



Bundesamt
für Strahlenschutz

[Startseite](#)
[Themen](#)
[Ionisierende Strahlung](#)
[Strahlenwirkungen](#)
[Wirkungen ausgewählter radioaktiver Stoffe](#)
[Uran](#)

Uran

- [Eigenschaften](#)
- [Vorkommen](#)
- [Gesundheitliche Wirkung von Uran auf den Menschen](#)
- [Aufnahmewege](#)
- [Schutzmaßnahmen](#)
- [Chemotoxische Wirkung](#)
- [Radiotoxische Wirkung](#)
- [Strahlenwirkungen von angereichertem Uran](#)
- [Epidemiologische Befunde](#)
- [Plutonium in uranhaltiger Munition](#)
- [Bewertung von Leukämiefällen bei der Balkan-Friedenstruppe](#)
- [Neue wissenschaftliche Erkenntnisse](#)

Uran ist ein in der Natur vorkommendes radioaktives Schwermetall, das natürlich in Form der Uranisotope

- Uran-238 (99,3%-Anteil),
- Uran-235 (0,7%-Anteil) und
- Uran-234 (0,006%-Anteil)

vorkommt. Uran ist radioaktiv und zerfällt vorwiegend unter Aussendung von Alphastrahlen, die besonders biologisch wirksam sind.

Die Reichweite der Alpha-Strahlung von Uran beträgt in Luft wenige Zentimeter und in Körpergewebe je nach Dichte wenige Millimeter bis Bruchteile von Millimetern. Sie wird bereits durch Kleidung effektiv abgeschirmt und stellt bei intakter Haut keine Gefahr bei einer Strahlenbelastung von Außen dar.

Die radioaktiven Zerfallsprodukte des Uran setzen auch Beta- und Gammastrahlen frei.

Eigenschaften

Die relative biologische Wirksamkeit von Alpha-Strahlung ist etwa um den Faktor 20 höher als die von Röntgenstrahlen. Eindeutig auf die von natürlichem Uran ausgehende Strahlung zurückzuführende gesundheitliche Effekte sind bisher nicht nachgewiesen worden.

Da ionisierende Strahlung jedoch generell Krebserkrankungen erzeugen kann und hierfür keine Schwellenwerte existieren, muss auch für die durch Uran verursachte Strahlung grundsätzlich eine Krebs verursachende Wirkung angenommen werden. Wie bei anderen Strahlenexpositionen ist auch das mit Uran verbundene generelle Strahlenrisiko entscheidend abhängig von der Höhe der Strahlenbelastung.

Vorkommen

Angereichertes bzw. angereichertes Uran unterscheiden sich in ihren relativen Anteilen der Nuklide von natürlich vorkommendem Uran.

- In der Natur liegt Uran-235 in einem Anteil von etwa 0,7%
- in angereichertem Uran von 3 bis 90%
- in angereichertem Uran von etwa 0,2% vor.

Angereichertes Uran ist ein Abfallprodukt der Herstellung von Atombomben und von Brennelementen für Atomkraftwerke. In Atombomben und Brennelementen wird Uran-235 in angereicherter Form eingesetzt.

Angereichertes Uran wird wegen seiner hohen Dichte und pyrophoren Wirkung als panzerbrechende Munition verwendet. Die metallische Form des Urans entzündet sich selbst beim Aufprall auf harte Hindernisse.

Gesundheitliche Wirkung von Uran auf den Menschen

Zur Abschätzung der gesundheitlichen Belastungen durch Uran sind grundsätzlich zwei Wirkungen zu unterscheiden:

- als Schwermetall wirkt Uran ähnlich wie Blei oder Quecksilber chemotoxisch,
- als Radionuklid wirkt es radiotoxisch, d. h. es setzt ionisierende Strahlung frei.

Uranmunition selbst verursacht nur eine geringe Strahlenbelastung. Durch Zerfallsprodukte kann es aber nach längerem Kontakt mit der Haut zu gesundheitlich relevanten Teilkörperexpositionen durch Beta-Strahlung kommen.

Aufnahmewege

Uran wird insbesondere dann gesundheitsgefährdend, wenn es inkorporiert wird, das heißt, in den menschlichen Körper gelangt. Dies gilt sowohl für die chemotoxische als auch die radiotoxische Wirkung von Uran. Eine Inkorporation kann erfolgen durch:

- Aufnahme mit der Atemluft in den Atemtrakt (Inhalation),
- Aufnahme mit Wasser und Nahrung in den Verdauungstrakt (Ingestion),
- Aufnahme über offene Wunden (Verletzungen) direkt in den Körper (interne Exposition).

Liegt das Uran, wenn es in den Körper gelangen konnte, in einer löslichen chemischen Form vor, wird es innerhalb von Tagen über die Nieren ausgeschieden. Die Nieren sind das Zielorgan für die chemisch-toxische Schädigung in Form von Nierenfunktionsstörungen bis hin zum Nierenversagen.

Ursachen für erhöhte innere Strahlenexposition

Eine erhöhte innere Strahlenexposition kann zum Beispiel bei der Verbrennung von abgereichertem Uran unter Bildung schwer löslicher Uranoxide entstehen. Durch Inhalation (Aufnahme mit der Atemluft in den Atemtrakt) dieser schwerlöslichen Oxide und deren Ablagerung im Lungengewebe kann es durch die lokale, über einen längeren Zeitraum andauernde Alpha- und Betastrahlung zur Auslösung von Lungentumoren kommen. Die Latenzzeit für strahlenbedingten Lungenkrebs liegt bei mehreren Jahren bis Jahrzehnten.

Eine interne Exposition kann bei Verwendung von Uranmunition einen Beitrag zur Strahlenbelastung liefern, wenn unmittelbar bei einem Beschuss durch den Aufprall der Munition Uranpartikel mit der Luft oder durch Aufwirbelung von stark kontaminiertem Boden Uran in den Körper gelangt.

Bisherige Untersuchungen bei Uranbergarbeitern ergaben keine Hinweise für die Induktion von Leukämien durch Uran und seine Folgeprodukte in der für den Bergbau typischen chemischen Form und Aerosolzusammensetzung.

Weitere Aufnahmewege

Für die Zivilbevölkerung stellt neben der Inhalation die Ingestion (Aufnahme mit Wasser und Nahrung in den Verdauungstrakt) von mit Uran kontaminierten

- Lebensmitteln,
- Staub und
- Boden

eine weitere Expositionsquelle dar. Hier sind besonders Kinder gefährdet.

Beim Handhaben beziehungsweise Spielen mit größeren Munitionsfragmenten kann es auch zu einer Exposition der Haut, hier insbesondere der Hände durch die Beta-Strahlung von Zerfallsprodukten des Urans kommen.

Schutzmaßnahmen

Im Hinblick auf Schutzmaßnahmen gilt für die Zivilbevölkerung Ähnliches wie für militärisches Personal und zivile Hilfskräfte. Neben einer umfassenden Markierung und Absperrung kontaminierter Gebiete und der Einhaltung geeigneter Verhaltensregeln (Einschränkung der Nutzung und des Gebrauchs von landwirtschaftlichen Flächen beziehungsweise Produkten) kommt hier der umfassenden Information über mögliche gesundheitliche Gefahren von Uran eine entscheidende Bedeutung zu.

Der zur Freigabe der Flächen notwendige Nachweis, dass keine Gesundheitsgefährdung mehr besteht, kann nach Dekontamination durch Freimessungen erfolgen.

Chemotoxische Wirkung

Da das in den Körper aufgenommene Uran hauptsächlich über die Nieren ausgeschieden wird, steht die chemotoxische Wirkung auf die Nieren im Vordergrund, sowohl bei Aufnahme über den Magen-Darm-Trakt als auch über die Atmung. In der Niere kommt es je nach der Menge an aufgenommenem Uran zu einem teilweisen bis vollständigen Versagen der Funktion. Dabei müssen jedoch bestimmte Expositionswerte überschritten werden.

Chemotoxische Wirkungen von Uran auf andere Organe treten erst bei weit höheren Konzentrationen auf als denjenigen, die Nierenschäden verursachen.

Radiotoxische Wirkung

Uran ist ein Alpha-Strahler und die relative biologische Wirksamkeit von Alpha-Strahlung ist etwa um den Faktor 20 höher als die von Röntgenstrahlung. Da ionisierende Strahlung generell Krebserkrankungen erzeugen kann und hierfür keine Schwellenwerte existieren, muss auch für die durch Uran verursachte Strahlung grundsätzlich eine Krebs verursachende Wirkung angenommen werden. Wie bei anderen Strahlenexpositionen ist auch das mit Uran verbundene generelle Strahlenrisiko entscheidend abhängig von der Höhe der Strahlenbelastung, d.h. von der Dosis.

Inhalation

Wird uranhaltiger Staub eingeatmet, gelangen die löslichen Anteile ins Blut und werden mit diesem im Körper verteilt. Der schwerlösliche Anteil kann längere Zeit in der Lunge verbleiben. Das Lungengewebe kann durch die Alpha-Strahlung des Urans geschädigt werden und nach vielen Jahren kann Lungenkrebs entstehen.

Das in das Blut aufgenommene lösliche Uran wird teilweise im Knochen und in der Niere eingelagert und durch letztere ausgeschieden. Im Knochen liegt die Reichweite der Alpha-Strahlung aufgrund der sehr dichten Knochensubstanz im Bereich von wenigen Mikrometern. Daher ist die Strahlenbelastung des Knochenmarks im Vergleich zur Strahlenbelastung der Lunge deutlich geringer. Die Entstehung von Leukämien durch eine Bestrahlung des Knochenmarks nach Inhalation von Uranpartikeln ist daher deutlich unwahrscheinlicher als die Induktion von Lungenkrebs.

Ingestion

Bei einer Ingestion von mit Uran kontaminierten Lebensmitteln und/oder Trinkwasser kommt es zur Aufnahme eines geringen Anteils des Urans über die Darmwand. Dieser wird ebenfalls über das Blut im Körper verteilt und gelangt in die Knochen und in die Nieren.

Strahlenwirkungen von abgereichertem Uran

Abgereichertes Uran hat im Vergleich zu natürlichem Uran ein etwas geringeres radiotoxisches Potential. Für eine Bewertung der gesundheitlichen Wirkung von Uran sind daher insbesondere die Möglichkeiten der Strahlenexposition durch Aufnahme von Uranpartikel durch die Atemluft, von Uran-kontaminierten Nahrungsmitteln und Trinkwasser durch Ingestion sowie durch Verletzungen der Haut zu betrachten.

Die größte Expositionsgefahr bei uranhaltiger Munition besteht, wenn die unmittelbar beim Aufprall und der Verbrennung der Munition freiwerdenden Uranpartikel eingeatmet werden und so in die Lunge gelangen. Aber auch später kann der Uranstaub vom Boden wieder aufgewirbelt werden und in die Lunge gelangen. Das Lungengewebe kann durch die Alpha-Strahlung des Urans geschädigt werden. Diese Schädigung kann nach vielen Jahren zu Lungenkrebs führen.

Epidemiologische Befunde

In epidemiologischen Studien wurden die gesundheitlichen Auswirkungen von Uranexposition direkt untersucht bei

- Beschäftigten im Uranbergbau und in der Aufbereitung und weiteren Verarbeitung von Uran,
- Veteranen des ersten Golfkriegs,
- Bewohnern von Gebieten, in denen Uranmunition benutzt worden ist,
- Anwohnern von Uran-verarbeitenden Anlagen und
- Personen, deren Trinkwasser einen erhöhten Gehalt an Uran aufweist ([UNSCEAR, 2016](https://www.unscear.org/docs/publications/2016/UNSCEAR_2016_Report-CORR.pdf)
[\[https://www.unscear.org/docs/publications/2016/UNSCEAR_2016_Report-CORR.pdf\]](https://www.unscear.org/docs/publications/2016/UNSCEAR_2016_Report-CORR.pdf)).

Uran im Trinkwasser

Die Studien zu Personen, deren Trinkwasser einen erhöhten Gehalt an Uran aufweist, deuten darauf hin, dass sich Uran im Trinkwasser in hohen Konzentrationen aufgrund seiner chemischen Toxizität möglicherweise auf die Funktion der Nieren auswirkt. Diese Auswirkungen scheinen jedoch gering zu sein.

Anwohner von uranverarbeitende Anlagen

Die Aussagekraft von Studien zu möglichen Gesundheitseffekten bei Anwohnern von Anlagen, in denen Uran verarbeitet wird, ist meist gering. Es handelt sich häufig um sogenannte ökologische Studien. Bedingt durch das Design dieser Studien lassen sich aus ihnen keine Schlüsse über ursächliche Beziehungen ableiten. Insgesamt deuten die vorhandenen Studien nicht darauf hin, dass Expositionen von Uran-verarbeitenden Anlagen zu Gesundheitsschäden bei Anwohnern geführt haben.

Beruflicher Bereich

Im beruflichen Bereich sind neben den Uranbergarbeitern Mitarbeiter von Aufbereitungsbetrieben oder anderen kerntechnischen Anlagen gegenüber Uran exponiert. Studien in diesem Bereich sind im Allgemeinen aussagekräftiger als Bevölkerungsstudien, da individuelle Expositionen besser abgeschätzt werden können. Allerdings treten auch hier eine Reihe von Schwierigkeiten auf. Bisher deuten die vorhandenen Studien auf einen schwachen Zusammenhang zwischen Uranexposition und Lungenkrebsrisiko hin. Die Studien erlauben jedoch noch keine eindeutige Aussage darüber, ob hier eine ursächliche Beziehung besteht. Zwischen Uranexposition und anderen Erkrankungen wurde kein Zusammenhang festgestellt (siehe [UNSCEAR 2016 Annex D: Biological effects of selected internal emitters - Uranium](https://www.unece.org/docs/publications/2016/UNSCEAR_2016_Report-CORR.pdf) [https://www.unece.org/docs/publications/2016/UNSCEAR_2016_Report-CORR.pdf]).

Uranbergarbeiter

Bei Uranbergarbeitern dominieren Radon- und seine Folgeprodukte die Strahlendosen sehr stark. Bei Mitarbeitern von Aufbereitungsbetrieben ist dies weniger ausgeprägt, daher erscheinen Studien in diesem Bereich am besten geeignet, die gesundheitlichen Auswirkungen von Uran zu untersuchen. Allerdings sind die entsprechenden Kohorten meist vergleichsweise klein und auch hier die Expositionen relativ gering. Daher gibt es zurzeit internationale Bestrebungen die Daten verschiedener Kohorten gemeinsam auszuwerten, um die Aussagekraft zu erhöhen.

Plutonium in uranhaltiger Munition

Transurane wie Plutonium sind künstliche radioaktive Stoffe, die beim radioaktiven Zerfall vorwiegend Alpha-Strahlung abgeben. Eine Strahlenbelastung kann daher, wie im Falle des Urans insbesondere dann erfolgen, wenn Plutonium inkorporiert wird.

Die zu betrachtenden Expositionswege sind somit ebenfalls zum einen das Einatmen von mit Plutonium kontaminierten Staubpartikeln und zum anderen die Aufnahme von Plutonium in den Verdauungstrakt durch kontaminierte Nahrungsmittel, Trinkwasser oder Staub.

Wirkung von Plutonium im Körper

Ein substanzieller Anteil von inhaledem Plutonium verbleibt für längere Zeit in der Lunge und in den pulmonären Lymphknoten. Die Verweildauer ist unter anderem abhängig von Partikelgröße und Löslichkeit. Plutonium, das in die Blutbahn gelangt, wird dann hauptsächlich am Knochen und später im Knochen, sowie in der Leber deponiert. Geringere Anteile gelangen in Muskel- und andere Weichteilgewebe.

Eine innere Strahlenbelastung durch Aufnahme von Plutonium mit der Nahrung liegt wegen der relativ geringen Resorption von Plutonium im Magen-Darm-Trakt des Menschen um etwa den Faktor 1.000 unterhalb der Strahlenbelastung nach Inhalation bezogen auf die gleiche Masse aufgenommenen Plutoniums. Im Vergleich zu Uran wird Plutonium schlechter im Magen-Darm-Trakt resorbiert.

In tierexperimentellen Untersuchungen wurden nach Plutonium-Expositionen in Abhängigkeit vom Expositionspfad und der Dosis Tumoren der Lunge, der Knochen und in geringerem Ausmaß der Leber sowie Leukämien beschrieben.

Es liegen nur wenige Untersuchungen an mit Plutonium exponierten Menschen vor. In einer Untersuchung an mehr als 5000 Beschäftigten einer Atomwaffenfabrik in den USA wurde in Abhängigkeit von der Menge an inkorporiertem Plutonium eine nicht signifikante Erhöhung der Krebserkrankungen gefunden (G.S. Wilkinson *et al.*, *American Journal of Epidemiology*, Vol. 125, Seite 231 - 250, 1987). Für Leukämien ergab sich für eine Latenzzeit von 5 Jahren nach Exposition eine signifikante Erhöhung. Für Tumoren der Knochen und der Leber wurde diese Wirkung aber nicht beobachtet. Bei den Beschäftigten der sowjetischen Plutonium-Fabrik MAYAK im Südrural wurde eine erhöhte Lungenkrebssterblichkeit in Abhängigkeit von der Menge inkorporierten Plutoniums beobachtet (Gilbert *et al.*, *Radiation Research*, Vol. 162, Seite 505-516, 2004).

Abschätzung der Strahlenbelastung durch mögliche Plutonium-Kontaminationen in uranhaltiger Munition

Nach Informationen des Energieministeriums der USA kann die zusätzliche Alpha-Aktivität durch Transurane maximal einige wenige Promille im Vergleich zur gesamten Alpha-Aktivität von abgereichertem Uran betragen. Die nachfolgenden Abschätzungen beruhen auf dieser Angabe zur Höhe einer möglichen Kontamination.

Die spezifische Alpha-Aktivität von reinem Plutonium-239 im Vergleich zu natürlichem Uran ist bezogen auf die gleiche Masse etwa um den Faktor 200.000 höher.

- Natürlich vorkommendes Uran hat eine spezifische Alpha-Aktivität von etwa 25.000 Becquerel je Gramm Uran.
- Die spezifische Alpha-Aktivität von abgereichertem Uran (0,2% Uran-235, 0,001% Uran-234) liegt bei etwa 15.000 Becquerel je Gramm Uran.

Bei einer maximalen Kontamination des Urans aus der Wiederaufbereitung entsprechend den oben genannten Angaben erhöht sich die spezifische Alpha-Aktivität von Staubpartikeln aus uranhaltiger Munition durch Kontaminationen mit Plutonium nur geringfügig.

Die Dosis-Koeffizienten für Plutonium-239 im Vergleich zu Uran-235 bzw. Uran-238 sind bezüglich der Inhalation um etwa den Faktor 20 höher, bezüglich der Aufnahme mit der Nahrung um den Faktor 10 kleiner.

Eine Kontamination uranhaltiger Munition mit Plutonium in der oben genannten Größenordnung führt nicht zu einer wesentlichen Erhöhung der inneren Strahlenbelastung und damit der effektiven Dosis im Vergleich zu nicht kontaminierter uranhaltiger Munition. Eine Erhöhung von Krebserkrankungen über die durch abgereichertes Uran unmittelbar verursachte Erkrankungsrate kann durch eine Kontamination mit Plutonium in der oben genannten Größenordnung nicht erklärt werden.

Bewertung von Leukämiefällen bei der Balkan-Friedenstruppe

Vor einigen Jahren wurde über eine möglicherweise erhöhte Zahl von Leukämiefällen bei Soldaten berichtet, die im Rahmen ihres Einsatzes bei der Balkan-Friedenstruppe in Kontakt mit Uran-Munition gekommen waren. In Deutschland ist in der Altersgruppe der 20- bis 54-jährigen Männer von jährlich etwa 4 tödlichen Leukämiefällen pro 100.000 Personen auszugehen. Ähnliche Zahlen gelten auch für Italien. Bestätigen sich die in den Medien berichteten Zahlen bei den italienischen Soldaten, so liegt die Erkrankungsrate nicht über der zu erwartenden Zahl in dieser Altersgruppe, das heißt, ein zusätzlicher Effekt von Uran-Munition ist aus diesen Zahlen nicht ableitbar.

Strahlenbedingte Leukämien und Krebs treten grundsätzlich erst nach einer gewissen Latenzzeit auf, die bei einigen Jahren bis Jahrzehnten liegt. Die Zeit zwischen dem Auftreten der in der Presse beschriebenen Leukämien, den in den angesprochenen individuellen Fällen in Frage kommenden konkreten Expositionszeiträumen während des Balkaneinsatzes in Verbindung mit den dort abgeschätzten möglichen Expositionshöhen sind nach den bisher bekannten Berichten zu kurz, um einen direkten Zusammenhang zwischen Strahlenbelastung und Erkrankung als wahrscheinlich erscheinen zu lassen.

Die Strahlenexpositionen, die sich aufgrund der bisher vorliegenden wenigen Messungen und den theoretischen Berechnungen aufgrund der bekannten Mengen verschossener Munition mit abgereichertem Uran ergeben, liegen in einer Größenordnung, die einen beobachtbaren Anstieg von strahleninduzierten Krebserkrankungen und Leukämien nicht erwarten lassen.

Neue wissenschaftliche Erkenntnisse

Schon in der Vergangenheit wurden weltweit insbesondere für Leukämien häufig örtliche und zeitliche Häufungen, so genannte Cluster, beobachtet, ohne dass bisher ein einzelner Risikofaktor als auslösende Ursache für die Erkrankungen festgestellt werden konnte.

Neuere wissenschaftliche Erkenntnisse gehen davon aus, dass für die Krebsentwicklung mehrere Risikofaktoren zusammenwirken. Es ist bekannt, dass Leukämien nicht nur durch ionisierende Strahlung ausgelöst werden können. Dafür kommen unter anderem auch Expositionen durch Lösungsmittel, wie zum Beispiel durch Benzol in Treibstoffen, in Frage. Aus diesen Gründen ist es zunächst wichtig, festzustellen, ob es überhaupt zu einer Häufung von Krebsfällen und Leukämien gekommen ist.

Weitere Informationen

- Was ist ionisierende Strahlung?
- Wie wirkt ionisierende Strahlung?
- Krebserkrankungen

Stand: 15.10.2014

Wie bewerten Sie diesen Artikel?

☒ hilfreich ☐ nicht hilfreich

Kommentar

E-Mail-Adresse

Telefonnummer

Bewertung absenden

© Bundesamt für Strahlenschutz