Deutsches Atomforum e.V.

Fragen und Antworten zu den Ereignissen in Japan

(Stand: 16.03.2011, 09.30 Uhr)

1. Sind deutsche Kernkraftwerke technisch mit den in Japan betroffenen Siedewasserreaktoren vergleichbar? Wenn ja, um welche Kernkraftwerke handelt es sich? Kommen bei deutschen Kernkraftwerken vergleichbare Sicherheitssysteme wie in Japan zum Einsatz? Welche Gemeinsamkeiten und welche Unterschiede gibt es?

Das physikalische Funktionsprinzip aller Siedewasserreaktoren ist identisch. Siedewasserreaktoren in Deutschland sind Isar 1, Krümmel, Brunsbüttel, Gundremmingen B & C und Philippsburg 1. Die grundsätzliche Funktionsweise der Siedewasserreaktor-Sicherheitssysteme ist ebenfalls vergleichbar. Unterschiede bestehen in der konkreten technischen Ausführung und in den Details der Sicherheitssysteme, die radioaktive Stoffe zurückhalten und die Brennelemente kühlen sollen.

Bei den betroffenen Anlagen handelt es sich um Siedewasserreaktoren älterer Bauart. Der wesentliche Unterschied zu jüngeren Anlagen besteht in der Anzahl der Stränge der Sicherheitssysteme. Die beiden japanischen Anlagen verfügen über zwei Stränge, während in deutschen Kernkraftwerken dieser Bauart vier Stränge vorgehalten werden. Darüber hinaus gibt es Unterschiede bei der Bauart der Sicherheitsbehälter, der die radioaktiven Systeme einschließt und die Hauptbarriere zur Rückhaltung radioaktiver Stoffe bildet. In jüngeren japanischen Anlagen ist die Konstruktion robuster und die Widerstandskraft höher als in den betroffenen älteren Anlagen.

2. Wie sind deutsche Kernkraftwerke gegen außergewöhnliche Einwirkungen gesichert?

Aufgrund der Anforderungen des deutschen kerntechnischen Regelwerks sind die Bauwerke und Anlagenteile von Kernkraftwerken auch gegen außergewöhnliche Einwirkungen auszulegen, die nur selten oder sehr selten auftreten. Diese Einwirkungen werden unterteilt in seltene innerbetriebliche Störfälle bzw. anlageninterne Ereignisse wie z. B. Lecks oder Brüchen druckführender Rohrleitungen (EVI: Einwirkungen von innen) und seltene äußerlich wirkende Einwirkungen wie z. B. unwahrscheinliche Erdbeben, extreme Hochwasser sowie Einwirkungen aus Flugzeugabstürzen oder Explosionsdruckwellen (EVA: Einwirkungen von außen).

Die naturbedingten Einwirkungen wie Erdbeben oder Hochwasser nehmen im Rahmen der Auslegung einen besonderen Stellwert ein. Zu diesen Ereignissen werden standortspezifische Gefährdungsanalysen durchgeführt. Als Ergebnis dieser Analysen sind entsprechend dem deutschen kerntechnischen Regelwerk die Erdbebeneinwirkungen und die Hochwasserstände sowie deren mögliche Folgeereignisse wie z. B. mögliche Folgebrände, Ausfälle der externen Energieversorgung , Versagen von Behältern oder Überflutungen von Deichen als Auslegungsgrundlage zu berücksichtigen.

Für die Erdbebenauslegung kerntechnischer Anlagen ist ein Bemessungserdbeben mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1×10-5/Jahr, d. h. eine sogenanntes 100.000-jährliches Erdbeben, zu Grunde zu legen. Das Bemessungserdbeben ist das nach wissenschaftlichen Erkenntnissen maximal auftretende potenzielle Erdbeben im Umkreis von 200 km der jeweiligen Anlage Zum Vergleich: konventionelle Bauwerke oder Anlagen werden in Europa für ein Erdbeben mit der Überschreitungswahrscheinlichkeit von » 2×10-3/Jahr ausgelegt, d. h. es ist ein sogenanntes 475-jährliches Erdbeben anzunehmen.

Der Hochwasserschutz von Kernkraftwerken erfordert die Berücksichtigung eines Bemessungshochwasserstands mit der Überschreitenswahrscheinlichkeit von 10-4/Jahr, das häufig auch als 10.000-jährliches Hochwasser bezeichnet wird. Zum Vergleich: für den üblichen Hochwasserschutz wird im Allgemeinen ein Hochwasser mit der Eintrittrate von 10-2/Jahr (100-jährliches Hochwasser) betrachtet. Zur Ermittlung des Bemessungshochwasserstands mit der Überschreitenswahrscheinlichkeit von 10-4/a sind für Binnenstandorte und Küstenstandorte einschließlich Standorte an Tideflüssen (z. B. oberer Elbe oder obere Weser) unterschiedliche Verfahren anzuwenden, die durch das deutsche kerntechnische Regelwerk vorgeschrieben werden.

3. Kann ein Unglück wie jetzt in Japan auch in deutschen Kernkraftwerken passieren?

Ursache für das Unglück in Japan war eine Verkettung zweier Naturkatastrophen. Das starke Erdbeben hat das Netz und nahezu die gesamte Infrastruktur zerstört. Der anschließende Tsunami führte zu einem Ausfall der Notstromanlage und des Kühlsystems. Eine Verkettung eines derart schweren Erdbebens und eines schweren Tsunamis ist in Deutschland nicht vorstellbar.

4. Bietet die deutsche Kernenergiewirtschaft Unterstützung bei der Bewältigung der Katastrophe in Japan an? Wenn ja, in welcher Form?

Wir stehen bei Bedarf für technische und logistische Unterstützung bereit und stimmen uns dazu mit dem Krisenstab der Bundesregierung ab.

5. Was ist in Deutschland vorgesehen für den Fall, dass die Stromversorgung sowie die Notstromdieselgeneratoren ausfallen und die Notstromakkumulatoren leer sind?

In den deutschen Kernkraftwerken stehen mehr Dieselgeneratoren als in den betroffenen japanischen Anlagen zur Verfügung. Auch in der Bauart unterscheiden sie sich. Darüber hinaus sind in den deutschen KKW Anschlussstellen vorhanden, an die externe luftgekühlte Generatoren angeschlossen werden können. Diese sorgen im Notfall dafür, dass alle notwendigen Aggregate für die Nachwärmeabfuhr zur Verfügung stehen.

6. Warum ist nach einer Abschaltung eine Nachkühlung notwendig?

Eine Kühlung der Brennelemente ist auch nach einer Unterbrechung der Kettenreaktion noch notwendig, da der Brennstoff radioaktive Zerfallsprodukte enthält, die wegen ihrer Radioaktivität eine zunächst starke Wärmeleistung entwickeln. Unmittelbar nach Beendigung der Kettenreaktion beträgt die thermische Leistung noch 5 bis 10 Prozent der Reaktorleistung und nimmt dann rasch ab. Diese Wärmemenge muss abgeführt werden, um einen unzulässigen Temperaturanstieg zu verhindern. Hierfür sind Nach- und Notkühlsysteme vorgesehen.

7. Was passiert, wenn keine ausreichende Nachkühlung möglich ist oder nicht wiederhergestellt werden kann?

Im Fall dauerhaft nicht ausreichender Nachkühlung verdampft bei Überschreiten der Dampftemperatur das Kühlmittel. Der dabei entstehende Dampf muss aus dem Kühlkreislauf in das Containment abgegeben werden („Druckentlastung“) und von dort bei drohender Überlastung des Containmentbehälters kontrolliert über Filter an die Umgebung abgegeben werden.

Wenn der Wasserstand im Reaktordruckbehälter zu stark absinkt, Brennelemente von oben beginnend freigelegt werden und auch die Kühlung durch den vorbeiziehenden Dampf nicht mehr ausreicht, würde der Prozess der Kernschmelze beginnen.

8. Was passiert bei einer Kernschmelze

Die Nachzerfallswärme führt ohne ausreichende Kühlung zu einer Erhöhung der Temperatur des Kernbrennstoffs. Bei Überschreitung der Schmelztemperatur der Brennstabhüllrohre von ca. 1.900 °C schmelzen die Brennstäbe und setzen die heißen keramischen Brennstoffpellets frei. Diese Brennstoffverlagerung führt zu einem weitgehenden Verdrängen des Kühlmittels und nach Temperaturanstieg zum Aufschmelzen auch des keramischen Brennstoffs. Dieser bildet einen Schmelzsee, der sich einen Weg bis zum Boden des Reaktordruckbehälters bahnt. Die Schmelze sammelt sich am Boden des Reaktordruckbehälters, heizt sich dort weiter auf und kann schließlich nach weiteren Stunden die Bodenkalotte durchschmelzen, nach Verdampfen des Restwassers ebenso den Containmentbehälter. Danach würde die Kernschmelze mit dem Beton des biologischen Schildes in Kontakt treten und diesen ebenfalls aufschmelzen. Da die heiße Kernschmelze dadurch permanent verdünnt wird, kommt der Prozess des Durchschmelzens in den Betonstrukturen zum Erliegen und die radioaktive heiße Schmelze aus Kernbrennstoff, Hüllrohrmaterial, Stahl und Beton erstarrt dort langsam.

9. Wie ist Radioaktivität zu bewerten?

Die Aufnahme von Radioaktivität durch ein Objekt oder einen Körper wird als so genannte Energiedosis in der Einheit Gray (Gy) angegeben, wobei die Strahlung durch die in ihr enthaltene Energie beschrieben wird. Ein Gray entspricht der Aufnahme von einem Joule (J) pro Kilogramm Masse (kg). Früher wurde die Energiedosis in rad (rd) angegeben, wobei 100 rad einem Gray entsprechen.

Die Wirkung radioaktiver Strahlung auf den Menschen wird in der so genannten Organdosis angegeben. Dies geschieht, weil unterschiedliche Strahlungsarten (Alpha-, Beta-, Gamma-, Neutronenstrahlung) unterschiedliche Auswirkungen auf biologisches Gewebe haben. Dabei geht ein so genannter Strahlungswichtungsfaktor in die Betrachtung ein. Für Photonen (Röntgen- und Gammastrahlung) sowie für Betastrahlung wird aufgrund von empirischen Daten ein Faktor von eins angesetzt, für Neutronenstrahlung je nach Geschwindigkeit der Neutronen ein Faktor zwischen 5 und 20 sowie für Alphastrahlung ein Faktor von 20. Die Organdosis wird mit der Einheit Sievert (Sv) angegeben. Die frühere Einheit war rem, wobei ein Sievert 100 rem entsprechen.

Bei der Berechnung des gesundheitlichen Risikos einer Strahlenexposition wird auch die unterschiedliche Empfindlichkeit einzelner Organe berücksichtigt. Daraus ergibt sich die effektive Dosis. Auch diese wird in Sievert angegeben. Zur Orientierung: Die mittlere natürliche Strahlendosis in Deutschland beträgt innerhalb eines Jahres 2,1 mSv (Millisievert), die maximale erlaubte Jahresdosis für beruflich strahlenexponierte Personen beträgt 20 mSv. Die untere Grenze für klinisch erfassbare Strahlungseffekte bei einmaliger Exposition beträgt 250 mSv. Ein im japanischen Kernkraftwerk FUKUSHIMA-I-1 kontaminierte Arbeiter erhielt eine Dosis von 106,7 mSV.

10. Was sind die Unterschiede zwischen der Situation in Fukushima 1 und dem Unfall von Tschernobyl?

Bei Tschernobyl handelte es sich um einen so genannten Reaktivitätsunfall; also eine schnelle, sich selbst verstärkende Leistungssteigerung. Voraussetzung für den Ablauf war u.a. die Bauweise mit getrennten Funktionen für Wärmeabfuhr (Wasser) und Neutronenmoderation (Graphit). Selbst nach Verlust des Kühlwassers blieb die Kettenreaktion erhalten, da der Graphit weiterhin die bei der Spaltung entstandenen schnellen Neutronen auf die für eine Kettenreaktion erforderlichen Geschwindigkeiten heruntermoderieren konnte.

In Leichtwasserreaktoren ist eine Fortsetzung der Kettenreaktion ohne den Moderator physikalisch ausgeschlossen. Denn das Wasser ist Kühlmittel und gleichzeitig Moderator. Wenn also das Wasser entweicht, wird zwar die Nachwärme nicht mehr abgeführt, jedoch auch die Kettenreaktion unterbrochen.

In Tschernobyl ist eine Kombination aus menschlichem Fehlverhalten, Auslegungsdefiziten und mangelnder Aufsicht aufgetreten, in Japan ausschließlich die kombinierte Wirkung von zwei auslegungsüberschreitenden Ereignissen, dem schweren Erdbeben und dem Tsunami.

Die japanischen Reaktoren schalteten sich auslegungsgemäß automatisch ab, als die Seismometer ansprachen. Damit wurde die Kettenreaktion in den Reaktoren unterbrochen. Durch den gleichzeitigen Zusammenbruch der Hochspannungsnetze sind die Anlagen zunächst im Notstrombetrieb gelaufen, bis der Tsunami die Notstromanlagen zerstörte. Die Reaktoren haben sich bis zum (Teil-) Schmelzen des Brennstoffs aufgeheizt, da auch die eingeleiteten Notfallmaßnahmen nur noch eingeschränkte Wirkung zeigten. Diese Vorgänge dauerten Tage.

In Tschernobyl geriet der Reaktor dagegen bei vollem Betrieb in einen instabilen Zustand, der in eine unkontrollierte Kettenreaktion mündete. Hinzu kam wahrscheinlich eine zweite Wasserstoffexplosion, der als Moderator verwendete Graphit geriet in Brand.

Während der folgenden Tage wurden große Mengen an Radioaktivität in die Luft freigesetzt und durch die Auftriebswirkung des Brandes in große Höhen getragen.

Anders als in Fukushima gab es in Tschernobyl keine zusätzliche Schutzhülle (Containment). Der Wind verteilte die Radioisotope über ganz Europa. Es wurden mindestens 5 Prozent des Kerninventars in die Atmosphäre getragen.

11. Was sind MOX-Brennelemente?

Als Mischoxid-Brennelemente (kurz: MOX-Brennelemente) werden Brennelemente bezeichnet, die im Gegensatz zu Brennelementen aus reinem Urandioxid (UO_2) ein weiteres Oxid enthalten, nämlich Plutoniumdioxid (PuO_2).

Plutonium ist aber nicht nur in einem Reaktor enthalten, der mit MOX-Brennelementen beladen ist, sondern auch in Reaktoren, die nur mit Uran-Brennelementen beladen sind:

- Plutonium-239 und -241 wird in jedem Leichtwasserreaktor (LWR) durch Neutroneneinfang aus – dem praktisch nicht spaltbaren – Uran-238 erbrütet; es ist ebenfalls spaltbar und trägt erheblich (in der Größenordnung von einem Drittel) zur gesamten Wärmeerzeugung bei.
- Bei einem Reaktor, der mit MOX-Brennelementen beladen ist, enthält der Kern je nach Zykluszeitpunkt und MOX-Anteil etwa zwei- bis derimal so viel Plutonium wie ein Uranreaktorkern.

Ein Reaktorkern für einen LWR darf aus neutronenphysikalischen Gründen nur ca. bis zur Hälfte aus MOX-Brennelementen bestehen, typisch sind Beladungen von z.B. einem Viertel.

Natururan besteht nur zu 0,7% aus dem in LWR spaltbaren Isotop U-235 und zu 99,3% aus dem in LWR praktisch nicht spaltbaren U-238. Um in einem Reaktor eine Kernspaltung in Gang setzen zu können, muss das U-235 auf z.B. 5% angereichert werden. Diese Anreicherung erfolgt aufwändig in Zentrifugen- oder Gasdiffusionsanlagen. In der Reaktoreinsatzzeit von z.B. vier Jahren wird der U-235- Anteil auf weniger als 1% abgebrannt.

Nach dem Reaktoreinsatz im Brennelement verbleibendes Plutonium kann in Wiederaufarbeitungsanlagen ebenso wie das Resturan von den Spaltprodukten abgetrennt werden. Dieses Resturan (oder auch Natururan) kann jedoch auch wieder angereichert oder mit Plutonium verschnitten werden, wobei aus ca. 5 abgebrannten Brennelementen der Spaltstoff für ein neues MOX-Element gewonnen werden kann. MOX-Brennelemente ersparen die Urananreicherung. Unter gegenwärtigen Marktbedingungen sind MOX-Brennelemente teurer als Uranelemente, sie werden trotzdem eingesetzt, um den Spaltstoff Plutonium im Sinne der Nachhaltigkeit zu nutzen, die Uranvorräte zu schonen und den hochaktiven Abfall zu minimieren.