

# Uran-Munition - der radioaktive Nachschuss

## Inhalt

<b>1.</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Vor dem Krieg</b> .....	<b>2</b>
2.1	Uranmetall .....	2
2.2	Gesundheitsschäden durch Uranmetall .....	6
<b>3.</b>	<b>Im Krieg</b> .....	<b>7</b>
3.1	Verletzungen durch DU-Munition .....	7
3.2	Chemische Giftigkeit .....	9
3.3	Radioaktivität.....	10
<b>4.</b>	<b>Nach dem Krieg</b> .....	<b>13</b>
4.1	Überlebende: Inhalative Belastung durch Uran .....	13
4.2	Folgegenerationen: Tochternuklide aus den Uran-Zerfallreihen .....	13
<b>5.</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>17</b>
<b>6.</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>17</b>
<b>7.</b>	<b>Links</b> .....	<b>18</b>

Nach einem Vortrag am 3.11.2003

im Interdisziplinären Seminar der Philipps-Universität Marburg WS 03/04

([http://www.uni-marburg.de/isem/WS03\\_03/index.html](http://www.uni-marburg.de/isem/WS03_03/index.html))

"Bedrohung von Mensch und Natur – Analysen und Alternativen

von Dr. Horst Kuni, Prof. i.R.

<http://staff-www.uni-marburg.de/~kunih/>, [horst@kuni.org](mailto:horst@kuni.org)

## 1. Abstract

Das Uran in der Munition, DU (**d**epleted **u**ranium, abgereichertes Uran), ist zwei Gifte: Chemisch als Schwermetall, physikalisch durch seine radioaktive Strahlung. Gut- und bösartige Erkrankungen von Beschäftigten in der DU-verarbeitenden Industrie zeigen, dass auch hier gilt: Schon Rüstung tötet.

Anhand medizinischer Befunde bei Golfkriegs-Veteranen wird der Frage nachgegangen, ob und wie auch an Kombattanten die chemische Giftwirkung des DU nachweisbar ist.

Alphastrahlen, wie sie die radioaktiven Uranisotope aussenden, haben eine besonders hohe relative biologische Wirksamkeit. Bei der Passage der Erbsubstanz richten sie nicht reparable Schäden an. Wie lassen sich gehäufte Chromosomenschäden bei den Veteranen der Kriege mit Uran-Munition erklären?

Mit welchen Gesundheitsschäden ist in der Bevölkerung uranverseuchter Gebiete langfristig zu rechnen, wenn Befunde epidemiologischer Untersuchungen über die Folgen radioaktiver Tochternuklide des Urans im Trinkwasser beachtet werden?

Das Fazit: DU-Munition ist ein doppelt vergifteter Pfeil und sollte als Waffe international geächtet werden.

## 2. Vor dem Krieg

Vor dem Krieg findet Rüstung statt. Um Waffen mit Uran herstellen zu können, muss das Uranmetall hergestellt oder beschafft werden. Dabei und bei der Verarbeitung sind die Beschäftigten in der Industrie gegenüber diesem Stoff mit besonderer Konzentration und Zeitdauer exponiert. Wie beim Umgang mit gesundheitlich bedenklichen Materialien häufig stellen sie gewissermaßen Versuchskaninchen dafür da, was der übrigen Bevölkerung drohen kann. Deshalb beginnt die Betrachtung gesundheitlicher Folgen beim Einsatz von Uranmetall in Waffen an dieser Stelle. Ausgeklammert bleiben dabei alle gesundheitlichen Folgen der Urangewinnung und -verarbeitung bis zur Anreicherung für den Einsatz in der Atomindustrie.

### 2.1 Uranmetall

Wenn es in dieser Abhandlung um Uranmetall geht, handelt es sich um DU (**d**epleted **u**ranium), also um abgereichertes Uran. Es ist zwei Gifte: Chemisch als Schwermetall, physikalisch durch seine radioaktive Strahlung.

**Seine Herkunft:**

- Abfall bei der Herstellung von angereichertem Uran für militärische und zivile (zivilit<sup>1</sup>) Zwecke
- Abfall bei Wiederaufarbeitung von Brennelementen für militärische und zivile (zivilit<sup>1</sup>) Zwecke

Ein Blick in einen Verkaufsprospekt (s. Abb. 1, S. 3) einer heute nicht mehr auf diesem Gebiet tätigen hessischen Firma gibt Auskunft über wichtige Eigenschaften (s. Tab. 1, S. 4, Tab. 2, S. 4).



Abb. 1: Blick in den Prospekt eines Herstellers von DU

<sup>1</sup> Hier wird ein von H. Ackermann viel verwendeter Begriff adoptiert, in dem zum Ausdruck kommt, dass die zivile und militärische Verwendung von Atomtechnologie oft nicht zu trennen ist.

Tab. 1: Isotopenvektor von DU im Vergleich zu Natururan

Isotop	Original Uran ('Natururan')	DU (Beispiel)
	Massenanteil	Massenanteil
U-238	99,3%	99,8
U-235	0,7%	0,2%
U-234	Spur	-

Die Herkunft als Abfall der Urananreicherung führt zu einem geringeren Anteil am spaltbaren Isotop U-235, das aber dennoch in einem nicht vernachlässigbaren Anteil auftritt.

Tab. 2: Wichtige Eigenschaften des DU

#### Eigenschaften

Restgehalt U-235	0,2-0,4%
Dichte 20°C (gegossen)	18,5-18,9 g/cm <sup>3</sup>
Schmelzpunkt	ca. 1.130°C
bei spanabhebender Bearbeitung	Pyrophor

Um sich die Auswirkung der hohen Dichte zu vergegenwärtigen, sollte ein Litermaß mit einem Gewicht von nahezu zwanzig Kilogramm vorgestellt werden. Schon die mechanische Handhabung der Fertigungsteile stellt hohe Anforderungen an den Bewegungsapparat der Beschäftigten, die schon für relativ kleine Bauteile den Transport nur mit technischen Hilfsmitteln bewältigen können.

Durch die hohe Dichte kann ein kleiner Gegenstand eine entsprechend hohe kinetische Energie kompakt mitführen und beim Auftreffen übertragen. Dies scheint das DU für die Verwendung in Geschossen und Bomben interessant zu machen, insbesondere, um Panzerungen, Wände und Geschossdecken zu durchschlagen.

Der niedrige Schmelzpunkt, verbunden mit der Eigenschaft, bei Gewalteinwirkung spontan zu verbrennen, begünstigt beim Auftreffen eines Geschosses die Bildung kleinster luftgetragener Teilchen (Aerosole), die in die Atemwege aufgenommen werden können.

Bei der Verarbeitung von DU muss deshalb auch ein spezielles Know-how beachtet werden.

**Seine Anwendungsbereiche:**

Auch hierzu soll zunächst ein Blick in den Prospekt weiterhelfen (s. Abb. 2, S. 5).

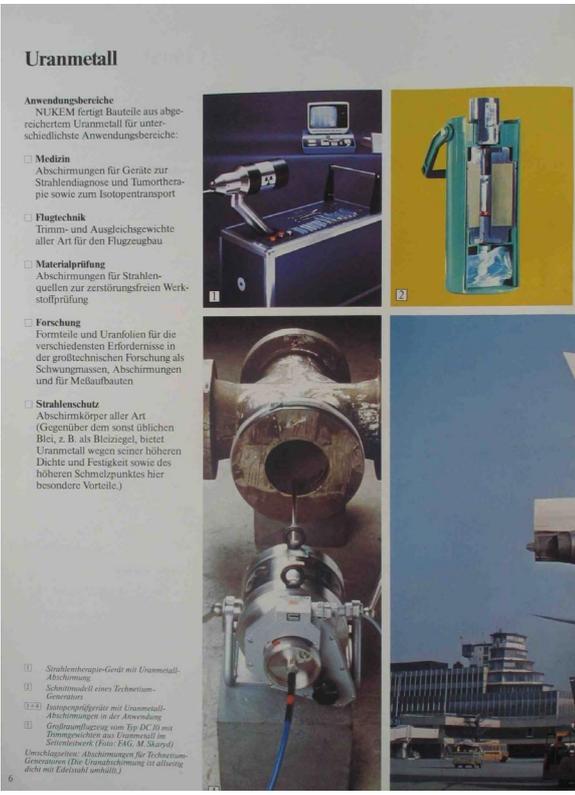
<p><b>Anwendungsbereiche</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medizin</li> <li>• Flugtechnik</li> <li>• Materialprüfung</li> <li>• Forschung</li> <li>• Strahlenschutz</li> </ul>	<p><b>Uranmetall</b></p> <p><b>Anwendungsbereiche</b> NUKEM fertigt Bauteile aus abgereichertem Uranmetall für unterschiedlichste Anwendungsbereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☐ <b>Medizin</b> Abschirmungen für Geräte zur Strahlendiagnose und Tumortherapie sowie zum Isotopentransport</li> <li>☐ <b>Flugtechnik</b> Trimm- und Ausgleichsgewichte aller Art für den Flugzeugbau</li> <li>☐ <b>Materialprüfung</b> Abschirmungen für Strahlenquellen zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung</li> <li>☐ <b>Forschung</b> Formteile und Uranfolien für die verschiedensten Erfordernisse in der größtenteilsen Forschung als Schwungmassen, Abschirmungen und für Meßaufbauten</li> <li>☐ <b>Strahlenschutz</b> Abschirmkörper aller Art (Gegenüber dem sonst üblichen Blei, z. B. als Bleiziegel, bietet Uranmetall wegen seiner höheren Dichte und Festigkeit sowie des höheren Schmelzpunktes hier besondere Vorteile.)</li> </ul> <p>1) Strahlentherapie-Gerät mit Uranmetall-Abschirmung 2) Schnittmodell eines Technetium-Generators 3) Ionisationskammer mit Uranmetall-Abschirmungen in der Anwendung 4) Großmaßstabmodell vom Typ DC 10 mit Einlegeschildern aus Uranmetall im Schwermetall (Hans FKG, M. Staryk)</p> <p>Umschlagseite: Abschirmungen für Technetium-Generatoren (Die Uranabschirmung ist allseitig dicht mit Edelstahl umwickelt.)</p> 
---	---

Abb. 2: Zweiter Blick in den Prospekt eines Herstellers von DU

Die meisten aufgeführten Anwendungen beruhen auf der sehr guten Brauchbarkeit des Urans zur Abschirmung durchdringender ionisierender Strahlen, insbesondere energiereicher Gammastrahlung, aufgrund seiner hohen Ordnungszahl und der hohen Dichte.

Die hohe Dichte führte zur Anwendung als Ausgleichsgewichte in der Flugtechnik. Abstürze von großen Flugzeugen in bewohnte Häuser hatten schon bedeutende Freisetzungen von Uran zur Folge. Deshalb wird diese Verwendung zunehmend kritischer gesehen.

Natürlich findet sich im Prospekt eines deutschen Herstellers kein Hinweis auf die militärische Verwendung des DU. Da die Metallrohlinge in dieser Hinsicht unspezifisch sind, können sie im Sinne Ackermanns als zivilitärisches Material bezeichnet werden.

## 2.2 Gesundheitsschäden durch Uranmetall

Beim beruflichen Umgang mit Uran gilt bis zu einem Gehalt am U-235 von weniger als 8% für Beschäftigte die chemische Konzentration in der Atemluft als limitierend.

Dazu zwei Kasuistiken:

- Herr F.: Ab 47. Lebensjahr 3 Jahre Umgang mit U
- Herr K.: Ab 35. Lebensjahr 10 Jahre Umgang mit U

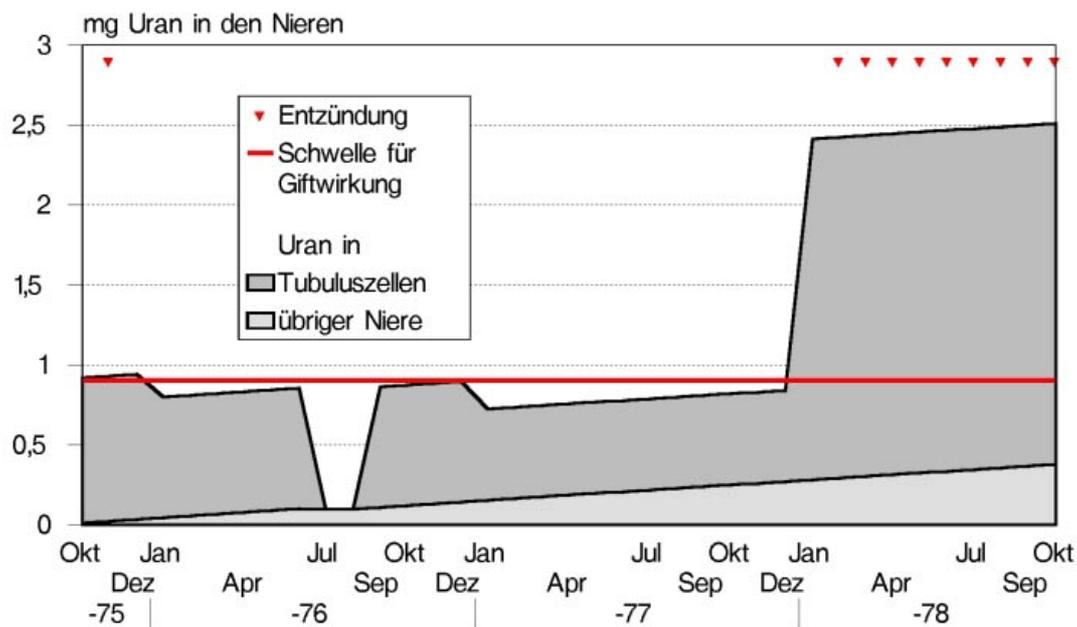


Abb. 3: Verlauf der Urankonzentration in den Nieren bei Herrn F.: Die Überschreitung der als gesundheitsschädlich geltenden Schwelle ging mit Zeichen einer Nierenentzündung einher.

Herr F. (s. Abb. 3, S. 6) wurde aus allen Strahlenquellen (außer Uran inhalierte er noch Thorium-232) mit einer beruflichen Lebensdosis von mehr als drei Sievert(!) belastet, im Wesentlichen durch Alphastrahler.<sup>2</sup> Im 61. Lebensjahr erkrankte er an einem Krebs der linken Niere, im 63. Lebensjahr an einem Zungenkrebs und zusätzlich noch an einem Lungenkrebs, an dem er im 64. Lebensjahr verstarb.

<sup>2</sup> Zum Vergleich: Das deutsche Strahlenschutzrecht begrenzt die berufliche Lebensdosis auf 0,4 Sv, ein Wert, der von Vielen noch für zu hoch gehalten wird.

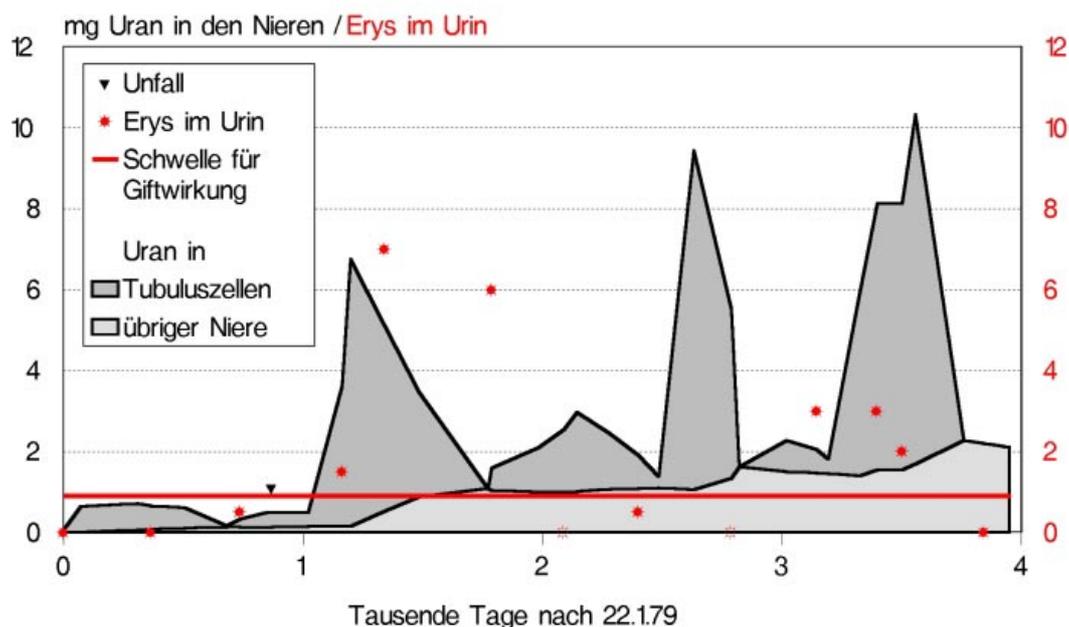


Abb. 4: Verlauf der Urankonzentration in den Nieren bei Herrn K.: Bei einer Überschreitung der als gesundheitsschädlich geltenden Schwelle wurde besonders eine Ausscheidung roter Blutkörperchen (Erys = Erythrozyten) im Urin beobachtet.

Herr K. wurde aus allen Strahlenquellen (außer Uran inhalierte er noch Thorium-232) mit einer beruflichen Lebensdosis von mehr als zwei Sievert(!) belastet, im Wesentlichen durch Alphastrahler. Es bestanden Schäden der Nieren und des Knochens, die der Autor auf die Einwirkung des Urans zurückführt. Er befindet sich jetzt im 60. Lebensjahr.

Es gilt also auch hier: Schon Rüstung tötet.

### 3. Im Krieg

#### 3.1 Verletzungen durch DU-Munition

Analog der Tatsache im Vorkapitel, dass gesundheitliche Schäden bei den Beschäftigten eher deutlich werden als in der normalen Bevölkerung, liegen auch über die Folgen des kriegerischen Einsatzes des DU erste Berichte über Soldaten vor. Es handelt sich dabei vor allem um Veteranen des ersten Golfkrieges, die in den Beschuss durch eigene Truppen geraten waren (sog. friendly fire).<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Hier muss der Autor anmerken, dass über die Beschäftigung mit den Besonderheiten der DU-Munition nicht aus dem Auge verloren werden darf, dass der kriegerische Einsatz der Munition an sich schon für genügend Elend sorgt. Für ein Opfer, das zu Tode gekommen ist, eine Mutter, der das Kind in den Armen stirbt, eine Familie, die Hab und Gut, seine Behausung und die zivile Infrastruktur durch den Krieg verloren hat, einen Verletzten, dem Arme oder Beine abgerissen wurden, ist es zunächst gleichgültig, ob es sich um Munition mit oder ohne Uran gehandelt hat.

Beeindruckend ist, dass die hohe Dichte des Urans und die Zerlegung der Geschosse in kleinste Teilchen offensichtlich dazu führen, dass das Metall die Haut penetrieren kann, ohne dass das im Schock der Granateneinwirkung bewusst wahrgenommen wird (s. Tab. 3, S: 8). Die Verwundung der Haut scheint dabei teilweise so geringfügig zu sein, dass sie bei der Untersuchung durch Betrachtung der Wahrnehmung entgeht. Der Nachweis erfolgte in zwei Fällen erst röntgenologisch. Teilweise ist aber das eingedrungene Metall so fein verteilt, dass es sich auch bei objektivierten Verletzungen dem röntgenologischen Nachweis entzieht.

Tab. 3: Subjektive Wahrnehmung und röntgenologischer Nachweis einer Verletzung durch DU-Granatsplitter bei Soldaten des ersten Golfkrieges mit Verbrennungen, Amputationen etc. durch Einwirkung von DU-Munition (nach Hooper et al. [1999])

Verbrennungen, Amputationen etc.	DU-Granatsplitter			
	+	-		
Subjektiv Verletzung empfunden	23		10	
	+	-	+	-
Röntgenologisch nachgewiesen	15	8	2	8

### 3.2 Chemische Giftigkeit

Die Ergebnisse einiger Laboruntersuchungen drei Jahre nach der Verletzung durch DU-Munition zeigt Abb. 5 (S. 9).

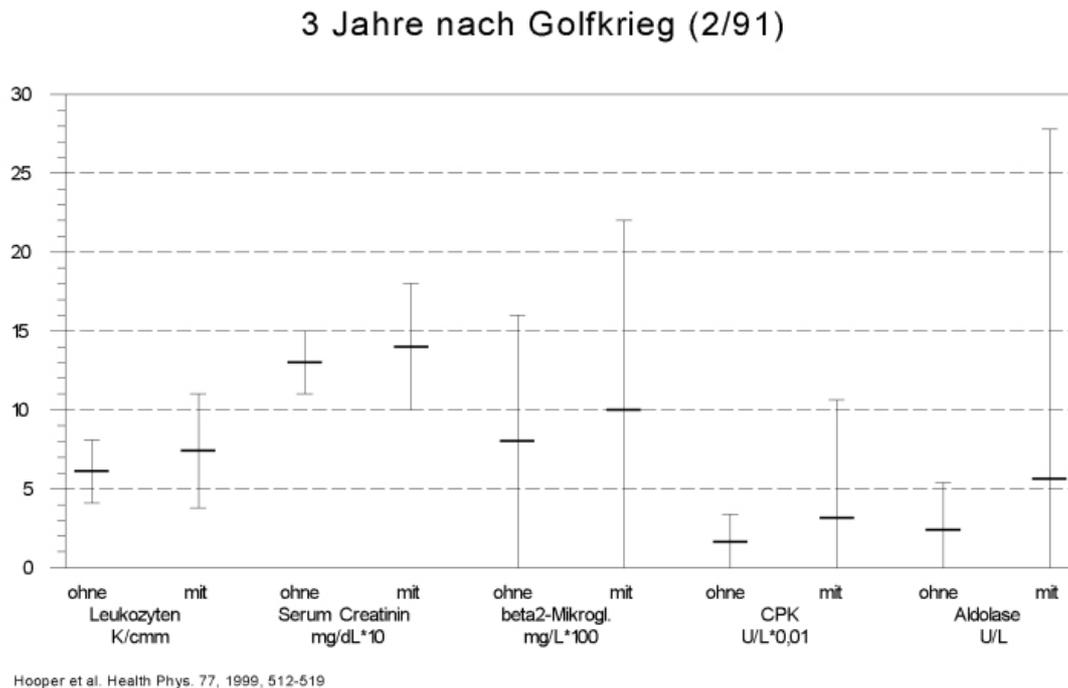


Abb. 5: Einige Laborwerte bei Veteranen des 1. Golfkrieges mit und ohne Inkorporation von DU-Munition (nach Hooper et al. [1999]).

Die Erhöhung der Konzentration der Leukozyten, also der weißen Blutkörperchen, war nach statistischen Kriterien signifikant. Die Veteranen mit Inkorporation hatten ein signifikant höheres Niveau, jedoch zum größten Teil noch innerhalb des Normbereiches, und eine größere Spanne. Das kann so gedeutet werden, dass das Persistieren von Fremdkörpern grundsätzlich auch dazu führt, dass Infektionen gehäuft auftreten oder zu mindestens solche Reaktionen ausgelöst werden wie eine Vermehrung der Leukozyten.

Die Merkmale Serum-Kreatinin und Beta2-Mikroglobulin-Ausscheidung im Urin sind Hinweise auf Schädigungen der Nieren. CPK und Aldolase, zwei Enzyme, geben Hinweise geben auf schädigende Einflüsse auf die Muskulatur. Diese waren lediglich tendenziell höher im Mittelwert. Vor allem waren einzelne Ausreißer mit sehr hohen, eindeutig pathologischen Werten festzustellen.

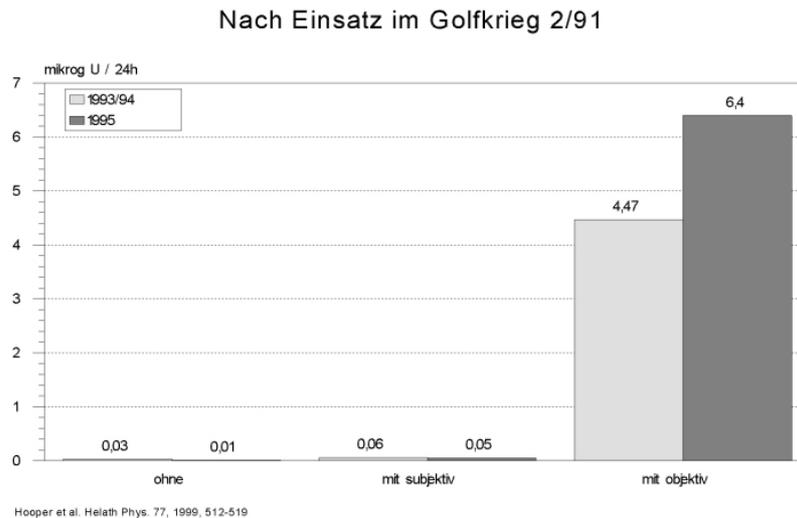


Abb. 6: Urinausscheidung des Urans bei Veteranen des 1. Golfkrieges in zwei verschiedenen Zeitabständen nach einer Verletzung durch DU-Munition (nach Hooper et al. [1999]).

Die Messung der Uranausscheidung bei diesen Veteranen zeigte, dass das Uranmetall offensichtlich mit der Zeit mobilisiert wird und in den Stoffwechsel übertritt (s. Abb. 6, S. 10). Die Vergiftung des Körpers durch das Schwermetall nahm mit der Zeit deutlich weiter zu. Bemerkenswert an diesen Messwerten ist außerdem, dass Verletzte, die das Eindringen der Munition nur subjektiv verspürt hatten, bei denen aber der objektive Nachweis einer Uraninkorporation röntgenologisch nicht gelungen war, eindeutig höhere Urankonzentrationen im Urin auswiesen als solche, die weder subjektiv noch objektiv Hinweise auf eine Inkorporation hatten. Das verdeutlicht die begrenzte Aussagekraft der röntgenologischen Inkorporationskontrolle. Unter dieser Perspektive kann also der relativ geringe Unterschied zwischen den Mittelwerten der Laborwerte bei den Veteranen mit und ohne Nachweis einer Inkorporation in Abb. 5 auch dadurch bedingt sein, dass sich in der Gruppe der Veteranen ohne Nachweis tatsächlich mit Uran Verseuchte befunden haben, bei denen sich das Uran lediglich dem röntgenologischen Nachweis entzogen hatte.

### 3.3 Radioaktivität

Abb. 7: Ausriss aus dem Prospekt nach Abb. 1 (S. 3) mit Information über die Radioaktivität des DU.

#### Radioaktivität

Abgereichertes Uranmetall weist eine geringe natürliche Radioaktivität auf. Bei Einhaltung der entsprechenden gesetzlichen Vorschriften bereitet die Handhabung jedoch keine besonderen Schwierigkeiten. Unsere Fachleute beraten Sie gern.

Die ‚geringe‘ Radioaktivität, von der im o.g. Prospekt (Abb. 7, S. 10) zu lesen ist, verdient genauere Betrachtung. Tab. 4 (S. 11) macht deutlich, dass beim Original Uran, wie es aus dem Boden gewonnen wird<sup>4</sup>, das relativ kurzlebige U-234, ein Tochternuklid des U-238, mit seiner Mutter im Gleichgewicht steht und deshalb denselben Beitrag zur Gesamtradioaktivität liefert. Das U-235 trägt aufgrund seines sehr geringen Gewichtsanteils trotz der geringfügig kürzeren Halbwertszeit nicht nennenswert zur Gesamtradioaktivität bei. Deshalb verliert das DU durch die Abreicherung des U-235 auch nicht sehr viel Radioaktivität. Von größerem Einfluss ist die damit verbundene Abreicherung des U-234. Insgesamt ist die Radioaktivität durch die Abreicherung aber nur um etwa ein Drittel geringer geworden.

Tab. 4: Beitrag der Uranisotope zur Gesamtaktivität des Natururans sowie des DU

Isotop	Original Uran ('Natururan')	DU (Beispiel)	
	spez. Aktivität Bq×mg <sup>-1</sup>	Bq×mg <sup>-1</sup>	HWZ 10 <sup>9</sup> Jahre
U-238	12,27	12,33	4,49
U-235	0,55	0,22	0,71
U-234	12,27	4,91	0,00025
Summe	25,10	17,46 = (70%)	

Das ist aber noch nicht die volle Wahrheit über die Radioaktivität von DU-Munition, wenn sie aus dem Abfall der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennstäben eines Atomreaktors hergestellt worden ist. Dann ist das Uran auch mit transuranen Alphastrahlern verseucht. So konnten Desideri et al. [2002] in DU aus Wiederaufarbeitung die Radionuklide <sup>236</sup>U, <sup>237</sup>Np, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu und <sup>241</sup>Am nachweisen. Der Beitrag dieser Verschmutzung an der Gesamtradioaktivität war allerdings in der untersuchten Probe nicht bedeutsam.

Zur Bedeutung der Alphastrahlung als wesentlichen Beitrag der Radioaktivität des DU sei daran erinnert, dass diese dicht ionisierende Strahlung bei ihrer Wechselwirkung mit dem Erbmolekül der

<sup>4</sup> Der Fachausdruck Natururan wird hier deshalb in Anführungszeichen gesetzt, da das Attribut Natur häufig zur Verschleierung einer Gefahr verwendet wird wie z.B. bei ‚natürlicher Radioaktivität‘ etc.

Zelle besonders massive Zerstörungen anrichtet, die wegen der hohen Ionisationsdichte zudem in der Regel benachbarte Abschnitte der DNA betreffen. Die Reparatur eines solchen Doppelstrangbruches ist nicht oder nur mit groben Fehlern als Notreparatur möglich.

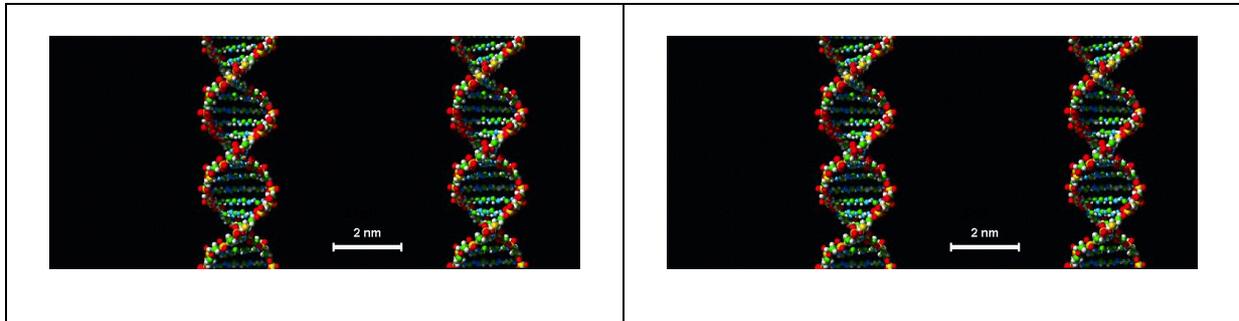
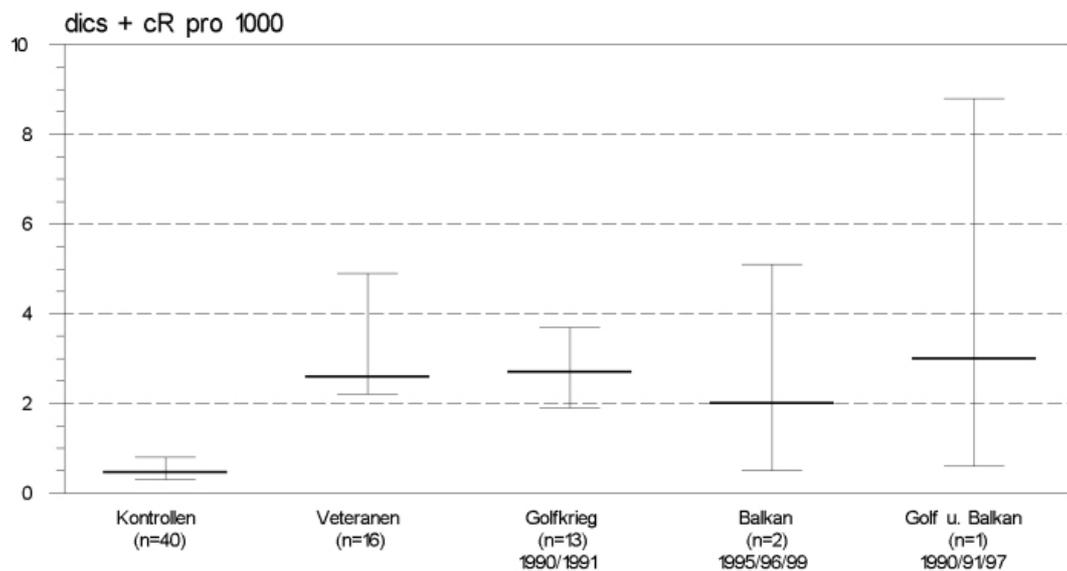


Abb. 8: Vergleich der Schäden an der DNA durch locker ionisierende Strahlung (links am Beispiel eines Gammastrahlenquants) und dicht ionisierende Strahlung (rechts am Beispiel eines Alphateilchens). Animation durch Anklicken aktivieren.

### Chromosomenaberrationen (2001)



Schroeder et al. Radiat. Prot. Dosimetry 103 (2003) 211-219

Abb. 9: Häufigkeit instabiler Chromosomenaberrationen (Dizentrische A. und zentrische Ringe) pro 1000 Metaphasen bei Veteranen des Golf- und Balkankrieges (nach Schröder et al. [2003])

Die Auszählung der Häufigkeit von Chromosomenaberrationen bei Lymphozyten von Veteranen des Golf- und Balkankrieges zeigte eine signifikante und sehr ausgeprägte Erhöhung (s. Abb. 9, S. 12), die deshalb bemerkenswert ist, weil eine Verletzung mit DU-Munition nicht vorlag, sondern lediglich der Verdacht auf eine Exposition gegenüber Aerosolen von DU-Munition. Die Autorinnen und Autoren

vermuten als Grund für die erstaunlich hohen Werte, dass DU als Aerosol in die tracheobronchialen Lymphknoten eingespeichert worden ist und dort die zirkulierenden Lymphozyten durch die Alphastrahlung belastet worden war. Nach den gängigen Stoffwechselmodellen wird angenommen, dass etwa 10% der inhalierten unlöslichen Aerosole in den tracheobronchialen Lymphknoten eingelagert werden und dort praktisch lebenslang verbleiben.

Die instabilen Chromosomenaberrationen gelten als außerordentlich spezifische Indikatoren einer Einwirkung ionisierender Strahlen. Allerdings wurde nachgewiesen, dass in Gegenwart von Vitamin C speziell Uranylazetat in der Lage ist, Strangbrüche der DNA hervorzurufen (Yazzie et al. [2003]). Es kann also auch bei diesem Effekt nicht völlig eine chemische Giftigkeit als Ursache oder Teilursache ausgeschlossen werden.

## **4. Nach dem Krieg**

### **4.1 Überlebende: Inhalative Belastung durch Uran**

Was im vorigen Kapitel bereits durch die Chromosomenuntersuchungen an den Kombattanten nachgewiesen worden ist, gilt natürlich in gleicher Weise für die Bevölkerung, die in einer durch DU-Munition verseuchten Umgebung leben muss. Dabei ist nach den Erfahrungen mit Plutonium, die nach den Abstürzen eines Atombombers in Spanien gesammelt worden sind, davon auszugehen, dass in ariden Gebieten die unlöslichen Aerosole immer wieder bei der landwirtschaftlichen Bearbeitung der Böden auch noch nach vielen Jahren wieder aufgewirbelt und luftgetragen über größere Distanzen verfrachtet werden können. Die Aerosole aus DU-Munition stellen also eine langfristige Bedrohung der Gesundheit dar. Der enorme Aufwand der UNEP, die Verseuchung der betroffenen Gebiete zu erfassen, ist deshalb durchaus berechtigt.

### **4.2 Folgegenerationen: Tochternuklide aus den Uran-Zerfallreihen**

Die Verseuchung der Umwelt durch DU bedroht durch die ständig freigesetzten Tochterprodukte aus der Zerfallsreihe der Uranisotope über viele Tausende von Jahren die Folgegenerationen. Schließlich stellt die Verseuchung durch die radioaktiven Tochternuklide des Urans auch beim Gebrauch des Urans in der Atomindustrie den weitaus größten Anteil an der gesamten Kollektivdosis, wenn nicht nur die Strahlenbelastung der heute die Atomenergie nutzenden Bevölkerung, sondern auch der Folgegenerationen berücksichtigt wird. Bei einer Freisetzung des Urans durch militärische Verwendung gelten natürlich dieselben naturwissenschaftlichen Gesetze.

Der Gehalt des gut löslichen Radiums im Wasser ist messtechnisch mit relativ einfachen Mitteln sehr empfindlich und spezifisch zu erfassen.<sup>5</sup> Radium hat zudem für den Stoffwechsel des Menschen wegen seiner chemischen Ähnlichkeit mit Kalzium eine besondere Bedeutung. Deshalb wurden schon epidemiologische Untersuchungen durchgeführt, die eine Korrelation zwischen der Konzentration von Radium im Trinkwasser und gesundheitlichen Schäden in der Bevölkerung gemessen haben. Ein Blick auf die Ergebnisse dieser ökologischen Studien kann erste Einblicke in die Folgen einer langfristigen Versuchung mit Uran geben (s. Abb. 10, S. 14, und Abb. 11, S. 15).

## Radium im Trinkwasser und Leukämie

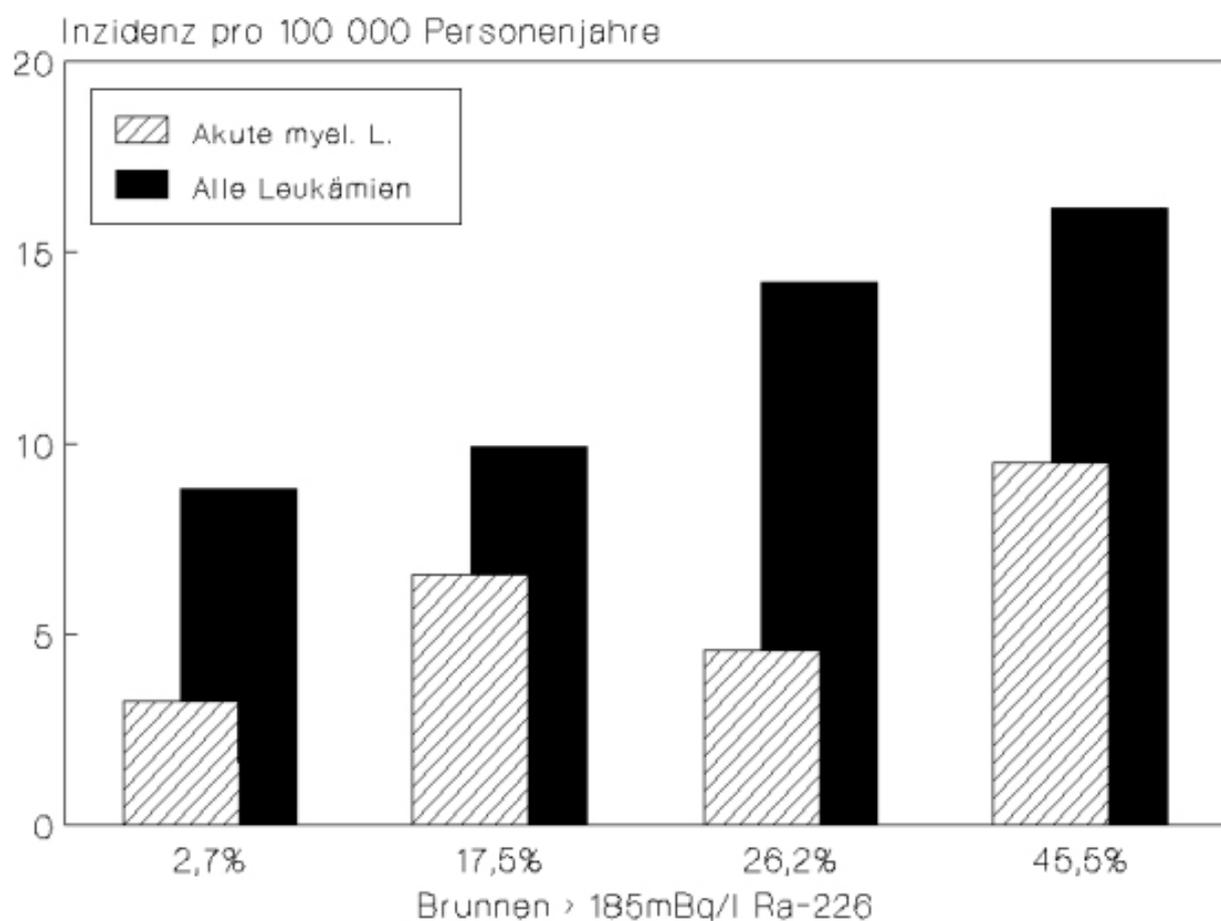


Abb. 10: Inzidenz von Leukämie in verschiedenen Bezirken der USA in Abhängigkeit von der Häufigkeit, mit der in diesen Bezirken Brunnen mit einer Konzentration des Radiums über dem von der EPA empfohlenen Grenzwert für Trinkwasser (185 mBq/l) verwendet wurden (nach Lyman et al. [1985]).

<sup>5</sup> Dazu wird abgewartet, bis sich in der Luft über einer Wasserprobe das Gleichgewicht der relativ kurzlebigen Tochter des Ra-226, des radioaktiven Edelgases Radon, Rn-222 (Halbwertszeit 3,8 Tage), eingestellt hat. Die Alphastrahlung im Gasvolumen kann empfindlich gemessen werden.

An den Ergebnissen dieser Studie ist die Kritik geübt worden, die gesundheitlichen Effekte seien durch die im Verhältnis relativ niedrige Strahlenbelastung durch das Radium bei Anwendung der einschlägigen Stoffwechselmodelle nicht zu erklären. In dieser Debatte wird verkannt, dass das Radium lediglich deshalb gemessen worden ist, weil es messtechnisch günstige Eigenschaften aufweist. Es steht als Surrogat für eine ganze Palette weiterer Radionuklide aus der gleichen oder einer verwandten Zerfallsreihe. Zudem kann in diesen Befunden auch eine Bestätigung der Kritik gesehen werden, dass die Krebsgefährdung im Niedrigdosisbereich von den offiziellen Strahlenschutzgremien unterschätzt wird.

## Radium im Trinkwasser und Krebs

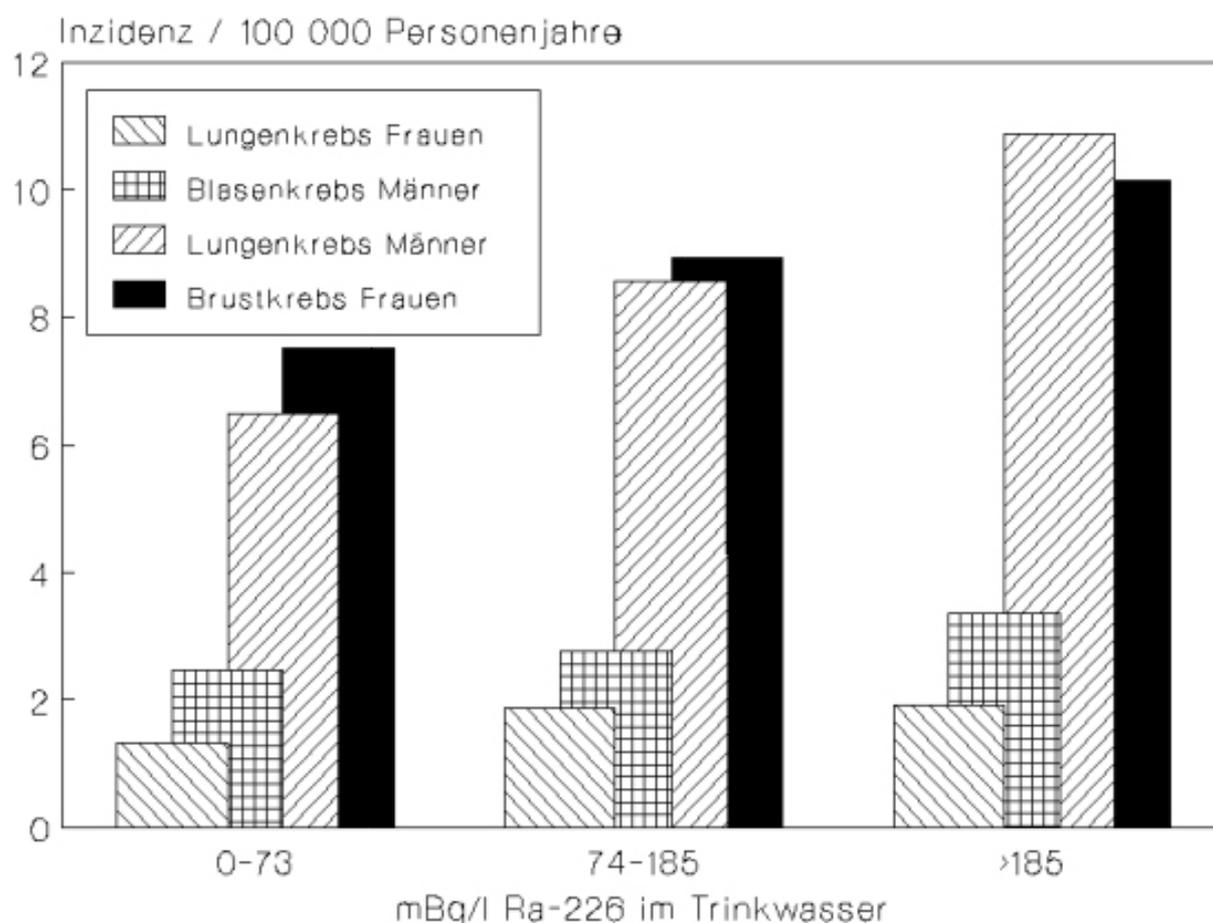


Abb. 11: Inzidenz verschiedener Krebsarten in den USA in Abhängigkeit von der Konzentration des Radiums im Trinkwasser (nach Bean et al. [1985]).

Während es sich bei diesen Studien um Radionuklide natürlichen Ursprungs handelte, hat Herr Hoffmann aus unserer Arbeitsgruppe den Einfluss von Radium aus einer Uran-Abfallhalde verfolgt. Ausgelöst wurde diese Untersuchung durch eine signifikante Häufung von Leukämien bei Kindern und

Adoleszenten unter 20 Jahren in der Umgebung der Gemeinde Birkenfeld. Eine örtliche Bürgerinitiative hatte den Verdacht, dass die Abfälle einer nah gelegenen Uranaufarbeitungsanlage der Verursacher ist. Der erste Verdacht einer luftgetragenen Ausbreitung radioaktiver Schadstoffe ließ sich nicht bestätigen, als die meteorologischen Aufzeichnungen eines benachbarten Flughafens von Hobbyfliegern mit der räumlichen Verteilung der Leukämien korreliert worden waren.

Die Abfallhalde grenzte unmittelbar an den Ellweilerbach. Messungen des chemischen Instituts der Universität Mainz belegten, dass Radium und andere Alphastrahler durch das Regenwasser in den Bach geschwemmt und von diesem in die Nahe getragen wurden. Kurz hinter der Mündung des Baches wurde bei einem Stauwehr Trinkwasser für eine US-amerikanische Enklave (Baumholder) gewonnen. An dieses Trinkwasserwerk waren einige Gemeinden angeschlossen, in deren Trinkwasser nicht nur die höchsten Konzentrationen an Ra-226 auftrat, sondern in denen auch die höchste Inzidenz an Leukämie festzustellen war (s. Abb. 12, S. 16).

## Radium im Trinkwasser und Leukämie Kinder und Adoleszente unter 20 J.

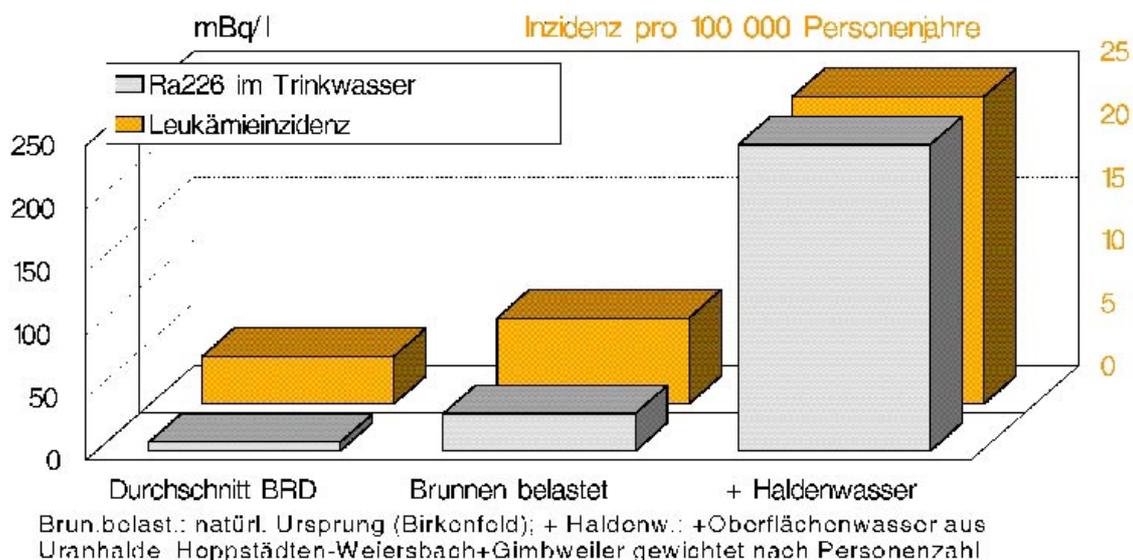


Abb. 12: Inzidenz von Leukämien bei Kindern und Adoleszenten unter 20 Jahren in verschiedenen Gemeinden in Abhängigkeit von der Radiumkonzentration im Trinkwasser

Nach diesen Ergebnissen ist es nicht vermessen, das Leben der betroffenen Bevölkerung in mit DU-Munition verseuchten Gebieten als ein Leben auf einer Uranmüllhalde zu bezeichnen.

## 5. Fazit

- Vor dem Krieg
  - Gesundheitsschäden durch Giftwirkung
  - Kollektivdosis → Gesundheitsschäden und Tod unvermeidbar
- Im Krieg
  - Zusätzlich persistierende Körperverletzung bei Zivilisten und Kombattanten
- Nach dem Krieg
  - Lebenslange gesundheitliche Bedrohung der Überlebenden
  - Trotz niedriger Individualdosen große Kollektivdosen über viele Folgegenerationen

Enorme Kosten für Detektion und Verminderung der Umweltverseuchung

Die Folgerung und Forderung daraus kann nur heißen:

### Völkerrechtliche Ächtung der Uranmunition

## 6. Literatur

Bean JA , Isaacson P, Hausler WJ , Kohler J 1985

Drinking water and cancer incidence in Iowa. I. Trends and incidence by source of drinking water and size of municipality  
Am. J. Epidemiol. 116, 912-923

Desideri D, Meli MA, Roselli C, Testa C, Boulyga SF, Becker JS. 2002

Determination of (236)U and transuranium elements in depleted uranium ammunition by alpha-spectrometry and ICP-MS  
Anal. Bioanal. Chem. 374(6), 1091-1095. Epub 2002 Oct 16

Hooper FJ, Squibb KS, Siegel EL, McPhaul K, Keogh JP 1999

Elevated urine uranium excretion by soldiers with retained uranium shrapnel  
Health Phys. 77 (5), 512-519

Lyman GH, Lyman CG, Johnson W 1985

Association of leukemia with radium groundwater contamination  
J. Am. Med. Assoc. 254, 621-626

Schröder H, Heimers A, Frentzel-Beyme R, Schott A, Hoffmann W 2003

Chromosome aberration analysis in peripheral lymphocytes of Gulf War and Balkans War veterans  
Radiat. Prot. Dosimetry 103(3), 211-219

Yazzie M, Gamble SL., Civitello ER, Stearns DM 2003

Uranyl acetate causes DNA single strand breaks in vitro in the presence of ascorbate (vitamin C)  
Chem. Res. Toxicol. 16(4), 524-530

## 7. Links

CADU (Campaign Against Depleted Uranium: <http://www.cadu.org.uk/>)

Depleted Uranium Education Project des International Action Center:

<http://www.iacenter.org/depleted/du.htm>

Gesellschaft für Strahlenschutz zu den Urinanalysen bei Bundeswehrsoldaten:

<http://www.gfstrahlenschutz.de/docs/index.html#du0101>

IPPNW Startseite zu DU: <http://www.ippnw.de/frieden/du/>

MedSearch (US Medical Reference for Gulf War-Related Research) DU-Informationen:

[http://www.gulfink.osd.mil/medsearch/EnvironmentalOccupationa/DepletedUranium/DepletedUranium\\_home.shtml](http://www.gulfink.osd.mil/medsearch/EnvironmentalOccupationa/DepletedUranium/DepletedUranium_home.shtml)

MTP (Military Toxics Project): <http://www.miltoxproj.org/>

National Gulf War Resource Center: [http://www.ngwrc.org/Dulink/du\\_link.htm](http://www.ngwrc.org/Dulink/du_link.htm)

Post-Conflict Assessment Unit Publications der UNEP (United Nations Environment Programme): DU-Reports: <http://postconflict.unep.ch/publications.htm#du>

Royal Society Working Group on the Health Hazards of Depleted Uranium Munitions:

[http://www.royalsoc.ac.uk/policy/cur\\_du.htm](http://www.royalsoc.ac.uk/policy/cur_du.htm)

Uranium Medical Research Center: <http://www.umrc.net/>

WHO (World Health Organization: DU-Informationen: [http://www.who.int/ionizing\\_radiation/env/du/en/](http://www.who.int/ionizing_radiation/env/du/en/))

WISE (World Information Service on Energy) Uranium Project:

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