf 1 000 000 Menschen. Rechnet man das auf die mittlere Lebenszeit von 80 Jahren hoch, ergibt sich im Vergleich zu dem strahleninduzierten Sterberisiko ein Wert von rund 220 000 Fällen pro 1 000 000 Menschen.

## 3.) Erhöhung des Genetischen Risikos

**1 mSv bei 1 000 000 Menschen führt statistisch zu 2<sup>11</sup> bis 13<sup>21</sup> Fällen einer zusätzlichen schweren Erkrankung in allen Folgegenerationen.** 1) ICRP 2007 2) ICRP 1990

## Zusatzinformation

Radioaktive Substanzen (Radionuklide) können besonders schädigen, wenn sie in den Körper gelangen, also inkorporiert werden. Eine Dosis kann hier nicht gemessen, sondern muss berechnet werden. Unterschiedliche Strahlenarten haben verschiedene biologische Wirksamkeiten. Alpha-Strahlung wirkt zwanzigmal so stark wie Gammastrahlung. Der Strahlungswichtungsfaktor für Alpha-Strahlung beträgt also 20, der für Gamma-Strahlung 1.

$$1 \text{ Gy}_{\text{Alpha, inkorp}} = 20 \text{ Sv}$$

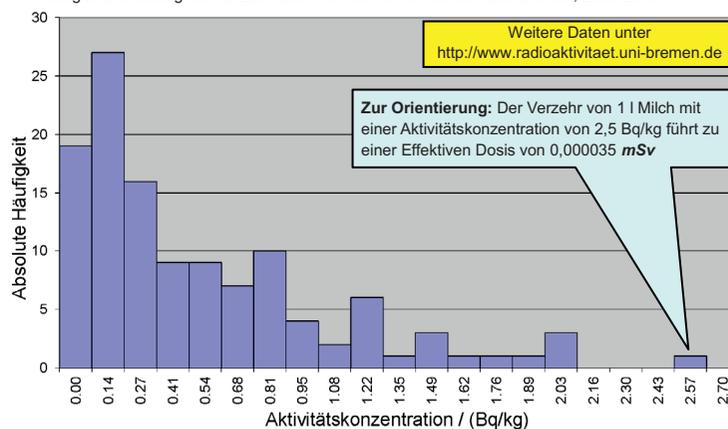
Dieses muss bei der Dosisangabe in Sievert berücksichtigt werden. Verschiedene Strahlenempfindlichkeiten unterschiedlicher Organe werden durch so genannte Gewebe-Wichtungsfaktoren berücksichtigt, ungleichmäßige Verteilung von Radionukliden im Körper versucht man durch metabolische Modelle anzunähern.

## Strahlenbelastung im Alltag und in der Medizin

Quelle der Strahlenbelastung	Effektive Dosis
<b>Natürliche Strahlenbelastung</b>	<b>in mSv pro Jahr</b>
Kosmische und terrestrische externe Strahlung	1-2
Einatmen von Radon (und Folgeprodukten)	1,1
Innere Strahlung (Ingestion natürlicher Radionuklide)	0,3
<b>Nicht natürliche Strahlenbelastung</b>	<b>in mSv pro Jahr</b>
Medizinische Anwendungen (Mittel)	1,9
Sonstiges	0,1
<b>Nicht natürliche Strahlendosis bei bestimmten Anwendungen</b>	<b>in mSv einmalig</b>
Zahnrontgenaufnahme	0,02
Röntgen Lunge (Thorax)	0,2
Röntgen Brustwirbelsäule	5
Computertomographie Bauchraum	7
Computertomographie Thorax	10
Strahlentherapie (lokal begrenzte Energie-Dosis in Therapieregion)	20000-80000 <b>mGy</b>

## Beispiel: Messungen der Landesmessstelle in Bremen

Häufigkeitsverteilung der Konzentration von Cs-137 in Hofmilch aus Bremen, 2006-2015



## Umweltüberwachung und Strahlenschutz



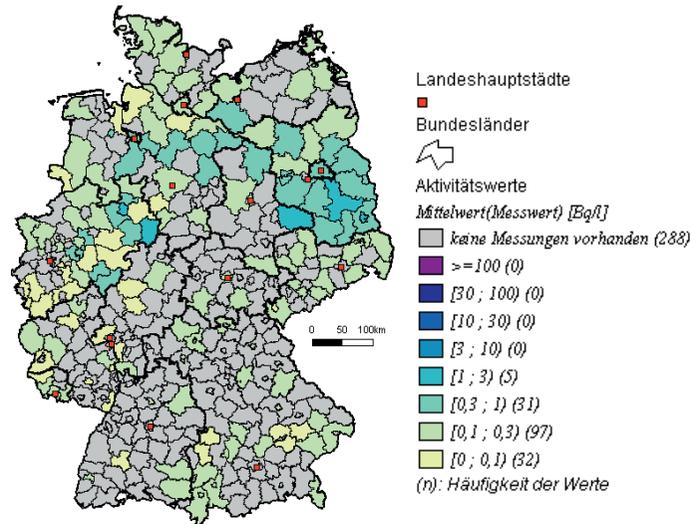
## Forschung und Lehre

## Staatliche Aufgaben

Die Landesmessstelle für Radioaktivität nimmt im Auftrag des Bundes Aufgaben in der Routineüberwachung der Umwelt wahr. Parallel zu den Landesmessstellen der anderen Bundesländer werden ständig Lebensmittel, Futtermittel, Trinkwasser und Reststoffe bzw. Abwässer kontrolliert.

Die Überwachungsdaten, wie zum Beispiel Radiocäsium ( $^{137}\text{Cs}$ )-Aktivitätskonzentration in Milch von einzelnen Bundesländern (siehe Bild unten), werden in einem integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) zusammengeführt.

Beispiel:  
Mittelwerte der  $^{137}\text{Cs}$  Aktivitätskonzentration in Milch (01.01.2006-31.12.2008)

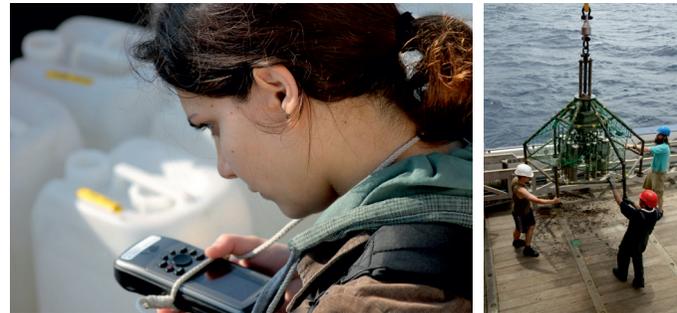


Im Katastrophenfall ist die Landesmessstelle in die Alarmierungspläne integriert und ist in der Lage, mit Intensiv-Messprogrammen kurzfristig Informationen über die Strahlenbelastung im Bundesland Bremen bereitzustellen.

Das Bremer Konzept sieht die Integration der Messstelle in den Lehr- und Forschungsbetrieb der Universität vor (siehe nächste Seite).

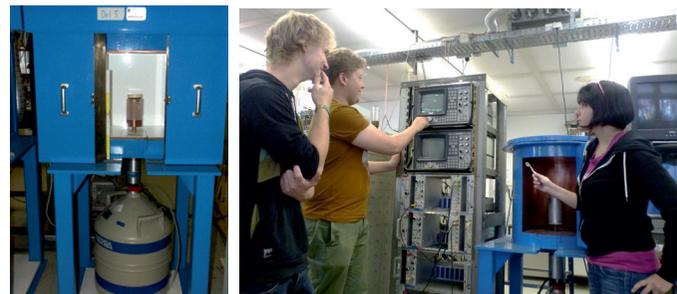
## Forschungsprojekte

- Medizinische Radioisotope in Abwasser, Kläranlage, Flusswasser und -sediment
- Datierung von Sedimentkernen mit natürlichen und künstlichen Radioisotopen
- Referenzbiosphärenmodelle für den radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern
- Ermittlung des Gefährdungspotentials medizinischer und industrieller Strahlenquellen
- Tiefenverteilung von Fallout-Radionukliden in Böden
- Interne Radiodekontamination von Personen
- Nachweis radioaktiver Stoffe im Körper (Ganzkörperzähler)
- Nachweis von Strahlungsaktivierung durch medizinische Beschleuniger
- Identifikation unbekannter Quellen, beispielweise Krypton-85 in Gasflaschen



## Lehre:

- Lehrveranstaltungen innerhalb der Bachelor- und Masterstudiengänge „Physik“ und im internationalen MSc Programm „Environmental Physics“ auf den Gebieten Kernphysik, terrestrische Umweltphysik und Radioökologie
- Physikalische Praktika
- Betreuung vom Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten



## Geschichte

- 1970: Gründung der Universität Bremen
- 1973: Umweltradioaktivitätslabor gegründet (Forschung zu Emissionen von KKW)
- 1986: Freiwillige Aktivitäten nach dem Unfall von Tschernobyl, Einrichtung der Landesmessstelle für Radioaktivität
- 2000: Beitritt zum Institut für Umweltphysik

## Kontakt und Anreise

Landesmessstelle für Radioaktivität  
Fachbereich Physik/Elektrotechnik  
Universität Bremen  
Postfach 330 440  
D-28334 Bremen

Labor:  
Gebäude NW 1 Raum S 0445  
Otto-Hahn-Allee 1  
D-28359 Bremen



## Ansprechpartner:

Dr. Helmut Fischer  
Tel: +49 (0) 421 218 62761  
eMail: hfischer@physik.uni-bremen.de

Dipl.-Phys. Bernd Hettwig  
Tel: +49 (0) 421 218 62760  
eMail: bhettwig@physik.uni-bremen.de

[www.radioaktivitaet.uni-bremen.de](http://www.radioaktivitaet.uni-bremen.de)