

Eine Kettenreaktion mit fatalen Folgen

Die Atomkatastrophe von Fukushima Daiichi hinterlässt viele Fragen. Einige der wichtigsten Antworten.

Wieso kann ein Atomkraftwerk aus dem Ruder laufen?

In einem Atomreaktor läuft eine kontrollierte Kettenreaktion ab, bei der die in den Brennstäben enthaltenen radioaktiven Kerne wie Uran 235 einer nach dem anderen zerfallen. Dabei wird ein Elementarteilchen, das Neutron, mit hoher Energie aus dem festen Verbund des Kerns herausgeschleudert. Bald trifft es auf ein nächstes Atom, aus dem es wiederum ein Neutron heraus schlägt - und so weiter. Bei jedem Zerfall wird Energie frei. Während in einer Atombombe die Kettenreaktion explosionsartig abläuft, wird diese bei der friedlichen Nutzung der Atomenergie in engen Bahnen geführt. In der Summe ergibt sich im Reaktor eine grosse Menge von Energie in der Form von Wärme. Mit dieser Wärme wird Wasser in Dampf umgewandelt, der auf eine Turbine geleitet wird. Diese wiederum treibt einen Generator an, der Strom produziert.

Wieso bleibt der Brennstoff heiss, obwohl das Atomkraftwerk abgeschaltet ist?

Wenn Beschleunigungssensoren eine Notabschaltung eines Atomreaktors auslösen, wird die Kettenreaktion mithilfe von Steuerstäben, die die Neutronen schlucken, in Sekundenschnelle abgebrochen. Doch die radioaktiven Kerne in den Brennstäben zerfallen weiter und geben so eine Nachzerfallswärme ab, die mit der Zeit aber abnimmt. Unmittelbar nach der Abschaltung gibt ein Brennstoff noch 6 Prozent der Wärme ab, die er mit laufender Kettenreaktion produziert, eine Stunde später nur noch 1 Prozent. Abgebrannte Brennelemente müssen bis zu 15 Jahre lang gekühlt werden.

Was ist eine Kernschmelze?

Obwohl die Restwärme in Prozentzahlen klein erscheint, kann sie ungekühlt die Brennstäbe derart aufheizen, dass diese zerstört werden: Die gefürchtete Kernschmelze tritt ein. Bei 1200 Grad Celsius schmilzt die Ummantelung aus Zirkonium, bei über 2000 Grad tun dies auch die Brennstofftablets. Im äussersten Falle könnte wieder eine Kettenreaktion in Gang kommen, weil auch die Steuerstäbe schmelzen.

Was führt in Fukushima Daiichi zu wiederholten Explosionen?

Experten gehen davon aus, dass es sich um Wasserstoffexplosionen handelt. Der Wasserstoff bildet sich, wenn das Hüllrohr der Brennstäbe aus Zirkonium mit Wasserdampf in Berührung kommt und oxidiert. Das ist nur möglich, wenn die Brennstäbe trocken liegen. Im Reaktordruckbehälter kann der Wasserstoff nicht explodieren, weil er frei von Sauerstoff ist. Doch bei der kontrollierten Dampferlastung und später durch Lecks ist der Wasserstoff in das Reaktorgebäude gelangt, wo er sich mit Luft mischte. (mma)

Kann es zu einer nuklearen Explosion kommen?

Kernbrennstoff wird in einem Reaktor kern sorgfältig angeordnet, damit die Kettenreaktion auf einem kontrollierten Niveau gehalten werden kann. Bei einer kompletten Kernschmelze fließen Urantablets, Hüllrohre, Abstandshalter und



Die beiden beschädigten Reaktoren 3 (links) und 4 (Mitte) werfen gegenwärtig viele Fragen auf. Foto: Tepco (Reuters)

Eine vorbeugende Einnahme von Jod-Tabletten ist nicht zu empfehlen.

Steuerstäbe als glühender Brei zusammen. Damit in dieser Situation die zuvor unterbrochene Kettenreaktion nicht wieder in Gang kommt, geben die Helfer in Fukushima zurzeit reichlich Borsäure zum kühlenden Meerwasser. Sie fängt Neutronen ab, die Urankerne zur Spaltung anregen. Darum halten es Fachleute für unwahrscheinlich, dass bei einer Kernschmelze Uran 235 eine kritische Dichte bekommt und die Kettenreaktion wieder anspringt. Die nukleare Explosion ist daher unwahrscheinlich, aber nicht kategorisch ausgeschlossen.

Was passiert, wenn die Japaner das Gelände einfach aufgeben?

Der Zustand, den die Reaktorblöcke im Werk Fukushima Daiichi zurzeit haben, kann nach Meinung von Experten nicht ohne menschliches Zutun gehalten werden. Die Reaktoren würden über kurz oder lang in die Kernschmelze übergehen. Sollten die letzten Mitarbeiter wegen der Strahlenbelastung abgezogen werden, würden irgendwann Pumpen versagen, Ventile blockieren oder den Notstromaggregaten der Treibstoff ausgehen. (cris)

Wie gefährlich ist die Strahlung für den Menschen?

Das Bundesamt für Gesundheit richtet eine Experten-Hotline ein

Je nach Strahlendosis und Strahlenart sind die Symptome unterschiedlich in Art und Stärke. Bei der Strahlenkrankheit reicht das Spektrum von Übelkeit, Erbrechen, Durchfall, Appetitlosigkeit, Fieber, Schwindel, Desorientierung, Krämpfen, Dehydratation, Apathie, Lähmung, neurogener Schock, Koma bis hin zum Tod (siehe Grafik). Auf dem Gelände Fukushima erreichten die Werte zum Teil vorübergehend 1000 Millisievert pro Stunde. Wäre ein Mensch einem solchen Wert zehn Stunden lang ausgesetzt, hätte er eine akkumulierte Exposition von 10 000 Millisievert und damit kaum Überlebenschancen, sagt der Strahlenbiologe Roland Scheidegger vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi). Doch die Werte in Japan schwanken stark – abhängig vom Wind sowie

Zeitpunkt und Ort der Messung, sodass sich die Lage ständig ändern kann. Es ist sehr wichtig, dass die Rettungsteams und Arbeiter nicht lang einer solchen Maximalbelastung ausgesetzt sind.

Weniger dramatisch sieht die Situation fern der Katastrophe aus. «Nach jetzigen Angaben ist Tokio noch nicht gefährdet, obwohl die Messwerte gestiegen sind», sagt Scheidegger. Es ist verständlich, dass Familien mit Kindern die Stadt verlassen. Denn Kinder seien besonders anfällig für Auswirkungen von ionisierender Strahlung. (bry)

Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) hat eine Experten-Hotline für Fragen zu den Reaktorunfällen in Japan eingerichtet. Telefonnummer: 031 322 97 28.

Was ist radioaktive Strahlung?

Die Bezeichnung radioaktive Strahlung ist eigentlich ein weisser Schimmel, weil radioaktiv vom lateinischen «radiare» kommt, das «strahlen» bedeutet. Es sind also die Atomkerne, die strahlen, wenn sie zerfallen. Diese Strahlen, auch «ionisierende Strahlen» genannt, haben eine Energie, die tausend- bis millionenfach grösser ist als die Energie, die ein Molekül zusammenhält. Entsprechend zerstörerisch können sie wirken.

Wie tritt die Radioaktivität aus den beschädigten Meilern aus?

Die «Abgabe» der radioaktiven Strahlung geschieht in Schüben, es entstehen regelrechte radioaktive Wolken, die schnell abziehen. Dies zeigen aktuelle Messungen vom Gelände. Eine Erklärung für die schubweise Abgabe der Radioaktivität könnten die Wasserstoffexplosionen sein, die sich periodisch ereignen. Derzeit werden die Arbeiten am beschädigten Meiler jeweils unterbrochen, sobald eine solche Wolke austritt.

Kommt die radioaktive Wolke auch in die Schweiz?

Eine radioaktive Wolke besteht aus Radionukliden wie Cäsium 137, Jod 131, den radioaktiven Edelgasen wie Xenon 133 und Krypton 85. Wichtig sind kontaminierte Staubpartikel, die bei Bränden und Explosionen in die Luft geschleudert werden. Die radioaktive Wolke verteilt sich mit dem Wind. Gerät sie in eine

Niederschlagszone, werden die kontaminierten Partikel und Cäsium-Nuklide ausgewaschen und verseuchen so auch den Boden. Da noch keine genauen Informationen zu den freigesetzten Radioaktivitätsmengen vorliegen, ist es laut Bundesamt für Gesundheit zurzeit nicht möglich, eine allfällige Strahlenbelastung für die Schweiz zu berechnen. Weil die Konzentration der radioaktiven Stoffe aufgrund der starken Verdünnung mit zunehmender Entfernung zum Unfallort kontinuierlich abnimmt, sei jedoch nicht mit direkten Auswirkungen auf die Bevölkerung zu rechnen. (mma)

Welche radioaktiven Stoffe treten aus?

Gefährlich sind radioaktive Edelgase wie Xenon 133 und Krypton 85. Sie sind aber äusserst flüchtig: Wer sich nicht näher als einige Kilometer vom Reaktor befindet, hat von ihnen wenig zu befürchten. Jod 131 und Cäsium 137 wurden von den japanischen Behörden am Mittwoch vorübergehend in geringen Mengen im Leitungswasser in der Nähe des Unglückskraftwerks nachgewiesen. Die Konzentration wurde zwar als unbedenklich eingestuft. Doch der Fund schürt Sorgen, die Radioaktivität gelange bereits in die Nahrungskette.

Was bewirkt Jod 131?

Jod 131 kann sich bei einer Aufnahme rasch in der Schilddrüse anreichern und zu einem erhöhten Schilddrüsenkrebsrisiko führen. Die Jod-Bedrohung nach

einem Atomunfall ist jedoch rasch vorüber, weil Jod 131 eine Halbwertszeit von nur acht Tagen hat.

Wäre es sinnvoll, sich Jodtabletten schon einmal zu besorgen und diese zu schlucken?

Eine vorbeugende Einnahme der Jod-Tabletten – etwa in der Schweiz – ist laut Experten nicht zu empfehlen, denn bei zu früher Einnahme verpufft die Wirkung vorzeitig.

Wie giftig ist Cäsium 137?

Mit einer Halbwertszeit von 30 Jahren kann sich Cäsium 137 in der Nahrungskette über lange Zeit anreichern. Lebensmittel und Trinkwasser müssen deshalb regelmässig auf ihre Strahlenwerte untersucht werden. In der Schweiz fanden sich noch 20 Jahre nach dem Unfall von Tschernobyl Pilze mit erhöhten Cäsium-Werten.

Gibt es noch weitere Stoffe, die gesundheitsschädigend sind?

Weitere gefürchtete radioaktive Elemente nach einem Atomunfall sind Strontium 90 und Plutonium 239. Beide Stoffe können sich an Staubpartikel binden und über die Luft ausbreiten. Wenn sie dann eingeatmet werden, schädigen sie den Körper in vielfältiger Weise. (sda)

Was passiert im Meer mit den Tieren?

Bisher gibt es noch keine Messung von Radionukliden im Nahbereich des Atommeilers Fukushima. Doch aus Erfahrung anderer nukleartechnischer Unfälle ist im Meer vor allem mit einer Erhöhung der Cäsium-Werte zu rechnen. Denn Cäsium ist chemisch mit Kalium verwandt, das von den Organismen aufgenommen wird. Es wird zunächst im Plankton auftreten, aber auch in Organismen mit grossem Wasserumsatz wie Muscheln und Algen. Einige Wochen später könnten auch erhöhte Aktivitäten von Cäsium in Meerwasserfischen messbar sein. «Ob dabei der Grenzwert überschritten wird, lässt sich aufgrund der aktuellen Datenlage nicht abschätzen», sagt Radiochemiker Ulrich Rieth vom Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut in Hamburg. Radioaktives Cäsium ist relativ langlebig. Noch heute sind die Fische in der Ostsee durch die Tschernobyl-Katastrophe belastet. Dass die Nordsee weniger belastet ist, liegt daran, dass sie im Gegensatz zur Ostsee ein offenes Meer ist und der Golfstrom die radioaktive Materie schnell verteilt hat. Im Pazifik kommt es vermutlich – ähnlich wie in der Nordsee – zu einer grossflächigen Verdünnung, die nach ein paar Monaten nicht mehr messbar wäre. Neben Cäsium muss man laut Ulrich Rieth mit einer Erhöhung von radioaktivem Jod rechnen. Denn Fisch und Algen nehmen viel Jod auf. Doch im Vergleich zu radioaktivem Cäsium (Cs-134, Halbwertszeit 2 Jahre, Cs-137 Halbwertszeit 30 Jahre) sei radioaktives Jod (I-131, Halbwertszeit 8 Tage) nach ein paar Wochen nicht mehr nachweisbar. «In Japan ist der Verzehr von Sushi, auch mit Fisch aus der betroffenen Region, nach dem jetzigen Stand des Wissens, bisher noch kein Problem», sagt Ulrich Rieth. (bry)

Auswirkungen von ionisierender Strahlung

Gesundheitliche Folgen der Strahlenbelastung bei einmaliger Exposition in Millisievert (mSv)

500	Niedriges Krebsrisiko, Kopfschmerzen, und getrübbtes Bewusstsein
1000	Leichte Strahlenkrankheit: Krebsrisiko steigt weiter. Leichte bis mittlere Übelkeit, Erbrechen, Unwohlsein, zeitweise Sterilität beim Mann
3000–4000	Schwere Strahlenkrankheit: extreme Durchfälle, Erbrechen, Haarausfall, Infektionen, Blutungen, Todesrate 50% binnen einer Woche
ab 10 000	Tod innerhalb von wenigen Tagen ohne medizinische Versorgung

TA-Grafik kmh / Quelle: World Nuclear Association, BAG, SDA

Beispiele aus dem Alltag zum Vergleich

in Millisievert (mSv)	0,01	Röntgen einzelner Zähne
1,0	Strahlendosis beim Röntgen von Wirbelsäule, Bauch oder Becken	
4,2	Mittlere Jahresdosis der Bevölkerung in der Schweiz	
10	Strahlendosis bei Computertomografie von Wirbelsäule, Bauch oder Becken	
20	Jahresgrenzwert für beruflich exponierte Personen in der Schweiz	

Neuste Entwicklung auf Derbund.ch

Die Online-Redaktion von Derbund.ch informiert Sie im News-Ticker laufend über die Lage in Japan und über die weltweiten Folgen der Katastrophe. Lesen Sie zudem: was japanische Medien berichten – zum Beispiel, wie Komiker Mikio Date seit der Katastrophe zum Blogger der Nation geworden ist. Weiter: Die Schweizerische Energie stiftung ist überzeugt, dass keine Versorgungslücke entstünde, wenn man in der Schweiz drei Atomkraftwerke abschaltete. Und im Dossier: stets die neusten Bilder und Videos, eine interaktive Grafik, eine Chronologie der Ereignisse, ein Glossar mit den wichtigsten Begriffen zur Kernenergie und vieles mehr.

www.japan.derbund.ch