

Plutoniumdetektion über Spaltneutronen Nachweis

Dr. Alfred Klett

Berthold Technologies GmbH & Co KG Bad Wildbad

TÜV Akademie Seminar München 24.6.2004

Gefahrenpotential nukleare Materialien

- ▶ Weltweite Verbreitung großer Mengen nuklearer Materialien
- ▶ zivile Anwendungen
 - ▶ Kernenergie
 - ▶ Nuklearmedizin
 - ▶ Forschung
 - ▶ Industrie
- ▶ militärische Anwendungen
 - ▶ Kernwaffen
- ▶ Aktuell erhöhtes Gefahrenpotential
 - ▶ Auflösung der ehemaligen Sowjetunion
 - ▶ Neuer Terrorismus

Bewegungen nuklearer Materialien

- ▶ IAEA begann 1993 mit der systematischen Erhebung von Informationen über Bewegungen nuklearer Materialien
- ▶ Seit 1995 existiert bei der IAEA die Illicit Trafficking Database (ITDB)
- ▶ Die ITDB wird von derzeit 75 Mitgliedstaaten unterstützt
- ▶ Bis Dezember 2003 wurden insgesamt 884 Ereignisse registriert und davon 540 durch Mitgliedstaaten bestätigt
- ▶ Man unterscheidet folgende Ereignis-Kategorien
 - ▶ Nukleares Material: HEU, Plutonium, LEU, Natururan, angereichertes Uran und Thorium (205 Fälle)
 - ▶ Radioaktive Materialien (335 Fälle)

IAEA Illicit Trafficking Database

- ▶ Registrierte Ereignisse mit nuklearen Materialien
 - ▶ 131 Natururan, angereichertes Uran oder Thorium
 - ▶ 63 niedrig angereichertes Uran
 - ▶ 10 hoch angereichertes Uran
 - ▶ 7 Plutonium
 - ▶ 3 unklar
- ▶ Registrierte Ereignisse mit radioaktiven Materialien
 - ▶ Vor allem Quellen oder Kontaminationen aus Industrie, Medizin, Forschung
 - ▶ Aktivitätsbereiche
 - ▶ 44% unter 1 GBq
 - ▶ 32% zwischen 1 – 10 GBq
 - ▶ 11% zwischen 10 – 100 GBq
 - ▶ 13% über 100 GBq

Vorfälle mit HEU oder mit Plutonium

- ▣ **Vilnius (24.5.1993)**: 150 g HEU (50%) in Beryllium Lieferung versteckt
- ▣ **St. Petersburg (März 1994)**: Person mit 2.972 kg gestohlenem HEU verhaftet
- ▣ **Tengen (5.10.1994)**: Polizei fand 6.2g hochreines (99.7%) metallisches waffenfähiges ²³⁹Pu
- ▣ **Landshut (13.6.1994)**: Geheimdienst trat als potentieller Kunde auf und fand 795mg HEU (87.7%)
- ▣ **München (25.7.1994)**: PuO₂-UO₂ Probe mit 0.24 g Plutonium beschlagnahmt
- ▣ **München Flughafen (10.8.1994)**: Mischung Plutonium und Uranoxide in Koffer am Münchner Flughafen entdeckt (560 g MOX und 363 g Pu)
- ▣ **Prag (14.12.1994)**: Anonyme Anzeige, 2.73 kg HEU (87.7%) in geparktem Fahrzeug gefunden
- ▣ **Moskau (Juni 1995)**: Person mit 1.7 kg gestohlenem HEU festgenommen
- ▣ **Prag (6.6.1995)**: Probe 0.415 g HEU beschlagnahmt
- ▣ **Ceske Budejovice, Tschechei (8.6.1995)**: Probe 16.9 g HEU beschlagnahmt

Vorfälle mit HEU oder mit Plutonium

- ▣ **Rousse, Bulgarien (29.5.1999)**: 10 g HEU bei Grenzübertritt an der russischen Grenze gefunden
- ▣ **Kara-Balta, Kirgistan (2.10.1999)**: Zwei Individuen versuchten 1.49 g Plutonium zu verkaufen
- ▣ **Batumi, Georgien (19.4.2000)**: 4 Personen mit 770 g HEU festgenommen
- ▣ **Tiflis Flughafen (16.9.2000)**: Nukleares Material mit 0.4 g Plutonium beschlagnahmt
- ▣ **Karlsruhe (Dezember 2000)**: Mischung radioaktiver Materialien mit 0.001 g Plutonium durch WAK-Mitarbeiter gestohlen
- ▣ **Asvestochori, Griechenland (28.1.2001)**: Fund von im Wald vergrabenen Metallplatten mit 3 g Plutonium
- ▣ **Paris (16.7.2001)**: Drei Personen mit 0.5 g HEU verhaftet

Plutonium

- ▶ Extrem gefährliches Transuran
 - ▶ Toxisch
 - ▶ Radioaktiv
 - ▶ Kernwaffenfähig
- ▶ Bis 1982 weltweit schätzungsweise etwa 300.000 kg produziert
- ▶ Man unterscheidet
 - ▶ Waffenfähiges Plutonium (²³⁹Pu hochrein 90%-95%)
 - ▶ Reaktor Plutonium (auch viele geradzahlige Isotope)
- ▶ Über Alpha-, Beta- oder Gamma- Emission nicht einfach nachweisbar
- ▶ Nachweis von Neutronen aus Spontanspaltung

Dr. A. Klett 24.6.2004

7

Spontanspaltung von Plutonium

Nuklid	Y_{SF} [Bq ⁻¹]	Y_{SFN} [Bq ⁻¹]	Q_N [g ⁻¹ s ⁻¹]
²³⁶ Pu	8.10×10^{-10}	1.81×10^{-10}	3560
²³⁸ Pu	1.84×10^{-9}	4.20×10^{-9}	2660
²⁴⁰ Pu	4.95×10^{-8}	1.09×10^{-7}	920
²⁴² Pu	5.50×10^{-6}	1.23×10^{-5}	1790
²⁴⁴ Pu	1.25×10^{-3}	2.85×10^{-3}	1870

Y_{SF} spontaneous fission yield, Y_{SFN} spontaneous fission neutron yield and Q_N neutron emission per unit mass

Dr. A. Klett 24.6.2004

8

Grundlagen Neutronendetektion

Kernreaktionen $n + {}^6\text{Li} \rightarrow \alpha + {}^3\text{H}$

$n + {}^{10}\text{B} \rightarrow \alpha + {}^7\text{Li}$

$n + {}^3\text{He} \rightarrow p + {}^3\text{H}$

$n + p \rightarrow n + p$

(Rückstoßprotonen)

Moderation "Abbremsen" von Neutronen in Material mit leichten Kernen (H_2O , Polyethylen, Graphit, schweres Wasser)

Grundlagen Neutronendetektion

- ▶ Typischerweise mit Detektor für thermische Neutronen (${}^3\text{He}$ -, BF_3 oder LiI -Szintillator)
- ▶ Der Detektor für thermische Neutronen ist umgeben von einem geeigneten Moderator
- ▶ Fast alle Geräte dienen zur Dosisleistungsmessung und sind wegen starker Filterung nicht maximal empfindlich
- ▶ Spezielle hochempfindliche Geräte zur Spaltneutronendetektion erforderlich

Illicit Trafficking Radiation Detection Assessment Program ITRAP

- ▶ Durchgeführt von 1997 - 2000
am Austrian Research Center Seibersdorf (ARCS)
- ▶ In Kooperation mit
 - ▶ International Atomic Energy Agency IAEA
 - ▶ World Custom Organization WCO
 - ▶ INTERPOL
- ▶ Test für pockets, handhelds und stationäre Systeme für Gamma und/oder Neutronennachweis
- ▶ Ausserdem: Nuklid Identifier

Plutonium-Monitor LB 6414



Hochempfindliche Sonde zum
Aufspüren von Neutronen-Emittern

- Tragbares batteriebetriebenes Messgerät
- Anzeige in cps
- Optimierte für Spaltneutronen
- Extreme hohe Empfindlichkeit
- Nachweisgrenze:
20g Reaktor-Plutonium
(in 5 Sekunden bei 1 m Abstand)
- Gewicht < 4 kg

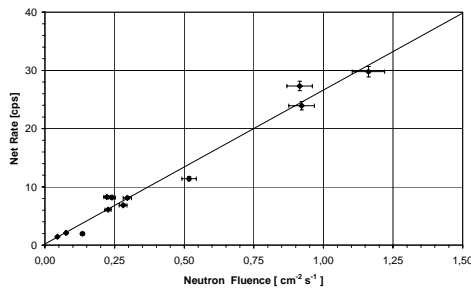
Kalibrierung mit Plutonium

- Bei EURATOM in Karlsruhe
- 12 Plutonium Proben (Oxid-Form und metallisch) mit bekannter Masse und Isotopen-Zusammensetzung
- Messungen im Abstand 1 m
- Es wurde ein Fluenz-Response für Spaltneutronen von 26.4 cm^2 ermittelt
- Berechnung von Nachweisgrenzen als Funktion des Abstands für
 - schmutziges Plutonium
 - waffenfähiges Plutonium

Dr. A. Klett 24.6.2004

13

Kalibrierung LB 6414 mit Plutonium

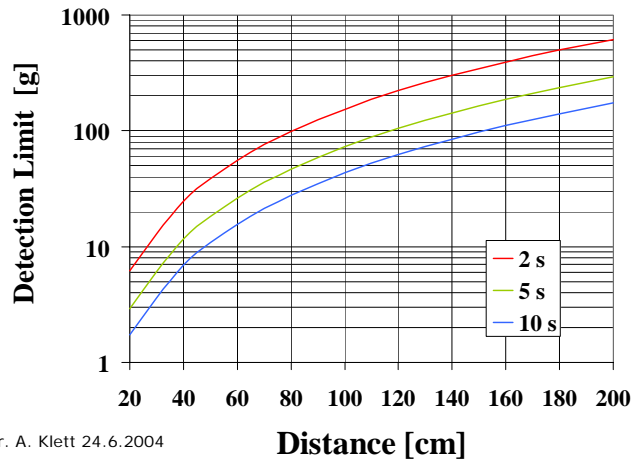


- Plutonium Proben mit Massen zwischen 100 g und 1 kg
- Abstand 1 m
- Ansprechvermögen ist fast zwei Größenordnungen höher als bei typischen Rem-Countern

Dr. A. Klett 24.6.2004

14

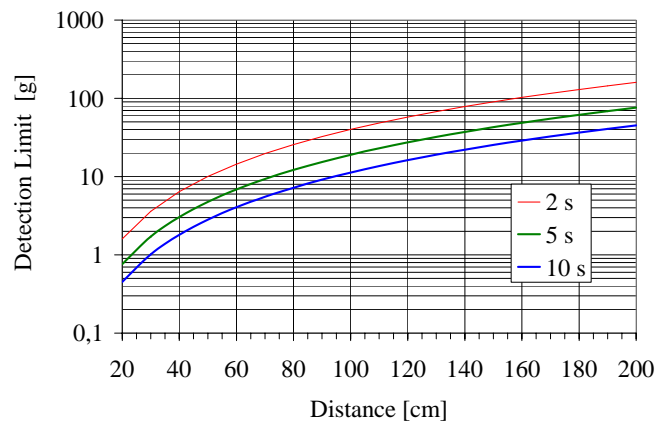
Nachweisgrenze für Waffenfähiges Plutonium



Dr. A. Klett 24.6.2004

15

Nachweisgrenzen für Reaktor Plutonium



Dr. A. Klett 24.6.2004

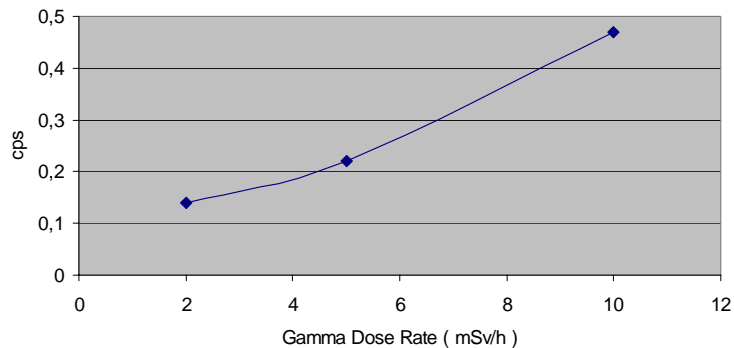
16

Intrinsischer Nulleffekt

- ▶ Messungen Prof. Dr. Siegfried Niese und Dr. Klett im Juni 2002 im Felsenkeller VKTA/Dresden
- ▶ Untergrund Labor in 47m Tiefe
- ▶ Neutronenfluss $\phi_n < 2 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- ▶ Gemessene Zählrate 0.006 cps

Gamma Response LB 6414

Gamma Response Berthold Neutron Survey Meter LB 6414



Technische Daten LB 6414

Neutronendetektor	^3He Proportional-Zählrohr
Moderator	Polyäthylen
Elektronik	Integrierter Vorverstärker mit Diskriminator und HV-Teil
Abmessungen	310mm × 180mm × 130mm
Gewicht	3850g
Fluenz-Response	26.4 cm ² (auf Spaltneutronen)
Neutronenenergiebereich	optimiert für 10 bis 1000 keV
Typischer Nulleffekt	0.06 cps (bei ca. 8 nSv/h)

Technische Daten LB 6414

Intrinsischer Nulleffekt	< 0.006 cps ($\phi_n < 2 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
Datenaufnahme	UMo LB1230
Display	32 × 64 dot matrix display
Schnittstelle	RS232 optisch
Alarm	Akustisch, einstellbare Alarmschwellen
Spannungsversorgung	Batterien oder Akkus
Max. Betriebsdauer	> 150 h
Temperaturbereich	-15°C to 50°C

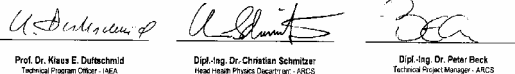
Zertifikat Illicit Trafficking Radiation Detection Assessment Programm ITRAP



This document certifies that the Neutron Survey Meter LB6414 hand held instrument developed and produced by Berthold, Bad Wildbad, Germany, was tested during the Illicit Trafficking Radiation Detection Assessment Program (ITRAP) conducted by the Austrian Research Centers Seibersdorf (ARCS) in co-operation with the International Atomic Energy Agency (IAEA), the World Customs Organization (WCO) and the International Criminal Police Organization (INTERPOL), between September 1997 and June 2000. The test procedures were performed in accordance with the ITRAP minimum requirements laid down in the IAEA Technical Manual on Detection of Radioactive Material at Borders.

This instrument has met or exceeded all ITRAP minimum requirements for searching and detection of radioactive material concerning neutron radiation as set forth in the IAEA Technical Manual on Detection of Radioactive Material at Borders.

Austrian Research Centers, Seibersdorf, AUSTRIA
July 7, 2000



Prof. Dr. Klaus E. Dufschmid
Technical Program Officer - IAEA

Dipl.-Ing. Dr. Christian Schmitzer
Head Insein Physics Department - ARCS

Dipl.-Ing. Dr. Peter Beck
Technical Project Manager - ARCS

Dr. A. Klett

21

Zusammenfassung

- ▶ Neutronenmessung ist hervorragend geeignet zum raschen Aufspüren makroskopischer Mengen Plutonium auch auf Distanz
- ▶ Kompakte unauffällige und effektive Abschirmung von Neutronen ist fast unmöglich
- ▶ Im Unterschied zu einer Gamma-Messung ist ein erhöhter Neutronenpegel immer eine Indikation von gefährlichen nuklearen Materialien
- ▶ Neben Plutonium können auch Cf-252, Cm-244 und andere Neutronenemitter gefunden werden
- ▶ Starke Alpha-Strahler erzeugen über α -n Reaktionen ebenfalls Neutronen und können deshalb auch detektiert werden
- ▶ Auch größere Kontaminationen sind detektierbar
- ▶ Abschätzung von Plutonium-Massen ist möglich

Dr. A. Klett 24.6.2004

22



Literatur

- [1] International Atomic Energy Agency, IAEA Illicit Trafficking Database (ITDB), <http://www.iaea.org> Vienna 2004
- [2] Austrian Research Center, ITRAP Illicit Trafficking Detection Assessment Program, Final Report, OEFZS-G-0002, Seibersdorf, 2000
- [3] The International Commission on Radiological Protection, Radionuclide Transformations Energy and Intensity of Emissions ICRP Publication 38, Annals of the ICRP, Volume 11-13, 1983
- [4] C.M. Lederer and V.S. Shirley, Table of Isotopes, John Wiley New York, 7th edition 1979
- [5] Neutron Survey Meter LB 6414, Produktprospekt Berthold Technologies GmbH & Co. KG, Bad Wildbad
- [6] Alfred Klett, Plutonium Detection With A New Fission Neutron Survey Meter, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 46, No. 4, pp. 877-879, Aug. 1999