

RISIKOWAHRNEHMUNG

»Technik- bildung von Kind an«

Leiden die Deutschen wirklich an der »German Angst« vor Kernkraft, Gentechnik und Co?

DAS GESPRÄCH FÜHRTE DANIEL LINGENHÖHL. Fukushima lehrte die Deutschen die Angst vor dem Atom. Auch andere Technologien wie die Gentechnik stehen bei uns oft in der Kritik. Sind wir technikfeindlicher als andere Nationen? spektrumdirekt fragte den Soziologen Ortwin Renn von der Universität Stuttgart.

Herr Professor Renn, nach dem Erdbeben und dem Tsunami in Japan dominierte bald das havarierte Kernkraftwerk Fukushima die Berichterstattung in den hiesigen Medien – obwohl es im ersten Fall Tausende von Opfern gegeben hatte, während vom Reaktorunglück anfänglich nur wenige Menschen direkt betroffen waren. War dies eine verständliche Reaktion der Presse?

Ortwin Renn: International nahmen die Medien das Erdbeben und den Reaktorunfall sehr unterschiedlich auf. Hier zu Lande dominierte Fukushima tatsächlich schnell die Schlagzeilen; betrachtete man dagegen BBC, CNN oder internationale Magazine, so standen dort die Tsunamiopfer im Vordergrund. In Deutschland polarisiert die Atomfrage anscheinend die öffentliche Meinung so stark, dass dies alles andere rasch in den Hintergrund drängt.

Ist es tatsächlich so, dass sich die Deutschen mehrheitlich vor

Fortsetzung Seite 4



REINHARD MARSCHA / FOTOLIA

AKTUELLES STICHWORT

Kernschmelze: Wenn der Reaktor zu heiß wird

Was passiert, wenn die Kernbrennstäbe schmelzen?

VON MAIKE POLLMANN

Die Lage der Atomkraftwerke im japanischen Fukushima gerät anscheinend zunehmend außer Kontrolle. Auch wenn es noch keine absolute Gewissheit gibt, wird in drei Reaktoren eine Kernschmelze befürchtet. Was steckt hinter diesem schweren Störfall?

Das kleine ukrainische Städtchen Tschernobyl ist weltbekannt. Der Grund für den Ruhm ist allerdings traurig: Am 26. April 1986 ereignete sich hier der bisher schwerste Reaktorunfall. Ursache war eine totale Kernschmelze. Auch in anderen Reaktoren dieser Welt kam es bereits zu diesem schwerwiegenden Störfall, beispielsweise am 28. März 1979 im Kernkraftwerk Three Mile Island im US-Bundesstaat Pennsylvania. Nun droht dies in Japan am Reaktor Fukushima I nach dem Beben von letzter Woche erneut. Der

Strom in Kernkraftwerken wird – wie auch in anderen Kraftwerken – durch heißen Wasserdampf erzeugt, der eine Turbine antreibt. Statt mit Kohle, Öl oder Erdgas wird die Wärme in einem Atommeiler allerdings meist durch die Spaltung von Uran-235 erzeugt. Im Normalfall werden die bei den Spaltprozessen freigesetzten Neutronen so in Schach gehalten, dass eine kontrollierte Kettenreaktion abläuft.

Meist handelt es sich um sogenannte Leichtwasserreaktoren, in denen Wasser eine Doppelrolle

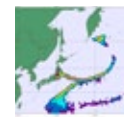
Liebe
Leserin,
lieber
Leser,



das schwere Erdbeben vor Japans Küste am 11. März und der in der Folge havarierte Kernreaktor Fukushima werden uns wohl noch lange beschäftigen. Neben dem akuten Leid der vom Beben und den anschließenden Tsunamis betroffenen Bevölkerung ist völlig ungeklärt, welche Gefahren durch die freigesetzten radioaktiven Spaltprodukte aus dem Meiler drohen. Mit dieser Sonderausgabe fassen wir für Sie die wichtigsten Informationen zusammen und werfen einen Blick auf die Kernkraft allgemein. Auf unserer Sonderseite www.spektrumdirekt.de/japan können Sie die aktuelle Entwicklung weiter verfolgen.

Es grüßt Sie
Daniel Lingenhöhl
Redaktionsleiter spektrumdirekt

IN DIESER AUSGABE:



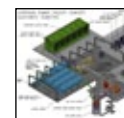
NUKLEARER NOTSTAND
Fukushimas radioaktives Erbe

SEITE 6



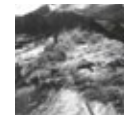
KERNENERGIE
Letzte Ruhestätte für strahlende Altlasten

SEITE 8



ENERGIE
Kernkraftwerk für jedermann

SEITE 13



AKTUELLES STICHWORT
Tsunamis: Wellenberge aus dem Meer

SEITE 15

Fortsetzung Seite 2

FORTSETZUNG VON SEITE 1

Kernschmelze: Wenn der Reaktor zu heiß wird

übernimmt: Es bremst zum einen die Spaltneutronen ab und führt zum anderen die Wärme von den Brennelementen fort – wirkt also als Kühlmittel. Kommt es zu einem Störfall im Kernkraftwerk, werden sogenannte Absorberstäbe in den Reaktor eingefahren, die Neutronen auffangen und dadurch die Kettenreaktion unterbinden.

Doch selbst wenn ein Reaktor abgeschaltet wird, ist die Wärme-Produktion nicht beendet. Denn auch die Spaltprodukte vom Uran zerfallen und erzeugen weiterhin rund acht Prozent der unter Volllastbetrieb erzeugten Wärme, die dann im Weiteren exponentiell abfällt.

Werden die Brennstäbe jetzt nicht ausreichend gekühlt – wenn neben dem regulären Kühlsystem also auch Notsysteme ausfallen wie nun in Japan geschehen –, erhitzen sie sich immer weiter.

Liegen die Temperaturen im Reaktor im Normalfall bei einigen hundert Grad Celsius, können sie nun bis auf einige tausend Grad Celsius ansteigen. Zunächst verdampft das Wasser und legt allmählich die Brennstäbe frei. Die Hüllrohre aus Zirkaloy-Metalllegierung, in denen der Brennstoff in Form von Brennstoffpellets eingeschlossen ist, schmelzen als erstes und geben ihren Inhalt hauptsächlich an gasförmigen Spaltprodukten und Edelgasen frei. Da das Kühlwasser zunehmend verdampft, steigt der Druck in den Behältern, die den Reaktorkern umgeben, stetig an. In Japan leitete man aus diesem Grund eine Druckentlastung ein, indem man Dampf abließ, wodurch jedoch radioaktive Substanzen in die Umwelt gelangten.

Das verdampfte Kühlwasser kann aber auch im Reaktor zur Gefahr werden, denn bei den hohen Temperaturen reagiert der



NATIONAL LAND IMAGE INFORMATION, MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE, TRANSPORT AND TOURISM (PUBLIC DOMAIN)

Wasserdampf mit der inzwischen trockengelegten Metalllegierung der Hüllrohre. Diese Reaktionen heizen den Reaktorkern nicht nur weiter auf, durch sie entsteht im Reaktor auch Wasserstoffgas. Wird dieses Wasserstoffgas jetzt bei einer Druckentlastung in das Reaktorgebäude abgeblasen, so erfolgt eine Wasserstoffexplosion, die sowohl das Stahlcontainment (auch Sicherheitsbehälter genannt) als auch das Reaktorgebäude aus Stahlbeton zerstören kann.

Genau das ist in Japan wohl bereits passiert: Während das Containment, also der äußere Si-

cherheitsbehälter, in Fukushima 1 und 3 noch intakt ist, weist es in Fukushima 2 bereits große Löcher auf. Die Freisetzungen von Spaltprodukten sowie die starken Wasserstoffexplosionen deuten auf ein Versagen von Brennelementen hin und legen eine teilweise Kernschmelze nahe, so Joachim Knebel vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Wie weit diese fortgeschritten ist, wisse man aber nicht. Deutsche Kernreaktoren sind dagegen mit so genannten Wasserstoffrekombinatoren ausgerüstet, die im Reaktorkern eventuell entstehendes Wasserstoffgas gezielt abbrennen

Fukushima I

Luftaufnahme der Anlage aus dem Jahr 1975: Die Blöcke des Kernkraftwerks liegen direkt am Pazifik und beziehen von dort ihr Kühlwasser. Das schwere Erdbeben vom 11. März löste Tsunamis aus, die offensichtlich Teile des Kraftwerks fluteten und dadurch die Stromversorgung lahm legten.

und damit solche Explosionen verhindern.

Fortschreitende Kernschmelze

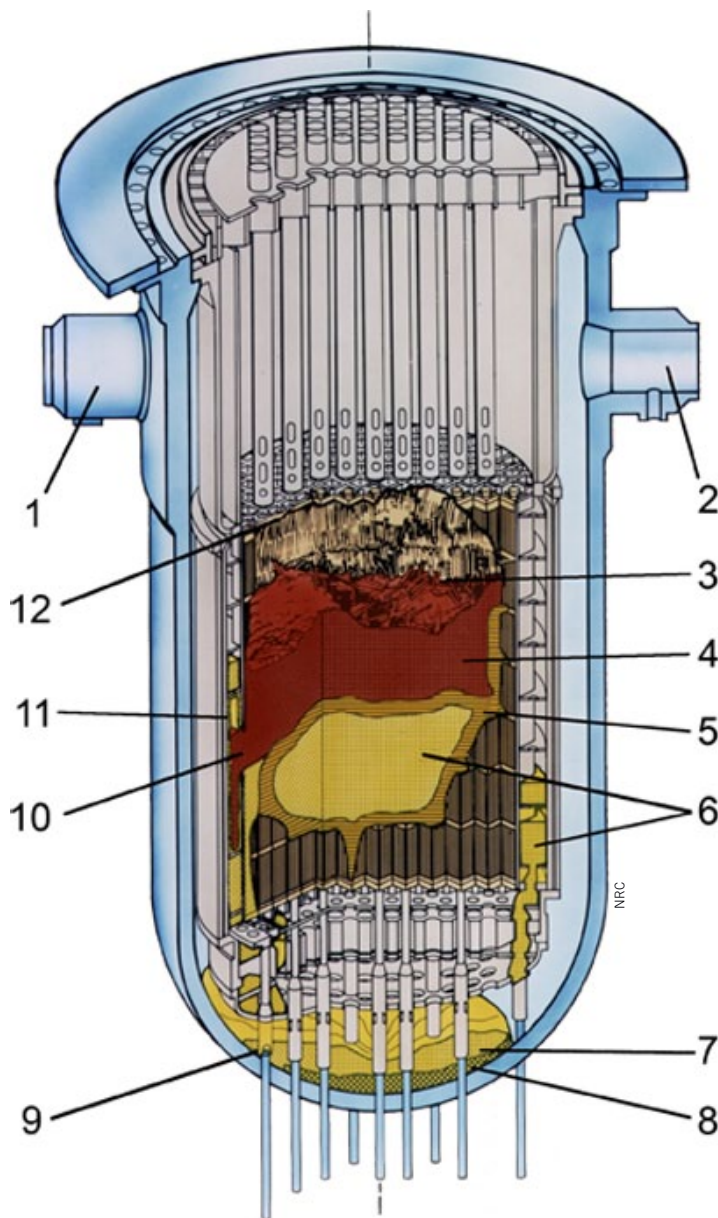
Unabhängig davon, könnte es aber auch hier theoretisch zu einer vollständigen Kernschmelze kommen. Bei Reaktortemperaturen von 2300 bis 2800 Grad Celsius tropft das flüssige Metall-Brennstoff-Gemisch in die untere Kugelkalotte des Reaktordruckbehälters und lässt das restliche Wasser verdampfen. Dabei kann es zu hochenergetischen so genannten Dampfexplosionen kommen, die den Druckbehälter in Mitleidenschaft ziehen können. Doch auch die radioaktive Schmelze allein bedroht auf Grund ihrer enormen Hitze den schützenden Stahlbehälter.

Ohne Gegenmaßnahmen wird das gesamte Kerninventar, das mehrere Kubikmeter an flüssiger Schmelze bedeuten kann, zusammenschmelzen und sich in den unteren Bereich des Reaktordruckbehälters verlagern. Je nachdem welche Systeme im Kernkraftwerk noch intakt sind, können nun verschiedene Szenarien folgen: Herrscht beispielsweise ein hoher Dampfdruck im Reaktorkern und erodiert die

Schmelze gleichzeitig Löcher in den Stahl des Druckbehälters, jagt sie mit großer Wucht durch diese hindurch. Je nach Größe und Lage der Leckagen wird die Kernschmelze in das gesamte Containment geschleudert oder sie sammelt sich in der Reaktorgrube unter dem Druckbehälter.

Neue Kraftwerksgenerationen verfügen über einen »Kernfänger« – eine Vorrichtung, die aus dem Reaktordruckbehälter austretende Schmelze auffangen, stabilisieren und mit Wasser abkühlen würde. Deutsche Kernkraftwerke sind allerdings nicht mit dieser Technik ausgestattet. Hier würde die Kernschmelze nach unten hin auf ein meterdickes Betonfundament treffen. Aber auch Beton schmilzt bei Temperaturen über 1400 Grad Celsius. Je nach Menge der Schmelze und Dicke der Bodenplatte kann diese in mehreren Stunden durcherodiert werden, so Knebel. Allerdings sollte sie sich hierbei allmählich abkühlen, da sie sich mit dem Beton vermischt und sie sich auf eine größere Fläche verteilt.

Hat die Kernschmelze das Betonfundament durchgefressen und gelangt in das Grundwasser, so erstarrt der mittlerweile



Geschmolzener Reaktorkern beim Three-Mile-Island-Unfall

So ungefähr könnte es in dem havarierten Reaktorkern von Harrisburg aussehen:

1. 2B-Anschluss
2. 1A-Anschluss
3. Hohlraum
4. lose Bruchstücke des Kerns
5. Kruste
6. geschmolzenes Material
7. Bruchstücke in unterer Kammer
8. mögliche Uran-abgereicherte Region
9. zerstörte Durchführung
10. durchlöcherter Schild
11. Schicht aus geschmolzenem Material auf Oberflächen der Bypass-Kanäle
12. Beschädigungen am oberen Gitter

Kernkraftwerk

Auch wenn Deutschland - vorerst - weiter den Ausstieg aus der Kernenergie betreibt, so setzen andere Nationen doch auf die Technologie. Neue Reaktoren sind unter anderem in China, Indien, Brasilien, Frankreich, Finnland, Slowakei, Russland, Südkorea und auch den USA geplant.



zähflüssige Schmelzekuchen und wird vom Grundwasser gekühlt. Die Kernschmelze bildet mit dem aufgeschmolzenen Beton einen glasartigen Klumpen. Inwieweit die eingeschlossenen Kernbrennstoffe zurückgehalten werden oder teilweise durch das Grundwasser ausgelaugt und wegtransportiert werden bedarf noch genauerer Untersuchungen, so Knebel. Gelangen die radio-

aktiven Partikel dagegen in die Atmosphäre, verteilen sie sich je nach Wetterlage und Höhe über weite Landstriche – wie im Fall von Tschernobyl erlebt.

In der Geschichte der Atomkraft kam es bereits mehrfach zu partiellen Kernschmelzen, bei denen der Reaktorkern keinen bedrohlichen Schaden nahm. Im amerikanischen Kernkraftwerk Three Mile Island konnte

man den Reaktor noch rechtzeitig durch Wasser kühlen und die Kernschmelze verfestigten. Der Reaktordruckbehälter war zwar angegriffen, aber noch intakt – es gelangte also kein radioaktives Material nach außen. Auf der Internationalen Bewertungsskala für nukleare Ereignisse (INES) rangiert dieser Störfall auf der Stufe 5.

Im ukrainischen Kernkraftwerk Tschernobyl gab es dagegen

kein Containment um den Reaktor. So konnten nach einer Kernschmelze und einem über Tage andauernden Graphitbrand große Mengen an radioaktiven Stoffen entweichen. Deshalb die höchste INES-Stufe 7. Nur eine Stufe niedriger wird derzeit der Störfall im Kernkraftwerk Fukushima I eingestuft, wie die französische Atomsicherheitsbehörde mitteilte. <<



Ortwin Renn

leitet die Abteilung für Technik- und Umweltsoziologie an der Universität Stuttgart und ist Direktor des zur Universität gehörigen interdisziplinären Forschungsschwerpunkts »Risiko und Nachhaltige Technikentwicklung«. Er erforscht den gesellschaftlichen und psychologischen Umgang mit technischen Risiken und Umweltgefahren.

FORTSETZUNG VON SEITE 1

»Technikbildung von Kind an«

Kernkraft fürchten? In anderen Staaten scheint diese Angst weit weniger präsent.

In Deutschland spaltete die Atomenergie von Anfang an die politischen Lager. Die grüne Bewegung beispielsweise ging maßgeblich aus Anti-Atomkraft-Initiativen hervor und bildet bis heute in dieser Frage die prägende politische Kraft der Bundesrepublik. Immer noch eint der Protest gegen die Kernkraft alle Flügel der grünen Partei – von den Realos bis zu den restlichen noch vorhandenen Fundis.

In Ländern mit relativ hohem Wohlstand haben zudem Technologien ein großes Angst einflößendes Potenzial, deren Folgen man nicht sehen, schmecken oder riechen kann – so wie die Strahlung von Kernbrennstoffen. Sie treten an die Stelle von realen Gefährdungen wie bestimmten Krankheiten oder Hunger, die früher die Menschen sorgten, aber heute weniger präsent sind oder gar völlig fehlen.

Ein dritter Punkt lässt sich auf die umstrittene Laufzeitverlängerung zurückführen, die zur Entstehung und Förderung des Wutbürgertums beigetragen hat. Fukushima stellt quasi eine Art Projektionswand dar, auf die Fragen zur Kernkraft wie die verlängerten Laufzeiten oder das fehlende Endlager nochmals abgebildet wurden.

Kernkraft galt lange als Zeichen des Fortschritts: Woraus entwickelte sich der Stimmungsumschwung?

Die Anti-Kernkraft-Bewegung stammt ursprünglich aus den Vereinigten Staaten, von wo sie dann in die Bundesrepublik herüberschwappte: Ihr Ausmaß verlief allerdings immer in Pendelbewegungen und war mal stärker, mal schwächer ausgeprägt. Nach den schrecklichen Atombombenwürfen am Ende des Zweiten Weltkriegs entwarf Dwight D. Eisenhower das so genannte »Atoms for Peace«-Programm – Kernkraft galt plötzlich als Allheilmittel. Das ging sogar so weit, dass man dachte, man müsse gar keine Strommeter mehr einbauen, weil Energie so billig würde. Es war von Atomautos und Atom Schiffen die Rede. Eine unglaubliche Euphorie machte sich breit.

In den 1960er Jahren setzte dann eine Gegenbewegung ein, die diese Versprechungen kritisch hinterfragte und ihre Umsetzung als völlig unreal an zweifelte. Gleichzeitig wurde zunehmend die Macht der großen Konzerne kritisiert, die natürlich zentrale Formen der Energieerzeugung bevorzugten und entsprechend über die Verteilung verfügen konnten. Im Rahmen der Studentenbewegungen bildete dies wunderbare Steilvorlagen, um

auch gegen »großkapitalistische Technik« Einspruch zu erheben.

Diese Einstellung sprang damals auf die deutsche Studentenschaft über und verselbstständigte sich. Mittlerweile hat die deutsche Anti-AKW-Bewegung die US-amerikanische weit überholt – bis hin zur Gründung einer eigenen Partei, die sich explizit gegen Kernkraft wendet.

Gibt es Staaten, in denen die Vorbehalte zur Kernenergie ähnlich stark ausgeprägt sind?

Österreich zum Beispiel stieg 1978 aus der Kernkraft aus. Schweden beschloss Anfang der 1980er Jahre, keine weiteren Kernkraftwerke mehr zu bauen; bereits in Angriff genommene Projekte durften jedoch zu Ende gebaut werden. 2009 erlaubte die Regierung allerdings wieder Neubauten – es erfolgte also gleich zweimal ein Umschwung.

Warum steht die Kernkraft in Frankreich oder Japan lange nicht so stark in Frage wie in Deutschland – selbst nach Fukushima deutet noch nichts auf einen größeren Stimmungsumschwung hin?

Das ist ein Missverständnis: Unsere Untersuchungen zeigen, dass die französische Bevölkerung lange nicht so atomfreundlich

ist, wie immer wieder behauptet wird. Nimmt man nur Fragen zur Risikoeinschätzung und Gefahren der Kernkraft, unterscheiden sich die Antworten zwischen Deutschland und Frankreich kaum.

Die meisten Franzosen vertrauen aber ihren technischen und administrativen Eliten deutlich stärker als wir unseren – nach dem Motto »Ja, Atomkraft ist gefährlich, aber unsere Ingenieure haben das im Griff«. Außerdem gilt Kernenergie mangels anderer Quellen als »heimischer« Energieträger, der den Wohlstand sichert.

Ähnliches trifft auf Japan zu, wo die politische Kultur zusätzlich eine andere ist als in Europa. Offener Protest entwickelt sich dort nur sehr langsam. Nukleartechnologie wird in beiden Ländern also eher geduldet und toleriert, aber sie wird nicht geliebt.

Ist es nicht etwas irrational, wenn hier zu Lande gegen Kernkraft demonstriert wird und alle Meiler sofort abgeschaltet werden sollen, man aber deswegen vielleicht gleichzeitig Strom aus französischen und tschechischen Meilern importieren muss, um den Bedarf zu decken?

Das ist durchaus richtig: Es würde den gesamten Atomausstieg völlig konterkarieren, wenn wir aus der Kernenergie aussteigen, und anschließend müsste man Atomstrom aus Tschechien einführen. Aus ethischer Sicht sollte man dabei aber auch bedenken, dass man selbst nicht etwas »Böses« tun muss, nur weil andere dies genauso handhaben. Ganz pragmatisch gilt es also, eine europäische Lösung für das Problem der Kernenergie zu suchen – oder zumindest dazu beizutragen, dass die Sicherheitsstandards europaweit einheitlich hoch sind. Das fehlt bislang.

Im Ausland wird häufiger von der »German Angst« gesprochen, wenn es um neue Technologien geht: Stimmt es, dass die

Mehrheit der Deutschen generell der Gentechnik, der Nanotechnologie und anderen technischen Innovationen gegenüber skeptisch eingestellt ist?

Ganz so negativ ist es nicht. Was beispielsweise Haushalts-, Unterhaltungs- oder Automobiltechnik angeht, sind die weitaus meisten Deutschen außerordentlich technikfreundlich. Ganz anders sieht es hingegen bezüglich externer Technologien aus, die den Menschen nicht im täglichen Gebrauch geläufig sind. So liegt Deutschland in der Tat europaweit mit an der Spitze, was in Umfragen ermittelte Vorbehalte gegenüber Kern- oder Gentechnik betrifft. Weniger kritisch sieht es wiederum bei der Nanotechnologie aus, bei der die Deutschen im Mittelfeld landen.

Woran liegt das?

Manche Fragen haben eine starke symbolische Erhöhung erfahren – zum Beispiel alles, was mit Strahlungsexposition zu tun hat. Das betrifft nicht nur die Kernenergie, sondern galt sehr lange Zeit auch für die Handystrahlung.

Nahm in den letzten Jahren der Anteil der Menschen zu, die der Hochtechnologie skeptisch gegenüberstehen oder sie sogar völlig ablehnen?

In den 1950er Jahren, den Aufbaujahren, galt alle Technik als Segen. Als diese Modernisierung in den 1960er Jahren weitgehend abgeschlossen war, kamen die ersten Stimmen auf, die sie eher als Fluch betrachteten. Seitdem hält sich der Prozentsatz der so eingestellten Menschen jedoch auf relativ konstantem Niveau. Zwischen 5 und 9 Prozent der Bevölkerung lehnen großtechnische Neuerungen völlig ab, weitere 20 Prozent verhalten sich ambivalent und stimmen je nach allgemeiner Stimmung dafür oder dagegen. Diese Meinungen hat es jedoch schon immer gegeben:

Denken Sie nur an die Kritik, die den ersten Automobilen oder den Gasleuchten in den Städten entgegenschlug. Sie zeigte aber damals kaum Wirkung, weil Innovationen von den Eliten schlicht durchgesetzt wurden.

Auf Grund der großen Freiheit, die wir in unseren Gesellschaften heute genießen, räumt man nun auch Minderheitsmeinungen breiten Raum ein. Dadurch entsteht der Eindruck, dass die Zahl der Technikskeptiker gestiegen ist. Unsere Zahlen geben das jedoch nicht her. Außerdem hat nicht jeder Gentechnikgegner auch etwas gegen Kernkraft oder Großcomputer und umgekehrt. Die Meinungen sind sehr heterogen verteilt.

Wenn zumindest Teile der Bevölkerung manchen Technologien gegenüber sehr kritisch eingestellt sind oder Neuerungen skeptisch gegenüberstehen und dies so lautstark kundtun, dass es die öffentliche Wahrnehmung dominiert: Was bedeutet dies für die Zukunftsfähigkeit eines Industrielands?

Es ist klar, dass viele wichtige Innovationen hier zu Lande verschlafen werden und nicht kommen, wenn wir einer um sich greifenden Technikfeindlichkeit nicht entgegenwirken. Es geht dabei nicht einmal primär um Kern- oder Gentechnik, sondern fängt bereits bei vergleichsweise kleineren Projekten an – wenn sich zum Beispiel gegen den Bau neuer Pumpspeicherkraftwerke oder Stromnetze ebenfalls Widerstand regt. Das kann für die Wirtschaft und unsere Infrastruktur zum Problem werden. Unsere Planungsverfahren müssen deshalb entschlackt werden – was auch funktioniert, ohne dass deshalb die Bürgerbeteiligung auf der Strecke bliebe.

Wie lassen sich Technikängste abbauen? Müsste man mehr tun, um das Ansehen der Hochtechnologie allgemein zu verbessern?

Die Technikbildung sollte auf jeden Fall bereits früher einsetzen: Sie sollte im Kindergarten, in der Grundschule und in höheren Schulklassen verankert werden. Technik bleibt den meisten Menschen bislang etwas Fremdes, sofern sie keine entsprechenden Fächer studieren. Selbst beliebte Technologie wie die Konsumtechnik – Computer, Handys – wird zwar genossen, wie sie funktioniert, bleibt aber für viele ein Buch mit sieben Siegeln.

Leider existiert eine gewisse Technikferne, die von bestimmten intellektuellen Kreisen sogar gepflegt wird und die die Diskussion bisweilen bestimmt. Das ist problematisch, denn wir leben in einer technisch orientierten Kultur – was häufig übersehen wird. Eine Erziehung zu Technikaufgeschlossenheit und -mündigkeit wäre deshalb nötig. Das heißt nicht, dass man Technologie kritiklos gegenüberstehen und blind akzeptieren soll. Man kann aus guten Gründen gegen Kernenergie sein, doch sollte dies auf Basis guter wissenschaftlicher Begründungen erfolgen und nicht aus reiner Emotionalität.

Sollten wir mehr Ingenieure auf Stippvisite in die Schulen schicken?

Das wird bereits gemacht: Es gibt Initiativen wie »Ingenieure an die Schulen«, »Haus der kleinen Forscher«, »Wissensfabrik« und viele ähnliche Programme. Einmalige Veranstaltungen bringen nach unseren Erfahrungen jedoch überhaupt nichts. Sie müssen eingebettet sein in eine kontinuierliche Technikbildung. Es reicht nicht aus zu zeigen, wie Technik funktioniert. Man muss ebenso ihren Stellenwert für die Wirtschaft und die Gesellschaft des Landes verdeutlichen. Und wir brauchen Vorbilder oder Paten aus Wissenschaft und Technik, quasi um den Technologien auch ein menschliches Gesicht zu geben. <<

Herr Renn, wir danken Ihnen für das Gespräch.

NUKLEARER NOTSTAND

Fukushimas radioaktives Erbe

VON DECLAN BUTLER

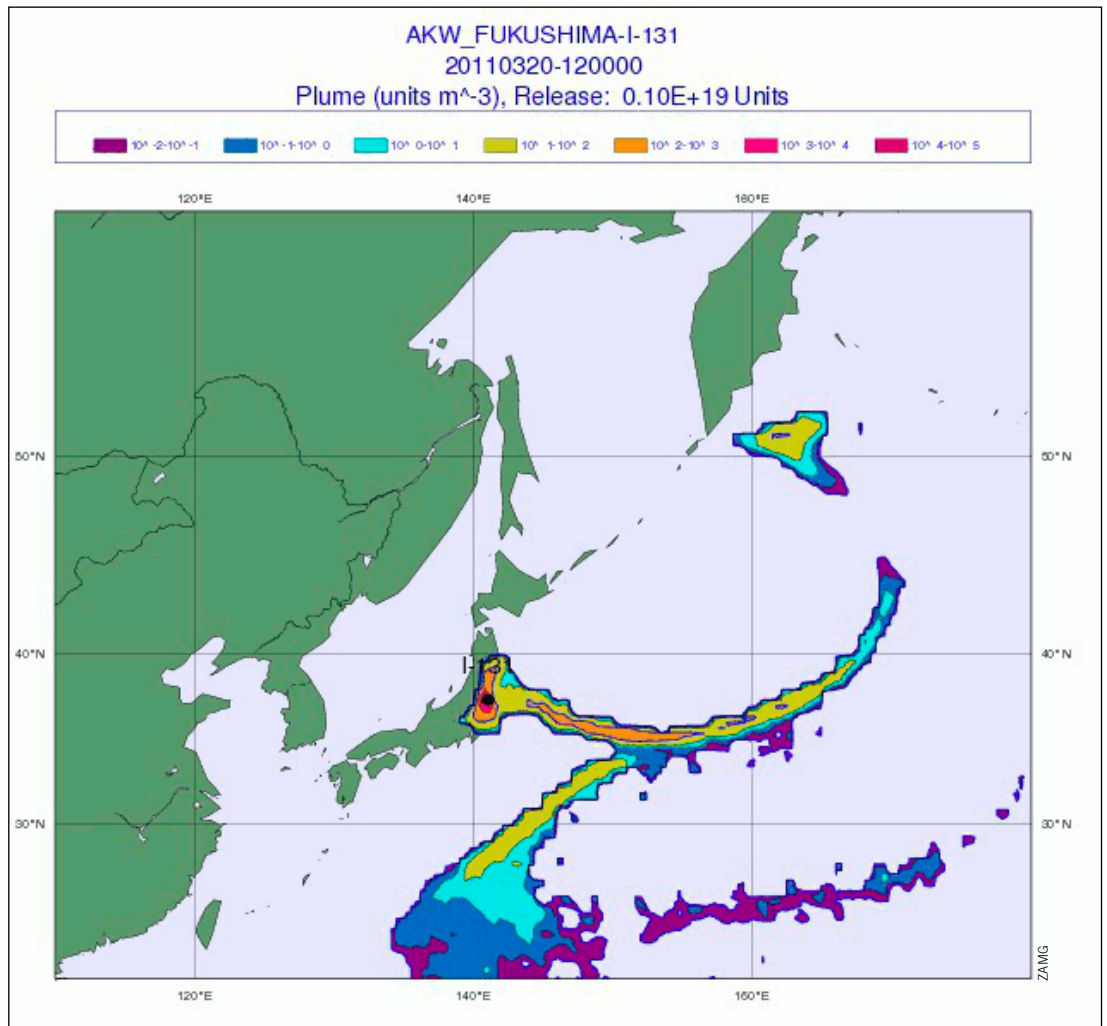
Noch ging radioaktiver Fallout in Japan nur lokal nieder – doch einige Regionen dürften auf Jahrzehnte verstrahlt bleiben.

Der havarierte japanische Kernreaktor Fukushima gab in der letzten Woche kaum gute Nachrichten her. Die jüngsten Daten über die Radioisotope, die seit Beginn der Krise am Kernkraftwerk freigesetzt wurden, bieten jedoch ein wenig Anlass zur Hoffnung. Denn die bisherigen Messungen zeigen, dass der Reaktor zwar bereits mehrfach hohe Strahlungsdosen an die Umwelt abgegeben hat, gefährlich belastet sind bislang jedoch nur wenige, eng umgrenzte Flächen nordwestlich der Anlage. Mittlerweile emittiert Fukushima zudem deutlich weniger Radionuklide als nach den ersten Explosionen in den einzelnen Reaktorblöcken – vorerst bleibt allerdings noch ungewiss, wie sich die Lage weiterentwickelt.

»Insgesamt besitzen wir noch zu wenige Daten. Und die, die wir erhalten, sind lückenhaft«, sagt Jim Smith, ein Umwelphysiker an der University of Portsmouth. Immerhin ergreifen die Japaner nun die richtigen Vorsichtsmaßnahmen: Die Regierung habe rasch die Evakuierungszone rund um den Reaktor erweitert und Landwirtschaft sowie Fischfang in den am schlimmsten betroffenen Gebieten verboten, so der Wissenschaftler.

Günstige Geografie

Dass die Folgen des Reaktorunglücks bislang relativ begrenzt sind, verdankt Japan seiner Geografie: Erste Schätzungen gehen davon aus, dass in Fukushima bis jetzt etwa ein Zehntel des radioaktiven Materials freigesetzt wurde, das beim Tschernobyl-Unglück 1986 in die Umwelt gelangt war.



Günstige Winde haben das meiste davon hinaus auf den Pazifik geweht. So gab die österreichische Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Wien letzte Woche bekannt, dass sich radioaktive Isotope aus Fukushima mittlerweile über die gesamte Nordhalbkugel verteilt haben – insgesamt gingen außerhalb Japans jedoch nur vernachlässigbare Mengen an Radionukliden wie Jod-131 und Zäsium-137 nieder. Beide Isotope bilden den größten Teil der »radioaktiven Wolke«. Von

Tschernobyl aus breitete sich dagegen der Fallout über große Teile Europas aus.

Aus den beschädigten Reaktoren von Fukushima gelangen jedoch immer noch radioaktive Elemente in die Umwelt. Auch wenn es gelingt, diese Emissionen zu stoppen, die langfristigen Folgen für Japan hängen vor allem davon ab, welche und wie viele radioaktive Isotope an Land niedergehen. Besonders die Zäsium-137-Konzentration entscheidet wesentlich darüber, welche Gebiete zukünftig erst einmal nicht

Exklusive Übersetzung aus

nature

Ausbreitung der radioaktiven Wolke über Ostasien

Rot sind Gebiete gekennzeichnet, die seit Beginn des Unfalls bis zum 20. März mit einer Effektivdosis von maximal 100 Millisievert pro Stunde belastet waren. Violett zeigt maximal 100 Nanosievert pro Stunde an. Dieser Wert ist, selbst über ein Jahr summiert, niedriger als die natürliche Belastung, der jeder Mensch ausgesetzt ist.



PICTURE ALLIANCE/DPA

mehr bewirtschaftet oder bewohnt werden dürfen: Das Isotop besitzt eine Halbwertszeit von 30 Jahren.

Am letzten Sonntag meldete die Internationale Atomenergiebehörde (IAEA), dass in 16 von Japans 47 Regierungsbezirken täglich weniger als 860 Becquerel pro Quadratmeter (Bq/m^2) Jod-131 und rund $100 \text{ Bq}/\text{m}^2$ Zäsium-137 niedergingen – zum Vergleich: Nach Tschernobyl gingen in Teilen Süddeutschlands bis zu $100\,000 \text{ Bq}/\text{m}^2$ Radionuklide nieder. Zwischen dem 18. und dem 25. März hatte sich zudem in 28 Bezirken die Radioaktivität nicht erhöht, wie die IAEA weiter berichtet. Unmittelbar nordwestlich von Fukushima, in der Präfektur Yamagata, maß die Behörde jedoch eine deutlich stärkere Kontamination: $7500 \text{ Bq}/\text{m}^2$ Jod-131 und $1200 \text{ Bq}/\text{m}^2$ Zäsium-137 – beides übersteigt weit die maximalen Grenzwerte

für den Anbau von Blattgemüse. Für Fukushima selbst lagen noch keine Ergebnisse vor, doch kann man dort ebenfalls hohe Strahlendosen erwarten.

Unregelmäßiges Strahlungsbild

Das US Department of Energy sammelte ebenfalls Daten aus der Luft, welche die Erhebungen der IAEA bestätigen. Ein Flug über die Region am 22. März etwa zeigte, dass sich der Fallout vor Ort nicht verstärkt hatte – obwohl der Wind zwischenzeitlich landeinwärts wehte. Es kam also nicht zu einer verstärkten zusätzlichen Ablagerung von Radionukliden.

Bislang beschränken sich die stärksten Radioaktivitätswerte am Boden – mehr als $0,125$ Millisievert pro Stunde (mSv/h) – auf ein schmales Band innerhalb von 40 Kilometern nordwestlich von Fukushima. Nirgends überschritten die Werte $0,3 \text{ mSv}/\text{h}$ – eine

Dosis, die bei längerer Exposition zu gesundheitlichen Schäden führt. An einigen Stellen könnte sich die Belastung jedoch über das Jahr hinweg auf 1000 Millisievert summieren und die Strahlenkrankheit auslösen, die mit Übelkeit, Haarausfall und einer verringerten Zahl an weißen Blutkörperchen einhergeht.

Innerhalb der 20 Kilometer breiten Evakuierungszone um den Reaktor betragen die Strahlungswerte großflächig weniger als $0,012 \text{ mSv}/\text{h}$; über das Jahr gesehen entspräche dies einer Belastung von etwa 100 mSv – fünfmal mehr, als ein Angestellter in einem Kernkraftwerk hier zu Lande pro Jahr abbekommen darf. Das insgesamt unregelmäßige Strahlungsbild spiegelt den Einfluss von Wind und Regen wider, die die Isotope über dem Land verteilt haben. Smith zeigte sich angesichts der Daten sogar »erleichtert«, da sich andeutet,

Zerstörte Reaktoren von Fukushima

Die Aufnahme aus der Luft zeigt deutlich, wie schwer die Reaktoren von Fukushima I beschädigt sind – drei der vier Reaktorblöcke liegen in Trümmern, Dampf steigt aus zwei Meilern auf.

dass die Kontamination rund um Fukushima viel niedriger ausfallen könnte als in Tschernobyl.

Dennoch kann zum jetzigen Zeitpunkt natürlich nicht erwartet werden – zumal einige Stellen außerhalb der Evakuierungszone extrem hohe Verseuchungswerte zeigen. Bodenproben, die am 20. März 40 Kilometer nordwestlich der Anlage entnommen wurden, wiesen laut dem japanischen Wissenschaftsministerium Zerfallsraten von 163 000 Becquerel pro Kilogramm (Bq/kg) Zäsium-137 und 1 000 000 Bq/kg Jod-131 auf. Die zulässigen Grenzwerte für landwirtschaftliche Nutzflächen liegen normalerweise bei wenigen 100 Becquerel pro Kilogramm. »Sollte es sich bestätigen, dass örtlich so viel Zäsium-137 im Boden vorliegt, dass die Strahlung mehr als 100 000 Bq/kg beträgt, müssten diese Gebiete wohl dauerhaft evakuiert werden«, warnt Smith. Mehr als 200 000 Menschen haben eine 20 Kilo-

meter breite Zone rund um den Reaktor verlassen. Allen Bewohnern eines daran anschließenden, zehn Kilometer breiten Streifens riet die Regierung am 25. März, die Region freiwillig ebenfalls zu verlassen.

Gefahr für das Meer?

Die Verteilung großer Mengen an Radionukliden über das offene Meer bewahrte das Land vor einer noch gravierenderen Kontamination – jedoch zu einem gewissen Preis: So maß das japanische Wissenschaftsministerium rund 30 Kilometer vor der Küste hohe Jod-131- (24,9 bis 76,8 Becquerel pro Liter) und Zäsium-137-Werte (11,2 bis 24,1 Bq/l). Und die IAEA erfasste mit 74 000 Bq/l Jod-131 und 12 000 Bq/l Zäsium-134 und Zäsium-137 extrem hohe Belastungen im unmittelbaren Umfeld der Auslassrohre des Kraftwerks. Normalerweise dürfen Atommeiler nicht mehr als 4000 Bq/l ins Meerwasser abgeben. Die japanische Regierung hat deshalb

jeglichen Fischfang im Umkreis von 20 Kilometern im Meer vor Fukushima verboten.

Der in Japan als Speise beliebte Seetang und Meerestiere können Radioisotope aus dem Wasser in ihrem Gewebe anreichern. Deshalb müsse man ihren Weg durch die Nahrungskette verfolgen, betont Timothy Mousseau, der als Radioökologe an der University of South Carolina in Columbia arbeitet. »Das Meer wurde umfassend verschmutzt. Ich nehme aber an, dass sich die Belastung bald großflächig verteilt und stark verdünnt, so dass die Folgen begrenzt sein sollten«, fügt Smith hinzu.

Eine neue Gefahr droht mittlerweile allerdings durch hochradioaktives Wasser, das die Fundamente des Reaktors geflutet hat und nun stellenweise mit bis zu 1000 mSv/h strahlt – eine potenziell tödliche Dosis. Dieses Wasser sickert nun in Rohrschächte, die weniger als 70 Meter vom Meer entfernt durch die Anlage führen: Das Risiko, dass das Meer oder

das Grundwasser stark kontaminiert werden, steigt also. Mittlerweile wurde im Ozean nahe den Meilern auch eine Belastung mit radioaktivem Jod gemessen, die 3355-fach über den erlaubten Grenzwerten liegt.

Solange aus dem Kernkraftwerk radioaktive Isotope entweichen, wächst die Belastung von Mensch und Umwelt. Sollten die Emissionen jedoch bald gestoppt werden, sinkt die Strahlenbelastung zumindest in der Atmosphäre rasch ab – ebenso wie jene durch kurzlebige Isotope am Boden: Ein großer Teil der freigesetzten Radioaktivität geht auf Jod-131 zurück, das eine Halbwertszeit von nur acht Tagen hat. Prinzipiell ist es für eine Entwarnung aber zu früh, denn es kann noch Wochen oder Monate dauern, bis der kaputte Reaktor wieder komplett im Griff ist – und Jahre, bis einzelne mit langlebigen Radionukliden verseuchte Gegenden im Norden Japans wieder bewohnbar sind. <<

KERNENERGIE

Letzte Ruhestätte für strahlende Altlasten

Was wäre das sicherste Endlager für nukleare Abfälle?

VON SABRINA HÜTTERMANN

Für eine Million Jahre soll radioaktiver Müll im Erdboden eingeschlossen werden. Doch Fragen über dessen sichere Lagerung erhitzen die Gemüter: Es herrscht ein diffuses Bild über die Tatsachen der nuklearen Endlagerung in Deutschland. Die Frage der wissenschaftlich-technischen Machbarkeit rückt dabei zu oft in den Hintergrund.

Die Suche nach einem Endlager für den nuklearen Abfall hat hier zu Lande längst die Expertengremien verlassen, potenzielle Standorte wurden wiederholt durch den politischen Fleischwolf gedreht und mit meinungsstarken Aussagen gewürzt. Dabei ist eine Lösung des Problems dringend nötig: Bis zum Laufzeitende aller deutschen Kernkraftwerke entsteht eine Abfallmenge von 17.000 Tonnen radioaktiver

Schwermetalle in Form von abgebrannten Brennelementen und 280.000 Kubikmeter mit schwach- bis mittelradioaktivem Müll – ein Volumen, das rund 100 Olympiaschwimmbecken entspricht. Und erst in diesem Jahr hatte die Europäische Union einstimmig beschlossen, den nuklearen Abfall jeweils im Land, in dem er angefallen ist, unter die Erde zu bringen – und zwar sicher für die nächsten eine Mil-

lion Jahre. Als Richtwert dient das in der Natur nur extrem selten vorkommende, hochgiftige Plutonium mit ebendieser langen Halbwertszeit.

Immerhin: Deutschlands schwach- bis mittelradioaktiver Abfall findet ab 2013 seine – vielleicht vorerst – letzte Ruhe im Schacht Konrad, einem stillgelegten Erzbergwerk in Salzgitter. Und ein Blick ins Ausland offenbart mögliche Ansätze für

den hochradioaktiven Rest: In Schweden soll der strahlende Müll in Granitformationen unter die Erde gebracht werden, die Schweiz bevorzugt hierfür Tonsteine. Da bisherige Einlagerungsversuche wie jene im Forschungslager Asse in der Bundesrepublik jedoch fehlschlagen, hält sich in der deutschen Bevölkerung bislang eine große Skepsis. Kann es daher für die hiesige unendliche Geschichte der Endlagerung eine



DBE

realistische Lösung geben?

»Differenzierte sachliche Darstellung«

»Die Diskussionen über eine sicherer Endlagerung in Deutschland sind von der Realität abgekoppelt. Deshalb werbe ich für eine differenzierte sachliche Darstellung«, betont Dirk Bosbach vom Forschungszentrum Jülich. »Die Asse sieht aus wie ein Schweizer Käse. So etwas würde man für ein nukleares Endlager natürlich nicht haben wollen«, führt er aus. Der Mineraloge beschäftigt sich an seinem Lehrstuhl mit Sicherheitsforschung sowie Reaktortechnik und weiß um das Kernproblem, das sich bei der Asse stellt: Eindringendes Grundwasser schwemmt Salz aus dem ehemaligen Bergwerk und

gefährdet die Stabilität der Kammern mit den bereits eingelagerten schwach- und mittelradioaktiven Fässern. »Momentan kann die Situation noch kontrolliert werden«, so Bosbach. Die Wassermassen werden stetig abgepumpt, ungewiss bleibt jedoch, wie lange die Menge an Wasser konstant und damit beherrschbar bleibt. Nun wird über eine komplizierte Rückholung des eingebrachten nuklearen Abfalls nachgedacht.

Ganz anders stelle sich dagegen die Situation in Gorleben dar, das für hochradioaktiven Abfall ernsthaft in Erwägung gezogen wird. Der dortige Salzstock ist mit einer Fläche von 40 Quadratkilometern der größte Salzstock Niedersachsens. »Man müsste in dem riesigen Gorlebener Salzstock nur

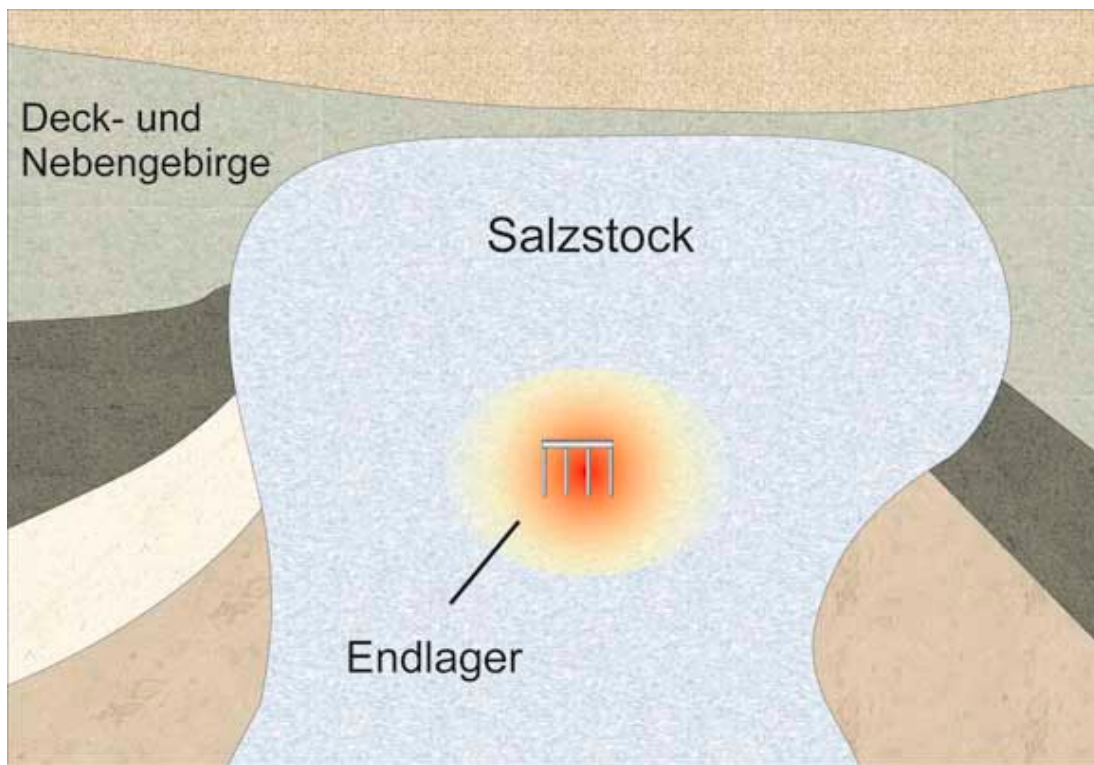
kleine Hohlräume schaffen, in die man ein verhältnismäßig kleines Volumen von nuklearem Müll einbringt«, meint Bosbach - und weist Kritik am angeblich unzureichenden Deckgebirge zurück: Diese Gesteinsschichten, die von der eigentlichen Lagerstätte bis zur Erdoberfläche reichen, dichteten den Salzstock hinreichend gegen die Außenwelt ab, so der Fachmann.

Detlef Appel, Geologe und Mitglied der 2002 aufgelösten Arbeitskommission Endlager (AkEnd) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, sieht sich dagegen in den lauter werdenden Stimmen, die die Stabilität des Deckgebirges bemängeln, bestätigt: »Das Gebirge am Salzstock

Gorlebener Salzstock

Der Salzstock in Gorleben gilt als umstrittene Lösung in der Endlagerfrage.

Gorleben bietet keinen ausreichenden Beitrag zur Zurückhaltung von austretenden Radionukliden.« Der Grund liege in der geologischen Vergangenheit des Gebiets, so der Experte: In früheren Eiszeiten trug die Erosion immer wieder große Teile der schützenden Deckschichten ab. Sollte es wieder zu einem Gletschervorstoß mit entsprechender Erosion kommen, könne das Eindringen von Oberflächenwasser und damit die Auswaschung des Salzstocks nicht mehr ausgeschlossen werden. Die Entscheidung für den Standort Gorleben



Schema des Salzstocks

Isolation radioaktiver Abfälle in einem Salzstock; schematisch dargestellt ist die Erwärmung des Wirtsgesteins infolge Einlagerung hochaktiver Abfälle nach dem Ende der Einlagerungsphase.

als einziges Endlager sei laut dem Geologen »allein auf Papierbasis« getroffen worden. Er ist überzeugt: »Ich halte es auf Grund der erdgeschichtlichen Entwicklung für schwierig, Gorleben als Endlageroption aufrechtzuerhalten.«

Salzstöcke als Ideallösung

Bei der Wahl des Wirtsgesteins, den Formationen, die den radioaktiven Abfall umgeben sollen, sind sich die beiden Wissenschaftler allerdings einig. Steinsalz leitet im Gegensatz zu den Alternativen Tonstein und Granit Wärme besser und kompensiert so die entstehende Hitze beim fortschreitenden radioaktiven Zerfall. Überdies verhält sich das Salz unter Druck plastisch: Es kann damit Risse verringern und den Abfall komplett umschließen. Bleibt das schlechte Verhalten bei Wassereintritt. »Wenn es eine negative Eigenschaft des Gesteins gibt, schließt das die Option dennoch nicht aus, wenn der Rest stimmt«, bedeutet Bosbach. Dem setzt sein Kollege Appel entgegen: »Ein schwaches Deckgebirge kann durch technische Maßnahmen nicht kompensiert

werden.«

Sein Rezept für eine sichere Endlagerstätte besteht aus den Kriterien, die er 2002 gemeinsam mit Kollegen im AkEnd vorgestellt hat, die die Politik jedoch nie umsetzte: Die Endlagerung erfolgt nach diesen Maßstäben in tiefen geologischen Formationen zwischen 300 Metern und bis zu eineinhalb Kilometern. Ein Salzstock als Wirtsgestein soll eine Mindestausdehnung von drei Quadratkilometern haben, um resistent gegen Spannung im Gestein zu wirken, was Risse und den daraus resultierenden Eintritt von Flüssigkeiten verhindert hilft. Und das vorhandene Gestein darf nur eine äußerst geringe Durchlässigkeit für Wasser besitzen.

Untersuchungswürdige Standorte

All dies erfüllt Gorleben eigentlich. Trotzdem zieht Appel alternative Salzstöcke in Betracht und fordert daher eine Öffnung des Verfahrens: »Andere Salzstöcke im norddeutschen Tiefland sind im Hinblick auf das Deckgebirge viel besser geeignet.« Seine Aussage basiert auf einer Studie der Bun-

desanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) aus dem Jahr 1995, die vier Standorte identifizierte: Gülze-Sumte, Bad Zwischenahn, Wahn im Emsland und Waddekath. Auf Grund massiver Proteste aus der Bevölkerung sah die damalige Bundesregierung jedoch von deren Erforschung ab und hält bis heute an Gorleben fest. Ähnliche Proteststürme schränken die Forschung an Tonsteinen in Süddeutschland ein. »Es gibt dort Tonsteinformationen, die grundsätzlich in Frage kommen – das sind die gleichen Formationen, die zur nuklearen Endlagerung von den Schweizern intensiv erkundet werden«, erklärt Appel. Das Schweizer Vorgehen und der Einbezug der Bevölkerung in den Entscheidungsprozess sieht er als Vorbild und bezeichnet es als »eine Ironie, dass gerade im Grenzbereich zu Deutschland die Schweiz ein Verfahren anwendet, wie es von Deutschland im AkEnd entwickelt, aber nie eingesetzt wurde«.

Neue Forschungsansätze für altes Problem

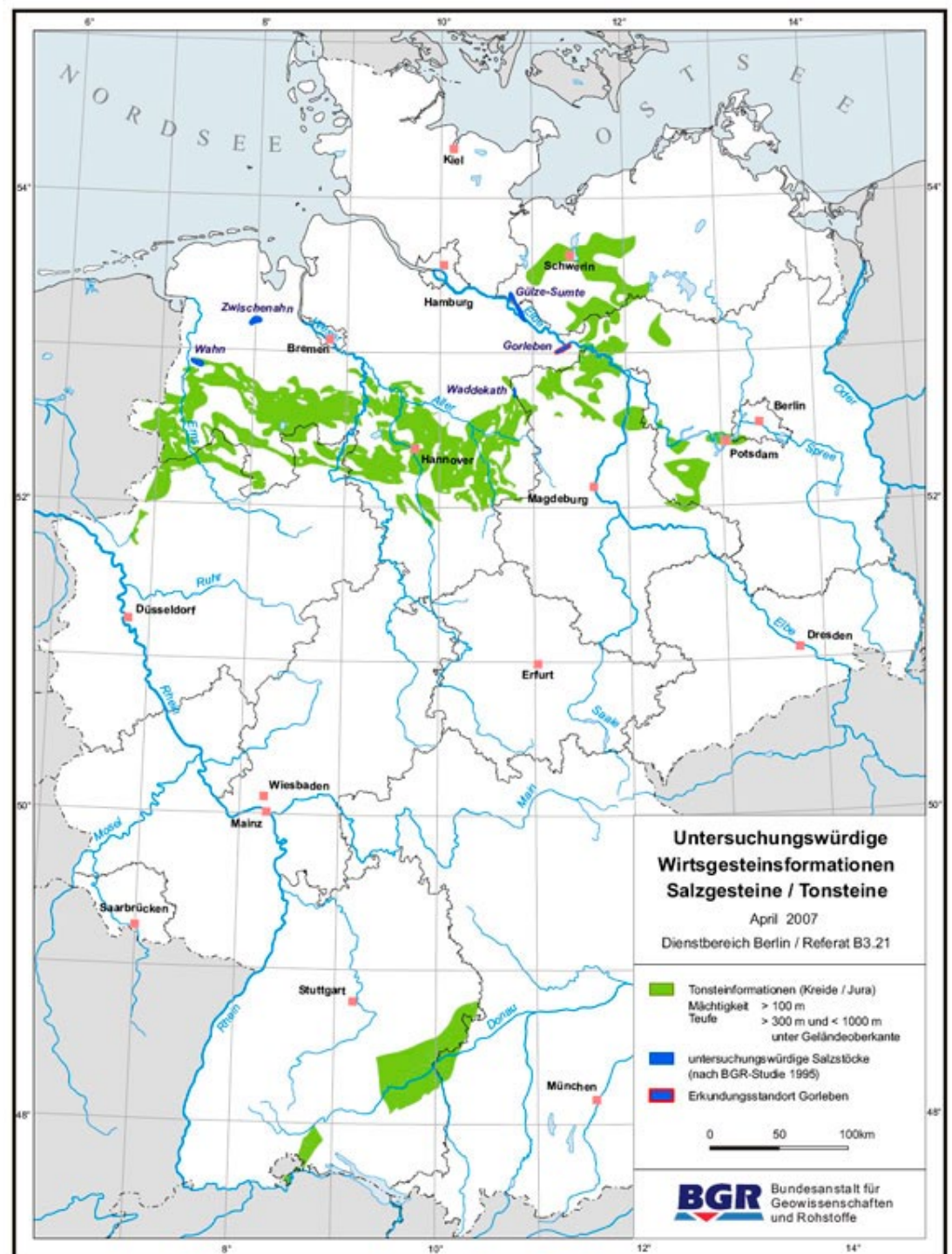
An völlig neuen technischen Ver-

fahren zur sicheren Endlagerung forscht Bosbach an seinem Institut. Sein Team beschäftigt sich mit der Transmutation des toxischen Abfalls: Langlebige Radionuklide, die so genannten Actinoide, sollen aus Kernbrennstoffen abgetrennt und speziell konditioniert werden – eine Kernreaktion wandelt sie in kurzlebige Elemente um. »Die Lebensdauer von den gefährlichen Isotopen ließe sich dadurch von einer Million Jahre auf einige tausend Jahre verkürzen – eine überschaubare Zeit aus Menschensicht«, so Bosbach. Bis heute gibt es jedoch noch keine große Transmutationsanlage zur Beseitigung nuklearer Abfälle, denn Actinoide lassen sich noch nicht sortenrein aus dem radioaktiven Abfall herausfiltern.

Neben Experimenten nutzt Bosbachs Institut für seine Zukunftsvoraussagen zur Endlagersicherheit auch Beispiele aus der Natur – etwa Oklo in der afrikanischen Republik Gabun. In dieser Uranlagerstätte startete vor zwei Milliarden Jahren unter der Erdoberfläche eine natürliche Kettenreaktion und schuf so einen Kernreaktor, der über 500

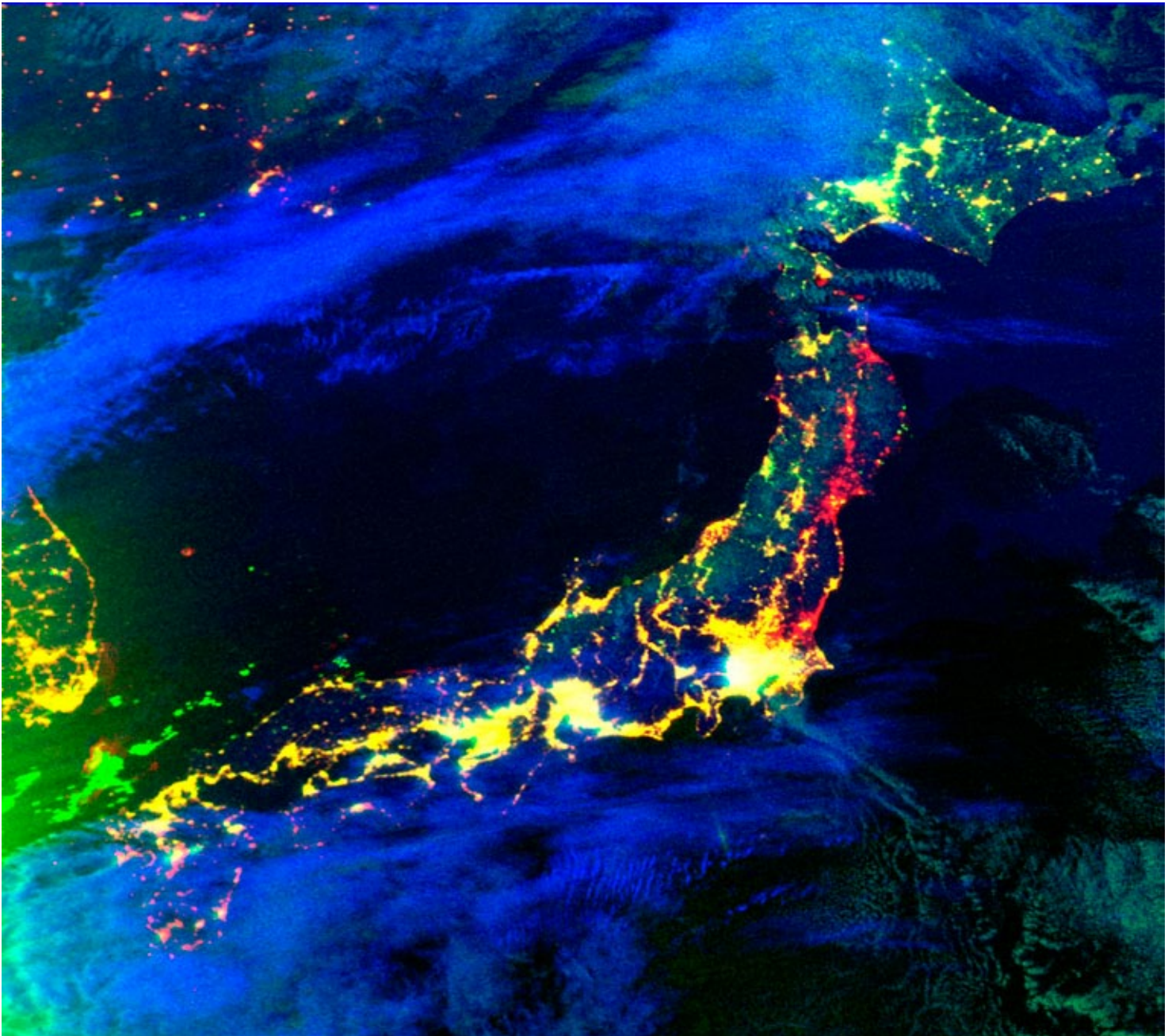
000 Jahre lang strahlendes Plutonium erzeugte, ohne dass die Biosphäre kontaminiert wurde. »Konkret lässt sich aus diesem natürlichen Beispiel ableiten, dass radioaktive Substanzen - speziell Plutonium - sicher für lange Zeiträume in tiefen Formationen gelagert werden können«, schließt der Sicherheitsforscher. Appel schwächt diese Aussage jedoch ab: Was man aus natürlichen Beispielen ableiten könne, sei einzig das Prozessverständnis. »Für die konkrete Umsetzung von Endlagerplänen ist der Fall Oklo nicht relevant und auf deutsche Verhältnisse schwer übertragbar. Bei dem natürlichen Kernreaktor in Gabun handelt es sich um poröse Sandsteinformationen, die sich äußerst wasserdurchlässig verhalten«, erläutert er.

Das deutsche »Oklo« stellen sich die Wissenschaftler als eine Symbiose aus einem Mehrbarrierensystem vor: Der strahlende Abfall wird zuerst durch eine technische Begrenzung wie schwer lösliche Keramikhüllen und Lagerbehälter aus Kupfer isoliert, die langsamer korrodieren. Bis zu 10 000 Jahre halten diese Maßnahmen nachgewiesenermaßen äußeren Einflüssen wie eindringendem Wasser stand. Danach beeinflussen die natürlichen Barrieren, etwa die Geologie, die Langzeitsicherung. Sie bestimmen die Zeit, die nach einem Bruch der technischen Barriere noch verbleibt, bevor Radionuklide durch Grundwasser in die Biosphäre gelangen. Bosbach schließt daraus: »Aus technisch-wissenschaftlicher Sicht bin ich überzeugt, dass der sichere Einschluss von nuklearem Abfall tatsächlich gewährleistet werden kann und verantwortbar ist.« <<



Untersuchungswürdige Standorte

Karte der untersuchungswürdigen Steinsalz- und Tonsteinformationen in Deutschland, die im Jahr 1995 von der BGR aufgestellt wurde.



EINBLICK

Der Tag danach

Am Tag nach dem schweren Beben und dem Tsunami waren nicht nur weite Teile Nordost-Japans verwüstet – auch der Strom fiel aus. Auf den ersten Blick scheint der Inselstaat zwar hell erleuchtet, doch das trägt. Denn das Bild beruht auf zweierlei Daten: Die Basis sind die ständigen Lichtquellen, die im Jahr 2010 von

Satelliten der NOAA aufgezeichnet wurden. Diese wurden verknüpft mit Aufzeichnungen vom 12. März 2011.

Gelb gekennzeichnet sind nun jene Lichtquellen, die sowohl 2010 als auch nach dem Beben leuchteten. In den rot markierten Gebieten blieb es nach der Katastrophe dunkel. Betroffen ist vor allem die Region um die nordöstlich von

Tokio (deutlich erkennbar am »Knie« von Honshu) gelegene Stadt Mito, wo nur noch im Zentrum die Stromversorgung funktionierte, sowie die Region um Sendai (als weiteres Zentrum nördlich davon erkennbar) und die nördlich davon liegenden Städte weiter im Landesinneren.

Eine Aufnahme vom 13. März zeigt, dass der Norden

relativ schnell wieder ans Netz ging und sich auch um Mito die Situation bereits entschärfte. Das Gebiet um Sendai jedoch blieb immer noch in weiten Teilen ohne Licht. (af)

<<

ENERGIE

Kernkraftwerk für jedermann

Miniatommeiler sollen zukünftig den Strommix ergänzen

VON JAN BORNEBUSCH

Steht die Kernenergie vor einer großen Wiederkehr? Minireaktoren für den Hinterhof sollen sauber und sicher Strom produzieren.

Vor 50 Jahren nahm Deutschland sein erstes Versuchskernkraftwerk in Kahl in Betrieb. Seitdem wurden die Kontroversen um die Energie aus dem Atom nicht geringer - im Gegenteil: Zum Unmut vieler Menschen hat die gegenwärtige Bundesregierung nun die Laufzeiten der deutschen Atommeiler um durchschnittlich zwölf Jahre verlängert, an dem von ihren Vorgängern beschlossenen langfristigen Atomausstieg hält sie aber vorerst weiter fest. Andere Staaten rüsten sogar noch weiter auf und bauen neue Reaktoren.

Um diese Nachfrage weiter zu steigern, erweitern einige Technologiekonzerne ihr Angebot im Bereich Kernkraft und setzen nun auch verstärkt auf Anwendungen im Low-Budget-Segment. Ihre Zielgruppe sind abseits gelegene Gemeinden, Minen, Forschungsstationen oder Entwicklungsländer. Sie wollen sich dazu ein Dilemma im gegenwärtigen Energiemix zu Nutze machen: Energie aus regenerativen Quellen ist oft noch teuer und technisch nicht immer ausgereift oder hat unerwünschte ökologische Nebenwirkungen. Fossile Brennstoffe wiederum sind endlich, ihre größten Vorkommen verteilen sich auf eine relativ kleine Anzahl von Ländern, was die Gefahr von Monopolen birgt - und ihr Preis steigt. Zudem gilt es den CO₂-Ausstoß trotz des weltweit dramatisch ansteigenden Energiebedarfs zu reduzieren, damit die Menschheit den Klimawandel nicht noch weiter anheizt. All dies macht die Kernkraft in den Augen mancher Forscher und Politiker wieder durchaus attraktiv.

Kernenergie vor dem Comeback?

Weltweit befinden sich aktuell 61 offiziell bei der Internationalen Atomenergiebehörde gemeldete Reaktoren im Bau, davon 24 in China und 6 in der Europäischen Union, die mit den gegenwärtig laufenden Meilern eines gemein haben: Sie erzielen marktfähige Energiepreise über ihre Größe. Ihre Kapazitäten liegen grundsätzlich bei mehrern 100 oder 1000 Megawatt (MW) elektrischer Leistung, so dass sich die enormen Investitionen in Bau und Sicherheit über die Laufzeit rentieren.

Diesen Ansatz soll nun eine Neuentwicklung brechen und damit neue Kundschaft erschließen: der Kleinstreaktor mit einer Leistung von weniger als 100 Megawatt - ein technologisches Meisterwerk, an dem gleich mehrere Konzerne wie Toshiba, Hyperion Power Generation und NuScale Power gerade fieberhaft arbeiten.

Der Aufwand lohnt sich allerdings nur, wenn die Firmen diese Reaktormodule später in Serie fertigen können. Ein Markt dafür existiert jedenfalls: John Deal, Geschäftsführer von Hyperion, schätzt den weltweiten Bedarf auf eine halbe Million Kleinstreaktoren. Über 150 Bestellungen aus verschiedenen Ländern lägen Hyperion bereits vor, so Deal. Und mit einem angestrebten Preis von rund 50 Millionen Dollar ist ein Hyperion-25-MW-Modul ein Schnäppchen verglichen mit den mehreren Milliarden Dollar hohen Konstruktionskosten für ein herkömmliches Großkraftwerk.

Vor Ort entsteht praktisch kein Aufwand: Das etwa zwei



REINHARD MARSCHIA / FOTOLIA

Kernkraftwerk

Auch wenn Deutschland - vorerst - weiter den Ausstieg aus der Kernenergie betreibt, so setzen andere Nationen doch auf die Technologie. Neue Reaktoren sind unter anderem in China, Indien, Brasilien, Frankreich, Finnland, Slowakei, Russland, Südkorea und auch den USA geplant.

Meter hohe und 1,5 Meter im Durchmesser umfassende »Hyperion Power Module« wird vollständig versiegelt per Lastwagen angeliefert und braucht nur noch vergraben und angeschlossen zu

werden. Sieben bis zehn Jahre soll das Reaktormodul dann planmäßig Strom liefern, bevor der Hersteller es dann wieder komplett abholt und neu bestückt. Der Nutzer muss sich also nicht

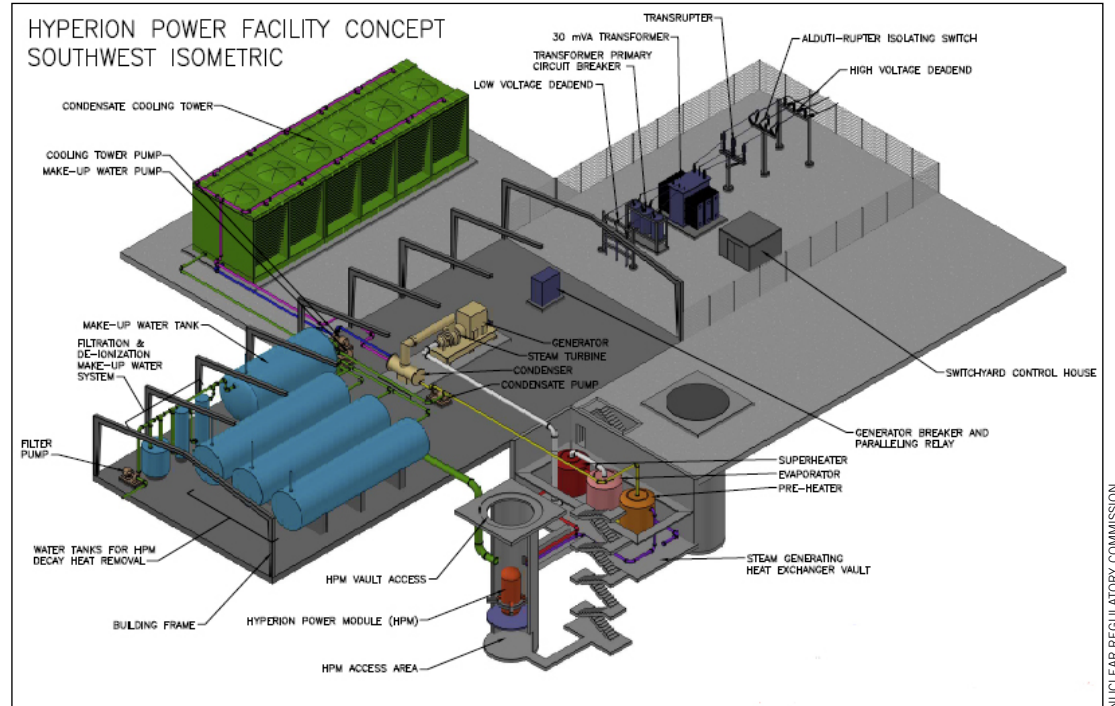
um die radioaktiven Abfälle kümmern.

Flexible Standortwahl

Ausgesprochen attraktiv sind solche »Kernkraftbatterien« für all jene, die keinen leichten Zugriff haben auf billige, verlässliche Energieversorgung. Die potenzielle Klientel reicht von entlegenen Forschungsstationen oder Minen und Industrieanlagen bis hin zu Ballungszentren in Entwicklungsländern. Letztere sehen sich mit einem rasant steigenden Stromverbrauch konfrontiert und könnten nun Modul für Modul die Energieversorgung aufbauen, ohne gleich die riesigen Investitionen für ein großes Kraftwerk stemmen zu müssen. Interesse bekunden zudem Rumänien und Tschechien: Ihre maroden Stromnetze könnten unter der Last eines leistungsstarken Kraftwerks zusammenbrechen; die dezentrale Stromerzeugung über kleine Reaktoren würde die bestehende Infrastruktur hingegen weit weniger belasten.

Ein erster Prototyp soll bald in der weitab von der Zivilisation gelegenen Ortschaft Galena in Alaska stehen. Sie ist nicht an das amerikanische oder kanadische Stromnetz angeschlossen und daher auf lokale Energieversorgung angewiesen. Hier will nun Toshiba seinen ersten 4S-Reaktor installieren - 4S für »super-safe, small and simple«. Noch im Lauf dieses Jahres werde die Zulassung in den USA beantragt, kündigte Firmensprecher Keisuke Ohmori gegenüber der Business Week im Mai an. Einen problemlosen Verlauf der nötigen Zertifizierungsverfahren vorausgesetzt, könnte die Konstruktion des 4S in Galena eventuell schon 2014 beginnen. Der Reaktor liefert dann etwa 30 Jahre lang bei einer Leistung von zehn Megawatt genügend Strom für rund 8000 Haushalte.

Doch derartige Projekte stoßen natürlich nicht überall auf Gegenliebe - auch wenn sich die Hersteller bemühen, mögliche Fehlerquellen auszuschließen.



So verzichten sie beispielsweise auf notorisch anfällige Komponenten: Das NuScale-Design etwa kommt völlig ohne Pumpen aus, weil schlichte Konvektion die Maschine ausreichend kühlt. Toshibas 4S-Pumpe wiederum funktioniert elektromagnetisch und damit ohne bewegliche Teile. Zudem sorgt die komplette Versiegelung der »Batterien« dafür, dass radioaktives Material selbst bei Störfällen kaum austreten kann.

Wer garantiert die Fehlerfreiheit?

Wer aber kann davon ausgehen, dass ein erster Prototyp über 30 Jahre hinweg fehlerfrei arbeitet? Besonders die dem 4S zu Grunde liegende Kühltechnik stößt bei der Union of Concerned Scientists auf Kritik. »[Toshiba] unterstellt, dass natriumgekühlte Reaktoren erprobt und zuverlässig sind. In Wirklichkeit handelt es sich dabei zwar um eine erprobte, aber verworfene Technologie«, sagt David Lochbaum, Leiter des Nuclear-Safety-Projekts. Und selbst wenn die Kleinreaktoren einwandfrei funktionieren und irgendwann vom Hersteller wieder abgeholt oder zumindest der Brennstoff ausgetauscht wird:

Was geschieht mit dem zweifellos anfallenden radioaktiven Müll? Momentan stehen nur die bereits bekannten, umstrittenen und letztlich meist unbefriedigenden Möglichkeiten wie Zwischenlagerung oder Wiederaufbereitung zur Auswahl.

Mittelfristig könnte sich dies jedoch durch eine kleine Revolution ändern: Terrapower, eine in großem Umfang von Bill Gates mitfinanzierte Firma, hat eine alte Idee weiterentwickelt, die sie jetzt in Kooperation mit Toshiba auch für die Kleinreaktoren zur Reife bringen will. Die Reaktoren sollen ohne angereichertes Uran auskommen und vielleicht sogar abgereichertes Uran zur Energiegewinnung nutzen. Simulationen mit Supercomputern deuten an, dass sich Kettenreaktionen auch ohne angereicherten Brennstoff in Gang halten lassen. Dadurch stünde plötzlich nicht nur das Hundertfache an spaltbarem Material zur Verfügung, es wäre sogar möglich, heutigen Atom Müll zumindest teilweise als Brennstoff zu verwenden.

Die aktuellen Entwicklungen deuten jedenfalls profunde Veränderungen in der Energiegewinnung durch Kernspaltung an. Die wichtigste Einstiegshürde - die gi-

Hyperion Power Generation

Schematischer Aufbau eines kleinen, 70 Megawatt starken Kernreaktors, der in abgelegenen Regionen Strom und Wärme erzeugen soll. Bis zu 4000 Anlagen möchte der Hersteller davon verkaufen, die erste soll 2013 in Betrieb gehen.

gantischen Konstruktionskosten für ein ausgewachsenes Kernkraftwerk - könnte bald drastisch abgesenkt werden. Auf der anderen Seite macht diese Entwicklung Gesetzesänderungen nötig, denn künftig kann im Fall der Kleinreaktoren nicht mehr der Betreiber, sondern der Hersteller des Kraftwerks für den radioaktiven Abfall verantwortlich sein. Da dieser aber vielleicht bald selbst zu wertvollem Brennstoff wird, entschärft sich wiederum das Problem der Endlagerung. Viele Umweltschützer wird der Kleinreaktor für jedermann aber wohl dennoch sehr beunruhigen: Neben generellen Zweifeln an der Technik befürchten sie vor allem, dass schlecht gesicherte Kleinreaktoren unterm Stadtpark hervorragende Ziele für Terroristen abgeben, die Störfälle verursachen oder radioaktives Material stehlen könnten. Ein Antwort darauf steht vorerst noch aus. <<

AKTUELLES STICHWORT

Tsunamis: Wellenberge aus dem Meer

ANTJE FINDEKLEE UND DANIEL LINGENHÖHL

Ein Beben der Stärke 8,9 – das fünftschwerste weltweit seit Beginn der Aufzeichnungen – hat Japan am 11. März erschüttert. In der Folge donnerten bis zu zehn Meter hohe Wellen an die Küste: die gefürchteten Tsunamis. Wie entstehen diese Riesenwellen?

Japan trägt eine schwere geologische Bürde: Der Inselstaat verdankt seine Entstehung verschiedenen Plattengrenzen, die hier aufeinandertreffen, sich aneinander reiben, Gebirge auffalten und Vulkane entstehen lassen – begleitet von häufigen, starken Beben. Oft verursachen diese Erschütterungen riesige Wellen. Vor allem wenn ihr Epizentrum unter dem Meeresboden liegt und der Schlag von unten gegen die Wassersäule erfolgt, werden diese Tsunamis ausgelöst.

Tatsächlich stammt dieser Name auch aus dem Japanischen: Übersetzt lautet er »Welle im Hafen«. Er beschreibt das unerwartete Auftreten dieser bis zu 40 Meter hohen Flutwellen, die früher oft ohne Vorwarnung plötzlich über die Küsten hereinbrachen. Heute können Tsunamis durch moderne Methoden sehr wohl erkannt werden, weshalb momentan rund um den Pazifik auch Tsunamialarm gegeben wurde – von Russland bis nach Kalifornien.

Verantwortlich sind vor allem bestimmte Typen von Erdbeben unter dem Meer – wenn das Epizentrum weniger als 30 Kilometer tief liegt und die Stärke den Wert 7 auf der Magnituden-Skala übersteigt, ist die Gefahr eines Tsunamis am größten. An der Wasseroberfläche auf dem offenen Meer lassen die Wellen zuerst allerdings kaum erkennen: Sie sind nur wenige Dezimeter hoch, und zwischen den Wellenkämmen können über hundert Kilometer liegen, da die gesamte Wassersäule in Bewegung ist und



NOAA (PUBLIC DOMAIN)

Historische Aufnahme eines Tsunamis auf Hawaii

Dieses historische Bild zeigt, wie ein Tsunami den Hafen von Hilo auf Hawaii überflutet.

Man beachte den Mann links im Bild auf dem Pier.

nicht – wie bei Sturmwellen – nur die oberste Wasserschicht. Flache Küsten bremsen sie jedoch ab, weshalb sich die Wellen rasch zu den haushohen Wasserbergen auftürmen und mit zerstörerischer Energie gegen das Land branden.

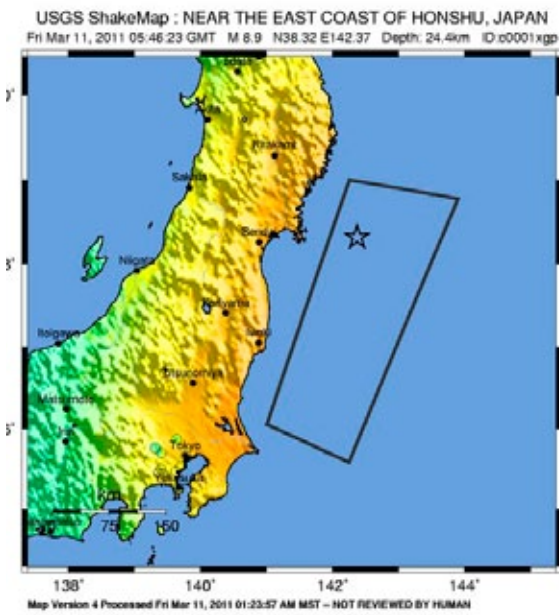
Gefährlich sind die Wellen auch durch ihre Geschwindigkeit: In der Tiefe breiten sie sich mit mehreren 100 Kilometern pro Stunde aus. Damit bleibt bei einem Erdbeben vor der Küste Japans beispielsweise in Honolulu etwa 7 und in

Chile etwa 22 Stunden Zeit, um Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, im Umkreis des Epizentrums dagegen oft nur wenige Minuten.

Besonders häufig treten Tsunamis im Pazifik mit seinen zahlreichen aktiven Plattengrenzen auf; sie suchen aber auch das Mittelmeer heim: Dort gab es in historischen Zeiten über dreißig jener Riesenwellen. Und richtig bekannt wurde dieses katastro-

phale Naturphänomen Weihnachten 2004, als nach einem heftigen Seebeben vor Sumatra mehrere 100 000 Menschen durch die anbrandenden Wassermassen ums Leben kamen. In den pazifischen Anrainern gibt es seit einigen Jahren ein Frühwarnsystem mit Sitz in Honolulu. Und vor der Küste Sumatras installierten deutsche Geowissenschaftler in den letzten Jahren Messbojen, die Tsunamis erfassen können und an Land melden, wo dann Alarm ausgelöst wird.

Das Epizentrum des jetzigen Bebens lag etwa 130 Kilometer östlich der Stadt Sendai vor der Küste der Insel Honshu im Pazifik in etwa 24 Kilometern Tiefe. Mittlerweile gab es noch weitere schwere Nachbeben; eines davon übertraf mit einem Wert von 7,1 sogar das Beben von Haiti im Januar 2010. <<

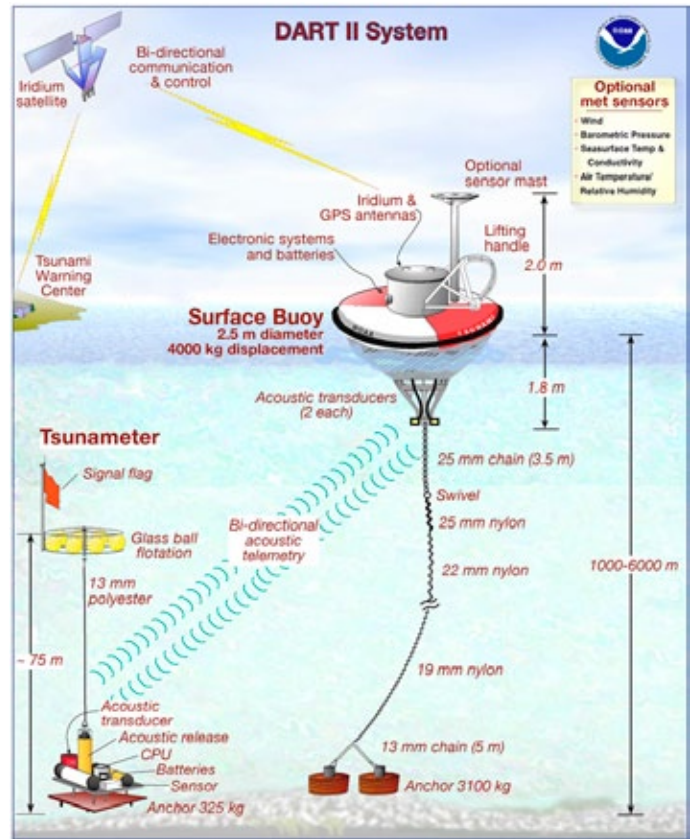


PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC (ms)	< 0.17	0.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	> 124
PEAK VEL (cm/s)	< 0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-9.1	9.1-16	16-27	27-50	50-116	> 116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

USGS (PUBLIC DOMAIN)

Epizentrum und Intensität

Das Zentrum des Bebens lag rund 150 Kilometer vor der Küste von Honshu. Die Erschütterung hatte eine Stärke von 8,9, was zu einem der stärksten Erdbeben seit Beginn der Aufzeichnungen machte. An Land war es allerdings etwas schwächer spürbar, wie die gelben und orangen Töne andeuten - Gefahr drohte den Küstenanrainern daher vor allem durch Tsunamis.



Tsunamiwarnsystem

Die US-amerikanische National Oceanic and Atmospheric Administration hat im Pazifik ein eigenes Tsunamiwarnsystem installiert, das die heran rauschenden Wellen erfassen und Alarm geben soll. Es besteht aus Seismometern, die Beben erfassen, Drucksensoren, Messbojen und Satelliten, die plötzliche Veränderungen der Meereshöhe nach einem Erdbeben erfassen und an Land funken.

NUKLEARER NOTSTAND

»Es muss noch Monate gekühlt werden«

Wie entwickelt sich die Krise am Kernkraftwerk Fukushima?

DAS GESPRÄCH FÜHRTE DANIEL LINGENHÖHL

Karlsruher Forscher modellieren, wie sich die Situation am japanischen Unglücksmeiler entwickeln kann. spektrumdirekt sprach dazu mit Joachim Knebel vom Karlsruher Institut für Technologie, dem Leiter der Arbeitsgruppe. Die Entwicklung in Fukushima ist dramatisch. Das Interview gibt deshalb den Stand vom 16. März wieder.



JOACHIM KNEBEL

Joachim Knebel

Der promovierte Ingenieur Joachim Knebel ist Sprecher des Helmholtz-Programms Nukleare Sicherheitsforschung und leitet die Abteilung für Strahlungsforschung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Gegenwärtig steht er einer Arbeitsgruppe vor, die sich aus verschiedenen Helmholtz-Abteilungen zusammensetzt und aktuell die Geschehnisse rund um den japanischen Reaktor Fukushima untersucht.

Herr Knebel, Sie leiten eine rasch zusammengestellte große Arbeitsgruppe, die sich mit den aktuellen Ereignissen rund um den japanischen Reaktor Fukushima I befasst. Welche Fragestellungen stehen dabei im Vordergrund?

Es geht im Prinzip darum herauszufinden, welche Reaktorkomponenten zerstört wurden oder wie sich dieser Unfall im Reaktor fortpflanzt – vom Kühlwasserverlust über Aufheizung des Kerns bis hin zur Zerstörung des Reaktorgebäudes oder im schlimmsten Fall einer Kernschmelze.

Wie kommen Sie an Ihre Daten? Sind Sie zufrieden mit dem Informationsfluss aus Japan?

Die Daten sind nicht umwerfend, aber die japanische Seite versucht ihr möglichstes, um Informationen zu liefern. Zusammen mit der Gesellschaft für Reaktor-

sicherheit, der Internationalen Atomenergiebehörde und anderen Forschungseinrichtungen versuchen wir so viele Daten zu bekommen, wie es geht, und tauschen uns aus. Auch die Medien liefern wichtigen Input wie zum Beispiel aktuelle Satellitenbilder oder Bilder aus der Anlage selbst. Hier überschlagen sich die Meldungen, leider nicht zum Guten. Aus diesem Grund können Einschätzungen schnell überholt sein!

Und diese speisen Sie dann in Ihre Modelle?

Wir arbeiten mit Annahmen und spielen verschiedene Szenarien durch bis hin zur schlimmsten anzunehmenden Entwicklung, die wir zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht mehr ausschließen können. Wir spielen beispielsweise durch, was passiert, wenn der Kern und die Brennelemente im Lagerbecken schmelzen.

Im Moment definieren wir also vor allem die Randbedingungen und stellen unsere Modelle so auf, dass wir schnell reagieren können, wenn sich die Datenlage ändert.

Können Sie das an einem konkreten Fall erklären?

Wir beobachten die Freisetzung von radioaktiven Spaltprodukten, die zum Beginn des Unfalls beim gezielten Abblasen des Dampfs aus dem Reaktorgebäudes in die Umwelt gelangten. Jetzt, wo die Reaktorgebäude stark beschädigt sind, müssen wir stark erhöhte Dosiswerte beobachten. Das bedeutet, dass massiv radioaktive Stoffe in die Umgebung gelangen.

Kennt man dann die genauen Windprofile – etwa über den Deutschen Wetterdienst –, kann man sehr genau berechnen, wohin sich die Radioaktivität ausbreitet. Die Wetterdaten nutzen

wir zusammen mit Angaben zur Topographie in der Region, um verschiedene Szenarien durchzuspielen – und können ausrechnen, wie lange es unter bestimmten Annahmen dauert, bis der Fallout in Tokio ankommt und in welcher Größenordnung.

Messen Sie auch aktiv in Deutschland oder Europa?

Wir haben Zugang zu den weltweiten Netzwerken von Messstationen.

Wie viel Fallout könnte in Deutschland ankommen?

Quantitative Abschätzungen können wir momentan noch nicht abgeben. Wegen der sehr großen Entfernung und der umfassenden Durchmischung in der Atmosphäre ist anzunehmen, dass nicht viel davon Deutschland erreicht – zumal ein Teil unterwegs durch Niederschläge

ausgewaschen wird. Man kann dagegen relativ genau ausrechnen, wie viel sich in Japan niederschlagen wird. Ich möchte aber betonen: Wir haben keine zuverlässigen Aussagen und Messdaten aus Japan über die Aktivitätsfreisetzungen, so dass wir unsere Rechnungen fortwährend angleichen müssen.

Wie wahrscheinlich ist es, dass der Kern in einem der Reaktoren vollständig versagen wird?

Die Zahl der Arbeiter im Kernkraftwerk wurde bereits stark reduziert. Die Bilder zeigen uns sehr starke Zerstörungen der Reaktorgebäude, die Strahlenbelastungen im Kraftwerk nehmen stark zu. Der Zustand der Anlagen, speziell 3 und 4, erscheint sehr kritisch. Ich denke, wir müssen hier von einer teilweisen oder vollständigen Kernschmelze ausgehen.

Wie lange muss man den Reaktorkern nach dem Abschalten noch kühlen?

Das dauert Monate. Die Nachzerfallswärme liegt direkt nach dem Abschalten bei etwa acht Prozent der ursprünglichen Hitze und fällt dann weiter ab. Im Moment dürfte sie noch bei circa einem Prozent liegen. Die Nachzerfallswärme sinkt also rasch, bleibt dann aber auf einem gewissen Niveau, das zu hoch ist, um die Wärme einfach nur über Konvektion abzuführen. Man muss folglich aktiv kühlen. Man muss sich vorstellen, mit welcher Urgewalt Beben und Tsunami über das Kernkraftwerk

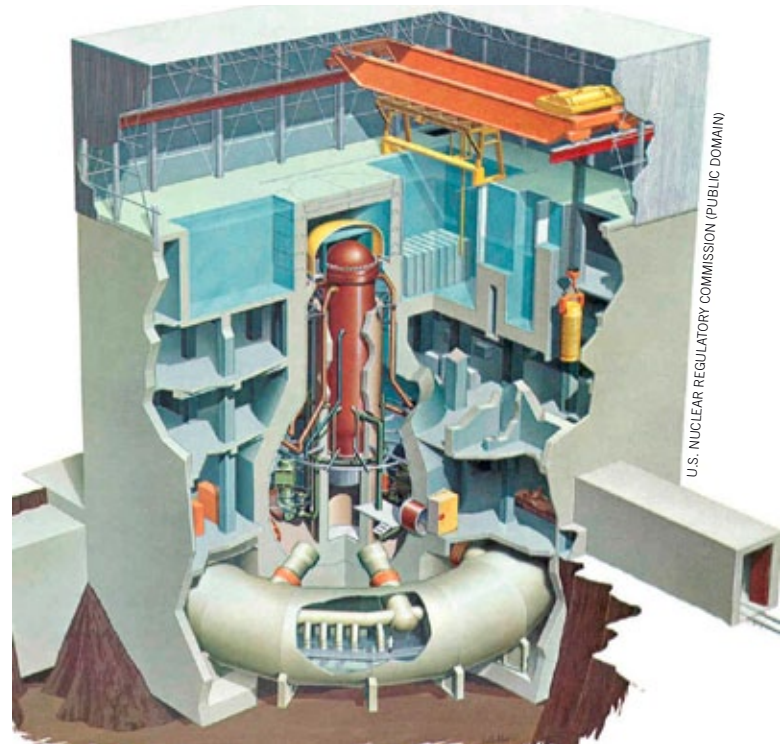
hereingebrochen sind. Die Kraftwerke wurden per Schnellabschaltung heruntergefahren, als die Erde bebte. Und anschließend sprangen auch die Notstromaggregate an, um die Kühlung aufrecht zu erhalten. Die Nachwärmeabfuhr hatte eingesetzt. Erst als der Tsunami die Dieselmotoren und alle Hilfskühlsysteme – die Leitungen, Pumpen und so weiter – zerstört hatte, lief die Sache aus dem Ruder.

Deshalb überlegte man sich, den Reaktor mit Meerwasser zu fluten?

Der Ozean dürfte die einzig verbliebene Wasserquelle sein. Das Beben hat wahrscheinlich sämtliche herkömmlichen Zuleitungen zerstört.

Stellen Sie Ihre Daten auch der deutschen Politik zur Verfügung?

Ja, wir stehen im direkten Kontakt mit der Landesregierung von Baden-Württemberg und den Ministerien in Berlin und tauschen uns mit unseren wissenschaftlichen Kollegen in der Helmholtz-Gemeinschaft und im Kompetenzverbund Kerntechnik aus. Wir beraten, was die konkrete Situation vor Ort anbelangt und geben Lageeinschätzungen – etwa, ob Deutsche vor Ort ausfliegen sollen oder nicht. Und wir geben unter vorher definierten Randbedingungen neue Einschätzungen zu den Sicherheitseigenschaften der deutschen Kernkraftwerke ab, indem wir mit den neuen Daten Szenarien für unsere Reaktoren durchrechnen.



Siedewasserreaktor

Die Grafik zeigt den Schnitt durch einen Siedewasserreaktor, wie er auch im japanischen Fukushima steht. Im Zentrum befindet sich der Reaktor Druckbehälter mit den Kernbrennstäben. Unterhalb des orange gefärbten Lastenkrans liegt das Abklingbecken, in dem verbrauchte Brennstäbe ihre Restwärme nach und nach abgeben sollen.

Die wissenschaftlich-neutralen Fakten und Ergebnisse liefern wir dann als Entscheidungsgrundlage an die Politik.

Und das KIT hilft konkret Menschen, die sich in Japan in Gebieten mit erhöhter Strahlung aufgehalten haben. Diese können sich in unserem regionalen Strahlenschutzzentrum im Campus Nord in einem Body-Counter auf mögliche Kontaminationen untersuchen und beraten lassen. <<

Herr Knebel, vielen Dank für das Gespräch.

UMWELTSCHUTZ

Strahlendes Paradies?

Ist Tschernobyl ein Hort der Tierwelt oder nicht?

Menschenleere Wildnis, Bären, Wölfe, Adler, fischreiche Seen: Zumindest der Natur, scheint es, hat der Reaktorbrand von Tschernobyl aus dem Jahr 1986 nicht geschadet. Oder etwa doch?



ANDERS MÖLLER

Langsam zerfallen die Häuser in Prypjat, Putz bröckelt, Spielplätze werden überwuchert, Birken durchstoßen den Asphalt der Straßen. Ein verlassener Rummelplatz mit Riesenrad und Karussell rostet vor sich hin. Außer vereinzelten Militärstreifen, Wissenschaftlern und dem einen oder anderen – illegalen – Siedler ist nichts zu sehen. Prypjat ist verbotenes Gebiet, in dem sich eigentlich nur aufhalten darf, wer eine spezielle Genehmigung vorweisen kann. Denn die Stadt liegt innerhalb der 30-Kilometer-Zone rund um den havarierten Kernreaktor von Tschernobyl, die kurz nach der nuklearen Katastrophe vom 26. April 1986 evakuiert wurde, um die Bevölkerung vor radioaktiver Kontamination zu schützen.

Mehr als 350 000 Menschen mussten unmittelbar oder im Laufe der Jahre nach dem Unfall ihre Häuser verlassen und durften bis heute nicht zurückkehren. Der zeitweilige Besuch ist ohne Erlaubnis genauso wenig erlaubt

Prypjat im »radioökologischen Reservat«

Die Stadt Prypjat musste bald nach dem Reaktorbrand in Tschernobyl vollständig evakuiert werden, um die Bevölkerung vor der Strahlung zu schützen. Heute wird sie zunehmend von der Wildnis zurückerobert.

wie generell Jagen oder Landwirtschaft. Doch wo der Mensch weichen musste, kehrt die Natur eindrucksvoll zurück: Über hundert als bedroht eingestufte Tierarten tummeln sich inzwischen in dem Gebiet, das die Ukraine und Weißrussland mittlerweile als »radioökologisches Reservat« unter Schutz gestellt haben. Selbst andernorts rare Raubtiere wie Bär, Luchs und Wolf haben hierher gefunden – Indikatoren, dass es auch der restlichen Tierwelt gut gehen muss, fassen es Wissenschaftler um Jim Smith von der Universität Portsmouth zusammen.

Strahlende Zukunft für Vögel?

Eine Einschätzung, die Anders Möller von der Universität Pierre et Marie Curie in Paris und seine Kollegen nicht so ganz teilen

können [1]. Sie hatten untersucht, welche Auswirkungen die Strahlung auch noch über zwanzig Jahre nach dem Unglück auf die lokale Fauna haben könnte. Farbenprächtige Arten wie Pirol oder Blaumeise mit hohem Gelbanteil im Federkleid litten beispielsweise stärker unter der freigesetzten Strahlung als eher unscheinbar gefärbte Baumpiper, Tannenmeisen oder Buchfinken, in deren Gefieder Braun- oder Grautöne dominieren. Gleiches gilt offensichtlich für Fernzieher wie Wachteln, Wiedehopfe und Rotkehlchen, deren Bruterfolg verglichen mit jenem von Standvögeln deutlich schwächer ausfiel, während sie sich in unbelasteten Zonen kaum unterschieden.

Eine weitere ihrer Studien an Rauchschwalben, die rund um den havarierten Kernreaktor

von Tschernobyl leben, deckte auf, dass diese überdurchschnittlich oft an Missbildungen wie verkümmerten Schwanzfedern oder deformierten Schnäbeln leiden. Weiße Flecken sprenkeln bei ihnen häufiger das Gefieder, wo schiefergraue oder rote Töne vorherrschen sollten, als bei Artgenossen aus unbelasteten Regionen. Und schließlich leben die Vögel im Dauerfeuer des immer noch stattfindenden radioaktiven Zerfalls, kürzer als durchschnittlich zu erwarten wäre.

Fatal wirkt sich für die bunten Vögel und die Fernreisenden wohl ihr erhöhter Bedarf an Karotinoiden aus: Die Farbpigmente kolorieren zum einen gelbe, orange und rote Feder- oder Schnabelpartien und wirken gleichzeitig als Antioxidanzien im Immunsystem. Erhöhter Verbrauch schwächt daher die Gesundheit, denn Rauchschwalbe, Blaumeise oder Wiedehopf bleiben weniger antioxidativ wirkende Substanzen im Blut, um so genannte freie Radikale zu



TIMOTHY MOUSSEAU

Wildpferde

In dem von Menschen verlassenen Gebiet entwickelte sich eine artenreiche Wildnis, in der heute wieder Wölfe, Luchse und Adler trotz der radioaktiven Belastung leben. Auch verwilderte Pferde sind dort anzutreffen. Zumindest bei Vögeln zeigt sich aber eine gesundheitliche Belastung durch die immer noch radioaktive Strahlung.

neutralisieren. Diese entstehen unter anderem durch radioaktive Strahlung und sind besonders reaktionsfreudig, schädigen Zellen oder das Erbgut. Eskaliert diese Entwicklung, steht am Ende eine gestresste Gesundheit oder Krebs. Lebenserwartung, Bruterfolg und Bestandsdichte sinken.

Die Schlussfolgerung, Tschernobyl sei ein prosperierendes Ökosystem, lässt sich konsequenterweise nicht halten, meint Møller. Und weiter: »Entsprechende Aussagen der Weltgesundheitsorganisation und der Internationalen Atomenergiebehörde beruhten auf anekdotischen Beobachtungen.«

Mutationen nur ein Kollateralschaden?

Dem widerspricht nun wieder Jim Smith, der den Rückgang der Rauchschnalben nicht auf radioaktive Strahlung zurückführt [2]. Er betrachtet die Vögel eher als Kollateralschaden Tschernobyls, deren Zahl als Kulturfolger zurückgeht, weil die Menschen die Zone verlassen mussten und deshalb die Landwirtschaft zum Erliegen kam. Statt Weideland wuchern jetzt Dickichte und junge Wälder, Gebäude stürzen ein und vernichten Brutmöglichkeiten – für Arten des Offen- und Kulturlandes, wie es Rauchschnalben sind, ein negativer Einfluss,

meint Smith. Das Schwinden entsprechend angepasster Arten wäre daher ein natürlicher Vorgang, dem wachsende Zahlen an Waldbewohnern wie dem Schwarzstorch, Rothirschen oder Wölfen gegenüberstünden.

Er wirft seinen Kollegen zudem vor, dass sie in ihrer Beweisführung unsachgemäß vorgegangen seien. Sie hätten beispielsweise unterschiedlich belastete Standorte rund um Tschernobyl statistisch zu einer Gruppe zusammengefasst und mit einer unbelasteten Region verglichen, obwohl die Kontamination auf einzelnen Flächen in der Verbotszone um den Faktor 100 schwän-

ken kann – zumal sich die Gesamtstrahlung seit 1986 halbiert hat und ihr Einfluss auf die Mutationsrate sinkt. Außerdem, so Smith, wurden nicht immer die gleichen Standorte seit 1991 untersucht, sodass ein Vergleich der körperlichen Schäden über Raum und Zeit unzulässig sei.

Untersuchungen von James Morris von der Universität in South Carolina in Columbia bestätigen zwar, dass es zumindest anfänglich sehr viele Erbgutschäden und Missbildungen bei Fischen und anderen Tieren auftraten. Sie überleben jedoch kaum bis ins Erwachsenenalter, sodass sich die negativen Einflüsse



TIMOTHY MOUSSEAU

Verwilderte Städte

Nach der Evakuierung rund um den Reaktor verwilderten die Städte und Dörfer der Region wieder.

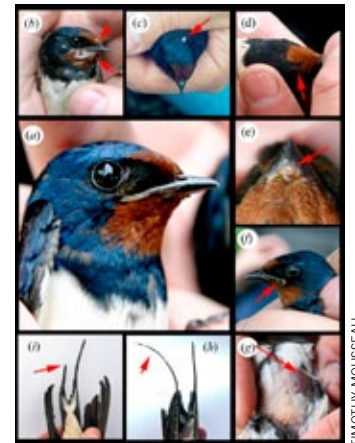
nicht über Generationen hinweg fortpflanzen, sondern allenfalls immer wieder neu – in abnehmender Zahl – ausbilden. Morris: »Dort läuft Evolution unter Doping ab, so schnell geht es.« Sein Kollege Viktor Dolin von der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften in Kiew springt ihm bei, denn wichtige radioaktive Elemente wie Zäsium-137 haften seinen Forschungen zufolge an Bodenpartikeln und reichern sich nicht schädigend in Tieren und Pflanzen an.

Anders Møller kontert: »Smith verbreitet, dass die Tierbestände in Tschernobyl prosperieren, was aber nur auf anekdotischen Berichten und auf empirischen Studien basiert.« Mutationen und Körperschäden betreffen auch andere Vögel wie Hausrot-

schwänzchen und Haussperlinge und nicht nur die Rauchschwalben, führt der Biologe weiter aus. Fehlbildungen in so hoher Zahl und derartige Misserfolge bei brütenden Schwalben wurden zudem außerhalb des verseuchten Geländes noch nirgends nachgewiesen, was ebenfalls für den weiterhin schädigenden Einfluss der Radioaktivität spräche.

In einem sind sich aber beide Seiten einig: Zukünftig müssen noch mehr ökologische Studien rund um den Reaktor stattfinden, um endlich eine gesicherte Datenbasis zu bekommen. James Morris spricht denn auch von einem auf seine Art »fantastischen Experiment«. Immerhin zieht der wilde Charakter des radioökologischen Reservats bereits Besucher an – und die Vereinten

Nationen sehen Naturtourismus als alternative Einkommensquelle für die geplagte Bevölkerung rund um das Kernkraftwerk. <<



TIMOTHY MOUSSEAU

Rauchschwalben aus Tschernobyl

Rauchschwalben, die rund um den havarierten Kernreaktor von Tschernobyl leben, leiden überdurchschnittlich oft an Missbildungen wie verkümmerten

Schwanzfedern (Bilder h und i) oder deformierten Schnäbeln (e, f) als Artgenossen aus unbelasteten Gebieten (a). Gleichzeitig treten bei ihnen häufiger weiße Flecken im Gefieder auf, wo schiefergraue oder rote Töne vorherrschen sollten.

DEKONTAMINATION

»Die Menge der Radionuklide sinkt nur durch Zerfall«

Wie kann man gegen freigesetzte Radionuklide vorgehen?

DAS GESPRÄCH FÜHRTE DANIEL LINGENHÖHL

Auch wenn Fukushima I noch nicht völlig unter Kontrolle ist, diskutieren Experten bereits, wie man die betroffenen Regionen wieder entseuchen kann. spektrumdirekt sprach mit Gerhard Frank vom Karlsruher Institut für Technologie, wie man mit den freigesetzten Radionukliden umgehen kann.

spektrumdirekt: Wenn radioaktive Substanzen freigesetzt werden – etwa durch das Ablassen von radioaktiv kontaminiertem Wasserdampf oder durch eine Explosion des Reaktors –, welche Sofortmaßnahmen müssen dann ergriffen werden, um eine langfristige Kontamination der Umwelt möglichst zu minimieren?



GERHARD FRANK

Gerhard Frank

Der promovierte Physiker Gerhard Frank ist als Leiter des Sicherheitsmanagements auch der Strahlenschutzbevollmächtigte des Karlsruher Instituts für Technologie.

Gerhard Frank: Ist die Freisetzung bereits erfolgt, kann eine Kontamination der Umwelt nicht verhindert werden. Die radioaktiven Stoffe befinden sich dann gasförmig oder an Aerosole gebunden in der Luft und werden gemäß den vorherrschenden meteorologischen Bedingungen transportiert. Aus dieser so genannten Wolke werden sie früher oder später über unterschiedliche Mechanismen wie Sedimentation, Diffusion oder über Turbulenzen der Luftströmungen – die so genannte Impaktion – auf Oberflächen abgelagert.

Vor allem die nasse Deposition, also das Auswaschen durch Niederschläge, spielt hier eine bedeutende Rolle. An dieser Stelle besteht unter Umständen die wohl einzige Möglichkeit, die Ausbreitung der freigesetzten Schadstoffe durch künstlich ausgelöste Niederschlägen zu beeinflussen. So versprühten die Sowjets nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl Silberjodid, um eine möglicherweise auf Moskau zuziehende Wolke in dünn besiedeltem Gebiet abregnen zu lassen.

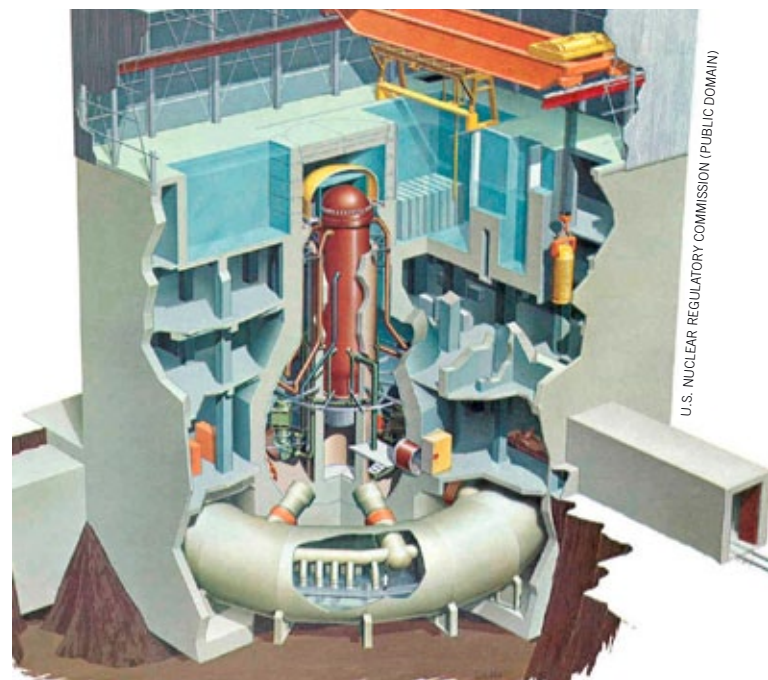
Das erste Ziel muss in jedem Fall sein, eine Freisetzung zu vermeiden. So werden in deutschen Kernkraftwerken Rückhaltesysteme – Filter – verwendet, die

zumindest im Fall einer kontrollierten Druckentlastung aus dem Containment (dem Sicherheitsbehälter um den Reaktorkern, Anm. d. Red.) einen Großteil der radioaktiv belasteten Stoffe zurückhalten.

Gibt es unterschiedliche Methoden der Dekontamination: Behandelt man beispielsweise

freigesetztes radioaktives Jod anders als Zäsium oder Plutonium?

Dekontamination ist nichts anderes als die Beseitigung von giftigen Substanzen, in diesem Fall eben von radioaktiven Stoffen. Entsprechend werden genau die gleichen Hilfsmittel eingesetzt,



U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (PUBLIC DOMAIN)

Siedewasserreaktor

Die Grafik zeigt den Schnitt durch einen Siedewasserreaktor, wie er auch im japanischen Fukushima steht. Im Zentrum befindet sich der Reaktor Druckbehälter mit den Kernbrennstäben. Unterhalb des orange gefärbten Lastenkrans liegt das Abklingbecken, in dem verbrauchte Brennstäbe ihre Restwärme nach und nach abgeben sollen.

wie sie zur Beseitigung von anderen Verunreinigungen eingesetzt werden. Unterschiedliche Vorgehensweisen in Bezug auf unterschiedliche Radionuklide sind eher von akademischem Interesse und finden deshalb in der Praxis kaum Anwendung. Wichtig ist in jedem Fall, die weitere Behandlung der verwendeten Hilfsmittel und Rückstände mit zu berücksichtigen und kontaminiertes Material anschließend sicher zu verwahren.

Wie kann man verhindern, dass sich radioaktive Substanzen langfristig in der Umwelt anreichern?

Wenn man die radioaktiven Stoffe nicht wirklich aus der Umwelt entfernt und entsorgt, bleiben sie entweder da, wo sie sich befinden. Oder sie werden durch natürliche Transportprozesse wie Erosion und Auswaschung oder durch biologische Aktivität verfrachtet, etwa indem Tiere und Pflanzen die Nuklide aufnehmen und sie dadurch an andere Orte gelangen. Die Tatsache, dass sie radioaktiv sind, beeinflusst diese Prozesse erst einmal in keiner Weise.

Allein der radioaktive Zerfall sorgt dafür, dass die Menge der Radionuklide im Lauf der Zeit weniger wird. Jod-131 etwa hat eine Halbwertszeit von rund acht Tagen und verschwindet daher recht schnell aus der Umwelt, Zäesium-137 dagegen eine von mehr als 30 Jahren.

Was passiert mit kontaminierten Bauteilen rund um einen Reaktor?

Im Wesentlichen gibt es zwei Prinzipien: sicherer Einschluss und Rückbau. Im ersten Fall werden Maßnahmen ergriffen, gezielt die Radioaktivität vor Ort zu belassen, aber dafür zu sorgen,

dass eine Freisetzung radioaktiver Stoffe sowie eine Strahlenexposition der Bevölkerung ausgeschlossen werden kann. Beim Rückbau - im Idealfall bis zur »grünen Wiese« - wird das radioaktive Inventar entsorgt und eingelagert.

Was bedeutet sicherer Einschluss?

Die Anlage bleibt dabei in ihren wesentlichen Bestandteilen im jeweiligen Zustand und für eine längere Zeit bestehen, wobei das radioaktive »Innenleben« sicher eingeschlossen und versiegelt ist - etwa der Reaktordruckbehälter. Die Brennstäbe und andere relativ flüchtige radioaktive Bestandteile wie Kühlmittel werden dagegen entfernt. In Deutschland befindet sich zum Beispiel der Hochtemperaturreaktor in Hamm-Uentrop im sicheren Einschluss.

Welche medizinischen Maßnahmen muss man ergreifen, um im Fall von Japan Strahlenschäden an Menschen zu verhindern oder zu minimieren?

Echte medizinische Maßnahmen - außer gegebenenfalls der Gabe von Jod - sind nach derzeitigem Kenntnisstand vermutlich nicht zweckmäßig. Welche zusätzliche Dosis bei der betroffenen Bevölkerung in Japan nun tatsächlich auftritt, wird in erster Linie durch deren Lebensgewohnheiten bestimmt, etwa ihre Aufenthaltsdauer in kontaminierten Gebieten oder durch ihre Essgewohnheiten. Darüber kann man die Belastung zu einem gewissen Maß steuern.

Solange die radioaktiven Substanzen noch nicht in den Körper gelangt sind, kann man sie zudem einfach mit Seife abwaschen - wobei die Reinigungsflüssigkeit dann nicht wieder in die Umwelt

gelangen sollte. Beim Dekontaminieren ist zudem unbedingt darauf zu achten, dass keine radioaktiven Stoffe über die Haut, Einatmen oder Verschlucken in den Körper gelangen.

Wenn radioaktiver Fallout beispielsweise über Tokio niederginge: Wie kann man eine Stadt dieser Größe dekontaminieren?

Prinzipiell gilt: Dekontaminieren bedeutet »radioaktive Verunreinigungen entfernen«. In welchem Maß dies in Tokio sinnvoll und machbar ist, lässt sich von hier aus leider nicht pauschal beantworten. <<

Herr Frank, wir danken Ihnen für das Gespräch.

SERIE ROHSTOFFE

Mangel trotz Anreicherung

Uran ist noch lange vorhanden, dennoch drohen bald Engpässe

CHRISTIAN MEIER



REINHARD MARSCHA / FOTOLIA

Kernkraftwerk

Auch wenn Deutschland - vorerst - weiter den Ausstieg aus der Kernenergie betreibt, so setzen andere Nationen doch auf die Technologie. Neue Reaktoren sind unter anderem in China, Indien, Brasilien, Frankreich, Finnland, Slowakei, Russland, Südkorea und auch den USA geplant.

Eigentlich gibt es so viel Uran unter der Erdoberfläche, dass Atomstrom noch sehr lange fließen kann. »120 Jahre«, antwortet Ulrich Schwarz-Schampera von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) auf die Frage, wie lange die Uranreserven noch reichen werden. Außer den Lagerstätten, die beim derzeitigen Uranpreis gewinnträchtig abgebaut werden können, vermuten Geologen noch mehr Vorkommen, die den aktuellen Bedarf weitere 150 Jahre decken könnten. Von Uranknappheit also keine Rede?

Doch – denn nach Ansicht mancher Experten droht schon in den nächsten zehn Jahren ein Versorgungsengpass. »Die Konsequenzen wären höhere Erzeugungspreise für Kernenergie und die Stilllegung einzelner Kraftwerke«, sagt Thomas Seltmann, Sprecher der Organisation Energy Watch Group. Der Grund für den drohenden Mangel: Uranminen fördern jährlich nur zwei Drittel des weltweiten Bedarfs. Die Atomindustrie deckt den Rest aus den Vorräten, die vor 1980 während jahrzehntelanger Überproduktion in den Minen angesammelt wurden, und aus Beständen, die aus der atomaren Abrüstung stammen. Diese Reserven werden allerdings in den nächsten Jahren zur Neige gehen.

Gleichzeitig steigt der Uranhunger der Welt, da China, Indien und Russland die Kernkraft ausbauen wollen, ebenso wie die USA, wie die gerade bekannt

gegebenen Pläne von US-Präsident Barack Obama zeigen. Allein China will in den nächsten zehn Jahren 20 neue Meiler ans Netz bringen. Die Internationale Atomenergieorganisation IAEA schätzt, dass der Uranbedarf von heute rund 65 000 Tonnen pro Jahr auf mindestens 93 000 Tonnen im Jahr 2030 ansteigen wird [1]. Ob die Minenbetreiber rechtzeitig einen Gang zulegen und die Uranproduktion steigern, ist unter Experten umstritten.

Signal von den Märkten

Vieles hängt von den Marktpreisen ab. »Als vor drei Jahren der Preis spekulationsbedingt in die Höhe schoss, suchten die Unternehmen weltweit nach neuen Lagerstätten und wurden auch fündig«, sagt Schwarz-Schampera. Inzwischen ist der Uranpreis von seinem Allzeithoch im Sommer 2007 – ein Kilogramm kostete damals rund 360 US-Dollar – auf moderate 100 Dollar pro Kilo gesunken. Proportional dazu flaute der Eifer ab, mehr Uran zu produzieren. Die neuen Lagerstätten blieben unberührt. Aber das könne sich schnell ändern, meint Schwarz-Schampera. »Die Unternehmen warten nur auf ein Preissignal des Marktes, und der Abbau kann beginnen«, sagt der Geologe.

»Um den Engpass zu vermeiden, hätte die Erschließung neuer Lagerstätten längst beginnen müssen«, entgegnet jedoch Peter Diehl, Leiter des Informationsdienstes WISE Uranium Project.

Bis eine neue Lagerstätte ihr erstes Uran liefert, dauere es in der Regel 10 bis 20 Jahre. Zudem gebe es Verzögerungen und Probleme bei wichtigen neuen Minenprojekten, was den Engpass wahrscheinlich mache. In einer der ergiebigsten neuen Lagerstätten weltweit, der kanadischen Mine »Cigar Lake«, kämpfen die Betreiber seit Jahren mit schwierigen geologischen Verhältnissen. Mehrmalige Wassereinträge setzten die Mine nach und nach vollständig unter Wasser. Die Mine hätte ein Zehntel des Weltbedarfs decken und 2007 in Betrieb gehen sollen. Der Produktionsstart wurde aber mehrfach verschoben.

Auch andere Minen laufen nicht im Soll. »Bei einigen lässt sich das Uran schlechter aus dem Gestein herauslösen, als man zuvor gedacht hat«, sagt Diehl. Das liege an den speziellen Mineralien, in denen das Uran in diesen Minen gebunden sei. Uran gibt es in unterschiedlichen Gesteinen, aus denen es sich unterschiedlich leicht herauslösen lässt. Das Schwermetall findet sich auf fast allen Kontinenten, etwa in Sandsteinen oder in Granit. Die wichtigsten Uranproduzenten sind Kanada, Kasachstan und Australien. Auch in Russland und Afrika gibt es große Reserven. Die größten Verbraucher sind

die USA, Frankreich und Japan. Deutschland rangiert auf Rang fünf. Ob sich der Abbau lohnt, ist im Wesentlichen eine Frage der Konzentration im Gestein: Je höher der Preis, desto geringer kann der Urananteil sein.

Konzentrationsprobleme

Und mit dieser Frage hängt ein weiterer Expertenstreit zusammen. Er dreht sich um Umweltprobleme durch den Abbau niedrig konzentrierter Uranerze. Die meisten enthalten weniger als ein Prozent Uran. Wirtschaftlich abbauen lassen sich derzeit Vorkommen mit mindestens 0,03 Prozent. Eine Mine in Namibia

fördert tatsächlich Erz mit derart niedrigem Urangehalt. Wenn der Preis steigen sollte, könnte ein Run auf Lagerstätten mit noch geringerem Anteil des Rohstoffs beginnen. »Deren Abbau hätte mehr Landschaftszerstörung und Energieverbrauch zur Folge«, meint Heinz Smital, Kernkraftexperte von Greenpeace. Denn es würde viel mehr Gestein bewegt werden müssen, um an eine bestimmte Menge Uran heranzukommen, sagt der Kernphysiker.

Der höhere Energieverbrauch bei der Förderung falle kaum ins Gewicht, entgegnet Horst-Michael Prasser, Professor für Kernenergiesysteme an der ETH



FUCKRY / ALBERTO OG

Uranmine in Australien

Dieser Tagebau befindet sich im australischen Kakadu-Nationalpark und war schon öfter Inhalt von Kontroversen zwischen dem Bergbauunternehmen, Naturschützern und Vertretern der Aborigines. Für Letztere ist das Land heilig und wurde durch die Eröffnung der Ranger-Uranmine entweiht.

Zürich. »Selbst bei 0,03 Prozent Urangehalt beträgt er nur rund ein Prozent der späteren Energieausbeute im Kernkraftwerk«, betont der Nuklearingenieur. Denn im Uran steckt jede Menge Energie. Aus einem Kilogramm des Kernbrennstoffs lassen sich durchschnittlich 40 000 Kilowattstunden herausholen – das entspricht etwa dem jährlichen Strombedarf von zehn dreiköpfigen deutschen Familien. Dieser Schnitt lasse sich durch Neubaulanlagen noch deutlich verbessern, sagt Prasser, denn sie erzeugen

mit einem Kilo Uran sogar rund 70 000 Kilowattstunden Strom.

Die Energy Watch Group ist weniger optimistisch: Weil bei geringen Konzentrationen ein größerer Anteil des Brennstoffs bei der Förderung und Weiterverarbeitung verloren gehe, verschlechtere sich die Energiebilanz zusehends, schreibt sie in einem Papier aus dem Jahr 2006 [2].

Unterhalb von 0,01 bis 0,02 Prozent näherte sich die Energie, die für Förderung und Weiterverarbeitung des Erzes, den Betrieb des Reaktors und

die Entsorgung des radioaktiven Abfalls nötig sei, dem Energiegewinn durch das Verbrennen des Urans im Reaktor an. Das ist kein marginales Problem: Lagerstätten mit extrem fein verteiltem Uran enthielten laut dem EWG-Papier die größten Ressourcen.

Allerdings sei es nicht zwangsläufig so, dass bei steigendem Preis Erze mit immer kleineren Konzentrationen gefördert werden, meint Schwarz-Schampera. »Wir kennen nur einen Bruchteil der Uranlagerstätten«, sagt der Geologe. Jede neue Suche könne

Grubenwasser

Bergbau bedeutet in vielen Fällen Eingriff in die Natur. Das gilt auch für den Uranabbau, der radioaktiv kontaminierte Abwässer erzeugen kann.



auf neue hochkonzentrierte Lagerstätten stoßen.

Säure – die Lösung

Auch Landschaftszerstörung muss nicht unbedingt mit dem Uranabbau verbunden sein. Aus dem Tagebau stammte 2006 nur rund ein Viertel des Elements, unter Tage wurden dagegen 40 Prozent gewonnen. Und der Rest stammte aus einer dritten Methode, die zurzeit an Beliebtheit gewinnt: Der so genannte Lösungsbergbau. Dieser kommt ganz ohne Gruben und Stollen aus, es reichen ein paar Bohrlöcher an den Rändern der Lagerstätte, in die durch Löcher säure- oder laugenhaltiges Wasser in die Tiefe gepumpt wird. Durch ein weiteres Bohrloch im Zentrum des Vorkommens wird die Flüssigkeit wieder aus dem uranhaltigen Gestein herausgesaugt. Auf seinem Weg von den Injektionsbohrlöchern zur Entnahmestelle lösen Säuren – etwa Schwefel- oder Salpetersäure – oder Basen das Uran aus dem Erz und befördern es ans Tageslicht. Die Methode funktioniert allerdings nur in porösen Gesteinen wie Sandstein. Kasachstan setzt fast vollständig auf den Lösungsbergbau.

Die Branche preist das Verfahren als besonders umweltfreundlich an. Denn die Positionierung der Bohrlöcher soll den Strom des uranbeladenen Wassers von den Rändern der Lagerstätte zu ihrem Zentrum lenken, so dass es nicht aus dem Fördergebiet fließt. »Das lässt sich aber nicht hundertprozentig kontrollieren«, sagt Heinz Smital. Es würden Tausende von Tonnen Säure ins Erdreich gepumpt, die nicht vollständig wieder herausgeholt werden könnten, kritisiert der Greenpeace-Atomexperte. In den USA, wo er in Texas und Wyoming angewendet wird, stoße der Uran-Lösungsbergbau auf zunehmenden Widerstand, bestätigt Peter Diehl. Denn nach der Aufgabe bisheriger Projekte sei es nicht, wie zuvor versprochen, gelungen, die ursprüng-

liche Grundwasserqualität in den Lagerstätten wiederherzustellen. »Außerdem besteht die Gefahr, dass Trinkwasser kontaminiert wird, wenn ein entsprechender Grundwasserleiter in der Nähe der Lagerstätte verläuft«, so Diehl.

Sollten mangelnde Akzeptanz, Umweltprobleme oder technische Verzögerungen den herkömmlichen Bergbau bremsen, könnten exotischere Uranquellen zum Zuge kommen. Während der Preishausse 2007 testete eine kanadische Firma erfolgreich die Urangewinnung aus der Flugasche eines chinesischen Kohlekraftwerks. Doch die Methode ist teuer und überlebte die sinkenden Preise nicht. Ein schier unendliches Uranreservoir sind zudem die Weltmeere. Fein verteilt enthalten sie vier Milliarden Tonnen Uran. Japanische Versuche haben gezeigt, dass das radioaktive Element mit speziell imprägnierten Matten, die man für einige Zeit im Meer versenkt, gesammelt werden kann – doch auf diese Weise gewonnenes Uran würde ebenfalls Hunderte von Dollar pro Kilogramm kosten.

Das muss allerdings kein Hindernis sein. Denn der Uranpreis schlägt, verglichen mit den Kosten für Bau und Betrieb eines Kernkraftwerks, nur mit ein paar Prozent zu Buche. Vielfach höhere Preise könnte die Branche also locker verkraften. <<