

**Zeitschrift:** Schweizer Soldat + MFD : unabhängige Monatszeitschrift für Armee und Kader mit MFD-Zeitung

**Herausgeber:** Verlagsgenossenschaft Schweizer Soldat

**Band:** 70 (1995)

**Heft:** 11

**Artikel:** Plutonium : der Stoff, aus dem die (Alp-)Träume sind

**Autor:** Keller, M. / Anet, B.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-715758>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 06.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# PLUTONIUM – Der Stoff, aus dem die (Alp-)Träume sind (Erster Teil)

Von M Keller und B Anet, AC-Laboratorium Spiez



Die in letzter Zeit immer wieder durch die Medien verbreiteten, sensationell aufgemachten, volksverunsichernden Meldungen über Funde von «hochgiftigem» und «hochradioaktivem» Plutonium und die damit verbundenen Gefahren lassen es am Platz erscheinen, Hintergrundinformation zu diesem Problembereich zu vermitteln. Der «Schweizer Soldat» veröffentlicht in einem ersten Teil die Fragen technischer, physikalischer und medizinischer Natur. In einem nächsten Heft werden die Fragen der Kernwaffentechnik und der nuklearen Proliferation behandelt.

## Fragen technischer und physikalischer Natur

### Was ist eigentlich Plutonium?

Die ersten drei chemischen Elemente mit Ordnungszahlen grösser als 91 (Protactinium), deren Atomkern also mehr als 91 Protonen enthält, sind nach den äussersten Planeten des Sonnensystems benannt, und zwar in der Reihenfolge ihres Sonnenabstandes: **Uranus**, **Neptun** und **Pluto** waren für die Namergebung von Uran, Neptunium und Plutonium verantwortlich. Pluto seinerseits ist in der griechischen Mythologie der Herrscher der Unterwelt. Das allein vermag bei vielen Leuten schon Assoziationen zu etwas Schrecklichem und Unheimlichem zu wecken.

Dabei ist Plutonium (Pu), 1940 vom amerikanischen Forscher Seaborg und seinen Mitarbeitern entdeckt, zunächst einmal ganz einfach das chemische Element Nummer 94, ein **Schwermetall**, das sich chemisch im menschlichen Körper ähnlich wie Blei oder Quecksilber verhält und damit als chemisch toxisch bzw. **giftig** bezeichnet werden muss. Das silbrig-glänzende Plutonium-Metall hat bei Raumtemperatur eine Dichte von ca 20 g/cm<sup>3</sup>, ist damit rund zwanzigmal so schwer wie Wasser.

**Plutonium** besitzt kein stabiles Isotop\*, ist also **in allen seinen Erscheinungsformen radioaktiv**. Das heisst, dass sich alles Plutonium ganz von selbst im Verlauf der Zeit in Isotope anderer Elemente verwandelt. Diese Umwandlung geht langsam vor sich; beim Hauptvertreter, dem Pu-239 beträgt die sogenannte **Halbwertszeit** 24 000 Jahre, so lange dauert es, bis die Hälfte der vorhandenen Kerne sich umgewandelt hat. Nach weiteren 24 000 Jahren ist nur noch ein Viertel der ursprünglich vorhandenen Menge da usw. In den meisten Fällen geschieht die Umwandlung unter Ausstrahlung eines zweifach elektrisch geladenen Heliumkerns, auch Alpha-Teilchen genannt. Die meisten Plutonium-Isotope haben zudem die Tendenz, sich spontan, ohne äusseren Einfluss zu spalten. Eine Spaltung kann auch durch Neutronen ausgelöst werden. Die bei diesen Spaltungen entstehenden Kernbruchstücke sind wiederum radioaktiv, und der Spaltvorgang ist mit dem Auftreten von Gammastrahlung und der Emission von weiteren Neutronen verbunden.

Sind nun genügend andere Plutoniumkerne in der Nähe, die sogenannte **«kritische Masse»** beieinander, so können diese Spalt-Neu-

tronen weitere Kerne spalten, wobei wieder Neutronen ausgesandt werden, welche wieder Kerne spalten usw. Diese Möglichkeit einer selbsterhaltenden Kettenreaktion macht Plutonium als Reaktorbrennstoff und in noch vermehrter Masse als **Ausgangsmaterial für Atombomben** attraktiv.

### Wie entsteht Plutonium; wie wird Plutonium hergestellt?

Plutonium-239 entsteht, wenn ein Kern des Uranisotops-238\*\* ein Neutron einfängt. Dies ergibt zunächst einen U-239-Kern, welcher rasch über einen Zwischenschritt zu Pu-239 zerfällt. In grossem Stil geschieht solches in Kernanlagen, in welchen Urankerne mit Neutronen beschossen werden oder, vornehmer ausgedrückt, einem intensiven Neutronenfluss ausgesetzt sind. Diese Kernanlagen nennt man **Kernkraftwerke**, wenn dabei die Energieproduktion das primäre Ziel ist und das täglich in Gramm-Mengen entstehende Plutonium (auch in Schweizer Kernkraftwerken!) als **«Abfallprodukt»** betrachtet wird. Die Anlage wird **Plutoniumfabrik** genannt, wenn das hauptsächliche Ziel die Plutoniumproduktion zu militärischen Zwecken ist und die dabei anfallende Energie eine Nebenerschei-

nung darstellt. Die Unterschiede sind graduell.

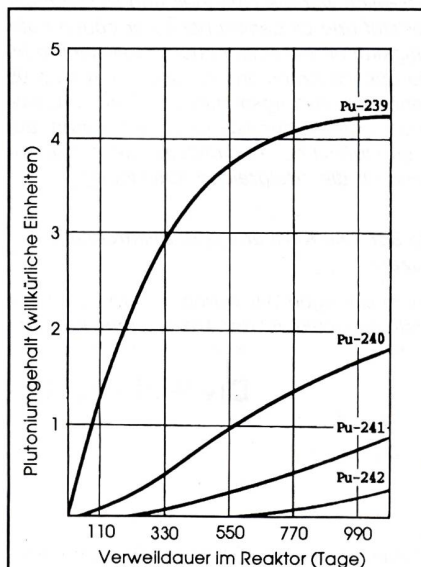
Je nachdem nun, wie lange das in den Brennstäben enthaltene Uran (üblicherweise etwa 96,5% U-238 und 3,5% U-235) im Kernreaktor mit Neutronen beschossen wird und je nach Dichte des Neutronenflusses bilden sich unterschiedliche Mengen von **Plutonium-239** und von diesem Pu-239 aus durch Anlagerung von weiteren Neutronen die höheren Plutonium-Isotope **Pu-240**, **Pu-241** usw. Das Ganze wird kompliziert durch die Tatsache, dass das Pu-239 von den Neutronen auch gespalten werden kann, so dass gegen Ende der normalen Verweilzeit eines Brennstabs im Reaktor etwa gleichviel Pu-239 durch diese Prozesse zum Verschwinden gebracht wird wie durch Neutronenanlagerung am U-238 neu entsteht. Der Pu-239-Gehalt bleibt dann fast konstant, der Gehalt an höheren Plutonium-Isotopen nimmt noch immer zu (**Figur 1**).

Nebenbei gesagt ist hiermit ein Weg skizziert, wie man das Plutonium wieder loswerden könnte, nämlich durch **«Verbrennen»** in einem Reaktor in sogenannten **Mixed-Oxide-Brennstäben (MOX)**, in denen ein Gemisch von Uran-235 und Plutonium als spaltbares Material **dient**. Das Problem dabei ist, eine über alles gesehene negative Bilanz zu erreichen, d h mehr **«altes»** Plutonium zu spalten, als neues zu erzeugen. Im **KKW Beznau** wird zurzeit solcher MOX-Brennstoff im Sinne eines internationalen Versuchs eingesetzt. Noch eine Nebenbemerkung: Eine ausgeglichene oder leicht positive Spaltmaterial-Bilanz ist Kennzeichen des sog. **«Brutreaktors»** (zB Creys-Malville), der laufend Energie produziert, sich dabei seinen Brennstoff ebenso laufend wieder **«erbrütet»** und damit dem **Traum von der unerschöpflichen Energiequelle** nahekommt.

Als Summe aller dieser menschlichen Aktivitäten mit zivilem und militärischem Hintergrund resultiert, dass heute weltweit etwa **tausend Tonnen** Plutonium vorhanden sind. Dies entspräche einem Plutonium-Würfel mit einer Kantenlänge von etwa vier Metern; vom Volumen her ist das gar nicht so schrecklich viel. Für die Herstellung einer Atombombe braucht es allerdings, wie wir später sehen, bloss ein **«Würfelchen»** von 6 bis 8 cm Kantenlänge.

### Plutonium ein künstliches Element?

Auch wenn kein stabiles Plutonium-Isotop existiert, kann man Plutonium trotzdem nicht als erstes vom Menschen geschaffenes Element bezeichnen.



**Figur 1.** Gehalt der verschiedenen Pu-Isotope in Abhängigkeit der Verweildauer im (Leichtwasser)-Reaktor. (Nach "Scientific American" Juni 1977).

\*) Mit **«Isotope»** werden diejenigen Erscheinungsformen eines Elements bezeichnet, die zwar gleiche chemische Eigenschaften aufweisen, deren Kerne also immer gleichviele Protonen besitzen, die aber aufgrund unterschiedlicher Neutronenzahl andere Massenzahlen und damit oft auch andere kernphysikalische Eigenschaften haben.

\*\*\*) Natururan (U) besteht zu 99,3% aus dem schwer spaltbaren Isotop U-238 und zu ca 0,7% aus dem leichter spaltbaren Isotop U-235.

**Die Natur kann das seit eh und je!** Zwei Beispiele dazu:

In den **Supernovae-Explosionen**, die uns nach gängigen Vorstellungen alle schweren Elemente des Universums beschert haben, entstand Plutonium, das jedoch zwischenzeitlich wegen seiner geologisch gesehen «kurzen» Halbwertszeit wieder verschwunden ist.

In den **Uranlagerstätten** von Oklo in Gabun (Afrika) war vor zwei Milliarden Jahren die Urkonzentration, insbesondere der Gehalt am spaltbaren U-235 so hoch, dass Kettenreaktionen stattfinden konnten, und zwar in so grosser Zahl, dass man mit Fug und Recht von **fossilen Kernreaktoren** sprechen darf. Dabei wurde auf dem oben gezeigten Weg auch Plutonium erzeugt. Diese Vorgänge lassen sich aus der Analyse des Uranerzes in diesen Lagerstätten rekonstruieren.

### Identifikation von Plutonium?

Die grosse Frage bei den in letzter Zeit in Deutschland oder auch anderswo aufgetauchten Plutonium-«Müsterchen» ist: **Woher kommt das Zeug?** Fachleute kommen offenbar zum Schluss: «Tomsk-7». Wie kann man da so sicher sein, Plutonium ist doch Plutonium? Schon, aber:

Plutonium entsteht, wie erwähnt, in Reaktor-brennstäben, und von dort muss es in **Aufbereitungsanlagen** aus den hochradioaktiven (hier ist dieser mediengängige Begriff für einmal am Platz) Stäben wieder rausgeholt werden. Das geht etwa so:

Zuerst werden die recht soliden Brennstabumhüllungen aufgetrennt, dann die Füllung in Säure aufgelöst, anschliessend folgt eine Reihe von chemischen Prozessen, Reduktionen, Fällungen, Oxydationen usw, bis das Plutonium vom Rest abgetrennt ist. Die Isotopenzusammensetzung dieses Plutoniums sagt bloss, wieviel Kernenergie der ursprüngliche Brennstab produziert hat, wie lange er also im Reaktor drin war und vielleicht noch, um welchen Reaktortyp es sich gehandelt hat, aber **nicht, wo dieser Reaktor stand!**

Der springende Punkt ist nun der, dass das Plutonium **nie zu 100% rein** gewonnen werden kann, sondern zu vielleicht 99,7% oder 99,9%. Die verschiedenen Prozesse, die in den verschiedenen Aufbereitungsanlagen leicht unterschiedlich ablaufen, hinterlassen Spuren. Die Analyse der Zusammensetzung des kleinen «Nicht-Plutonium»-Anteils, die Auflistung der darin enthaltenen Elemente und Verbindungen, die Verhältniszahlen von Elementen untereinander usw, liefern einen «Fingerabdruck» der Wiederaufbereitungsanlage.

Solche Wiederaufbereitungsanlagen, zumindest die zivilen, mit ihren «Fingerabdrücken» sind heute weitgehend bekannt. Woher das «Schmuggler»-Plutonium nun tatsächlich stammt, aus dem ehemaligen sowjetischen Atomwaffenkomplex oder von anderswo, ist somit eine für Experten beantwortbare Frage.

## Fragen medizinischer Natur

### Das «hochgiftige» Plutonium?

Das Schwermetall Plutonium ist, wie schon erwähnt, giftig, wie Blei und Quecksilber auch. Allein deswegen müsste man eigentlich kein grosses Aufhebens machen. Der Grund dafür, dass man dem Plutonium grossen Respekt entgegenbringen muss, liegt in der spe-

ziellen Wirkung der davon ausgehenden Strahlung, also seiner **Radiotoxizität**, der gegenüber die chemische Giftigkeit in den Hintergrund gedrängt wird.

### Das «hochradioaktive» Plutonium?

Beim Zerfall wandelt sich der Plutoniumkern durch Emission eines **Alpha-Teilchens** um und wird dadurch zu einem Kern des Uranisotops U-235. In einem Pu-Partikelchen von einem Millionstel-Gramm findet dieser Prozess etwa 2000mal pro Sekunde statt. Die elektrisch geladenen und mit hoher Geschwindigkeit ausgestossenen Alpha-Partikel treten allerdings mit ihrer Umgebung in starke Wechselwirkung, geben ihre Energie an die Umgebung ab und werden dadurch sehr rasch abgebremst. So hat diese Strahlungsart in Luft nur eine **Reichweite von einigen Zentimetern**. Schon eine dünne Luftschicht schützt uns also wirksam vor einer **externen Bestrahlung**. Ein leicht hinkender Vergleich: Die Pu-«Kanone» verschießt pro Millionstel-Gramm 2000 Schuss pro Sekunde, die «Mündungsgeschwindigkeit» der Geschosse beträgt einige Kilometer pro Sekunde und die «Reichweite» einige Zentimeter!

Bei einem Millionstel-Gramm Caesium-137 sind es pro Sekunde 3000000 «Schuss» einer durchdringenden Strahlungsart und bei einem Millionstel-Gramm Iod-131 gar 400000000. Ob die Bezeichnung «hochradioaktiv» bei Plutonium am Platz ist, möge der Leser selber beurteilen.

Plutonium ist aber trotzdem **nicht harmlos**, denn die Reichweite der Strahlung allein ist noch kein Mass für die Beurteilung ihrer Wirkung, beispielsweise im menschlichen Körper. Zudem werden beim Zerfall noch andere Strahlungsarten emittiert, wie wir gesehen haben, und auch die spontane Spaltung des Pu-Kerns ist von Strahlung begleitet.

### Gesundheitsgefährdung durch Plutonium?

Die **von aussen** auf den Menschen einwirkende Plutonium-Strahlung ist kein grosses Problem. Wenn sie überhaupt so weit kommt, wird die Alpha-Strahlung schon in den obersten Hautschichten ohne weitere Folgen absorbiert. **Anders** sieht die Sache aus, wenn Plutonium inkorporiert wird, also auf irgendeine Art in den Körper gelangt, sei es mit der Atemluft oder mit der Aufnahme von Getränken und/oder Lebensmitteln. Der Mechanismus der raschen Energieabgabe, der uns vor einer externen Bestrahlung schützt, wirkt nun im Körper drin schädigend: Die **Zellen in unmittelbarer Umgebung** des strahlenden **Plutoniumteilchens** sind von der Wechselwirkung mit dem Alpha-Teilchen betroffen, werden von der aufgenommenen Energie geschädigt, sterben ab oder werden möglicherweise zu unkontrolliertem Wachstum und damit zur Tumorbildung angeregt. Die Lunge ist zunächst das kritische Organ, später die Knochenhaut. Plakativ lässt sich die Gefährdung für die Gesundheit etwa so beschreiben: Plutonium ist **ausserhalb** des Körpers auch in grösseren Mengen, Gramm oder so, ein relativ **kleines Problem**; Plutonium in winzigen Mengen, **Tausendstel-Gramm** oder noch weniger, im menschlichen **Körper** drin, ist jedoch ein **grosses Problem**.

**Theoretisch**, ausdrücklich wiederholt theoretisch, nämlich durch Verabreichen von Einzelportionen von je etwa einem Tausendstel-Gramm, könnte man also schon mit einem

Gramm Plutonium sehr viele Menschen kontaminieren, populär gesagt «**vergiften**», in dem Sinn, dass der gesetzlich festgelegte Wert für die tolerierbare Menge von Plutonium im Körper bei diesen Personen so massiv überschritten würde, dass bei diesen Menschen nun auch gesundheitliche Probleme entstehen. Das heisst aber nicht, dass diese Leute tot umfallen, wie dies bei einer Überdosis von Gift der Fall wäre, sondern es bedeutet, dass die so kontaminierten Personen höchstwahrscheinlich in der näheren Zukunft an einem (bösartigen) Tumor erkranken werden.

Die Bezeichnung «**hochgiftig**» lässt sich also nur bezüglich der **Menge** rechtfertigen, die für die Wirkung erforderlich ist, der **Mechanismus** der Schädigung ist jedoch **ein völlig anderer**. Gift hemmt oder blockiert Körperfunktionen, und zwar sofort; Plutonium schädigt (bei diesen winzigen Mengen) durch Strahlung, die Wirkung ist nicht unmittelbar.

### Bedrohung durch vagabundierendes Plutonium?

Das Schwarzmarktplutonium bedroht uns in mehrfacher Hinsicht. Zunächst stellt Plutonium wie bemerkt eine Riesengefahr dar, wenn es inkorporiert wird. Das vagabundierende Plutonium ist also einmal dann eine Gefahr, wenn es aus **Unkenntnis** oder **Leichtsinn** nicht sachgemäss gehandhabt wird. In der Praxis sollte man davon ausgehen können, dass die Plutonium-Schmuggler auch um die Gefahr wissen und aus reinem Selbsterhaltungstrieb und Eigenliebe ihre Ware sorgfältig verpacken. Tun sie das nicht, so gefährden sie in erster Linie sich selber und in zweiter Linie Unbeteiligte in ihrer näheren Umgebung.

Im weiteren, und darin besteht der **Alptraum**, könnte dieses Plutonium, in Erpressungs- und/oder Sabotageszenarien oder gar als Nuklearsprengkörper eingesetzt, die Gesundheit und das Leben von Tausenden von Unbeteiligten bedrohen. Die Trivalliteratur hat einige solche Horrorszenarien vorweggenommen, z B Larry Collins mit «*The fifth horseman...*» und Tom Clancy; «*The sum of all fears*». ☒



**“Jederzeit ist Berghilfezeit!”**

**Schweizer Berghilfe**  
Verlangen Sie unseren Einzahlungsschein  
Telefon 01/710 88 33