

*"Errare humanum est,  
perseverare diabolicum"*  
Irren ist menschlich, am Irrtum festhalten teuflisch

## Hintergrundinformation zu einem aktuellen Thema

Januar 2000

---

# Depleted Uranium

(abgereichertes Uran)

---

1. Einleitung 2. Uran ein ganz "gewöhnlicher" Stoff? 3. Warum wird DU in Munition und Panzerungen verwendet?  
4. Wege des abgereicherten Urans in die Umwelt und zum Menschen 5. Zur Wirkung von chemischen Giften und  
ionisierender Strahlung. 6. Wie wirkt abgereichertes Uran auf den Menschen? 7. Folgen des Einsatzes von DU im  
Irak und auf dem Balkan? 8. Schlusswort 9. Weiterführende Informationsquellen

---

## 1. Einleitung

Ein Zitat aus der *Alternativpresse*:

### ***"Irak-Balkan: die vom Menschen ausgelöste Apokalypse!"***

Solche und andere erschreckende Aussagen sind in der letzten Zeit immer öfter zu lesen und zu hören. Dabei geht es um die angeblich *"unkontrollierbaren, unwiderruflichen und vernichtenden"* Folgen des Einsatzes einer neuartigen Munition im Irak und im Balkan durch die USA und Grossbritannien, einer Munition die, wie behauptet wird, aus einem *"hochgiftigen und radioaktiven"* Material besteht, nämlich aus **abgereichertem Uran** (DU). In Fachkreisen war bekannt, dass solche uranhaltige Munition seit längerer Zeit bei den Amerikanern und den Engländern in Entwicklung stand. In der neueren Zeit wurde dieses abgereicherte Uran auch als Bestandteil von Munition und von Panzerungen bei der Truppe eingeführt. In der breiten Öffentlichkeit wurde allerdings nur wahrgenommen, dass im zweiten Golfkrieg die irakischen Panzer zu Hunderten abgeschossen wurden. Dass dieser "Erfolg" zu einem grossen Teil dem massiven Ersteinsatz dieser neuen Waffenart zuzuschreiben war, blieb verborgen und wurde erst etwa ein Jahr später publik.

Beruhet die Schreckensmeldungen und Schreckensbilder einer *"unaufhaltbaren"* Zunahme von Krebsfällen, von Missbildungen bei Neugeborenen in der betroffenen Bevölkerung dieser Kriegsschauplätze auf Tatsachen, handelt es sich um blosser journalistische Übertreibungen oder eventuell gar um staatliche Propaganda?

Sind die Mitglieder der Hilfsorganisationen die in diesen Gebieten im Einsatz stehen, sind die friedenserhaltenden Truppen im Kosovo – dabei auch unsere Schweizer Soldaten –, einer Gefährdung durch das herumliegende *"strahlende"* Uran ausgesetzt?

Die vorliegende Hintergrundinformation des AC-Laboratorium Spiez geht diesen Fragen **aus technisch-wissenschaftlicher Sicht** nach und versucht den heutigen Kenntnisstand über die Verwendung von Munition aus abgereichertem Uran und über die möglichen Folgen für Mensch und Umwelt zusammenzufassen.

## 2. Uran, ein ganz "gewöhnlicher" Stoff?

### Was ist eigentlich Uran?

Uran ist auf den ersten Blick nichts Spezielles. Es ist ein chemisches Element, dasjenige mit der Ordnungszahl 92, ein silbergraues Metall, das mit einem durchschnittlichen Vorkommen von vier Gramm pro Tonne in der Erdkruste häufiger vorkommt als beispielsweise Quecksilber, Silber oder Gold. Uranhaltiges Gestein findet sich auch in der Schweiz, unter anderem an der Grimsel und im Wallis. **Natururan** besteht aus verschiedenen sogenannten **Isotopen**<sup>1</sup>, nämlich zu 99.2836% aus <sup>238</sup>U, zu 0.7110% aus <sup>235</sup>U und zu 0.0054% aus <sup>234</sup>U. So gesehen ist Uran etwas ziemlich gewöhnliches. Uran hat aber andererseits auch einige spezielle **Eigenschaften**:

Uran hat eine sehr hohe Dichte von 19.07 g/cm<sup>3</sup>, nur wenig tiefer als Wolfram mit 19.3 g/cm<sup>3</sup> und einiges höher als Blei mit 11.35 g/cm<sup>3</sup>. Metallisches Uran ist chemisch sehr reaktiv. In Pulverform reagiert es mit dem Luftsauerstoff und entzündet sich spontan; man sagt, Uran ist pyrophor. Die herausragende Eigenschaft ist aber, dass alle Uran-Isotope **radioaktiv** sind, das heisst ihre Atomkerne sind instabil, sie verwandeln sich von selber unter Aussendung von Strahlung in Atomkerne eines anderen Elementes, können sich sogar unter Aussendung von Neutronen spontan in zwei etwa gleich grosse Bruchstücke aufspalten.

### **Zwei wichtige Uran-Verbindungen:**

Die **Uranoxide** UO<sub>2</sub> und UO<sub>3</sub> entstehen bei der Verbrennung von Uran und sind schlecht wasserlöslich.

**UF<sub>6</sub>**, Uranhexafluorid, ist bei Raumtemperatur ein weisser kristalliner Festkörper, der bei 56.2°C in die Gasphase übergeht.

### Was ist nun "abgereichertes" Uran?

Seine eminente Bedeutung in der zivilen und militärischen Nukleartechnik (Kernkraftwerke zur Stromerzeugung, Nuklearwaffen) hat das Uran dadurch erlangt, dass das **Isotop** <sup>235</sup>U ein sogenanntes **Spaltmaterial** darstellt, das heisst, Kerne des Isotops <sup>235</sup>U können sich nicht nur spontan spalten, sie können sich auch spalten, wenn sie von einem Neutron getroffen werden; bei dieser Spaltung werden dann wieder Neutronen freigesetzt, die weitere <sup>235</sup>U-Kerne spalten können und so ermöglichen, dass eine selbsterhaltende Kettenreaktion in Gang kommt.

Für die meisten Anwendungen in der Nukleartechnik reicht der vergleichsweise geringe <sup>235</sup>U-Anteil von 0.711% im Natururan nicht aus. **Anreicherung** ist angesagt: Dabei werden die Isotope des Natururans aufgeteilt in ein Gemisch mit mehr <sup>235</sup>U und eines mit nur noch wenig <sup>235</sup>U; der Vorgang heisst **Isotopentrennung**. Der Anteil mit mehr als 0.711 % <sup>235</sup>U wird **angereichert**, derjenige mit weniger wird

**Fazit:** *Abgereichertes Uran ist also einfach ein **Abfallprodukt** der Herstellung von Brennstäben für Kernkraftwerke und nukleare Schiffsantriebe bzw. der Herstellung von hochangereichertem Uran für Atombomben.*

**abgereichert** genannt. Üblicherweise wird auf einen Restgehalt von ca. 0.2-0.3% <sup>235</sup>U abgereichert.

Ausgangsmaterial für die Isotopentrennung ist Uranhexafluorid in der Gasphase, in welcher sich der geringe Massenunterschied zwischen <sup>235</sup>UF<sub>6</sub> und <sup>238</sup>UF<sub>6</sub> ausnützen lässt. Obschon UF<sub>6</sub> hoch korrosiv ist, wird das abgereicherte Uran üblicherweise als UF<sub>6</sub> in fester Form gelagert.

### Wie radioaktiv ist abgereichertes Uran?

Radioaktive Atomkerne zerfallen unter Aussendung von Strahlung in Atomkerne eines anderen Elements. Ein Mass für die Aktivität ist das Becquerel (Bq). Eine Aktivität von 1 Bq bedeutet, dass ein Zerfall pro Sekunde stattfindet. Es werden verschiedene Arten von Kernzerfällen unterschieden.

Bei einem **α-Zerfall** sendet der Atomkern ein α-Teilchen, bestehend aus zwei Protonen und zwei Neutronen aus und wird dementsprechend leichter.

---

<sup>1</sup>Isotope sind chemisch kaum unterscheidbare Atome ein und desselben Elements, also mit gleichviel Protonen im Atomkern, die sich aber in der Anzahl Neutronen und damit in ihrer Masse und in ihren kernphysikalischen Eigenschaften unterscheiden. Isotope sind entweder stabil oder instabil. Instabile Isotope werden radioaktiv genannt.

Bei einem  **$\beta$ -Zerfall** emittiert der Atomkern ein Elektron, ein sogenanntes  $\beta$ -Teilchen, bleibt aber insgesamt etwa gleich schwer.

Sowohl  $\alpha$ - als auch  $\beta$ -Zerfälle können von **Gamma-Strahlung**, einer Art Lichtstrahlen, besser gesagt von hochenergetischer elektromagnetischer Strahlung begleitet sein.

Alle drei hier zur Diskussion stehenden Uranisotope senden bei ihrem Zerfall  **$\alpha$ -Teilchen** aus.

	Halbwertszeit [Jahre]	Aktivität [Bq/g]	Anteil in Natururan [% Masse]	Beitrag zur Aktivität von 1 Gramm Natururan [Bq]	Anteil in DU [% Masse]	Beitrag zur Aktivität von 1 Gramm DU [Bq]
<sup>234</sup> U	245'000	231'000'000	0.0054	12'470	0.0009	2'080
<sup>235</sup> U	704'000'000	80'010	0.7110	570	0.2	160
<sup>238</sup> U	4'470'000'000	12'440	99.2836	12'350	99.8	12'420
<b>Natururan</b>				<b>ca. 25'000</b>		
<b>DU</b>						<b>ca.15'000</b>

**Tabelle 1:**  $\alpha$ -Aktivität von Natururan und von abgereicherem Uran

Tabelle 1 zeigt, dass die  $\alpha$ -Aktivität von DU um rund 40% tiefer liegt als diejenige von Natururan. Die beim  $\alpha$ -Zerfall des Urans neu entstehenden Kerne, die Zerfallsprodukte, sind nicht stabil, sondern zerfallen ihrerseits wieder, meist unter Aussendung von  $\beta$ -Teilchen. Zur Aktivität von Uran muss somit die Aktivität der Zerfallsprodukte hinzugerechnet werden. Die  **$\beta$ -Strahlung der Zerfallsprodukte** von Natururan und von DU ist praktisch gleich intensiv und beträgt etwa **25'000 Becquerel/Gramm**.

Zusammen **mit** seinen **Zerfallsprodukten** hat abgereichertes Uran eine Aktivität von ca 40'000 Bq/g, d.h. es finden pro Gramm und Sekunde etwa **vierzigtausend Zerfälle** statt. Nur etwa 100 davon sind von hochenergetischer Gammastrahlung begleitet.

Zum Vergleich die Aktivitäten einiger radioaktiver Materialien:

Iod 131	4'598'000'000'000'000 Bq/g
Caesium137	3'206'000'000'000 Bq/g
Plutonium 239	2'298'000'000 Bq/g
Natururan mit Zerfallsprodukten	ca. 50'000 Bq/g
abgereichertes Uran mit Zerfallsprodukten	ca. 40'000 Bq/g

**Fazit:** *Im Vergleich zu anderen radioaktiven Substanzen sind weder Natururan noch abgereichertes Uran speziell stark radioaktiv.*

Aufgrund seiner natürlichen Häufigkeit kommt Uran überall in unserer Umwelt vor; im Wasser, in der Nahrung und in der Atemluft. Jeder von uns hat in seinem Körper Spuren von Uran, im Bereich von einigen Millionstelgramm. Dies liefert jedoch nur einen winzigen Beitrag zum durchschnittlichen Inventar von etwa **7000 Becquerel pro Mensch**. Zur Hauptsache besteht dieses Inventar aus dem natürlich vorkommenden radioaktiven Kalium-40.

### **Wieviel abgereichertes Uran gibt es?**

Im Juni 1998 lagerte das DOE (Department of Energy) der USA 734'000 Tonnen Uranhexafluorid. Zwei Drittel davon, also etwa 500'000 Tonnen, sind abgereichertes Uran, der Rest Fluor. Zahlenangaben zu den "Vorräten" anderer Länder mit Anreicherungsanlagen sind nicht publiziert. Zusammen lagern sie sicher mindestens noch einmal so viel DU. In den Jahren 1995/96 wurden weltweit je gegen 35'000 Tonnen Uran gefördert. Davon ausgehend lässt sich abschätzen, dass jährlich zusätzlich ca. 30'000 Tonnen zu den jetzt schon riesigen DU-Lagern hinzukommen.

## Wie kann abgereichertes Uran nachgewiesen werden?

Mit einem herkömmlichen Handmonitor zur Detektion von Radioaktivität kann ein DU-Metalstück aus einer Distanz von einigen zehn Zentimetern problemlos detektiert werden.

Da die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen in Luft eine sehr geringe Reichweite aufweisen und nur wenig Gamma-Strahlung vorhanden ist, wird es jedoch sehr schwierig, Reste von Munition aus DU auf eine Distanz von einem Meter oder mehr zu detektieren, vor allem wenn die Bruchstücke nicht an der Bodenoberfläche liegen sollten. Sogar für Kilogramm-Mengen von DU betragen die maximalen Detektionsdistanzen mit hochauflösenden Gamma-Detektoren und Messzeiten von Minuten nur einige wenige Meter.

Eine effiziente und grossflächige Suche nach DU-Bruchstücken ist demnach praktisch nicht möglich. Eine Bestimmung des DU-Gehalts in einer Bodenprobe oder im Staub eines Luftfilters mit Hilfe von Gamma-Detektoren ist nur schlecht oder gar nicht möglich. Dies macht es äusserst schwierig, einen zuverlässigen DU-Belastungskataster auf den ehemaligen Kriegsschauplätzen im Irak oder im Kosovo zu erstellen.

Zuverlässige **quantitative** Angaben zur DU-Belastung von Luft oder Böden müssen in speziell ausgerüsteten Laboratorien mittels Massenspektrometrie und/oder radiochemischen Trennmethode, gefolgt von  $\alpha$ -Spektrometrie, ermittelt werden. Ein Speziallabor wie beispielsweise das AC-Laboratorium Spiez könnte massenspektrometrisch etwa 100 Proben pro Woche, radiochemisch höchstens 10-20 Proben pro Woche analysieren.

## Wozu kann man abgereichertes Uran überhaupt verwenden?

Viele **zivile** Anwendungen von DU stehen im Zusammenhang mit dem hohen spezifischen Gewicht und dem niedrigen Preis. Dort wo maximale Masse in einem beschränkten Volumen gefragt ist, wird abgereichertes Uran verwendet, so beispielsweise als Ausgleichsgewicht in Steuerklappen von Grossraumflugzeugen (je 1500 kg in den ersten 550 Boeing 747) und im Kiel von Rennjachten. Eine andere Anwendung ergibt sich aus der Tatsache, dass Gamma-Strahlung durch abgereichertes Uran etwa fünfmal besser abgeschirmt wird als durch eine gleich dicke Bleischicht; es wird zur Herstellung von Behältern für abgebrannte Brennstäbe aus Kernkraftwerken verwendet. Im **militärischen** Bereich wird DU in Panzerungen und in panzerbrechender Munition verwendet. Nebenbei gesagt, diese Verwendung von **abgereichertem** Uran hat mit der anderen Verwendung von Uran in **hochangereicherter Form** bei der Herstellung von Atombomben nichts, aber auch gar nichts zu tun!

## **3. Warum wird DU in Munition und Panzerungen verwendet?**

In Legierung mit 2% Molybdän oder 0.75% Titan und nach einer speziellen Temperaturbehandlung ist Uran so hart wie gehärteter Werkzeugstahl. Kombiniert mit seiner hohen Dichte ergibt sich ein Material, welches sehr gut zur Herstellung von Pfeilmunition geeignet ist.



Figur 1: Pfeilmunition kurz nach dem Abschuss, im Moment der Ablösung des Pfeils von seinem Treibspiegel.

Aus der US-Fachliteratur ist zu entnehmen, dass beim Aufprall auf eine Panzerung Pfeile aus DU ihre Form besser behalten, als solche aus Wolfram oder Stahl. Nach diesen Quellen "schärft" sich der Pfeil beim Aufschlag, im Gegensatz zu den teureren Wolframpfeilen, die sich zu einer Art Pilz verformen. Möglicherweise sind niedriger Schmelzpunkt (1132°C) und die pyrophore Eigenschaft von DU für dieses Verhalten verantwortlich. Jedenfalls ergeben sich mit DU-Munition in der beschossenen Panzerung kleinere dafür tiefere Löcher als mit herkömmlicher Munition desselben Kalibers. Nach dem Durchdringen der Panzerung, sobald der DU-Pfeil wieder mit Luft in Berührung kommt, verbrennt das, was vom DU nun in flüssiger Form oder als Pulver vorhanden ist, und vergrössert so die Zerstörungswirkung. Oft wird

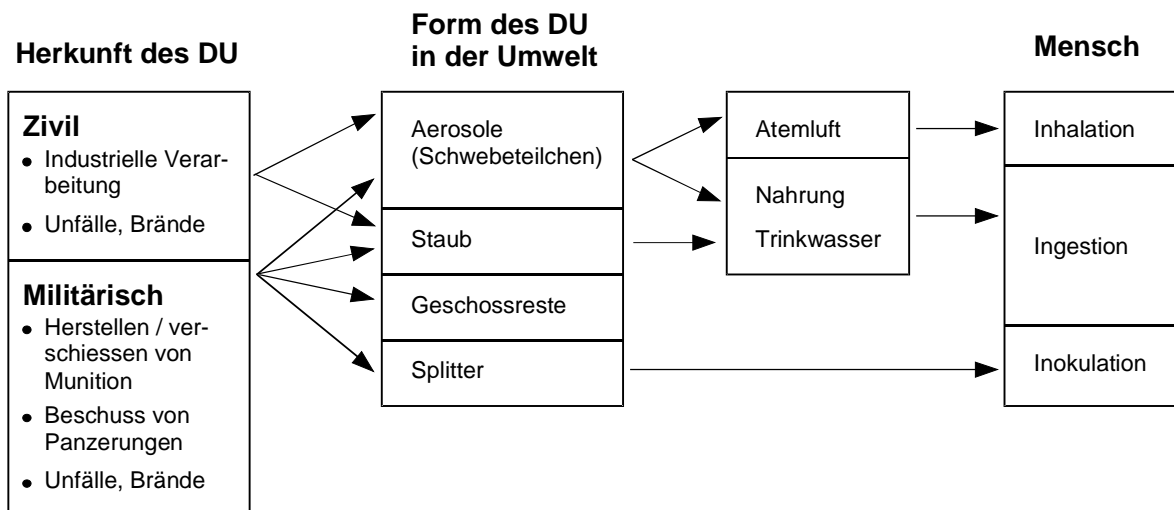
dadurch auch der Treibstofftank in Brand gesetzt und/oder die im Panzer vorhandene Munition zur Detonation gebracht.

In Kampfpanzern, beispielsweise bei neueren Versionen des US amerikanischen Abrams-Panzers, bewirken die in konventionellen Stahlplattenpanzerungen eingelagerten DU-Platten eine Verbesserung der Schutzwirkung. Im zweiten Golfkrieg wurden Panzerungen von irakischen T-72 mit DU-Munition auf mehr als 3 km Distanz durchschossen, während konventionelle irakische Munition nicht in der Lage war, auf 400 m Distanz DU enthaltende "Sandwich"-Panzerungen zu durchdringen.

Wegen der Überlegenheit dieser Munitionsart ist sie denn auch schon in einer Reihe von Ländern bei der Truppe eingeführt. Die eindrucklichen Ergebnisse im Golfkrieg dürften dazu führen, dass die Anwender noch zahlreicher werden. Die Schweiz hat übrigens vor 20 Jahren darauf verzichtet, panzerbrechende Geschosse zu entwickeln, die radioaktive Materialien enthalten.

#### 4. Wege des abgereicherten Urans in die Umwelt und zum Menschen

Je nach Verwendung des DU existieren unterschiedliche Wege, auf denen dieses in die Umwelt und zum Menschen gelangen und dort eventuell schädigende Wirkungen entfalten kann. Der eine Hauptweg beruht auf der Tatsache, dass Uran radioaktiv ist und so als dauernde Strahlenquelle wirkt, die den Menschen von **aussen (extern)** her bestrahlt. Nach Aufnahme in den Körper über die Atemluft (Inhalation), mit Wasser und Nahrung über den Verdauungstrakt (Ingestion) oder über Verletzungen (Inokulation) wird dieser von **innen (intern)** her belastet. Dieser zweite Hauptweg ist nachfolgend etwas detaillierter dargestellt.



Figur. 2. Interne Belastung: Vereinfachte Darstellung der Wege des DU in die Umwelt und zum Menschen.

Bei der **industriellen Verarbeitung** von DU stehen sowohl im Normalbetrieb wie auch bei Unfällen die Bildung und Emission von feinem Schwebestaub (Aerosole) im Vordergrund.

Bei **Bränden**, z.B. in DU-Munitionslagern oder nach Absturz von Flugzeugen mit DU-Ballast (beispielsweise beim Absturz eines Jumbos in einem Vorort von Amsterdam im Jahre 1992), kann das DU zu schwer löslichem DU-Oxidpulver verbrennen. Dieses wird einmal die Brandstätte selber kontaminieren, zum Teil wird es aber auch als feines Aerosol in die Luft getragen.

Beim **Durchschlagen von Panzerungen** durch Hochgeschwindigkeitsgeschosse können Personen durch herumfliegende DU-Splitter verletzt werden. Je nach Material und Dicke der getroffenen Panzerungen wird ein kleiner Teil des DU in ein feines Aerosol verwandelt (typisch sind etwa 10% für harte Panzerungen). Das DU-Aerosol verbrennt zu grösstenteils schwerlöslichen Uranoxiden. Diese können in geschlossenen Räumen (Panzer, Bunker) in relativ hohen Konzentrationen einige Zeit in der Luft verbleiben. Der ins Freie gelangende Anteil wird rasch verdünnt und verfrachtet. Der Rest des DU-Geschosses wird in Form von grösseren oder kleineren metallischen Bruchstücken im Panzer oder in der näheren Umgebung liegenbleiben, wie auch Geschosse, die ihr Ziel verfehlt haben.

In allen betrachteten Fällen können DU-Aerosole eingeatmet werden. Nach der Ablagerung des Aerosols auf dem Boden besteht die Möglichkeit, dass es wieder aufgewirbelt und dann eingeatmet wird oder mit Nahrung oder Wasser verschluckt wird und so in den menschlichen Körper gelangt.

## 5. Zur Wirkung von chemischen Giften und ionisierender Strahlung<sup>2</sup>

Bei der **chemischen Toxizität** eines Stoffes existiert im allgemeinen eine Grenzkonzentration im menschlichen Körper, unterhalb derer keine Schädigung mehr auftritt. Durch die Einhaltung von gesetzlich festgelegten Grenzwerten für die Konzentration des Schadstoffes in der Atemluft, in Wasser und Lebensmitteln kann sichergestellt werden, dass auch nach langzeitiger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu befürchten sind.

Die schädigende Wirkung der **ionisierenden Strahlung** ist im Wesentlichen eine Folge der Energieabsorption im Körpergewebe, Strahlendosis genannt. Masseinheit dieser Strahlendosis ist das Sievert (Sv), abgeleitet davon das Millisievert (1 Sv = 1000 mSv). Um einen Bezug zwischen der Aktivität eines radioaktiven Stoffes (in Bq) und der von ihm verursachten Strahlendosis (in Sv) herstellen zu können, muss bekannt sein, ob dieser den Körper von ausserhalb oder intern bestrahlt, um welche Strahlenart es sich handelt ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) und welche Energie die Strahlung hat. Von der ICRP<sup>3</sup> und anderen Organisationen wurden entsprechende Umrechnungsfaktoren für interne und externe Bestrahlung des Menschen publiziert.

Wie im Falle der chemischen Toxizität existiert auch für ionisierende Strahlung eine Schwellendosis, unterhalb derer keine **akuten** Strahlenschäden mehr beobachtet werden. Sie liegt im Bereich von 1 Sv. Für das Auftreten von **Spätschäden** einer Bestrahlung in Form einer erhöhten Wahrscheinlichkeit, einmal später an Krebs zu erkranken oder eine Schädigung des Erbgutes zu erleiden, ist jedoch keine Wirkungsschwelle bekannt. Vorsichtshalber wird deshalb im Strahlenschutz angenommen, dass Spätschäden auch im Niedrigdosisbereich dosisproportional bis hin zur Nulldosis auftreten. Die ICRP rechnet mit dem Auftreten von etwa 0.005% zusätzlichen Krebsfällen und Erbschäden pro mSv Ganzkörperdosis. Um sowohl akute Strahlenschäden zu vermeiden und Spätschäden auf ein sehr tiefes Niveau zu limitieren, wurden in internationalen Empfehlungen und nationalen Gesetzen Dosisgrenzen sowie Grenzwerte für die Konzentration von künstlichen radioaktiven Stoffen in Umwelt, Atemluft und Nahrungsmitteln festgelegt. Einige Zahlenwerte hierzu sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Beruflich Strahlenexponierte	Ganzkörperbestrahlung	20 mSv pro Jahr
	Haut, Extremitäten	500 mSv pro Jahr
Einzelpersonen der allgemeinen Bevölkerung	Ganzkörperbestrahlung	1 mSv pro Jahr

**Tabelle 2.** Dosisgrenzwerte gemäss ICRP und schweizerischer Strahlenschutzgesetzgebung.

In diesem Zusammenhang sollte auch beachtet werden, dass ein Durchschnittsschweizer unvermeidlich eine aus natürlichen Strahlenquellen stammende Strahlendosis von etwa 3 mSv pro Jahr akkumuliert.

## **6. Wie wirkt abgereichertes Uran auf den Menschen ?**

Die Schadwirkung von DU, oder anders ausgedrückt seine Gefährlichkeit für den Menschen, wird, wie bereits erwähnt, durch zwei seiner Eigenschaften begründet:

- Uran ist chemisch toxisch, ähnlich wie andere Schwermetalle, beispielsweise Blei und Quecksilber.
- Alle Uran-Isotope sind radioaktiv, d.h. sie emittieren ionisierende Strahlung.

DU ausserhalb des Körpers wirkt nur über die Strahlung. Nach einer Inkorporation müssen sowohl die chemische als auch die radiologische Wirkung nebeneinander betrachtet werden. Die nachfolgende Betrachtung fokussiert auf die Situation in den ehemaligen Kriegsgebieten des Irak und des Balkan.

### Externe Bestrahlung durch DU

Ausserhalb des Körpers befindliches DU wirkt ausschliesslich via die emittierte  $\gamma$ - und  $\beta$ -Strahlung, da die  $\alpha$ -Strahlung in der obersten Hautschicht absorbiert wird und das lebende Gewebe nicht erreicht.

Die externen Strahlendosen **in der Nähe von DU** sind sehr gering. 1 kg DU führt in einer Distanz von 1 m zu einer Dosis von weniger als 1 mSv pro Jahr. So soll die Besatzung eines Abrams-Kampfpanzers, die

<sup>2</sup> Alpha-, Beta- und Gammastrahlung erzeugen auf ihrem Weg durch Materie **lonen**, d.h. positiv oder negativ elektrisch geladene Atome und Moleküle.

<sup>3</sup> ICRP: Abkürzung für International Commission on Radiological Protection (Int. Kommission für Strahlenschutz)

sich in nächster Nähe der mitgeführten DU-Munition sowie der Zusatzpanzerung aus DU (einige 1000 kg) befindet, mit nur ca. 0.001 mSv pro Stunde bestrahlt werden.

Wird eine **DU-Oberfläche** mit der blossen Haut berührt, so resultiert nach einigen amerikanischen Publikationen eine lokale Hautdosis von etwa 2 mSv pro Stunde, nach anderen Quellen jedoch wesentlich weniger. Ein an sich sehr unwahrscheinlicher tagelanger direkter Kontakt mit der gleichen Hautstelle könnte so zu einer nicht unerheblichen Hautdosis führen, die jedoch immer noch unterhalb der legalen jährlichen Dosisgrenze für beruflich Strahlenexponierte liegen würde.

Strahlendosen in dieser Grössenordnung sind nicht in der Lage, akute Strahlenschäden auszulösen; einzige Folge wäre eine kaum quantifizierbare Zunahme des Krebsrisikos.

**Fazit:** *In den ehemaligen Kriegsgebieten liefert das DU nur einen winzigen Beitrag zur stets vorhandenen externen Strahlenbelastung durch natürliche Strahlenquellen. Ein längerer direkter Hautkontakt zu DU-Munitionsteilen sollte jedoch vermieden werden.*

### **Interne Belastung durch Inhalation von Aerosolen**

Uran in Form von feinem Schwebestaub in der Luft, wie er beim Uranerzabbau, in der Uranindustrie, beim Auftreffen von Hochgeschwindigkeitsgeschossen auf Panzerungen sowie beim Verbrennen von Uran entsteht, kann beim Einatmen in die Lunge gelangen. Es werden jedoch nur etwa 25% der Teilchen mit Durchmessern kleiner als etwa 10 Mikrometern in der Lunge abgelagert.

Entscheidender Faktor für die Wirkung ist die **Löslichkeit** des inhalierten DU in Körperflüssigkeiten. Amerikanische Untersuchungen haben gezeigt, dass sich nach dem Aufprall von DU-Geschossen auf harte Panzerungen etwa 17 % des gebildeten DU-Aerosols in leicht löslicher Form befindet. Hingegen sollen sich beim Verbrennen von DU im offenen Feuer praktisch keine löslichen Uranoxide bilden.

Befindet sich das Uran in einer **chemisch löslichen** Form, so wird der grössere Teil relativ rasch, innerhalb von Tagen, via Blutbahn und die Nieren wieder ausgeschieden. Die Niere ist dabei gleichzeitig das Zielorgan für die chemisch-toxische Schädigungswirkung des Urans, die sich in Funktionseinbussen bis hin zum totalen Organversagen äussern kann. Eine einmalige Inhalation von 8 resp. 40 mg Uran in löslicher Form gilt als Schwellenwert für das Auftreten von vorübergehenden respektive permanenten Nierenschäden. In der US-Uranindustrie gelten heute 0.05 mg Uran pro m<sup>3</sup> Luft in löslicher Form als sicherer Grenzwert für chronische Exposition der Arbeiter. In der Literatur werden jedoch aus den Anfangsjahren der Uranindustrie viel höhere Expositionen von bis zu 10 mg/m<sup>3</sup> erwähnt, ohne dass gesundheitliche Beeinträchtigungen bei den Beschäftigten aufgetreten wären.

Liegt das Uran in **schlecht löslicher** Form vor, kann es über lange Zeit (Jahre) in der Lunge liegen bleiben. Die Niere wird dabei kaum belastet, da die mobilisierten Uranmengen gering sind. Hingegen resultiert als Folge der Radioaktivität des DU eine Strahlenbelastung der Lunge und der Bronchien. Die ICRP rechnet für Inhalation von schwer löslichem Uran-238 mit einem Dosisfaktor von 0.1 mSv/mg. Akute Strahlenschäden sind deshalb ausser bei extremen Uran-Konzentrationen nicht zu erwarten. Eine inhalierte DU-Menge von beispielsweise 100 mg, die in löslicher Form zu permanenten Nierenschäden führen könnte, würde demnach in unlöslicher Form schlimmstenfalls zu einer geringen Zunahme des Krebsrisikos von etwa 0.04% führen. Gestützt auf Versuche wurde in den USA berechnet, dass die Besatzung eines von DU-Pfeilgeschossen getroffenen Panzers bis zu 50 mg Uranaerosol inhalieren könnte. Diese Menge könnte eventuell zu geringen, reversiblen, toxisch bedingten Schäden in der Niere sowie zu einer internen Strahlendosis in der Grössenordnung von weniger als der Jahresgrenzdosis für beruflich strahlenexponierte Personen führen. Für Personen im Freien neben getroffenen Panzern oder brennendem DU dürfte die Aerosolbelastung um Grössenordnungen geringer sein, da sich das Aerosol schnell verflüchtigt und ablagert. Auch für Personen, die sich nach Absetzen der Aerosole in die Panzer oder in die nähere Umgebung von Abbrandstellen begeben, dürfte die interne Belastung um Grössenordnungen kleiner sein, da bei diesen Tätigkeiten höchstens ein kleiner Teil der Aerosole wieder aufgewirbelt und eingeatmet wird. Diese Gefährdung wird durch klimatische Einflüsse (Regen, Schnee usw.) im Lauf der Zeit weiter verringert.

**Fazit:** *In den ehemaligen Kriegsgebieten stellt die Inhalation von DU-Aerosolen den kritischen Pfad zum Menschen dar. Eine akute Beeinträchtigung der Gesundheit ist praktisch nur aufgrund der chemischen Toxizität von Uran zu befürchten, und dies auch nur nach Aufnahme von grösseren Mengen in löslicher Form. Die dortige Zivilbevölkerung hat kaum derartige Mengen an DU inhaliert.*

### **Interne Belastung durch Ingestion von DU**

Uran in leicht löslicher Form wird aus dem Verdauungstrakt nur zu etwa 2-5 % in die Blutbahn aufgenommen. Die Schwellenwerte für das Auftreten von reversiblen resp. permanenten Nierenschäden nach einmaliger Einnahme dürften deshalb bei ähnlichen Werten liegen wie für den Inhalationspfad. Uran in Form von Uranoxid, das im Körper schlecht löslich ist, wird aus dem Verdauungstrakt praktisch nicht aufgenommen und entwickelt deshalb selbst in Grammengen keine chemisch toxische Wirkung.

Da ingestiertes Uran entweder nicht aufgenommen oder dann über die Niere rasch wieder ausgeschieden wird, sind die infolge der Radioaktivität des DU akkumulierten Strahlendosen um Größenordnungen geringer als auf dem Inhalationspfad und somit praktisch vernachlässigbar.

**Fazit:** Die Ingestion von DU stellt für die Bevölkerung in den ehemaligen Kriegsgebieten praktisch keine Gefährdung dar.

### **Interne Belastung durch Aufnahme von DU über Verletzungen**

Wird DU über Verletzungen direkt in den Körper eingebracht, so entscheidet auch hier die Löslichkeit über die toxikologische Wirkung. Lösliches Uran wird über die Niere ausgeschieden und kann diese bei Überschreiten der Schwellendosis schädigen. Unlösliches DU bleibt über längere Zeit im Gewebe liegen und verursacht dort relativ hohe, jedoch lokal begrenzte Strahlenbelastungen, die langfristig zu einer geringen Zunahme des Krebsrisikos führen. Praktische Bedeutung hat dieser Expositionspfad für Panzerbesatzungen, die bei Treffern mit DU-Pfeilmunition durch Uransplitter verletzt wurden. In den USA existiert eine Gruppe von etwa 30 Golfkriegsveteranen, die mit nicht entfernbaren DU-Splitttern in ihrem Körper leben. Dabei handelt es sich um Opfer von sogenannten "friendly fire incidents", im Klartext: "Sie wurden irrtümlich (und nicht besonders freundlich) von eigenen Truppen beschossen". Anhand von Urinuntersuchungen lässt sich feststellen, dass das Uran nur sehr langsam mobilisiert wird. Bis heute konnten bei den Betroffenen keine Anzeichen von Nierenschädigungen oder Strahlenschäden nachgewiesen werden.

**Fazit:** Für die Bevölkerung in den ehemaligen Kriegsgebieten hat die Inokulation von DU keine Bedeutung.

## **7. Folgen des Einsatzes von DU im Irak und auf dem Balkan**

### **Wieviel DU wurde eingesetzt?**

Im Irak wurden von amerikanischen und englischen Truppen ca. 300 Tonnen DU in Munition verschossen. Die NATO hat kürzlich den Einsatz von DU-Geschossen im Kosovo bestätigt. Auf diesem Kriegsschauplatz sollen ca. 10 Tonnen DU verwendet worden sein.

Die oft gehörte Behauptung, dass mit diesen Einsätzen auf billige Art ein Abfallproblem "gelöst" worden wäre, stimmt sicher nicht. Die gesamte Menge DU die im Irak und im Kosovo in Munition verschossen wurde, entspricht nämlich der weltweiten DU-Produktion von nur knapp 4 Tagen.

### **Auswirkung auf Soldaten**

Die vor Einführung der DU-Waffen in den USA gemachten Abschätzungen und Berechnungen haben zur Beurteilung geführt, dass die Besatzungen von Panzern, die von DU-Geschossen getroffen werden und diesen Beschuss ohne grössere Verletzungen überleben, höchstens von reversiblen, kurzzeitigen Beeinträchtigungen der Nierenfunktion sowie von Strahlenbelastungen unterhalb der Jahresgrenzwerte betroffen sein dürften. Diese Risiken wurden im Vergleich zu den anderen, weitaus grösseren Risiken bei Kriegseinsätzen als akzeptabel betrachtet. Die Abschätzungen sind eher konservativ und erscheinen plausibel. Die medizinischen Untersuchungen an einer Gruppe von etwa 100 im Golfkrieg durch irrtümlichen DU-Beschuss ihrer Panzer direkt exponierten Soldaten haben bis heute keine dem DU zuzuschreibenden Gesundheitsschäden aufgedeckt. Insofern scheint dies die Prognosen zu bestätigen. Etwas unsicherer sind Prognosen über langzeitige Gesundheitsbeeinträchtigungen für DU-Splitterverletzte, obschon bis heute auch in dieser etwa 30 Personen umfassenden Gruppe keine negativen Auswirkungen nachgewiesen werden konnten.

Über die DU-Belastung von weiteren, viel grösseren Gruppen von Golfkriegsveteranen, die sich in der weiteren Umgebung von getroffenen Panzern und Munitionsbränden aufgehalten haben oder solche Orte erst nachträglich betreten haben, können bis heute höchstens grobe Schätzungen angestellt werden, da zu diesen Fällen weder Messdaten über DU-Immissionen noch Dosisberechnungen publiziert wurden. Dies gilt auch für Personal, das bei Reparatur-, Wartungs- und Aufräumarbeiten zum Teil noch nicht nach zivilen Normen gearbeitet hatte. Es lässt sich jedoch abschätzen, dass die DU-Aufnahmen bei diesen Personengruppen viel geringer waren, als bei den direkt exponierten. Die später bei vielen Golfkriegsveteranen beobachteten und unter dem Namen „Golfkriegssyndrom“<sup>4</sup> bekanntgewordenen gesundheitlichen Probleme können mit Uranexpositionen nicht erklärt werden und müssen deshalb anderen Ursachen zugeschrieben werden.

### **Folgen für Zivilbevölkerung und Umwelt**

Weder für die Golfregion noch für das ehemalige Jugoslawien liegen Informationen über die während und nach den Kampfhandlungen aufgetretenen DU-Immissionen vor. Insbesondere fehlen Angaben über die in besiedelten Gebieten aufgetretenen Aerosolkonzentrationen in der Luft, über die Ausdehnung und Belegungsdichte von Bodenflächen mit abgelagertem DU-Aerosol sowie an der Oberfläche herumliegende metallische DU-Munitionsfragmente. Eine Beurteilung kann sich bestenfalls in Grössenordnungen bewegen.

In der **näheren Umgebung** des Einschlagspunkts von DU-Munition ist es nicht auszuschliessen, dass einzelne Personen, die sich längere Zeit in Unkenntnis der Kontamination dort aufhalten (z.B. in Panzerwracks oder mit Munitionsteilen spielende Kinder), Strahlendosen akkumulieren und/oder Uranmengen inkorporieren könnten, die über den international anerkannten Grenzwerten liegen. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese Mengen und Dosen so hoch wären, dass es zu akuten Erkrankungen käme, ist jedoch sehr gering. Das als Folge der Strahlenbelastung resultierende zusätzliche Krebsrisiko wäre sehr klein, würde sich erst nach langer Zeit manifestieren und liesse sich, überlagert durch die relativ hohe natürliche Krebsrate, kaum nachweisen.

An allen anderen **weiter von unmittelbaren Kampfgebieten entfernten** Orten ist es äusserst unwahrscheinlich, dass dort lebende Personen auf irgend einem Immissionspfad mit gesundheitsgefährdenden Mengen an DU in Kontakt geraten. Insbesondere ist auch der Nahrungspfad wenig gefährdet, da Uran in den Biokreisläufen Boden – Pflanze – Tier – Mensch nur schlecht transferiert wird. Eine nachweisbare Schädigung des Erbgutes mit einer Zunahme von Missbildungen Neugeborener ist bei derart kleinen DU-Expositionen nicht zu erwarten.

Die Problematik des Einsatzes von DU-Munition liegt vermutlich zur Hauptsache bei der Tatsache, dass nach den Kampfhandlungen an den höher belasteten Orten lokale **Umweltkontaminationen durch Uran und radioaktive Strahlung zurückbleiben, die über den international empfohlenen Grenzwerten und Standards liegen**. Daraus darf jedoch nicht direkt geschlossen werden, dass damit auch eine gesundheitliche Gefahr für die dort lebenden Personen verbunden ist. In diese Richtung gehende Vermutungen und Befürchtungen liessen sich letztlich nur durch genaue Untersuchungen vor Ort wirksam entkräften. Eine nachweisbare grossflächige Schädigung der Biosphäre durch die DU-Kontaminationen muss als sehr unwahrscheinlich beurteilt werden, da die abschätzbaren Konzentrationen hierzu viel zu gering sind.

## **8. Schlusswort**

"Abgereichertes Uran, die Apokalypse?" lautete die erste der einleitend gestellten Fragen, die sich anhand der vorliegenden Darstellung und Analyse der möglichen Folgen auf Mensch und Umwelt wie folgt beantworten lässt:

Von einer vom Menschen ausgelösten Apokalypse als Folge des Einsatzes von DU-Munition im Irak und im Balkan **kann nicht die Rede** sein!

---

<sup>4</sup> **siehe auch:** "Das Golfkriegssyndrom – was steckt dahinter?" Hintergrundinformation des AC-Laboratorium Spiez zu ABC-Waffen

Gibt es "Verstrahlte Schweizer Soldaten im Kosovo?" Die Antwort auf diese zweite Frage lautet:

Falls gewisse minimale Vorsichtsmassnahmen eingehalten werden, d.h. **kein Betreten von Panzerwracks und kein längerer Kontakt mit herumliegenden DU-Munitionsteilen**, so kann das gesundheitliche Risiko eines zeitlich beschränkten Aufenthaltes in den DU-belasteten Gebieten als **vernachlässigbar gering** bezeichnet werden, insbesondere im Vergleich mit Risiken durch die immer noch vorhandenen Minenfelder und Blindgänger, das Risiko von Heckenschützen angegriffen zu werden oder schlicht das Risiko von Flug- und Verkehrsunfällen.

## **Soll die militärische Verwendung von abgereichertem Uran international geächtet werden?**

### **Militärische Überlegungen**

Die neue Munition und Panzerungen aus abgereichertem Uran sind bisherigen Systemen überlegen, somit würde ein Verzicht den Militärs schwerfallen. Der Umgang mit diesen radioaktiven Waffen bereitet allerdings auch dem Militär Probleme, zum Beispiel in Zusammenhang mit der Einhaltung von Strahlenschutzvorschriften. An ein friedensmässiges Üben der Truppe mit solcher Munition ist kaum zu denken. Im Kriegsfall stellt sich das Problem des Schutzes der eigenen Truppe und nach dem Krieg möglicherweise das Problem der Klagen und Ansprüche "kontaminierter" Soldaten. Im weiteren dürften sich die Militärs im Klaren sein, dass die hochgepriesene Überlegenheit dieser Waffen nur solange dauert, bis der Gegner auch darüber verfügt!

### **Standpunkt und Argumente der Opponenten**

Verschiedene Aktivistenbewegungen, vor allem in den USA, in Grossbritannien und in den Niederlanden, bemühen sich bei internationalen Organisationen um die Einführung eines Verbotes von DU-Munition, organisieren Informationskampagnen und Symposien über diese aus ihrer Sicht "inhumanen" Waffen, die biologischen und chemischen Waffen gleichzustellen wären.

Ihre wenigen objektiven Begründungen für ein solches Verbot schöpfen sie aus der Tatsache, dass auf den Kriegsschauplätzen die dort ansässige Bevölkerung in einer Umwelt weiterleben soll, die nach gültigen Strahlenschutznormen zumindest lokal als radioaktiv kontaminiert bezeichnet werden muss, und aus der Tatsache, dass die Langzeitwirkungen von abgereichertem Uran auf Mensch und Umwelt nicht restlos abgeklärt sind.

### **Der Standpunkt der Autoren dieser Hintergrundinformation**

Grundsätzlich ist es dem Leser überlassen, die in dieser "Hintergrundinformation" enthaltenen Angaben technischer Natur und die oben zusammengefassten Standpunkte zu interpretieren und zu gewichten. Fest steht, dass solche Munition auf den ehemaligen Kriegsschauplätzen Spuren in Form einer langandauernden radioaktiven Verstrahlung hinterlässt, die **mit zivilen Strahlenschutznormen nicht zu vereinbaren ist**, unabhängig davon, ob objektiv eine Gefährdung von Mensch und Umwelt besteht, oder nicht.

## **9. Weiterführende Informationsquellen**

Als äusserst ergiebige Informationsquelle hat sich das Internet erwiesen. Eine Suche nach dem Stichwort "depleted uranium" liefert rund 10'000 diesbezügliche Zitate. Darunter befinden sich einige sehr gute, wissenschaftliche Arbeiten über die mit abgereichertem Uran verbundenen Gefahren und Risiken und auch über die Folgen der im Golfkrieg und im Kosovo verwendeten DU-Geschosse. Untenstehend einige von den Autoren als zuverlässig erachtete Quellen.

<http://www.rand.org/publications/MR/MR1018.7/MR1018.7.html>

Der Bericht der RAND Corporation ist eine Zusammenfassung und Auswertung der wissenschaftlich fundierten Literatur über die Gesundheitseffekte, die bei DU- und U-Expositionen auftreten können.

<http://www.gulflink.osd.mil/du/>

Der "Environmental Exposure Report" ist ein Zwischenbericht über die Ereignisse mit DU während dem Golfkrieg und über die möglichen daraus resultierenden Gesundheitseffekte. Herausgegeben wurde der Bericht von der amerikanischen Behörde, welche die Untersuchung des Golfkriegssyndroms durchführt (Office of the Special Assistant for Gulf War Illnesses).

<http://www.antenna.nl/wise/uranium/>

Der "world information service on energy" liefert eine Fülle von Informationen über die toxischen und radiologischen Gefahren von DU und Uran. Sehr praktisch ist der "Uranium Radiation Individual Dose Calculator" mit dem für unterschiedliche Uran Expositionen (angereichert, abgereichert, Natururan, Uranerz, extern, inhaliert, geschluckt...) die entsprechende Dosis berechnet werden kann.

"Radioaktivität und Strahlenschutz"

Diese vom Schweizerischen Bundesamt für Gesundheit herausgegebene Broschüre vermittelt einfaches Grundwissen über Begriffe, Nutzen und Gefahren im Zusammenhang mit Radioaktivität.

S. Fetter and F. von Hippel, After the dust settles, Bulletin of the Atomic Scientists, November/December 1999

<http://www.bullatombsci.org/issues/1999/nd99/nd99vonhippel.html>

S. Fetter and F. von Hippel, The Hazard Posed by Depleted Uranium Munitions, Science&Global Security Vol 8 No 2 (2000)

Diese beiden neueren Publikationen schätzen in hervorragender und klarer Weise die Gefahren ab, die durch den Einsatz von DU haltiger Munition im Golfkrieg und im Kosovo für die Bevölkerung und die Soldaten entstanden.

Die Publikation in Science&Global Security enthält die detaillierten Berechnungen welche auch dem Artikel im Bulletin of the Atomic Scientists zugrunde liegen.

**Das Autorenteam: E. Schmid, Ch. Wirz**

**AC-Laboratorium Spiez  
Fachsektion Nuklearfragen / Waffenwirkungen  
CH 3700 Spiez**