

Strahlentelex

mit **ElektrosmogReport**

Unabhängiger Informationsdienst zu Radioaktivität, Strahlung und Gesundheit

ISSN 0931-4288

www.strahlentelex.de

Nr. 746-747 / 32. Jahrgang, 1. Februar 2018

Sechs Jahre nach der Katastrophe von Fukushima: Wie schwer ein Haus zu sanieren ist – Reise-Tagebuch des japanischen Journalisten FUKUMOTO Masao.

Seite 5

Medizinische Strahlenbelastung: Nur 4 von 141 überprüften Herzkatheter-Einrichtungen waren ohne Mängel. Ärzte sind ohne ausreichende Fachkunde im Strahlenschutz tätig.

Seite 7

Atommüll: Von Konstanz bis Waldshut wehren sich die deutschen Landkreise und Gemeinden gegen das Schweizer Endlager. Sie wollen mehr Abstand zur Staatsgrenze.

Seite 7

Atompolitik / Atomwirtschaft

Thorium – ein Brennstoff für eine bessere Kerntechnik ?

Von Dr. Rainer Moormann, Aachen*

Thorium wird aktuell von manchen Atomkraftbefürwortern als bessere Alternative zum Uranbrennstoff bezeichnet. Thorium selbst ist aber kein Spaltstoff, sondern kann nur über Brüter- und Wiederaufarbeitungstechnologie in spaltbares Uran-233 umgewandelt werden. Es kommt 3- bis 4-mal häufiger vor als Uran; bezüglich Sicherheit und Entsorgung sind keine durchgreifenden Vorteile gegenüber dem klassischen Uranbrennstoff erkennbar. Ein schwerwiegender Nachteil liegt darin, dass aus Thorium erbrütetes Uran-233 zum Bau von einfachen aber hochwirksamen Nuklearsprengsätzen zum Beispiel durch Terrororganisationen taugt. Die aktuell noch vielfach angestrebte Thoriumverwendung ohne wirksame Denaturierung des erbrüteten Spaltstoffs erscheint daher unverantwortlich.

Einleitung metall der Ordnungszahl 90
Thorium (Th) ist ein Schwer- (Uran: 92). Es zählt zu den

Strahlentelex, Th. Dersee, Waldstr. 49, 15566 Schöneiche b. Bln.
Postvertriebsstück, DPAG, „Entgelt bezahlt“ A 10161 E

Aktinoiden, kommt etwa 3 bis 4-mal häufiger vor als Uran und ist radioaktiv (Halbwertszeit von Th-232 als Anfangsglied der Thorium-Zerfallsreihe 14 Milliarden Jahre im alpha-Zerfall). Technische Anwendungen hat es bisher kaum gefunden. Eine Besonderheit ist die sehr harte (durchdringende) Gammastrahlung aus seiner Zerfallsreihe ((Thallium-208 (Tl-208): 2,6 MeV; zum Vergleich die Gammastrahlung von Cs-137: 0,66 MeV)). Thorium wird seit circa 10 Jahren von einer weltweit aktiven Gruppe von Kernkraftbefürwortern als Brennstoff für eine sichere und kostengünstige AKW-Technik ohne größere Entsorgungs- und Proliferationsprobleme empfohlen. Dieser Anspruch soll hier einem wissenschaftlichen Faktencheck unterworfen werden. Dazu werden die Behauptungen der Thoriumbefürworter sukzessive geprüft.

**Behauptung 1:
Mit Thoriumnutzung lassen sich die nuklearen Brennstoffreserven um den Faktor 400 strecken**

Thorium selbst ist kein Spaltstoff. Es kann in Brüterreakto-

ren¹ aber in spaltbares Uran-233 (U-233) umgewandelt werden, ähnlich wie das nicht spaltbare U-238 (99,3 Prozent des Natururans) in einem Brüterreaktor in spaltbares Plutonium umgewandelt werden kann. Thoriumnutzung setzt also Brüter- und Wiederaufarbeitungstechnologie voraus. Da diese aus verschiedenen Gründen fast weltweit in Verruf geraten sind, könnte es sein, dass der noch unverbrauchte Begriff Thorium hier genutzt wird, um einen beabsichtigten Wiedereinstieg in diese problematischen Technologien zu verschleiern.

Nun zum Faktor 400: Dieser vergleicht Urannutzung in klassischen Leichtwasserreaktoren (LWR) mit Thoriumeinsetzung in Brüterreaktoren. Ein Faktor von circa 100 geht dabei auf die Brüterverwendung

¹ Ein Brüter ist ein Reaktor, bei dem bei Entnahme der abgebrannten Brennelemente mehr Spaltstoff vorhanden ist, als in frischen Brennelementen. Begriffliche Verwirrung stiftet gelegentlich, dass im kerntechnischen Sprachgebrauch jeder konventionelle Reaktor brütet, aber eben weniger als er verbraucht (und deshalb nicht als Brüter bezeichnet wird).

* r.moormann@gmx.de

zurück, und wäre im weiter entwickelten Uran/Plutonium-Kreislauf ebenfalls zu erreichen; nur ein Faktor von 3 bis 4 ist spezifisch für Thorium, weil es eben um diesen Faktor häufiger vorkommt als Uran.

**Behauptung 2:
Thorium kam bei der Kern-
energieentwicklung nicht
zum Zuge, weil es nicht zur
militärischen Nutzung taugt**

Die ersten Anfänge der Kerntechnik in den USA (1944 bis Anfang der 1950er Jahre) sind durch eine Situation gekennzeichnet, in welcher die Anreicherungstechnologie noch sehr unterentwickelt war. Besser entwickelt waren demgegenüber graphitmoderierte Reaktoren, die Natururan verwenden konnten und Plutonium erbrüteten. Zur Thoriumnutzung (Thorium enthält anders als Natururan ja keinen spaltbaren Anteil) wäre als Spaltstoff zwingend angereichertes Uran oder eventuell Plutonium erforderlich gewesen. Beide Wege der Thoriumnutzung wurden anfänglich nicht gewählt, da sie die insgesamt noch geringe Gesamtkapazität der militärischen Spaltstoffherzeugung zwangsläufig gedrosselt hätten.² Erst als die US-Anreicherungsanlagen Anfang der 1950er Jahre hinreichende Mengen an angereichertem Uran lieferten, begann der militärische und später auch zivile Einstieg in die Thoriumtechnologie: 1955 wurde eine überwiegend auf U-233 aus Thorium basierende Bombe gezündet und es wurde eine strategische U-233-Reserve von gut 2 Tonnen angelegt. Der große Vorsprung der Plutoniumbombe war zu diesem Zeitpunkt aber nicht mehr einzuholen, und Plutonium blieb weltweit der führende militärische Spaltstoff (indische Kernwaffen sollen jedoch nach nicht nach-

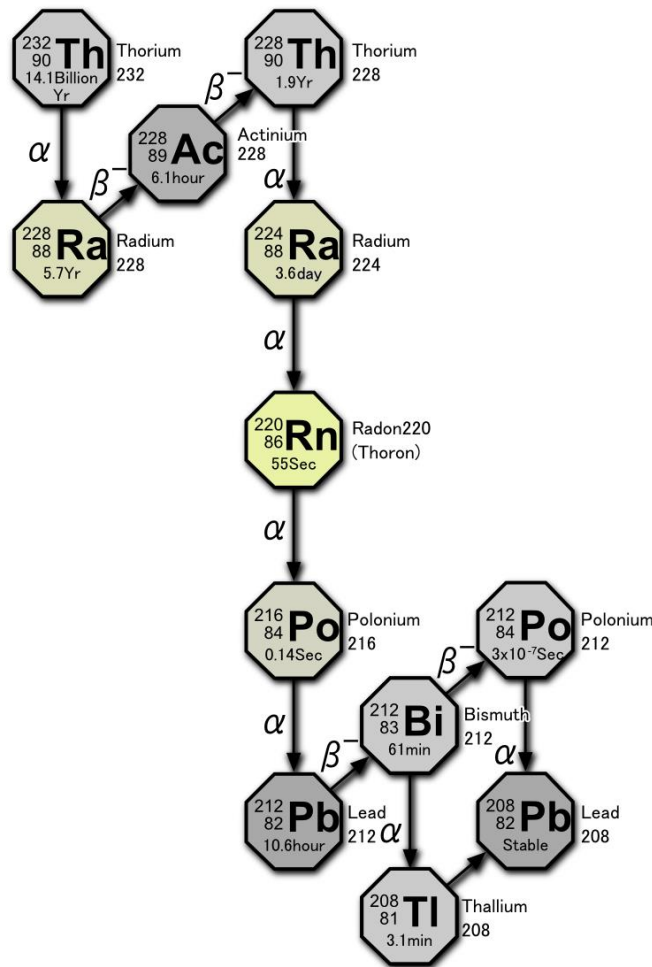


Abbildung: **Thorium-Zerfallsreihe** (Quelle: wikimedia commons)

prüfaren Informationen U-233 enthalten). Zum Abschluss der militärischen Untersuchungen zur Thoriumnutzung wurde aus Sicht der US-Kernwaffenutzung dokumentiert, dass U-233 zwar ein hochpotentes Kernwaffenmaterial sei, aber kaum Vorteile gegenüber dem etablierten Plutonium böte.[6] Da die LEU-Leichtwasserreaktoren³ schon zu weit entwickelt waren, blieb auch in der zivilen Kerntechnik der Thoriumein-satz eine Nischenanwendung: Etwa im kurz betriebenen deutschen „Thoriumreaktor“ THTR-300 in Hamm, der aber de facto ein Uranreaktor war (Brennstoff: 10 % waffenfähiges 93%-angereichertes U-235 und 90 % Thorium), da der auf Thorium zurückgehende Anteil an der Energieerzeugung 25 Prozent nicht überstieg.

³ LEU = Low Enriched Uranium

**Behauptung 3:
Thoriumverwendung birgt
kaum Proliferationsgefahren**

Die Problematik der Proliferation bei Th/U-233 bedarf einer differenzierten Analyse, pauschale Antwortversuche führen in die Irre. Daher sei zuerst die Waffentauglichkeit von U-233 untersucht. Als Kriterien für eine gute Waffentauglichkeit gelten eine niedrige kritische Masse sowie eine niedrige Spaltungsrate. Die kritische Masse von U-233 beträgt nur 40 Prozent derjenigen von U-235, bei Plutonium-239 (Pu-239) ist die kritische Masse circa 15 Prozent kleiner als beim U-233. Für einen einfach zu bauenden nuklearen Sprengsatz werden etwa 20 bis 25 Kilogramm U-233 benötigt. Die Spaltungsrate ist wichtig, weil die durch Spaltung erzeugten Neutronen als Starter der Kettenreaktion wirken; zur effizienten nuklearen Explosion muss der

Spaltstoff aber mindestens eine Kritikalität⁴ von circa 2,5 haben. Kommt es bereits während der konventionellen Bombenzündung in der Kritikalitätsphase zwischen 1 und 2,5 zu einer merklichen Kettenreaktion aufgrund von Spontanspaltungen, könnte das zu unerwünschten schwachen nuklearen Explosionen führen, welche die Überkritikalität beenden, bevor ein nennenswerter Anteil des Spaltstoffs reagiert hat. Das hängt wesentlich auch davon ab, wie schnell die Kritikalitätsphase von 1 bis 2,5 durchschritten wird. Waffenplutonium (überwiegend Pu-239) und vor allem Reaktorplutonium haben – anders als die genannten Uranspaltstoffe – eine vergleichsweise hohe Spaltungsrate, was ihre Verwendung in einfach zu bauenden Bomben ausschließt. Konkret kann Plutonium in einer Gun-Bombe nicht zur Explosion gebracht werden, wohl aber die beiden Urannuklide; Plutonium benötigt die viel komplexere Implosionsbombe, auf die hier nicht eingegangen werden soll. Eine Gun-Bombe (Kanonenrohranordnung, in der ein Spaltstoffprojektil auf einen Spaltstoffblock geeigneter Form geschossen wird, sodass sie zusammen eine hoch überkritische Anordnung ergeben, s. Abbildung auf Folie 7 in [1]) wurde in Hiroshima eingesetzt; hier liegt das Durchlaufen der Kritikalitätsphase 1 bis 2,5 im Bereich von Millisekunden – ein relativ langer Zeitraum, in welcher sich ein Plutoniumsprengsatz durch eine schwache nukleare Explosion, initiiert durch Spontanspaltung, selbst zerstören würde. Solche Uran-Gun-Anordnungen sind heute in modernen Waffenarsenalen nicht mehr zu finden.⁵ Ihr Wirkungs-

² Thorium hat einen größeren Einfangquerschnitt für (thermische, also langsame) Neutronen als U-238. Daher benötigt es als Brutstoff im Reaktor eine höhere Spaltstoffdichte als U-238.

⁴ Kritikalität: Zahl der Spaltungen, die eine einzelne Spaltung durch die von ihr produzierten Neutronen unmittelbar zur Folge hat.

⁵ Zwischen 1977 und 1990 baute die Apartheidregierung in Südaf-

grad ist mit nur maximal eini- gen Prozent nämlich verhält- nismäßig schlecht, sie sind sperrig (Hiroshima-Bombe: 3,6 Tonnen schwer, 3,2 Meter lang), unflexibel und für Interkontinentalraketen als Trä- gersysteme eher ungeeignet. Auf der anderen Seite sind Gun-Anordnungen hoch zu- verlässig und sehr einfach zu bauen. Auch die Internationale Atomenergie-Agentur (IAEA) rechnet damit, dass größere Terrorgruppen in der Lage sind, einen nuklearen Spreng- satz auf Basis von Gun- Anordnungen zu konstruieren, wenn sie in den Besitz ausrei- chender Mengen an geeigne- tem Spaltstoff gelangen.[1] Bomben einer Stärke von ma- ximal dem Doppelten bis 2,5- fachen der Hiroshima-Bombe sind so denkbar. Aus diesem Grund bemühen sich die Atommächte USA und Russ- land seit Jahrzehnten intensiv, das früher weltweit gelieferte hochangereicherte U-235 (HEU) zurückzuholen.

Ein Nachteil von U-233 in der Waffentechnik liegt darin, dass es – wenn es ausschließ- lich unter dem Gesichtspunkt der Energieerzeugung produ- ziert wird – mit maximal 250 ppm⁶ an U-232 (Halbwertszeit 70 Jahre) kontaminiert ist.[2] Das beeinträchtigt die Explo- sionsfähigkeit zwar nicht, aber die Uran-232-Zerfallsreihe geht in die eingangs erwähnte Tho- rium-Zerfallsreihe mit dem hart strahlenden Tl-208 über: Eine stark strahlende Bombe ist natürlich – aus Handha- bungsgründen und weil die

rika 7 Gun-Atombomben des Grundprinzips auf der Basis von Uran-235 (Anreicherungsanlage); man scheute den hohen Entwick- lungsaufwand für moderne Im- plionsbomben. Das Forschungs- zentrum Jülich lieferte trotz Em- bargos 1988 an das Apartheidre- gime HTR-Technologie, welche zur Entwicklung eines Antriebs für Atom-U-Boote, in denen die Bomben sicher verwahrt werden sollten, dienen sollte. Die Bom- ben wurden 1993 demontiert.

⁶ ppm = parts per million = 10⁻⁶

Strahlung die Bombenelektro- nik stört – im militärischen Umfeld unerwünscht: In den USA gilt eine Grenze von 50 ppm U-232, ab der U-233 als nicht mehr waffentauglich gilt. Trotzdem resultiert aus U-232 keine wirkliche Entlas- tung der Proliferationsprob- lematik beim U-233: Zum ein- nen benötigen simple Gun- Anordnungen keinerlei Elek- tronik; weiterhin dürften Strah- lenschutzgesichtspunkte beim Bombenbau bei Terrororgani- sationen, welche Selbstmord- attentäter einsetzen, kaum eine Rolle spielen. Außerdem ent- steht der harte Strahler Tl-208 erst am Ende der Zerfallsreihe von U-232: Frisch hergestell- tes oder gereinigtes U-233/U- 232 strahlt daher für einige Wochen nur wenig und ist leichter handhabbar.[2] Zum anderen lässt sich die Bildung von Uran-232 weitgehend un- terdrücken, wenn man beim Erbrüten von U-233 Neutron- en mit Energien größer 0,5 MeV ausblendet (zum Bei- spiel indem man Thorium im Reaktor hinter einer moderie- renden Schicht anordnet) und Thorium aus Erzen verwendet, die möglichst wenig Uran enthalten. Eine besonders ele- gante Möglichkeit zur Gewin- nung von hochreinem U-233 stellen angedachte Flüssig- salzreaktoren mit integrierter Wiederaufarbeitung dar: Beim Erbrüten von U-233 aus Tho- rium entsteht nämlich als Zwischenprodukt Protactini- um (Pa-233) mit einer Halb- wertszeit von circa 1 Monat. Isoliert man – wie in Flüssig- salzreaktoren beabsichtigt – dieses Zwischenprodukt und lässt es außerhalb des Reak- tors zerfallen, erhält man ein optimal für Kernwaffen ge- eignetes U-233.

Ein Vorteil von U-233 gegen- über Pu-239 hinsichtlich mili- tärischer Anwendung liegt da- rin, dass es viel weniger dazu neigt, bei Neutronenbestrah- lung während der Herstellung im Reaktor in unerwünschte, die Explosionsfähigkeit beeinträchtigende Nuklide überzu-

gehen. U-233 lässt sich (wie U-235) durch Zumischen von U-238 relativ leicht waffenun- tauglich machen: Mischt man dem Thorium bereits bei der Zugabe in den Reaktor abge- reichertes Uran zu, erhält man bei der Entnahme ein kaum noch waffenfähiges Nuklid- gemisch. In Flüssigsalzreakto- ren mit integrierter Wieder- aufarbeitung ist das allein al- lerdings nicht ausreichend wirksam, hier muss zusätzlich auf die Abtrennung von Prot- actinium-233 (Pa-233) verzich- tet werden.[9]

Als Fazit ist festzuhalten, dass Thoriumnutzung gravierende Proliferationsgefahren mit sich bringt. Diese liegen allerdings weniger darin, dass es für hochentwickelte Staaten damit leichter würde, in den Besitz von High-Tech-Atomwaffen zu gelangen, als vielmehr da- rin, dass die Hürde zum Bau einfacher, aber hochwirksa- mer nuklearer Sprengsätze für Terrororganisationen oder in- stabile Staaten enorm gesenkt wird.

Behauptung 4: Thoriumreaktoren sind sicherer als konventionelle Uranreaktoren

Die Spaltung von U-233 ergibt etwa die gleiche Menge der sicherheitsdominierenden Nuklide (Jod-131, Cäsium-137, Strontium-90) wie die U-235- Spaltung. Auch die Nachzer- fallswärme unterscheidet sich praktisch nicht. Die Unter- schiede bei den gebildeten Aktinoiden (s. nächste Be- hauptung) sind für das Risiko im AKW-Betrieb/Störfall von untergeordneter Bedeutung. Von daher sind keine sicher- heitstechnischen Vorteile für eine Thoriumnutzung zu er- kennen. Von größerer sicher- heitstechnischer Bedeutung ist, dass die U-233-Spaltung um 60 Prozent weniger sogenan- te verzögerte (also nicht bei der Spaltung unmittelbar, son- dern aus kurzlebigen Spaltpro- dukten entstehende) Neutron- en liefert als die U-235-Spal- tung.[4] Nur aufgrund der

Existenz von verzögerten Neu- tronen ist ein AKW überhaupt regelbar und je größer ihr An- teil ist (zum Beispiel 0,6 Pro- zent bei U-235), umso größer ist auch der Kritikalitätsbe- reich, in dem eine Regelbar- keit gegeben ist (man spricht von verzögert überkritisch). Oberhalb dieses Regelbereichs (prompt überkritisch) kommt es zum nuklearen Durchgehen des Reaktors, wie in Tschern- nobyl geschehen. Das Faktum, dass der verzögert überkriti- sche Bereich bei U-233 deut- lich kleiner ist als bei U-235, muss als wichtiger sicherheits- technischer Nachteil der Tho- riumnutzung gewertet werden.

Bei der Auslegung von ther- mischen Flüssigsalzreaktoren (Brütern) stellte man fest, dass sich bei Thoriumverwendung Probleme mit der Kritikalitätssicherheit ergeben, welche die klassische Urannutzung in diesen Reaktoren nicht mit sich bringt. Für Thoriumnut- zung in Flüssigsalzreaktoren musste man deshalb auf schnelle Reaktoren auswei- chen. Das lässt sich zwar nicht verallgemeinern, zeigt aber, dass Thoriumnutzung zusätz- liche größere Sicherheitsprob- leme haben kann.

Als gravierendes Sicherheits- manko der Thoriumnutzung ist auch die eingangs schon erwähnte Notwendigkeit zum Einstieg in Brüter- und Wie- deraufarbeitungstechnologie anzusehen.

Thorium wird häufig in Ver- bindung mit sogenannten fort- geschrittenen Reaktoren (Ge- neration IV) beworben. Die dabei dem Thorium zuge- schriebenen vorteilhaften Si- cherheitseigenschaften sind in der Regel nicht Thorium- spezifisch, sondern eine Ei- genschaft des Reaktorkonze- ptes. Ob diese fortgeschrittenen Reaktorkonzepte in einer Ge- samtsicht wirklich einen Si- cherheitsgewinn bringen, soll in einem späteren Artikel se- parat untersucht werden.

Behauptung 5: Thoriumnutzung bringt kaum Entsorgungsprobleme mit sich

Thoriumnutzung erzeugt praktisch die gleichen Spaltprodukte wie klassische Urannutzung. Das gilt auch für die bei der Langzeitendlagerung wichtigen langlebigen Spaltprodukte, die in einem früheren Artikel behandelt wurden.[5] Diese mobilen Spaltprodukte bestimmen das Risiko eines Endlagers, wenn Wassereintritt als dominierender Störfall angesetzt wird. Damit ergeben sich also keine Verbesserungen bezüglich Entsorgung. Die Argumente der Thoriumbefürworter zielen darauf ab, dass bei Thoriumnutzung keine Minoren Aktinoide (MA)[5] und kein Plutonium entstehen. Sie argumentieren, diese Nuklide seien hochtoxisch (was hinsichtlich Inkorporation korrekt ist) und vergleichen nur die reine Toxizität durch Inkorporation für Thorium- und Urannutzung, ohne zu berücksichtigen, dass die Aktinoide im Endlager kaum beweglich sind. Auch entstehen bei Thoriumnutzung zwar keine MA, aber andere langlebige Aktinoide, vor allem Protactinium-231 (Pa-231; Halbwertszeit 33.000 Jahre), mit ähnlichen Eigenschaften wie MA. Doch ist bei Thoriumnutzung von Vorteil, dass die Menge der entstehenden langlebigen Aktinoide um etwa einen Faktor 5 kleiner ist als die der MA bei Urannutzung. Andererseits: U-233 im Abfall ist keineswegs unproblematisch: Zu seiner dem Plutonium vergleichbaren Toxizität und seiner langen Halbwertszeit (160.000 Jahre) kommt erschwerend hinzu, dass sein Zerfallsprodukt Th-229 (Halbwertszeit 8.000 Jahre) ein recht starker Gammastrahler (neben Alphastrahlung) ist. Die maximale Konzentration an Th-229 im Endlager würde erst nach etwa 100.000 Jahren erreicht.

Insgesamt betrachtet könnte sich im Aktinoidenbereich ein

begrenzter Entsorgungsvorteil für die Thoriumnutzung ergeben, aber nicht hinsichtlich der sicherheitsdominierenden langlebigen Spaltprodukte. Von daher ist das Argument, Thoriumnutzung erleichtere die Entsorgung deutlich, nicht nachvollziehbar. Ein geologisches Endlager wird weiter benötigt.

Fazit

Die von den Thoriumbefürwortern benannten Argumente für einen Umstieg vom Uran auf Thorium erweisen sich bei detaillierter Betrachtung als nicht ausreichend stichhaltig: Eine auf Thorium basierende Kerntechnik würde keines der bekannten Probleme der aktuellen Kerntechnik lösen können, aber erforderte einen enormen Entwicklungsaufwand und erzwingt den Einstieg in Brüter- und Wiederaufarbeitungstechnologie. Von daher erweist sich die Thoriumtechnologie als Sackgasse.

Schwerwiegend an der Thoriumnutzung erscheint mir der Proliferationsaspekt: Hier kommt es zu einer gravierenden Verschlechterung der aktuellen Situation, da die Hürden zum Bau wirksamer nuklearer Sprengsätze etwa durch Terrororganisationen ganz erheblich gesenkt werden. Diesem Aspekt muss besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Zwar ist zu hoffen, dass IAEA, USA und Russland, deren jahrzehntelange Bemühungen um HEU-Rücknahme durch die Thoriumtechnologie ja konkretisiert würden, deren unkontrollierter Ausbreitung Widerstand entgegensetzen würden; andererseits ist der aktuelle Thoriumhype teilweise durch einen von Halbwissen getragenen Fanatismus geprägt, was in einem populistischen Gesamtumfeld zu unkalkulierbaren Entwicklungen führen kann. Mir scheint es daher wichtig, dass Umwelt- und Friedensbewegung gemeinsam darauf drängen, dass eine Thoriumtechnologie ohne ausreichende Proliferationssi-

cherheit international ähnlich geächtet wird, wie aktuell schon die HEU-Verwendung. Als Minimalforderung bedeutet das, dass es keine Thoriumtechnologie ohne U-233-Denaturierung mit U-238 und ohne Verzicht auf Online-Wiederaufarbeitung in Flüssigsalzreaktoren geben darf.

Anhang: Umfang der internationalen Bemühungen um die Thoriumtechnologie

Zwischen der lautstarken Propaganda der Thoriumbefürworter und den realen Aktivitäten zur Entwicklung einer Thoriumtechnologie besteht noch ein großes Missverhältnis – zumindest in den westlichen Industrieländern: Getragen werden die aktuellen Arbeiten zum Thorium großenteils von kleineren Start-up-Firmen. Die großen Unternehmen verhalten sich weiterhin passiv und die staatliche Förderung für die Thoriumtechnologie bleibt gering. Eine vollständige Entwicklung von Thoriumtechnologie würde Investitionen von mehreren Milliarden Euro erfordern, hingegen summiert sich die aktuelle EU-Förderung auf einen unteren einstelligen Millionenbetrag pro Jahr. Das zusammen darf als Zeichen von Skepsis gegenüber der Thoriumtechnologie gewertet werden. Solche Skepsis wurde genährt durch umfängliche Studien, etwa der Regierungen von Großbritannien und Norwegen, die im Tenor eher pessimistisch hinsichtlich Thorium ausfielen.[8,10] Von daher erscheint es mir noch aussichtsreich, durch Aufklärung den Fehlentwicklungen eines Einstiegs in Thoriumtechnologie entgegenzuwirken. Als Verhalten positives Zeichen ist zu nennen, dass die kanadische Firma Terrestrial Energy, die Flüssigsalzreaktoren entwickelt, 2013 aus Gründen der Proliferationssicherheit aus Thoriumtechnologie und Online-Wiederaufarbeitung ausstieg und seitdem einen auf klassischer Uranverwendung

aufbauenden Flüssigsalzreaktor (IMSR) bearbeitet.

In Deutschland wird noch/wieder zur Thoriumtechnologie gearbeitet: Das Forschungszentrum Jülich ist auf den Thoriumhype aufgesprungen, indem es seine früheren Erfahrungen zu thoriumhaltigen Kernbrennstoffen aufgearbeitet hat,[7] und in Karlsruhe beteiligen sich Joint Research Centre der EU-Kommission (JRC) und Karlsruher Institut für Technologie (KIT) an der von der EU geförderten Planung eines schnellen Flüssigsalzreaktors (MSFR) mit Thoriumnutzung. Aus dem MSFR müssten pro Jahr 150 Kilogramm überschüssiges U-233 ausgeschleust werden, was ohne Denaturierung zum Bau einiger nuklearer Sprengsätze ausreichen würde. In Freiburg und in Karlsruhe haben sich bereits Initiativen dagegen zusammengefunden, die Unterstützung verdienen.

[1] Pablo Adelfang, Research Reactor Section / IAEA: Symposium on Progress, Challenges, and Opportunities for Converting U.S. and Russian Research Reactors from Highly Enriched to Low Enriched Uranium Fuel, Moscow, 8-10 June 2011,

http://dels.nas.edu/resources/static-assets/nrsb/miscellaneous/Adelfang-Presentation Moscow June 2011_Ali.pdf

[2] Jungmin Kang, Frank N. v. Hippel: U-232 and the Proliferation-Resistance of U-233 in Spent Fuel, Science & Global Security, 2001, Volume 9 pp 1-32,

<http://fissilematerials.org/library/sg09kang.pdf>

[3] Stephen F. Ashley: Thorium fuel has risks, Nature 31, Vol. 492, 6 Dec. 2012,

https://www.researchgate.net/publication/233880587_Nuclear_energy_Thorium_fuel_has_risks

[4] IAEA: Average number of neutrons emitted per fission, 2008, <https://www-nds.iaea.org/sgnucdat/a6.htm>

[5] Rainer Moormann: Transmutation, ein Weg aus der Atom-müllfalle? Strahlentelex 744-745 v. 4.1.2018, S. 5-7,

http://www.strahlentelex.de/Stx_18_744-745_S05-07.pdf

[6] W. K. Woods: LRL interest in U-233, Lawrence Livermore 10.

02.1966, (aus der Geheimhaltung entlassen 1994),
<https://www.osti.gov/scitech/biblio/79078>

[7] H.-J. Allelein et al.: Thorium fuel performance assessment in HTRs, Nuclear Engineering and Design, Vol. 271, May 2014, P. 166-170,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029549313006110>

[8] Reinhard Wolff: Thorium ist auch keine Lösung, Absage von Norwegens Strahlenschutzbehörde, taz, 5. 1. 2009,
<https://www.taz.de/!5170129/>

[9] Engel, J.R., Bauman, H.F et al.: Conceptual design characteristics of a denatured molten-salt reactor with once-through fueling, Department of Energy's (DOE) 1980,

<https://dx.doi.org/10.2172/5352526>

[10] The Thorium Fuel Cycle, An independent assessment by the

UK National Nuclear Laboratory, Position Paper, National Nuclear Laboratory, Aug. 2010,

https://web.archive.org/web/20130126205622/http://www.nnl.co.uk/media/8241/nnl_1314092891_thorium_cycle_position_paper.pdf ●

Sechs Jahre nach der Katastrophe von Fukushima

Wie schwer ein Haus zu sanieren ist

Reise-Tagebuch des japanischen Journalisten FUKUMOTO Masao [1]

Am Sonntagmorgen meines Aufenthalts in der Stadt Minamisoma in der japanischen Präfektur Fukushima traf ich mich im Vorraum meines Quartiers „Futabaya Ryokan“ [2] mit SHIRAHIGE Yukio [3] von der dortigen Bürger-Messstelle und dem ebenfalls dort lebenden Journalisten SUGITA Kazuto [4]. Sugita wollte zuerst für sein Magazin „J-one“ das Gespräch zwischen Shirahige und mir aufzeichnen. Aber das funktionierte nicht richtig, da Shirahige und ich nicht genau wussten, worüber wir sprechen sollten. Ich versuchte, die Situation in Deutschland nach dem Tschernobyl-Unfall darzulegen. Viel Zeit hatten wir leider nicht, da ich früh am Nachmittag mit dem Bus zur Stadt Fukushima fahren musste. In circa einer Stunde mussten wir zu Shirahiges Haus fahren.

Die eigene Bleibe

Wie in meinem vorherigen Beitrag [3] berichtet, entschied sich Shirahige, in Minamisoma zu bleiben. Aber er konnte seiner Familie nicht zumuten, ihm zu folgen. Nach dem Reaktorunfall musste er mit der Familie zwangsweise evakuieren, da das Haus weniger als 20 Kilometer vom Unfall-AKW entfernt ist. Sie fuhren in die nordöstlich von Tokio liegenden Präfektur Chiba, aus der seine Frau stammt. Er musste gleich danach wieder

zur Arbeit im Unfall-AKW zurück, und seine Familie blieb in Chiba. Früh entschied er, dass die Familie dort bleiben soll, da es seiner Frau nach der Evakuierung gesundheitlich nicht gut geht.

Nachdem er zur Arbeit zurückgekommen war, musste er zuerst eine Woche lang im Büro seiner Firma wohnen. Danach musste er sein Quartier je nach dem Ort seiner Arbeit immer wieder im kürzeren Zeitabstand wechseln. So konnte er auf keinen Fall mit der Familie zusammenleben. Er zog erst im Frühling 2012 in eine provisorische Wohnrichtung in Minamisoma ein.

Seine Familie wurde bei Verwandten in Chiba untergebracht. Sie fühlte sich nach und nach mit dem Provisorium nicht mehr so wohl und wünschte sich eine eigene Bleibe. Shirahige und seine Familie entschieden sich für die Zeit der Umsiedlung in Chiba für ein eigenes Haus.

Sie suchten nach einem Grundstück und ließen dort ein neues Haus bauen. Insgesamt kostete es 40 Millionen Japanische Yen, umgerechnet circa 300.000 Euro. Die Kosten wurden vom Unfall-AKW-Betreiber Tepco übernommen.

Für die Umsiedlung erhielten sie im Rahmen der Hausentschädigung noch einige weitere finanzielle Mittel, die seiner

vierköpfigen Familie insgesamt zustehen. Damit konnte Shirahige sich leicht dafür entscheiden, auch das Haus im Sperrgebiet in Minamisoma zu sanieren. Die Sanierung des Hauses in Minamisoma kostete umgerechnet circa 60.000 Euro. Die Summe hätte noch höher sein können, wenn er nicht in eigener Initiative sehr viel selbst von der Sanierung übernommen hätte.

Die enormen Kosten

Wenn man sieht, wie viel allein die Umsiedlung von Shirahiges Familie kostete, kommt man insgesamt für alle ehemaligen Bewohner der Sperrgebiete auf extrem hohe Summen. Für Geschäfte gibt es noch mehr Entschädigung. Und die Sperrgebiete müssen auch noch dekontaminiert werden. Außerdem mussten viele provisorische Wohneinrichtungen gebaut werden. Die freiwillig Evakuierten wurden teilweise auch entschädigt.

Bis 12. Januar 2018 wandte die Betreiberfirma Tepco für die Entschädigungen insgesamt circa 7,7 Billionen Japanische Yen auf [5]. Das entspricht etwa 60 Milliarden Euro. Dazu kommen noch die Kosten für den Rückbau des Unfall-AKWs, die Zwischenlagerung von kontaminiertem Schutt und Boden, usw. Das japanische Wirtschaftsministerium rechnete im Dezember 2016 mit Gesamtkosten von 21,5 Billionen Japanischen Yen [6], umgerechnet mehr als 160 Milliarden Euro. Die Höhe der Kosten entspricht ungefähr der Hälfte der Ausgaben des deutschen Bundeshaushaltes 2017 [7]. Aber das japanische Ministerium ist der Auffassung, dass eine genaue

Abschätzung der Unfall-Kosten noch immer nicht möglich ist, da die Kosten für den Rückbau der havarierten Anlagen noch nicht genau abzuschätzen sind.

Die japanische Regierung gründete im September 2011 eine staatseigene Agentur, um die Entschädigung und den Rückbau möglichst reibungslos durchführen zu lassen. Die Agentur muss der Betreiberfirma Tepco immer wieder zinslose Darlehen geben. Das wird zu einem gesamten Darlehensvolumen von 13,5 Billionen Yen, umgerechnet circa 100 Milliarden Euro, führen (Stand Dezember 2016). Dafür musste und muss der japanische Staat sehr viele Staatsanleihen auflegen. Die japanische Regierung musste diese Aufgabe übernehmen, weil der Staat die Nutzung der Atomenergie als staatliche Aufgabe fördert.

Tepco ist auf diese Art praktisch verstaatlicht worden, obwohl die Entschädigungen an die evakuierten Bewohner von Tepco gezahlt wurden und noch werden. Das heißt, die enormen Kosten müssen höchstwahrscheinlich später von den Steuerzahlern getragen werden, da Tepco auch in Zukunft überhaupt nicht in der Lage sein wird, die Schulden zurückzuzahlen. Die Last von Tepco wird auch nicht nur von den anderen großen Stromversorgungsunternehmen, die AKWs besitzen, sondern teilweise auch von den nach der Liberalisierung des Strommarktes seit dem 1. April 2016 in den Markt eingestiegenen neuen Versorgungsunternehmen getragen, die keine AKW betreiben. Ihre Kosten für die Lastenverteilung werden zu-