

# Medizinische und industrielle Strahlenquellen als radiologische Waffen?

## AUTOREN

Tom Bielefeld  
Helmut W. Fischer

## ZUSAMMENFASSUNG

Anschläge mit radiologischen Waffen liegen im Bereich der Fähigkeiten sowohl von lokalen Terrorzellen als auch von transnationalen Terrornetzwerken. In einer Studie wurden plausible Anschlagsszenarien entwickelt, denen in Deutschland verwendete Strahlenquellen aus Medizin und Industrie zugrunde gelegt wurden. Besonderes Augenmerk wurde auf Möglichkeiten der kriminellen Beschaffung der Quellen gelegt, indem die täglichen Arbeitsabläufe in Krankenhäusern und Industrieunternehmen untersucht wurden. Mittels Simulationen wurden ferner die Auswirkungen eines Terroranschlags unter Verwendung solcher Quellen abgeschätzt. In keinem der untersuchten Szenarien wurden am Freisetzungsort Dosiswerte erreicht, die zu akuten Strahlenschäden führen könnten. Allerdings könnten in ungünstigen Fällen großflächige Dekontaminationsmaßnahmen erforderlich werden. Verbesserungen bei der Diebstahlsicherung solcher Quellen erscheinen daher wünschenswert.

## Szenarien für kriminelle Beschaffung und mögliche Auswirkungen

In den vergangenen Jahren hat die internationale Diskussion um mögliche terroristische Bedrohungen durch radiologische Waffen, so genannte „schmutzige Bomben“, erheblich zugenommen. Ein wesentlicher Aspekt dieser Debatte ist die Sicherheit von radioaktiven Strahlenquellen, die für die Herstellung solcher Waffen missbraucht werden könnten. In diesem Zusammenhang wird häufig auf die prekäre Sicherheitslage von Großquellen in den Nachfolgestaaten der ehemaligen Sowjetunion verwiesen, so z. B. auf die radiothermischen Generatoren, die in zahlreichen unbemannten Leuchttürmen an der russischen Nordküste verwendet werden, oder auf die teilweise nicht mehr auffindbaren mobilen Einrichtungen zur Saatgutbestrahlung aus den 1970er Jahren. Zudem zeigen die veröffentlichten Nuklearschmuggelstatistiken der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO) über die letzten Jahre eine signifikante Zunahme des illegalen Handels mit radioaktiven Quellen [1]. Ob diese Statistiken allerdings eine reale Zunahme abbilden oder die erhöhte Wachsamkeit der Sicherheitsbehörden bzw. die in letzter Zeit verbesserten Detektionsmöglichkeiten an den Grenzen reflektieren, ist nicht klar. In der im Folgenden beschriebenen Studie wurden plausible Anschlagsszenarien entwickelt, denen in Deutschland verwendete Strahlenquellen aus Medizin und Industrie zugrunde gelegt wurden.

**SUMMARY****Medical and Industrial Radiation Sources as Radiological Weapons**

The execution of attacks with radiological weapons are well within the capabilities of both local terrorist groups and transnational terrorist networks. In a research project, plausible attack scenarios have been developed, based on medical and industrial radioactive sources widely used in Germany. Special emphasis was put on how such sources could be obtained applying criminal tactics. To this end, working procedures in hospitals and companies have been analyzed. Furthermore, by means of simulations, the consequences of a terrorist attack using such sources were estimated. None of the scenarios we investigated led to doses at the site of the explosion which might cause acute radiation effects. However, in some scenarios, an attack would result in the necessity of a potentially very costly clean-up of large urban areas. Therefore, improvements in sources security are recommended.

**Gibt es eine Bedrohung durch radiologische Waffen?**

Bislang hat es einen Anschlag mit radiologischen Waffen noch nicht gegeben. Wohl gab es Drohungen, wie z. B. jene tschetschenischer Rebellen, die 1995 ihre Möglichkeiten, an radioaktives Material zu gelangen, demonstrierten, indem sie ein Paket mit  $^{137}\text{Cs}$  in einem Moskauer Park deponierten und anschließend die Medien informierten [2]. Auch gibt es immer wieder Presseberichte, die auf ein Interesse des Terrornetzwerks Al-Qaida an solchen Waffen hinweisen. Ein durchgeführter Anschlag aber ist bislang nicht dokumentiert.

Dennoch hat die umfassende Diskussion des Themas in Medien und Fachforen dazu geführt, dass radiologische Waffen nunmehr als Teil des „Kanons“ terroristischer Methoden aufgefasst werden können. Daher müssen Szenarien von Anschlägen mit ins Land geschmuggelten Strahlenquellen als plausibel betrachtet werden.

Ebenfalls als plausibel betrachtet werden müssen Szenarien, in denen lokal operierende und autonom handelnde

Terrorzellen versuchen könnten, innerhalb europäischer Länder an radioaktives Material zu gelangen. Solche Szenarien dürften gegenwärtig eher wahrscheinlicher werden, berücksichtigt man die sich verändernde Organisationsform des islamistischen Terrorismus, wie sie zuletzt bei den Anschlägen in London im Juli 2005 sichtbar wurde.

**Wege zur illegalen Beschaffung**

Mehrere Wege für die illegale Beschaffung von Strahlenquellen innerhalb eines europäischen Landes erscheinen denkbar. Naheliegender ist der mögliche Diebstahl aus einer Einrichtung, in der medizinische oder industrielle Quellen verwendet werden. Nach Schätzungen der Europäischen Union gehen in den Mitgliedstaaten pro Jahr bis zu 70 Strahlenquellen verloren, d. h., sie sind nicht auffindbar, wurden gestoh-

len, illegal entsorgt oder sind sonstwie außerhalb der Kontrolle der zuständigen Behörden geraten [3]. Für die USA liegen die entsprechenden Schätzungen bei rund 300 Strahlern pro Jahr [4]. Nur ein Teil dieser Quellen wird wiedergefunden, u. a. auch auf Schrottplätzen. Diese Zahlen lassen erahnen, dass die Aufsicht über radioaktives Material und Diebstahlschutz nicht allein ein Problem der Nachfolgestaaten der Sowjetunion oder von Entwicklungsländern ist, sondern auch hierzulande Handlungsbedarf besteht. Entsprechende europäische Initiativen, die u. a. in Deutschland im vergangenen Jahr zur Verabschiedung des Gesetzes zur Kontrolle hochradioaktiver Quellen und zur Einrichtung eines nationalen Registers für solche Quellen beim Bundesamt für Strahlenschutz geführt haben, sind daher sehr zu begrüßen.

**Fragestellungen des Forschungsprojekts**

Die relativ hohe Zahl verloren gegangener Strahlenquellen in Europa und

die sich verändernde terroristische Bedrohungslage motivierten das Forschungsprojekt, das wir kürzlich an der Universität Bremen durchgeführt haben. Wir fragten uns, wie es um die Sicherheit und den Diebstahlschutz von medizinischen und industriellen Strahlenquellen in Deutschland steht, einem Land mit einer vergleichsweise hochentwickelten Sicherheitskultur, einer umfassenden Gesetzgebung und funktionierenden Institutionen zur Überwachung und Durchsetzung der gesetzlichen Vorschriften. Gibt es in der täglichen Routine des Umgangs mit Strahlenquellen in Krankenhäu-

sern und Industrieunternehmen Schwachpunkte, die so offensichtlich sind, dass eine Personengruppe mit gewissem Bildungshintergrund und ausreichender krimineller Energie diese erkennen und ausnutzen könnte?

Des Weiteren interessierte uns, welchen Schaden Anschläge verursachen könnten, die unter Verwendung weitverbreiteter kommerzieller Strahlenquellen durchgeführt würden. Hinsichtlich der Konsequenzen, die ein Anschlag mit einer radiologischen Waffe in einer urbanen Umgebung hätte, herrscht in der veröffentlichten Literatur eine gewisse Uneinigkeit. Während eine viel zitierte Studie der Federation of American Scientists von 2002 [5] in ungünstigen Fällen die notwendige Evakuierung größerer Stadtgebiete prognostiziert, geht das Bundesamt für Strahlenschutz auf seiner Webseite [6] davon aus, dass „selbst in unmittelbarer Umgebung zum Freisetzungsort aus radiologischer Sicht keine Gesundheitsgefährdungen für große Teile der Bevölkerung“ zu erwarten seien. Diese Diskrepanzen zu klären war die Fragestellung im zweiten Teil unserer Studie.

## Verlust von 70 Strahlen- quellen pro Jahr

## Uneinigkeit über Konse- quenzen

### Sicherheit und Diebstahlschutz

Unsere Vorgehensweise bei der Untersuchung der Quellsicherheit bestand in der Analyse von Einrichtungen und Arbeitsabläufen an Orten, an denen Quellen verwendet werden, bzw. in Gesprächen mit Mitarbeitern, die die Quellen handhaben. Da es sich bei unserer Untersuchung nur um eine Initialstudie handelte, war die Zahl der von uns besuchten Krankenhäuser und Industrieunternehmen begrenzt. Auch waren nicht alle angefragten Unternehmen bereit, mit uns zu kooperieren. Dennoch ergab die Studie einige interessante Hinweise.

Bei den Strahlenquellen, die wir untersucht haben, handelt es sich um medizinische Quellen sowie Quellen aus der industriellen Radiographie. Diese sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Sowohl in Krankenhäusern als auch in Industrieunternehmen haben wir durchweg verantwortungsbewusste Mitarbeiter angetroffen, die hinsichtlich der gesetzlichen Regelungen umfassend informiert waren und diese auch gewissenhaft umsetzten. Jedoch stand in allen Fällen ein Sicherheitsbegriff im Vordergrund, der die Gefährdung von Menschen durch den unsachgemäßen Gebrauch bzw. die Vermeidung von Unfällen betraf. Die Gefährdung der Quellen selbst durch Diebstähle mit möglicherweise kriminellem oder terroristischem Hintergrund wurde nicht deutlich wahrgenommen und daher im täglichen Umgang nur unzureichend berücksichtigt.

Dementsprechend boten sich in einigen Fällen Möglichkeiten, am Ort des Quelleneinsatzes zunächst unbemerkt an Strahlenquellen heranzukommen. In seltenen Fällen erschien es theoretisch denkbar, Strahlenquellen einschließlich eines Transportbehälters zu entwenden, wenn auch unter der Voraussetzung, dass dieser Diebstahl schnell bemerkt werden würde. Die-

Isotop	Maximale Aktivität	Anwendung
<sup>60</sup> Co	370 TBq	Teletherapie-Geräte für die Tumorthherapie
<sup>137</sup> Cs	100 TBq	Blutbestrahlungsgeräte
<sup>192</sup> Ir	7,4 TBq	Industrielle Radiographie
<sup>75</sup> Se	3 TBq	Industrielle Radiographie
<sup>192</sup> Ir	370 GBq	Afterloading-Geräte für die Brachytherapie
<sup>131</sup> I	5,5 GBq	Kapseln für nuklearmedizinische Radiojodtherapie

**Tabelle 1: Auswahl der in der Studie untersuchten Strahlenquellen**

se Aussage bezieht sich vor allem auf Quellen mit geringerem radioaktiven Inventar.

In den Fällen, in denen große Quellen, etwa aus Bestrahlungs- und Radiographiegeräten ausgebaut werden müssen, um diese zu entwenden, stellt die Handhabbarkeit der Quellen beim Ausbau ein nur schwer zu überwindendes Hindernis dar. Dies gilt auch dann, wenn die Personen, die den Diebstahl durchführen, nur geringe oder gar keine Rücksicht auf die eigene Gesundheit nehmen würden. Zum Beispiel würde der unsachgemäße Ausbau einer typischen Quelle aus einem Teletherapiegerät innerhalb von Minuten zu so hohen Strahlungsdosen führen, dass noch während der Aufenthaltsdauer der Diebe im Behandlungsraum mit akuten Symptomen wie Übelkeit und Erbrechen zu rechnen wäre.

Als weiterer kritischer Punkt wurde die Diebstahlsicherheit von Strahlenquellen bei Transporten, z.B. vom Hersteller zum Kunden, identifiziert.

### Mögliche Konsequenzen eines Anschlags

Die Abschätzung der Konsequenzen einer explosiven Freisetzung von radioaktivem Material nahmen wir mit Hilfe des Simulationsprogramms Hotspot 2.06 vor, das vom amerikanischen nationalen Forschungslaboratorium Lawrence Livermore entwickelt wurde und offen zugänglich ist. Diesem Programm liegt ein einfaches Gauss-

Ausbreitungsmodell zugrunde. Die Eingabewerte bezüglich der Aerosolisierbarkeit des Quellenmaterials bestimmten wir anhand plausibler Annahmen über chemische und mechanische Eigenschaften der Stoffe. Diese Annahmen können im Nachhinein weitgehend bestätigt werden durch Angaben über Experimente von Harper et al. [7], die kürzlich veröffentlicht wurden. Ferner berücksichtigten wir die Ergebnisse der Sprengversuche der Gesellschaft für Reaktorsicherheit von 2003 [8].

Das unseren Untersuchungen zugrunde liegende einfache Ausbreitungsprogramm lässt detaillierte Betrachtungen der Windfelder in urbanen Umgebungen nicht zu. Aus diesem Grunde können die erhaltenen Ergebnisse nur grobe Abschätzungen sein, die mittels aufwändigerer Simulationen verbessert werden müssen. Wir beschränkten uns daher in unserer Studie der Auswirkungen eines Anschlags auf drei Einzelfragen:

- Sind in der Nähe des Freisetzungsorts für die betroffenen Menschen akute Strahlenschäden zu erwarten?
- Können Feuerwehr und Einsatzkräfte am Freisetzungsort ihre Arbeit tun und die Verletzten versorgen, ohne die gesetzlichen Dosisgrenzwerte zu überschreiten?
- Welche Flächen müssten gegebenenfalls nach einem Anschlag dekontaminiert werden, um eine zusätzliche Belastung durch Bodenstrahlung von 10 mSv pro Jahr zu unterschreiten?

## Kritischer Punkt Diebstahlsicherheit

## Simulationsergebnisse nicht publizieren

Quantitative Ergebnisse der Simulationen und die Beschreibung der zugrunde liegenden Input-Terme für die untersuchten radioaktiven Materialien und meteorologischen Bedingungen sollen aus naheliegenden Gründen nicht frei veröffentlicht werden. Jedoch lassen sich folgende grundlegenden Aussagen machen:

- In keinem der von uns betrachteten Szenarien mit Strahlenquellen, die in Deutschland Verwendung finden, wurden Dosiswerte erreicht, die zu akuten Strahlenschäden in der Nähe des Freisetzungsorts führten.
- Auch in den ungünstigen Szenarien, die größere, aber gebräuchliche Mengen leicht dispergierbaren Materials betrachteten, konnten Feuerwehrleute noch für mehrere Stunden in der Nähe des Freisetzungsorts tätig sein, ohne die für sie zulässigen Grenzwerte zu überschreiten.
- Allerdings führten die genannten, ungünstigen Szenarien zu Bodenkontaminationen, die eine großflächige Sanierung erforderlich machen würden. Mit dem oben genannten Referenzwert von 10 mSv pro Jahr, der auf den Empfehlungen in der ICRP-Publikation 82 [9] beruht, könnten die zu dekontaminierenden Flächen Größen von einigen Quadratkilometern erreichen. Dies ist, das sei nochmals betont, eine konservative Abschätzung für eine bestimmte Materialklasse, die darüber hinaus zu den hierzulande schwierig zu beschaffenden Materialien gehört. Die meisten Quellentypen, die wir betrachtet haben, führen zu kontaminierten Flächen von deutlich unter einem Quadratkilometer.

Bei weniger leicht dispergierbaren Materialien, die im Falle einer explosiven Freisetzung in größere Bruchstücke auseinander brechen, die weit fortgetragen werden können, besteht für die Bevölkerung sowie für Einsatzkräfte die zusätzliche Gefahr hoher Dosisleistungen in unmittelbarer Nähe des Fundorts dieser Bruchstücke. Bei solchen Materialien ist jedoch eine großflächige Bodenkontamination nicht zu erwarten.

## Fall einer explosiven Freisetzung

**Schlussbemerkungen**  
Anschläge mit radiologischen Waffen liegen im Bereich der Fähigkeiten sowohl lokaler Terrorgruppen als auch transnationaler Terrornetzwerke. Dies gilt sowohl für die Materialbeschaffung als auch für die Herstellung einer Waffe und die Durchführung eines Anschlags. Für die Materialbeschaffung und die Herstellung einer Waffe ist jedoch die Handhabung der Strahlenquelle ein gravierendes Hindernis. Quellen mit hohem radioaktivem Inventar lassen sich unsachgemäß nur unter größter Gefahr für die eigene Gesundheit handhaben. Diese Tatsache stellt für sich genommen schon eine wichtige Diebstahlsicherung für Strahlenquellen dar. Dennoch erscheinen auch in deutschen Krankenhäusern und Industrieunternehmen moderate Verbesserungen für den Diebstahlschutz wünschenswert. Dies könnte bei einer verbesserten Alarmsicherung von Lager- und Therapieräumen beginnen und sollte in jedem Fall eine Analyse der täglichen Arbeitsabläufe einschließlich der Raumreinigung beinhalten. Ähnliches gilt für den Transport von Strahlenquellen. Trotz der zum Teil inhärenten Diebstahlsicherung von großen Quellen durch ihre eigene hohe Radioaktivität können potenzielle Diebe (die möglicherweise die Gefahren der Quellenhandhabung nicht korrekt einschätzen) von vornherein durch kostengünstige, aber sichtbare Verbesserungen bei der

Sicherung entmutigt werden. In allen genannten Bereichen sollten dort, wo dies noch nicht geschieht, Medizinphysik-Experten bzw. Strahlenschutzfachleute unbedingt einbezogen werden. In diesem Zusammenhang erscheint uns ein Wechsel der Mentalität von Quellennutzern und Herstellern dringend zu empfehlen: Radioaktive Strahlenquellen sind nicht nur gefährlich, sie sind auch selbst gefährdet, nämlich durch kriminellen oder terroristischen Missbrauch.

Unsere Simulationen für die explosive Freisetzung und Ausbreitung von radioaktiven Stoffen ergaben, dass für in Deutschland gebräuchliche Strahler nicht mit akuten Strahlensymptomen für die von einem Anschlag betroffenen Menschen zu rechnen ist. Auch Feuerwehr und Rettungskräfte könnten nach einem Anschlag in der Nähe des Freisetzungsorts arbeiten. Dennoch könnten in ungünstigen Szenarien die ökonomischen Schäden durch notwendige Dekontamination von Flächen und Gebäuden erheblich sein. Diese Aussagen gelten allerdings, wie bereits erwähnt, nur für die Strahlenquellen, die wir untersucht haben. Großquellen, die im Ausland beschafft und ins Land eingeschmuggelt würden, könnten verheerende Auswirkungen zeitigen. ■

### STICHWORTE

Nuklearterrorismus, radiologische Waffen, Strahlenquellen

### LITERATUR

- [1] International Atomic Energy Agency (IAEA): Illicit Trafficking Database. 2004, [www.iaea.org/NewsCenter/Features/RadSources/PDF/itdb\\_31122004.pdf](http://www.iaea.org/NewsCenter/Features/RadSources/PDF/itdb_31122004.pdf).
- [2] Nuclear Threat Initiative (NTI): Nuclear Trafficking Database, Eintrag-Nr. 19952290. 1995, [www.nti.org/db/nistraff/1995/19952290.htm](http://www.nti.org/db/nistraff/1995/19952290.htm).
- [3] Commission of the European Communities: Proposal for a Council Directive on the Control of High Activity Sealed Radioactive Sources. COM(2002) 130 final, Brüssel 2002.

## Wechsel der Mentalität empfohlen

[4] International Atomic Energy Agency (IAEA): Inadequate Control of World's Radioactive Sources. IAEA Press Release 02/09, 2002.

[5] Levy, M. A./Kelly, H. C.: Weapons of Mass Disruption. Scientific American, November 2002, 76–81.

[6] Bundesamt für Strahlenschutz: Strahlenschutz bei der Verwendung von radioaktivem Material („Schmutzige Bombe“) in Verbindung mit konventionellem Sprengstoff. [www.bfs.de/ion/papiere/schmutzige\\_bombe.html](http://www.bfs.de/ion/papiere/schmutzige_bombe.html) (Zugriff 12. Mai 2006).

[7] Harper, F. T./Musolino, S. W./Wente, W.: Realistic Radiological Dispersal Device Hazard Boundaries and Ramifications for Early Consequence Management Decisions. International Journal of Risk Assessment Management, 2006 (im Druck).

[8] Thielen, H./Schrödl, E.: Sprengversuche zur Ermittlung der Abmessungen der Schadstoffwolke einer „Schmutzigen Bombe“. Beitrag auf der Konferenz Eurosafe 2004, Forum für nukleare Sicherheit, Berlin, 9. November 2004.

[9] International Commission on Radiation Protection (ICRP): Publication 82: Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure. Annals of the ICRP Vol. 29/1–2, 2000.

#### AUTOREN



#### Tom Bielefeld

Tom Bielefeld, M. Sc., geb. 1972; Studium der Physik an den Universitäten Bremen und Wales, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Landesmessstelle für Radioaktivität/Institut für Umweltphysik an der Universität Bremen, Sprecher der Arbeitsgruppe Technologieaspekte der Sicherheitspolitik am Bremer Institut für Technologie und Gesellschaft e. V.



#### Helmut W. Fischer

Dr. rer. nat. Helmut W. Fischer, geb. 1955; Studium der Physik an den Universitäten Konstanz und Bremen, Promotion an der Universität Bremen. Seit 2002 Leiter der Landesmessstelle für Radioaktivität an der Universität Bremen/Institut für Umweltphysik. Langjährige Tätigkeit als Medizinphysiker und Strahlenschutzbeauftragter.

#### ANSCHRIFT DER AUTOREN

Landesmessstelle für Radioaktivität  
Institut für Umweltphysik  
Universität Bremen  
Otto-Hahn-Allee 1  
D-28359 Bremen  
E-Mail: [biel@physik.uni-bremen.de](mailto:biel@physik.uni-bremen.de)  
[hfischer@physik.uni-bremen.de](mailto:hfischer@physik.uni-bremen.de)

38. Jahrestagung des FS vom 19. bis 22. September 2006 in Dresden

## Strahlenschutzaspekte bei natürlicher Radioaktivität

**Letzter Aufruf zur Teilnahme an dieser Tagung! – Nutzen Sie das vielseitige Angebot im Umfeld des wissenschaftlichen Teils**

Montag, 18. September 2006, Dorint-Hotel, 13.00 Uhr

#### **Fortbildungsveranstaltung**

zum Nachweis der Aktualisierung der Fachkunde

#### **Weiterbildungsveranstaltung**

„Geschichte und Geschichten zur natürlichen Radioaktivität“

Donnerstag, 21. September 2006, Dorint-Hotel, 15.30 Uhr

#### **Festveranstaltung zum 40-jährigen Bestehen des FS**

mit Grußbotschaften und Festvorträgen „Rückblick und Kooperationen“ (Hansheiri Brunner) und „Zukunft des Strahlenschutzes“ (Reiner Esser), anschließend 17.00 Uhr

#### **Mitgliederversammlung 2006**

mit Ernennung neuer FS-Ehrenmitglieder, Ehrung von verdienstvollen Mitgliedern mit Goldnadel und Ehrung der Mitglieder mit 25-jähriger FS-Zugehörigkeit mit Silbernadel, und ab 19.30

#### **Gesellschaftsabend**

**Sie werden doch sicher dabei sein wollen?**

Auch Gäste sind jederzeit willkommen! Details und Anmeldeformulare unter [www.fs-ev.de/jahrestagung](http://www.fs-ev.de/jahrestagung).

**Schriftleitung**

