

**Anmerkungen zum Einsatz
von abgereichertem Uran (DU) als Munition**

Markus Ball, Götz Neuneck

**Vortrag auf der Tagung: Uran-Waffen im Einsatz,
Evangelische Akademie Mühlheim**

- 0. Einleitung: Befürworter und Gegner**
- 1. Herkunft und Eigenschaften von DU**
- 2. Die Militärische Verwendung von DU**
- 3. Radiologische Wirkungen**
- 4. Toxikologische Wirkungen**
- 5. Literatur**

Hamburg, März 2000

Einleitung

Die Verwendung von abgereichertem Uran DU (Depleted Uranium) als panzerbrechende Munition hat insbesondere seit ihrer Verwendung im Golfkrieg 1991 für einige Aufmerksamkeit gesorgt. Begriffe wie „radioaktive Wüste“ oder vermutete Effekte vergleichbar mit dem Einsatz von „Agent Orange“ in Vietnam machten die Runde. Auch wurde das DU in die Verbindung mit dem sog. „Golfkriegssyndrom“ gebracht. Prominente wie M. Gorbatschow meinten dazu: „Wir sollten Waffen verbieten, deren Verwendung besonders gefährliche, langfristig ökologische und medizinische Konsequenzen hat. Aus meiner Sicht sollten Waffen, die abgereichertes Uran enthalten, zu den ersten gehören, die verboten werden.“¹. Der ehemalige US-Justizminister Ramsey Clarke erklärte: „DU-Waffen sind eine unakzeptable Bedrohung für das Leben, eine Verletzung internationalen Rechts und ein Angriff auf die menschliche Würde.“²

Staatliche Stellen der USA wiegelten jedoch meist ab. Die Arbeiten, die von der US-Regierung in Auftrag gegeben wurden, kamen zu dem Ergebnis, daß die Wirkungen von DU gering oder vernachlässigbar sind. Diverse Untersuchungen und Studien wurden von offizieller wie auch Kritikerseite veröffentlicht. Ein Schlußwort in dieser Debatte ist sicher noch nicht gesprochen. Erst vor kurzem hat die Royal Society angekündigt, sich der Problematik zu widmen. Das folgende Papier versucht den Stand der Diskussion zusammenzufassen.³

Angesichts fehlender Daten und oft einseitiger Informationen sind einige Schwierigkeiten zu beachten:

1. Panzerbrechende Munition wird im Krieg eingesetzt. Ziel ist bei bewaffneten Auseinandersetzungen z.B. Panzer zu stoppen. Dabei werden Menschen (hier meist in gepanzerten Fahrzeugen) oft getötet oder schwer verletzt.. Dies geschieht mit oder ohne DU-Munition. Relevant ist insbesondere aus der Sicht des humanitären Völkerrechts u.a.die Frage, ob durch die Munition jenseits der Kampfhandlungen langfristige radiologische oder toxikologische Gefahren für die Zivilbevölkerung oder bei Entsorgungsaktionen der Wracks entstehen. Weiterhin ist problematisch, daß die

¹ Michael Gorbatschow The Guardian, Juni 1999

² Ramsey Clark: International Appeal to Ban the Use of DU-Weapons

³ Die den Autoren bekannte Literatur ist am Ende des Aufsatzes zusammengefaßt.

Munition aufgrund ihrer militärtechnischen Eigenschaften ebenfalls von anderen Ländern genutzt und verstärkt eingesetzt werden könnte (Proliferationsgefahr).⁴

2. Grundlage für einen Schädigungsnachweis ist zu allererst ein wissenschaftlicher Beweis. Dies ist in den bekannten Kriegssituationen extrem schwierig. Beide Konfliktparteien versuchen relevante Informationen zu verschleiern bzw. gar nicht erst zugänglich zu machen. In der Kriegssituation sind Untersuchungen am Menschen oder auf dem Schlachtfeld praktisch nicht möglich. Offizielle Kreise sind daran auch meist gar nicht interessiert. Nach Kriegsbeendigung besteht oft wenig Interesse von den jeweiligen Parteien, die Wirkungen und Folgen rückhaltlos aufzuklären.
3. Abgesehen davon ist ein wissenschaftlicher Nachweis schwierig, da die vermuteten Effekte meist schwer nachzuweisen sind und da sie auf einer statistisch oder messtechnisch schwer erfassbaren Ebene stattfinden.

Folgende für die Analyse wichtigen Fragen sind insbesondere nach dem Munitionseinsatz oft nur schwer zu beantworten:

- Über welchen Zeitraum waren Personen einer radiologischen oder toxikologischen Einwirkung ausgesetzt?
- Welche Synergien spielen noch eine Rolle?
- Welche Rolle spielt das Immunsystem bzw. eine Nachbehandlung?
- Was spielt sich auf der molekularen Ebene im Organismus ab?

Auch rein naturwissenschaftliche Fragen sind von großer Bedeutung und noch nicht vollständig geklärt:

- Wie löst sich DU im Körper auf?
- Wie lange hält sich nicht aufgelöstes DU im menschlichen Körper auf?
- Wie verbreitet sich DU-Aerosol durch Wind in einer Landschaft?
- Wie groß ist das Erkrankungsrisiko in Abhängigkeit von der Belastung?

⁴ Drei bis fünf Länder sind in der Lage, DU zu produzieren. 12-15 Länder besitzen DU-Arsenale bzw. DU-Munition.

Solche offenen Fragen erschweren eine unmittelbare Einschätzung stark. Es gibt genügend Fälle, in denen die Wirkung von Substanzen (z.B. DDT) erst aufgrund von Langzeitfolgen im Laufe mehrerer Generationen „wissenschaftlich aufgeklärt“ werden konnten. Dies ist oft nicht der Wissenschaft sondern der fehlenden Kooperationsbereitschaft offizieller Stellen anzulasten. Würde hier das Verursacherprinzip gelten, wäre eine unmittelbare Aufklärung vielleicht einfacher, denn die verursachenden Gruppen müßten sich um stärker um den direkten Nachweis der Unbedenklichkeit kümmern.

Wissenschaft kann in dieser durch zu wenig Daten belegten Situation zunächst nur bessere Berechnungen und Modelle erstellen, um die Frage nach den Wirkungen von DU im Kriegseinsatz beantworten zu helfen. Der Großteil der Wissenschaftler beschäftigte sich aber immer noch lieber mit reinen Erkenntnisfragen oder unmittelbarer Anwendung und schiebt die Verantwortung zu Krieg und Frieden lieber auf die Politik.

1. Herkunft und Eigenschaften von DU

In der Natur vorkommendes Uran (Natururan) besteht aus 99,3% U-238, 0,7% U-235 und 0,0054% U-234. Es ist das schwerste, in der Natur vorkommende Element. Bei abgereichertem Uran wurde der größte Teil des spaltbaren U-235 entfernt, um dieses in angereicherter Form für Reaktoren oder den Bombenbau zu verwenden. Das chemische Verhalten dieser drei Isotope ist jedoch identisch. Abgereichertes Uran ist zunächst ein Abfallprodukt der Urananreicherung. (Siehe **Tabelle 1**) DU besteht jedoch im Gegensatz zum erdartigen Natururan aus 100% metallischem Uran.

Tabelle 1 Isotopenkonfiguration des Natururan und des abgereicherten Urans [Fetter/Hippel 1999]

Isotope	Half-life ^a yr	Specific Activity ^b Ci/g	Concentration ^c weight %	
			Natural U	Depleted U
U-234	$2.46 \cdot 10^5$	$6.22 \cdot 10^{-3}$	0.0054	0.0007
U-235	$7.04 \cdot 10^8$	$2.16 \cdot 10^{-6}$	0.711	0.2
U-236	$2.34 \cdot 10^7$	$6.47 \cdot 10^{-5}$		0.003
U-238	$4.47 \cdot 10^9$	$3.36 \cdot 10^{-7}$	99.28	99.8
Natural U		$6.85 \cdot 10^{-7}$		
Depleted U		$3.85 \cdot 10^{-7}$		

- Edgardo Browne and Richard B. Firestone, *Table of Radioactive Isotopes* (New York: John Wiley, 1986).
- Specific activity (Ci/g) = $3.57 \cdot 10^5 / A t_{1/2}$, where A is the atomic mass and $t_{1/2}$ is the half-life in years.
- The U-235 concentration can vary between 0.2 and 0.3 percent; the DU used by DoD contains about 0.2 percent U-235 and a trace amount of U-236 (from reprocessed uranium). *Health and Environmental Consequences of Depleted Uranium Use in the U.S. Army: Technical Report* (Atlanta: U.S. Army Environmental Policy Institute, June 1995), <http://aepi.gatech.edu/DU/chapter2.html>. For DU containing 0.2 percent U-235, the U-234 concentration is 6.4 to 7.2 ppmw, depending on the concentration of U-235 in the enriched product. Steve Fetter, "Nuclear Archaeology: Verifying Declarations of Fissile-material Production," *Science and Global Security*, Vol. 3, Nos. 3-4 (1993), p. 257.

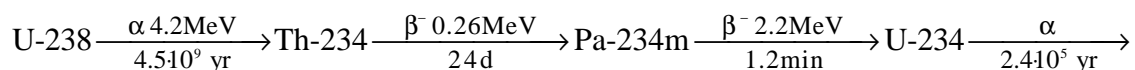
Uran ist ein Schwermetall mit einer Dichte ($18,9 \text{ g/cm}^3$) größer als Blei. DU wird u.a. als Gewichtsverstärkung (in Gabelstaplern und in Flugzeugen als Trimmgewicht⁵) oder als Abschirmung gegen γ -

⁵ Die Boeing 747 benötigt i.A. 1,5 Tonnen.

Strahlen verwendet wird. DU ist ein Abfallprodukt des Urananreicherungsprozesses.⁶ Die Anreicherung von U-235 geschieht meist durch Gasdiffusion (vornehmlich in den USA) oder durch Gaszentrifugation. Das europäische Unternehmen Urenco betreibt Gaszentrifugen in Großbritannien, Holland und Deutschland. Vier russische Anreicherungsanlagen stehen in Jekatarinenburg, Tomsk, Krasnojarsk und Angarsk. Für die Gasdiffusion wird die Uranverbindung UF₆ verwendet, welche über 57° C gasförmig und unterhalb dieser Temperatur fest ist. Oberhalb von 1,5 atm und von 64° C bildet UF₆ einen kristallartigen Sand. Es ist hochreaktiv, wenn es mit Wasser zusammentrifft.

Das UF₆ wird in den USA in speziellen Stahlzylindern (12,6 to) an drei Lagerstätten aufbewahrt. Nach Angaben des Deptment of Energy (DOE) vom Juni 1998 lag der Bestand bei 57.800 Containern mit einer Gesamtmasse von 734.000 Tonnen. Pro Jahr werden ca. 150 Container (1900 Tonnen) produziert. Ein Teil der Container korrodieren. Das DOE arbeitet an einem Konversionsprogramm (siehe Zajic 1999 Kapitel 2). Eine ausführliche Liste von Herstellern von DU-Munition findet sich im Kapitel 4 von Zajic.

Die Zerfallskette von U-238 zeigt, das mit einer Halbwertszeit von 4.5 Mrd. Jahren Thorium 234 und Protaktinium 234 entstehen. Für die Radioaktivität von DU sind in erster Linie das U-238 und die beiden kurzlebigen Zerfallsprodukte verantwortlich.



Während beim α -Zerfall des U-238 keine signifikanten Mengen gefährlicher γ -Strahlen entstehen, treten schwache Dosen beim β -Zerfall der kurzlebigen Zerfallsprodukte auf. Zwar besitzt DU nur die Hälfte der Radioaktivität von Natururan, es liegt jedoch in hoher Konzentration als fast reines Uran-Metall vor. Metallisches Uran ist pyrophor d.h. es kann sich in einer Umgebung von Luft, Sauerstoff und Wasser bei Raumtemperatur selbst entzünden. Bertell 1999 gibt an, daß sich metallisches Uranpulver in einer Atmosphäre von Stickstoff und CO₂ selbst entzünden und sogar zu einer Explosion führen kann.

⁶ Zum DU als Nebenprodukt im Nuklearkreislauf siehe Diehl in: LAKA 1999. Diehl gibt an, daß bis 1993 allein in den USA 560.000 Tonnen abgereichertes DU in der UF₆-Form angefallen sind.

2. Die militärische Verwendung von DU

Aufgrund seiner exorbitanten Härte und Dichte eignet sich DU-Metall als Geschossmaterial gegen gepanzerte Ziele. Ziel von Panzerbekämpfung ist es im Prinzip eine harte Panzerung durch ein noch härteres Geschoss zu durchdringen. In den letzten Jahrzehnten hat sich auf diesem Gebiet eine Art „technologischer Rüstungswettlauf“ abgespielt: Die Panzerungen wurden verbessert (größere Dicke, wärmeabführende Beschichtung etc.) aber auch die Geschosse wurden schneller, härter und ausgeklügelter (z.B. Hohlladungen) DU ist recht billig, liegt in großen Mengen vor und ist schwerer als Blei ($11,35 \text{ g/cm}^3$)⁷ Es auch als Abschirmung von γ -Strahlen verwendet. Die US-Armee begann in den 70er Jahren mit den Testen von DU als Wuchtgeschoss. Aufgrund des niedrigeren Schmelzpunktes, der Entzündlichkeit und der verfügbaren Mengen wurde DU dem Wolfram vorgezogen. Die Bundeswehr schloss sich nicht an, sondern verwendet weiterhin Wolfram.

Die **Tabelle 2** zeigt die Munitionstypen und die jeweilige Waffensysteme aus dem US-Arsenal. DU wird auch als Panzerung für den M1 Panzer verwendet.⁸ DU wird auch als Sprengstoffersatz bei Flugtests der BGM-105 Tomahawk-Cruise Missiles verwendet. DU-Munition ist auch für zukünftige Waffensysteme, so für den Schützenpanzer Bradley, eingeplant.

Die USA benutzen heute 105- und 120-mm Granaten in ihren Panzern sowie 30 mm-Geschosse, die von sog. schnellfeuernden Gatling-Kanonen an Bord von Flugzeugen (A-10 Thunderbolt) und Helikoptern (Apache) verschossen werden.

⁷ Eine Alternative ist Wolfram ($19,3 \text{ g/cm}^3$), das zur Hälfte aus China bezogen wird und das einen höheren Schmelzpunkt (3410°C) als Uran (1323 C) hat

⁸ Dies wurde erstmals 1987 berichtet. 1993 waren 1.500 M1A1-Panzer damit ausgerüstet

Tabelle 2: Munitionstypen und Waffensysteme der USA (künftige Waffensysteme sind grau unterlegt) [Zajic 1999]. Es existieren auch noch kleinere Kaliber bis hinunter zu 7,62 mm.

Munitionstyp	Kaliber [mm]	DU Gewicht [g]	Waffen System:	Teilstreitkraft
M829A1, M829A2 (APFSDS-T)	120	5.350	M1A1, M1A2 Abrams Tanks	US Army US Marine Corps
M900 (APFSDS-T)	105	4.245	M1 Abrams Tank	US Army
M833 (APFSDS-T)	105	3.663	M60A3 Tank	nicht mehr verwendet
M774 (APFSDS-T)		3.355		
PGU-14 (API)	30	298	A-10 Thunderbolt II Aircraft (same as A-10 Warthog Aircraft)	US Air Force
M919 (APFSDS-T)				
M791 (APDS-T)	25	97	M2, M3 Bradley Fighting Vehicles LAV-AT Light Armored Vehicle	US Army US Marine Corps
Frangible (APDS-T)				
PGU-20 (API)	25	148	MK-38 Heavy Machine Gun AV-8B Harrier II Aircraft	US Navy US Marine Corps
MK149-2 (APDS)	20	70	Phalanx CIWS Missile Defense Gun	US Navy

Legende:

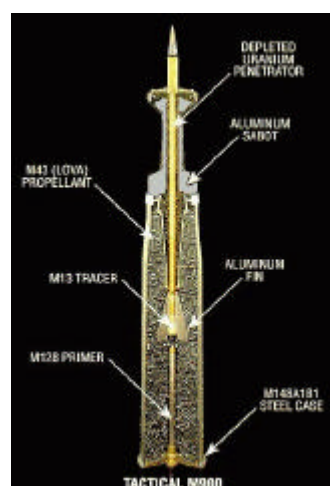
APFSDS-T: Armor Piercing Fin Stabilized Discarding Sabot with Tracer

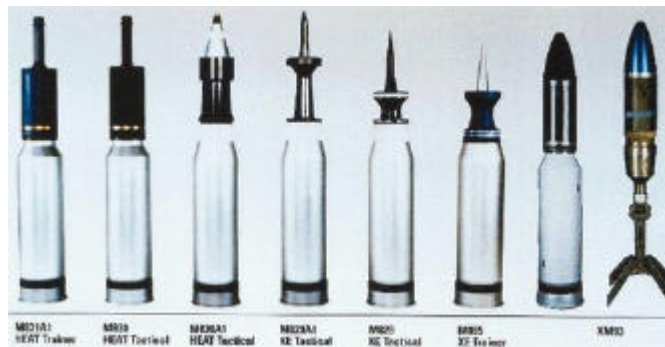
APDS-T: Armor Piercing Discarding Sabot with Tracer

APDS: Armor Piercing Discarding Sabot

API: Armor Piercing Incendiary

Die folgenden Bilder zeigen die 120- (unten) und 105- mm-Granaten (oben), die ein Pfeilgeschoss aus DU enthalten:





Die folgende Abbildung zeigt ein „altes“ 105 mm-Pfeilgeschoss für den M60-Panzer.[Zajic 1999; Kapitel 3]

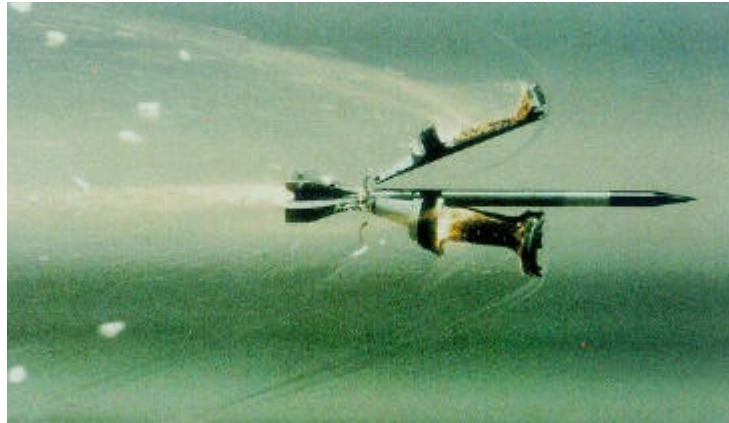


Die USA sind der größte Exporteur von DU-Munition. Insgesamt sollen 17 Staaten DU-Munition erworben haben, darunter Großbritannien, Frankreich, Rußland, Griechenland, Türkei, Israel, Saudi-Arabien, Bahrain, Ägypten, Kuwait, Pakistan, Thailand, Südkorea, Taiwan. Die „Nuclear Regulatory Commission“ verlangt eine Lizenz zur Handhabung und für Testzwecke.

Zajic hat 14 Testgelände in den USA aufgelistet und die verbrauchte Munition sowie die Kontamination und die Entsorgungsmaßnahmen beschrieben.

- Los Alamos National Laboratory in New Mexico
- US Army Ballistic Research Laboratory in Nevada
- Aberdeen Proving Ground in Maryland
- Jefferson Proving Ground in Indiana
- Yuma Proving Ground in Arizona
- Eglin Air Force Base in Florida
- Nellis Air Force Base in Nevada
- Davis Monthan Air Force Base in Arizona
- Kirtland Air Force Base in New Mexico
- White Sands Missile Range in New Mexico
- New Mexico Institute of Mining and Technology in New Mexico
- China Lake Naval Air Warfare Center (formerly China Lake Naval Weapons Center) in California
- Lake City Ammunition Plant in Missouri
- Ethan Allen Firing Range in Vermont

Nach dem Abfeuern der Granate durch eine Panzerkanone trennt sich nach ca. 150 m die Granatenummantelung (Sabot) und der DU-haltige Pfeil fliegt mit hoher Geschwindigkeit auf das Ziel zu. Die folgende Abbildung zeigt diesen Vorgang:



Ein Geschoss trifft mit ca. 1500 Meter pro Sekunde auf eine Panzerung. In weniger als einer Millisekunde wird ein Großteil der kinetischen Energie in Wärme verwandelt.⁹ Dieser Vorgang verwandelt einen Teil des DU-Geschosses in eine Wolke von heißen Partikeln und Aerosol. Kleine Partikel verbrennen und so entsteht ein feines Aerosol aus DU-Oxid. Je nach der Dicke der Panzerung entstehen unterschiedliche Mengen von Aerosol.

Tabelle 3 : Geschossparameter und freiwerdende Energie

Geschoss	Geschwindigkeit [m/s]	Gewicht [kg]	Max. freiwerdende Energie [MJ]
120 mm	1.500	4-5	5,6
30 mm	1.000	0,275	0,14

Um die Menge, Löslichkeit und Größe der Aerosole zu bestimmen, wurden in den USA Tests durchgeführt.¹⁰ Der Anteil des DU-Aerosols bei unterschiedlichen Geschossen und Panzerungen lag zwischen 3 und 70 Prozent. 1-96 Prozent der Aerosolmasse war einatembar, d.h. die Partikelgröße war kleiner als 10 µm. Wiederum 17-43 Prozent dieses einatembaren Aerosols war chemisch in den Körperflüssigkeiten oder Wasser löslich. Fetter/von Hippel schätzen unter konservativen Annahmen, dass ca. 20 Prozent der DU-Masse in Aerosol umgewandelt worden ist. Unter der weiteren Annahme, daß nur die Hälfte der Geschosse die gepanzerten Ziele treffen, würde das bedeuten, dass

⁹ Die umgewandelte Energie einer 120 mm-Granate beträgt $1/2 m v^2 = 1/2 (5\text{kg}) (1500\text{m/s})^2$. Die dabei freiwerdenden 5,6 MJ entsprechen der Sprengkraft von ca. 1,4 kg TNT.[Fetter/von Hippel 1999:132]

10 Prozent der im Golfkrieg eingesetzten DU-Masse bei Auftreffen auf gepanzerte Ziele in einatembares Aerosol verwandelt wurde.¹¹

Bei Feuertests, bei denen DU-Munition verbrannte, entsteht weniger lösliches Aerosol. Es wird angegeben, daß 10-35 Prozent der DU-Masse in Oxid umgewandelt wird und daß 0,07-0,6 Prozent der Oxidmasse als Aerosol vorlag. 0.007-0,07 davon waren einatembar. 3-7 Prozent des Aerosols waren löslich. Die Autoren schätzen, daß der Anteil der DU-Munition, der bei einem Feuer als einatembares Aerosol entsteht, bei weniger als 0,05% liegt. Während die schwereren nicht-einatembaren Partikel recht schnell zur Erde sinken, können leichte Aerosole über Stunden in der Luft bleiben.

Verwendung im Golfkrieg²

Erstmalig wurden DU-Granaten im Kampf von dem amerikanischen M1A1-Panzer und dem britischen Challenger im Golfkrieg abgefeuert. Die Granaten wurden „mit Erfolg“ aus einer Entfernung von bis 3 km (M1) bzw. 5 km (Challenger) auf irakische Panzer (meist T-72 russischer Bauart) verschossen. Über 3.700 Panzer wurden zerstört, 1.400 wurden von DU-Geschossen getroffen. Ca. ein Viertel der US-Panzer (654 von 2058) waren mit DU-Panzerung versehen und konnten nur von DU-Munition durch „friendly fire“ durchschlagen werden. **Tabelle 4** gibt einen Überblick über die im Golfkrieg verwendeten Munitionsmengen. Die meisten Angaben stammen von Zajic.

Tabelle 4 DU-Munitionsmengen und Waffensysteme, die im Golfkrieg verwendet wurden

TSK	Waffen System	Kaliber	Geschossmenge	DU Gewicht
		[mm]		[kg]
US Army	M1 Abrams Tanks	105	504	2,359
	M1A1 Abrams Tanks	120	9048	53,358
US Air Force	A-10 Warthog Aircraft	30	783514	257,371
US Navy	Phalanx CIWS Missile Defense Gun	20	?	?
US Marine Corps	AV-8B Harrier Aircraft	25	67436	11,0015
	M60A3 Tanks	105	?	?
British Army	Challenger Tanks	120	88	0,519
Summe	Tanks		9,640	56,2365
	Aircraft		850,950	268,3725

¹⁰ Details in [Fetter/von Hippel 1999:132]

¹¹ Ebd.

¹² Die folgenden Angaben stammen von Zajic 1999.

29 von ca. 200 getroffenen US-Panzern waren radioaktiv verseucht (21 durch Beschuss von eigenen Truppen, 8 M1 A1 fingen Feuer, so daß die DU-Munition teilweise verbrannte). Bei der anschließenden zentralen Entsorgung trugen die Soldaten nicht die ausgegebenen Masken. Einige klagten ein Jahr später über Nierenprobleme. Ein A-10-Flugzeug stürzte in Saudi-Arabien ab und brannte samt 280 kg DU-Munition aus.

Im Golfkrieg 1991 wurden von den USA sowohl 4000 panzerbrechende, DU-haltige Granaten von Panzern abgefeuert als auch ca. 800.000 30mm-Geschosse aus der Luft verschossen. Übereinstimmend wird berichtet, daß über 300 Tonnen DU zum Einsatz kamen, d.h. in irgendeiner Weise im Wüstenboden des Irak bzw. von Kuwait vorhanden sind. Bei einem Feuer im Camp Doha/Kuwait wurden 3000 Granaten zerstört; 7000 wurden für Übungszwecke verwendet. Trotz Warnungen wurden bei dem Feuer keine Schutzmasken angelegt.

Eine wichtige Frage ist, wieviel der 320 Tonnen DU in welcher Form im Irak/Kuwait freigesetzt wurden. Bertell gibt an, daß der größte Teil bei hohen Temperaturen als Aerosol freigesetzt wurde und zwar als unlöslicher Staub von Uranoxid (UO_2 oder UO_3). Es ist auch klar, daß dieser radioaktive Staub mit den üblichen Detektionsinstrumenten nicht identifiziert werden konnte [Bertell 1999:18].

Fetter/von Hippel zitieren eine Armee-Quelle, in der angegeben wird, daß der Einsatzort in der Wüste lag, einige hundert Quadratmeilen groß war und viele Meilen von den nächsten Städten entfernt war [von Hippel/Fetter 1999:127]. Diese Bedingungen waren im Kosovo nicht gegeben.

3. Die radiologische Wirkung von DU

Aufgrund massenspektroskopischer Messungen kann folgende Isotopenzusammensetzung für die Uranisotopen angegeben werden:

Tabelle 5: Isotopenzusammensetzung von Uran [Zajic 1999]

Uranium	²³⁸ U [%]	²³⁵ U [%]	²³⁴ U [%]
Natur Uranium	99.274	0.720	0.0055
Abgereichertes Uran	99.797	0.202	0.0008

Die Gesamtaktivität und die α -Aktivität der verschiedenen Uranisotopen sind in **Tabelle 6** zusammengefaßt:

Tabelle 6: Spezifische Aktivität von Uran nach ZAJIC 1999

Uran	Aktivität	α - Aktivität	Aktivität	α - Aktivität
	[MBq/kg]	[MBq/kg]	[mCi/kg]	[mCi/kg]
U-238	12.4	12.4	0.335	0.335
U-235U	78.4	78.4	2.12	2.12
Natur Uranium mit Tochter-Produkten	50.4	25.2	1.36	0.681
Abgereichertes Uranium (DU) mit Tochter-Produkten	39.3	14.4	1.05	0.389

Zajic resümiert, daß die Gesamtaktivität von DU 22% niedriger ist als die Mischung von Natururan. Die der Aktivität liegt 43% niedriger.

Am 4. Oktober 1992 stürzte eine El-Al Boeing 747 in einen Wohnblock nahe Amsterdam. Öffentlich wurde angegeben, daß lediglich 380 kg DU als Trimmgewicht an Bord waren, insgesamt kann die Boeing jedoch 1,5 Tonnen als Trimmlast tragen Lediglich 150 kg wurden nach dem Unglück geborgen.

Sowohl im Krieg um Bosnien-Herzegowina 1995 als auch im Kosovo-Jugoslawien Krieg 1999 wurden A-10-Erdkampfflugzeuge eingesetzt. Es wurden 30 mm-Geschosse am Boden gefunden, die genaue Menge ist jedoch nicht bekannt. Auch wird vermutet, daß Tomahawk Cruise Missiles mit ca. 3 kg DU in der Spitze des Flugkörpers eingesetzt wurden.

Auswirkungen und Gefahren von Radioaktivität

Radioaktivität bzw. radioaktive Strahlung birgt die große Gefahr eines erhöhten Krebsrisikos. Zu einer Mutation einer Zelle kann es kommen, wenn im Zellkern ein irreparabler Schaden der DNA erfolgt, wie dies zum Beispiel im Falle eines Doppelstrangbruches vorkommt, dessen Basenpaare weniger als drei Paare auseinanderliegt. Dies ist zum Beispiel durch Einwirkung von Elektronen, also β -Strahlung möglich. Die Mutation kann natürlich auch durch α -Strahlung, also einem He-Kern, verursacht werden, aufgrund des größeren Radius eines Heliumkerns ist jedoch die Eindringtiefe geringer. Kommt es zur Mutation einer Zelle, besteht ein erhebliches Krebsrisiko, da sich eine Krebszelle im Gegensatz zu einer normalen Zelle unbegrenzt teilen kann, wohingegen eine normale Zelle nach 30 Teilungszyklen, die Zellteilungsfähigkeit verliert. Eine große Gefahr besteht dann, wenn ein radioaktiv strahlendes Element in den Körper gelangt und nicht wieder ausgeschieden wird, da dann die Strahlung direkt im Körper wirkt und sich um so leichter Doppelstrangbrüche in der DNA produzieren kann. Am gefährlichsten ist es, wenn ein radioaktives Element in den Zellkern gelangt und sich in die DNA integriert. Es wird damit bei jeder Zellteilung weitergegeben und strahlt somit im Kern. Um deutlich zu machen, dass selbst bei kleinen im Körper verbleibenden Mengen eine nicht zu unterschätzende Strahlung bleibt, sei am Beispiel von ^{238}U gezeigt was für eine Strahlung verbleibt. Die Mol-Masse von Uran beträgt 238, das heißt, dass 238 g Uran $6,02 \cdot 10^{23}$ Atome umfasst. $1\text{g (DU)} \equiv 2,53 \cdot 10^{21}$ Atome bzw. $1\mu\text{g (DU)} \equiv 2,53 \cdot 10^{15}$ Atome. Uran hat eine Halbwertszeit τ von $4,5 \cdot 10^9$ Jahren, das heißt bei $4,5 \cdot 10^9$ Atomen hat man ein Zerfall pro Jahr. Das heißt bei einem $1\mu\text{g}$ DU hat man $5,62 \cdot 10^5$ Zerfälle pro Jahr, das heißt ca. 1540 Zerfälle pro Tag.

Individuelle Gefahren bei einer fortlaufenden DU-Aussetzung

Die folgende **Tabellen** geben die Zerfallsprodukte, die dazugehörigen Strahlungstypen, die Energie, die relative, biologische Effektivität und die Dosis-Äquivalent Rate an.

Tabelle 7: Die Äquivalenzdosis-Rate von Uranium Isotopen und Zerfallsprodukte¹³

Isotope	Strahlung	Energie ^{a)} [keV]	Yield [%]	RBE [rem/rad]	Äquivalenzdosis /Aktivität [(mrem/year)/(pCi/kg)]
²³⁸ U	α	4,267	77	16	1.28
	α	4,219	23	16	
	γ	48	23	1	
²³⁴ Th	β ⁻	193	67	1	0.0028
	β ⁻	100	33	1	
	γ	93	33	1	
^{234m} Pa	β ⁻	2,290	98	1	0.0146
	β ⁻	1,480	1	1	
	β ⁻	1,250	1	1	
	γ	810	2	1	
	γ	230	1	1	
²³⁴ U	α	4,856	72.5	15	1.30
	α	4,803	27.5	15	
	γ	53	27.5	1	
²³⁵ U	α	4,678	100	15	1.32
²³¹ Th	β ⁻	387	100	1	0.0024

Enorme Risiken treten auf, wenn wie im Golf Krieg geschehen, die verschossenen nicht explodierten DU-Geschosse von Soldaten als Kriegstrophäe oder von Kindern als Spielzeug ständig mitgeführt werden. Der Grenzwert der jährlichen Haut Äquivalenzdosis, der für Strahlungsarbeiter gilt und 50 rem/a beträgt, würde bereits nach zehn Tagen erreicht. Der jährliche Grenzwert von 1 rem/a der für die Öffentlichkeit gilt, wäre bereits nach 5 Stunden erreicht. Es gilt also auf die Risiken des direkten Kontaktes mit DU hinzuweisen.

Für die Bevölkerung, die nicht in direkten Kontakt mit den DU-Geschossen kommt, berechnet sich die Bevölkerungs Dosis Rate D_e mit Hilfe der Formel

$$D_e = C_e \cdot M \cdot \rho$$

¹³ Tabelle entnommen aus Zajic 1999, Kapitel 7

wobei $C_e = 1.3 \text{ mrem/a}$ pro Tonne DU die effektive Äquivalenzdosis pro km^2 ist, M die Masse des verstreuten DU ist und ρ die Dichte der Bevölkerung pro km^2 ist. Die Gleichung vernachlässigt abschirmende Effekte des Geländes und des Wetters. Im Falle des Golfkrieges war $M=300 \text{ t}$ und $\rho=50/\text{km}^2$. Dies ergibt eine Strahlungswirkung von ca. 20 rem pro Jahr. Über einen Zeitraum von 50 Jahren ergibt sich eine Strahlenbelastung von ca. 200 rem, bei einer tödlichen Strahlendosis von 2000 rem pro Jahr besteht eine zehnpromtente Chance, dass eine Person an Krebs stirbt. Bei dieser Berechnung, die von von Fetter/Von Hippel [9] stammt, kommen die Autoren zu dem Resultat, „dass die Gesundheitsrisiken von Personen bzw. der Bevölkerung durch externe Strahlenbelastung von DU klein ist, mit Ausnahme von Personen, die direkten, langen Kontakt mit blanken DU-Fragmenten haben.“¹⁴

Externe Gammastrahlendosis

Wirkungsrate der Energieemission von γ -Strahlen beim Zerfall von U-238:

$$R_i = \frac{(6.0 \cdot 10^{23})(1.6 \cdot 10^{-13})}{A\tau} f_i E_i = 0.063 f_i E_i \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}} \right]$$

Dabei ist $6.02 \cdot 10^{23}$ die Avogadro-Konstante, A ist das Atomgewicht von Uran $238 \text{ A} = 238 \text{ g/mol}$, τ entspricht der mittleren Lebensdauer von $6.5 \cdot 10^9 \text{ a}$, $1.6 \cdot 10^{-13}$ ist der Umrechnungsfaktor von MeV in Joule, f_i ist die mittlere Anzahl γ -Energie emittierender Atome, die in einer Dekade zerfallen, E_i ist die durchschnittliche Energie in MeV.

Absorptionsrate von γ -Energie pro kg Körpergewicht pro Jahr.

$$P_i(r, h) = \frac{R_i}{4\pi(r^2 + h^2)\lambda_t \rho_t} \exp\left[-\frac{\sqrt{r^2 + h^2}}{\lambda_{ai}}\right] \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{a}} \right]$$

λ_t ist der mittlere Energieabschwächungskoeffizient in Körpergewebe, ρ_t ist die Dichte des Körpergewebes, λ_{ai} ist die mittlere Energieabsorptionsentfernung in Luft, r ist der horizontale Abstand und h die Höhe. Dies integriert über die Ebene ergibt eine Dosisrate von:

¹⁴ Fetter/von Hippel 1999, S. 131-132

$$P_i(h) = \int_0^\infty P_i(r,h) dr \approx \frac{R_i}{2\lambda_t \rho_t} \ln\left(\frac{\lambda_{ai}}{h}\right) = 1.0 \cdot 10^{-4} f_i E_i \ln\left(\frac{\lambda_{ai}}{h}\right)$$

Nimmt man für die Höhe $h = 1\text{m}$ an und benutzt für die Werte f_i , E_i , und λ_{ai} die Durchschnittswerte für Th-234 und Pa-234 ergibt sich daraus:

$$P \approx 1.0 \cdot 10^{-4} [(0.1)(0.08)\ln(360) + (0.009)(1.0)\ln(300)] = 1.0 \cdot 10^{-5} \frac{\text{J/kg}}{\text{yr}} = 1.0 \frac{\text{mrem}}{\text{yr}}$$

Zum Vergleich die durchschnittliche Strahlenbelastung durch Höhenstrahlung und Hintergrundstrahlung (z.B. Radium in Beton) beträgt im Jahr 300 mrem/yr (mrem/a).

4. Toxikologische Wirkung

Wie viele Schwermetalle ist Uran toxisch. Da die Niere ein höchst sensitives Organ ist, beziehen sich Fetter/Hippel bei der toxischen Wirkung auf das Nierengewebe. Aufgrund von Tierversuchen wird ein signifikantes Zellsterben bei einem durchschnittlichen, männlichen Erwachsenen auf 1mg Uran in der Niere festgelegt.

Die U.S. Occupational Health and Safety Administration (OSHA) hat folgende Grenzwerte für die Inhalation von uranischen Aerosolen festgesetzt. Die Grenzwerte gehen davon aus, dass eine Person diesen Mengen an Aerosolen über einen Zeitraum von 40 Stunden in der Woche und 50 Wochen im Jahr ausgesetzt ist. Zum Vergleich die entsprechenden Grenzwerte von Blei und Wolfram.

Tabelle 7: von der OSHA festgelegte Grenzwerte für die Inhalation giftiger Elemente¹⁵

Element	Grenzwert	
	Löslich [mg/m ³]	Nicht löslich [mg/m ³]
Wolfram	1	5
Blei	0,05	0,10
Uranium	0,05	0,25

Die **Tabelle 8**¹⁶ gibt die maximale Menge von Uran in der Niere an, die sich durch das Einatmen bzw. der Einnahme von 1g Aerosol ergibt. Eine tödliche Dosis erfolgt nach Einatmen von 5-6 mg löslichem uranischen Aerosol bzw. 300-1400 mg nicht löslichem uranischen Aerosol. Die Schwellenwerte für einen zeitweiligen bzw. permanenten Nierenschaden liegen bei 8 bzw. 40 mg inhaliertem

¹⁵ Tabelle entnommen aus [19]

¹⁶ Tabelle entnommen aus [9]

löslichen Aerosol. Toxische Effekte, die aus geringeren Dosen resultieren, können aufgrund fehlender Langzeitstudien nicht ausgeschlossen werden.

Table 8: Maximum amount of uranium in the kidney (milligrams) following inhalation or ingestion of one gram of uranium aerosol.^a

	AMAD ^b (<i>mm</i>)	Soluble ^c	Insoluble ^d
Inhaled	0.2	58	0.22
	1	48	0.49
	5	61	1.1
Ingested		5.4	0.22

a. Calculated using the model for uranium described in International Commission on Radiological Protection, "Limits for Intakes of Radionuclides by Workers," ICRP Publication 30, Part 1 (Oxford: Pergamon Press, 1978).
b. Activity median aerodynamic diameter (AMAD).
c. Lung clearance class of "days." d. Lung clearance class of "years."

Die nächste **Tabelle 9**¹⁷ gibt die maximale Menge von DU-Aerosol an, die einmalig eingeatmet oder eingenommen werden darf. Das DU-Aerosol wird als Funktion der Aerosol-Größe und des Prozentsatzes von Uran, das in löslicher Form vorliegt, angegeben. Die Werte basieren auf den bestehenden US-Grenzwerten von Giften und Strahlungsdosen.

Table 9. Maximum amount of DU that could be inhaled or ingested (milligrams) without exceeding U.S. occupational toxicity or radiation standards.

Percent in Soluble Forms ^a	Inhalation			Ingestion
	0.2 μm	1 μm	5 μm	
0	54 ^b	110 ^b	290	1400
5	57 ^b	110	76	650
10	51	60	44	420
15	35	41	31	310
25	21	25	19	200
50	11	13	10	110

a. Lung clearance class of "days."
b. Limit set by radiation exposure (5 rem/yr EDE, 50 rem/yr all other organs). Other limits set by chemical toxicity (0.1 $\mu\text{g/g}$ in kidney).

¹⁷ Tabelle entnommen aus [9]

Individuelle Gefahren im Falle eines Ausgesetztseins von uranischem Aerosol¹⁸

Trifft ein Geschoss auf einem Panzer auf, so kann sich 20 % des Urans in ein Aerosol umwandeln. Unter der Annahme, dass sich die entstehende Aerosolwolke genau wie eine äquivalente Wolke eines herkömmlichen Geschosses verteilt, kann man folgende empirischen Beziehungen für Höhe und Reichweite der Aerosolwolke zugrunde legen.

$$H = 76W^{0.25} \quad R = 35W^{0.375}$$

W ist hierbei die Explosionsstärke in kg TNT-äquivalent. Die durchschnittliche Konzentration Aerosols in der Nähe des Bodens ist χ .

$$\chi$$

M ist dabei die Masse des durchschlagenden Geschosse und f_i der Prozentsatz des zu erwartenden umwandlungsfähigen, einatembaren Aerosols ist. Eine Person, die also direkt in Windrichtung des Wolkenzentrums steht, inhaliert die Menge Aerosol von

$$I$$

$b = 3.3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ist hierbei Atemfrequenz, $u = 1 \text{ m/s}$ die Windgeschwindigkeit, $t \cong 2 \cdot R/u$ diejenige Zeit, in der die Person in der Wolke steht und $M = 1 \text{ kg}$. Daraus ergibt sich ein Wert für I von $I = 0.16 W^{-0.625}$. Ein 120-mm Geschoss ist Äquivalent zu 1,5 kg TNT. Geht die gesamte Menge an kinetischer Energie beim Aufschlag verloren, wäre die maximal zu inhalierende Menge 0,08 mg. Geht nur 10 % der Energie verloren, wäre die maximal zu inhalierende Menge 0,3 mg. Eine Person müsste also in einer Aerosolwolke stehen, die von 40 bis 450 DU-Geschossen erzeugt wurde, um einen Wert von 1ppm Uran in der Niere zu überschreiten.

Befindet sich eine Person in einem Abstand von 1 km Abstand verringert sich die Dosis auf 2 bis 26 μg , eine Menge, die 500 bis 20.000 fach geringer als die Menge von 12 bis 36 mg ist. Weitere Werte enthält die **Tabelle 10**, welche die Menge des Aerosol als Funktion der Entfernung angibt, die im Falle von ungünstigsten bzw. typischen Wetterverhältnissen inhaliert wird.

¹⁸ Siehe Fetter/von Hippel 1999, S. 137ff.

Table 10. DU inhaled (micrograms) by individual directly downwind from release of 1 kilogram of respirable DU aerosol generated by impact of one 120-mm penetrator (W = 0.3 to 3 lb) or 17 30-mm penetrators (W = 0.03 lb).^a

Distance (km)	Worst-case Weather ^a			Typical Weather ^b		
	W = 0.03 lb	W = 0.3 lb	W = 3 lb	W = 0.03 lb	W = 0.3 lb	W = 3 lb
0.1	200	59	18	54	22	8.4
0.2	120	42	13	32	15	5.9
0.5	54	22	7.4	11	6.9	3.4
1	26	12	4.5	4.3	3.2	1.9
2	8.8	5.4	2.3	1.5	1.3	0.93
5	1.4	1.3	0.74	0.40	0.36	0.30
10	0.32	0.37	0.30	0.15	0.14	0.13

- a. Source: HOTSPOT 98, assuming standard terrain, 0.01 m/s deposition velocity, 10-min sampling time, $3.3 \cdot 10^{-4}$ m/s breathing rate.
b. Class "F" stability, 1 m/s wind speed, 250 meter mixing height.
c. Class "D" stability, 5 m/s wind speed, 1,000 meter mixing height.

Außer der Möglichkeit der Aerosolbildung durch das Aufschlagen eines DU-Geschosses auf ein Fahrzeug, gibt es noch die Möglichkeit der Aerosolerzeugung durch einen DU-Brand. So geschehen am 11 July 1991 in Camp Doha. In Tests wurde eine 0,025 prozentige Umwandlung der DU-Masse in ein Aerosol beobachtet, von dem 3 bis 7 Prozent in löslicher Form auftrat. Das Doha-Feuer setzte etwas weniger als 1 kg Aerosol frei.

Tabelle 11 gibt die Menge an DU an, die von einer Person inhaliert wird, die direkt im Luftzug eines Feuers steht, welches 1 kg Aerosol verbrennt.

Table 11¹⁹. DU inhaled (micrograms) by individual directly downwind from release of 1 kilogram of respirable aerosol generated by a fire.^a

Distance (km)	Worst-case Weather ^b		Typical Weather ^c	
	Smoldering ^d	Hot Fire ^e	Smoldering ^d	Hot Fire ^e
0.1	25	54	11	14
0.2	16	44	7.9	10
0.5	6.9	25	3.8	4.9
1	3.1	13	1.8	2.4
2	1.1	4.6	0.79	0.98
5	0.18	0.79	0.23	0.30
10	0.04	0.16	0.09	0.12

a. Source: HOTSPOT 98, assuming standard terrain, 0.01 m/s deposition velocity, $3.3 \cdot 10^{-4}$ m/s breathing rate, 50-m release radius.
b. Class "F" stability, 1 m/s wind speed, 250 meter mixing height.
c. Class "D" stability, 5 m/s wind speed, 1,000 meter mixing height.
d. Heat release rate of 10^4 cal/s for 5 hours.
e. Heat release rate of 10^6 cal/s for 1 hour.

Versuch einer Zusammenfassung:

Fetter/ von Hippel resümieren wie folgt:

„Es ist sehr unwahrscheinlich, daß das Ausgesetztsein von Personen im Bereich verwendeter DU-Munition oder die Aufnahme von Lebensmittel oder Wasser, das mit DU verseucht ist, die geschätzten Schwellenwerte von Schwermetallen erreichen. Allerdings: die Bestrahlung von Soldaten in Fahrzeugen, die von DU-Munition getroffen werden, kann viel höher sein. Personen, die diese Fahrzeuge ohne Atemschutz betreten sind einem potentiell erhöhten Risiko ausgesetzt. (...) Die Dosis für Soldaten, die DU-Splitter in sich tragen oder toxisches Uran inhalieren kann signifikant werden.“

Trotzdem bleiben einige Fragen unbeantwortet bzw. die Beantwortung ist unbefriedigend:

1. Was passiert wenn radioaktive Uranisotope in die Zellen bzw in die DNS eingebaut werden?.
2. Der Verweis auf die Hintergrundstrahlung ist richtig. Es ist aber ebenfalls richtig, daß dieser Wert schon die Hälfte des zulässigen deutschen Grenzwertes ausmacht, was passiert bei einer weiteren Steigerung durch DU ?
3. Gibt es Unterschiede von Grenzwerten in USA bzw. Europa oder ist der Grenzwert einheitlich ?
4. Gibt es Langzeitstudien über das Krebsrisiko von DU ?
5. Wie aussagekräftig ist eine Studie über Golfkriegsveteranen, die erst zwei Jahre nach Ende des Golfkriegs begonnen wurde ?
6. Gibt es andere Studien ?
7. Wie zuverlässig sind die mathematischen Modelle für die zugrundegelegten Berechnungen? Analytisch oder empirisch ?

Weitere Untersuchungen sind nötig, um zu klären, was bei Verwendung von DU wirklich passiert und wie weitreichend die Langzeitfolgen einzuschätzen sind. Solange dies nicht geklärt ist, sollte diese Munition weder verschossen noch in andere Länder exportiert werden.

Literatur

Umfassende Materialien sind auf der Homepage des WISE-Projektes zu finden [www.antenna.nl/wise/uranium]. Die Seite, die von Peter Diehl geführt wird bietet neben den militärischen auch diverse Materialien zu der zivilen Nutzung. Hier findet sich auch die sehr illustrative Arbeit von Zajic. Von der umfassenden Studie von Steve Fetter und Frank von Hippel [siehe Literaturverzeichnis inkl. Internet-Adressen] ist eine Kurzversion ohne die Berechnungen in der November/Dezember-Ausgabe des Bulletin of the Atomic Scientists zu finden.

Auf mehreren Websites sind weitere Informationen zu finden, so bei www.fas.org Berichte und Statements des US-Militärs, aber auch detaillierte Angaben über die Munition und die Waffensysteme (M1A1, A-2, A-10), die diese Munition einsetzen. Auch offizielle Statements der NATO und der Serben bezüglich des DU-Einsatzes im Kosovo sind hier zu finden. Das „International Action Center“ (www.iacenter.org/depleted) hält auf seiner Homepage diverses Kampagnenmaterial bereit. Weitere Informationen finden sich unter: www.rama-usa.org/du.htm

Literatur:

[1] Bertell 1999

Rosalie Bertell: Depleted Uranium as a Weapon of War. Toronto, August, abgedruckt im: Strahlentelex Nr. 304-305, 13. Jahrgang, 2. September 1999

[2] Bertell o.J.

Rosalie Bertell: Gulf War Syndrome, Depleted Uranium and the Dangers of Low-Level Radiation [o.J.] [zu finden unter www.ccnr.org/bertell-book.html]

[3] Bertram 2000

Rolf Bertram: Betrachtungen zur Rückstoßchemie und Schadwirkung von U-238 bei Inkorporation von Depleted Uranium. Notiz vom 16.1.2000, TU Braunschweig

[4] CDI 1999

Center for Defense Information: The Defense Monitor: Depleted Uranium - A Necessary Evie? Vol. 28 (6) 1999

[5] Dietz 1996/99

Leonard Dietz: Contamination of Persian Gulf War Veterans and Others by Depleted Uranium, 19. Juli 1996 (letztes Update 21.2.99) [s. Wise]

[6] Drucksache 14/1117

Kleine Anfrage der Abgeordneten Heidi Lippmann - Kasten, Dr. Winfried Wolf und der Fraktion der PDS Deutscher Bundestag, 14. Wahlperiode, Drucksache 14/1117 vom 28.05.1999

[7] Fahey 1999

D. Fahey, Depleted Uranium Weapons: Lessons from the 1991 Gulf War, e.g. in: Laka 1999

[8] Fetter/von Hippel 1999a

Steve Fetter, Frank von Hippel: After the dust settles, in: The Bulletin of the Atomic Scientists, November/Dezember 1999

[9] Fetter/von Hippel 1999

Steve Fetter, Frank von Hippel, The Hazard Posed by Depleted Uranium Munitions, Science & Global Security 8 (2), 1999, (<http://puaf.umd.edu/papers/fetter/sags-du.pdf>,<http://www.princeton.edu/~cees/arms/vhippe.pdf>), Kurzfassung in Bulletin of the Atomic Scientists Nov./Dec.1999)

[10] GAO 1993

U.S. General Accounting Office: Operation Desert Storm: Army Not Adequately Prepared to Deal With Depleted Uranium Contamination GAO-NSIAD-93-90 (1993), p. 13

[11] Günther 1995

Horst-Siegwart Günther: Uran Geschosse: Schwergeschädigte Soldaten, mißgebildete Neugeborene, sterbende Kinder. Eine Dokumentation der Folgen des Golfkrieges 1993-1995, November 1995

[12] LAKA 1999

Depleted Uranium - A Post-War Disaster for Environment and Health, Amsterdam: Laka, Foundation, May 1999

[13] Livingstone o.J.

Hugh Livingstone: Depleted Uranium Weapons, o.J., LAKA 1999

[14] Military Toxic Project 1996

Military Toxic Project: Radioactive Battlefields of the 1990s. A Response to the Army's Unreleased Report on the Depleted Uranium Repository, 16. Januar 1996, LAKA 1999

[15] RAND 1999

N.H. Harley et al., A review of the scientific literature as it pertains to Gulf war illnesses, Washington DC: RAND, 1999

(<http://www.rand.org/publications/MR/MR1018.7/MR1018.7.html>,<http://www.gulfink.osd.mil/library/randrep/du/cover.html>)

[16] USAEPI 1994

U.S. Army Environmental Policy Institute: Health and Environmental Consequences of DU Use by the U.S. Army Juni 1994

[17] UNEP/UNCHS 1999

UNEP/UNCHS Balkans Task Force (BTF), The potential effects on human health and the environment arising from possible use of depleted uranium during the Kosovo conflict. A preliminary assessment, Oct. 1999(www.grid.unep.ch/btf/dufinal.pdf)

[19] Zajic 1999

