

## Terrorgefahr und gesundheitliche Risiken durch Molybdän-99 in Thune

### *Bitte beachten Sie:*

*Die BISS weist ausdrücklich darauf hin, dass die folgenden Darstellungen unter dem Vorbehalt des Irrtums, aber nach bestem Wissen gemacht werden. Die Schlussfolgerungen sind daher nicht als Tatsachenbehauptungen aufzufassen, sondern stellen aus unserer Sicht und nach unserem derzeitigen Wissensstand plausible Annahmen dar, die zu überprüfen sind.*

### 1) Ausgangsdaten:

Aus der Antwort der Bundesregierung vom 17.12.2012 auf die kleine Anfrage der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (Drucksache 17/11730) (Drucksache 17/11926, <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/17/119/1711926.pdf>) geht hervor, dass im Zeitraum zwischen Januar 2005 und September 2012 jährlich Transporte (Im- und Exporte) von angereichertem Uran mit Jahresmengen zwischen 4.338 und 12.925 kg mit Thune als Ausgangs- oder Zielort abgewickelt wurden. Auffällig ist dabei, dass die Mengen der Im- und Exporte pro Jahr stark korrelieren und für die Jahre 2010 – 2012 nahezu identisch sind (Abweichungen maximal 170 kg/Jahr).

Eine genauere Analyse ergab, dass seit September 2008 der weit überwiegende Anteil der Transporte den Im- und Export von Uran mit einem Anreicherungsgrad von 0,5 % und einer Masse von 56,608 kg betrifft, die zwischen Südafrika und GE/Buchler durchgeführt wurden. Dabei erfolgten überwiegend zunächst vier bis sechs Importe und anschließend mehrere Rücktransporte an einem Tag, vermutlich in einem Sammeltransport. Für die Jahre 2011 und 2012 ergibt sich ein Muster aus wöchentlichen Importen (ein Transport) und monatlichen Exporten (4 Transporte an einem Tag). Das Jahr 2010 weist ein erheblich unregelmäßigeres Muster mit oft drei taggleichen Importen und bis zu 12 Exporten an einem Tag auf. Demnach haben sich am 12.10.2010 alleine durch die Importe von Uran aus Südafrika mit hoher Wahrscheinlichkeit knapp 680 kg Uran auf dem Gelände von GE/Buchler in Thune befunden.

### Folgerungen daraus:

- 1) Aufgrund der weitgehend ausgeglichenen Bilanzen zwischen Im- und Export, der exakt gleichen Massen und Anreicherungsgrade sowie des weitgehend regelmäßigen Transportrhythmus' kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei dem im- und exportierten Uran nicht um das eigentliche Transportgut, sondern um Transportbehälter für einen anderen Stoff handelt. Dieser ist in der Antwort der Bundesregierung nicht erfasst, da dort ausschließlich Kernbrennstoffe und deren Ausgangs- und Reststoffe aufgeführt werden.
- 2) Die Nutzlast oder eines ihrer Haupt-Zerfallsprodukte muss ein Gammastrahler hoher Energie sein, da Alpha- und Betastrahlung einfach durch andere Stoffe (Aluminium) abzuschirmen wären und für Neutronenquellen Elemente mit geringerer Massezahl verwendet würden.

- 3) Aufgrund der Häufigkeit der Transporte und des weitgehend regelmäßigen Rhythmus' handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um einen Stoff mit einer geringen Halbwertszeit (mindestens 2 Tage, da ansonsten aufgrund der Transportzeit aus Südafrika kaum etwas in Thune ankommen würde, und höchstens ca. 2-3 Wochen, da ansonsten die häufigen Transporte unwirtschaftlich wären.)
- 4) Da es sich bei GE/Buchler um einen Hersteller von Radiopharmazeutika handelt, kann angenommen werden, dass die Nutzlast ein kurzlebige Isotop mit hoher Gammastrahlung (oder hoher Gammastrahlung eines Haupt-Zerfallsproduktes) ist, das in der Medizin angewendet wird. Kurzlebige Gammastrahler werden für die Injektion in den Körper verwendet, da die Strahler für diesen Anwendungsbereich nicht „nach Gebrauch“ einfach wieder abgeschaltet bzw. zurück in eine Abschirmung verbracht werden können. Sie dienen nicht der Therapie, da die Reichweite der Gammastrahlung im Körper einen gezielten Einsatz nicht erlaubt, sondern der Diagnostik, z.B. dem Sichtbarmachen feiner Gefäßstrukturen.

### Zusammenfassung:

Gesucht wird ein radiopharmazeutisch wirksames Isotop oder ein Vorgänger davon mit einer Halbwertszeit zwischen ca. 2 Tagen und 2 - 3 Wochen, wobei es weiter wahrscheinlich erscheint, dass es sich um ein Isotop handelt, das zumindest in Europa nur in begrenzten Mengen hergestellt wird, da ansonsten der Transport aus Südafrika aufgrund der kurzen Halbwertszeit einen erheblichen Wettbewerbsnachteil darstellen würde. Dieser Stoff oder eines seiner Zerfallsprodukte (das dann ebenfalls eine kurze Halbwertszeit aufweisen müsste - ansonsten würde das Isotop mit längerer Halbwertszeit transportiert) ist mit hoher Wahrscheinlichkeit ein gamma-strahlendes Isotop für die radionuklidgestützte, bildgebende Diagnostik (Szintigraphie, SPECT mit **Technetium-99m-Radiopharmaka**) . Dessen Zerfallsprodukt muss dabei ein stabiles Isotop oder ein Isotop mit sehr geringer Aktivität und entsprechend langer Halbwertszeit (mehrere Jahrzehnte) sein.

Mit diesem Steckbrief ist **das Isotop der Nutzfracht auf Molybdän-99 (Mo-99) eingegrenzt**, das mit einer Halbwertszeit von 65,94 Stunden (2,75 Tagen) zu Technetium-99m (Tc-99m) zerfällt und dabei sehr energiereiche Gammastrahlung (1,375 MeV) abgibt. Tc-99 kann aufgrund seiner Halbwertszeit von nur 6,01 Stunden nicht über größere Strecken transportiert werden und wird in sogenannten TC-99m-Generatoren direkt im Krankenhaus bzw. am Ort der Anwendung aus dem Zerfall von Mo-99 gewonnen. Es ist ebenfalls ein Gammastrahler, jedoch mit einer erheblich geringeren Strahlungshärte.

## 2) Verwendung und Bedeutung von Mo-99 / Tc-99m:

In einer Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage mehrerer Abgeordneter sowie der SPD-Fraktion heißt es: „Nach Schätzungen wird Tc-99 bei weltweit über 80 % der nuklearmedizinischen Untersuchungen und in rund 90% aller diagnostischen Untersuchungen in Europa verwendet“. Weltweit wird der Ausgangsstoff Mo-99 nur in fünf Reaktoren [kommerziell bzw. in relevanten Mengen] hergestellt, darunter der SAFARI-1-Forschungsreaktor in Südafrika. Nach Angaben des Berufsverbandes Deutscher Nuklearmediziner wird das Nuklid bei ca. 60.000 Patienten pro Woche eingesetzt. Es ist das bei weitem wichtigste Element für szintigrafische, also bildgebende nuklearmedizinische Untersuchungen. In Europa wurden vor der Versorgungskrise (durch Ausfall einiger Reaktoren, insbesondere seit September 2008) jährlich ca. 9 Millionen Untersuchungen mit Tc-99 durchgeführt, davon ca. 1/3 in Deutschland.

(Quelle: Antwort der Bundesregierung, Drucksache 17/3142 vom 04.10.2010, <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/031/1703142.pdf>)

Das Mo-99 aus Südafrika wird mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit im SAFARI-1-Reaktor der NECSA (South African Nuclear Energy Corporation Ltd) durch Neutronenbeschuss von U-235 gebildet und in der 100%igen Tochter NTP Radioisotopes SOC Ltd. extrahiert. Hierfür wurde bis 2010 ausschließlich höchstangereichertes Uran-235 (Atomwaffen-Uran mit einem Anreicherungsgrad von >85 %) verwendet. Seit Juli 2010 nutzt NTP im Rahmen von Anti-Proliferationsbemühungen auch Targets mit einem um ca. 50% verringertem U-235-Gehalt, was immer noch 45% U-235 bedeutet

(vgl. [http://www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=12569&page=41](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12569&page=41)).

Aufgrund des Jahresberichtes 2012 der necsa (S. 45) ist jedoch zu vermuten, dass GE/Buchler noch immer mit Mo-99 aus höchstangereichertem Waffenuran beliefert wird.

Quelle: <http://www.world-nuclear.org/sym/2010/presentations/adamppt.pdf>  
<http://www.necsa.co.za/Portals/1/Documents/682ea9bf-e405-4f82-9f75-b07d193e9f26.pdf>  
(Seite 14).

In erstgenannter Quelle ist auf den Seiten 5 und 7 auch ein Transportbehälter der necsa aus abgereichertem Uran als Teil der Mo-99-Prozesskette abgebildet.

Eine weitere Abbildung eines solchen Containers findet sich unter <http://www.flickr.com/photos/nnsanews/5281141064/in/photostream/> (Seite 8)

### 3) Weshalb werden Container aus Uran verwendet?

Zur Abschirmung wäre Blei nach unserem derzeitigen Kenntnisstand ebenfalls effektiv, da es in diesem Energiebereich der Gammastrahlung für die Abschirmung hauptsächlich auf die „Schwere“ (Massezahl) der Elemente ankommt. Hier ist Uran-238 zwar etwas schwerer als Blei (206 – 208) und weist zudem eine höhere Dichte auf. Eine Bleiabschirmung müsste demnach ca. die doppelte Dicke aufweisen, was (überschlägig bei Berücksichtigung des Dichteunterschiedes und vereinfachter Annahme eines würfelförmigen Containers) ein vierfaches Gewicht zur Folge hätte. Wir bezweifeln allerdings, ob der Gewichtsvorteil beim Versand (ca. 250 kg Blei an Stelle von 56 kg Uran) den Einsatz von Uran als Behälter rechtfertigen kann.

Zwei alternative Gründe für die Verwendung von Uran bieten sich an:

a) Uran-235 kommt als "normales" und "metastabiles" Isomer vor:

Im Vergleich zu "normalem" U-235 ist die Halbwertszeit von U-235m sehr kurz (26 min), und die „Härte“ der abgegebenen Gammastrahlung vergleichsweise gering.

Es könnte also sein, dass die Strahlungsenergie der abgegebenen Gammastrahlung gut geeignet ist, um dieses U-235 anzuregen und in den m-Zustand zu bringen. Dies könnte dann evtl. einen deutlich stärkeren Einfluss auf die Abschirmfähigkeit haben, als der (so oder so) geringe Prozentsatz sonst vermuten ließe. Der Vorteil wäre, dass aus der schwer abschirmbaren, "harten" Strahlung des Mo-99 sehr viel "weichere" und damit besser abschirmbare Gammastrahlung würde.

Allerdings bleibt hier die Frage, weshalb das seitens des GAA nicht auf Nachfrage bekannt gegeben wird. Es handelt sich in keiner Weise um eine brisante Nachricht oder um etwas, das ein Atomphysiker nicht leicht herausfinden könnte. **Sollte** die Abschirmung also tatsächlich der Grund für die Verwendung von Uran sein, wäre es wahrscheinlich, dass in den Behältern brisante Aktivitätspotentiale transportiert werden, die nicht bekanntgegeben werden sollen.

b) Beständigkeit des Transportbehälters:

Wir vermuten allerdings viel eher, dass hier die hohe Beständigkeit gegen mechanische und Temperatureinwirkungen von Uranlegierungen im Vergleich zu Bleilegierungen den Ausschlag gibt. Unserer Auffassung nach muss der Nutzinhalt so verpackt sein, dass er selbst bei einem Flugzeugabsturz mit anschließendem Brand nicht freigesetzt wird, was mit Blei nicht zu erreichen wäre.

Behälter, die den Uran-Behältern aus den in Abschnitt 2) genannten Quellen zumindest sehr ähnlich sehen, wurden mehrfach auf dem Gelände gesichtet (jedoch nur zufällig fotografiert, siehe Bildanhang zu dieser Abhandlung).

#### 4) Mo-99-Verarbeitung in Thune:

GE/Buchler (GE Healthcare Buchler GmbH & Co, KG, 38110 Braunschweig) bietet unter der Bezeichnung Drytec Mo-99 / Tc-99m-Generatoren mit einem Inhalt von 2,5 – 100 GBq Mo-99 an.

Quelle: <http://www.myhealthbox.eu/de/DE/farmaco/GEHealthcareBuchlerGmbHCo.KG/DRYTEC/288134>

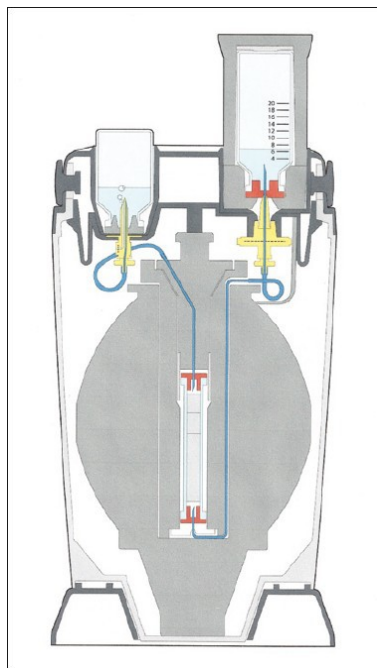


Abbildung aus

[http://www.jmp.org.in/viewimage.asp?img=JMedPhys\\_2012\\_37\\_2\\_66\\_94740\\_f8.jpg](http://www.jmp.org.in/viewimage.asp?img=JMedPhys_2012_37_2_66_94740_f8.jpg)

Hersteller des in Thune verwendeten Mo-99 ist mit hoher Wahrscheinlichkeit NTP Radioisotopes SOC Ltd.; diese Firma liefert das Mo-99 in flüssiger Form in Glasphiolen aus (<http://www.necsa.co.za/Portals/1/Documents/7ccbb58e-ac3f-485a-a926-48641b373bf7.pdf>).

## 5) Abschätzung der in einer Lieferung enthaltenen Aktivität:

Da das Gewerbeaufsichtsamt die Veröffentlichung der relevanten Daten verweigert, sind wir bei der Herleitung auf Abschätzungen angewiesen, die naturgemäß mit hohen Unsicherheiten behaftet sind.

### a) Abschätzung aufgrund der Daten des Endproduktes:

Aufgrund des angegebenen Inventars für einen Drytec-Generator von 2,5 bis zu 100 GBq (Giga-Bequerel,  $1E+9$  Bq) kann aufgrund der Vielzahl von potenziellen Abnehmern, der begrenzten Anzahl an Mitbewerbern, dem hohen Aufwand für die Zulassung der Geräte und Verfahren und nicht zuletzt dem sehr hohen logistischen Aufwand davon ausgegangen werden, dass GE/Buchler von Thune aus nicht nur einige wenige Kunden mit TC-99-Generatoren beliefert. Eine sehr grobe erste Abschätzung geht von einem mittleren Aktivitätsgehalt von 30 GBq pro Quelle und 50 Quellen aus, womit sich (da die TC-99-Generatoren nach ca. 1 Woche neu mit MO-99 befüllt werden müssen) eine wöchentliche MO-99-Aktivität von 1500 GBq bzw.  $1,5 E+12$  Becquerel ergeben würde (1,5 Tera-Becquerel Mo-99). Bei Anlieferung wäre aufgrund der Bearbeitungs- und Transportzeiten sowie der kurzen Halbwertszeit mit einer 50 – 100 % höheren Aktivität, entsprechend ca. **3 Tera-Bequerel Mo-99** zu rechnen.

### b) Abschätzung anhand des Marktwertes:

Eine andere Abschätzung geht vom Marktwert des MO-99 in Bulk-Form (also bei Anlieferung) und vom Preis für Mo-99 in verarbeiteter Form für den Einsatz in Tc-99-Generatoren aus. Genaue Preise sind aufgrund des beiderseitigen Oligopols und der mangelnden freien Handelbarkeit nicht verfügbar. Allerdings kann mit <http://www.euronuclear.org/1-information/news/medical-isotope-crisis.htm> folgende Abschätzung getroffen werden:

Preis (Stand 2008 während der Versorgungskrise) pro GBq Mo-99 für Bezug vom Hersteller: 10 €,  
Preis für Mo-99 in TC-99m-Generatoren: ca. 12 €/Gbq  
(<http://www.euronuclear.org/1-information/news/medical-isotope-crisis.htm>).

Selbst wenn aufgrund der schlechten Datenlage von einer hohen Unsicherheit und Preisspanne auszugehen ist, wird doch unmittelbar deutlich, dass sich der Aufwand für Aufbau und Betrieb eines Versorgungsnetzes mit Mo-99 /Tc-99m-Generatoren sicherlich nicht unter einem Wert der Mo-99-Quellen von unter 10.000 € wöchentlich lohnt, entsprechend ca. 1 TBq Mo-99 (6-days-curies-Preis), entsprechend (bei angenommenen 3,25 Tagen für die Trennung des Mo-99 vom Uran in Südafrika und den Transport nach Thune) ca. **2 TBq Mo-99** bei Ankunft in Thune.

c) Abschätzung aus Marktstruktur:

In einer Überblicksdarstellung des Weltmarktes der necsa,  
(<http://www.world-nuclear.org/sym/2010/presentations/adamppt.pdf>, S. 9)  
wird GE-Healthcare als einer von vier europäischen Anbietern auf dem europäischen  
Markt aufgeführt.

NTP wird als Lieferant mit einem Anteil am Weltmarkt von ca. 10 % bezeichnet und als  
einer der vier Lieferanten, die wöchentlich mehr als 1000 „6-day-curies“ (entsprechend  
ca. 37 TBq, bezogen auf einen Zeitpunkt 6 Tage nach Verschiffung) herstellen  
([http://www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=12569&page=34](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12569&page=34) (S. 34 - 36).

Bei einem Abnehmer von necsa, der in einer Präsentation zur überblicksartigen  
Darstellung des Weltmarktes namentlich aufgeführt wird, kann mit einiger  
Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass dieser zumindest einige Prozent  
der Produktionskapazität abnimmt. Bei Annahme einer minimalen  
Produktionskapazität von 37 TBq wöchentlich durch necsa / NTP und einer Abnahme  
durch GE/Buchler in Thune von nur 2,7 % der Kapazität (1 TBq zum marktüblichen 6-  
Days-Horizont) würde eine wöchentliche Lieferung Mo-99 an GE/Buchler bei Ankunft  
in Thune bei einer angenommenen Transportzeit von ca. 40 Stunden noch  
**ca. 2 TBq Mo-99** beinhalten (bei kürzerer Transportzeit noch entsprechend mehr).

d) Abschätzung aus veröffentlichten Aktivitäten:

Laut Auskunft des GAA-BS vom 18.01.2012 lag bei GE zum Stand 30.06.2011 eine  
umschlossene Mo-99- Aktivität in Höhe von 6,44 E+04 Freigrenzen vor.

Da für Mo-99 die Freigrenze 1,00 E+06 Bq beträgt,  
ergibt sich eine Mo-99-Aktivität von 6,44 E+10 Bq.

Die letzte bekannte Mo-99 Lieferung aus Südafrika an GE-Healthcare ist mit Datum  
24.06.2012. erfasst  
(Drucksache 17/11926: Seite 1005).

Die dazwischen liegende Zeitspanne (24.6.-30.6. = 6 Tage)  
entspricht 2,18 Halbwertzeiten.

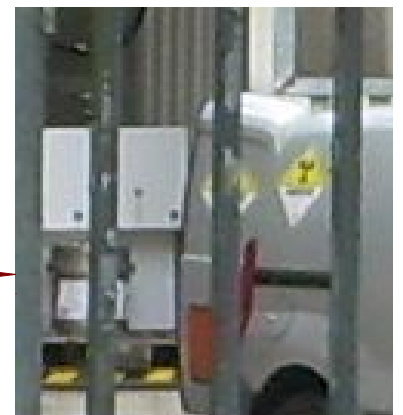
Damit ist von einer am 24.06. angelieferten Menge Mo-99 am 30.6 noch ca. 22 %  
vorhanden. Entsprechend muss die angelieferte Menge selbst für den Fall, dass die  
Lieferung vollständig verdorben sein sollte (kein Verkauf von Tc-99m-Generatoren aus  
dieser Lieferung) ca. 5 mal größer gewesen sein, entsprechend ca. 29,3 E+10 Bq Mo-99  
= **0,293 TBq Mo-99**.

Geht man davon aus, dass realistischer Weise nur ein kleiner Teil einer Lieferung nach 6  
Tagen noch in Thune ist (und damit praktisch wertlos bzw. verdorben), erscheint auch  
hier eine Aktivität zum Zeitpunkt der Lieferung im **Tera-Becquerel**-Bereich plausibel.

## Anhang: Abbildungen



Bildquelle: <http://www.flickr.com/photos/nnsanews/5281141064/in/photostream/>  
Bildquelle: <http://www.world-nuclear.org/sym/2010/presentations/adamppt.pdf>, S. 7



Bildquelle: BISS