

Hintergrundinformationen zu ausgewählten Themen zum nuklearen Störfall in Japan

Nr. 008
(18.03.2011, 13:00 Uhr)

Erklärung der Nachzerfallswärme eines Kernreaktors (INR KIT)

Kernreaktoren erzeugen Elektrizität ähnlich wie dies konventionelle Kohlekraftwerke tun: der im Kraftwerk erzeugte Dampf treibt eine Turbine an, die wiederum einen Stromgenerator antreibt. Der einzige Unterschied besteht darin, wie die Wärme erzeugt wird. In Kohlekraftwerken wird Kohle verbrannt, um den Dampf zu erzeugen, bei Kernreaktoren hingegen wird die erforderliche Wärme durch Kernspaltung erzeugt. Die Reaktoren in Fukushima sind Siedewasserreaktoren (SWR); bei ihnen entsteht der Dampf direkt im Reaktorkern.

In einem in Betrieb befindlichen Reaktor wird die Wärme hauptsächlich durch die Spaltung von spaltbarem Material, wie Uran und Plutonium, erzeugt. Verursacht ein Neutron die Spaltung dieser Atome, wird eine große Menge an Energie frei. Durchschnittlich geht etwa 80 % der bei einer Spaltreaktion freigesetzten Energie auf die zwei oder mehr Spaltprodukte über und da diese über eine sehr kurze Reichweite verfügen, tritt sie als Wärme im Brennstoff in Erscheinung. Der Rest der Energie wird in Form von Neutronen bzw. anderen Formen von Strahlung freigesetzt. Die Wärme wird dann vom Kühlwasser abgeführt.

Ein Teil der Spaltprodukte ist radioaktiv. Bei ihrem Zerfall erzeugen sie verschiedene Arten von Strahlung, wie z. B. Gammastrahlen, Betateilchen (Elektronen) und Alphateilchen (Helium-Kerne). Die Energie der Zerfallsstrahlung wird als Nachzerfallswärme bezeichnet. Sie geht hauptsächlich auf den Brennstoff über. Mit fortschreitendem Zerfall dieser radioaktiven Stoffe erreichen mehr und mehr von ihnen einen stabilen Zustand und setzen damit keine Strahlung mehr frei und tragen somit auch nicht mehr zur Nachzerfallswärme bei.

Werden bei einer Schnellabschaltung des Reaktors alle Steuerstäbe eingefahren, werden die Spaltreaktionen im Großen und Ganzen unterbunden. Wegen der Nachzerfallswärme fällt die Leistung aber nicht sofort auf Null; nach 1 Sekunde sind es noch etwa 7 % der vollen Reaktorleistung. Wegen des Zerfalls der Spaltprodukte nimmt die Nachzerfallswärme immer mehr ab, erst schnell, dann immer langsamer. Das Bild unten zeigt eine Abschätzung, wie sich die Nachzerfallswärme (in MW) in den Blöcken 1-3 in Fukushima mit der Zeit entwickelt. Es sind zwei Kurven angegeben, weil der Reaktorblock 1 kleiner ist als die Blöcke 2 und 3.

Die Nachzerfallswärme muss in der Menge, in der sie erzeugt wird, auch wieder abgeführt werden, sonst beginnt sich der Reaktorkern aufzuheizen. In Fukushima wurden jedoch die Einrichtungen, die dafür vorgesehen sind, durch den nachfolgenden Tsunami teilweise beschädigt, weshalb es für das Betriebspersonal schwierig wurde, die Nachwärme umgehend abzuführen. Die Tatsache, dass die Dieselgeneratoren nach der Abschaltung der Reaktoren aufgrund des Erdbebens wie geplant in Betrieb gingen und trotz des Tsunamis etwa eine Stunde lang arbeiteten, war wesentlich für die Abfuhr der hohen anfänglichen Nachzerfallswärme.

Während dieser ersten Stunde sinkt die Nachzerfallswärme um die Hälfte ab.. Nach einem Jahr entspricht die Nachzerfallswärme etwa 0,2% der Betriebsleistung des Reaktors. Das bedeutet, dass die Nachwärmeabfuhr für eine sehr lange Zeit sichergestellt werden muss.

Wird die Nachzerfallswärme nicht abgeführt, beginnt der Reaktorbrandstoff sich aufzuheizen. Mit dem weiteren Temperaturanstieg stellen sich unerwünschte Folgen ein, wie z. B. die schnelle Oxidation des Zirkaloyhüllrohrs (oberhalb von ca. 1200 °C), das Schmelzen des Hüllrohrs (ca. 1850 °C) und das Schmelzen des Brennstoffs selbst (ca. 2400 – 2860 °C).

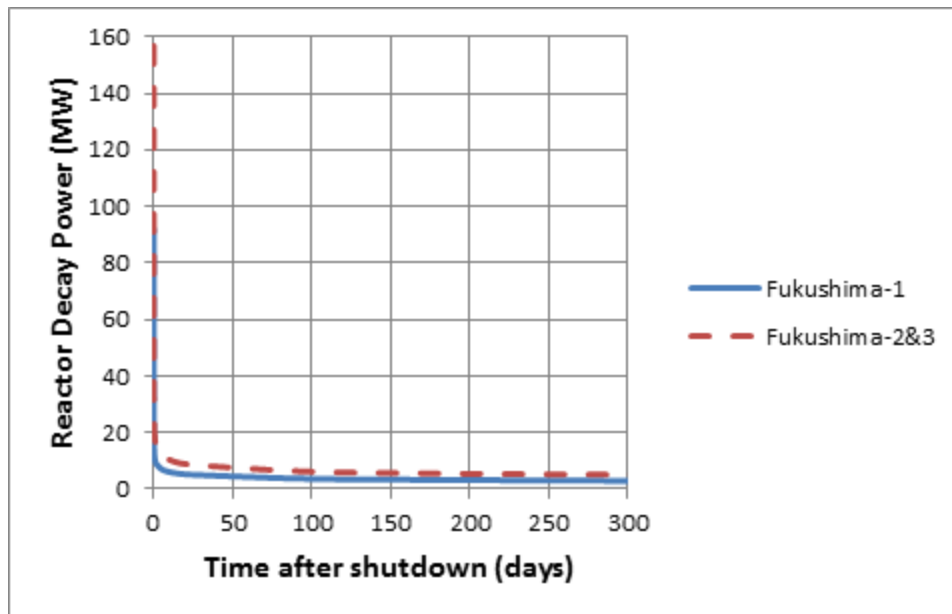


Abbildung 1: Nachzerfallswärme über der Zeit. Die Kurven beginnen nach der Schnellabschaltung der Reaktoren (vollständiges und schnelles Einfahren der Steuerstäbe) sofort nach dem Erdbeben.

Date/Time (Fukushima Time)	Fukushima Daiichi-1 Decay Heat (MWth)	Fukushima Daiichi- 2&3 Decay Heat (MWth)	Percent of Full Thermal Power
11.03.11, 14:46	92.0	156.8	6.60
11.03.11, 14:47	44.7	76.2	3.21
11.03.11, 14:48	36.9	62.8	2.64
11.03.11, 14:50	31.4	53.5	2.25
11.03.11, 15:00	24.1	41.0	1.73
11.03.11, 15:30	19.1	32.5	1.37
11.03.11, 20:00	12.8	21.9	0.92
12.03.11, 08:00	10.1	17.3	0.73
12.03.11, 20:00	9.1	15.5	0.65
13.03.11	8.5	14.5	0.61
14.03.11	7.8	13.2	0.53
16.03.11	6.9	11.8	0.50
20.03.11	6.1	10.5	0.44
01.04.11	5.2	8.8	0.37
01.07.11	3.7	6.3	0.26
01.10.11	3.3	5.6	0.23
11.03.12	2.9	5.0	0.21

Tabelle 1: Nachzerfallswärme der Reaktoren in Fukushima für den Zeitraum von wenigen Sekunden nach der Schnellabschaltung infolge des Erdbebens bis 1 Jahr nach dem Ereignis.

Block 1 in Fukushima hat eine elektrische Leistung von 460 MWe, die Blöcke 2 und 3 verfügen über eine elektrische Leistung von 784 MWe. Diese SWR Anlagen haben einen Wirkungsgrad von ca. 33 %, d.h., ihre thermischen Leistungen (MWth) entsprechen etwa dem Dreifachen der elektrischen Leistungen (MWe). Diese thermische Energie muss abgeführt werden (s. Abbildung und Tabelle). Die Nachzerfallsleistung nimmt ab dem 2. Tag sehr langsam ab.