

Hintergrundinformationen zu ausgewählten Themen zum nuklearen Störfall in Japan

Nr. 031
(31.03.2011, 16:16 Uhr)

Plutoniumkontamination beim japanischen Kernkraftwerk Fukushima I (KIT, FZJ, HZDR)

Die beim Kernkraftwerk Fukushima I im Boden gefundene Konzentration von Pu^{239/240} (Pressemitteilung TEPCO vom 28.3.2011) liegt in der Größenordnung der Mengen, die über Fall-out aus den Kernwaffenversuchen in den 1950er und 1960er Jahren weltweit beobachtet wurden. Aus dem Isotopenverhältnis Pu-238 zu Pu-239/240 kann aber klar gesehen werden, dass es sich nicht um Plutonium aus dem Fall-out handelt (hier müsste anteilig deutlich mehr Pu-239 gefunden werden), sondern dass es aus bestrahlten Kernbrennstäben stammt. Ein Austrag aus dem Reaktor könnte bei einer Druckentlastung des Reaktorkerns, die teilweise von Wasserstoffexplosionen begleitet waren, erfolgt sein. Wahrscheinlicher ist aber, dass es aus den zeitweise brennenden Brennstäben in den Abklingbecken stammt. Voraussetzung ist in beiden Fällen, dass die Hülle der Brennelemente beschädigt ist. Unwahrscheinlich ist, dass ein Austrag über den Wasserpfad erfolgte. In diesem Fall müssten hier neben Plutonium deutlich größere Konzentrationen von Jod und Cäsium in den untersuchten Proben gefunden werden. Über den Luftpfad werden zwar auch Jod und Cäsium ausgetragen, sie werden jedoch deutlich weiter transportiert und werden nicht so schnell niedergeschlagen wie Plutonium.

Zur Radionuklidfreisetzung aus den Brennstäben:

Die Freisetzung von Radionukliden aus defekten/zerstörten Brennstäben, bei denen die Zircalloy-Hülle nicht mehr oder nicht mehr vollständig vorhanden ist, kann prinzipiell auf mehrere Arten erfolgen:

a) Freisetzung über den Luftpfad

Kleinste Brennstoffpartikel können sich aus dem Verband des keramischen Materials lösen und bei Verbrennungs- oder Verpuffungsreaktionen mit Rauch oder Dampf mitgerissen werden. Solche Partikel sedimentieren rasch wieder und werden in der Nähe der Quelle wieder niedergeschlagen. Ein solcher Vorgang ist vermutlich für die gemessenen Plutoniumspuren in Fukushima verantwortlich.

a) Instantane Freisetzung bei Kontakt mit Wasser:

Dies betrifft vor allem die leicht mobilisierbaren Radionuklide, wie die Spaltgase und Jod und Cäsium, die sich teilweise in Spalten und Hohlräumen der Brennstäbe ansammeln. Bei einem Defekt der Hüllen können sie freigesetzt werden. Dies wird für leichter flüchtige Radionuklide, wie z.B. Jod und Cäsium bei hohen Temperaturen noch begünstigt. Die instantane Freisetzung hängt auch vom Abbrand ab, so wird sie in wässrigen Lösungen für Jod und Cäsium bei einem Abbrand von 41 GWd/t HM zu etwa 1% des Inventars geschätzt, bei 75 GWd/THM wären es bereits 8% [1]. Plutonium wird auf diese Art praktisch nicht freigesetzt.

b) Matrixauflösung/-korrosion/-auslaugung im Kontakt mit Wasser:

Die Auflösung der Brennstoffmatrix erfolgt im Wesentlichen durch die Oxidation des vierwertigen Urans im Urandioxid (Hauptbestandteil des Brennstoffs) zum sechswertigen, das besser löslich ist. Mit der Auflösung der Brennstoffmatrix erfolgt dann auch eine Freisetzung an anderen Radionukliden einschließlich des Plutoniums.

Generell ist Plutonium in Wässern (Oberflächen- und Grundwässern) recht wenig mobil. Insbesondere in sauerstoffarmen Grundwässern wird es stark an Oberflächen sorbiert und besitzt eine sehr niedrige Löslichkeit. Allerdings kann es an natürliche Nanopartikel (Kolloide) binden und so mit dem Wasser verteilt werden.

Allgemeines zur Toxizität des Plutoniums

Radioaktive Stoffe wie Plutonium besitzen eine chemisch/biologisch Toxizität und sind darüber hinaus aufgrund der von ihnen ausgehenden Strahlung giftig (Radiotoxizität). Plutonium weist bei Aufnahme in den Magen-Darm Trakt eine chemische Toxizität auf, die geringer ist als diejenige von Arsen oder von Zyaniden bzw. vergleichbar ist mit der Toxizität von Koffein [2]. Der weitaus größte Teil des Plutoniums wird hier wieder ausgeschieden. Schwere Schäden entstehen bei Aufnahme von Mengen im Grammbereich (Mallinckrodt Baker Material Safety Data Sheet: Letale Dosis bei Ratten 192 mg/kg). Demgegenüber wirkt Plutonium radiotoxisch durch die direkte Einwirkung der Alpha-Strahlung auf Körperzellen. Dies gilt insbesondere bei Inhalation plutoniumhaltiger Partikel in die Lunge oder bei Aufnahme in die Blutbahn als Folge von Verletzungen. Während bei chemisch-toxischen Stoffen die Dosisangaben in Masseneinheiten (mg/kg) angegeben wird, verwendet man bei radiotoxischen Stoffen die Dosis in Einheiten der vom Gewebe absorbierten Strahlung in Gy oder Sv. So führt die akkumulierte Strahlendosis von 0.05 Gy bei Hunden zum Entstehen von Knochenkrebs (Osteosarkom) [3] pp 163. Diese Strahlendosis wird von ca. 1 µg ²³⁹Pu/kg Körpergewicht verursacht.

- [1] C. Ferry, *et al.*, "Radionuclides release from the spent fuel under disposal conditions: Re-Evaluation of the Instant Release Fraction," in *Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXI*, Sheffield, UK, 2007.
- [2] B. L. Cohen, "The myth of plutonium toxicity," in *Nuclear energy: a sensible alternative*, K. O. Ott and B. I. Spinrad, Eds., ed: Plenum Press 1985, pp. 355-365.
- [3] W. Koelzer, "Plutonium," Forschungszentrum, Karlsruhe KfK 4516, 1989.