

WISE Uranium Project - Infoblatt

Gefahren von abgereichertem Uran aus Wiederaufarbeitungsuran

Die Entdeckung von Uran-236 in Geschossen aus abgereichertem Uran (DU) hat Besorgnis ausgelöst. Uran-236 ist ein künstliches Uranisotop, das nur aus der Wiederverwendung von Uran herrühren kann, das aus abgebrannten Brennelementen zurückgewonnen worden ist. Daher stellt sich die Frage, ob auch andere Nuklide, die erfahrungsgemäß in Wiederaufarbeitungsuran auftreten, wie die Transurane Plutonium-239 und Neptunium-237, im abgereicherten Uran wiederzufinden sind, und welche Gefahren davon ausgehen könnten. Aufgrund ihrer hohen Atomgewichte sammeln sich jegliche Transurane, die in einen Anreicherungsprozeß eingebracht werden, vorwiegend in der abgereicherten Fraktion (engl. "tails"), also dem abgereicherten Uran.

Die Mengen an Wiederaufarbeitungsuran, die in US-Anreicherungsanlagen eingesetzt worden sind, wurden vom US-Energieministerium (DOE) erstmals 1999 bekanntgegeben:

"In der Anreicherungsanlage Paducah wurde Wiederaufarbeitungsuran bereits kurz nach der Inbetriebnahme der Anlage im Jahre 1953 in die Anreicherungskaskade eingebracht, und dies wurde bis 1964 fortgesetzt. Dies wiederholte sich dann in den Jahren von 1969 bis 1976. In Paducah wurden etwa 100 000 short tons (90 000 t) Wiederaufarbeitungsuran angeliefert, die geschätzte 328 g Plutonium, 18,4 kg Neptunium und 661 kg Technetium-99 enthielten. Der Betrieb in Paducah umfaßte auch die Konversion von Uranoxid zu Uranhexafluorid in einer auf dem Betriebsgelände gelegenen Aufbereitungsanlage. Das konvertierte Material wurde anschließend in die Gasdiffusions-Kaskade zur weiteren Anreicherung eingebracht." [DOE_1999a]

Zur Beurteilung der von den Transuranen ausgehenden Gefahren muß man zunächst die Anteile aller interessierenden Nuklide im abgereicherten Uran bestimmen. Zu diesem Zweck muß man als erstes die Massenbilanz des Anreicherungsprozesses berechnen. Anschließend kann man die Inhalationsdosis für das abgereicherte Uran bestimmen und die von den einzelnen Nukliden verursachten Dosis-Anteile vergleichen.

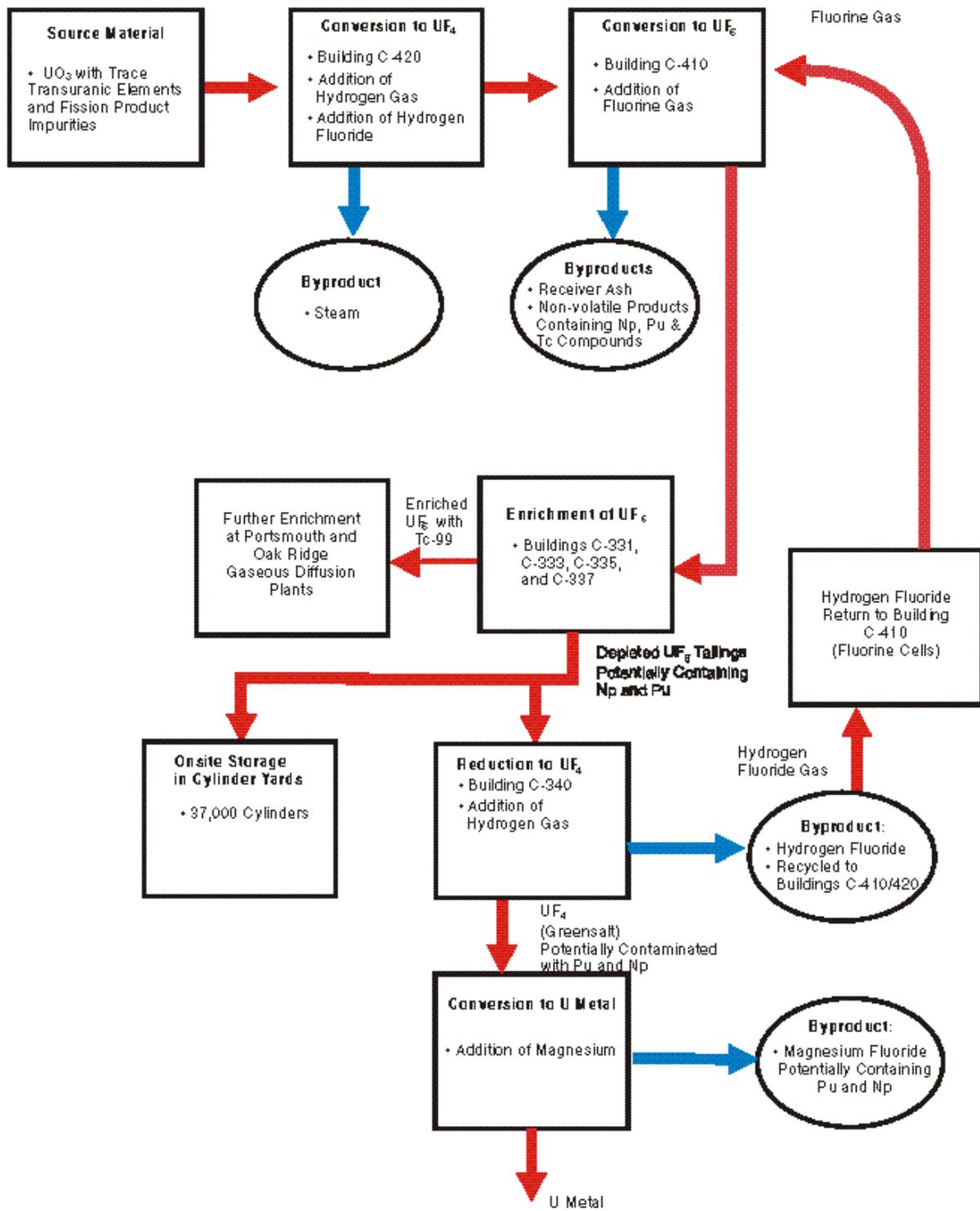
Massenbilanz für die Anreicherung in Paducah [DOE 1984, S.35]

	Ausg.mat.	Produkt	Tails	Sonstiges
Masse [short tons]	758002	124718	621894	11390
Massenanteil	100,00%	16,45%	82,04%	1,50%

Anteil von Plutonium in Tails (abgereichertes Uran) aus der Anreicherung von Wiederaufarbeitungsuran, unter der Annahme, daß alles Plutonium in die Tails gelangt:

$$0,328 \text{ kg} / (101\,268 \text{ st} \cdot 907,185 \text{ kg/st} \cdot 0,8204) = 4,352 \cdot 10^{-9} = 4,352 \text{ ppb}$$

Anteil von Neptunium in Tails aus der Anreicherung von Wiederaufarbeitungsuran, unter der Annahme, daß alles Neptunium in die Tails gelangt:



Schema des historischen Anreicherungsprozesses in Paducah [DOE_1999b]

$$18,4 \text{ kg} / (101\,268 \text{ st} \cdot 907,185 \text{ kg/st} \cdot 0,8204) = 2,441 \cdot 10^{-7} = 244,1 \text{ ppb}$$

Zum Vergleich wird zunächst die Inhalationsdosis für abgereichertes Uran aus der Anreicherung von Natururan berechnet. Es wird angenommen, daß die kurzlebigen Zerfallsprodukte den Gleichgewichtszustand mit ihren Vorgängern (fett) erreicht haben.

Inhalationsdosis für abgereichertes Uran aus der Anreicherung von Natururan

(aus der Anreicherung auf 3,5%; U-235-Gehalt in den Tails: 0,2%)

ICRP72 (Bevölkerung) Inhalation, Erwachsene, Typ S (unlösliche Verbindungen)

Nuklid	Halb-wertszeit	Spez. Akt. [Bq/g]	Anteil [Gew. %]	Dosisfakt. [Sv/Bq]	Eff. Dosis [Sv/g DU]	Dosis-anteil
U-238	4,468e9 a	1,245e+04	9,980e+01	8,000e-06	9,940e-02	83,74%
Th-234	24,1 d			7,700e-09	9,567e-05	0,08%
Pa-234m	1,17 m					
U-235	7,038e8 a	8,001e+04	2,000e-01	8,500e-06	1,360e-03	1,15%
Th-231	25,52 h			3,300e-10	5,281e-08	0,00%
U-234	2,445e5 a	2,313e+08	8,210e-04	9,400e-06	1,785e-02	15,04%
Total			1,000e+02		1,187e-01	100,00%

(Isotopen-Zusammensetzung nach [Neghabian_1991])

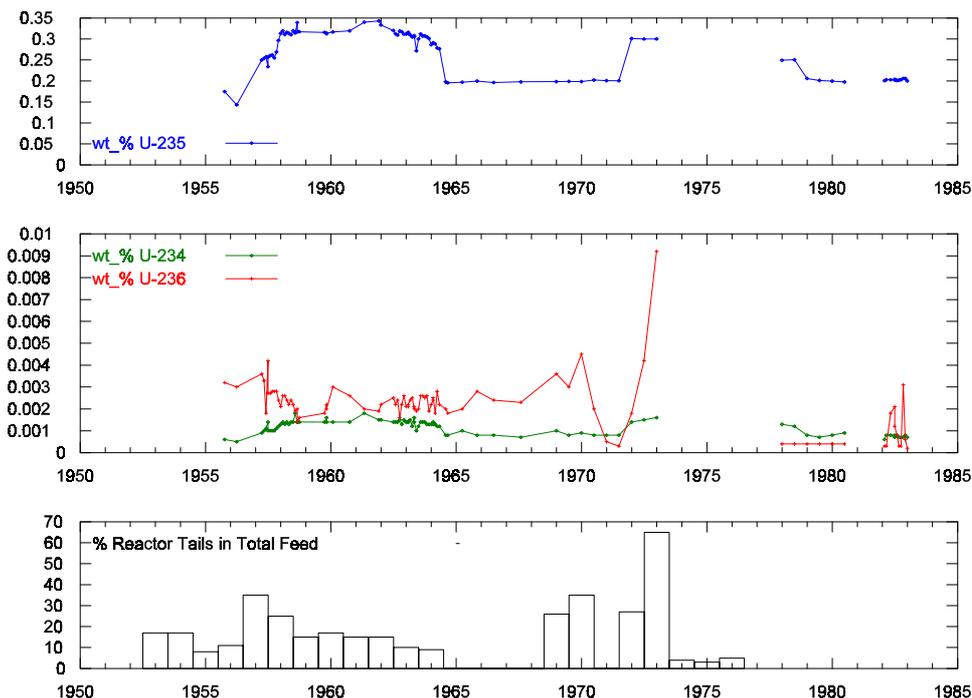
Die effektive Dosis von der Inhalation abgereicherten Urans, das aus der Anreicherung von Natururan herrührt, beträgt also 119 mSv/g.

Für abgereichertes Uran aus der Anreicherung von Wiederaufarbeitungsuran ist die Isotopen-Zusammensetzung anders. Außerdem müssen mehrere neue Nuklide berücksichtigt werden, vor allem U-236, Pu-239, und Np-237.

Meßergebnisse von Tails aus der Anreicherungsanlage Paducah zeigen U-236-Anteile von bis zu 0,0045 Gewichts-Prozent [DOE_1984 S.18]. Meßergebnisse von tatsächlich für DU-Munition verwendetem Uran sind wie folgt: [AEPI_1995] gibt eine Zahl von 0,003% U-236 an; diese ist durch unabhängige Messungen in den USA bestätigt worden [Dietz_1996]; die UNEP fand im Kosovo einen nur geringfügig niedrigeren Wert von 0,0028% [UNEP_2001a], in Serbien von 0,0027% [UNEP_2002a] und in Bosnien von 0,0027 - 0,0029% [UNEP_2003a]. Anmerkung: Diese Werte sind etwa 75-fach niedriger, als bei ausschließlicher Einspeisung von Wiederaufarbeitungsuran aus kommerziellen Reaktoren in die Anreicherung von Paducah zu erwarten wäre. Dies rührt daher, daß die überwiegende Menge des Wiederaufarbeitungsurans aus den militärischen Reaktoren Hanford und Savannah River stammte (diese arbeiten mit sehr geringem Abbrand), und daß das Wiederaufarbeitungsuran nur etwa 13% der insgesamt in Paducah verarbeiteten Menge ausmachte.

Die U-234-Anteile in Tails aus Paducah liegen in einem Bereich von 0,0006 - 0,0010 Gew.%, bei einem Restgehalt an U-235 von 0,2% [DOE_1984, S.15]; dies ist ein typischer Restgehalt bei für Uranmunition verwendetem Uran [AEPI_1995].

Untergeordnete Uranisotope in Tails der Anreicherungsanlage Paducah [nach DOE_1984]



Mit diesen Zahlen erhalten wir das folgende Ergebnis:

Inhalationsdosis für abgereichertes Uran in Urangeschossen

(unter der Annahme, daß alles Pu-239 und Np-237 in die Tails gelangt)

ICRP72 (Bevölkerung) Inhalation, Erwachsene, Typ S (unlösliche Verbindungen)

Nuklid	Halbwertszeit	Spez. Akt. [Bq/g]	Anteil [Gew._%]	Dosisfakt. [Sv/Bq]	Eff. Dosis [Sv/g DU]	Dosisanteil
U-238	4,468e9 a	1,245e+04	9,980e+01	8,000e-06	9,940e-02	83,45%
Th-234	24,1 d			7,700e-09	9,567e-05	0,08%
Pa-234m	1,17 m					
U-236	2,342e7 a	2,396e+06	3,000e-03	8,700e-06	6,254e-04	0,53%
U-235	7,038e8 a	8,001e+04	2,000e-01	8,500e-06	1,360e-03	1,14%
Th-231	25,52 h			3,300e-10	5,281e-08	0,00%
U-234	2,445e5 a	2,313e+08	8,000e-04	9,400e-06	1,739e-02	14,60%
Pu-239	24131 a	2,295e+09	4,352e-07	1,600e-05	1,598e-04	0,13%
Np-237	2,14e6 a	2,610e+07	2,441e-05	1,200e-05	7,645e-05	0,06%
Pa-233	27 d			3,900e-09	2,485e-08	0,00%
Total			1,000e+02		1,191e-01	100,00%

Damit wäre die Inhalationsdosis von tatsächlich für Geschosse verwendetem DU nur 0,7% höher als für DU aus der Anreicherung von Natururan. U-236 würde 0,53% zur Dosis beitragen, Pu-239 0,13% und Np-237 0,06%.

Dieses Ergebnis gilt für den Fall, daß alle im Wiederaufarbeitungsuran enthaltenen Transurane in die Anreicherungskaskaden eingebracht worden wären. Dies ist jedoch eine massive Überschätzung:

"Sowohl an den Standorten Paducah als auch Oak Ridge wurde der überwiegende Anteil des Plutoniums und Neptuniums bei der chemischen Konversion zu Uranhexafluorid zu Beginn der Verarbeitung als Abfall ausgesondert. Deshalb wurde in beiden Anlagen nur ein Bruchteil der Verunreinigung mit Plutonium tatsächlich in die Gasdiffusions-Kaskaden eingebracht. Dieser Abfall wurde anschließend aufbereitet, um daraus Uran zurückzugewinnen, und dann wiederverwertet.

Von den 328 g Plutonium, die in den 100 000 short tons Wiederaufarbeitungsuran in Paducah enthalten waren, sind nur geschätzte 0,1 g in die Kaskade eingebracht worden. Es ist anzunehmen, daß die Transurane (darunter Plutonium) sich an inneren Oberflächen der Aufbereitungsanlagen abgelagert haben, und daß sie sich auch in Abfällen abgelagert haben." [DOE_1999a] (Hervorhebung zugefügt)

Wenn man annimmt, daß die 0,1 g Plutonium zur Gänze in die Tails gelangt wären, dann würde deren Plutonium-Gehalt 0,0013 ppb betragen. Nach Angaben des DOE ist es aber fraglich, ob überhaupt ein signifikanter Anteil dieser 0,1 g Plutonium in die Tails gelangt ist [DOE_1984, S.17].

Für die Jahre, in denen Wiederaufarbeitungsuran in Paducah eingesetzt wurde, gibt es nur sporadische Meßergebnisse über Plutonium-Gehalte im abgereicherten Uran. In keinem Fall wurde Plutonium oberhalb der jeweiligen Meßgrenze nachgewiesen:

Meßergebnisse für Plutonium in Paducah tails und daraus produziertem Material

Jahr	Material	Plutonium-Anteil	Referenz
1957	DU-Metall	< 1 ppb (bezogen auf U)	[DOE_1963]
1963	tails	< 1 ppb (bezogen auf U)	
1964	tails	< 10 ppb	[DOE_1984, p.17]
1973	tails	< 0.01 ppb	
seit 1975	tails	< 0.01 ppb	

1 ppb = 1 part per billion = 10^{-9}

Und, von den 18,4 kg Np-237 sind nur geschätzte 4,6 kg in die Kaskade gelangt [DOE_1984, S.11].

Bei Berücksichtigung dieser Schätzung würden nur unter 0,03% des gesamten Plutoniums, sowie 25% des Neptuniums in die Tails gelangen. **Die Inhalationsdosis für Plutonium aus dem in Geschossen verwendeten abgereicherten Uran würde dann nur noch 0,000039%, und die für Neptunium nur noch 0,016% der Gesamtdosis des für die Munition verwendeten DU betragen.**

Seit Februar 2001 liegen nun auch einige Plutonium-Meßwerte für DU vor, das im Kosovo verschossen wurde. In mehreren Fällen war nun auch die Meßgrenze niedrig genug, um Plutonium tatsächlich nachzuweisen. Die Ergebnisse bestätigen, wenn auch nur für einige einzelne Geschosse, daß die zuletzt gemachten Annahmen (0,0013 ppb) realistisch sind. Neue Meßergebnisse für Geschosse aus Zielgebieten in Südserbien und Bosnien-Herzegowina liegen bis zu 30-fach höher.

Meßergebnisse für Plutonium in Urangeschossen

Ort	Plutonium-Anteil	Referenz
Kosovo	< 0,0032 ppb (bezogen auf U)	[GSF_2001]
Kosovo	0,00035 - 0,0056 ppb	[UNEP_2001b]
Südserbien	0,019 ppb	[McLaughlin_2003]
Südserbien	0,0058 - 0,0138 ppb	[UNEP_2002a]
Bosnien	0,002 - 0,0382 ppb	[UNEP_2003a]

1 ppb = 1 part per billion = 10^{-9}

Zum Vergleich: Werte von einzelnen Tausendstel ppb liegen in der Größenordnung, die natürlicherweise in Uranerzen zu finden ist: Uran-238 fängt Neutronen ein, die aus verschiedenen natürlichen Quellen stammen (z.B. Höhenstrahlung sowie spontane Spaltung von Uran-235). Dadurch entsteht Uran-239; dieses zerfällt mit einer Halbwertszeit von 23,4 Minuten zu Neptunium-239, welches wiederum mit einer Halbwertszeit von 2,355 Tagen zu Plutonium-239 zerfällt. Das Plutonium, das in den Geschossen gefunden wird, stammt dagegen praktisch ausschließlich aus künstlichen Quellen. Dies ist ein Ergebnis der chemischen Verarbeitung des Materials, die die Plutonium-Gehalte - egal aus welcher Quelle - reduziert.

In ihrem 2003 herausgegebenen Bericht über Bosnien-Herzegowina legte die UNEP erstmals auch Meßwerte für Neptunium in 3 eingesammelten DU-Geschossen vor:

Meßergebnisse für Neptunium in Urangeschossen

Ort	Neptunium-237-Anteil	Referenz
Bosnien	< 0,15 - 0,62 ppb	[UNEP_2003a]

1 ppb = 1 part per billion = 10^{-9}

Die einzige bisher zugängliche Untersuchung, die mehr als Einzelmessungen von Verunreinigungen in abgereichertem Uran umfaßt, wurde an DU durchgeführt, das für Panzerungen verwendet wird. Das Idaho Nuclear Technology and Engineering Center (INTEC) hat insgesamt 60 Proben abgereicherten Uranmetalls auf Transurane und Spaltprodukte untersucht [Army_2000]. Hier wurden tatsächlich Transurane oberhalb der Meßgrenze nachgewiesen, und zwar nicht nur Plutonium-239, sondern auch Americium-241, Neptunium-237 und Plutonium-238. Weiterhin wurde das Spaltprodukt Technetium-99 festgestellt.

Meßergebnisse für Transurane und Spaltprodukte in DU-Metall für Panzerungen

	Isotopen-Daten			Maximalwerte in DU-Panzerung		
	Halb-wertszeit	Spezif. Aktivität [Bq/g]	Dosis-Faktor ³⁾ [Sv/Bq]	Aktivitäts-Gehalt ²⁾ [Bq/g DU Panzerg.]	Gewichts-Anteil [ppb]	Effektive Dosis ³⁾ [Sv/g DU Panzerg.]
Am-241	432,2 a	1,271e+11	4,2e-05	0,703	0,0055	3,0e-05
Np-237	2,140e6 a	2,611e+07	2,3e-05	0,137	5,2470	3,2e-06
Pu-238	87,75 a	6,340e+11	4,6e-05	0,074	0,0001	3,4e-06
Pu-239/240 ¹⁾	24,13e3 a	2,296e+09	5,0e-05	0,1	0,0436	5,0e-06
Tc-99	213,0e3 a	6,280e+08	4,0e-08	19,98	31,8153	8,0e-07
Summe						4,2e-05

¹⁾ Isotopendaten nur von Pu-239

²⁾ [Army_2000]

³⁾ ICRP 72 (Bevölkerung) Inhalation, Erwachsene, AMAD = 1 µm, Class M (Anmerkung: Anders als bei Uran und Technetium, nehmen die Dosisfaktoren für Transurane mit der Löslichkeit des Material zu statt ab.)

Für DU-Panzerung mit einem Gehalt von 0,2% U-235 und 0,003% U-236 **bewirkt damit die zusätzliche Inhalationsdosis von Transuranen und Spaltprodukten von max. 0,042 mSv/g nur eine Zunahme um 0,035% gegenüber der Dosis vom DU allein.**

Literatur

[AEPI_1995] Health and Environmental Consequences of Depleted Uranium Use in the U.S.Army: Technical Report. Army Environmental Policy Institute, Atlanta, Georgia 1995, 200+ p.,
<<http://www.aepi.army.mil/Library/AEPI%20Publications/DU/techreport.html>>

[Army_2000] Analysis of Transuranics and Other Contaminants in Depleted Uranium Armor Department of the Army, January 19, 2000
<<http://www.nato.int/du/docu/us000119a.pdf>>

[Dietz_1996] Contamination of Persian Gulf War Veterans and Others by Depleted Uranium, by Leonard A. Dietz, Niskayuna 1996,
<<http://www.wise-uranium.org/dgvd.html>>

[DOE_1963] Plutonium Content of Depleted Uranium, Feb. 1, 1963 (unclassified)

[DOE_1984] Historical Impact of Reactor Tails on the Paducah Cascade, by R. F. Smith, U.S. DOE, March 1984 (unclassified)
<<http://www.oakridge.doe.gov/Foia/KY-L-1239.pdf>>

[DOE_1999a] Past Recycled Uranium Programs Under Review as Energy Department Investigation Continues, U.S. DOE news release R-99-262 of Sept. 29, 1999,
<<http://www.energy.gov/HQPress/releases99/seppr/pr99262.htm>>

[DOE_1999b] Phase One Independent Investigation of the Paducah Gaseous Diffusion Plant, U.S. DOE, October

1999

<http://tis.eh.doe.gov/oversight/paducah/pad_ph1.pdf>

[DOE_2000] Exposure Assessment Project at the Paducah Gaseous Diffusion Plant, Dec. 2000,
<<http://tis.eh.doe.gov/portal/feature/pr01007.html>>

[GSF_2001] Kein Plutonium in Urangeschoss, Pressemitteilung GSF - Forschungszentrum für Umwelt und
Gesundheit, GmbH, Neuherberg, 3./5.2.2001, <<http://www.gsf.de>>

[McLaughlin_2003] Actinide analysis of a depleted uranium penetrator from a 1999 target site in southern Serbia,
by J.P. McLaughlin, L. León Vintró, K.J. Smith, P.I. Mitchell, Z.S. Zunic, in: Journal of Environmental
Radioactivity 64 (2003) 155–165

[Neghabian_1991] Verwendung von wiederaufgearbeitetem Uran und von abgereichertem Uran, von A.R.
Neghabian, H.J. Becker, A. Baran, H.-W. Binzel, Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit (Hg.), Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-1992-332, November
1991, 186 S.

[UNEP_2001a] UNEP Balkans press release, January 16, 2001

[UNEP_2001b] UNEP Balkans press release, February 16, 2001

[UNEP_2002a] Depleted Uranium in Serbia and Montenegro, Post-Conflict Environmental Assessment in the
Federal Republic of Yugoslavia, UNEP, Geneva, March 2002, 200 p.
<<http://postconflict.unep.ch/publications/duserbiamont.pdf>>

[UNEP_2003a] Depleted Uranium in Bosnia and Herzegovina, Post-Conflict Environmental Assessment, United
Nations Environment Programme, March 2003
<http://postconflict.unep.ch/publications/BiH_DU_report.pdf>

WISE Uranium Project, Peter Diehl
<http://www.wise-uranium.org>

zuerst veröffentlicht: 17.1. 2001
letzte Änderung: 17.6. 2005

(English version also available)