

# ICBUW - International Coalition to ban Uranium Weapons

## Appendix/Liste aktueller Forschungsarbeiten zu abgereichertem Uran Deutsche Fassung

### LEUKÄMIE, KREBS, CHROMOSOMALE ABERRATIONEN

#### **F.F. Hahn et al.**

Hahn und Mitarbeiter zeigten, dass in die Oberschenkelmuskulatur von Ratten implantierte DU\*-Quadrate\*\* Weichteilsarkome verursachen können, wenn die Quadrate mindestens 2,5 x 2,5 mm oder 5,0 x 5,0 mm groß sind. Die Ergebnisse belegen, dass DU-Quadrate Tumoren in der Nachbarschaft hervorrufen, begleitet von Bindegewebsvermehrung und Entzündung. Die Forscher vermuten, dass Strahlung bei dem carcinogenen Effekt im Muskelgewebe beteiligt gewesen sein könnte.

(Anmerkungen des Übersetzers: \* DU = Depleted Uranium, abgereicherte Uran; \*\* Es wird in dieser Kurzfassung nichts über die Höhe der Quadrate mitgeteilt, so dass die DU-Masse unbekannt wäre; ich habe die Originalarbeit daraufhin angesehen: Die Größe der DU-Quader ist 2,5 x 2,5 x 1,5 bzw. 5,0 x 5,0 x 1,5 mm. WE)

#### **A.C. Miller et al. (I)**

Mäusen mit implantierten DU-Kügelchen wurden hämatopoetische Mäusezellen injiziert. 76 % der DU-belasteten Mäuse entwickelten Leukämie.

#### **A.C. Miller et al. (II)**

Diese Untersuchung wies nach, dass die Strahlungskomponente von DU spezifische Effekte in menschlichen Knochenzellen hervorrufen kann. DU verursachte eine signifikant höhere Zahl von dizentrischen Chromosomenveränderungen als die Schwermetalle Nickel und Wolfram. Menschliche Knochenzellen wurden der Einwirkung von DU und zwei anderen Uranmischungen mit unterschiedlichen Isotop-Konzentrationen und spezifischen Aktivitäten ausgesetzt. Die drei Uranmischungen verursachten unterschiedlich viele neoplastische Veränderungen in den Knochenzellen, was auf eine Strahlungsreaktion durch DU hinwies, denn die drei Mischungen waren bezüglich ihres chemischen Effekts ähnlich.

#### **A.C. Miller et al. (III)**

Dies war die erste Studie, die bewies, dass DU-Exposition dizentrische Chromosomenaberrationen (ein Strahlungs-Effekt) in menschlichen Zellen hervorrufen kann. DU-Exposition verursachte einen 25-fachen Anstieg der veränderten Zellen im Vergleich zu Kontrollen. Wenn Zellen mit einer Nickelmischung belastet wurden, ergab sich nur ein 9,5-facher Anstieg. Diese Untersuchung bewies zum ersten Mal, dass DU *in vitro* genotoxisch wirkt.

#### **A.C. Miller et al. (IV)**

Miller und Kollegen zeigten in diesem Experiment, dass DU in der Form von Uranylchlorid menschliche Knochenzellen in maligne Zellen verwandeln kann. Diese Zellen wurden thymuslosen Nacktmäusen injiziert; die Mäuse entwickelten innerhalb eines Monats Tumoren, was beweist, dass DU potentiell carcinogen ist.

Die menschlichen veränderten Zellen wiesen erhöhte Spiegel eines ras-Onkogens auf, das Zellwachstum stimuliert und das Rb-Tumor-Suppressor-Gen unterdrückt. DU-Exposition der menschlichen Knochenzellen führte auch zu einer zweifachen Erhöhung des „Sister-Chromatid-Austauschs“ pro Zelle. Sister-Chromatid-Austausch ist eine Form der Mutation.

## REPRODUKTION, GESTATION, FETUS

### E. Arnault et al.

Arnault und Mitarbeiter fanden, dass eine 15 Wochen andauernde Urannitrat-Exposition über das Trinkwasser bei weiblichen Mäusen *in vivo* die Folliculogenese in den Ovarien im Vergleich zu Kontrollen verlangsamte. Urannitrat-Belastung verzögerte auch den Ablauf der Meiose *in vitro*,

was zu einer Verminderung der Metaphase-II-Oocyten führte. Das hat eine Reduktion der Oocyten oder Oocyten, die nicht befruchtet werden können, oder schlimmstenfalls auch Oocyten, aus denen missgebildete Embryos hervorgehen, zur Folge. Ein weiterer Befund war, dass Uran signifikant in Knochen und Nieren der Mäuse angereichert wurde, aber nicht in den Ovarien.

### J.L. Domingo

Es gibt nur sehr wenige wissenschaftliche Arbeiten über Reproduktions- und Entwicklungseffekte nach Uran- oder DU-Exposition. Domingo überprüfte 11 Studien, von denen mehr als die Hälfte keine Angaben über „no observed adverse effect levels (NOAEL)\*“ enthielten. Alle Studien beweisen mehrere negative Effekte in Bezug auf Reproduktion und Entwicklung. Domingo fand, dass chronische Uranexposition männlicher Mäuse verminderte Trächtigkeitsraten bei den mit ihnen gepaarten Weibchen verursachte. Die Studien zeigten ferner, dass trächtige Mäuse, die Uranylacetatdihydrat per Sonde erhielten, weniger an Gewicht zunahmten, aber eine Lebervergrößerung entwickelten. Die Feten wiesen erhöhte Raten angeborener Missbildungen auf. In diesem Bereich ist mehr Forschung erforderlich.

\*NOAEL: Grenzwerte, unterhalb derer keine Negativeffekte beobachtet wurden.

### A. Feugier et al.

Diese Studie wies nach, dass bei weiblichen Mäusen mit dem Trinkwasser aufgenommenes DU in Konzentrationen von 20 und 40 mgL<sup>-1</sup> Fehlen des ersten Polkörperchens und abnorme perivitelline Räume in den Oocyten verursachte. Die Autoren führten diese Effekte auf eine Hemmung der Meiose und auf eine beeinträchtigte Oocytenreifung zurück.

DU-Konzentrationen von 20 mgL<sup>-1</sup> führten auch zu einer Verminderung der gesunden Oocyten um 50 %, verglichen mit Kontrollen. Während DU in den Knochen und Nieren der Mäuse angereichert wurde, traf dies auf die Ovarien nicht zu. Der „no observed adverse effect level“ (NOAEL, s. o.) lag bei 10 mgL<sup>-1</sup> DU (1.9 mg/kg-1 / Tag).

### V. Linares et al.

Diese Studie zeigte, dass weibliche Ratten, die mit Männchen gepaart wurden, die drei Monate lang Uranylacetatdihydrat (UAD) in verschiedenen Konzentrationen (10, 20 und 40 mg/kg/Tag) erhalten hatten, eine signifikante Verminderung der Trächtigkeitsrate aufwiesen. Dieser Effekt war nicht dosisabhängig. Bei der höchsten von den Männchen aufgenommenen UAD-

Konzentration war die Trächtigkeitsrate der entsprechenden Weibchen auch durch Stress vermindert, der den Männchen aufgezwungen worden war.

UAD-Exposition verursachte auch eine signifikante Reduktion der Spermien. UAD wurde dosisabhängig in den Rattenhoden und -nieren gespeichert. Dieser Befund zeigte keine Unterschiede zwischen gestressten und ungestressten Ratten. Histopathologische Untersuchungen der Hoden ergaben nur geringe grundlegende Unterschiede zwischen den UAD-exponierten Ratten und den Kontrollen. Allerdings fanden sich in den Hoden der UAD-exponierten Ratten fortschreitende (statistisch nicht signifikante) Zellverluste.

### **S. Raymond-Which et al.**

Diese Studie wies nach, dass DU Störungen des Hormonsystems verursacht, ähnlich wie Diäthyl-Stilboestrol, mit Beeinträchtigung des Reproduktionssystems der weiblichen adulten und jungen Maus. Die Uradosen, die erwachsenen weiblichen Mäusen mit dem Trinkwasser gegeben wurden, entsprachen den US-EPA\* - Standards für „sicheres“ Wasser oder lagen sogar darunter. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass höhere Urankonzentrationen im Trinkwasser zu Problemen der Fortpflanzung führen können, wenn Frauen über längere Zeit solches Wasser trinken. In dieser Studie verursachte Uran ähnliche Störungen wie Diäthylstilboestrol.

\* EPA = Environmental Protection Agency = Umweltschutzbehörde der USA

## **GEHIRN**

### **W. Bryner und J. Murray**

In diesem Experiment erhielten Ratten über 2 Wochen oder 6 Monate DU im Trinkwasser. Nach 2 Wochen zeigten männliche Tiere, die 150 mg DU/l Trinkwasser (höchste Dosis) aufgenommen hatten, signifikant mehr Verhaltensauffälligkeiten als die Kontrollen, und zwar „line crossing“ (Grenzüberschreitungen) und „rearing“ (Aufbäumen). Nach den Freifeldversuchen wurden die Gehirne untersucht: Korrespondierend mit den Verhaltensauffälligkeiten fand sich in beiden Geschlechtern eine deutlich erhöhte Lipidoxidation. Dieser Befund ergab sich unverändert auch nach 6 Monaten, nun allerdings nicht mehr in Korrelation mit den erheblichen, zusätzlichen, beide Geschlechter betreffenden Verhaltensauffälligkeiten, z. B. im Zusammenhang mit dem Fellreinigen, bei der Defäkation und beim Urinieren. Wahrscheinlich haben Kompensationsmechanismen den Effekt der Lipidoxidation bei längerer DU-Belastung reduziert.

Die Autoren vermuten, dass DU ein Gift ist, das die Blut-Hirn-Schranke passiert und Verhaltensstörungen sowie gesteigerte Lipidoxidation hervorruft.

(PS des Übersetzers: Die vorgelegte englische Kurzfassung dieses Artikels ist so wirr und unverständlich, dass ich mir nur durch Hinzuziehen des Original-Abstracts helfen konnte; Mehrere Befunde aus diesem Abstract sind in die oben stehende Übersetzung eingearbeitet worden. WE)

### **C. Bussy et al.**

Ratten erhielten 40 mg Uran/l Trinkwasser über 1, 5, 6 und 9 Monate. Nach 6 und 9 Monaten verloren die Ratten Gewicht. Die Acetylcholinesterase-Aktivität im Kleinhirn war nach 6 Monaten gestört. Eine dauerhafte Schädigung des Monoamin-Stoffwechsels war zu beobachten:

Dopamin und Serotonin nahmen nach 9 Monaten in mehreren Teilen des Gehirns ab, auch im Kleinhirn. Dopamin ist wichtig für die Übertragung motorischer Impulse. Die Dauer der Exposition spielte eine Rolle.

#### **P. Lestaevel et al.**

144+/-10 microgr DU/kg-1 bzw. 70+/-8 microgr. DU/kg-1 als Nitrat wurde Ratten intraperitoneal injiziert. Effekte der höheren Dosis waren in den Nieren und im Gehirn deutlich. 3 Tage nach der Injektion wurde in den Nieren 2.6 microgr.DU/g(Gewebe)-1 gefunden, was als subnephrotoxisch gilt. Als Symptom des zentralen Effekts war die Nahrungsaufnahme schon am ersten Tag nach der Injektion deutlich vermindert, die Phasen paradoxen Schlafs (=REM-Schlaf) waren ab dem 3. Tag verkürzt. Im Gehirn wurde 1.3 microgr. DU/g-1 Gewebe nachgewiesen.

Die Versuchstiere der niedrigeren Dosisgruppe zeigten keine Veränderungen im Schlaf-Wach-Rhythmus und auch keine DU-Spuren im Gehirn.

(PS: Auch bei dieser Übersetzung wurde das Original-Abstract einbezogen. WE)

## **KNOCHEN**

#### **S. Fukuda et al.**

In dieser Studie verursachte die höchste DU-Dosis, die in den Femoralmuskel von Ratten injiziert wurde (2 mg/kg-1), eine Hemmung der Knochenneubildung und eine Steigerung des Knochenabbaus. DU-exponierte Ratten verloren auch Gewicht - dieser Effekt war dosisabhängig.

#### **E. Tissandie et al.**

Diese Untersuchung wies nach, dass eine kurzfristige DU-Exposition bei Ratten den Vitamin-D-Stoffwechsel veränderte. Ein anfänglicher Anstieg des Vitamin D im Plasma wurde wenige Tage später von einem schweren Abfall gefolgt. Vitamin D ist wichtig für den Knochenstoffwechsel, fördert die Herzgesundheit und kann bei Mamma-Ca vor Tod und Metastasierung schützen.

## **NIEREN**

#### **H. Berradi et al.**

Ratten erhielten 9 Monate lang 40 mg DU pro Liter Trinkwasser. Das führte zu einer Verschlechterung der Nierenfunktion und zu einem Abfall der roten Blutkörperchen um 20 %. Die Nierendysfunktion hatte eine Störung des Eisentransports und eine Eisenanreicherung in den Nieren zur Folge, was oxidativen Stress verursachte. Die Reduktion eines Schutzfaktors der Nierenzellen war festzustellen mit der Konsequenz irreversibler tubulo-interstitieller Läsionen.. Die Autoren vermuten, dass die Nierenschädigung auch für die Verminderung der roten Blutkörperchen verantwortlich war.

#### **M. Goldmann et al.**

In dieser Studie wurde festgestellt, dass Uranylacetat eine Minderung des Glukosetransports durch die Bürstensaumzellen der Niere verursacht. Glukose ist die Energiequelle der Zellen.

### **B.S. Jortner**

Jortner fand, dass Ratten nach einer einmaligen intramuskulären Injektion von 0.1, 0.3 oder 1 mg Uran/kg Körpergewicht und zusätzlichem Stress über eine Woche keine Effekte von Seiten des Stress zeigten; die beiden höheren DU-Dosierungen verursachten jedoch erhebliche Erhöhungen des Serumkreatinins und des Serumharnstoffs am 3. und 7. Tag nach der Injektion. Nach 30 Tagen normalisierten sich diese Werte. Am 3. Tag - ebenfalls bei den beiden höheren Dosierungen - wurden im Epithel der oberen Nierentubuli eindeutige Zeichen von Nekrose festgestellt; am 7. Tag waren diese deutlich rückläufig und am 30. Tag gar nicht mehr nachweisbar.

Die niedrigste DU-Dosis verursachte ebenfalls einige Zellnekrosen im Epithel der oberen Tubuli. Stress bewirkte keine zusätzlichen Nierenschäden.

(PS: Aus dem Original-Abstract ergibt sich, dass der Stress durch Perioden erzwungenen, forcierten Schwimmens erzeugt wurde. WE)

### **C. Thiebault et al.**

Diese Studie beweist, dass DU in Konzentrationen von 300 – 800  $\mu\text{M}$  genotoxisch ist und Zelltod (Apoptose) verursachen kann. Apoptose kann sogar schon von 200  $\mu\text{M}$  DU hervorgerufen werden. Allerdings zeigt die Studie, dass bei der niedrigen Dosis eine Wiederherstellung der DNA möglich ist. Die Studie legt auch nahe, dass „oxidativer Stress“ mit der Urantoxizität in Zusammenhang steht.

### **Z. Guoying et al.**

DU-Partikel von 0.1, 0.2 und 0.3 Gramm wurden in die Beinmuskulatur von Ratten implantiert. Die Ratten wurden nach 90, 180 und 360 Tagen untersucht. Gewichtsverlust war dosisabhängig und im Vergleich zu Kontrollen statistisch signifikant. Die größte DU-Anreicherung fand in den Nieren und in den Knochen statt. Das Ziel der Studie war, Veränderungen in der Nierenstruktur und -funktion bei Ratten unter chronischer DU-Exposition zu beobachten. Das Ergebnis war eine deutliche Schädigung des Nierengewebes sowie der Nierenfunktion. Die Autoren kamen zu dem Schluss: „Unsere Ergebnisse bestätigen die Hypothese, dass die Ausscheidung von Uran über die Nieren und die Urananreicherung in den Nieren zu struktureller und funktioneller Schädigung des gesamten Organs führen kann.“

### **K.L. Zimmermann et al.**

Männliche Ratten erhielten eine einmalige intramuskuläre Injektion von 0.1, 0.3 oder 1.0 mg DU / kg. Ein Teil der Ratten wurde zusätzlich durch erzwungenes Schwimmen gestresst. Die Tiere erlitten Nierenschädigungen; in einigen Fällen waren diese sehr schwer; am 30. Tag nach der Injektion hatten sich die Veränderungen weitgehend zurückgebildet. Es handelte sich um Schäden im Bereich der Glomerula, unabhängig von der DU-Dosis. Der Schwimmstress machte keinen Unterschied.

## **IMMUNSYSTEM**

### **I. Dublineau et al.**

Diese Arbeit zeigte, dass DU im Darm die Zahl der Neutrophilen erhöht und die Macrophagen vermindert. Wegen dieser Veränderungen kann „chronische DU-Exposition pathogene Effekte haben, entweder durch Unterdrückung von Abwehrmechanismen oder durch Induktion von Hypersensitivität.“ Niedrige DU-Dosen führten im Darm zu entzündlichen Reaktionen und schädigten das Immunsystem in der beschriebenen Weise.

### **B. Wan et al.**

Die Ergebnisse dieser Studie machen deutlich, dass DU zu Krebs, Allergien und Autoimmunerkrankungen führen kann. Die Untersuchung zeigt, wie DU das Immunsystem schädigt und für dieses System wichtige Zellen vernichtet.

## **CHEMISCHE TOXIZITÄT, MUTATIONEN UND DNA-REPARATUR**

### **V.H. Coryell et al.**

Die Forscher fanden signifikante Unterschiede in der Zahl der Mutationen, die durch UA (Uranylacetat), Wasserstoffsuperoxid oder spontan ausgelöst wurden. UA verursachte 59 Mutationen gegenüber 45 in der Wasserstoffsuperoxid-Gruppe und 38 spontan aufgetretenen. Diese Studie wies nach, dass DU (entspr. UA) durch seine chemische Toxizität Schäden setzt, wobei dieser Mechanismus von der DU-Radioaktivität und von den Schäden durch Erzeugung freier Radikale zu unterscheiden ist. (Der Effekt freier Radikale ergab sich in dieser Studie durch das Telexperiment mit Wasserstoffsuperoxid.)

(PS: Die Untersuchungen fanden an Ovarzellen des chinesischen Hamsters statt. WE)

### **D.M. Stearns et al.**

In Ovarialzellen EM9 des chinesischen Hamsters bildete DU als Schwermetall Uran-DNA-Addukte\*; diese verursachten Mutationen, die zu Krebs entarten konnten. DU war genotoxisch und führte zu DNA-Strangbrüchen

\*Addukte sind zusammengesetzte Moleküle (WE)

### **W.J. Hartsock et al.**

Diese Studie zeigt, dass DU Reparaturenzyme blockiert, die normalerweise DNA korrigieren, z.B. wenn diese durch freie Radikale infolge der chemischen Toxizität und der Radioaktivität von DU geschädigt wurde.

### **S.S. Wise et al.**

Diese Untersuchung wies nach, dass unlösliches (partikulares) DU „clastogen“ ist, d.h. dass es Chromosomenbrüche verursachen kann. In dieser Arbeit wurde der Begriff „Clastogenität“ verwendet, wenn chromosomale Aberrationen auftraten. Die Forscher fanden hochsignifikante Clastogenität unter hohen DU-Konzentrationen (5 ug/cm<sup>2</sup> und 10 ug/cm<sup>2</sup>), aber auch schon nach Exposition mit 1 ug/cm<sup>2</sup> war die Zahl der geschädigten Metaphasen nach 24 Stunden signifikant. Die genauen Zahlen der chromosomalen Aberrationen pro 100 Metaphasen: 6 bei DU-Konzentration von 0.5 ug/cm<sup>2</sup>,

11 bei Konzentrationen von 1 ug/cm<sup>2</sup>,  
19 bei 5 ug/cm<sup>2</sup> und  
32 bei 10 ug/cm<sup>2</sup>.

Lösliches DU war nicht clastogen (Untersuchungen bis 72 Std. nach Exposition).

PS: Die Experimente fanden an Kulturen menschlicher Lungenzellen statt (WE).

## **INHALATION UND GENOTOXIZITÄT**

### **M. Monleau et al. (I)**

Die Autoren betonen, dass „die Effekte der Inhalation von Uranmischungen unter verschiedenen Szenarien der Exposition noch nicht klar sind“ (S.892). Sie fanden, dass wiederholte vorangegangene Expositionen mit einem DU-Oxid dazu führten, dass ein zweites DU-Oxid (UO<sub>4</sub>) mehr Genotoxizität verursachte.

### **M. Monleau et al. (II)**

Diese Forscher wiesen nach, dass von Ratten inhaliertes DU zu DNA-Strangbrüchen in Bronchoalveolarzellen (gewonnen durch bronchopulmonale Lavage) führte. Ferner wurden im Lungengewebe Cytokine\* als Ausdruck einer Entzündungsreaktion und Wasserstoffsuperoxid produziert. Es wurde vermutet, dass die DNA-Schäden teilweise als Folge des Entzündungsprozesses und des oxidativen Stress (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) gesehen werden können. Da aber auch Doppelstrangbrüche beobachtet wurden, muss angenommen werden, dass auch radioaktive Strahlung zum genotoxischen DU-Effekt *in vivo* beigetragen hat.\*

\*(Diese Informationen entnahm ich dem Original-Abstract, da die vorliegende englische Kurzfassung unklar und allzu kurz ist. WE)

### **M. Monleau et al. (III)**

Das Ziel dieser Arbeit war zu prüfen, ob die ICRP-Rechenmodelle für Arbeiter zutreffen, die wiederholt DU inhaliert hatten. Die Rattenversuche ergaben, dass die auf einmaliger akuter Exposition basierenden ICRP-Modelle für die U-Retention in manchen Organen (bes. Knochen) nicht geeignet sind.

## **DNA-HYPOMETHYLATION**

### **A.C. Miller et al.**

Die Autoren zeigten, dass bei der Differenzierung der Milzzellen von Mäusen mit DU-induzierter Leukämie abweichende DNA-Hypomethylierung auftrat. Andere Studien haben nachgewiesen, dass Schwermetalexposition und Strahlung den Ablauf der DNA-Methylierung beeinflussen können. Die Bildung von hypomethylierter DNA weist auf einen „epigenetischen Mechanismus“ hin. \*(Darunter ist eine Modifikation des Genoms zu verstehen. WE)

## **OXIDATIVER STRESS UND EFFEKTE, DIE IHN HERVORRUFEN**

### **P. Lestaevel et al.**

Das Hauptergebnis dieser Studie war, dass oxidativer Stress, verursacht durch Überproduktion von ROS (Reactive Oxygen Species = freie Sauerstoff-Radikale), eine hohe Korrelation mit der durch Uran ausgelösten Neurotoxizität aufweist. Männliche Ratten erhielten 9 Monate lang über das Trinkwasser 2 mg-1/kg-1/Tag-1 DU oder auf 4 % angereichertes EU (enriched Uranium). Es ergab sich eine direkte Korrelation zwischen Uranspiegel und Lipid-Peroxidation. Die wichtigsten Antioxidantien-Systeme, Superoxid-Dismutase (SOD), Katalase (CAT) und Glutathion-Peroxidase (Gpx) stiegen nach DU-Exposition signifikant an, als Gegengewicht zu ROS. Im Gegensatz zu DU führte die Exposition mit EU zu einer Verminderung der Antioxidantien-Spiegel. Die Einwirkungen von DU und EU auf den Nitratoxid (NO)-Stoffwechsel im Gehirn wird diskutiert. Chronische DU-Exposition steigerte die Produktion des iNOS-Gens. Abhängig von der Gewebekonzentration kann NO einen Schutz bedeuten oder aber die Urantoxizität erhöhen. In der Großhirnrinde war langfristige DU-Exposition mit einem dramatischen Anstieg des mRNA-Spiegels des Coeruloplasmins assoziiert; die Forscher deuteten diese Entdeckung mit der Hypothese, dass Coeruloplasmin die Großhirnrinde vor oxidativem Stress schützt.

### **Vict. Linares et al.(I)**

Linares und Mitarbeiter wiesen nach, dass Ratten, die über drei Monate drei verschiedene Konzentrationen von Uranylacetatdihydrat (UAD) (10; 20; 40 mg/kg/Tag) mit dem Trinkwasser aufgenommen hatten, erhebliche Mengen UAD in drei Hirnregionen speicherten. Am meisten UAD reichte sich im Hippocampus an, gefolgt vom Kleinhirn und Großhirn. Alle Anreicherungen waren im Vergleich mit Kontrollen signifikant.

UAD verursachte in den verschiedenen Hirnregionen oxidativen Stress durch Überproduktion freier Radikale, was zu Veränderungen bei den Hauptbestandteilen des endogenen Antioxidantien-Systems führte. Superoxid-Dismutase (SOD), Glutathione Peroxidase (Gpx) und Katalase (CAT) stiegen an, weil sie Gegenspieler der freien Radikale sind. Die freien Radikale steigerten die Lipid-Peroxidation, was die Zellmembranen schädigt. Den Ratten aufgezwungene Stressphasen steigerten die schädlichen Effekte in den verschiedenen Hirnregionen nicht grundsätzlich, aber Dauerstress bewirkte oxidativen Stress in unterschiedlichem Ausmaß in den untersuchten Hirnregionen.

### **Vict. Linares et al. (II):**

In dieser Studie erhielten männliche Ratten drei Monate lang mit dem Trinkwasser Uranylacetatdihydrat (UAD) in der Dosierung 0, 10, 20 oder 40 mg/kg/Tag. UAD reichte sich dosisabhängig in Nieren und Hoden an. Der Grad der Speicherung korrelierte mit Veränderungen der Antioxidantien-Systeme in den Zellen. Die Aktivität der Superoxid-Dismutase (SOD) war sowohl in den Nieren- als auch in den Hodenzellen signifikant erhöht. Im Hoden gibt es reichlich ungesättigte Fettsäuren, wie auch im Gehirn, die ein bevorzugtes Ziel für freie Radikale darstellen. UAD führte zu erheblicher dosisabhängiger Lipid-Peroxidation in den Nieren. Ein weiteres Ergebnis in den Nieren war eine dosisabhängige Umwandlung von Blutgefäßen im Sinne einer Angiomasose. Diese Veränderung verstärkte sich bei zusätzlich gestressten Ratten. Allerdings gab es weder in den Nieren noch in den Hoden signifikante Unterschiede bei den Markern für oxidativen Stress, wenn Tiere der gleichen Dosisgruppe zusätzlich Stressphasen ausgesetzt wurden.

### **A.P. Periyakaruppan et al.**

Alveolarepithelzellen von Ratten wurden mit Uranylacetat (DU) in der Konzentration 0; 0.5 und 1.0 mM behandelt, was oxidativen Stress verursachte: einen Überschuss von schädlichen freien Radikalen im Vergleich mit den endogenen Antioxidantien, welche die freien Radikale neutralisieren. Ein solches Antioxidantien-System wurde unter 1 mM DU um 50 % reduziert; das als Antioxidans wirkende Protein SOD 2 konnte demnach die Neutralisierung der freien Radikale nicht gewährleisten. Wenn die DU-behandelten Lungenzellen mit Antioxidantien einschließlich Vitamin E versorgt wurden, ging der oxidative Stress zurück. Die Untersucher stellten fest, dass gesteigerter oxidativer Stress das Zellwachstum vermindert, die Oxidation von Lipiden steigert und so die Zellmembranen schädigt. Die Autoren ziehen den Schluss, dass DU-bedingter gesteigerter oxidativer Stress Mutationen verursachen kann.

### **J. Pourahmad et al.**

Auch in dieser Arbeit wird DU in Form von Uranylacetat verwendet. Isolierte Rattenleberzellen wurden UA ausgesetzt. Das Uran war cytotoxisch und verursachte die Bildung freier Radikale und den Kollaps der mitochondrialen Membranen. (Die Mitochondrien sind der Ort, an dem die Zellenergie in Form von ATP produziert wird.) UA verursacht schweren ATP-Mangel und andere Schädigungen wie z.B. Lipid-Peroxidation. Diese Untersuchung beschäftigt sich auch damit, wie einige dieser Probleme verringert werden könnten.

## **MEDIKAMENTE**

### **Y. Guieguen et al. (I)**

Ratten erhielten 9 Monate lang 40 mg DU pro Liter Trinkwasser. Acetaminophen ist ein übliches sicheres Medikament, das in Überdosis allerdings (oder bei besonders sensiblen Tieren) Leber und Niere schädigen kann. Den Ratten wurde (am Ende der 9 DU-Monate) eine Einzeldosis von 400 mg/kg verabreicht, was als gering toxische Dosis gilt.

Bei den mit DU kontaminierten Tieren führte das Acetaminophen zu Toxizität besonders in den Nieren, Zellnekrosen in den oberen Tubuli wurden beobachtet. Der Acetaminophenspiegel war in der DU-Gruppe höher als bei den Kontrollen. Ferner war das CYP2E1-Gen in den Nieren erhöht, ein Gen, das für die Bioaktivierung und die Toxizität des Medikaments eine wichtige Rolle spielt. In der Leber war die CYP-Aktivität bei der DU-Gruppe dagegen vermindert.

Die Hypothese der Autoren, dass chronische DU-Kontamination die Verstoffwechslung von Medikamenten beeinträchtigt, wird durch diese Arbeit bestätigt.

(Wegen Unstimmigkeiten im vorliegenden englischen Text wurde das Original-Abstract für diese Übersetzung mit herangezogen. WE)

### **Y. Gueguen et al. (II)**

Gallensäuren sind für die Verdauung und Aufnahme der Nahrungsfette erforderlich. Ratten erhielten einmalig eine subcutane DU-Injektion in einer sublethalen Dosis. Die Tiere wurden am 1. und am 3. Tag nach der Exposition untersucht. Am 3. Tag war das Lebergewicht reduziert und der Lipidstoffwechsel in der Leber beeinträchtigt.

Schon am 1. Tag hatte sich der „Beginn einer starken Nierendysfunktion gezeigt“. Die Triglyceridspiegel im Plasma waren reduziert.

Cholesterol wird zu Gallensäuren abgebaut – auch der Cholesterol-Stoffwechsel in der Leber war durch DU gestört. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Unterbrechung der Verstoffwechslung von Xenobiotika\* in der Leber die Entgiftungsfunktion schwer beeinträchtigen kann, besonders in Bezug auf Medikamente. Ferner vermuten die Autoren, dass DU durch die Schädigung des Leberstoffwechsels auch zu Fettstoffwechselkrankheiten führen kann.

\* Als Xenobiotika werden „körperfremde Substanzen“ bezeichnet, u.a. Medikamente.

### **M. Soudi et al.**

Soudi und Mitarbeiter untersuchten die Auswirkungen von DU (verabreicht über 9 Monate mit dem Trinkwasser, 1 mg/Ratte/Tag) auf die Fähigkeit von Ratten, Xenobiotica zu verstoffwechseln - dazu gehören Medikamente, Carcinogene und Insektizide. Sie fanden heraus, dass DU in diesem Zusammenhang als Schwermetall wirkt und den Metabolismus von Medikamenten und anderen Xenobiotica beeinträchtigt.

## **AKUTE TOXIZITÄT**

### **S. Fukuda et al.**

Fukuda und Mitarbeiter zeigten, dass subcutan in eine Wunde injiziertes DU bei männlichen Ratten Schäden am Ort der Injektion und DU-Anreicherung in verschiedenen Organen verursachte. Die Ratten erhielten 4 mg/kg-1 bzw. 16 mg/kg-1 pro Tag in einer pH 1 – oder in einer pH 7 – Lösung. Mit der letzteren sollte die chemische Toxizität geprüft werden. Von der 4 mg/kg-1 – Dosis in pH-1-Lösung verblieben 1 – 3 Stunden nach der Gabe 57 – 61 % des DU am Ort der Injektion, von der höheren Dosis waren es 53 – 71 %, und zwar über 24 Stunden. Für beide Dosen in pH-7-Lösung waren die Prozentsätze niedriger. Die Uranausscheidung mit Urin und Stuhl nahm mit der Zeit nach der Injektion zu.

Histologische Untersuchungen mit dem Lichtmikroskop zeigten strukturelle Schäden in den Nieren, besonders in der pH-7-Gruppe. Auch Leber und Femur erlitten Schäden. Es fanden sich abnorme Spiegel von BUN (Blood Urea Nitrogen = Blut-Harnstoff-Stickstoff) und anderer Marker. Die DU-Ratten wurden mit einem Chelat (CBMIDA = catechol-3,6-bi-methyliminoacetic-acid) behandelt, welches in der Niedrigdosis-Gruppe mit pH-1-Lösung die DU-Anreicherung am Injektionsort reduzierte und auch die DU-Konzentrationen in Knochen und Niere verminderte. CBMIDA erhöhte auch signifikant die DU-Ausscheidung im Urin und im Stuhl.

## **STUDIEN AM MENSCHEN**

### **R. Bertell**

Dies ist eine breit gefächerte Arbeit über die zahlreichen Krankheiten, die durch DU-Munition entstehen können. Die Autorin ist in Sorge über die Krankheiten, an denen Kriegsveteranen leiden und ebenso die Anwohner von Oak Ridge. Die Arbeit beschäftigt sich sowohl mit der DU-Strahlung als auch mit der hohen chemischen Toxizität des DU als Schwermetall. Die von der Strahlung und der Toxizität erzeugten freien Radikale unterbrechen den Zellstoffwechsel und stellen in vielfältiger Weise den Hintergrund für chronische Krankheiten und für das

Golfkriegssyndrom dar. Bertell betont auch die Besonderheiten des DU-Aerosols, das winzige Metallteilchen des getroffenen Panzers enthält, die zu gefährlichen Ablagerungen im Körper werden. (Ein Fehler auf S. 505 wurde in der nächsten Ausgabe der Zeitschrift korrigiert: 1 mg reines U 238 emittiert pro Tag 1.073,9 Alphateilchen, nicht 1.071.000.)

#### **P. Kurttio et al.**

Kurttio und Mitarbeiter fanden, dass hohe Konzentrationen von natürlichem Uran im Trinkwasser (durchschnittliche tägliche Aufnahme 36 ug) bei finnischen Männern zu erhöhtem Knochenstoffwechsel führte. Mehr als die Hälfte der an der Studie beteiligten Männer tranken Wasser mit höheren Urankonzentrationen als es in den WHO-Richtlinien dargelegt ist (15 ug/l). Frauen waren nicht betroffen. Frühere Untersuchungen hatten ergeben, dass Uran im Trinkwasser die Ausscheidung von Calcium und Phosphat über die Nieren erhöht.

#### **M.A. McDiarmid et al.**

Diese Studie zeigte, dass 35 Golfkriegsveteranen 16 Jahre nach DU-Exposition infolge einer „friendly fire“-Attacke immer noch Uran ausschieden. Mindestens 13 der Veteranen hatten DU-Splitter in ihren Körpern. Isotop-Analysen (U 235 / U 238) ergaben, dass 12 Probanden, von denen 11 Uransplitter in sich hatten, positive Tests für DU aufwiesen, während sich in den Urinproben von 19 anderen Uranspuren fanden, die für eine weitere Differenzierung zu niedrig waren (Untergrenze für die Differenzierung 0,001 Microgramm). Diese siebte aus einer Reihe von Überwachungsstudien schloss mehrere neue Teilnehmer ein. Der Rest der Teilnehmer war nicht an *allen* anderen Studien beteiligt. Die Probanden wurden in 2 Gruppen eingeteilt, eine mit hoher Uranausscheidung im Urin (10) und eine mit niedriger Ausscheidung (25); die Grenze lag bei 0,1 Microgramm Uran / Gramm Kreatinin. Wegen der geringen Zahl und des Fehlens einer unbelasteten Kontrollgruppe ist es schwierig, diese Studie mit anderen zu vergleichen oder die Ergebnisse für andere Veteranen hochzurechnen.

#### **S. Milacic et al.**

In dieser Studie wurden Blutzellparameter und chromosomale Aberrationen bei Menschen aus drei Balkanregionen untersucht; in diesen Regionen war DU-Munition verwendet worden. Kontrollgruppen waren Menschen aus einem nicht kontaminierten Gebiet und Beschäftigte, die beruflich Röntgenstrahlen ausgesetzt waren.

Die Gruppe aus Vrange/Bujanovac, einer DU-verseuchten Region, wies die höchste Zahl an stark veränderten Zellen („Monsterzellen“) und chromosomalen Aberrationen (dicentrische, acentrische und Ringchromosomen) von allen DU-exponierten Gruppen auf. Die „Röntgenstrahlen-Gruppe“ hatte die meisten chromosomalen Aberrationen, aber weniger „Monsterzellen“. Veränderungen des Zellkerns und des Cytoplasmas (toxische Granulationen) wurden bei 85 % der Menschen im Kosovo und bei 67 % der Vrange/Bujanovac-Gruppe im Vergleich zu 15 % bei der nicht exponierten Kontrollgruppe gefunden. Die DU-Kontamination in den Studienregionen war relativ niedrig und vorwiegend im Boden nachweisbar.

#### **R.R. Parrish et al.**

Parrish und sein Team stellten bei 5 früheren Arbeitern und 4 Anwohnern der „National Lead Industries“ in Colonie/New York DU im Urin fest, 20 Jahre nach dem letzten Kontakt mit DU-Aerosolen. Die genannte Fabrik war in den frühen 1980er Jahren geschlossen worden; bis dahin hatte man dort „Uranprodukte“ und DU-Waffen produziert. Als die Fabrik noch arbeitete, wurden starke DU-Kontaminationen in der Umgebung festgestellt.

Die Probanden waren krank, aber im Design der Studie ging es nicht um Gesundheit. Die Forscher würden gern eine Gesundheitsstudie bei Arbeitern und ehemaligen Arbeitern in DU-Munitions-Fabriken durchführen.

### **H. Schröder et al.**

16 kranke Golf- und Balkankriegsveteranen, die vermutlich DU durch Inhalation aufgenommen hatten, wiesen eine im Vergleich zum Normalen 5,2fach erhöhte Rate von dicentrischen und Ringchromosomen in den peripheren Lymphocyten auf. Diese Chromosomenveränderungen gelten als typische Strahlungsfolge.

## **TRANSGENERATIONELLE EFFEKTE**

### **D.P. Arfsten et al.**

Hier handelt es sich um eine Studie an Ratten über 3 Generationen (F0, F1, F2), um festzustellen, welches die Effekte von DU-Exposition der F0-Generation für die nachfolgenden Generationen sind. Die F0-Ratten wurden unterschiedlichen DU-Mengen in Form von in die Beinmuskulatur implantierten Pellets ausgesetzt. Einige Ratten wurden nicht mit DU behandelt, aber ihre Paarungspartner hatten implantierte Pellets. Ratten mit implantierten Tantal-Pellets dienten als Kontrollen; andere Ratten trugen Tantal-Pellets und wurden mit DU-Ratten gepaart. DU-Männchen wurden entweder 12 oder 20 Pellets implantiert, die Weibchen erhielten 4, 8, 12 oder 20 DU-Pellets. 20 in die Rattenmuskulatur implantierte DU-Pellets entsprachen der DU-Last von 0.22 kg für einen 70 kg schweren Menschen.

Zusätzlich zu den Tantal-Kontrollen gab es eine weitere Kontrollgruppe, die einer fingierten Operation unterzogen wurde.

Diese komplizierte Studie wies keine Differenzen der allgemeinen Parameter wie Gewichtszunahme trächtiger Weibchen und der Jungen, Spermien der Männchen und bezüglich des neurologischen Verhaltens nach; diese fehlenden Unterschiede betrafen alle Behandlungsgruppen einschließlich der Tantal- und Scheinoperations-Kontrollgruppen. Die Forscher stellten keine Zeichen von Krankheit oder toxischer Wirkung fest.

Aber die Studie erbrachte Beweise für transgenerationale DU-Effekte. 7 von 54 F1-Ratten aus 3 DU-Gruppen mit mindestens 12 implantierten DU-Pellets bei wenigstens einem Elterntier starben, bevor sie 120 Tage alt waren. Ferner wiesen F1-Weibchen aus der Gruppe, deren beiden Eltern man 12 DU-Pellets implantiert hatte, signifikant höhere Leber- und Herzgewichte auf als die entsprechenden Kontrolltiere, deren Eltern eine Scheinoperation erlitten hatten. Das mittlere Gewicht der Jungen eines Wurfs der F1-Generation war deutlich geringer, wenn den Vätern 20 DU-Pellets implantiert worden waren, im Vergleich zu den entsprechenden Tantal-Kontrollen.

F2-Männchen, deren beide Großväter 20 DU-Pellets trugen, hatten signifikant niedrigere Herzgewichte und wiesen im Vergleich zu den Tantal-Kontrollen eine deutlich verminderte Spermienbeweglichkeit auf.

In ihrem Fazit vermuten die Forscher, dass die frühen Todesfälle in der F1-Generation als DU-Effekt anzusehen sind. Sie erwähnen auch eine gewisse Hyperaktivität bei Weibchen mit hoher DU-Belastung und bei ausgewachsenen F1-Tieren.

## **NICHT – SÄUGETIERE**

### **S. Barillet et al.**

DU und eine Mischung aus DU und U 233 (im Umgebungswasser) wurden in Kiemen und Leber von Zebrafischen massiv angereichert, zusätzlich auch in Knochen, Nieren, Gonaden und Gehirn. In der Leber, dem Entgiftungsorgan, verursachte DU (und ebenso die o.g. Mischung) eine Verminderung der drei untersuchten Antioxidantien-Systeme, die zur Neutralisierung freier Radikale wichtig sind. Eines dieser Antioxidantien, Glutathion-Peroxidase, schützt die Zellmembranen vor schädlichen Lipiden (Fette, die zusätzliche Membranschichten anlagern). Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass es sich hierbei um Strahlungseffekte des Urans und des DU handelte, die früher auftraten als die Folgen der chemischen Toxizität. Ferner erhöhten DU und Uran den Spiegel des Neuro-Biomarkers Acetylcholinesterase (AChE) um 30 %. AChE ist wichtig für das Gedächtnis und andere Gehirnleistungen. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Erhöhung der AChE zu einem dauerhaften Mangel des Neurotransmitters Acetylcholin führt, was die neuronale Impulsübertragung behindert und/oder verstärkte Reparaturvorgänge am Axon anzeigt.

### **S. Bourrachot et al.**

Bourrachot und Mitarbeiter studierten die Effekte verschiedener Konzentrationen von DU und U 233 bei Embryonen und frühen Larvenstadien des Zebrafisches. Die DU-Konzentrationen reichten von 20 Microgr./l-1 bis 250 Microgr. DU-Anreicherung im Chorion wurde bei allen DU-Konzentrationen beobachtet, aber in den Fisch-Embryonen nur bei der höchsten Konzentration. Die Entwicklung der DU-belasteten Embryonen schien nicht beeinträchtigt. Die Schlüpfraten waren schon bei der geringsten DU-Konzentration gegenüber Kontrollen vermindert. Die Körperlänge der DU-Larven, gemessen an den Tagen 9 und 15, war im Vergleich zu den Kontrollen signifikant geringer. Bei den mit 250 Mikrogr./l-1 DU belasteten Larven betrug die Sterberate am 15. Tag 100 % während sie in den anderen DU-Dosierungsgruppen nahe bei 95 % lag. Zum Vergleich: Von den Kontroll-Larven starben bis zum 15. Tag 34 %. Bei Fischlarven nach U 233-Exposition waren die Auswirkungen noch schwerer; U 233 hat eine höhere Strahlungsaktivität als DU.

### **S.E. Mitchell et al.**

In dieser Studie wurden die Effekte verschiedener, vorwiegend hoher Konzentrationen von DU auf Embryos und Kaulquappen des Afrikanischen Klauenfroschs (*Xenopus laevis*) untersucht. In einem Kurzzeit- Expositionsexperiment wurden Embryos für 96 Stunden in DU-haltiges Wasser mit Konzentrationen von 4.8 bis 77.7 mg/l eingesetzt. In dieser Zeit wurden die Embryos noch vollständig aus dem Dottersack ernährt, was die Aufnahme von DU vermindert; die Kiemen waren noch nicht vollständig ausgebildet. Mit Hilfe der Froschembryo-Teratogenese-Versuchsanordnung FETAX ergaben sich 8 % für Mortalität und 5 % für Fehlbildungen; die Längenentwicklung war nicht auffällig.

Im Langzeit-Experiment über 64 Tage wurden die Kaulquappen von einem Parasiten befallen, der alle Kaulquappen in der niedrigsten DU-Gruppe (6.26 mg DU/l) tötete, aber auch über 80 % der in Brunnenwasser lebenden Kontrollen. Ein wichtiger Befund dieser Studie war, dass die DU-Kaulquappen eine verzögerte Metamorphose aufwiesen; der Unterschied zu den Kontrollgruppen war aber nicht signifikant.

Das bei den Untersuchungen verwendete Wasser war alkalisch und hatte einen hohen

Härtegrad. Das führt zu Carbonatbindungen des DU und mag es so weniger bioverfügbar machen. Das könnte nach Ansicht der Forscher den Grad der DU-Toxizität vermindert haben.

## **DAS PROBLEM MICRO-UND NANO-PARTIKEL**

Die drei hier aufgeführten, aber nicht beschriebenen Arbeiten (Lam; Oberdorster; Samet) handeln offenbar von den Gefahren durch Feinstaub, wobei es aber aufgrund der Titel nicht um DU zu gehen scheint.

## **NICHT VON UNABHÄNGIGEN EXPERTEN BEGUTACHTETE ARBEITEN; AUSWIRKUNGEN AUF DIE GESUNDHEIT; IM AUFTRAG DER „US ARMY MEDICAL RESEARCH“ (MEDIZINISCHE FORSCHUNG DER US ARMEE)**

### **J.L. Lewis et al. (I)**

Es wurden die Auswirkungen verschiedener Uranoxide (UO<sub>2</sub>, UO<sub>3</sub>, UO<sub>2</sub>+UO<sub>3</sub>, DUO<sub>x</sub>) auf Rattengehirne untersucht. Die Tiere wurden 15 Min. lang nasaler Inhalation einer hohen Dosis von 300 - 660 mg/m<sup>3</sup> ausgesetzt. 15 Ratten der UO<sub>3</sub>-Gruppe, die nach 30 Tagen für weitere Untersuchungen getötet werden sollten, starben bereits vor dem 12. Tag nach der Exposition. Bei 14 Ratten war die Todesursache akute Tubulusnekrose mit urämischer Pneumonie aufgrund der Uran-Toxizität. Bei einer Ratte aus der gleichen Gruppe wurde 30 Tage nach Exposition Uran in der Mitralzellschicht des Bulbus olfactorius im Gehirn nachgewiesen.

2 Stunden nach Exposition fand man bei allen Urangruppen und auch in der Tantal-Kontrollgruppe Entzündungszeichen in den Bulbus-olfactorius-Glomeruli. Der Entzündungsmarker GFAP (Glial Fibrillary Acidic Protein = saures Gliafaserprotein) war in diesen Gruppen signifikant erhöht im Vergleich zu Kontrollratten, die nur Luft geatmet hatten. Die UO<sub>3</sub>-Gruppe wies die höchsten Spiegel dieses Markers auf.

In den Nieren von 15 Ratten, die 30 Tage nach Exposition getötet wurden, fand man kein Uran.

### **J.L. Lewis et al. (II)**

Diese Arbeit aus dem Jahr 2004 setzt die Untersuchungen der vorangegangenen Arbeit (s.o., 2003) fort. Die 12 weiblichen Ratten aus der UO<sub>3</sub>-Gruppe, die vorzeitig gestorben waren, hatten Urankonzentrationen von 23 – 34 mg/kg Trockengewicht in den Nieren. 30 Tage nach Exposition mit der durch nasale Inhalation verabreichten hohen Urandosis wurde bei 61 % der Männchen und 22 % der Weibchen in allen Urangruppen eine mäßiggradige Nephropathie gefunden. 100 % der Ratten aus der UO<sub>3</sub>-Gruppe und 67 – 100 % aus der DUO<sub>x</sub>-Gruppe wiesen eine Lungenseptum-fibrose auf. Bei den gleichen Tieren wurde auch eine Hyperplasie der alveolären Makrophagen mit Einschlüssen gefunden.

360 Tage nach der Exposition bestand bei 25 von 37 Männchen und bei einigen wenigen Weibchen noch eine milde Nephropathie. Die meisten Tiere der UO<sub>3</sub>- und der DUO<sub>x</sub>-Gruppen hatten noch Lungenseptumfibrosen.

### **J.L. Lewis et al., (III)**

Eine mäßige Dosis von  $1 \text{ mg U} / \text{m}^3$  in Form einer  $\text{UO}_2/\text{UO}_3$ -Mischung mit oder ohne Endotoxin (das eine Entzündung der Nasenschleimhaut hervorruft) wurde als nasale Inhalation verabreicht. Von den Tieren, die nach einem Tag getötet wurden, zeigten 2 Weibchen messbare Urankonzentrationen in den Glomeruli des Bulbus olfactorius (1. Ratte, die  $\text{UO}_2/\text{UO}_3$  inhaliert hatte) bzw. in der angrenzenden Mitralzellschicht (2. Ratte, die zusätzlich Endotoxin erhalten hatte).

In einer anderen Versuchsanordnung atmeten Ratten Luft mit  $1 \text{ mg/m}^3 \text{ UO}_2/\text{UO}_3$  ein und erhielten einmal wöchentlich Endotoxin nasal. Kontrollratten atmeten Luft, mit oder ohne Endotoxingaben. Der Versuch dauerte 30 Tage bzw. einen Tag. Bei 2 Männchen konnte man Uran in den Glomeruli des Bulbus olfactorius nachweisen. Eines dieser Männchen hatte 2 x 30 Tage Uran eingeatmet, das andere zuerst einen Tag und später 30 Tage. Bei einem von 7 Weibchen, das 2 x 30 Tage uranhaltige Luft geatmet hatte, wurde Uran sowohl in den Glomeruli als auch in den Mitralzellen nachgewiesen.

## **UMWELTSTUDIEN, KONTAMINATION VON MENSCHEN**

### **W. Dong et al.**

Das „Aberdeen Proving Ground“ - Testgebiet liegt nahe bei der stark kontaminierten „Chesapeake Bay“. Die Forscher nahmen Proben des sandigen Oberflächensediments eines Sumpfes nahe einem Bachlauf und des Schlicks vom Boden des Baches. Beide Proben enthielten organische Bestandteile und reagierten sauer. Wasserproben aus dem Bach wurden ebenfalls gezogen, sterilisiert und untersucht. Wenn lösliches Uran den aufgeschlämmten Sedimenten zugesetzt wurde, verband es sich schnell mit der organischen Materie. In den Sedimenten lebende Bakterien und organisches Material reduzierten das  $\text{U}^{6+}$  zu unlöslichem  $\text{U}^{4+}$ . Hinzufügen von Acetat beschleunigte diesen Prozess und veranlasste Clostridien zu schnellerer Reduktion von  $\text{U}^{6+}$ , was aber im Vergleich zur organischen  $\text{U}^{6+}$ -Bindung immer noch ein langsamer Prozess war. Reoxidation des  $\text{U}^{4+}$  kam vor, ebenso der Transport beider Uran-Oxidationsstufen in die Bucht infolge starken Regens.

### **G. Jia et al. (I)**

Die italienische Umweltschutzbehörde nahm Proben von Flechten, Rinden, Moosen und Pilzen von mindestens 8 Orten (in Bosnien-Herzegowina) die während des Krieges in der Mitte der 1990er Jahre möglicherweise mit DU-Munition kontaminiert worden waren. Auch Wasserproben wurden gezogen. In den meisten biologischen Proben wurde DU in geringen Mengen gefunden. Es wurde diskutiert, dass DU auch von Insekten und Würmern aufgenommen werden könnte, aber solche Untersuchungen wurden nicht durchgeführt.

Wasser aus 2 Brunnen bei der Hadzici -Panzer -Reparaturanlage wurde DU-positiv getestet. Die Aktivität in den Wasserproben war höher als im Trinkwasser und in Flüssen Mittelitaliens, aber niedriger als in Mineralwasser und unter den WHO-Trinkwasserrichtlinien von 2004. Die Forscher betonten jedoch, dass DU-Korrosionsprodukte im Boden „wandern“ und möglicherweise das Grundwasser kontaminieren könnten.

### **G. Jia et al. (II)**

Die Italienische Umweltschutzbehörde führte im Herbst 2001, 2 – 3 Jahre nach dem Einsatz von DU-Munition durch NATO-Truppen, zusammen mit UNEP\* Untersuchungen in Serbien und Montenegro durch. Das Hauptanliegen war zu prüfen, ob das Grundwasser kontaminiert sei; aber außer Wasser wurden auch Luft- und biologische Proben genommen (Flechten, Moose, Rinden, Pilze). Man fand weit verbreitete Kontamination, allerdings nicht in hoher Konzentration. Die biologischen Proben ergaben 0.67 – 704 Bq/kg für U 238; 0.48 – 93.9 Bq/kg für U 234 und 0.02 – 12.2 Bq/kg für U 235. Die Werte lagen allesamt höher als bei den Kontrollen. 8 Luftproben wurden ebenfalls positiv für DU (U 238) getestet. Wasserproben aus Serbien und Montenegro ergaben folgende Werte: 0.4 – 21.9 mBq/l für U 238; 0.27 – 28.1 mBq/l für U 234 und 0.01 – 0.88 mBq/l für U 235. In 2 Brunnenwasserproben wurde ebenfalls DU gefunden. Mineralwasser in Mittelitalien wies allerdings höhere Werte auf. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass an den untersuchten Orten kein signifikantes Strahlenrisiko durch DU besteht. Die Forscher rechnen aber damit, dass Grundwasser-Kontamination in der Zukunft ein Problem werden könnte.

\*UNEP = United Nations Environment Programme

### **G. Jia et al. (III)**

Ein Team der Italienischen Umweltschutzbehörde arbeitete zusammen mit UNEP Ende 2000 im Kosovo. Sie nahmen Proben von panzerbrechender DU-Munition, die dort herumlag, ferner auch von Flechten, Rinden, Moosen, sowie Wasser aus Brunnen, Rückhaltebecken, Flüssen und Bächen.

Die Uranisotopen-Analyse von Geschossabstrichen ergab 99.76 – 99.78 % für U 238, während U 234, U 235 und U 236 nur in Spuren nachgewiesen wurde, so dass die Charakteristika von DU gegeben waren.

Die Urankonzentrationen in den Bodenproben bewegten sich im Bereich von 11.3 – 2.26 (hoch)<sup>5</sup> für U 238; die anderen U-Isotope waren nur gering vertreten. Die auf U 238 bezogene relative Aktivität lag für U 235 bei 0.0123 – 0.114, für U 234 bei 0.112 – 1.086 und für U 236 bei maximal 0.0078. Daraus ergab sich die Anwesenheit von DU in 77 % der Bodenproben. An einer Stelle wurden 140 mg DU/cm<sup>2</sup> gefunden was 1.68 x 10 hoch 6 mal mehr ist als die durchschnittliche Kontamination. In den biologischen Proben (Flechten etc.) fanden sich 1.97 – 4.06 x 10 hoch 4 Bq/kg U 238; die Aktivitäten der anderen U-Isotope waren gering, ebenso die relative Aktivität bezogen auf U 238, so dass die Anwesenheit von DU in den untersuchten biologischen Proben ebenfalls nachgewiesen ist.

Demgegenüber waren die Urankonzentrationen in den Wasserproben gering, verglichen mit Wasserproben aus Mittelitalien, so dass gesagt werden kann, dass Uran im Kosovo-Wasser zur Zeit kein Gesundheitsrisiko darstellt. Das italienische Team war aber besorgt über mögliche spätere Grundwasser-Kontamination.

### **U. Oeh et al.**

Oeh und Mitarbeiter untersuchten mehr als 1300 Urinproben von deutschen Soldaten der Friedenssicherungstruppe; sie hatten in Regionen des Kosovo und Südserbiens gelebt, in denen DU-Munition verwendet worden war. Man fand keine signifikanten Unterschiede in der Uranausscheidung zwischen den Probanden und Kontrollpersonen. Daher zogen die Untersucher den Schluss, dass keiner der Soldaten signifikante DU-Mengen aufgenommen hatte - wobei „Signifikanz“ definiert wurde als Aufnahme von mindestens 1 mSv/Jahr oder Inhalation von 8.33 mg DU.

Auch von der Wohnbevölkerung im Kosovo und in Südserbien wurden Urinproben genommen. Es ergab sich eine große Spannweite der ausgeschiedenen Uranmengen von 3 – 266 ng/Tag; allerdings ergab die Isotop-Analyse, auch bei den relativ hohen Ausscheidungen, keine typische DU-Konstellation.

Untersuchungen von Grund- und Leitungswasser ergaben z. T. höhere U-Konzentrationen als in den WHO-Richtlinien für Trinkwasser festgelegt (2 microgr U / l); aber nur in einem Fall (Leitungswasser in einer Schule) handelte es sich um DU.

### **I.W. Oliver et al.(I)**

In dieser Studie wurden unterteilte Bodenproben mit Hilfe des BCR\* Extraktionsschemas auf DU untersucht. Die Bohrkerne wurden an 2 Schießplätzen der Britischen Armee gewonnen. Uranisotop-Analysen der verschiedenen Schichten der Bohrkerne zeigten, dass DU vorhanden war. Es wurde festgestellt, dass DU in die tieferen Bodenschichten vorgedrungen war, in manchen Fällen tiefer als 20 cm. Die DU-Konzentration nahm mit der Tiefe ab. Die Studie wies nach, dass organisches Material im Boden bedeutungsvoll für die DU-Bindung ist, genauer, DU war mit organischem Material assoziiert. Der DU-Gehalt korrelierte in allen Proben mit den austauschbaren, reduzier- und oxidierbaren Anteilen des Bodens. Das beweist, dass DU im Boden beweglich ist, dass es mit dem Wasser transportiert werden kann und potenziell bioverfügbar ist.

\*BCR = Community Reference Bureau, EU-Referenz-Büro (zuständig für EU-weite Standards)

### **I.W. Oliver et al. (II)**

In dieser Arbeit wurde festgestellt, dass im Boden, im Porenwasser und in Regenwürmern vorhandenes DU im Bereich des Dundrennan-Geschützstandes in Schottland besser bioverfügbar war als natürliches Uran im Boden. Die Proben wurden nicht nur neben der Abschussrampe genommen, sondern auch entlang einer schnurgeraden Linie durch das Gelände, die an einem Flusslauf endete. Die Berechnung des Verhältnisses von U 235 zu U 238 in allen Regenwurm-Proben ergab niedrige Werte; das bedeutet, dass die Regenwürmer stärker mit DU kontaminiert waren als der Boden, in dem sie gelebt hatten. DU ist also gut bioverfügbar. Isotop-Analysen im Porenwasser ergaben ebenfalls eine niedrigere U 235 – U 238 – Relation als im umgebenden Boden. Das zeigt, dass DU stärker löslich und mobil ist als das natürliche Uran im Boden. Das Isotop-Verhältnis stieg mit der Entfernung des untersuchten Porenwassers von der Abschussrampe an, bis es 185 m vom Geschützstand entfernt Natururan entsprach. In größerer Entfernung vom Geschützstand korrelierten stärkere Urankonzentrationen („peaks“) mit entsprechend höheren Anteilen organischer Materie, was beweist, dass Uran im Porenwasser an organische Kolloide gebunden ist.

### **M.B. Radenkovic et al.**

Dies ist eine sehr technische Beschreibung der DU-Verteilung in 5 aufeinander folgenden Extraktionsphasen, mit dem Ziel, die DU-Beweglichkeit zu untersuchen, ferner die Ausbreitung der Kontamination und schließlich die Art und Weise, wie DU sich zu den verschiedenen Bodenbestandteilen verhält.

Das DU-Geschoss, um das es sich handelte, wurde in Bratosele  $\frac{1}{2}$  m unter der Bodenoberfläche gefunden. Das Geschoss verursachte einen „hot spot“. Die U 238-Aktivität am Ort des Eindringens in die Erde betrug 90 +/-14 Bq/kg und im Boden unmittelbar neben der Granate 263 +/- 25 Bq/kg. In einer Entfernung von 150 mm vom Geschoss war die Strahlung

auf 1 % der geschossnahen reduziert, betrug aber noch das Doppelte der Hintergrundstrahlung. Die Profile, die sich im Verlauf der 5-stufigen Extraktion ergaben, waren komplex und bewiesen, dass DU und U je nach der Zusammensetzung des Bodens beweglich oder unbeweglich sein kann.

### **B. Salbu et al:**

Unter Verwendung von SR\*-gestützten Röntgen- und XANES\*\*-Techniken gelang es Salbu und Mitarbeitern, die Oxidationsstufen von DU-Partikeln zu bestimmen, die aus den Durchschlagslöchern von durch DU-Munition zerstörten Panzern gewonnen wurden. Die gleichen Untersuchungen wurden mit Sand durchgeführt, der im Verlauf der Kämpfe um Doha (Kuwait-Krieg) im Juli 1991 mit DU kontaminiert worden war; in diesen Kämpfen wurden 600 pounds DU zur Explosion gebracht. Die Proben aus den Löchern im Panzerstahl und aus dem Sand unter den Panzern enthielten kleine DU-Partikel in der Größe von 2 – 64 micrometer (durchschnittlich 13 micro m), deren Charakteristika den im Kosovo gefundenen DU-Partikeln ähnlich waren. DU-Partikel von der Doha-Schlacht waren jedoch größer (0.2 – 1.500 micro-m, Mittelwert 44 micro-m) und hatten eine untypische kristalline Struktur. Die Oxidationsstufen der bei Doha gefundenen DU-Partikel waren etwas höher als jene der DU-Partikel von den Panzern (Doha-Oxidation +5 bis +6, vom Panzer +5.5 +/- 0.5). Höhere Oxidationsstufen bedeuten mehr Beweglichkeit, Bioverfügbarkeit und Mobilisierung des Urans. Diese Oxide verhalten sich nicht wie natürliches Uran.

\*SR=Synchrotron, Teilchenbeschleuniger; XANES=Xray-Absorption-Near-Edge-Structure; Absorptions-Spektroskopie (WE)

### **U. Sansone et al.**

Ein Team der italienischen Umweltschutzbehörde (ANPA) war während der UNEP-Kosovo-Mission im Jahr 2000 verantwortlich für Proben von Wasser, Boden, Flechten, Baumrinden und auch für Abstriche von DU-Geschossen. 85 % der Wasserproben enthielten natürliches Uran. 2 Proben aus einem Brunnen in Rznic hatten eine U 234 / U 238 – Relation von ca. 0.5, was eine DU-Kontamination wahrscheinlich macht. Alles in allem erwies sich die U 238 -Aktivität als niedrig, sogar niedriger als in Wasserproben aus anderen Teilen Europas. In Bodenproben fanden sich U 238 – Aktivitäten von 20 Bq/kg (etwa dem U 238-Anteil in natürlichem Uran entsprechend) bis  $2.3 \times 10^5$  Bq/kg (entspr. 18.000 mg/kg). Die Bodenproben waren in Arealen genommen worden, in denen A-10-Kampfflugzeuge (1999) DU-Granaten abgefeuert hatten. ANPA nahm tiefe Bohrkernproben und war überrascht, wie weit DU nur 18 Monate nach den Kämpfen schon in die Tiefe des Bodens vorgedrungen war. DU wurde auch in allen Flechten- und Rindenproben nachgewiesen, sogar in Proben von Stellen, an denen im Boden kein DU gefunden worden war. ANPA war besorgt über die Möglichkeit zukünftiger DU-Kontamination des Grundwassers.

### **W. Schimmack et al. (I)**

Die Forscher untersuchten das Ausmaß, in dem DU von panzerbrechenden Geschossen in den Boden auslaugt, und die Langzeit-Aktivität von DU in der Umwelt. Im Experiment wurden DU-Granaten oder Teile davon in Säulen eingebracht, die mit 2 Sorten in Europa häufig vorkommender Erde aufgefüllt wurden. Ein Jahr lang wurde das Sickerwasser unter den Säulen wöchentlich gesammelt. Die U 238 – Auslaugungsraten betrugen 0.1 – 10 Mikrogramm / Woche. Die Variabilität der Auslaugung war groß, am stärksten in Luvisol-Böden (kalkreicher Waldboden). Der Massenverlust betrug 3.8 g U 238 /Jahr oder 1.6 % der ursprünglichen DU-Masse. Die Forscher kamen zu dem Schluss, dass die Auslaugung von DU ein langdauernder

Prozess über Tausende von Jahren ist.

### **W. Schimmack et al. (II)**

In dieser Arbeit wurde langfristig das Auslaugen von U 238 aus panzerbrechenden DU-Geschossen untersucht. Schimmack und Mitarbeiter prüften die Auslaugungsraten im Sickerwasser, das sie am Grund von Säulen sammelten, die entweder mit Cambisol- oder mit Luvisol-Erde gefüllt waren. Jede Säule enthielt eine DU-Granate oder ein Fragment davon. Ca. 7.9 % der ursprünglichen DU-Masse waren nach 3 Jahren korrodiert, ca. 2.7 % pro Jahr. Die durchschnittliche U 238-Konzentration im Sickerwasser stieg im 2. Jahr auf über 1 mg/l an und blieb auch im 3. Jahr hoch. Am Ende des 3. Jahres betrug das ausgelaugte DU 0.04 – 60 mg mit einem Mittel von 13 mg. Diese große Variabilität machte eine Voraussage über zukünftige Auslaugungsraten unmöglich. Hinzu kam, dass die Forscher keine Korrelation zwischen der korrodierten DU-Masse und den akkumulierten U 238-Auslaugungen aus dem Sickerwasser nachweisen konnten.

<Übersetzung Winfrid Eisenberg >