

Dosis und ihre Folgen, Strahlenunfälle

4. Teil

Kritikalitätsunfall in Tokaimura, Japan [12]

In der Uranverarbeitungsanlage der JCO in Tokaimura, Japan ereignete sich am 30. September 1999, 10.35 Ortszeit, ein Kritikalitätsunfall.



Bild 21: Ort des Unfalls

Bei diesem Unfall erhielten drei Arbeiter hohe Strahlendosen. 49 weitere Personen wurden während des Unfalls in geringerem Maße bestrahlt. Die Kritikalität hielt für etwa 17 Stunden an. Bei den dann eingeleiteten Gegenmaßnahmen erhielten sechs Arbeiter Strahlendosen im Bereich der maximal zulässigen Jahresdosis.

Die betroffene Anlage

Die Uranverarbeitungsanlage der JCO (Bild 22) stellt Uranoxid mit einem Anreicherungsgrad bis 5 % U-235 für Leichtwasserreaktoren und mit einem Anreicherungsgrad bis 20 % U-235 für Forschungsreaktoren her. Der Kritikalitätsunfall ereignete sich nicht im eigentlichen Fabrikationsprozeß, sondern bei der Rezyklierung von Uranoxid in einem Nebengebäude. Auf dem Anlagengelände in Tokaimura befindet sich eine Wiederaufarbeitungsanlage. Der Unfall hat mit dieser Anlage nichts zu tun.

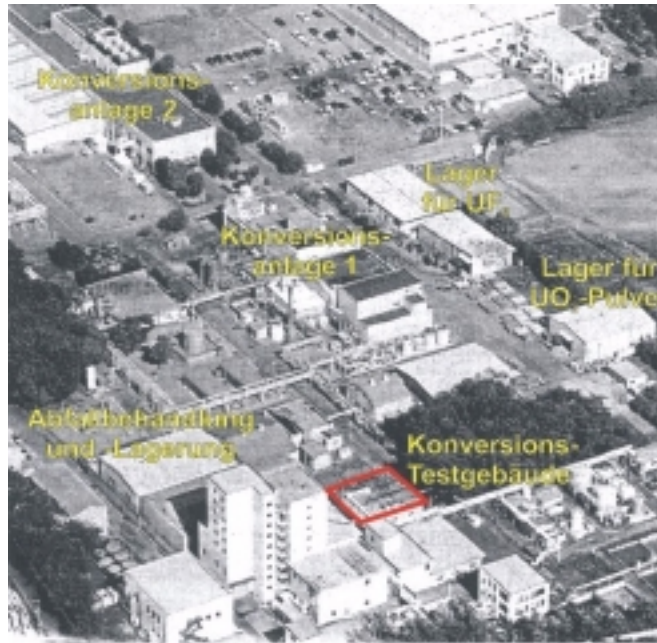


Bild 22: die Uranverarbeitungsanlage in Tokaimura

Der Verarbeitungsprozeß, die Behälter

Uranoxid in Form von U_3O_8 -Pulver wird zur Rückführung von Restmengen und nicht spezifikationsgerechtem Material in einer Nebenanlage in Salpetersäure aufgelöst und in Uranylnitratlösung überführt. Durch Zusatz von Ammoniak wird aus dieser Lösung Ammoniumdiuranat ausgefällt, abfiltriert und anschließend durch Trocknung und Konversion in einem Ofen in UO_2 überführt, das sodann in den Hauptprozeß zurückgeführt werden kann. Auf die gleiche Weise können kleine Mengen von UO_2 mit mittleren Anreicherungsgraden hergestellt werden.

Für die Auflösung des eingebrachten Uranoxids ist ein geometrisch kritikalitätssicherer Behälter vorgesehen. Danach wird in einem zweiten, nachgeschalteten

Behälter die Urankonzentration der Lösung und über das Lösungsvolumen auch die Uranmasse bestimmt. Der folgende Sedimentationsbehälter darf nur mit einer sicheren Uranmasse von 2,5 kg (bzw. von 2 kg nach anderen Angaben) befüllt werden, da dieser Behälter aufgrund seiner Maße (Durchmesser 50 cm, Höhe 70 cm) weder für 5 % noch für 20 % Anreicherung kritikalitätssicher ist. Die Einhaltung der Kritikalitätssicherheit hängt somit entscheidend von der Beschränkung der Uranmasse ab. Dabei muß diese anhand des Anreicherungsgrades richtig bestimmt werden.

Die Unfallursache

Angeliefertes U_3O_8 für den Reaktor JOYO wurde in kleinen Behältern unter einem Abzug durch Zugabe von Salpetersäure zu Uranyl-nitratlösung aufgelöst. Dabei haben die Arbeiter den vorgeschalteten geometrisch kritikalitätssicheren Behälter entgegen dem genehmigten Betriebsablauf nicht benutzt. Entgegen dem vorgesehenen Betriebsablauf wurde die Uranyl-nitratlösung sodann durch Entleeren der kleinen Behälter direkt in den geometrisch nicht kritikalitätssicheren Sedimentationsbehälter eingefüllt. Diese Abkürzung des Verfahrens wurde bereits seit Jahren so praktiziert. Auf diese Weise wurden etwa sieben Behälter mit Uranyl-nitratlösung in den Sedimentationsbehälter entleert.

Entscheidend für die Auslösung des Unfalls war, daß insgesamt ca. 50 l Uranyl-nitratlösung mit 16 kg Uran mit einer Anreicherung von 18,8 % eingebracht wurden. Damit wurde die festgelegte Grenze um etwa das Sieben- bis Achtfache überschritten. Die eingebrachte Masse entspricht zwar bei 5 % Anreicherung einer sicheren Masse mit dem üblichen Sicherheitsfaktor, nicht aber bei 18,8 %. Der gegenüber der bisherigen Betriebsweise deutlich höhere Anreicherungsgrad wurde offensichtlich nicht beachtet.

Die kleinste kritische Masse bei 20 % beträgt etwa 5 kg Uran. Unter den gegebenen Bedingungen liegt die kleinste kritische Masse schätzungsweise bei 8 kg. Damit wurde die kritische Masse um den Faktor 2 – 3 überschritten. Erste Berechnungen zeigen, daß der Neutronenmultiplikationsfaktor $K_{eff} = 1,04$ betrug.

Ablauf einer Kritikalität, Unfallablauf

Der Ablauf einer Kritikalität wird maßgeblich von den physikalischen Randbedingungen bestimmt. Während sich Kritikalität in unmoderierten oder stark untermoderierten Systemen durch Druckaufbau und zerstörerische Explosivwirkung

äußern kann, bleibt die mechanische Wirkung einer Kritikalität in einer homogenen Lösung in der Regel sehr gering. Dafür kann die Kritikalität in einer Lösung bei mäßiger Leistung über längere Zeiträume anhalten. Die Lösung kann dabei zum Kochen kommen, wodurch leicht flüchtige radioaktive Stoffe ausgetrieben werden. Bei dem hier aufgetretenen Unfall kam es bei Erreichen der Kritikalität zu einer ersten Leistungsspitze, die mäßig hoch war und nicht zu einer mechanischen Beschädigung des Behälters führte. Durch Blasenbildung tritt eine Verminderung der Lösungsdichte ein, dadurch sinkt die Leistung ab. Bei Abnahme der Bläschenbildung kann die Leistung wieder ansteigen und über längere Zeiten oszillieren oder mehr oder weniger konstant bleiben. Dies war hier der Fall. Der betroffene Behälter blieb über etwa 17 Stunden hinweg kritisch.

Der kritische Zustand wurde beendet, indem das Kühlwasser aus dem Kühlmantel des betroffenen Behälters durch Zerstörung der Kühlwasserleitung abgelassen wurde. Außerdem wurde von Hand Borsäure in den Behälter eingespeist.



Bild 23: der Eingang zur Uranverarbeitungsanlage in Tokaimura

Strahlenexposition der betroffenen Personen [13]

Die bei der Kritikalität ablaufenden Kernspaltungen führen zur Emission durchdringender Neutronen- und γ -Strahlung, die insbesondere im unmittelbaren Unfallbereich sehr hoch ist. Die drei am Unfallort befindlichen Arbeiter (im folgenden mit A, B und C bezeichnet) erhielten Strahlendosen von einigen Sievert. Diese Dosis-

werte sind lebensbedrohend. Sie erfordern intensive medizinische Behandlung (Bluttransfusion, Knochenmarktransplantation). Daten über den Krankheitszustand der drei Arbeiter am 30.9.1999 und 3.10.1999 liegen vor. Die Strahlenexposition der weiteren betroffenen Personen ist deutlich niedriger (offensichtlich keine Symptome akuter Strahlenkrankheit), aber noch nicht quantifiziert. Von den zur Beendigung der Kritikalität eingesetzten 18 Personen erhielten 6 Personen Strahlenexpositionen von 50 – 90 mSv (die zulässige Jahresdosis beträgt 50 mSv).

Die beiden meistbetroffenen Arbeiter (A und B) erhielten Strahlendosen von 18 Sv bzw. 6 bis 10 Sv. Der dritte Arbeiter (C) bekam eine Dosis von 1 bis 4,5 Sv. Die Werte basieren zum einen auf Messungen von Na-24 im Körper, und Blutproben. Dieses Isotop wird gebildet, wenn das im Körper vorhandene Na-23 Neutronen einfängt, und besitzt eine Halbwertszeit von 15 Stunden. Zum anderen wurden die Chromosomen-Aberrationen und die Abnahme der Lymphozytenzahl bestimmt. Die Genauigkeit der Werte dürfte allerdings kaum besser als ein Faktor zwei sein. Unsicherheiten ergeben sich vor allem aus der ungleichmässigen Bestrahlung verschiedener Körperpartien und bei der Ermittlung der Äquivalentdosis der Neutronen.

Medizinische Behandlung

Die Patienten A und B erhielten im University Hospital of Tokyo die wohl bestmögliche medizinische Behandlung. Sie zeigten Merkmale des akuten Strahlensyndroms sowie eine deutliche Abnahme der Lymphozyten und eine Schwächung des Knochenmarks. Bei Patient A (zum Teil auch bei Patient B) wurden auch ein Versagen der Nieren-, Leber- und Darmfunktionen, anhaltender Durchfall sowie ausgedehnte Hautverbrennungen mit starkem Flüssigkeitsverlust und inneren Blutungen diagnostiziert. Neben den üblichen therapeutischen Massnahmen bei Strahlenopfern wurden erstmals Transfusionen von Blutstammzellen bei Patient A (seine Schwester war die Spenderin) und bei Patienten B Transfusionen von fetalen Nabelschnur-Blutzellen aus Zellkulturen vorgenommen. Die bei solchen Fällen vorgesehene Knochenmarktransplantation wurde nicht angewendet, da sie bei den Chernobyl-Opfern zu Abwehrreaktionen des Immunsystems geführt hatten.

Während bei den Patienten B und C die Überlebenschancen als mässig bis gut beurteilt werden, waren die Ärzte beim Patienten A wenig optimistisch; er verstarb dann auch am 21.12.1999. Bereits am 27. November hatte er einen ersten Herzstillstand und wurde reanimiert. Beim zweiten Herzstillstand am 21. Dezember wurde

auf Wunsch der Angehörigen auf eine erneute Reanimation verzichtet. Er ist das erste Strahlenopfer der Kernenergie in Japan.

Ortsdosisleistung an der Anlagengrenze [12]

Während des Unfalls wurden Dosisleistungen von 4 – 5 mSv/h für Neutronen und von 0,5 – 1 mSv/h für γ -Strahlung an der Grenze des Anlagengebäudes gemessen. Die Meßwerte waren über Stunden annähernd konstant.

Nach japanischen Messungen war die Ortsdosisleistung an der Anlagengrenze am Freitag, 1.10.1999 wieder auf normale Werte zurückgegangen. Greenpeace ermittelte am Sonntag, 3.10.1999 auf einer 30 m von der Anlage entfernte Straße eine Ortsdosisleistung von 0,54 μ Sv/h, am Montag, 4.10.1999 von 0,4 μ Sv/h. Der Normalpegel vor Ort beträgt 0,1 μ Sv/h.

Vergleichswerte aus Deutschland:

Südbayern: 0,05 – 0,1 μ Sv/h

Bayerischer Wald, Fichtelgebirge: 0,2 – 0,4 μ Sv/h

Maximalwerte nach Tschernobyl-Unfall in Südostbayern: 2 μ Sv/h

Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung

Durch die Kernspaltungen entstehen radioaktive Edelgase sowie leicht flüchtige Jod-Isotope meist kurzer Halbwertszeit. Es ist davon auszugehen, daß die Edelgase bodennah (aus Türen, zum Teil über die Lüftung) in die Umgebung freigesetzt wurden. Das entstandene Jod wird zum Teil freigesetzt, wobei wesentlich ist, ob und wie lange die kritische Lösung kocht. Daten dazu liegen nicht vor. Die Auswirkungen der Freisetzung blieben auf den Nahbereich der Anlage beschränkt. Die vorsorglich durchgeführte Evakuierung einiger Anwohner und die Anweisung an die Bevölkerung von Tokai, im Haus zu bleiben stellte eine angemessene Vorsorgemaßnahme dar. Einige Anwohner wurden durch die Neutronenstrahlung betroffen, Dosiswerte liegen nicht vor. Mit einer Strahlenexposition der weiteren Bevölkerung ist nicht zu rechnen.

Kritikalitätsalarmsystem

Eine Rückfrage in Japan ergab, daß die Anlage nicht über eine Kritikalitätsalarmanlage verfügte. Dies ist erstaunlich, da dies Stand der Technik in Brennelementfertigungsanlagen ist und sogar eine entsprechende internationale Norm (ISO 7753) besteht.

Bezugsquellen:

[12]: <http://www.grs.de/tokai1013.htm>

[13]: NZZ von Mittwoch, 09.02.2000 (Forschung und Technik) Seite 69
http://www.iaea.org/worldatom/Press/P_release/1999/jap_report.shtml